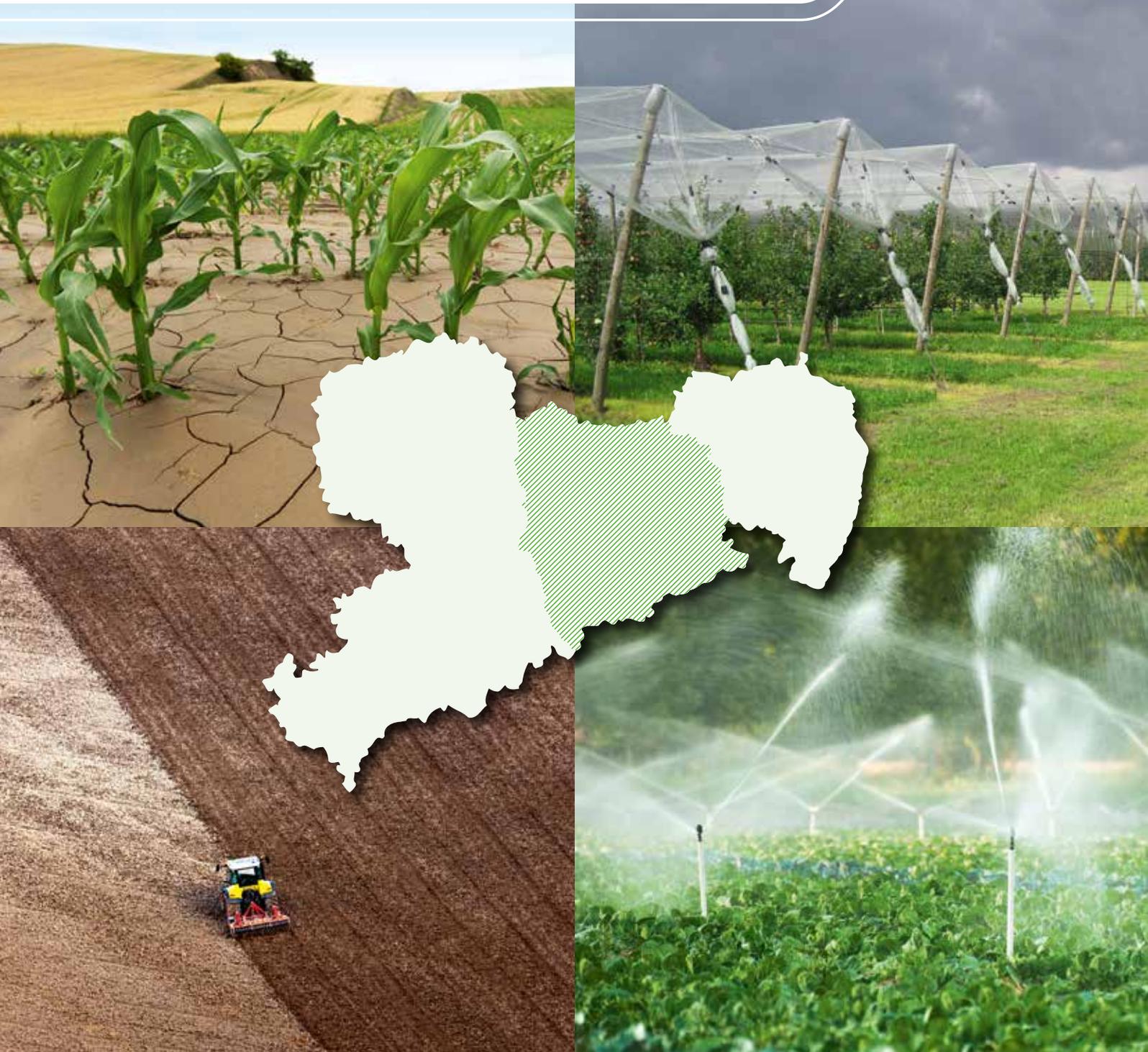


Anpassungsmaßnahmen des sächsischen Pflanzenbaus an den Klimawandel



Vorwort

Die Landwirtschaft wird sich künftig noch intensiver an die sich ändernden Wetter- und Klimabedingungen anpassen müssen. Aktuelle Tendenzen zeigen verstärkt abnehmende Niederschläge, insbesondere während der Wachstumsperiode im Frühjahr sowie den Wechsel von Trockenperioden und lokalen Starkregen im Sommer. Nach den neuesten Klimaprojektionen werden sich künftig Auswirkungen und Intensität dieser durch den Klimawandel bedingten Veränderungen deutlich erhöhen. Prognostiziert wird, dass extreme Wetterereignisse bis zum Ende des Jahrhunderts die Ertragsrisiken in der Landwirtschaft wesentlich ansteigen lassen. Der anwachsenden Erosionsgefahr durch Starkniederschläge sowie der Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten durch Trockenheit entgegenzuwirken, sind die Herausforderungen der Landwirte in der Zukunft.

Auch wenn die natürlichen Bedingungen für die Landwirtschaft in Deutschland trotz Klimawandel vergleichsweise noch günstig sind, bleiben effiziente Anpassungsmaßnahmen unerlässlich. Diese müssen in den Bereichen Fruchtfolgen, Sortenstrategie, Bodenbearbeitung, Düngung, Humusreproduktion, Bewässerung und Pflanzenschutz schon heute entwickelt, umgesetzt und kontinuierlich optimiert werden.

Mit der Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel hat das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft bereits im Jahr 2009 Handlungsschwerpunkte für den Anpassungsprozess aufgezeigt, konkrete Anregungen gegeben und Unterstützung angeboten.

Die vorliegende Broschüre soll diesen Anpassungsprozess der Landwirtschaft an den Klimawandel weiter begleiten. Sie stellt konkrete praxisrelevante Maßnahmen vor und gibt Impulse für die Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen. Die Darstellungen beruhen weitgehend auf Ergebnissen, die im Rahmen des Verbundprojekts „Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden (REGKLAM)“ erarbeitet und gewonnen wurden. Die Gesamtkoordination des Projekts übernahm das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden.



Frank Kupfer
Sächsischer Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft

Inhalt

1.	Einleitung	6
1.1.	Erarbeitung eines regionalen Klimaanpassungsprogrammes.....	7
1.2.	Vorgehen.....	7
1.3.	Beispielbetriebe.....	9
1.4.	Betroffenheit der Betriebe durch den Klimawandel.....	11
2.	Sortenstrategien und Bestandesführung.....	17
2.1.	Sortenstrategie.....	18
2.2.	Fruchtfolgen.....	22
2.3.	Zusammenfassung.....	31
3.	Erosionsschutz auf ausgeprägten Hanglagen der Stadt Dresden sowie dem relevanten Umland im Osterzgebirge und im nördlichen Umland Dresdens	32
3.1.	Einleitung	33
3.2.	Vorgehen.....	33
3.3.	Ergebnisse.....	33
3.3.1.	Bodenbearbeitung und Erosionsschutz.....	33
3.3.2.	Ermittlung der erosionsgefährdeten Ackerflächen in der REGKLAM-Region mit Hilfe des Modells EROSION 3D.....	35
3.3.3.	Erfassung des Anwendungsumfangs der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat in den Betrieben	37
3.3.4.	Darstellung der erosionsmindernden Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung	37
3.3.5.	Prüfung der Notwendigkeit ergänzender Erosionsschutzmaßnahmen.....	39
4.	Düngung und Pflanzenernährung.....	45
4.1.	Ausgangssituation Nährstoffversorgung	46
4.2.	Injektionsdüngung	48
4.3.	Stabilisierte Dünger.....	50
5.	Humusreproduktion.....	52
5.1.	Auswirkungen des Klimawandels auf den Humusgehalt von Ackerböden.....	53
5.2.	Humusbilanzierung als Anpassungsstrategie	55
5.3.	Schlussfolgerungen	58
6.	Pflanzenschutz	59
6.1.	Auswirkungen des Klimawandels.....	60
6.2.	Index zur Ermittlung der Pflanzenschutzintensität.....	61
6.3.	Anwendung witterungsbasierter Entscheidungshilfen im Pflanzenschutz	64
7.	Anpassung von Anbaustrategien und -verfahren im Obstbau unter besonderer Beachtung von Hagelschutzmaßnahmen und deren betriebswirtschaftlicher Bewertung.....	66
7.1.	Ausgangssituation und Lösungsansätze.....	67
7.1.1.	Obstbau	67
7.1.2.	Gemüsebau.....	67

7.2.	Anpassungsstrategien.....	68
7.2.1.	Überblick	68
7.2.2.	Obstbau	69
7.2.3.	Gemüsebau.....	78
7.3.	Zusammenfassung.....	81
8.	Sortenanbaustrategien des Weinbaus im sächsischen Elbtal.....	82
8.1.	Einleitung	83
8.2.	Vorgehen und Analyse der Ausgangssituation.....	83
8.3.	Erarbeitung von Sortenanbaustrategien des Weinbaus im Elbtal	85
8.3.1.	Auswahl geeigneter Indices	85
8.3.2.	Bewertung der Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten über den Huglin-Index (IH)	86
8.3.3.	Bewertung der Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten über die mittlere Temperatur der Vegetationsperiode (01.04. – 31.10.)	92
8.3.4.	Weitere Problemfelder.....	94
9.	Wasser sparende, teilschlagbezogene Berechnungs- bzw. Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft	96
9.1.	Einleitung	97
9.2.	Situation der Bewässerung in Sachsen.....	97
9.3.	Planung einer Bewässerungsanlage.....	100
9.4.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen	102
9.5.	Bewertung von möglichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Hinblick auf ihre Praxisrelevanz.....	108
10.	Prüfung alternativer Landnutzung durch den Anbau von speziellen Energiepflanzen.....	111
10.1.	Einleitung.....	112
10.2.	Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen und der REGKLAM-Region.....	113
10.3.	Agroforstsysteme und Anbau von schnellwachsenden Baumarten in Kurzumtriebsplantagen	123
10.3.1.	Überblick.....	123
10.3.2.	Agroforstsysteme	123
10.3.3.	Kurzumtriebsplantagen.....	128
10.3.4.	Abwägung	129
10.4.	Zusammenfassung	131
11.	Zusammenfassende Schlussbetrachtung	133
Anhang		
	Literaturnachweise	136
	Abbildungsverzeichnis	140
	Tabellenverzeichnis.....	143
	Abkürzungsverzeichnis	144

1. Einleitung

1



1.1. Erarbeitung eines regionalen Klimaanpassungsprogrammes

Die Erarbeitung der Anpassungsstrategien des Acker- und Pflanzenbaus an den Klimawandel erfolgte im Rahmen des REGKLAM-Projektes (Entwicklung und Erprobung eines integrierten regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden) im Zeitraum von 2008 – 2013 (www.regklam.de). Das Ziel die Entwicklung und Erprobung des Projektes war die Erarbeitung eines integrierten, also Sektor-übergreifenden Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden. Anpassungsstrategien wurden für städtebauliche Strukturen, Wassersysteme und für Landnutzung im weiteren Sinne entwickelt. Innerhalb des zuletzt genannten Themengebiets erfolgte die Erarbeitung pflanzenbaulicher Anpassungsstrategien am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Parallel dazu wurden am Staatsbetrieb Sachsenforst (Abteilung Waldbau) auch forstliche Anpassungsstrategien für die Modellregion Dresden entwickelt. Da beide Themen für eine integrierte Anpassungsstrategie verknüpft werden mussten, wurde in einem dritten Arbeitsschwerpunkt an der TU Dresden (Institut für Bodenkunde und Standortslehre) eine Methodik zur integrierten Bewertung der Anpassungsmaßnahmen auf der regionalen Ebene erarbeitet.

Die Ergebnisse des Teilmoduls "Landnutzung" sind in ein Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion eingeflossen (REGKLAM-Konsortium 2013) und werden online zur Verfügung gestellt:

- Landwirtschaft: <http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/>
- Forstwirtschaft: <http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/forstwirtschaft/>
- integrierte Bewertung: <http://www.regklam.de/themen/wissenschaft-praxis-transfer/landnutzungsbewertung/>
- gewerbliche Wirtschaft (<http://www.regklam.de/themen/gewerbliche-wirtschaft/>)
- Naturschutz (<http://www.regklam.de/themen/naturschutz/>)

1.2. Vorgehen

Um das Gesamtsystem der pflanzlichen Erzeugung im Ackerbau hinsichtlich seiner regionalen Betroffenheit und zukünftigen sinnvollen und effizienten Anpassungsmöglichkeiten und Strategien für die REGKLAM-Region zum einen untersuchen und bewerten zu können und zum anderen mögliche praxisrelevante Empfehlungen ableiten und bewerten zu können, wurde die einzelbetriebliche Ebene gewählt. Hierzu konnte eine Reihe von Praxisbetrieben gewonnen werden, die einen weitgehend repräsentativen Überblick hinsichtlich Betriebsstruktur, Anbauanteilen, Technikausstattung, Bodenbearbeitung, räumlicher Repräsentanz und Verteilung in den Agrarstrukturgebieten der REGKLAM-Region Dresden gewährleisten. Hierzu zählen sowohl größere Agrargenossenschaften, als auch kleinere und

In der vorliegenden Broschüre sind die Methoden und Ergebnisse für den Bereich Landwirtschaft umfassend dargestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden explizit für Landwirte aufbereitet und detailliert dargelegt.

Die Landwirtschaft (in dieser Betrachtung sowohl der Acker- als auch der Obst-, Gemüse- und Weinbau) ist ein Wirtschaftszweig, der sehr stark von zukünftigen Klimaveränderungen betroffen sein wird. Diese Veränderungen finden sowohl auf globaler, als auch auf regionaler Ebene statt, wobei sich die Betroffenheit und Auswirkungen regional sehr stark unterscheiden können. Für die Betrachtung von Anpassungsstrategien/-optionen ist daher diese Ebene sinnvoll. Will man hingegen Maßnahmen umsetzen bzw. die Umsetzbarkeit prüfen sollte die einzelbetriebliche Ebene gewählt werden, da nur hier sinnvolle, konkrete Maßnahmen zu ergreifen sind, die im Einzelnen auch sehr stark z. B. von der jeweiligen Betriebsstruktur u. a. abhängen können. Das Teilprojekt „Anpassungsstrategien Pflanzenbau“ verfolgte innerhalb des Themenschwerpunkts Landnutzung im REGKLAM-Projekt beide Zielstellungen.

Ziel war die Formulierung und Untersetzung pflanzenbaulicher Anpassungsoptionen von Acker-, Obst- und Weinbau an den Klimawandel in der REGKLAM-Region Dresden.

Unter Berücksichtigung des Bodenschutzes für die einzelnen Bodenregionen wurden Anbaubedingungen und Nutzungssysteme analysiert. Anpassungsstrategien wurden im Hinblick auf Ertragsvariabilität, Pflanzenschutz und Wasserbedarf erarbeitet.

mittlere Betriebe und Ökobetriebe, reine Marktfruchtbetriebe und Gemischtbetriebe mit unterschiedlichem Viehbesatz, Flächen- und Technikausstattung.

Im Rahmen der betrieblichen Analysen wurden folgende Zielstellungen verfolgt:

- Analyse der Fruchtfolgen in den Betrieben und Erarbeitung von Vorschlägen zur Fruchtfolge-Diversifizierung mit dem Ziel der Ertragsstabilisierung
- Optimierung der Sortenstrategie durch Anbau trockenstresstoleranter Sortentypen mit unterschiedlichem Abreifeverhalten.
- Erprobung von Maßnahmen zur wassersparenden Bestandes-

- etablierung und -führung durch reduzierte Aussaatmengen und verminderte N-Andüngung
- Analyse der Nährstoff- und Humusversorgung der Böden und Etablierung von Vorschlägen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit durch bedarfsgerechte und umweltorientierte organische und mineralische Düngung
- Anwendung der N-Düngebedarfsermittlung unter Nutzung von N_{MIN} , Verfahren der Pflanzenanalyse und der Sensortechnik sowie teilschlagspezifische Düngerapplikation
- Erprobung von modernen Verfahren der Düngerapplikation zur Verbesserung der Nährstoffausnutzung (z. B. Injektionsdüngung, Anwendung stabilisierter Dünger, Unterfußdüngung)
- Pflanzenschutz-Index-Ermittlung/Beurteilung der Pflanzenschutz (PS)-Intensitäten, Schaderregermonitoring
- Anpassung von Prognosemodellen an die Klimaveränderungen
- Analyse bestehender Schaderregerüberwachungs-Daten der Region für ausgewählte Schaderreger in Abhängigkeit von der Witterung
- Analyse betrieblicher Gegebenheiten
- Erarbeitung von betriebsbezogenen Anpassungsstrategien an den Klimawandel
- Anwendung und Erprobung von Verfahren (N-Bedarf, Applikationsverfahren zu Düngung und PS)

Um diese Zielstellungen im Einzelbetrieb auf ihre Relevanz zu prüfen und umzusetzen, wurden Betriebsgespräche, die folgenden Punkten geführt:

- Schaffung eines Überblicks über die Betriebsstruktur, Technikausstattung und Wirtschaftsweise
- Einzelbetriebliche Wahrnehmung des Klimawandels und schon existierende Betroffenheiten im Betrieb

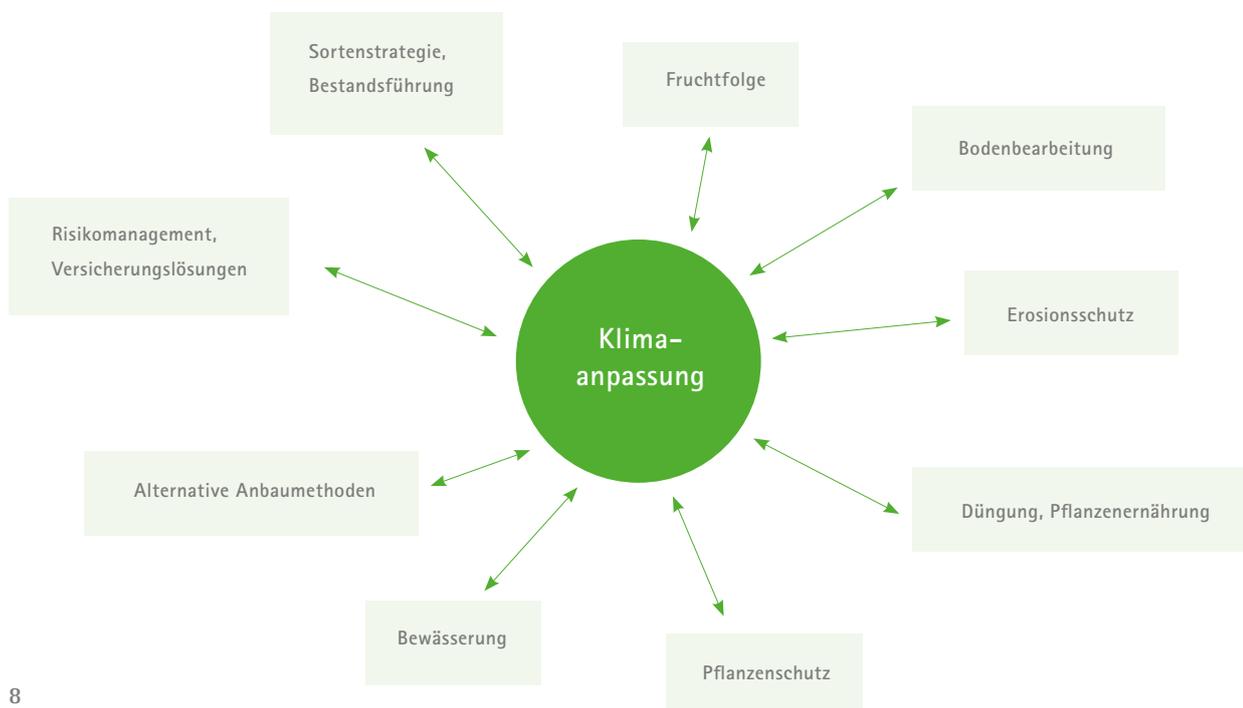
- Schon existierende Maßnahmen zu einzelnen Problemfeldern, wie z. B. Trockenheit, Starkniederschläge etc.
- Mögliche zukünftige Problemfelder, die sich durch einen fortschreitenden Klimawandel für den Betrieb (Lage, Flächenausstattung, derzeitige technische Ausstattung) ergeben könnten
- Diskussion möglicher Anpassungsmaßnahmen, deren Relevanz und Umsetzbarkeit im Betrieb.

Darauf aufbauend wurde, zusammen mit den Betriebsleitern, eine Reihe von Einzelschlägen im Betrieb ausgesucht, die hinsichtlich einzelner oder mehrerer klimabedingter Problemfelder eine Relevanz zeigt oder zukünftig voraussichtlich zeigen wird. Für diese Schläge wurden dann die Schlagdaten von 2003 – 2009 (einzelne Arbeitsgänge, eingesetzte Technik, Mittel etc.) abgefragt und nachfolgend analysiert und ausgewertet.

Darauf aufbauend wurde eine 3-stufige Auswertung der Betriebe vorgenommen:

1. Derzeitige betriebliche Situation:
 - Lage, Flächen, vorhandene Technik etc.
 - Rückwirkende Untersuchung der Fruchtfolgen (2003/2005 – 2009)
2. Analyse möglicher zukünftiger Betroffenheiten/Risiken bzgl. Klimawandel
 - Trockenstress
 - Erosion
 - usw.
3. Analyse zukünftiger betrieblicher Anpassungsmöglichkeiten (kurz-/mittel-langfristig)

Abbildung 1: Themenfelder bei der Ableitung von Klimaanpassungsstrategien im Pflanzenbau



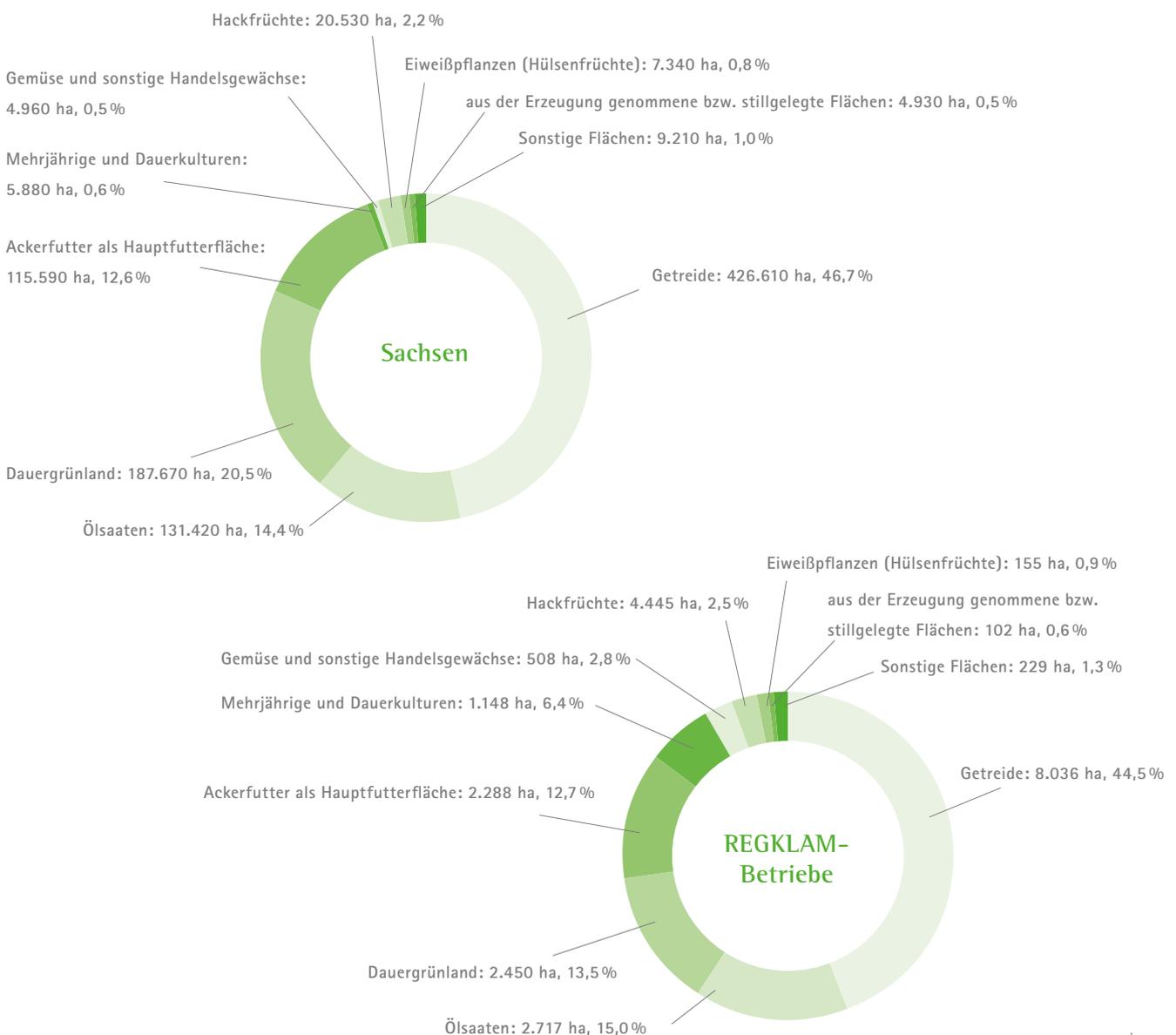
Anhand der ausgewählten Flächen wurden die einzelnen Arbeitspunkte spezifisch analysiert, diskutiert und darauf aufbauend Empfehlungen abgeleitet und mit den Betriebsleitern, sowohl einzelbetrieblich als auch auf eigens organisierten Workshops mit den Betrieben diskutiert. Hierdurch sollte die Diskussion zwischen den Betrieben und den einzelnen Fachreferaten des LfULG, Abt. ‚Pflanzliche Erzeugung‘ angeregt und verstärkt werden.

Des Weiteren wurden themenbezogene Veranstaltungen des LfULG (z. B. Feldtage, Fachveranstaltungen), der beteiligten Verbände (z. B. sächsischer Landesbauernverband, SLB) und Vereine (z. B. Verein konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat in Sachsen e. V.) zusammen mit den Betrieben genutzt, um dies voran zu bringen und einzelne Fragestellungen im Fachkreis zu diskutieren.

1.3. Beispielbetriebe

In Abbildung 2 sind die Anbauanteile der einbezogenen Betriebe in der REGKLAM-Region im Vergleich zu den Anbauanteilen Gesamtsachsens dargestellt.

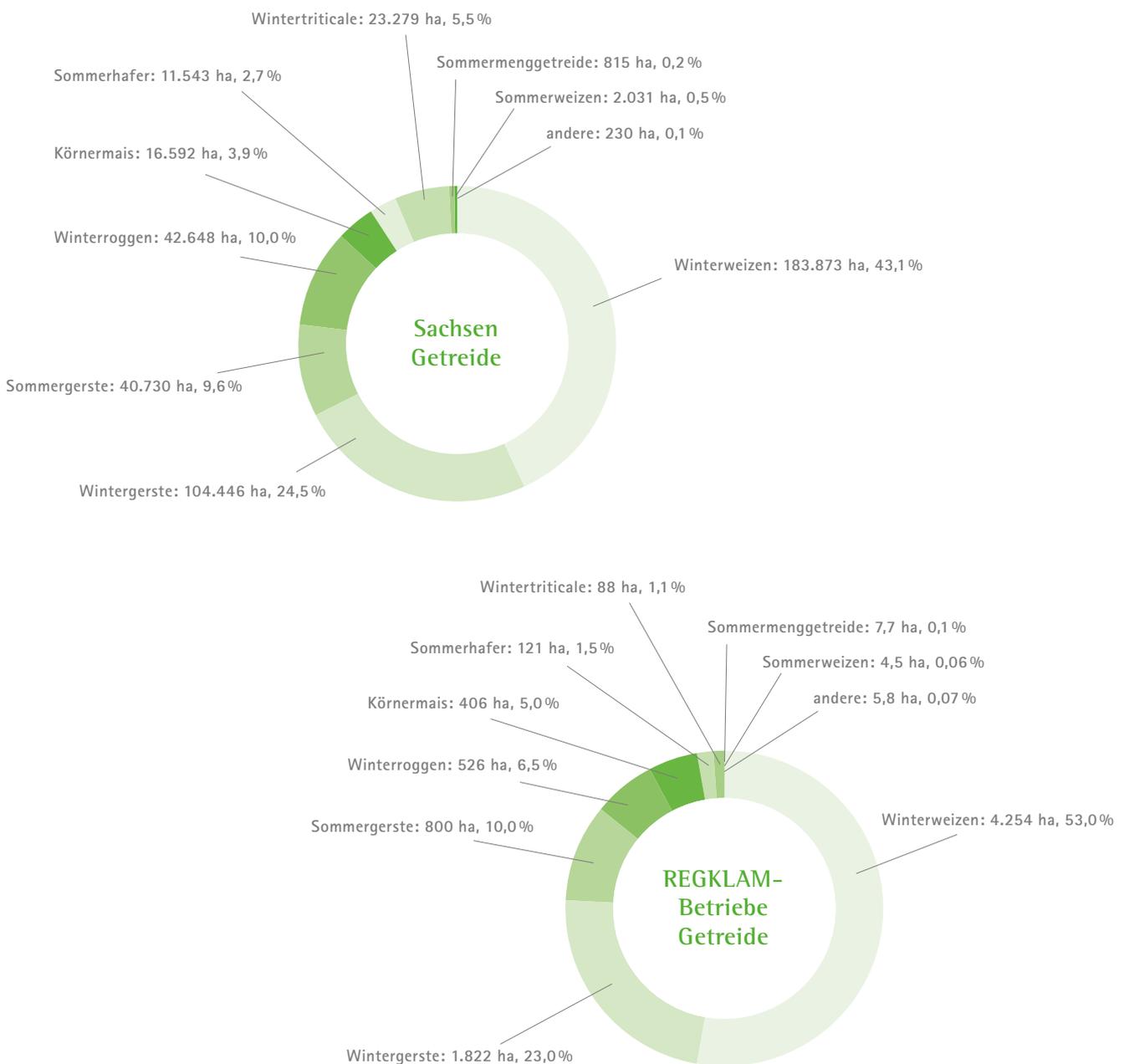
Abbildung 2: Vergleich der Flächenanteile in Sachsen mit den REGKLAM-Betrieben (2008)

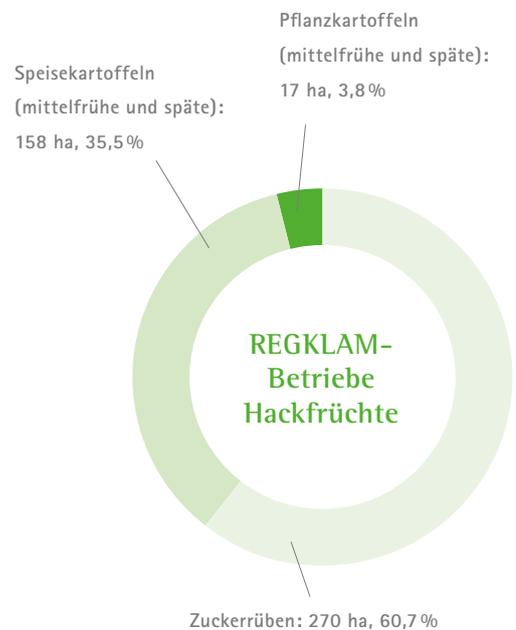
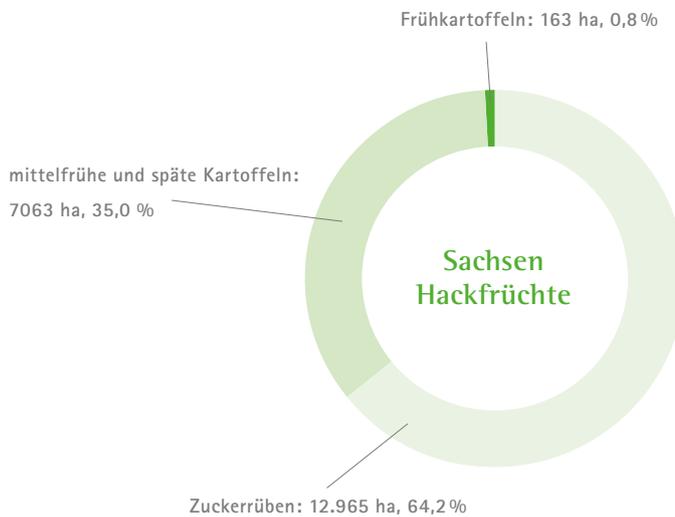
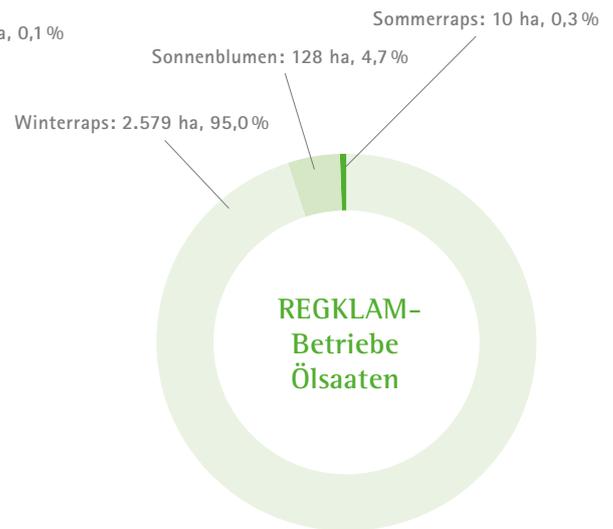
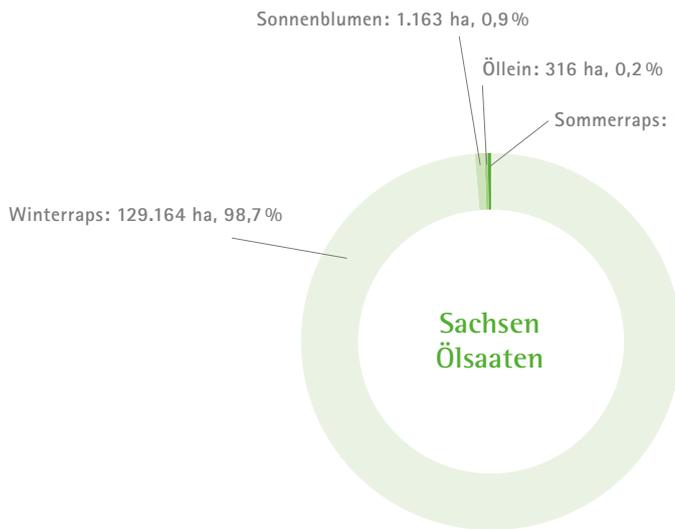


Es zeigt sich, dass die ausgewählten Beispielbetriebe hinsichtlich der Anbauanteile einen weitgehend repräsentativen Überblick über die Gesamtverhältnisse in Sachsen zulassen. Gute Übereinstimmungen finden sich bei Getreide, Ölsaaten, Ackerfutter, Hackfrüchten und Hülsenfrüchten (vgl. Abb. 3). Größere Abweichungen treten bei Dauergrünland, mehrjährigen und Dauerkulturen sowie Gemüse auf. Diese Abweichungen sind jedoch zum einen in der Auswahl der Beispielregion und in der Zielstellung des Projektes begründet. Ein Großteil des Dauergrünlandes in Sachsen befindet sich im Erzge-

birge und Vogtland. Diese nehmen jedoch nur einen kleineren Teil der REGKLAM-Region ein, so dass deren Anteil etwas unterrepräsentiert ist. Mehrjährige- und Dauerkulturen beinhalten z. B. Flächen des Obst- und Weinbaus. Ebenso wie Flächen zur Gemüseproduktion sind diese in den REGKLAM-Betrieben im Vergleich zu Gesamtsachsen etwas überrepräsentiert, da die Veränderungen und Anpassungsmöglichkeiten in diesen Bereichen auch Hauptthemen im Projekt darstellen.

Abbildung 3: Vergleich der Flächenanteile einzelner Kulturen in Sachsen mit den REGKLAM-Betrieben (2008)





Hinsichtlich der Einzelkulturen (vgl. Abb. 3) zeigen sich, v. a. bei den Hauptkulturen, sehr gute Übereinstimmungen zu den gesamt-sächsischen Verhältnissen.

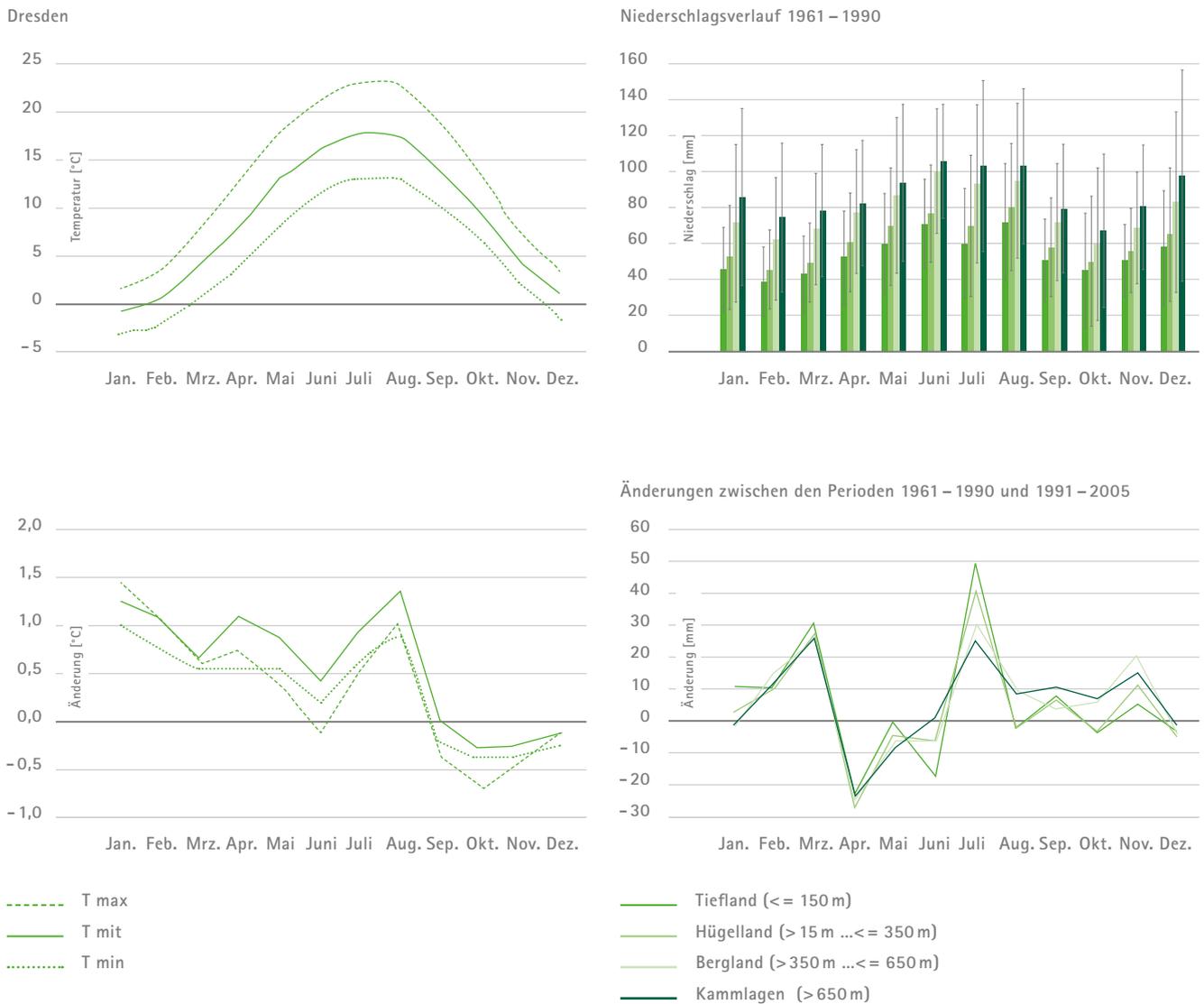
1.4. Betroffenheit der Betriebe durch den Klimawandel

Hinsichtlich der Veränderungen von Temperatur und Niederschlägen sind weniger die mittleren Jahreswerte ausschlaggebend für die landwirtschaftliche Produktion, sondern die Veränderungen bzw. Verschiebungen im Jahresverlauf bzw. innerhalb der Vegetationsperiode. In Abbildung 4 sind die Veränderungen der Temperatur und des Niederschlages zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2005 für Dresden dargestellt (Quelle: LfULG 2009a).

Gerade die Veränderungen in den Monaten März und April, sowie Juli und August sind für die Landwirtschaft negativ zu bewerten. Auf

ein um bis zu 30 % feuchteren März folgt ein deutlich wärmerer und trockenerer (-25 %) April. D. h. in einer Zeit, in der die wachsende Pflanze unbedingt Wasser benötigt, wird es weniger, die Frühjahrs- und Frühsommertrockenheit (auch Juni) nimmt zu. Demgegenüber wurde der Juli im Durchschnitt sehr viel feuchter (bis zu + 50 %). Juli und August deutlich wärmer. Gerade für die Getreideernte ist das eine sehr negative Veränderung. Der Herbst zeigt tendenziell geringe Veränderungen mit leicht abnehmenden Temperaturen und gleich bleibenden bis leicht ansteigenden Niederschlägen.

Abbildung 4: Klimatische Veränderungen für die Region Dresden zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2005 (LfULG 2009a)

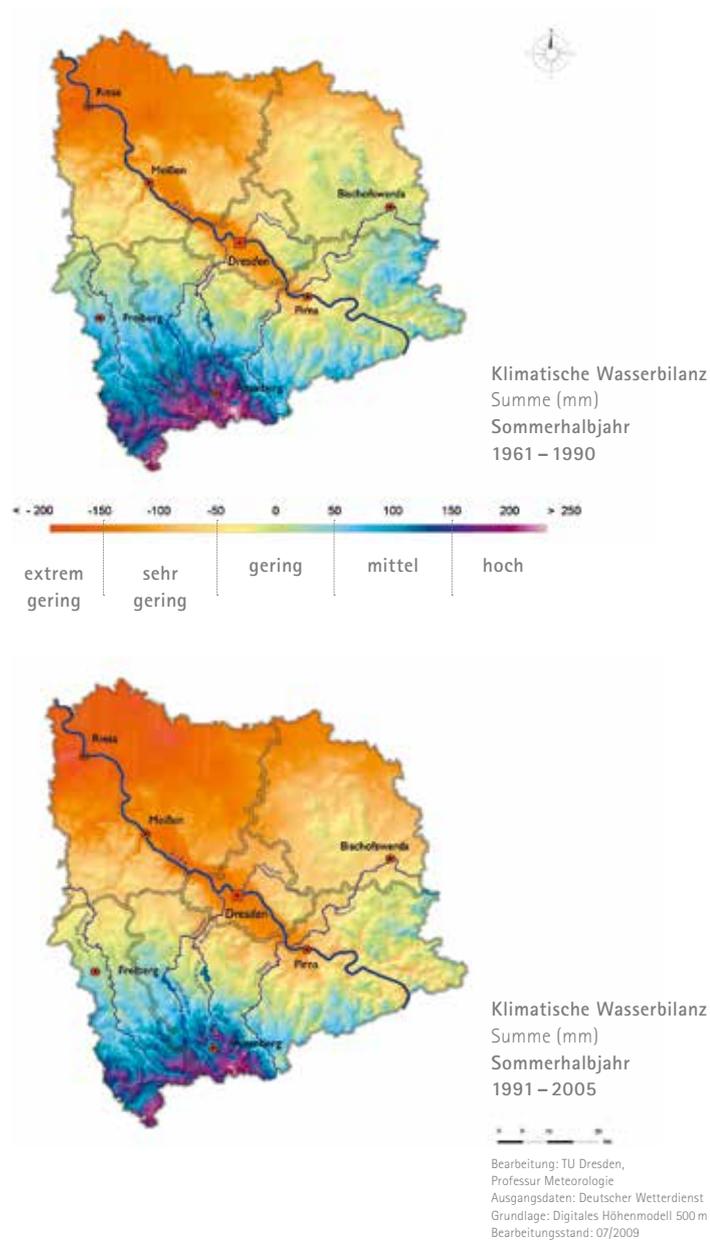


Zusammenfassend findet eine Verschiebung der Niederschläge vom Frühjahr/Frühsummer in den Sommer statt. Das führt in der Pflanzenproduktion dazu, dass in Zeiten, in denen Wasser benötigt wird, dieses fehlt, und in Zeiten, in denen, zumindest beim Getreide die Entwicklung abgeschlossen ist und eher trockene Erntebedingungen erforderlich wären, mehr Niederschlag fällt. Hierbei ist auch auf weitere Effekte wie Bodenverdichtungen bei Befahrung unter feuchten Bedingungen und Zunahme der Bodenerosion durch sommerliche Starkniederschläge bei geringer Bodenbedeckung nach der Ernte hinzuweisen. Hinzu kommt, dass die Niederschläge im Sommer unter Klimawandelbedingungen zunehmend in Form von Starkregenereignissen auftreten, wodurch gerade kurz nach der Getreideernte bzw. nachfolgenden Bodenbearbeitungsgängen die Erosionsgefahr stark ansteigen kann.

Für die Bestimmung der Trockenstressgefahr sind die Klimatische Wasserbilanz (KWB – Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Verdunstung) und die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFK_{WE}) als Nachlieferungspotenzial aus dem Boden ausschlaggebend.

Abbildung 5 zeigt die Änderung der Klimatischen Wasserbilanz für die REGKLAM-Region zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2005. Es wird deutlich, dass sich die KWB in allen Regionen verringert. Vor allem im Norden der Region und im Elbtal finden sich Bereiche mit negativer KWB und sehr geringen bis extrem geringen Werten. Dies sind auch die Regionen mit der höchsten Trockenstressgefahr, da hier auch vorwiegend sandige Böden mit geringem Ausgleichspotenzial vorherrschen (vgl. Abb. 7).

Abbildung 5: Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz für die REGKLAM-Region Dresden zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2005 (Bernhofer et al. 2010)



Bis zum Jahr 2050 ist nach Untersuchungen des LfULG (2009) mit einer weiteren Abnahme der klimatischen Wasserbilanz in der REGKLAM-Region zwischen ca. -50 bis -80 mm zu rechnen (vgl.

Tab. 1). Dadurch wird sich v. a. im nördlichen Teil der Region die Versorgungssituation weiter anspannen und tendenziell zu zunehmenden Trockenstressereignissen führen.

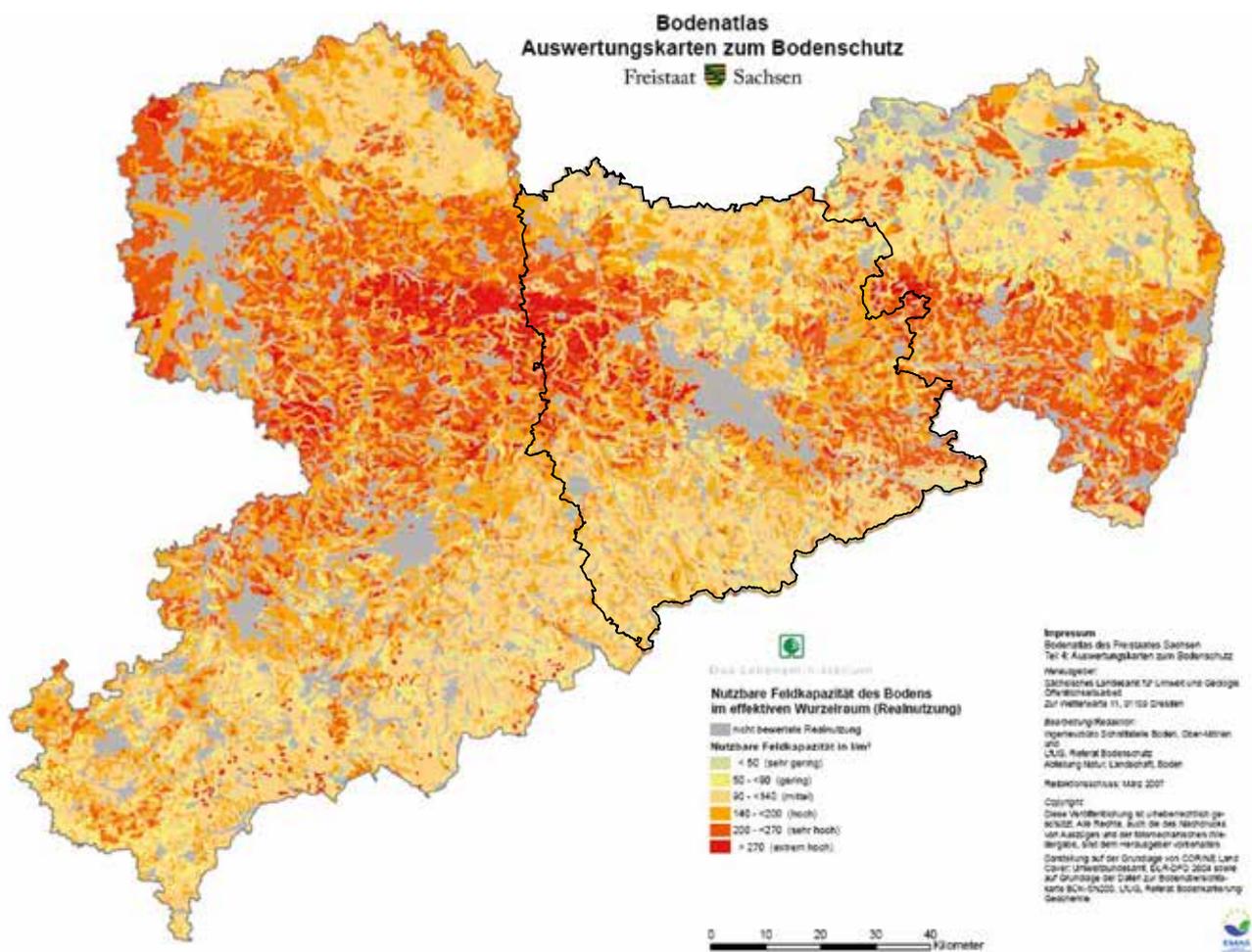
Tabelle 1: Veränderung der klimatischen Wasserbilanz in der REGKLAM-Region Dresden bis 2050 (LfULG, 2009b)

Veränderungen (Min ... Mittel ... Max):		Jahr:	
Winter	-18 ... +11 ... +28 mm	Frühjahr	-55 ... -30 ... -24 mm
Sommer	-118 ... -64 ... +2 mm	Herbst	+18 ... +23 ... +28 mm

Neben den atmosphärischen Veränderungen in Form von tendenziell zunehmender Verdunstung und abnehmenden Niederschlägen in der Vegetationsperiode spielt die Nachlieferung von Wasser aus dem Boden bzw. die Fähigkeit des Bodens zur Pufferung längerer Trockenphasen eine große und zukünftig zunehmende Bedeutung. Ein Indikator hierfür ist die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nFK_{WE}). In Abbildung 6 wird deutlich, dass die Lößböden hierbei die höchsten Werte zeigen. Substratbedingt zeigen

die Sandstandorte niedrige Werte der nFK_{WE} und sind u. a. auch daher (und zusätzlich abnehmenden, negativen KWB) hinsichtlich der Trockenstressgefahr in der Region am höchsten einzustufen. Die Böden der Verwitterungsstandorte im Erzgebirge und Vorland sind hinsichtlich der nFK_{WE} aufgrund ihrer relativen Flachgründigkeit als mittel bis gering einzuordnen.

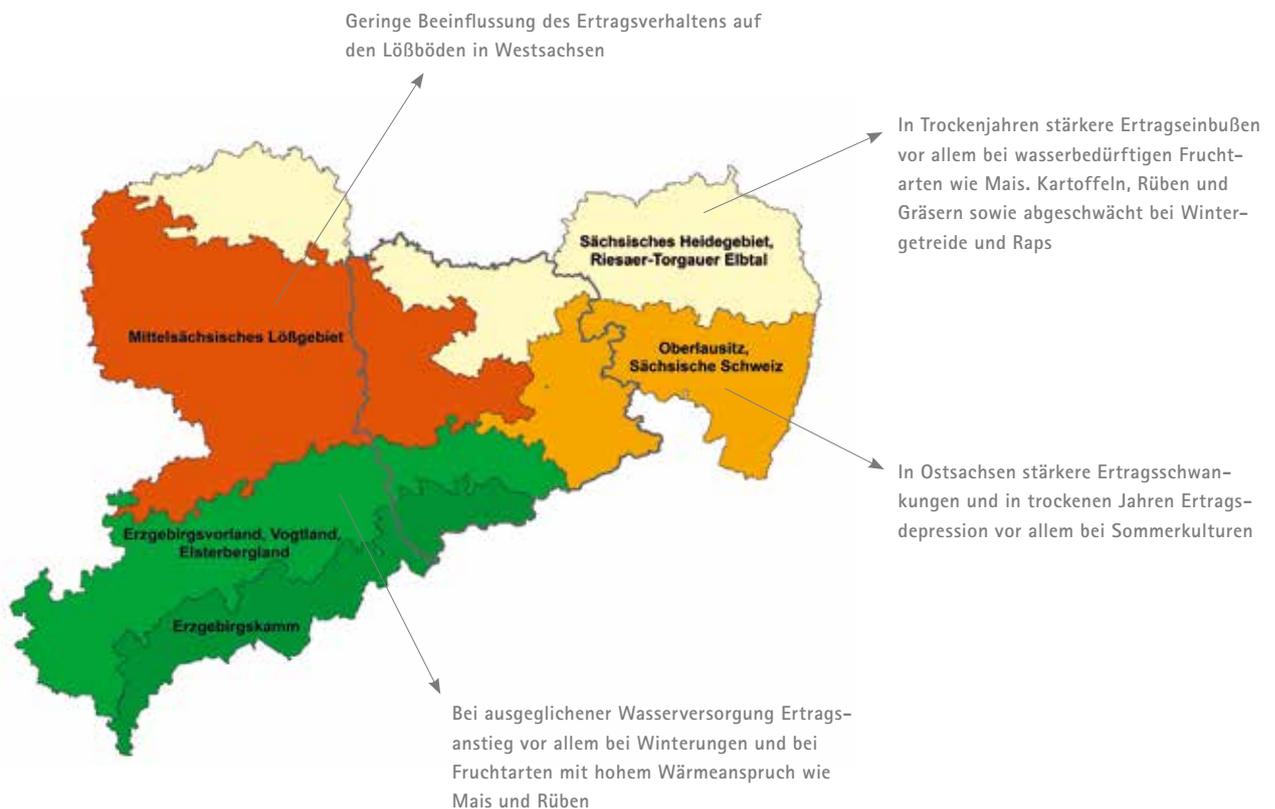
Abbildung 6: Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums in der REGKLAM-Region Dresden (LfULG 2008, Bodenatlas Sachsen)



Ertragsentwicklung

Die klimatischen Veränderungen haben unter anderem auch Auswirkungen auf die Ertragsentwicklung und -stabilität. Diese wurden vom LfULG (2009) in ihrer regionalen Tendenz spezifiziert und sind in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 7: Regional differenzierte Entwicklung der Erträge



Vor allem in den nördlichen und östlichen Teilen Sachsens auf sandigen Böden ist demnach zukünftig in Trockenjahren mit stärkeren Ertragseinbußen v. a. bei wasserbedürftigen Kulturen und einer höheren Ertragsvariabilität zu rechnen. Auf den besseren Lößböden wird demgegenüber mit geringeren Ertragsveränderungen, auch aufgrund des hohen Ausgleichpotenzials dieser Böden, gerechnet. Bei ausgeglichener Wasserversorgung werden auf den V-Standorten in Gebirgs- und Vorgebirgslage aufgrund zunehmender Temperaturen und einer verlängerten Vegetationsperiode eher ansteigende Erträge erwartet.

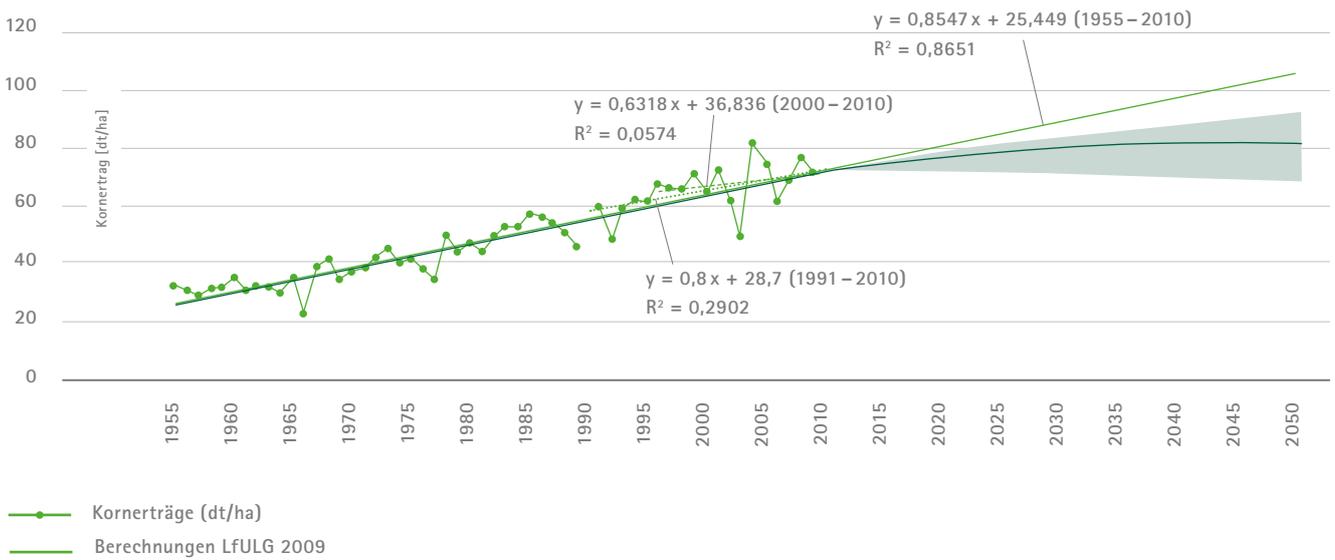
In Abbildung 8 ist der Ertragsanstieg für die Hauptkultur Winterweizen für Sachsen von 1955–2010 und eine Projektion der zukünftigen Entwicklungen bis 2050 mit dem Modell Yieldstat nach LfULG (2009) dargestellt. Es wird deutlich, dass Ertragsteigerungen seit den 1990er kontinuierlich zurückgehen. Nach den Projektionen mit dem Modell Yieldstat wird sich dieser Trend auch zukünftig fortsetzen. Je nach Berücksichtigung des technischen Fortschritts

und des positiven Effektes ansteigender CO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre sind bis 2050 im positiven Fall leichte Ertragssteigerungen, im negativen Fall (ohne technischen Fortschritt und ohne CO_2 -Anstieg) aber auch Ertragsabnahmen möglich.

Bei Betrachtung unterschiedlicher Zeitabschnitte wird die Entwicklung der Ertragsanstiege deutlicher. Im Gesamtzeitraum 1955–2010 ist ein mittlerer Ertragsanstieg pro Jahr von 0,85 dt/ha zu verzeichnen. Von 1991–2010 sind es noch 0,8 dt/ha pro Jahr und von 2000–2010 liegt der mittlere Ertragsanstieg bei 0,63 dt/ha pro Jahr. Hieraus wird deutlich, dass der durchschnittliche Ertragsanstieg in den letzten Jahren schwächer ausgefallen ist. Dabei fällt weiterhin auf, dass diese letzten zehn Jahre von sehr starken Ertragsschwankungen zwischen den Einzeljahren geprägt sind, welche in den vorangegangenen Betrachtungsjahren so nicht zu verzeichnen sind. Mit dem Klimawandel einhergehende Unsicherheiten und Risiken stellen eine besondere Herausforderung für die Betriebsführung im Pflanzenbau dar (Strugale, 2009).



Abbildung 8: Ertragsentwicklung von Winterweizen für Sachsen von 1955 bis heute und eine Projektion mit dem Modell Yieldstat bis 2050 (LfULG 2009)



2. Sortenstrategien und Bestandesführung

2



2.1. Sortenstrategie

Maßnahmen der Sortenstrategie als Anpassungsmaßnahme im Bezug auf Klimaveränderungen schätzen die in REGKLAM beteiligten Landwirte zu 75–88 % als sehr relevant ein (Schindler 2010). Im Einzelnen wurde die Bedeutung des

- Anbaus neuer, trocken toleranter Sorten (75 %)
- Einsatzes robusterer Sorten (75 %)
- Anbaus mehrerer Sorten mit unterschiedlichem Wuchs- und Abreifeverhalten (88 %)

im Rahmen einer Befragung (Diplomarbeit) abgefragt.

Die Sortenwahl im Einzelbetrieb ist jedoch in hohem Maße vom Standort, den Betriebsbedingungen, -zielen und Erfahrungen etc. geprägt. Generelle Kriterien und deren prinzipielle Reihenfolge bei der Sortenwahl gibt Sacher (2010) für das Beispiel Getreide wie folgt an:

- Produktionsziel
- Kriterien der Qualität/Verarbeitung
- Ertrag
- Resistenzsituation (z. B. Blatt-, Fuß-, Ährenkrankheiten)
- Anbaueigenschaften (z. B. Reife, Standfestigkeit, Winterfestigkeit)

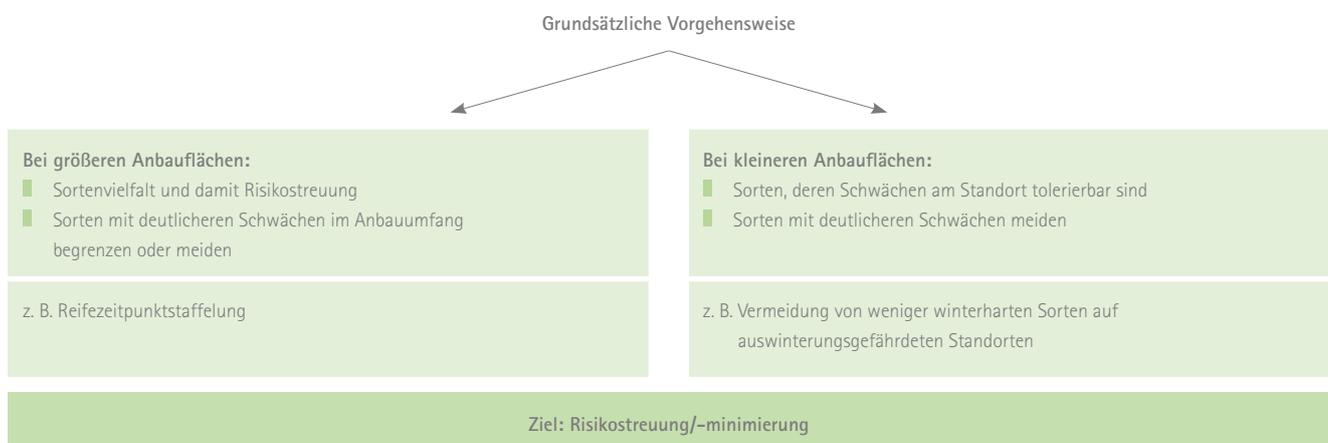
Hierbei ist z. B. die Trockentoleranz einer Sorte nur einer von vielen zu berücksichtigen den Parametern. Prinzipiell geht es darum, standortbezogen möglichst gute und qualitativ hochwertige Erträge zu erzielen. Gerade in Extremjahren (z. B. Trockenjahr 2003, Feuchtejahr 2010) wird dies jedoch zunehmend schwieriger. Bei steigender Variabilität der Witterung sind daher zukünftig Sorten gefragt, die unter verschiedenen Bedingungen stabile Erträge liefern können.

Züchtung und Sortenprüfung laufen kontinuierlich ab und berücksichtigen dabei die Bedingungen der unmittelbar zuvor liegenden Jahre. Von der ersten Bearbeitung bis zur Markteinführung einer Sorte können dabei mehr als 10 Jahre vergehen, deren Witterungsverläufe und Extreme damit auch schon bei der Auswahl der Sorten berücksichtigt wurden. Der Klimawandel ist ein „schleichender“ Prozess (zumindest bei Betrachtung der mittleren Verhältnisse), so dass gravierende Sortenanpassungen zum einen über längere Zeiträume erforderlich werden und somit durch den Prozess der Züchtung teilweise abgedeckt werden. Jedoch nehmen zum anderen die Extreme zu, so dass sich zunehmend Sorten durchsetzen werden, die sich in Jahren mit (häufigen) Extremen und bei unterschiedlichen Extremen (trockene und feuchte Bedingungen zu unterschiedlichen Wachstadien) bewährt haben.

Das grundsätzliche Vorgehen bei der Erarbeitung einer Sortenstrategie mit dem Ziel der Risikostreuung in Abhängigkeit der Flächen- und Anbaugrößen zeigt Abbildung 9 (Sacher 2010).



Abbildung 9: Sortenstrategien in Abhängigkeit der Flächen- bzw. Anbaugröße (Sacher 2010)



Hinsichtlich der Bestandesführung sind zukünftig bei höheren Temperaturen, verlängerter Vegetationsperiode, aber geringeren Niederschlägen und damit erhöhter Trockenstressgefahr die Möglichkeiten der Anpassung von Aussaatzeiten und Saatstärken zu prüfen.

Die Verschiebung der Saatzeitpunkte aufgrund späteren Vegetationsendes im Herbst und früheren Vegetationsbeginns im Frühjahr bietet folgende Vorteile/Möglichkeiten:

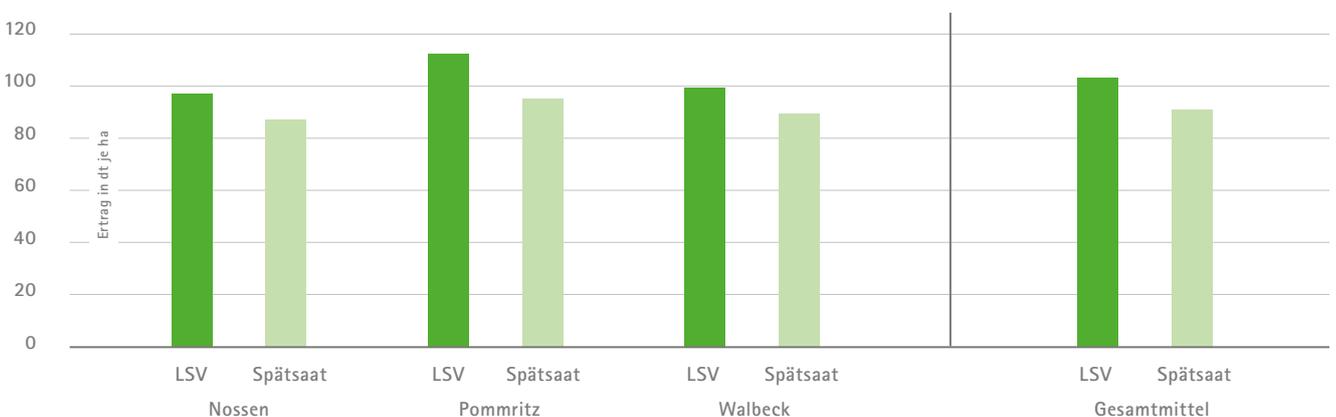
- Vermeidung von überwachsenen Beständen und zu hohem Krankheitsdruck bereits im Herbst
- Bessere Nutzung der Winterfeuchtigkeit und frühere Reife bei Winterungen und Sommerungen
- Steigende Anforderungen an Stresstoleranz: Wetterextreme, z. B. geringere Abhärtung durch stark unterschiedliche Witterungsphasen (steigendes Risiko)

Abbildung 10 zeigt Ergebnisse von Spätsaatversuchen aus Sachsen und Sachsen-Anhalt für Winterweizen. Bei derzeitigen Bedingungen führt eine spätere Aussaat im Mittel zu einem um ca. 10 % verminderten Ertrag, sodass sich eine späte Aussaat unter gegenwärtigen Bedingungen noch nicht auszahlt.



Abbildung 10: Vergleich der Erträge zwischen ‚Normalen‘ – und Spätsaatterminen am Beispiel des Winterweizens für Standorte in Sachsen und Sachsen-Anhalt (Sacher 2010)

Beispiel Winterweizen Spätsaatversuche (SN + ST) 2006 – 2008



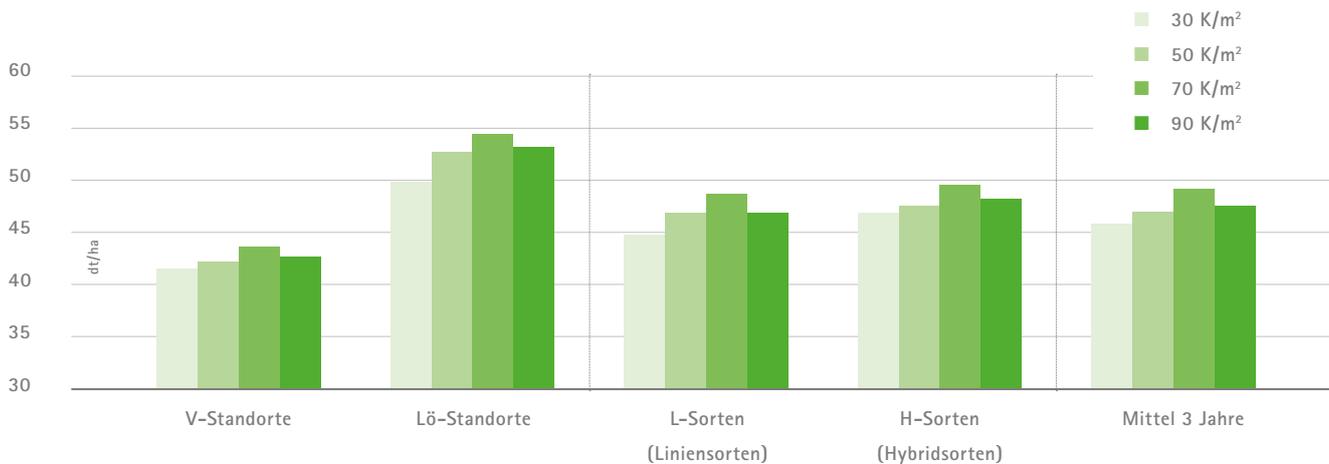
Bei fortschreitendem Klimawandel und größer werdenden Veränderungen ist jedoch davon auszugehen, dass sich aus oben genannten Gründen die ‚Normal‘-Termine allmählich weiter nach hinten schieben könnten.

- Stärkung der Einzelpflanze
- Verminderung des Konkurrenzdrucks um Wasser
- Ausbildung eines größeren, weiter verzweigten und tiefer reichenden Wurzelsystems

Auf Trockenstandorten und bei zunehmender Trockenstressgefahr bietet die Verringerung der Saatstärken eine mögliche Anpassungsmaßnahme. Hierdurch werden folgende Zielstellungen verfolgt:

Abbildung 11 zeigt Ergebnisse von Aussaatstärkenversuchen bei Winterraps.

Abbildung 11: Kornertrag in Abhängigkeit von der Saatstärke (Mittel über drei Jahre)
am Beispiel Wintererbsen (Karalus in Sacher 2010)



Saatstärke bei Wintererbsen:

- Linien- und Hybridsorten reagieren auf die Saatstärke gleich.
- Bei mittleren Aussaatterminen werden die höchsten Kornerträge beim Raps derzeit bei Saatstärken um 60 K/m² erreicht.
- Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kann eine Reduktion der Saatstärke bei Hybridsorten und auf Trockenstandorten, aus oben genannten Gründen, sinnvoll sein.
- Bei sehr dünnen Beständen muss mit einer schwierigeren Beerntbarkeit gerechnet werden.
- Die bisherigen empfohlenen Saatstärken sind nach wie vor gültig (für mittlere Aussaattermine):
 - L-Sorten: 60 – 80 K/m²
 - H-Sorten: 50 – 60 K/m²

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Züchtung und Sortenprüfung sind „up-to-date“, d. h. beide laufen kontinuierlich ab und berücksichtigen dabei die Bedingungen der unmittelbar zuvor liegenden Jahre. Der Klimawandel ist ein „schleichender“ Prozess (zumindest bei Betrachtung der mittleren Verhältnisse). Somit sind gravierende Sortenanpassungen nur über längere Zeiträume erforderlich. Jedoch nehmen die Extreme zu, so dass sich zunehmend Sorten durchsetzen werden, die sich in Jahren mit (häufigen) Extremen bewährt haben.

Maßnahmen der Aussaatzeiten- und Saatstärkenanpassung zeigen derzeit in den Versuchen noch keine Vorteile, stellen jedoch zukünftig bei fortschreitendem Klimawandel Möglichkeiten der standortbezogenen Anpassung dar.

Notwendig ist die Begleitung des Anpassungsprozesses und eine zeitnahe Ableitung notwendiger Maßnahmen: kontinuierliche Fortführung der Züchtung und Prüfung (LSV) auf ausreichender Anzahl von differenzierten Standorten in Anbaugebieten (v. a. Stressstandorten) für einen optimalen Auswahlprozess und eine zukünftig bessere Anpassung an klimatische Veränderungen.

Hierzu sind u. a. ein schlagkräftiges und funktionsfähiges Züchtungs- und Sortenprüfwesen und kontinuierliche oder zumindest in bestimmten Zeitabständen durchzuführende Versuche zur Ermittlung von notwendigen Korrekturen bei wichtigen Systemgrößen (z. B. Saatzeitpunkte und Saatstärken) notwendig.

Abbildung 12 zeigt zur Übersicht das Sortenspektrum von Winterweizen der Landessortenversuche in Sachsen für das Jahr 2010.



Abbildung 12: Beispiel des Sortenspektrums für Winterweizen in den Landessortenversuchen (LSV) im Jahr 2010

Sorte	Prüfstandorte				Qual.-gr.	Züchter/Vertrieb	Zulass.-Jahr
	D-Süd	Lö-Ebene	Lö-Überg.	V-ST.			
Akteur	x	x	x	x	E	DSV/IG	2003
Skagen		x	x	x	E	Eckendorf/SU	2006
Adler		x	x		E	KWS Lochow	2008
Event		x	x	x	E	SZ Breun/BayWa	2009
Phillip	EU		x	x	(E)	Hauptsaat	EU
Cubus		x	x	x	A	KWS Lochow	2002
Türkis	VRS	x	x	x	A	Hadm/SW Seed	2004
Akratos		x		x	A	Strube/SU	2004
Toras			x		A	Hadm/SW Seed	2004
Impression		x		x	A	Schweiger/IG	2005
Boomer			x		A	Dieckmann	2005
Brilliant		x	x	x	A	SW Seed	2005
Schamane			x		A	Engelen/IG	2005
Chevalier	EU	x	x	x	(A)	DSV/IG	EU
Potenzial		x	x	x	A	DSV/IG	2006
Kranich			x		A	SW Seed	2007
Esket		x	x		A	Ragt	2007
Format			x		A	Schweiger/IG	2007
Jenga			x	x	A	Ackermann/BayWa	2007
Pamier			x		A	SW Seed	2008
JB Asano	VRS	x	x	x	A	SZ Breun/BayWa	2008
Kerubino	EU	x	x	x	(A)	SZ Schmidt/IG	EU
Julius	VRS	x	x	x	B	KWS Lochow	2008
Manager			x		B	Schweiger/IG	2006
Mulan		x	x	x	B	Nordsaat/SU	2006
Kredo		x	x	x	B	SU	2009
Premio	EU	x	x	x	(B)	Hauptsaat	EU
Hermann		x		x	C	Nickerson	2004
Tabasco		x	x	x	C	Eckendorf/SU	2008
Hyland ¹⁾				x	C	SU	2009
Genius			x	x	E	Nord/SU	2010
Florian			x		E	Petr/SU	2010
Famulus			x		E	SAKA/IG	2010
Arktis			x	x	E	DSV/IG	2010
Meister		x	x	x	A	RAGT	2010
Sailor		x		x	A	Syngenta	2010
Regent			x	x	A	Schweiger/BayWa	2010
Edgar		x	x	x	B	Limagrain	2010
Linus				x	B	RAGT	2010
Lear			x		C	Liagrain	2010
KWS Erasmus			x	x	C	KWS Lochow	2010
Discus		x			A	Saka/IG	2007
Global		x			B	RAGT	2009

Im Jahr 2010 waren über 40 Weizensorten in der Prüfung der LSV. Hieraus werden standortabhängige Sortenempfehlungen u. a. auch für Trockenstandorte im Bereich D-Süd-Standorte.

Aktuelle Ergebnisse zu Landessortenversuchen sind online zu finden (<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/1646.htm>). Weiterhin werden die Sortenversuche auf Feldtagen des LfULG vorgestellt und erläutert.

Aus diesen Empfehlungen lassen sich daher auch Sorten ableiten, die entweder:

- besonders geeignet für Trockenstandorte sind,
- unter einer Vielzahl von Standortbedingungen gute Erträge und Qualitäten liefern oder
- besonders geeignet für bestimmte standortbedingte Probleme (Krankheiten, Witterung etc. z. B. hinsichtlich Resistenzen, Standfestigkeit etc.) sind.

2.2. Fruchtfolgen



Die Fruchtfolge ist eine der wichtigsten Steuergrößen in der landwirtschaftlichen Produktion (Lorenz 2012c, Lorenz 2013). Sie entscheidet u. a. über den ökonomischen Erfolg (Ertrag, Vorfruchteffekte), die Arbeitsspitzen, den Krankheitsdruck, Betriebsmittel- und Technischeinsatz etc. Durch den zunehmenden Druck der Märkte (Rohstoffe: Nahrungsmittel und Energie) und eine gestiegene Spezialisierung haben sich die Fruchtfolgen in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten zunehmend verengt und werden zum Großteil von wenigen Kulturen bestimmt. Hierzu zählen Winterweizen, Winterrap, Wintergerste und zunehmend auch Mais. Regional gibt es jedoch erhebliche Differenzierungen.

In Kapitel 1.2 wurden die Anbauanteile der einzelnen Kulturen in Sachsen mit den Anteilen in den Betrieben verglichen. Um aber eine Aussage hinsichtlich der angebauten Fruchtfolgen in der REGKLAM-Region und deren regionale Unterschiede ableiten zu können, wurden schlagbezogene Daten aus unterschiedlichen Quellen des

Die Sortenwahl sollte jedoch an Standort und Betriebsstruktur (Produktionsziel) angepasst erfolgen, um eine optimierte Sortenwahl zu gewährleisten. Hierzu geben die Ergebnisse der LSV wichtige Hinweise und Ratschläge.

Standortabhängige Sortenempfehlungen werden weiterhin für die Kulturen:

- Wintergetreide,
- Sommergetreide,
- Ölsaaten (Raps, SB, Öllein),
- Silomais/Körnermais,
- Kartoffeln,
- Leguminosen

sowohl für den konventionellen als auch ökologischen Anbau getroffen. (<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/17658.htm>)

LfULG herangezogen. Hierzu zählen Schlagdaten der

- landwirtschaftlichen Dauertestflächen,
- ELER Begleitforschung, AUM Programm
- Düngberatung mit Hilfe des Beratungsprogramms BEFU

Insgesamt konnten so knapp 7.800 Schläge unter Ackernutzung in der REGKLAM-Region in die Auswertungen einbezogen werden.

Bei der Analyse der Daten wurde ein mehrstufiger, kombinierter Ansatz gewählt:

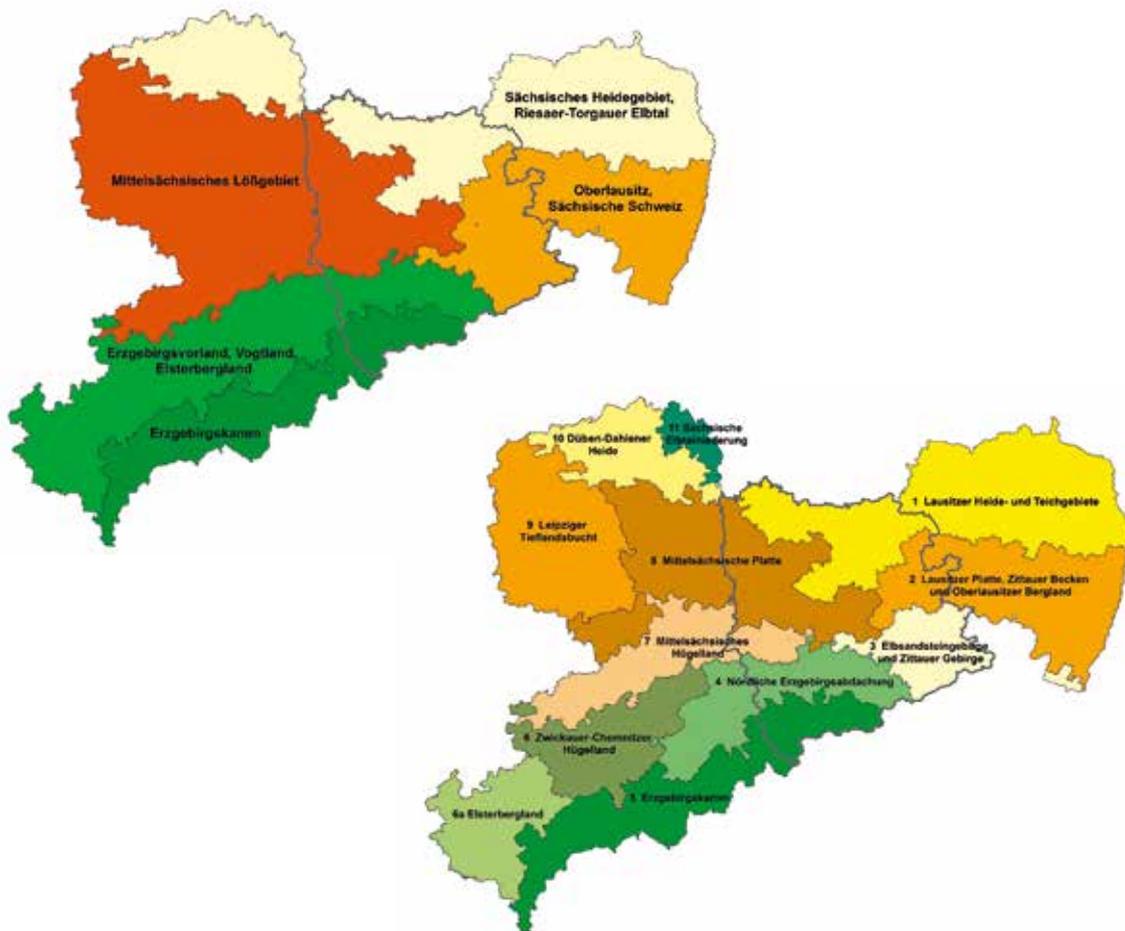
A. Kulturspezifisch:

1. Betrachtung regionaler Anbauanteile
2. Betrachtung von Kulturfolgen
3. Betrachtung von Fruchtfolgesequenzen

B. Regional:

1. Im ersten Schritt wurde eine Unterteilung hinsichtlich der regional bedingten Grundvoraussetzungen vorgenommen und damit nach der Lage in Agrarstrukturgebieten bzw. Vergleichsgebieten unterschieden (vgl. Abb. 13). Diese unterteilen Sachsen nach den natürlichen Bedingungen für die landwirtschaftliche Produktion, wie z. B. Boden, Klima, Wasserversorgung, Höhenlage, Relief und anderen ertragsrelevanten Faktoren, die für die landwirtschaftliche Produktion von Relevanz sind.
2. Im zweiten Schritt wurde darauf aufbauend verglichen, inwieweit sich die Fruchtfolgen regional unterscheiden und ob Teilregionen in ihren Tendenzen zusammengefasst werden können bzw. inwieweit regional sinnvoll unterschieden werden muss.

Abbildung 13: Agrarstrukturgebiete (oben) und Vergleichsgebiete (unten) in Sachsen



Kulturartenanteile

Aus Abbildung 14 wird deutlich, dass die oben erwähnten Kulturen (WW, WRaps, WG, SM) schon gut 75 % der einbezogenen Flächen belegen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die landwirtschaftlich guten Standorte in der Lößregion im vorliegenden Datensatz überrepräsentiert sind. In der regionalen Unterscheidung werden die Unterschiede deutlich (vgl. Abb. 16). Aufgrund der Ähnlichkeit der Kulturartenzusammensetzung in den Vergleichsgebieten (VG) 2 und 3, VG 4 und 5, sowie VG 7 und 8 wurden diese auf Ebene der Agrarstrukturgebiete zusammengefasst.

Abbildung 14: Kulturartenanteile aller untersuchten Datensätze (in der REGKLAM-Region)
(Lorenz 2011a)

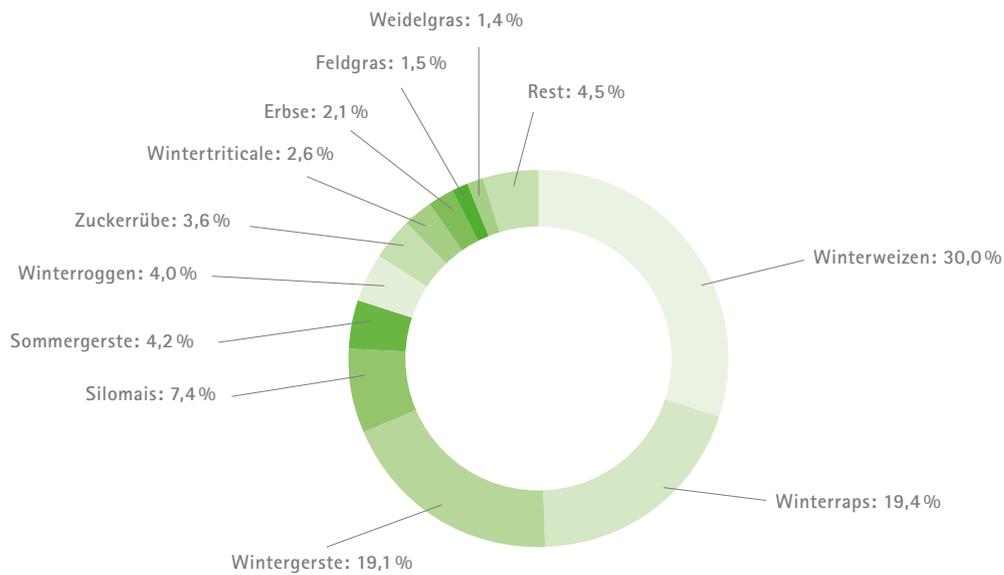


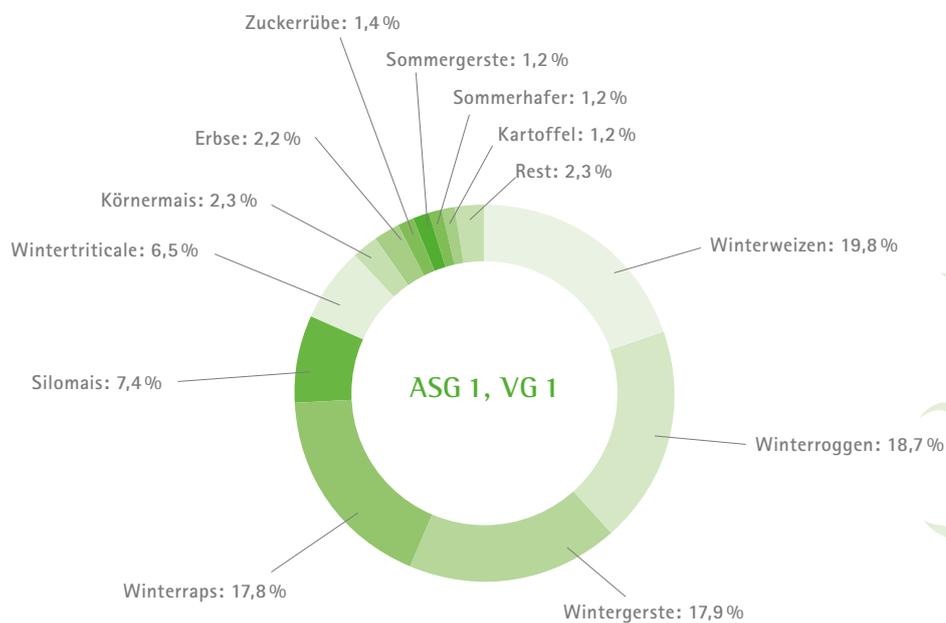
Abbildung 15 zeigt deutlich die Unterschiede zwischen den einzelnen Agrarstrukturgebieten (ASG). In ASG 2 und 3 (überwiegend Lößstandorte) finden sich die beschriebenen Hauptkulturen in ähnlicher Zusammensetzung wie für die Gesamtregion wieder. Dies widerspiegelt die große Bedeutung dieser Gebiete für die Landwirtschaft in Sachsen.

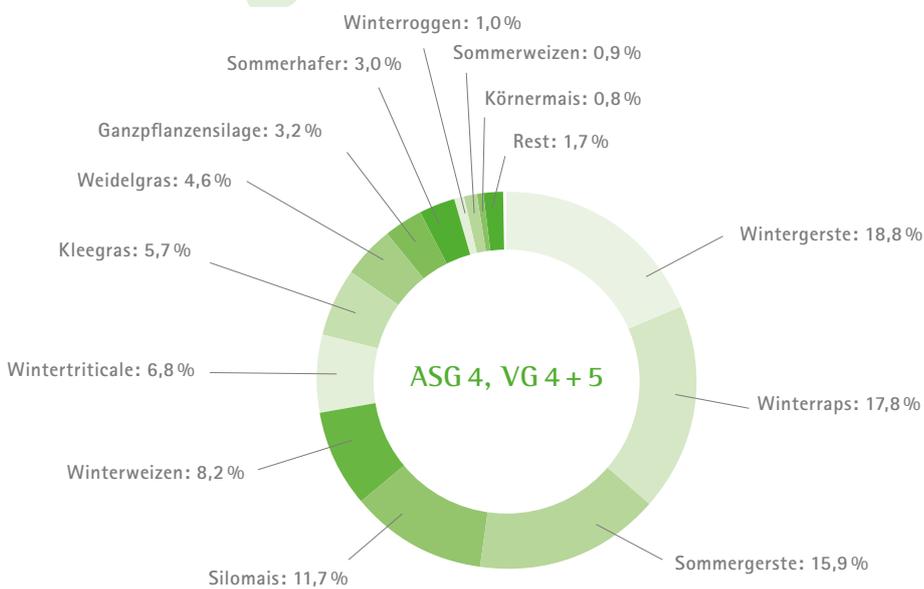
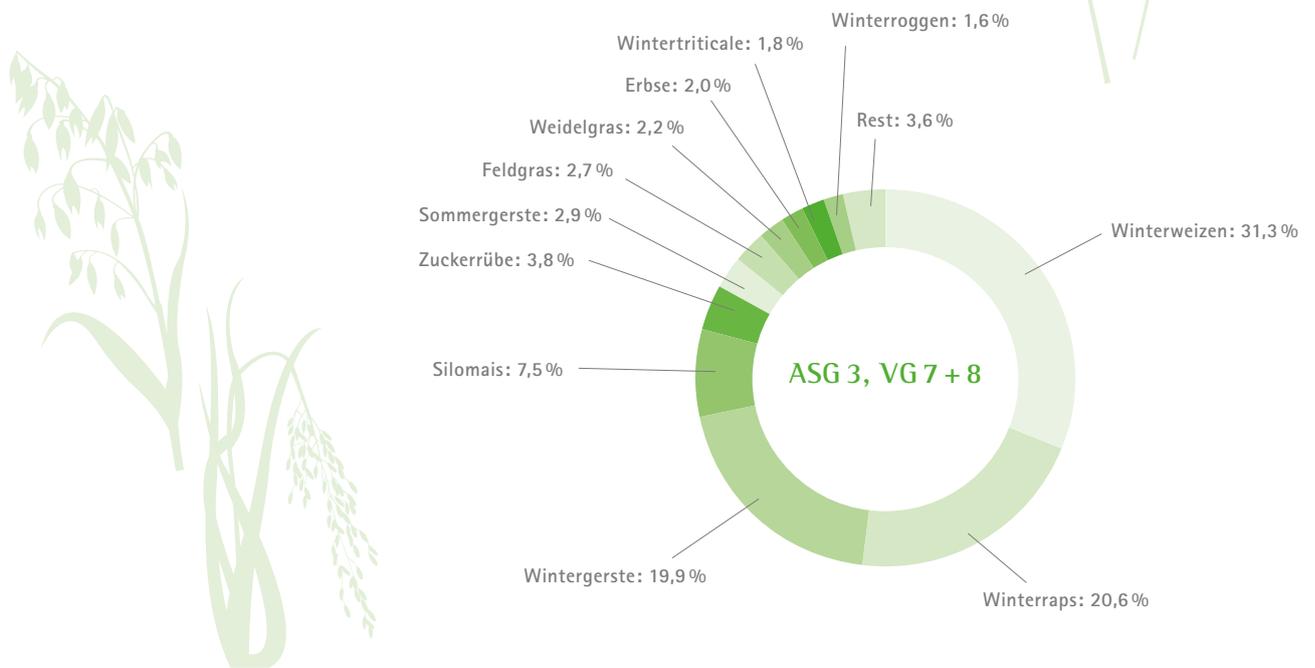
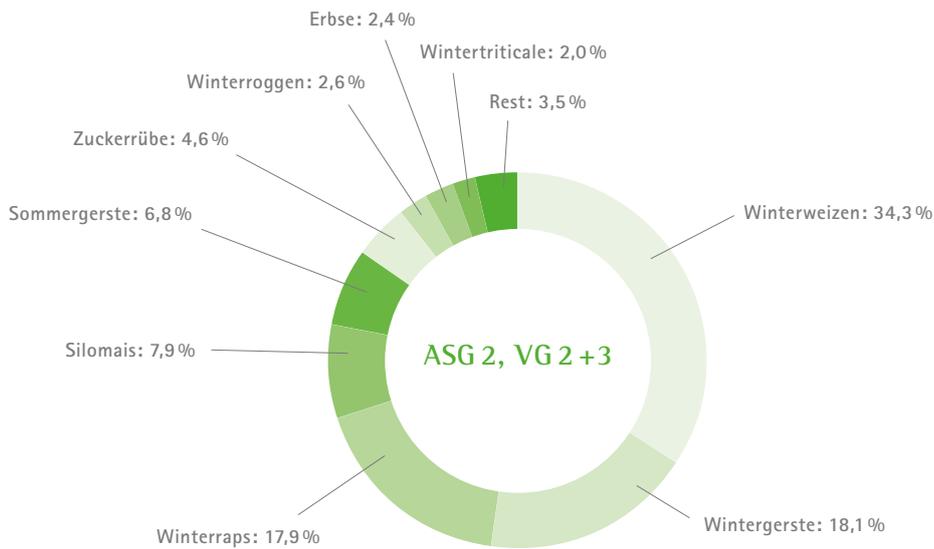
In ASG 1 (vorwiegend D-Standorte) hat, neben den beschriebenen Hauptkulturen, der Winterroggen (WR) größere Bedeutung. Dieser

kommt, im Vergleich zu anderen Wintergetreidearten, mit einer zeitweilig reduzierten Wasserversorgung (Zunahme Trockenstress) noch am besten zu recht und ist daher in diesen Bereichen konkurrenzfähig.

In ASG 4 (Erzgebirgsvorland und Erzgebirge) tritt der Winterweizen mit einem Anteil von ca. 8 % in den Hintergrund und die Sommergerste mit 16 % zählt hier, im Gegensatz zu den anderen ASG, zu den Hauptanbaukulturen.

Abbildung 15: Kulturartenverteilung in den Agrarstrukturgebieten/Vergleichsgebieten (ca. 7780 Schläge)
(Lorenz 2011a)





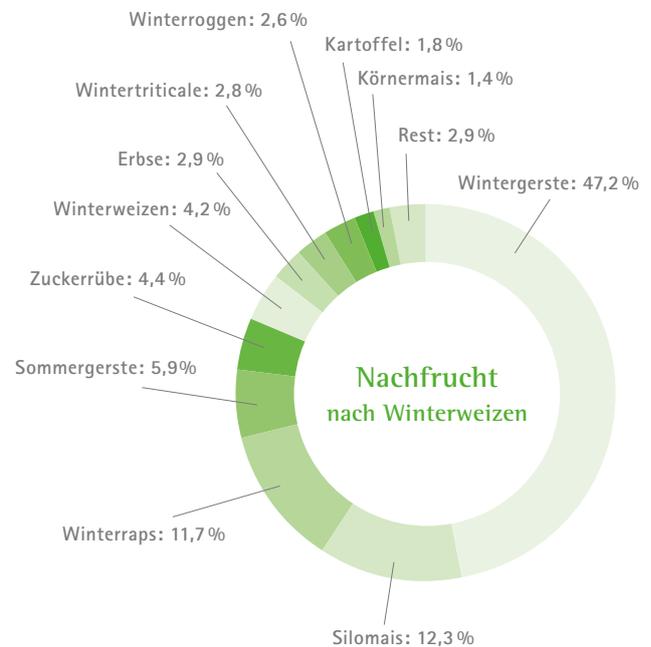
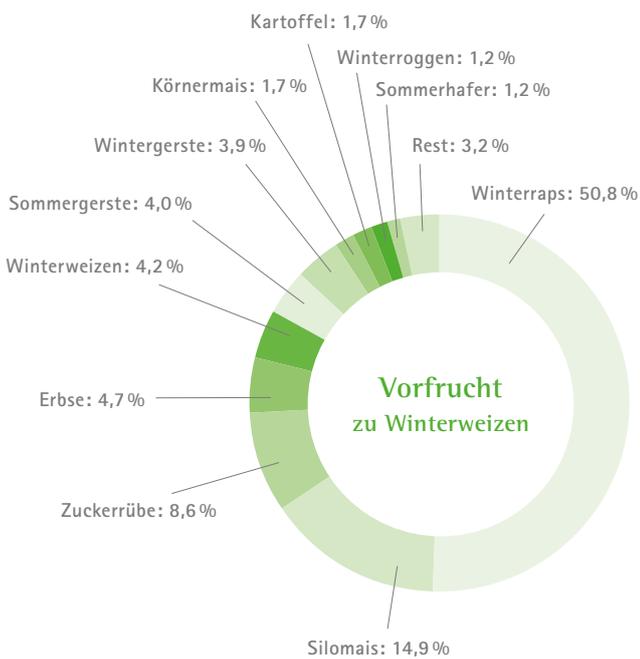
Kulturfolgen



Im nächsten Schritt wurden die Anteile der Vor- und Nachfrüchte zu einer Kultur regionsspezifisch bestimmt. Dies soll aufgrund der

Datenfülle hier für die Kultur Winterweizen beispielhaft dargestellt werden.

Abbildung 16: Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen in den Agrarstrukturgebieten/Vergleichsgebieten (ca. 7780 Schläge), (Lorenz 2011a)



Für die Gesamtregion zeigt Abbildung 16 die Vor- und Nachfrüchte zur Hauptkultur Winterweizen (WW). Mit über 50 % steht die Wintererbsen vor dem WW. Danach folgt in ca. 47 % der Fälle die Wintergerste (WG). Dies stellt auch eine der Hauptfruchtfolgen bzw. Fruchtfolgen-Sequenzen (WRaps – WW – WG) in der Region und

hier vor allem auf den Lößstandorten dar. Weitere Bedeutung haben der Silomais (SM) und die Zuckerrübe (ZR, ebenfalls auf den besseren Lößstandorten). Der Anteil der Weizenselbstfolge (Stoppelweizen) liegt bei gut 4 %. Die Abbildungen 17 – 20 zeigen die Unterschiede in den einzelnen ASG in der REGKLAM-Region.

Abbildung 17: Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 1 (nördlicher Teil der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal) (Lorenz 2011a)

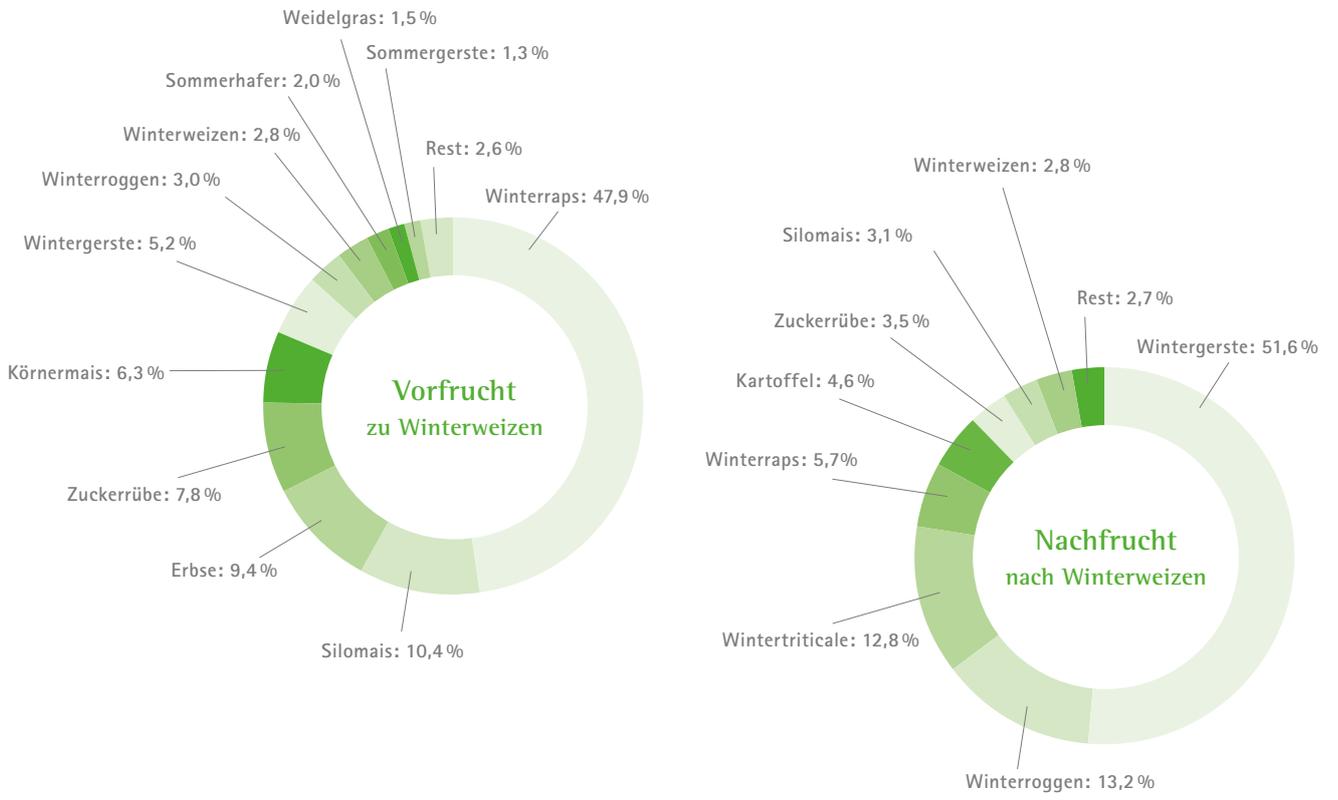


Abbildung 18: Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 2 und 3
(Mitte bis Südost der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, Lausitzer Platte, Elbsandsteingebirge)
(Lorenz 2011a)

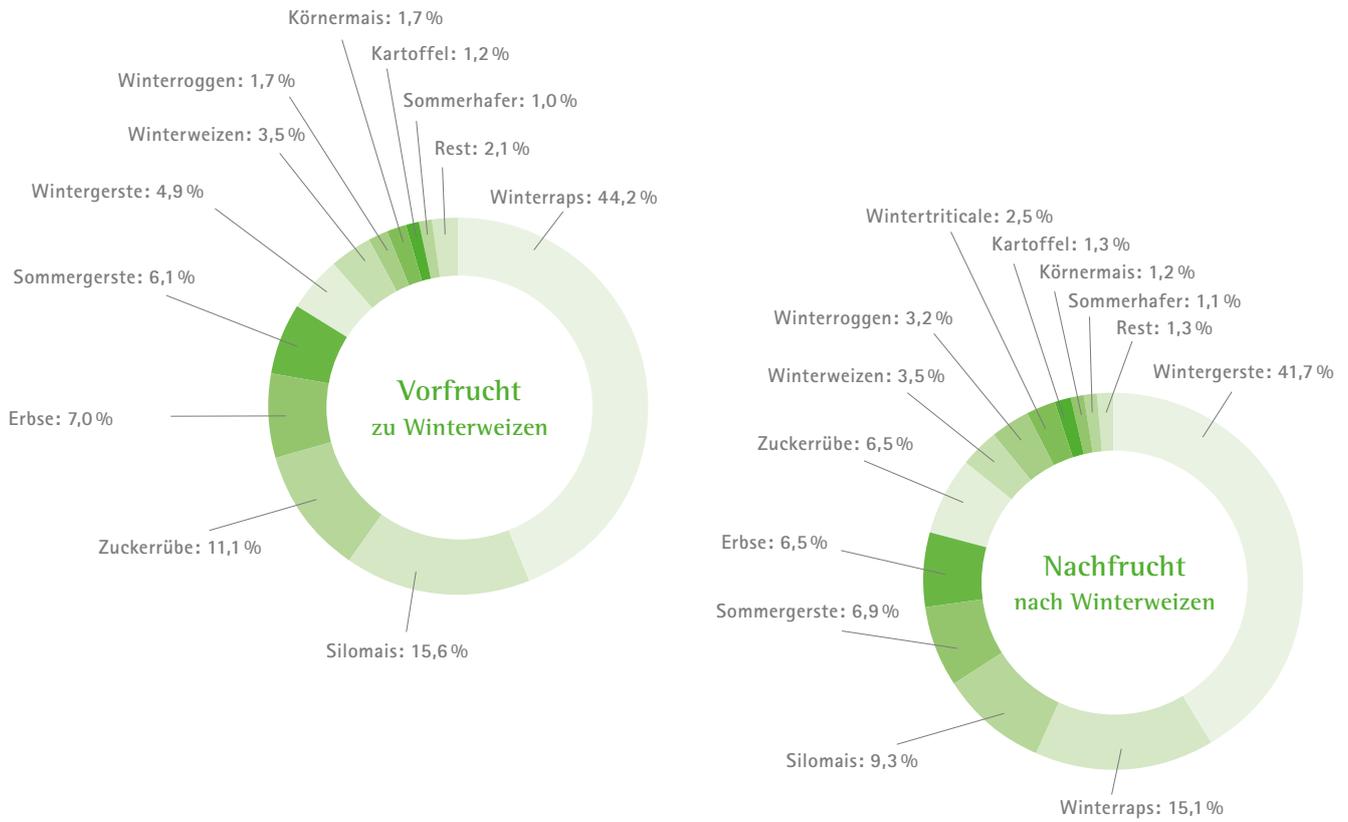


Abbildung 19: Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 4 und 5
(südlicher Teil der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, Erzgebirge und Erzgebirgsvorland)
(Lorenz 2011a)

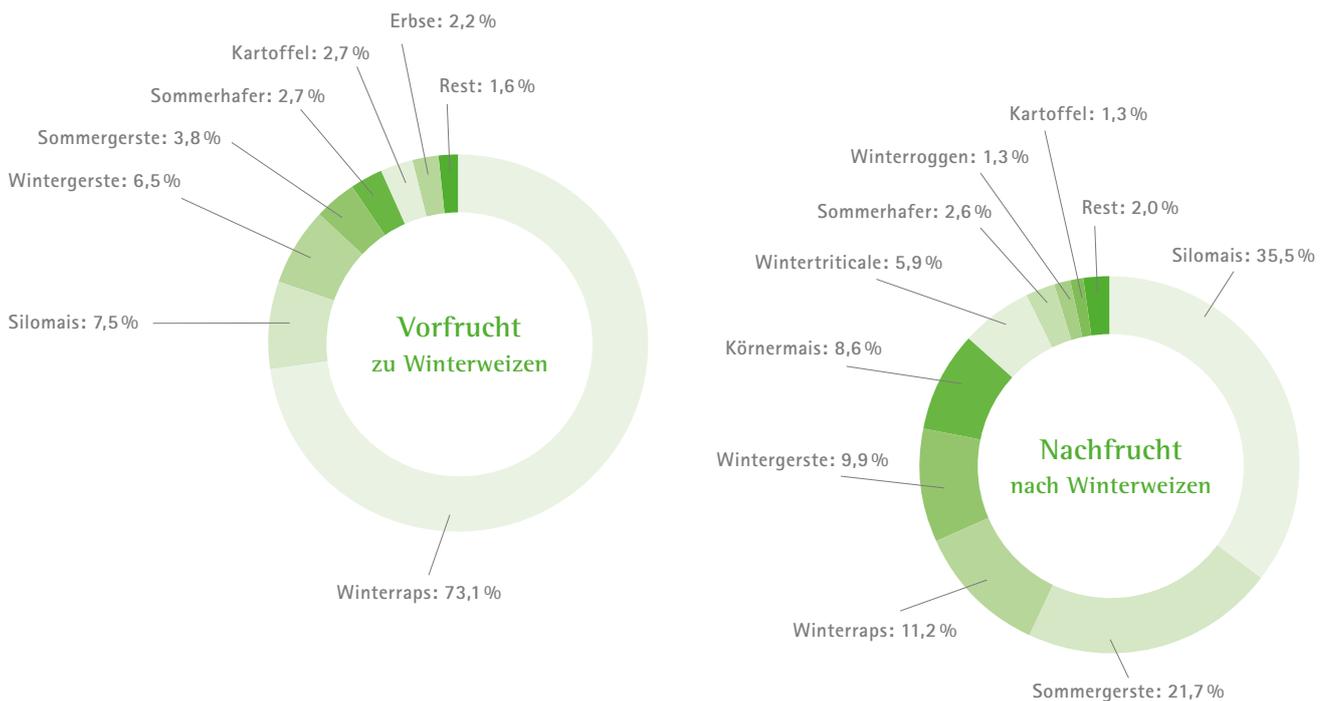
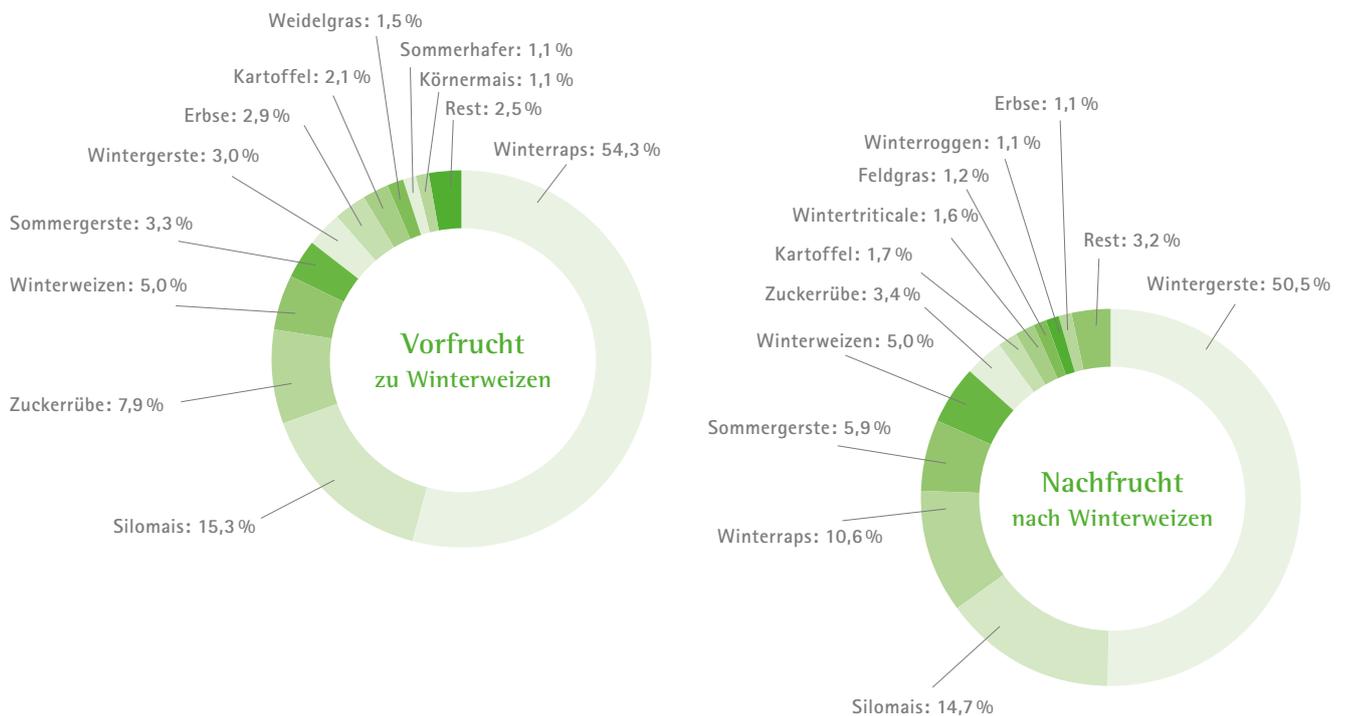


Abbildung 20: Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 7 und 8 (Mitte West der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, Lößhügelland) (Lorenz 2011a)



Auch hier zeigen die ASG 2 und 3 (überwiegend Lößstandorte) vergleichbare Kulturfolgen wie die Betrachtung der Gesamtregion (Gründe s. o.). Neben WRaps und WG spielen hier SM, ZR und z. T. auch SG und ER eine Rolle. Im ASG 1 (vorwiegend D-Standorte) treten als Vorfrucht neben WRaps auch SM, ER und ZR und als Nachfrucht WR und WT auf. Im ASG 4 (vorwiegend V-Standorte) sind SM, SG und WRaps die Hauptfolgekulturen nach WW.

Es zeigt sich, dass:

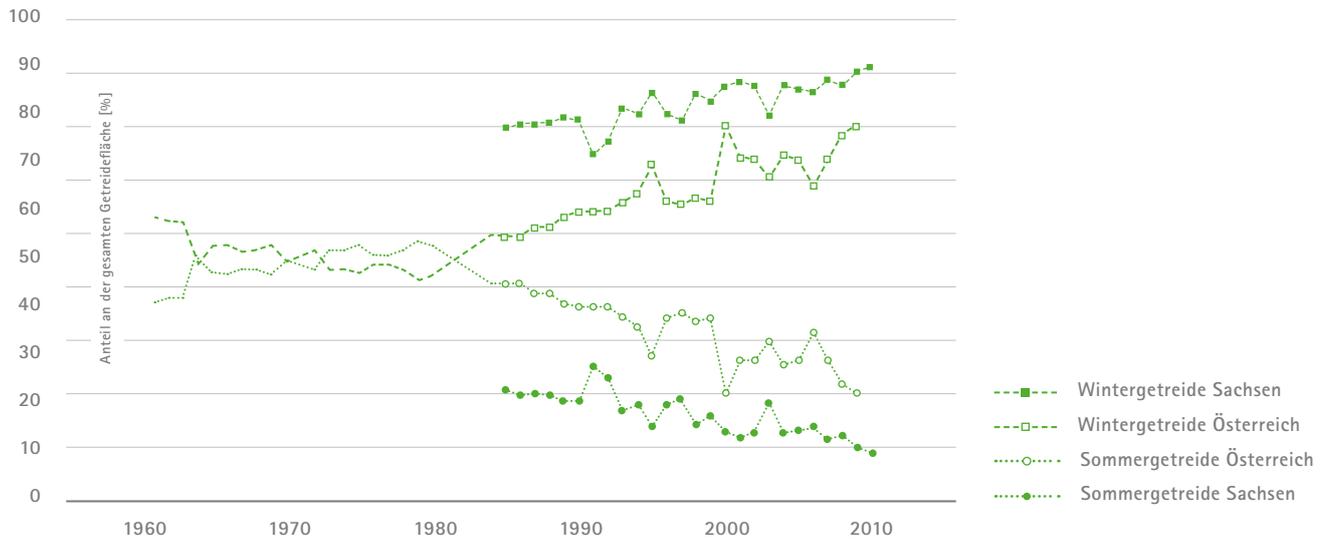
- die Fruchtfolgen regional z. T. sehr stark variieren und daher regional unterschieden werden müssen
- es keine generellen und einheitlichen Fruchtfolgen gibt, da jeder Betrieb zum einen alle vorhandenen Schläge für die Produktion der benötigten Kulturen einbezieht und zum anderen markt-orientiert wirtschaftet.
 - Daher wurde auf Fruchtfolgesequenzen abgehoben, die generelle Muster in vieljährigen Fruchtfolgen aufzeigen
- Statistiken zur Kulturartenverteilung in einer Region nicht ausreichen, um auf die angebauten Kulturfolgen rückzuschließen, da bei dieser Methode kleinere Kulturen (z. B. Erbse etc.) nicht berücksichtigt werden.

Um neben den Aussagen zu den regional angebauten Fruchtfolgen auch Entwicklungstendenzen für die Region abbilden bzw. abschätzen zu können, wurden Daten des LfULG zu Anbauflächen für Sachsen seit 1985 herangezogen und ausgewertet. Die Abbildungen 21 – 23 zeigen die Entwicklungen für das Beispiel Getreide.

Dargestellt sind die Anteile der Winter- und Sommergetreide an der gesamten Getreidefläche. Zum Vergleich sind Daten zur Entwicklung in Österreich seit den 1960er Jahren gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass die Winterungen in diesem Zeitraum deutlich zugenommen haben (und die Sommerungen entsprechend abnehmen). Hierin zeigt sich die ökonomische Entwicklung und Bedeutung v. a. des Winterweizens in den letzten Jahren und Jahrzehnten (vgl. auch Abb. 22). Im Zusammenhang mit Klimaveränderungen und einer Tendenz zu ansteigenden Trockenphasen nutzen die Winterungen, im Vergleich zu den Sommerungen, die Winterfeuchtigkeit besser und können weiterhin die früher einsetzende Vegetationsperiode besser nutzen, wohingegen die Aussaat, der Aufgang und die Jugendentwicklung der Sommerungen zukünftig verstärkt von Trockenphasen/-trockenstress beeinflusst sein kann.



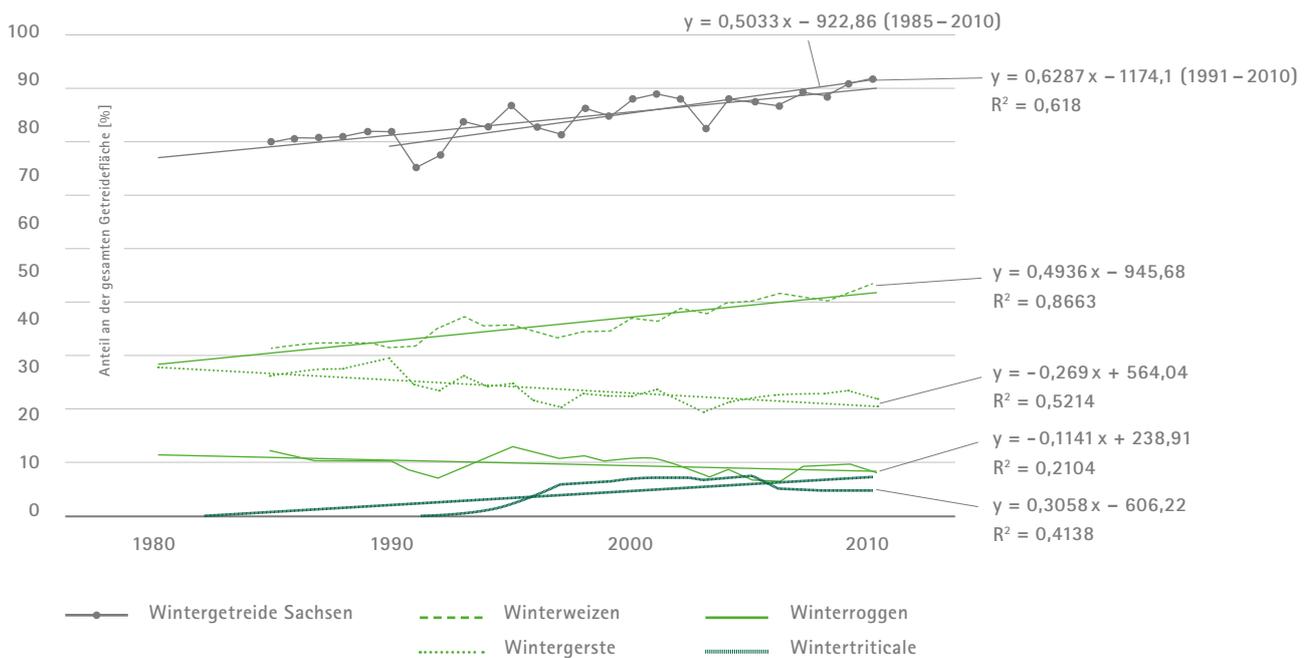
Abbildung 21: Entwicklung der Anteile von Winterungen und Sommerungen an der Gesamtgetreidefläche in Sachsen im Vergleich zu Angaben aus Österreich (Lorenz 2011a)



Daher ist auch zukünftig eher mit einer Verschärfung als mit einer Entspannung der gezeigten Situation/Entwicklung zu rechnen. In einem zweiten Schritt wurde untersucht, welche Kulturen diese Entwicklung maßgeblich bestimmen. Beim Wintergetreide wird

diese Entwicklung ausschließlich von der Winterweizenentwicklung gesteuert (vgl. Abb. 22). Alle anderen Wintergetreide zeigen dagegen eher stagnierende z. T. auch sinkende Anbaubedeutung.

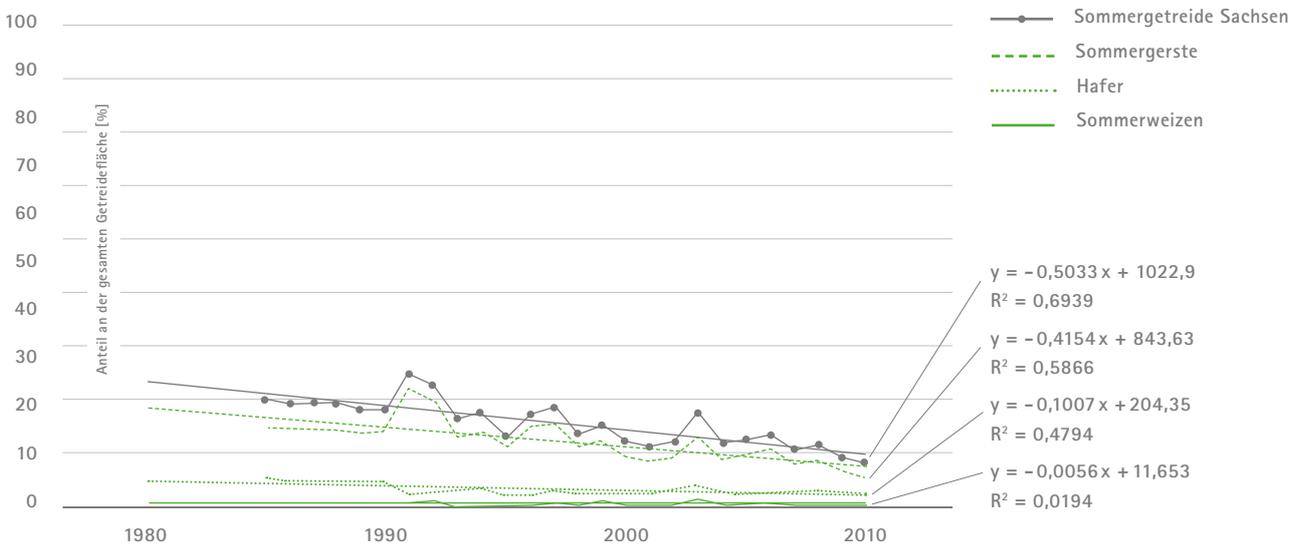
Abbildung 22: Entwicklung der Anbauanteile von Wintergetreide in Sachsen (Lorenz 2011a)



Noch stärker zeigen sich die Veränderungen beim Sommergetreide. Hier werden die Entwicklungen ausschließlich von der Sommergerste bestimmt. Alle anderen Sommergetreide haben praktisch keine

Anbaubedeutung und zeigen stagnierende Anbauflächen auf sehr niedrigem Niveau.

Abbildung 23: Entwicklung der Anbauanteile von Sommergetreide in Sachsen (Lorenz 2011a)



Die Ausführungen zeigen, dass:

- sich die Fruchtfolgen in den letzten Jahren und Jahrzehnten z. T. weiter verengt haben.
- es regional jedoch sehr große Unterschiede z. B. zwischen den guten Ackerbaustandorten der Lößregion und den z. T. schwierigeren Bedingungen der D- und V-Standorte gibt.
- die Entwicklungen z. T. nur von wenigen Kulturen bestimmt werden.

- im Zuge des Klimawandels und einer gebotenen Risikosteuerung aufgrund von Witterung und Extremereignissen vielfältigere Fruchtfolgen, auch unter Berücksichtigung z. B. von Vorfruchteffekten etc. anzuraten sind. Dem stehen aber oft ökonomische Erwägungen und in zunehmendem Maße Weltmarktentwicklungen entgegen.

2.3. Zusammenfassung

- Für eine Abkehr von den vorhandenen Fruchtarten und Fruchtfolgen in den nächsten 20 Jahren in Sachsen gibt es keine Indizien, ebenso gibt es keine Anzeichen dafür, dass neue wärmeliebende Kulturen nennenswerte/größere Anbauanteile erreichen werden.
- Mais wird als Vorfrucht attraktiver (Ausreife).
- Bei weiterem Temperaturanstieg und einer verlängerten Vegetationsperiode werden die Mittelgebirgslagen stärker den Anbau aus dem Flachland übernehmen.
- Regionen in Nordsachsen mit leichten Böden verlieren Anbaumöglichkeiten.
- Sorghumhirsen haben das Potenzial, den Biomasseanbau insbesondere in Trockenregionen Nordsachsens zu ergänzen.

- Schwankungen im Witterungsverlauf könnten geringfügig mit flexibler Anbaugestaltung genutzt werden (Weizen-Raps; Silomais-Wintergerste).

(vgl. auch M. Hänsel (2010) [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtap_pi1\[tab\]=324](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtap_pi1[tab]=324))

3. Erosionsschutz auf ausgeprägten Hanglagen der Stadt Dresden sowie dem relevanten Umland im Osterzgebirge und im nördlichen Umland Dresdens



3.1. Einleitung

Erosion stellt in der landwirtschaftlichen Produktion einen Problembereich dar, da hierbei wertvoller Ackerboden und mit ihm auch z. B. Nährstoffe und Humus abgetragen werden, somit die Ertragsfähigkeit des Standortes beeinflusst und zu einer Belastung z. B. von Gewässern durch diese Stoffe führen kann. In Sachsen sind nach

Angaben des LfULG ca. 60 % der Flächen potenziell wassererosionsgefährdet, hier v. a. die Lössböden und ca. 20 % potenziell winderosionsgefährdet, hier v. a. sandige Substrate im Norden und Nordosten Sachsens.

3.2. Vorgehen

Zur Einschätzung der Erosionsgefährdung in der REGKLAM-Region und zur Ableitung von Erosionsschutzmaßnahmen für die Region im Sinne eines Erosionsschutzkonzeptes wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Ermittlung der erosionsgefährdeten Ackerflächen in der REGKLAM-Region mit Hilfe des Modells EROSION 3D (E3D)
- Ermittlung der Betriebe, welche erosionsgefährdete Ackerflächen bewirtschaften
- Erfassung des Anwendungsumfangs der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat in diesen Betrieben
- Erfassung von Hinderungsgründen bezüglich der dauerhaften Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung
- Bereitstellung entsprechender Fachinformationen zur erfolgreichen Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung, hierzu auch: Vermittlung von Betriebskontakten, Förderung des Informationstransfers
- Prüfung der Notwendigkeit ergänzender Erosionsschutzmaßnahmen (Hangrinnenbegrünung, Grünstreifen, Schlagunterteilung usw.) auf Ackerflächen (unter Verwendung von E3D als Planungswerkzeug)



- Darstellung der erosionsmindernden Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung sowie ergänzender Erosionsschutzmaßnahmen mit Hilfe von E3D-Modellierungen im Sinne einer Erfolgskontrolle und als Grundlage für eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit.

3.3. Ergebnisse

3.3.1. Bodenbearbeitung und Erosionsschutz

Die Bodenbearbeitung als eine der wichtigsten Maßnahmen im Ackerbau bietet durch ihre jeweilige Ausführung die Möglichkeit der Einflussnahme auf verschiedene Bereiche, wie:

- Erosionsgefährdung
- Wasserhaushalt
- Humushaushalt
- Bodenleben
- Nährstoffverteilung, -verfügbarkeit und -auswaschung

und bietet dadurch eine Reihe von Möglichkeiten zur umweltgerechten und wasserschonenden Bewirtschaftung. Die wichtigsten

Anpassungsmöglichkeiten hinsichtlich zukünftiger Klimaveränderungen sind:

- Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf
- Direktsaatverfahren
- Minimierung der Zeitspanne ohne Boden-Bedeckung u. a. durch Fruchtfolgegestaltung sowie Zwischenfruchtanbau, Untersaaten oder Strohmulch (geringere Oberflächenverschlammung, positiver Einfluss auf Humusgehalt)
- Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren zur Verminderung der Wassererosionsgefährdung

- Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Aufbau und Erhalt stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biol. Aktivität sowie durch Kalkung
- Erosionsmindernde Flurgestaltung in Verbindung mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (Erosionsschutzstreifen, Agroforst, begrünte Hangrinnen, Schlagunterteilung)

Anhand der Partnerbetriebe wurden die Auswirkungen und Möglichkeiten von Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau und Bodenbearbeitung zur Minimierung der Zeitspannen ohne oder mit zu geringer Bodenbedeckung bei der Verminderung von Bodenerosion untersucht. Hierzu wurden die angebauten Fruchtfolgen hinsichtlich möglicher Optimierungspotenziale durch Zwischenfruchtanbau und konservierende Bodenbearbeitung im Hinblick auf die Bodenbedeckung analysiert.

Dabei wurde versucht, die Möglichkeiten des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung möglichst umfassend auszunutzen und anzuwenden. Die verfügbaren Schlagdaten von 2003 – 2009 wurden taggenau hinsichtlich der durchgeführten Maßnahmen und der Bestandesentwicklung ausgewertet. Weiterhin wurde angenommen, dass eine 30%ige Bodenbedeckung einen ausreichenden Schutz vor Erosion durch Starkniederschläge bietet. Abbildung 24 zeigt eine zusammenfassende Darstellung.



Abbildung 24: Zusammenfassung der betrieblichen Ergebnisse zur Bodenbedeckung: Dauer nicht ausreichender Bodenbedeckung (Lorenz 2011b)

Variante	MW	Min	Max
Bedeckung < 30% Hauptfrüchte	50,5	30,8	58,6
Bedeckung < 30% Hauptfrüchte + ZF	40,5	24,6	49,4
Bedeckung < 30% Hauptfrüchte + BB	14,5	11,8	44,0
Bedeckung < 30% Hauptfrüchte + BB + ZF	12,3	6,8	30,2

ZF = Zwischenfrüchte
BB = Konservierende Bodenbearbeitung

Im Mittel führt die Bodenbedeckung der Hauptkultur in ca. der Hälfte des Betrachtungszeitraums (49,5 %) zu einer ausreichenden Bodenbedeckung. Die Spanne ist jedoch, je nach angebauter Fruchtfolge (z. B. Anteil Sommerungen, Anteil Hackfrüchte etc.), erheblich.

zeitraums eine ausreichende Bodenbedeckung vorherrscht. Kombiniert man beide Maßnahmen, lässt sich dieser Wert im Mittel auf knapp 88 % erhöhen.

Der Anbau von Zwischenfrüchten führt zu einer Verbesserung von im Mittel ca. 10 %. Den größeren Einfluss hat jedoch die Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung. Diese führt bei konsequenter Anwendung dazu, dass im Mittel in 85,5 % des Betrachtungs-

Beispiel

Für einen Betrieb auf einem D-Standort in der REGKLAM-Region wurde beispielhaft untersucht, wie durch Maßnahmen zur Optimierung der Bodenbedeckung (Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau, Strohmulchbedeckung) die Erosionsgefahr bei Starkniederschlägen vermindert werden kann. Auch hier wurde eine Bodenbedeckung von > 30 % als ausreichend erosionsmindernd angenommen. Hierzu wurde auf einem Standort die Bewirtschaftung rückwirkend für die Jahre 2003 – 2009 analysiert und den Starkregenereignissen in diesem Zeitraum gegenübergestellt. Als Starkregentage wurden Tage mit einem Niederschlag > 20 mm angenommen. Es handelt sich um eine Wintergetreide betonte Fruchtfolge, die durch Wintereraps (als weitere Winterung) und die Sommerungen Silomais und Sonnenblume aufgelockert wird.

Im betrachteten Zeitraum traten an diesem Standort an 25 Tagen Tagesniederschläge > 20 mm auf. Durch die Hauptkulturen wird davon an 15 Tagen eine ausreichende Bodenbedeckung realisiert, so dass bei dieser Fruchtfolge an 10 Tagen mit Starkniederschlägen keine ausreichende Bodenbedeckung herrscht.

Die sehr wintergetreidelastige Fruchtfolge bietet wenig Raum für den Anbau von Zwischenfrüchten. Werden diese jedoch konsequent in diese Fruchtfolge integriert, so wird an weiteren 2 Starkregentagen eine ausreichende Bodenbedeckung erzielt.

Werden keine Zwischenfrüchte angebaut, jedoch auf eine ausreichende Strohmulchbedeckung durch angepasste konservierende Bodenbearbeitung geachtet, so verbleiben ca. 5 Starkregentage ohne ausreichende Bodenbedeckung im Betrachtungszeitraum.

Werden die Maßnahmen Zwischenfruchtanbau und angepasste konservierende Bodenbearbeitung mit ausreichender Strohmulchbedeckung konsequent umgesetzt, so können die Starkregentage ohne ausreichende Bodenbedeckung auf 0 – 1 Tag reduziert werden.

Somit kann die Erosionsgefahr durch Starkregenereignisse auf diesem Standort stark vermindert werden. Hierbei sind jedoch weitere Zielstellungen und Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Produktion in die Betrachtungen einzubeziehen (Anbaumöglichkeiten, phytosanitäre Aspekte, Fruchtfolgengestaltung, arbeitswirtschaftliche und ökonomische Aspekte).

Es bleibt festzuhalten, dass die problematischen Phasen mit Starkniederschlägen auf diesem Standort vor allem im Juli, August und September anzusiedeln sind. Gerade nach der Getreideernte und nachfolgenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen führen Starkniederschläge durch geringere Bodenbedeckung zu erhöhtem Erosionsrisiko.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Die konservierende Bodenbearbeitung mit ausreichender Mulchbedeckung stellt die wirksamste Maßnahme zur Erosionsverminderung dar.
- In Kombination mit einer angepassten Fruchtfolge und dem Zwischenfruchtanbau sind hier Optimierungspotenziale möglich und zukünftig zu nutzen.
- Vielfältige Fruchtfolgen mit einem Wechsel von Winterungen und Sommerungen, Halm- und Blattfrüchten, die aus vielen Gründen (phytosanitär, Nährstoff-Humusversorgung, Vorfruchteffekte etc.) wünschenswert wären, lassen sich hinsichtlich der Bodenbedeckung durch Zwischenfruchtanbau und konservierende Bodenbearbeitung optimieren.
- In sehr engen, Wintergetreide- betonten Fruchtfolgen wäre der Zwischenfruchtanbau zur Auflockerung der Fruchtfolge wünschenswert. Es bieten sich jedoch nur begrenzt Möglichkeiten. Hier bleiben die konservierende Bodenbearbeitung mit ausreichender Mulchbedeckung als Möglichkeit der Optimierung, sowie eine Auflockerung der Fruchtfolge. Es sind jedoch weitere Aspekte, wie phytosanitäre Aspekte (z. B. Fusarien), Aspekte der Nährstoff- und Humusversorgung (-bilanzen) u. a. zu beachten.

3.3.2. Ermittlung der erosionsgefährdeten Ackerflächen in der REGKLAM-Region mit Hilfe des Modells EROSION 3D

Mit Hilfe des Modells EROSION 3D wurde sachsenweit die Erosionsgefährdung abgeschätzt (vgl. Abb. 25). Hierzu wurde ein ‚worst-case‘ Szenario herangezogen, bei dem die reale Nutzung unter den Bedingungen des Saatbettzustands (keine Bodenbedeckung) bei hoher Bodenfeuchte im Mai und ein 10-jähriges Niederschlagsereignis zu Grunde gelegt wurde. In der REGKLAM-Region treten dabei die höchsten Erosionsgefährdungen auf den Lößböden/im Lößhügelland westlich, in einem Band südlich von Dresden und das Elbtal hinauf sowie östlich von Dresden auf. Hier finden sich die für eine landwirtschaftliche Produktion besten Böden Sachsens, woraus sich auch ein hoher Anteil an Ackerfläche ergibt.



Abbildung 25: Erosionsgefährdung berechnet mit EROSION 3D für ein 10-jähriges Niederschlagsereignis (Schindewolf 2010)

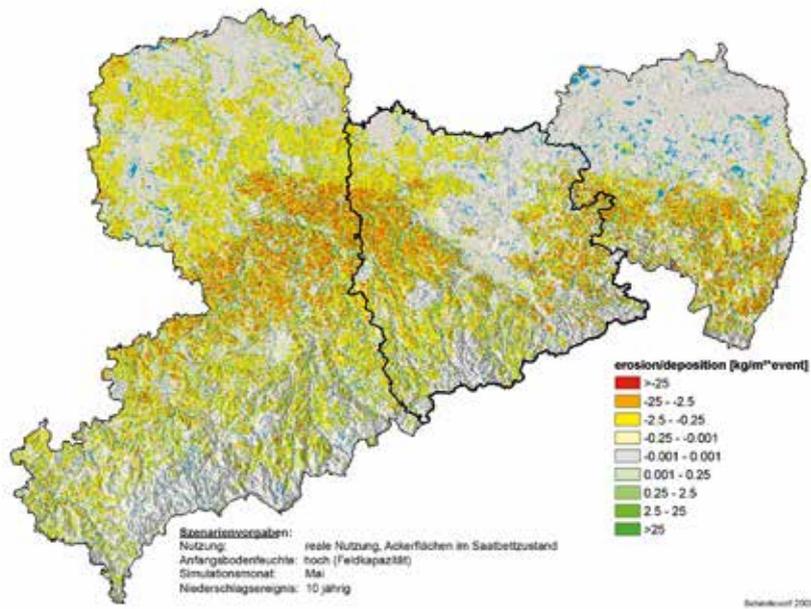
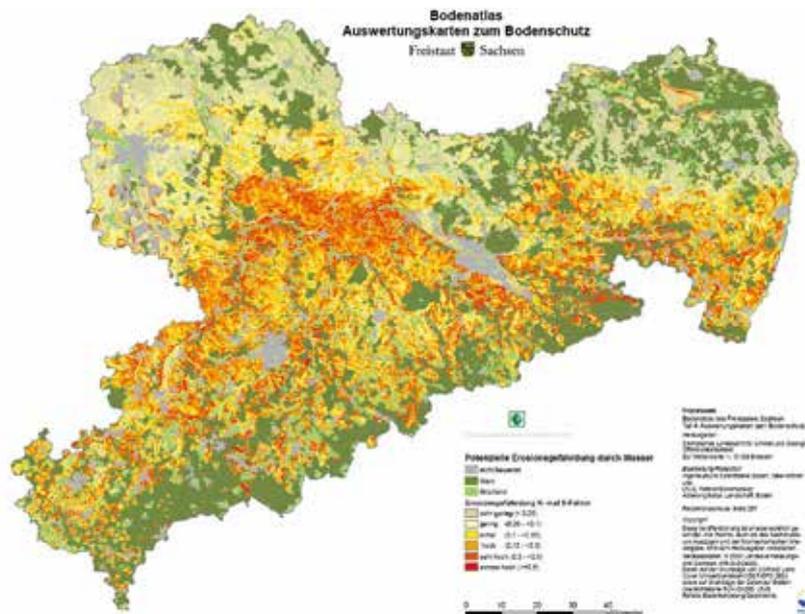


Abbildung 26 zeigt im Vergleich dazu die potenzielle Erosionsgefährdung berechnet mit der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG). Es zeigt sich ein ähnliches Bild.

Abbildung 26: Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser nach ABAG (LfULG 2008, Bodenatlas Sachsen)



Auch hier weisen die Lößböden die höchsten Erosionsgefährdungen auf. Als sog. ‚hot-spots‘ werden darauf aufbauend die Lommatzcher Pflege, der Bereich des Elbtals südlich von Dresden und

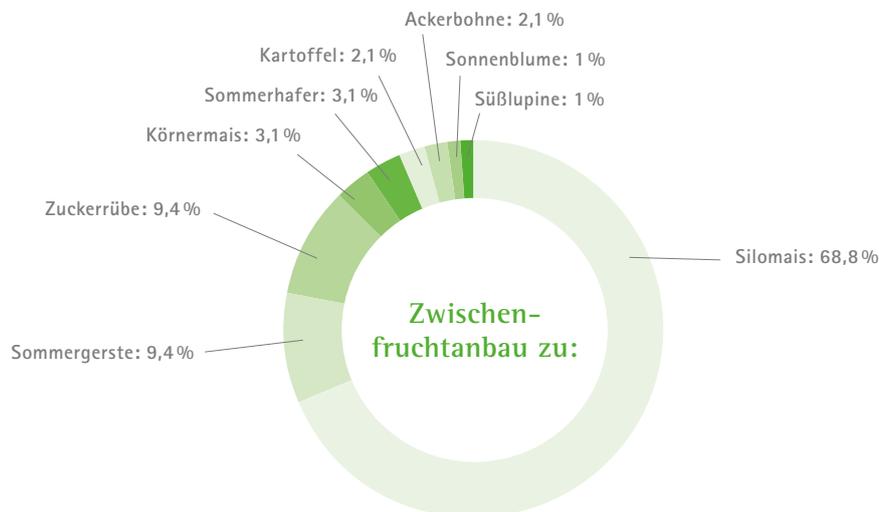
einzelne Bereiche östlich von Dresden (z. B. Schönfelder Hochland) ausgewiesen und im weiteren Verlauf eingehender untersucht.

3.3.3. Erfassung des Anwendungsumfangs der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat in den Betrieben

Zur Erfassung des Umfangs der konservierenden Bodenbearbeitung in der REGKLAM-Region wurden zum einen die Daten der beteiligten Partnerbetriebe genutzt. Um eine größere Datenbasis zu bekommen, wurden zusätzlich Daten von über 400 Schlägen der Region aus der AUM-Begleituntersuchung des ELER-Programms genutzt. Aus diesen Daten ergab sich ein Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung von ca. 53 %. Sachsenweit werden von Schmidt (2010) ca. 50 % Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung angegeben. Der Anteil an dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung beläuft sich nach diesen Angaben auf ca. 20 %.

Im Bewirtschaftungsjahr 2009/2010 wurde im Freistaat Sachsen der Anbau von Zwischenfrüchten auf ca. 3 % der Ackerfläche (24.500 ha) gefördert. Im selben Zeitraum betrug der Anteil in der REGKLAM-Region ca. 4 %. Bei einem Anteil der Sommerungen an der gesamten Ackerfläche Sachsens von ca. 20 % sind hier noch Reserven für den Anbau von Zwischenfrüchten vorhanden. Abbildung 27 zeigt die Hauptkulturen, zu denen Zwischenfrüchte angebaut werden. Mit überwiegendem Anteil von knapp 70 % werden Zwischenfrüchte zum Silomais angebaut.

Abbildung 27: Anteil der Kulturen zu denen Zwischenfrüchte angebaut werden (Lorenz 2011b)

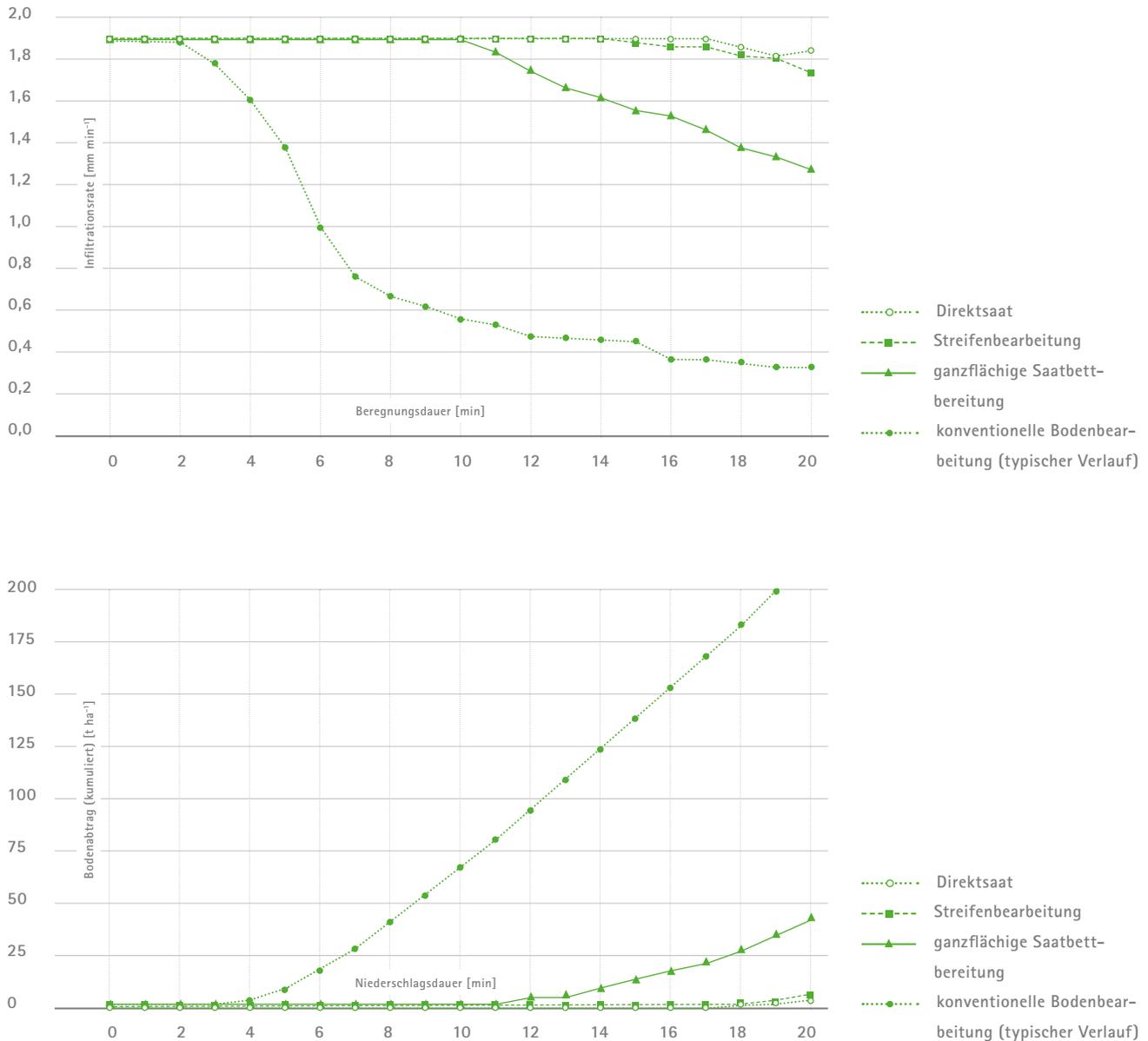


3.3.4. Darstellung der erosionsmindernden Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung



In einer Reihe von Versuchen des LfULG in den letzten Jahren konnte die erosionsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung nachgewiesen werden. Die größten Effekte wurden dabei bei dauerhafter Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung erzielt, werden aber noch durch die Umstellung auf Direktsaat übertroffen. Abbildung 28 zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu Mais auf die Wasserinfiltration und den Bodenabtrag in einem Regensimulationsversuch, Körnermais, 38 mm/20 min anhand eines Beispiels aus dem LöbHügelland (Schmidt 2010).

Abbildung 28: Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu Mais auf die Wasserinfiltration (oben) und den Bodenabtrag (unten) in einem Regensimulationsversuch, Körnermais, 38 mm/20 min (Schmidt 2010)



Die Infiltrationsraten bei der konventionellen Bearbeitung mit dem Pflug gehen bei einem solchen Regenereignis aufgrund der sehr schnell auftretenden Oberflächenverschlammung sehr schnell zurück. Nach 6 Minuten hat sich die Infiltration schon halbiert, nach 10 Minuten wird nur noch ein Drittel der Ausgangsinfiltration erreicht, nach 20 Minuten beträgt die Infiltrationsrate nur noch ca. 0,3 mm/min.

Bei konservierender Bodenbearbeitung mit Saatbettbereitung sinkt die Infiltrationsrate erst nach 11 Minuten ab und reduziert sich von 1,9 auf 1,3 mm/min nach 20 Minuten Beregnung. Sowohl bei der Direktsaatvariante als auch der Streifenbearbeitung („strip till“) kann

die Infiltration innerhalb eines solchen Extremereignisses über die komplette Zeit aufrecht erhalten werden. Entsprechend sind die Unterschiede im Bodenabtrag. In der gepflügten Variante steigt der Bodenabtrag ab der fünften Minute stark an und beträgt nach 20 Minuten schon über 200 t/ha (bei einer mittleren Bodendichte von 1,5 g/cm³ entspricht das ungefähr einer mittleren abgetragenen Bodenmächtigkeit von ca. 1,3 cm über den gesamten ha). Bei konservierender Bodenbearbeitung mit Saatbettbereitung findet bis zur Minute 12 kein Bodenabtrag statt. Danach findet ein moderaterer Anstieg statt, so dass nach 20 Minuten ca. 45 t/ha (entspricht ca. 0,3 m/ha) abgetragen wurden.

Sowohl bei der Direktsaat als auch der Streifenbearbeitung kann die Erosion durch ein solches Extremereignis fast vollständig verhindert werden. Die Streifenbearbeitung bietet den Vorteil, dass nur die Streifen, in denen die Pflanzen stehen, bearbeitet werden, die Fläche

dazwischen bleibt unbearbeitet. Durch dieses Verfahren können die Vorteile einer konservierenden Bodenbearbeitung für den Pflanzenbestand mit den erosionsmindernden/-verhindernden Eigenschaften der Direktsaat kombiniert werden.

3.3.5. Prüfung der Notwendigkeit ergänzender Erosionsschutzmaßnahmen

Ergänzende Erosionsschutzmaßnahmen werden dann notwendig, wenn die konservierende Bodenbearbeitung als wirksamste Maßnahme gegen Bodenerosion nicht dauerhaft umgesetzt werden kann oder, aufgrund von Hangneigung und Reliefierung (z. B. Abflusskonzentration in Tiefenlinien und Hangrinnen), nicht die gewünschte Wirkung entfalten kann.

Möglichkeiten der erosionsmindernden Flurgestaltung sind:

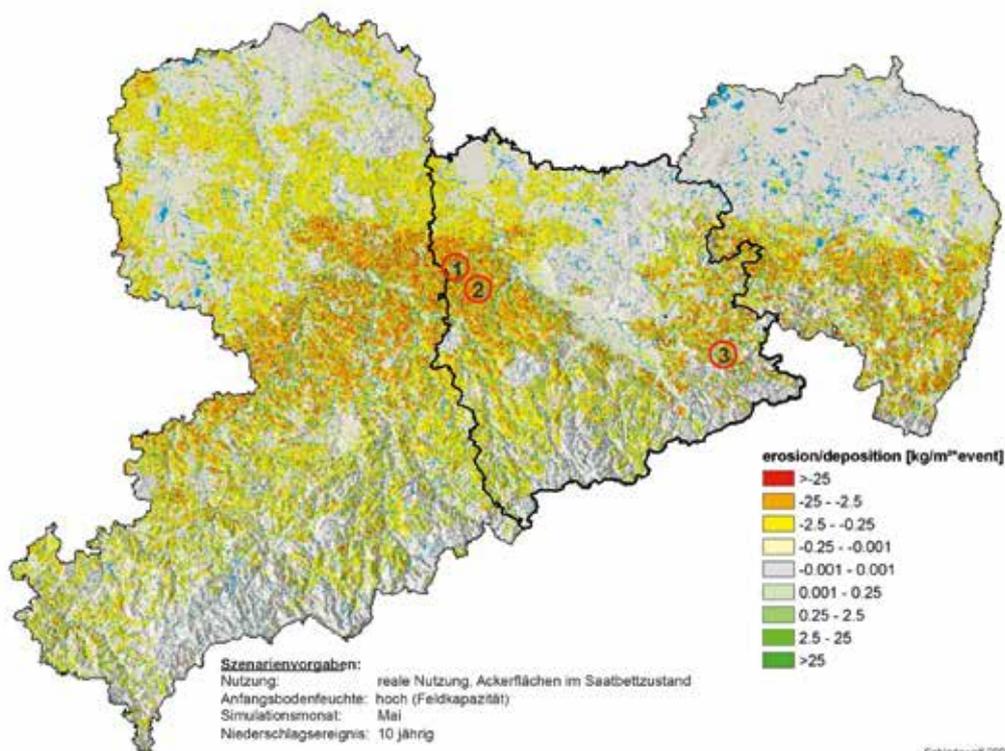
- Hangrinnenbegrünung
- Randstreifen
- Schlagunterteilung durch Anlage von Erosionsschutzstreifen (z. B. Gehölze und Feldraine, Flurelemente mindern Windoffenheit der Landschaft und wirken Abfluss bremsend)
- Kombination mit Agroforst Systemen

Feldstreifensysteme mit schnell wachsenden Baumarten:

- Belebung offener Agrarlandschaften
- Minimierung der Winderosion
- Minderung der Wassererosion in Hanglagen
- Verbesserung des Mikroklimas
- wirtschaftliche Nutzung
- Belebung Artenvielfalt, evtl. auch Biotopvernetzung
- angestrebt: jeweils nur Teilbeerntung zur Erhaltung der Funktionen
- Grundvoraussetzung: Fläche bleibt Ackerfläche, erfüllt aber zusätzliche Funktionen

Anhand von drei Beispielen sollen nachfolgend die Auswirkungen erosionsmindernder Flurgestaltung in Kombination mit konservierender Bodenbearbeitung beispielhaft dargestellt werden. Abbildung 29 zeigt die Lage der Beispielstandorte.

Abbildung 29: Lage der Beispielstandorte



Beispiel 1

Abbildung 30 zeigt die Verteilung der Anbaukulturen sowie die jeweilige Bodenbearbeitung, die für die spätere Beurteilung von Maß-

nahmen der Hangrinnenbegrenzung von Bedeutung sind (Kornmann et al. 2008).

Abbildung 30: Anbauverteilung und Bodenbearbeitung (links) und Erosionsrinnen (rechts) für Beispielgebiet 1 (Kornmann et al. 2008)

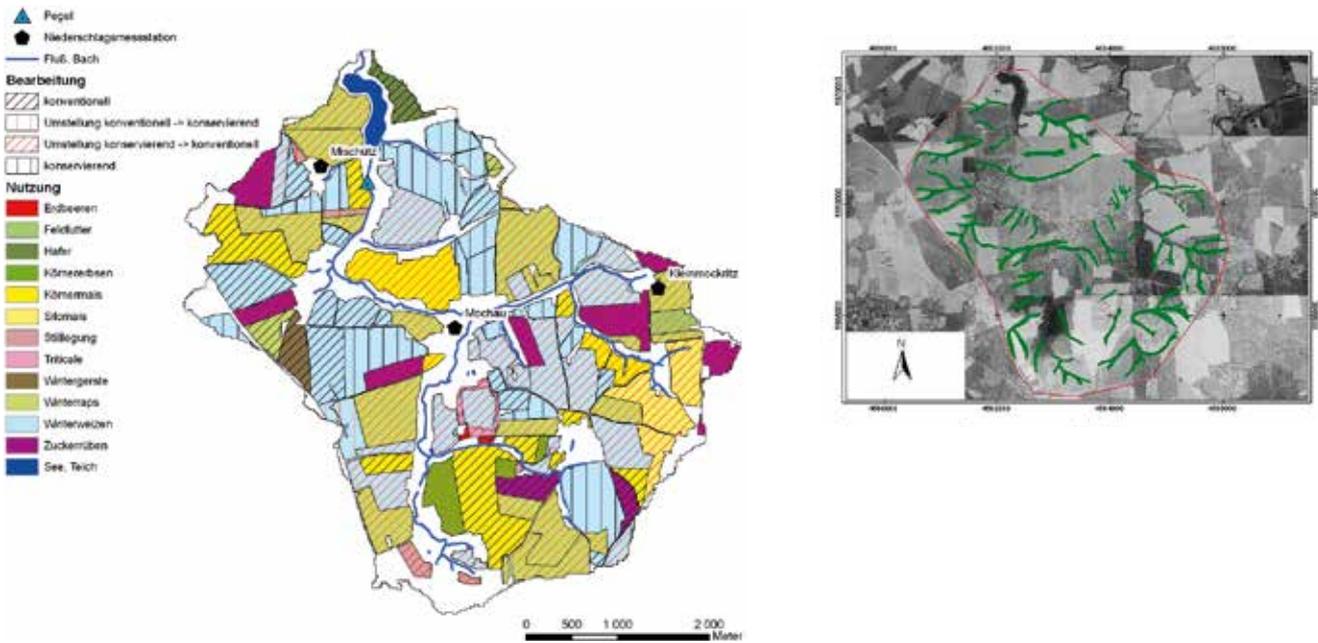
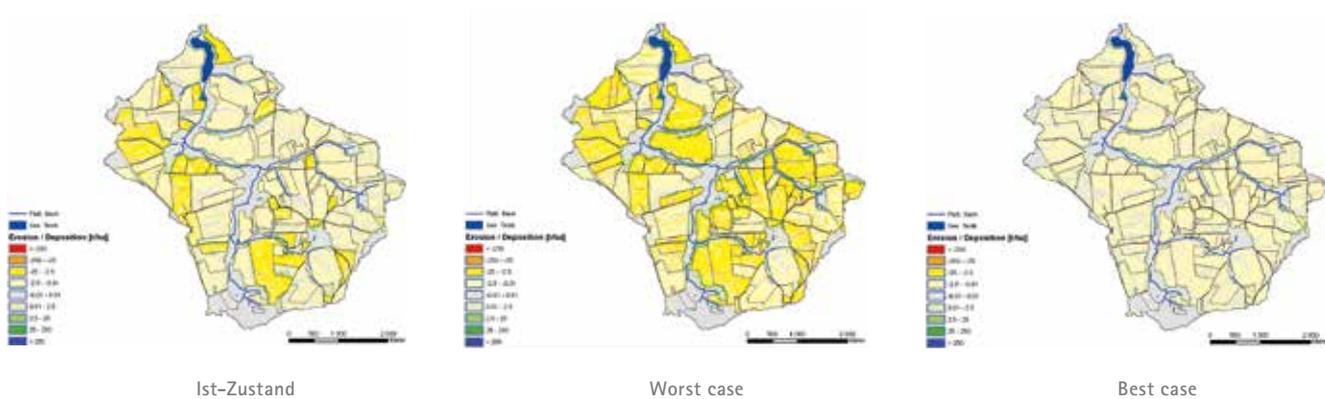


Abbildung 31: Erosion für das Gebiet und drei Szenarien (Kornmann et al. 2008)



Best-Case: Um das Potenzial der Erosionsminderung im Sinne eines Best-Case-Szenarios aufzuzeigen, wurden für die angebaute Kulturarten (wie Ist-Stand) auf allen Ackerflächen eine konservierende Bodenbearbeitung und ein Mulchgehalt von 30 % angenommen.

Worst Case: Das Worst-Case-Szenario beschreibt das ungünstigste landwirtschaftliche Managementverfahren, welches die höchsten Bodenabträge erwarten lässt. Für den Monat April wurden für alle Ackerflächen ein Maisanbau (Saatbettzustand), eine konventionelle Bodenbearbeitung ohne Mulchbedeckung und ein verschlammter Bodenzustand unterstellt. Dieses Szenario dient dem Vergleich mit dem Ist-Stand und Best Case, soll aber weiterhin auch den Einfluss der Böden auf das Erosionsgeschehen ohne den Einfluss der verschiedenen angebaute Kulturarten aufzeigen:

- Konservierende Bodenbearbeitung: Verringerung des mittleren Bodenabtrages um ca. 90 % im best-case Szenario gegenüber dem „Ist-Zustand“ für ein 20-jähriges Niederschlagsereignis durch Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung.
- Werden Hangrinnenbegrünungen im gezeigten Umfang (Abb. 31) im ‚Ist-Zustand‘ angelegt, kann der mittlere Gebiets-

austrag um gut 70 % gesenkt werden. Dies hätte jedoch den Verlust von ca. 10 % der Ackerfläche zur Folge (Umwandlung: Acker in Grünland)

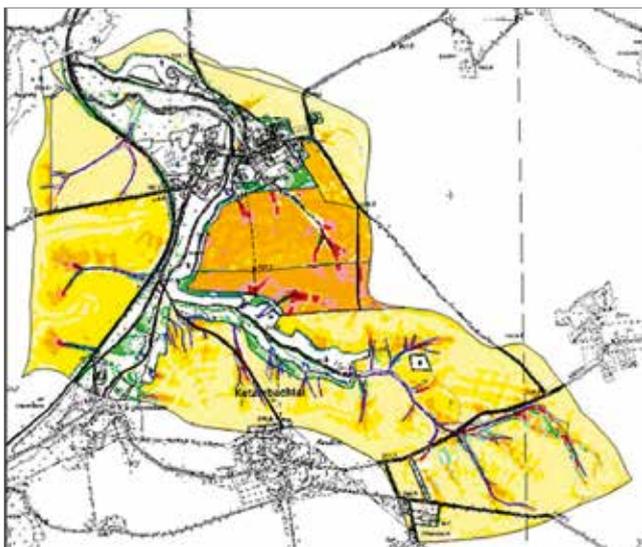
- Werden beide Maßnahmen kombiniert (Hangrinnenbegrünungen zusätzlich zur Umstellung auf konservierende Bewirtschaftung) wird bei einem 20-jährigen Niederschlagsereignis eine weitere Senkung erreicht. Im Vergleich zur „Ist-Stand“ Analyse ist bei konservierender Bewirtschaftung und begrünter Tiefenlinien eine Senkung des Sedimenteintrages um ca. 92 % möglich.
- Daher sollte das Anlegen von Hangrinnenbegrünungen in Verbindung mit einer Umstellung der Bewirtschaftung auf konservierende Verfahren erfolgen.
- Konservierende Bodenbearbeitung + Pufferstreifen (5 m): Verringerung des mittleren Bodenabtrages um ca. 95 % gegenüber dem „Ist-Zustand“ (10 m Pufferstreifen: ca. 97 %); jedoch: Verlust von ca. 7 % des Ackerlandes (Umwandlung: Acker in Grünland)

Beispiel 2

Abbildung 32 zeigt den unterschiedlichen Bodenabtrag und die Erosionsrinnen in Beispielgebiet 2. Es handelt sich um ein weitaus

kleineres Gebiet als Beispiel 1 mit einem höheren Anteil konservierender Bodenbearbeitung im Ist-Zustand.

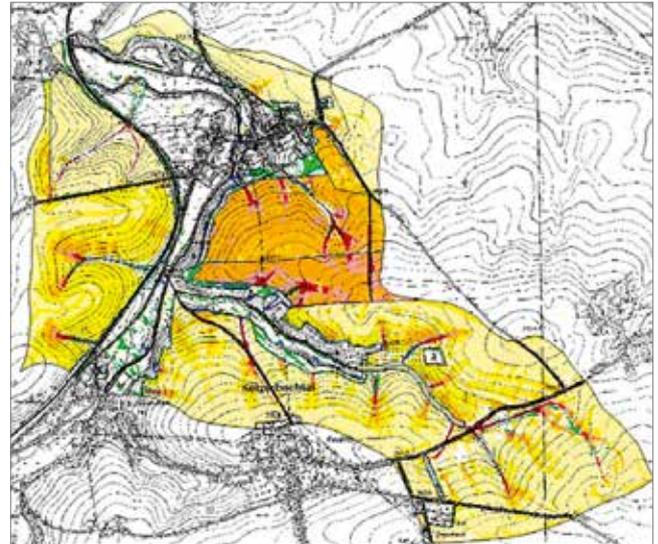
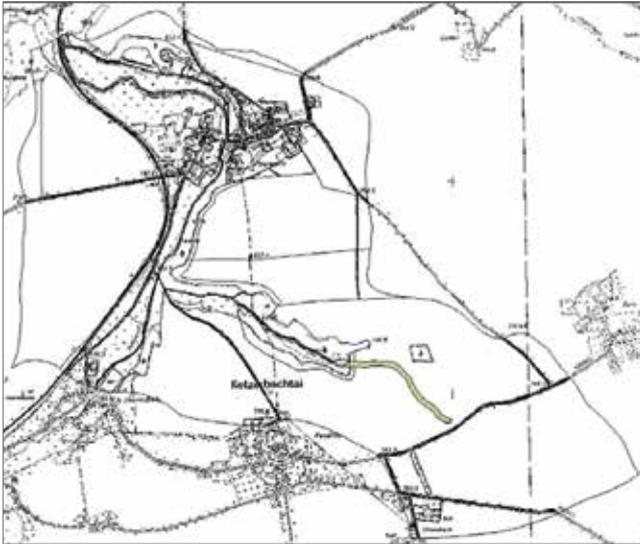
Abbildung 32: Erosionsrinnen und Bodenabtrag für Beispielgebiet 2 (Schob und Schmidt 2006)



Hierbei wurden ähnlich zu Gebiet 1 unterschiedliche Szenarien untersucht. Zusätzlich wurde eine Hauptabflussrinne begrünt und

diese Einzelmaßnahme bewertet (vgl. Abb. 32), sowie der Einfluss unterschiedlich breiter Pufferstreifen einbezogen.

Abbildung 33: Begrünung einer Hangrinne und Auswirkung auf den Bodenabtrag im Einzugsgebiet (Schob und Schmidt 2006)



- Begrünte Hangrinne (Abb. 33 links): Einsatz von Grünland auf einer Breite von 24 m und einer Länge von ca. 500 m führt zur Verringerung der Erosion im oberen Teil des Einzugsgebietes um 30 % (Gesamtgebiet 22 %)
- Konservierende Bodenbearbeitung: Verringerung des mittleren Bodenabtrages um ca. 45 % gegenüber dem „Ist-Zustand“
- Konservierende Bodenbearbeitung + Pufferstreifen (5 m): Verringerung des mittleren Bodenabtrages um ca. 90 % gegenüber dem „Ist-Zustand“ (10 m Pufferstreifen: ca. 93 %); jedoch: Verlust von ca. 15 % des Ackerlandes (Umwandlung: Acker in Grünland)



Beispiel 3

Um die Auswirkungen eines veränderten Auftretens von Starkregenereignissen auf die Erosionsproblematik in der REGKLAM-Region abzuschätzen und Möglichkeiten der Minderung des Bodenabtrages durch zusätzliche Maßnahmen aufzuzeigen, wurden anhand eines Partnerbetriebes unterschiedliche Szenarien für ein 100-jähriges Starkregenereignis mit dem Model EROSION 3D modelliert. Bei diesem Starkregenereignis fallen in einer Stunde ca. 52 mm. Abbildung 34 zeigt die Niederschlagsverteilung. Im Maximum fallen hierbei knapp 3 mm/min.

Für die Betriebsflächen wurden, auf Grundlage der aktuellen Kulturartenverteilung 2011, verschiedene Szenarien modelliert (vgl. Tabelle 2). Ziel war es, die Möglichkeiten von zusätzlichen Maßnahmen zur konservierenden Bodenbearbeitung, wie z. B. Grünstreifen, Gehölzstreifen und Schlagunterteilungen, bei extremeren Starkregenereignissen aufzuzeigen.

Abbildung 34: Niederschlagsverteilung eines 100-jährigen Starkniederschlagsereignisses (Lorenz 2011b)

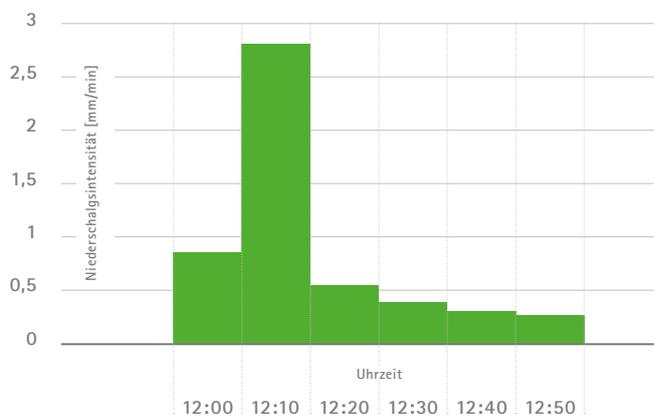


Tabelle 2: Untersuchte Szenarien

Szenario	Bezeichnung	Feldfrucht	Bodenbearbeitung	Niederschlag	Zeitpunkt
1	Mais konservierend	Mais	konservierend	100 j	Mai
2	Mais Direktsaat	Mais	Direktsaat	100 j	Mai
3	Mais mit Grün- und Gehölzstreifen	Mais	konservierend	100 j	Mai
4	Iststand 2011	Iststand 2011	Iststand 2011	100 j	Mai
5	Iststand 2011 mit Grün- und Gehölzstreifen	Iststand 2011	Iststand 2011	100 j	Mai
6	Iststand 2011 mit Schlagunterteilung	Iststand 2011 verändert	Iststand 2011 verändert	100 j	Mai

In Szenario 1 wurde eine Art ‚worst case‘ Zustand definiert. Es wurde von einer flächendeckenden konservierenden Bodenbearbeitung ausgegangen, wobei die gesamte Fläche jedoch im Szenario mit 100 % Mais, als erosionsanfällige Kultur, bestellt wurde. Hierbei wird deutlich, dass die konservierende Bodenbearbeitung bei extremen Starkniederschlägen, in Abhängigkeit von Anbaukultur, Bodenart und Hangneigung, auch an ihre Grenzen kommen kann. Daher wurden im Sinne einer Klimawandelbetrachtung zusätzliche Maßnahmen modelliert.

In Szenario 2 wurde wiederum die komplette Fläche mit Mais bestellt, jedoch in Direktsaat. Szenario 3 baut auf Szenario 1 auf und berücksichtigt zusätzlich das Anlegen von Grün- und Gehölzstreifen zur Erosionsminderung (vgl. Abb. 35, links, grüne Flächen). Gehölzstreifen wurden hierbei primär in Form von Kurzumtriebsplantagen mit teilweiser Reihenbeerntung zum dauerhaften Erhalt der Schutzwirkung vorgesehen, um Synergieeffekte von Erosionsschutz mit gleichzeitiger Nutzung in Form von Energieholz aufzuzeigen.

Szenario 4 bezieht die aktuelle Kulturartenverteilung von 2011 mit in die Betrachtungen ein, um den Ist-Zustand auf den Flächen abzubilden. Hierfür wurde eine betriebsübliche dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung zu Grunde gelegt. Im Vergleich zu Szenario 1 zeigen sich hier die Kulturarten bedingten Unterschiede hinsichtlich Erosionsanfälligkeit.

Szenario 5 baut auf Szenario 4 auf und berücksichtigt zusätzlich die Anlage von Grün- und Gehölzstreifen (vgl. Abb. 35, links, grüne Flächen). Szenario 6 baut ebenfalls auf Szenario 4 auf, zeigt jedoch die Möglichkeiten einer zusätzlichen Schlagunterteilung durch geänderte Kulturartenverteilung auf (vgl. Abb. 35, rechts). Hierbei wurden die Anbauanteile der einzelnen Kulturen für die Gesamtbetriebsfläche nicht verändert. Die Kulturen wurden jedoch zum einen anders auf den Flächen verteilt und zum anderen wurde durch den Anbau verschiedener Kulturen (meist 2) auf einem Schlag eine erosionsmindernde Schlagunterteilung vorgenommen.

Abbildung 35: Untersuchungsflächen, links mit Grün- und Gehölzstreifen, rechts mit Schlagunterteilung (Lorenz 2011b)

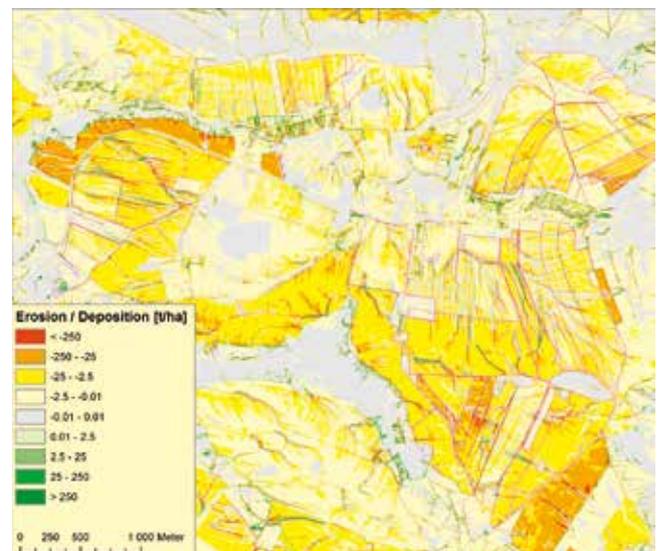
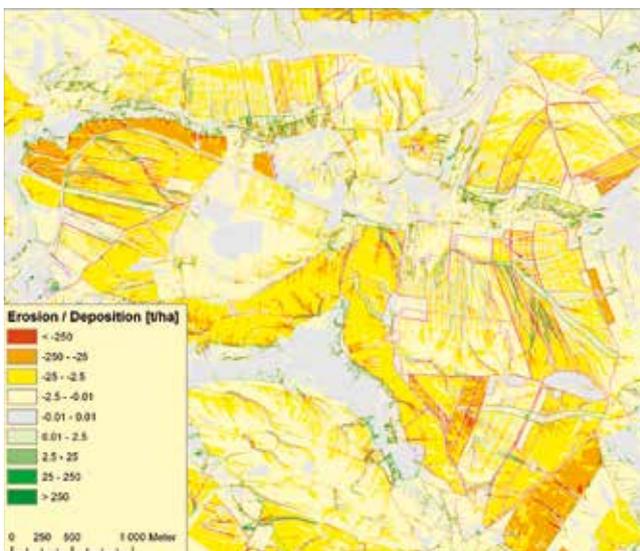


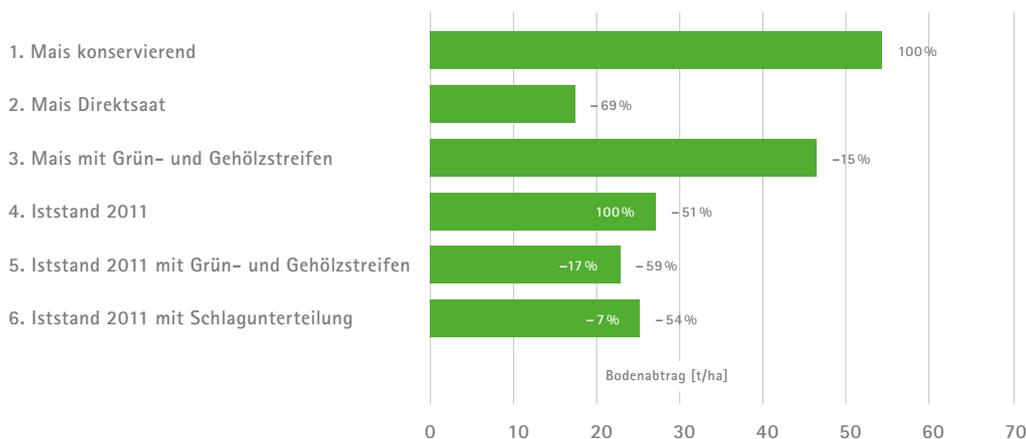
Abbildung 36 zeigt zusammenfassend den mittleren Bodenabtrag der Gesamtfläche in den unterschiedlichen Szenarien. Es wird deutlich, dass zusätzliche Maßnahmen der Schlaggestaltung, wie Grün- und Gehölzstreifen oder kulturartenspezifische Schlagunterteilungen bei extremen Starkregenereignissen den Bodenabtrag weiter mindern können.

Im ersten Schritt wurden die Abnahmen im Vergleich zu Szenario 1 (= 100 %, Mais konservierend) untersucht. Es zeigt sich, dass die Direktsaat, trotz der ganzflächigen Bestellung mit Mais zu einer erheblichen Reduzierung des Bodenabtrags von knapp 70 % führt. Bei konservierender Bodenbearbeitung und der Einrichtung von Grün- und Gehölzstreifen in Szenario 3 kann der Bodenabtrag immerhin um ca. 15 % gemindert werden.

Bei Kulturartendiversifizierung nach Iststand 2011 (Szenario 4) kann der Bodenabtrag um 51 % gemindert werden, durch zusätzliche Anlage von Grün- und Gehölzstreifen um weitere 8 %. Die Schlagunterteilung auf Grundlage des Iststandes 2011 (Szenario 6) führt zu einer Minderung des Bodenabtrags um 54%.

Szenario 4 stellt die gängige Praxis und Kulturartenverteilung im Betrieb dar. Daher ist es notwendig die Möglichkeiten von zusätzlichen Maßnahmen, bezogen auf den Ist-Zustand darzustellen. Daher wurde in einem zweiten Schritt die Kulturartenverteilung von 2011 (Szenario 4 = 100%, weiße Zahlen) zu Grunde gelegt und die Verminderung des Bodenabtrags durch zusätzliche Maßnahmen ermittelt. Die Anlage von Grün- und Gehölzstreifen in Szenario 5 führt zu einer Minderung des Bodenabtrags von ca. 17 %. Die alleinige Umgestaltung der Schläge durch Schlagunterteilung auf Grundlage der Kulturartenverteilung in Szenario 6 führt zu einer Reduzierung des Bodenabtrags von ca. 7 %. Hierbei ist zu Berücksichtigen, dass die Schlagunterteilung durch verschiedene Anbaukulturen im Betrieb ohne große Neuanschaffungen umzusetzen ist. Es entstehen jedoch dadurch Mehraufwendungen durch einen höheren Arbeitsaufwand und zusätzliche Fahrstrecken bei Aussaat, Bestandespflege und Ernte.

Abbildung 36: Mittlerer Bodenabtrag der Gesamtfläche für unterschiedliche Szenarien (Lorenz 2011b)



Die Untersuchungen zeigen, dass bei extremen Starkregenereignissen zusätzliche Maßnahmen der Schlaggestaltung in Kombination mit konservierender Bodenbearbeitung zu einer Minderung des Bodenabtrags führen können. Die Größenordnungen sind jedoch weit aus geringer als bei der Umstellung der Bodenbearbeitung (z. B. von Pflug auf nicht wendende, konservierende Bodenbearbeitung oder bei der Umstellung auf Direktsaat). Daher sollten solche Maßnahmen immer in Kombination mit der dauerhaften konservierenden Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat umgesetzt werden.

Ergänzende Erosionsschutzmaßnahmen werden dann notwendig, wenn die konservierende Bodenbearbeitung als wirksamste Maßnahme gegen Bodenerosion nicht dauerhaft umgesetzt werden kann oder, aufgrund von Hangneigung, Relieferung (z. B. Abfluss-

konzentration in Tiefenlinien und Hangrinnen) und zunehmender Intensität von Starkregenereignissen nicht die gewünschte Wirkung entfalten kann. Bei fortschreitendem Klimawandel bieten diese zusätzlichen Maßnahmen in Kombination mit konservierender Bodenbearbeitung jedoch die Möglichkeit, den Bodenabtrag bei extremen Niederschlagsereignissen weiter zu mindern. Auf erosionsgefährdeten Standorten sollte hierbei jedoch vor Anlage und Umsetzung von zusätzlichen Maßnahmen (Grünstreifen etc.) eine Wirksamkeitsuntersuchung mit Modellen, wie z. B. Erosion 3D, erfolgen. Somit können Nutzen und Effekte solcher Maßnahmen im Vorfeld geklärt und maximiert werden. Weiterhin sind dabei Synergieeffekte, wie z. B. der Anbau von KUP als Erosionsschutz, mit in die Betrachtungen einzubeziehen und zu prüfen.

4. Düngung und Pflanzenernährung

4



4.1. Ausgangssituation Nährstoffversorgung

Zur Erzeugung guter und qualitativ hochwertiger Erträge ist eine optimale, bedarfsgerechte Versorgung der Kulturen mit Nährstoffen Grundvoraussetzung.

Gerade durch zunehmende Trockenperioden können hierbei jedoch zukünftig Probleme auftreten, die eine ausreichende Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanzen gefährden oder zumindest erschweren.

Die Hauptanpassungsmaßnahmen an zukünftige Klimaveränderungen sind:

- Sicherung einer optimalen Grundnährstoffversorgung durch bedarfsgerechte Düngung
- Düngebedarfsermittlung mittels N_{min} -Methode sowie mit Verfahren der Pflanzenanalyse zur Anpassung der Düngung an den tatsächlichen Düngebedarf
- Teilschlagspezifische Düngung auf großen heterogenen Flächen zur Verbesserung von Ertrag, Qualität und Nährstoffeffizienz

- Anwendung moderner Applikationsverfahren wie Injektion- oder Flüssigdüngung, Unterfußdüngung oder stabilisierter Dünger zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz unter trockenen Bedingungen

Zur Ermittlung der Situation in den Partnerbetrieben wurden für die untersuchten Schläge die Nährstoff- und Humusbilanzen sowohl jährlich (für jedes Fruchtfolgeglied), als auch für den gesamten Zeitraum 2003–2009 berechnet und ausgewertet.

Tabelle 3 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der Nährstoffbilanzen (N, P, K) und der Humusbilanzen, berechnet nach 3 unterschiedlichen Verfahren: 1. VDLUFA untere Werte (uW), 2. VDLUFA obere Werte (oW) und 3. Standortangepasste Methode (Stag) nach Kolbe (2008).

Tabelle 3: Nährstoff- und Humusbilanzen ausgewählter Schläge in REGKLAM-Partnerbetrieben (Lorenz 2011a)

Schlag	MW			Dauer Jahre	MW			Einstufung		
	N	P	K		uW	oW	Stag	uW	oW	Stag
1	6,8	-22,6	-43,2	5	-48	-128	34	C	B	C
2	47,4	-1,6	-15,1	7	-133,0	-265,0	-102,0	B	A	B
3	32,4	-11,7	-24,0	7	151,0	71,0	160,0	D	C	D
4	32,7	-7,1	-2,4	7	55,0	-99,0	49,0	C	C	C
5	25,7	2,6	-40,7	7	-86,0	-212,0	-115,0	B	A	B
6	22,0	0,0	-30,6	7	-67,0	-221,0	-56,0	C	A	C
7	27,3	-9,9	-26,0	7	133	24	233	D	C	D
8	64,1	-6,0	-18,7	7	146	-8	228	D	C	D
9	49,3	-5,5	-67,3	7	453	404	583	E	E	E
10	39,1	23,0	37,5	7	201	98	130	D	C	D
11	-10,6	-12,3	18,6	7	-180	-310	-199	B	A	B
12	6,7	4,1	33,0	7	206	332	335	D	E	E
13	5,1	6,3	-13,7	7	275	150	184	D	D	D
14	26,9	1,4	6,6	7	169	49	98	D	C	C
15	13,6	5,3	-21,1	7	74	-46	17	C	C	C
16	13,3	-11,6	-33,6	5	5	-79	-28	C	B	C
17	16,2	-12,6	-40,2	5	274	150	203	C	C	C
MW	24,6	-3,4	-16,5		95,8	-5,3	103,2	C	C	D
Min	-10,6	-22,6	-67,3		-180,0	-310,0	-199,0	B	A	B
Max	64,1	23,0	37,5		453,0	404,0	583,0	E	E	E

Konventionell			Öko		
Wert [kg C/ha a]			Wert [kg C/ha a]		
von	bis	Stufe	von	bis	Stufe
-400	-200	A	-400	-200	A
-200	-75	B	-200	-75	B
-75	100	C	-75	400	C
100	300	D	400	600	D
300	700	E	600	700	E

Hinsichtlich des Hauptnährstoffs N zeigt sich in den Betrieben im Mittel eine moderate positive Bilanz mit knapp 25 kg N/ha. Es tritt ein Schlag mit einer negativen Bilanz auf, der Maximalwert liegt bei 64 kg/ha. Die laut DüngeVO maximal zulässigen N-Salden des Gesamtbetriebes von 60 kg/N über drei Jahre werden jedoch von allen Betrieben eingehalten.

Bei den anderen Nährstoffen P und K zeigt sich eine völlig andere Situation. Hier wurden die Aufwendungen für diese Nährstoffe seit den 1990er Jahren stark zurückgefahren (Tab. 3). Diese Tendenzen zeigen sich auch in den Partnerbetrieben. Die mittleren P-Salden liegen bei ca. -3 kg P/ha bei einer weiten Spanne von ca. -23 bis +23 kg/ha. Die mittleren K-Salden zeigen im Mittel noch negativere Werte von ca. -16 kg/ha bei einer Spanne von -67 bis +37 kg/ha.

Gerade diese beiden Nährstoffe sind nach Untersuchungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) Hauptursache für sichtbare Wachstumsinderungen bei landwirtschaftlichen Pflanzenarten (Tab. 4).

Bezogen auf zukünftige Klimaveränderungen und hier speziell den Problembereich Trockenstress hat jedoch die Versorgung der Pflanzen mit Kalium eine besondere Bedeutung. Wie Abbildung 38 zeigt, spielt die ausreichende Kaliumdüngung in entscheidenden Wachstumsphasen eine bedeutende Rolle. So konnte durch eine ausreichende Düngung ein erheblicher Ertragsabfall durch Trockenstress zum Schossen (EC 30) und zur Blüte (EC 60) vermieden werden. Ebenso zeigten die Varianten ohne Trockenstress einen um 11 % höheren Ertrag und bei leichtem Trockenstress sogar um 33 % im Vergleich zur Variante ohne K-Düngung.

Abbildung 37: Jährliche und kumulative P-Bilanz (oben) und K-Bilanz (unten) in Sachsen von 1960 – 2009 (Albert 2010)

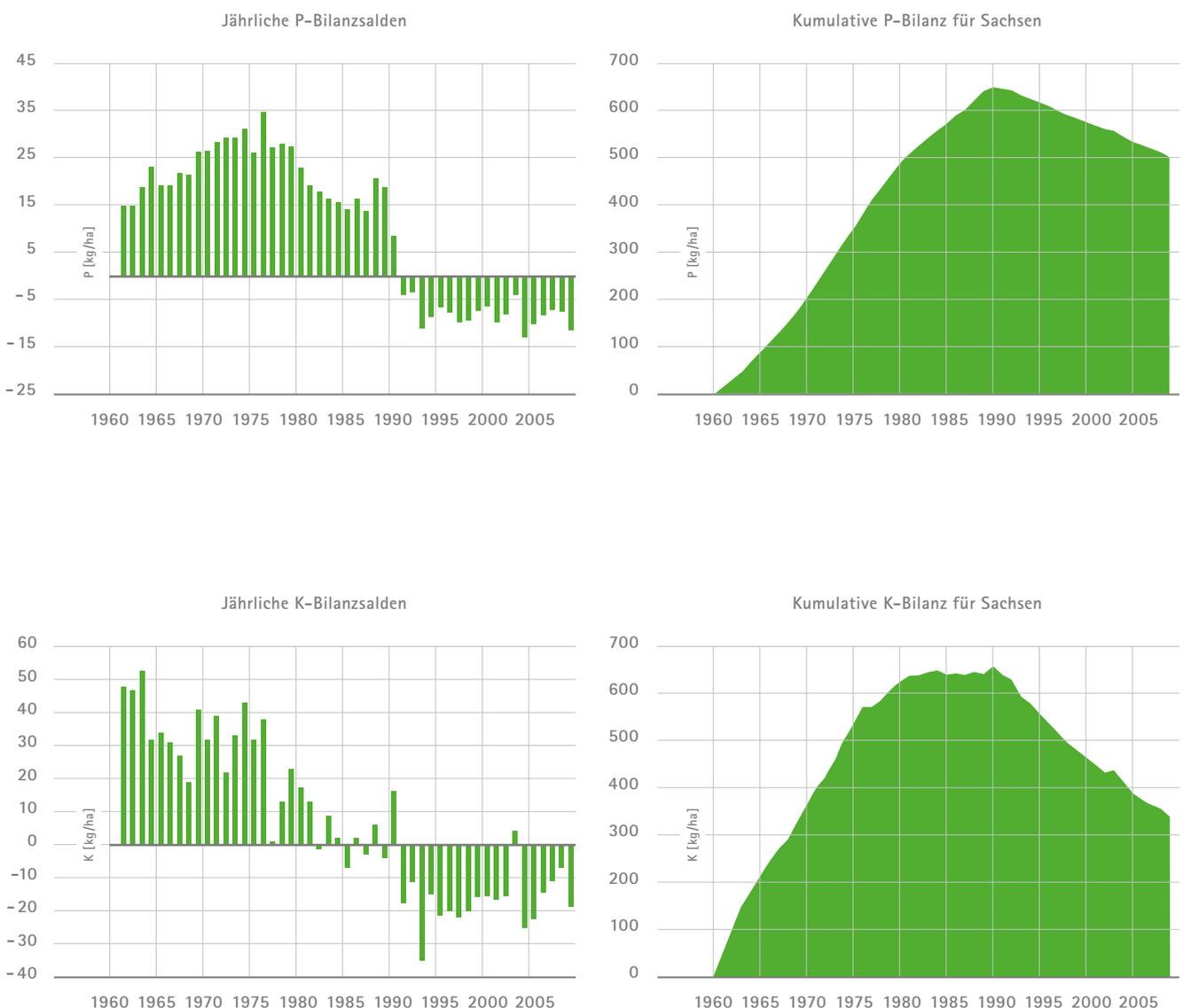


Tabelle 4: Ursachen sichtbarer Wachstumsminderungen bei landwirtschaftlichen Pflanzenarten (250 Praxisflächen)
(Zorn & Schröter 2009)

Mangel an	Anteil in %
K	24
P	21
Kalk	17
S	15
N	10
Mg	3
Mn	6
Mo	4
Cu, B, Zn zusammen	< 1

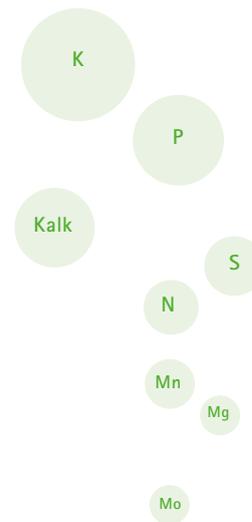
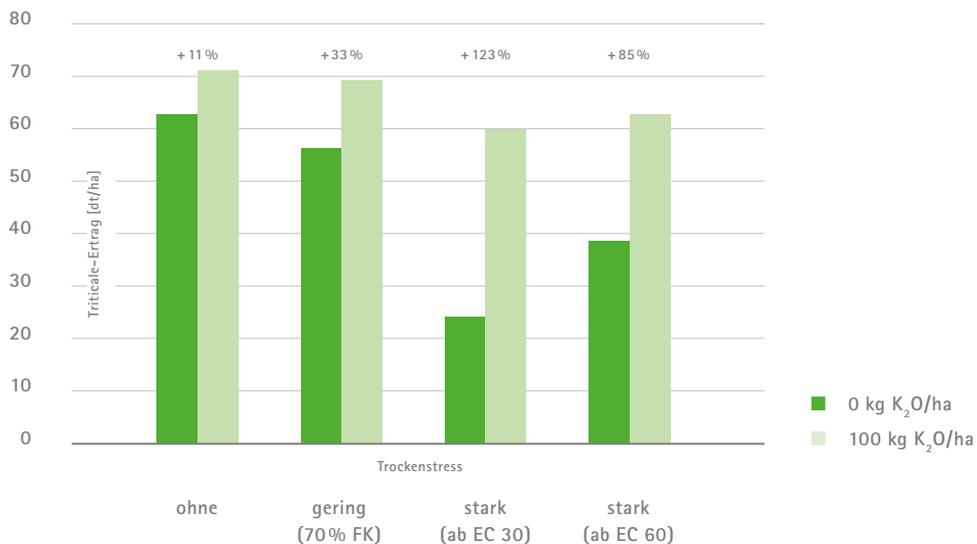


Abbildung 38: Kalium-Düngewirkung auf den Kornertrag von Triticale bei zunehmendem Trockenstress (Albert 2010)



4.2. Injektionsdüngung

Eine technische Maßnahme zur Minderung des Einflusses von Trockenstress bzw. der Förderung der Verfügbarkeit von Nährstoffen unter Trockenstressbedingungen ist die Injektionsdüngung. Hierbei wird der Nährstoff, z. B. N, in Form einer Ammoniumlösung in den Boden injiziert (auch als CULTAN-Düngung bezeichnet). Somit wird im Boden ein relativ stabiles Depot angelegt, aus dem sich die Pflanze bedarfsabhängig ernähren kann. Das Depot wird durch die Pflanzenwurzeln aktiv erwachsen. In Tabelle 5 sind die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens zusammenfassend aufgelistet.

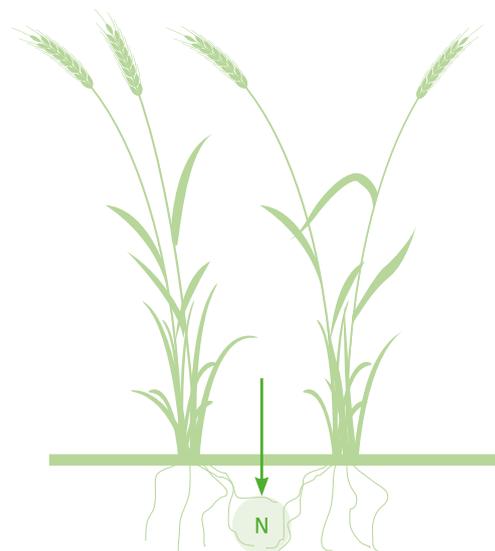


Tabelle 5: Vor- und Nachteile der Injektionsdüngung (Farack 2010)

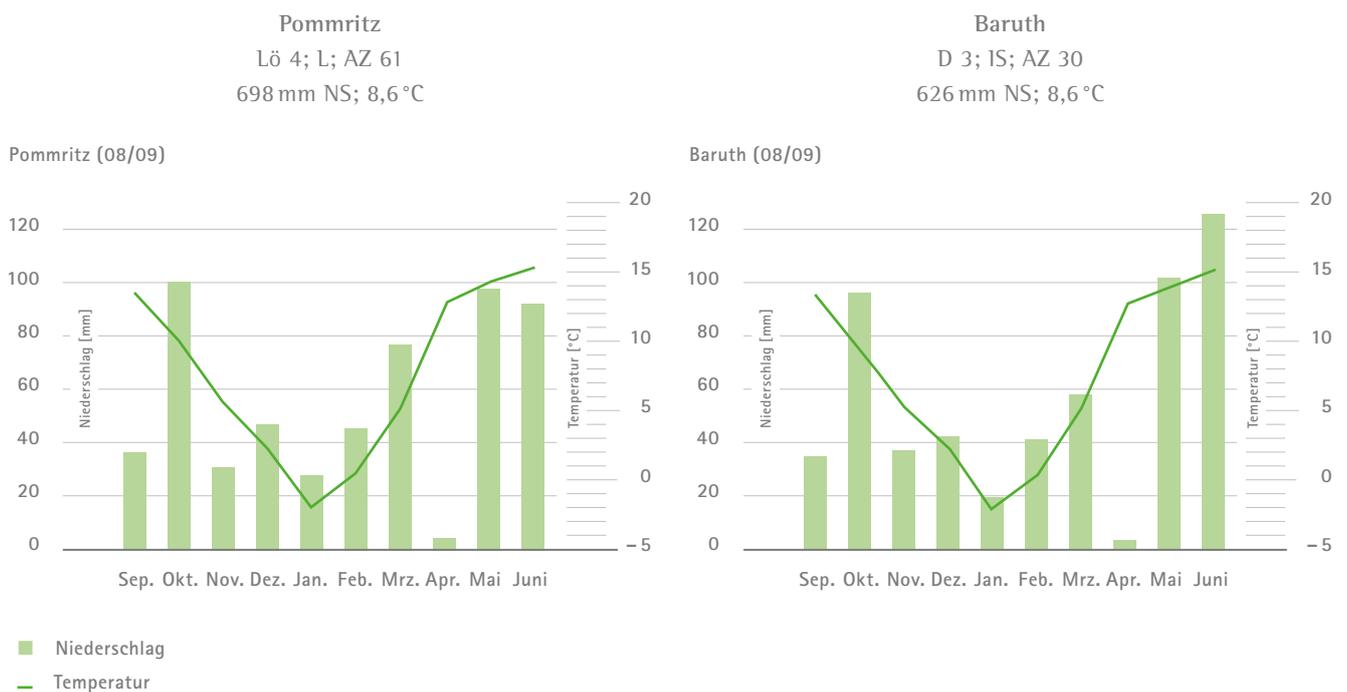
Vorteile	Nachteile
Reduktion der Auswaschungsverluste	teure Technik bzw. Abhängigkeit vom Lohnunternehmer
Nährstoffe nicht erosionsgefährdet	Ausbringung der gesamten N-Menge zu Vegetationsbeginn ohne Kenntnis der Witterung
Einsparung von Arbeitsgängen, Arbeitszeit und Diesel	häufig noch keine teilschlagspezifische Düngung angeboten

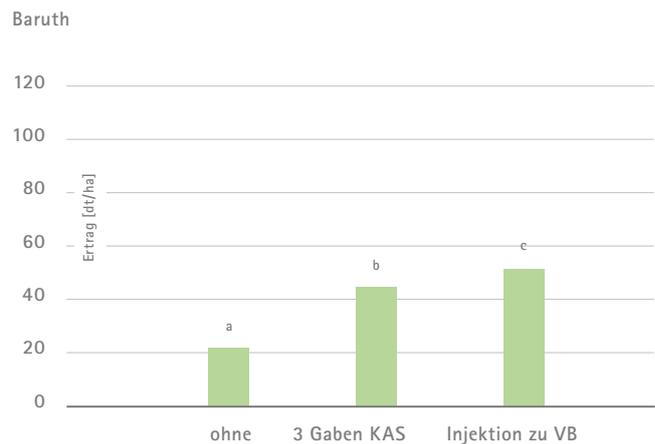
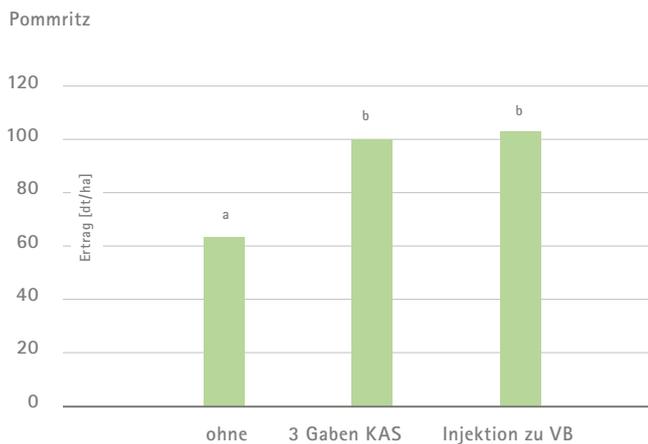
Technologische Vorteile	Physiologische Vorteile
Flüssigdünger – kein „Lösen“ notwendig → sichere Düngewirkung	Ernährung der Pflanze in Abhängigkeit von Kohlenhydratstatus (kein Überwachsen der Bestände/ keine vegetative Fehlentwicklung) → weniger Verdunstung
da Depotbildung, nur eine Gabe notwendig (besonders die 2. N-Gabe ist oft in ihrer Wirkung durch die Trockenheit beeinflusst)	besseres Wurzelsystem
gut kombinierbar mit konservierender Bodenbearbeitung	dickere Zellwände/ niedrigere Transpirationsraten
weniger Unkraut ↔ Wasserkonkurrenz	gesündere Pflanzen ↔ weniger stressanfällig

Um den Einfluss dieses Verfahrens im Vergleich zur herkömmlichen Düngung auf den Ertrag abzubilden, wurden auf verschiedenen

Standorten Versuche angelegt (Farack 2010). Abbildung 39 zeigt die Ergebnisse für Winterweizen.

Abbildung 39: Winterweizenerträge in Abhängigkeit von der N-Applikation (Farack 2010), AZ = Ackerzahl; VB = Vegetationsbeginn, KAS = Kalkammonsalpeter





Auf guten Standorten (Bsp. Pommritz) kann die Injektionsdüngung zumindest mit der Standardvariante mithalten. Hierbei sind jedoch die höheren Aufwendungen dieses Verfahrens zu berücksichtigen, so dass auf diesen Standorten die Standardvariante die günstigere zu sein scheint. Auf Trockenstress-gefährdeten Standorten mit sandigen Böden (Bsp. Baruth) kann die Injektionsdüngung jedoch ihre Vorteile ausspielen und erzielt in den Versuchen einen signifikanten Mehrertrag, natürlich auf standortbedingt niedrigem Niveau.

ausgeprägter Frühsommertrockenheit kann die Injektionsdüngung eine gute Alternative zur Standard-N-Verteilung sein und für eine bessere Nährstoffverfügbarkeit unter diesen Bedingungen sorgen.

Viele Faktoren sprechen für eine bessere N-Wirkung der Injektionsdüngung im Vergleich zur konventionellen Düngung bei Trockenheit. Besonders auf leichten, trockenen Standorten bzw. in Jahren mit

Die Versuche des LfULG zeigen, dass mit einer N-Injektionsdüngung vergleichbare Erträge wie mit der Standard-N-Verteilung erreicht werden. Besonders auf leichten, trockenen Standorten bzw. in Jahren mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit ist die Injektionsdüngung der konventionellen N-Düngung überlegen. Für die landwirtschaftlichen Betriebe in Sachsen stellt die Injektionsdüngung eine Möglichkeit dar, die Auswirkungen von Frühsommertrockenheit zu minimieren und die Ertragsstabilität zu verbessern (Farack & Albert 2011).

4.3. Stabilisierte Dünger

Eine weitere Möglichkeit zur Sicherung der Nährstoffversorgung unter Trockenbedingungen ist der Einsatz stabilisierter Dünger. Hierbei werden z. B. die 1. und 2. N-Gabe in Form stabilisierter Dünger zusammengefasst und eine Qualitätsgabe z. B. mit Hilfe eines N-Schnelltests bedarfsgerecht gegeben (vgl. Abb. 40). Vor allem bei ausgeprägter Frühjahrs- und Frühsommertrockenheit zeigt diese Variante auf Trockenstandorten ihre Vorteile. In Abbildung 46 ist der Mehrertrag von Winterweizen beim Einsatz stabilisierter Dünger zum Schossen (2. und 3. Gabe) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge im Mai/Juni und der Bodengüte (Knittel et al. in Albert, 2009) aufgetragen. Es zeigt sich, dass auf Standorten mit geringen Ackerzahlen (vorwiegend sandige Substrate) ein nennenswerter Mehrertrag v. a. bei geringen Niederschlägen bzw. Trockenheit erzielt werden kann. Auf guten Standorten mit hohen Ackerzahlen sind dagegen kaum nennenswerte Mehrerträge bzw. erst bei extrem geringen Niederschlägen (d. h. extremer Trockenheit) zu erzielen.

Das Zusammenfassen der 2. und 3. N-Gabe bei Wintergetreide und Anwendung stabilisierter N-Dünger zum Schossen stellt eine Maßnahme zur Anpassung für Regionen mit Vorsommertrockenheit dar.



Abbildung 40: Traditionelles und stabilisiertes Düngungssystem bei Wintergetreide (Albert 2009)

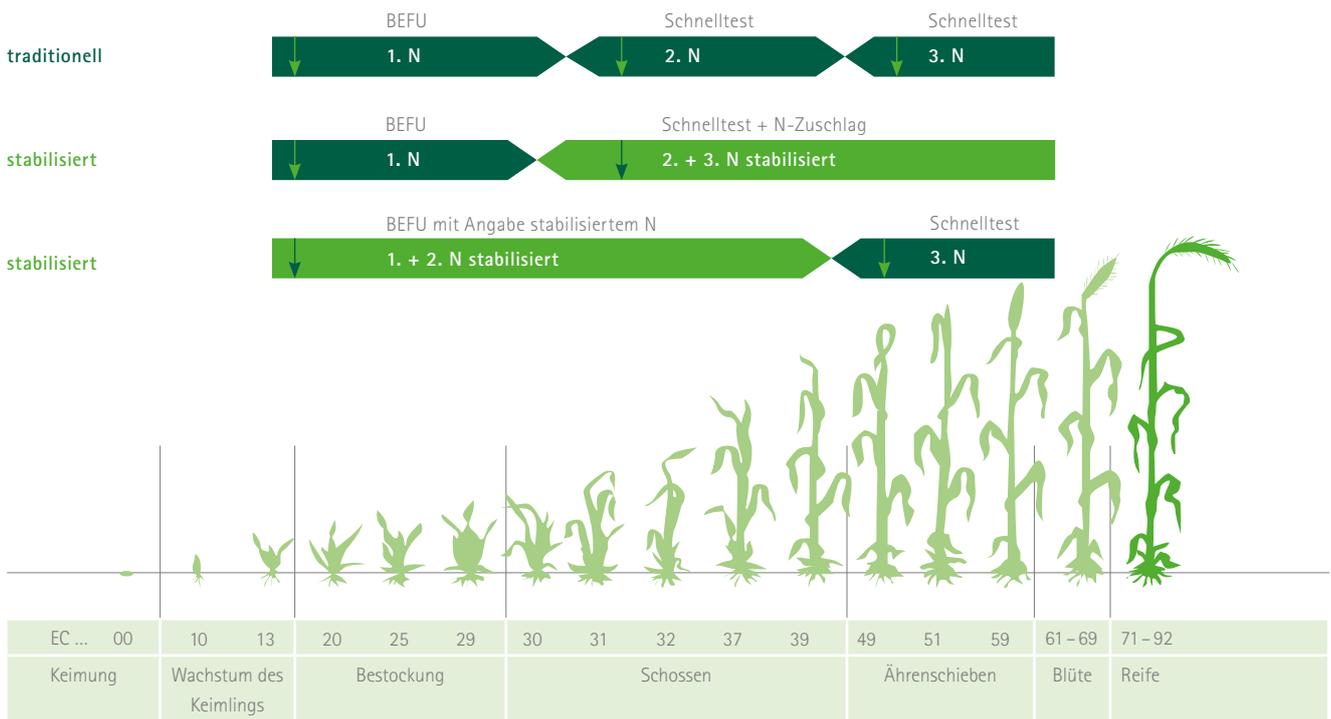
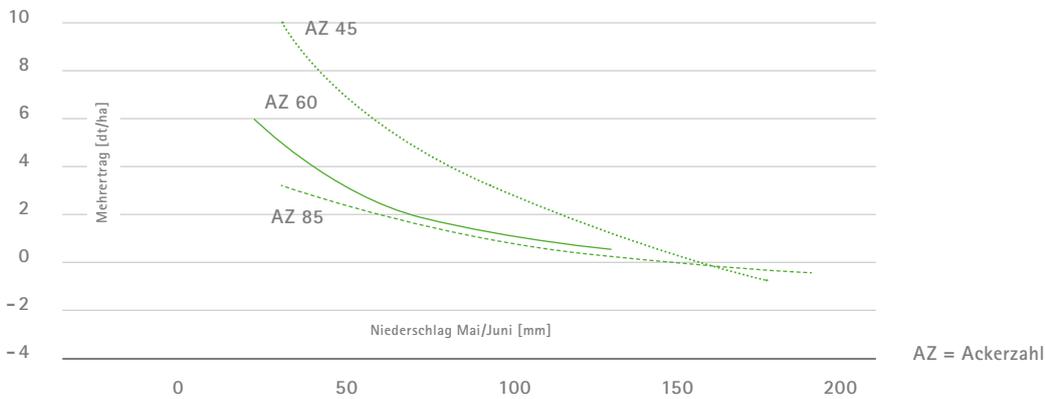


Abbildung 41: Mehrertrag von Winterweizen beim Einsatz stabilisierter Dünger zum Schossen (2. und 3. Gabe) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge im Mai/Juni und der Bodengüte (Knittel et al. in Albert, 2009)



Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Düngung bedarfsgerecht erfolgen sollte, um größeren Bilanzüberschüssen vorzubeugen. Hierbei sind sowohl die N_{MIN} -Gehalte im Frühjahr als auch die Bestandesentwicklung und der danach angepasste Erwartungsertrag mit einzubeziehen und bei der Düngebedarfermittlung zu berücksichtigen. Hierbei sollte die 2. bzw. 3. Gabe bedarfsgerecht nach Schnelltests oder mit Hilfe von Sensoren, möglichst auch teilerschlagspezifisch, ausgebracht werden.

Größere Bilanzüberschüsse treten dann auf, wenn der erwartete Zielertrag aufgrund von Extremjahren nicht erzielt werden kann

(Bsp. 2003) und somit die gedüngte Menge nicht vom Bestand verwertet wird. Um ein ausreichendes Ausgleichspotenzial zu schaffen sind eine ausreichende Grundnährstoffversorgung, speziell eine ausreichende K-Versorgung sicherzustellen und technische Möglichkeiten zu nutzen. Auf trockenstressgefährdeten Standorten bieten die Injektionsdüngung und der Einsatz stabilisierter Dünger hierbei Möglichkeiten, um zum einen die Nährstoffe (v. a. N) auch bei Trockenheit pflanzenverfügbar zu machen und andererseits einer späteren Auswaschung vorzubeugen.

5. Humusreproduktion

5



5.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Humusgehalt von Ackerböden

Humus erfüllt im Boden und damit auch im Agrarsystem vielfältige Funktionen:

Speicher- und Pufferfunktion:

- Nährstoffe (Nährstoffspeicher, Nährstoffdynamik)
- Wasserhaushalt
- Bodenstruktur (Aggregatstabilität)
- Kohlenstoffbindung

Durch den fortschreitenden Klimawandel und damit verbundene Temperaturerhöhungen ist davon auszugehen, dass die Humusgehalte in den Böden tendenziell negativ beeinflusst werden. Davon sind ebenso die oben genannten Funktionen betroffen. Die Abbildungen 42 – 44 zeigen die regionsspezifischen Spannweiten der C_{org} -Entwicklung verschiedener Bewirtschaftungsvarianten für einen D-, einen Löß- und einen V-Standort von 2000 – 2050, berechnet mit dem Modell CANDY (Kolbe 2010).



Abbildung 42: Spannweite der C_{org} -Entwicklung der berechneten Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Abb. 50), D-Standort (2000 – 2050, Modell CANDY, Kolbe 2010)

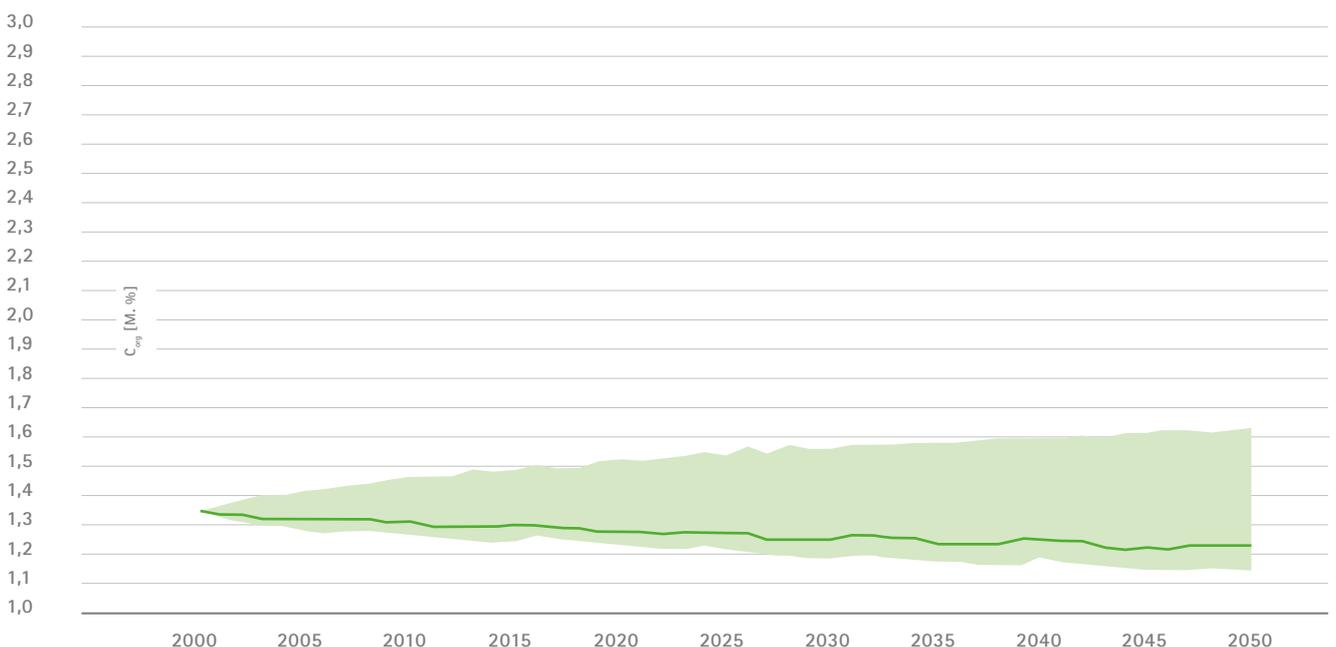


Abbildung 43: Spannweite der C_{org} -Entwicklung der berechneten Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Abb. 50), L6-Standort (2000 – 2050, Modell CANDY, Kolbe 2010)

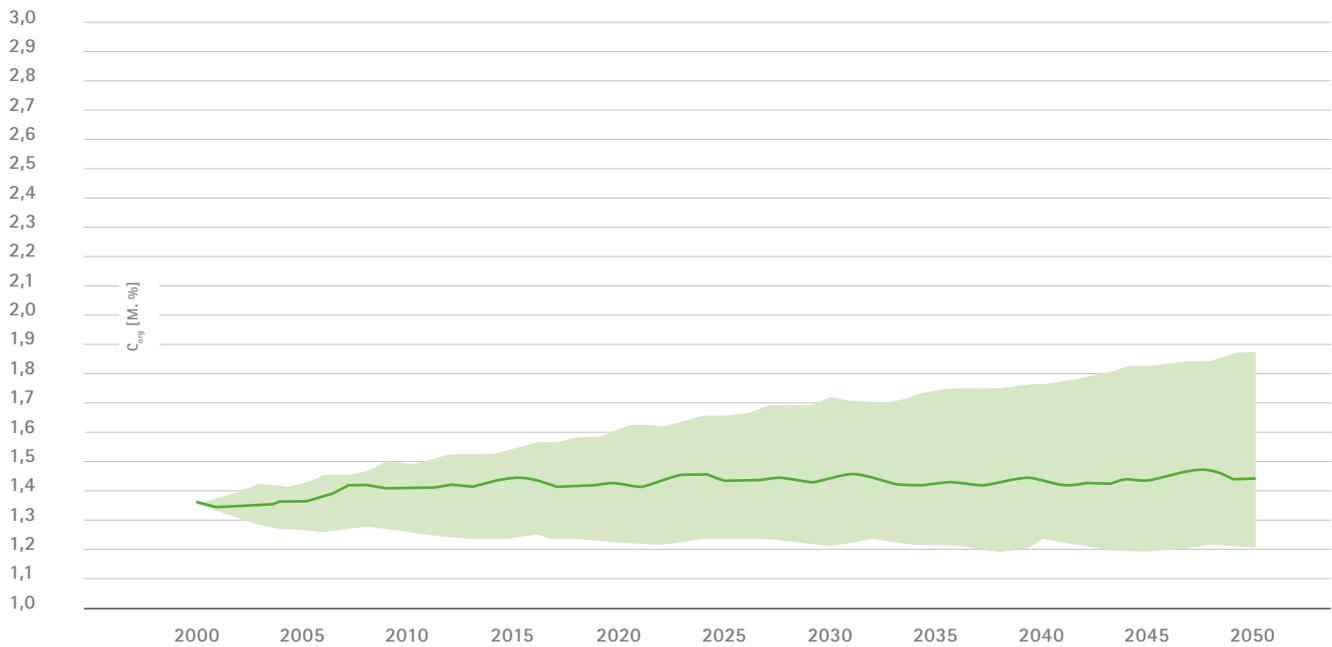
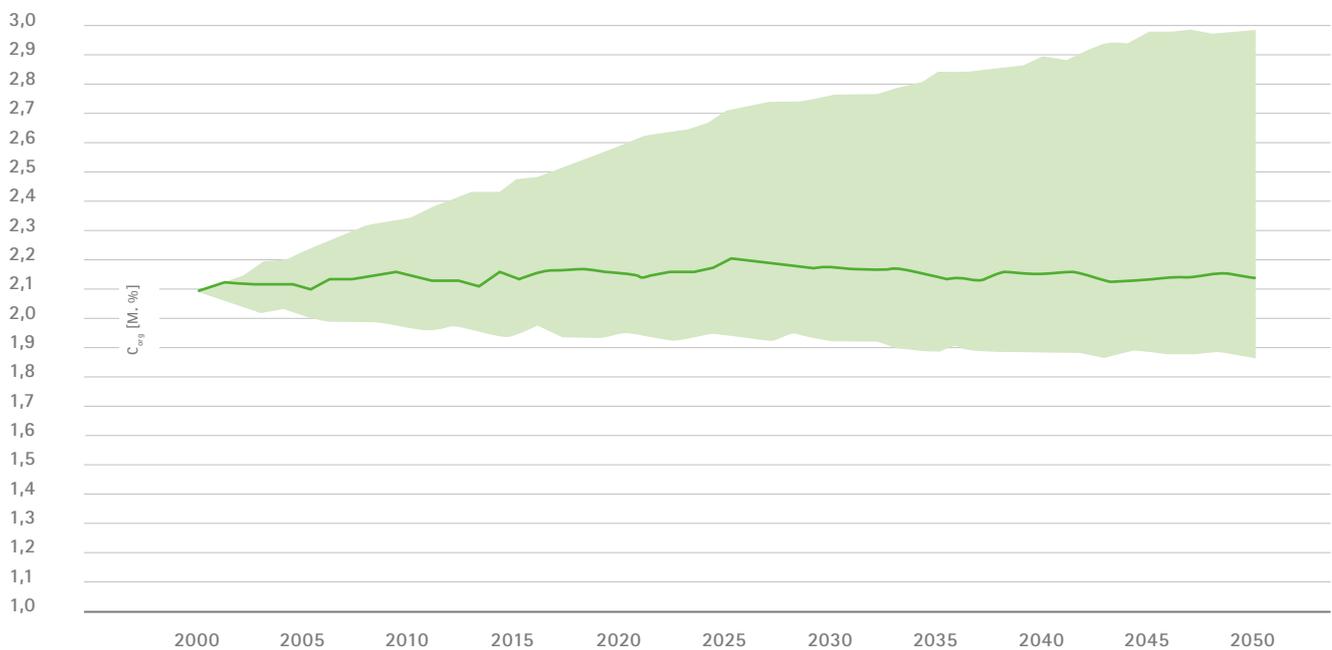


Abbildung 44: Spannweite der C_{org} -Entwicklung der berechneten Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Abb. 50), V-Standort (2000 – 2050, Modell CANDY, Kolbe 2010)

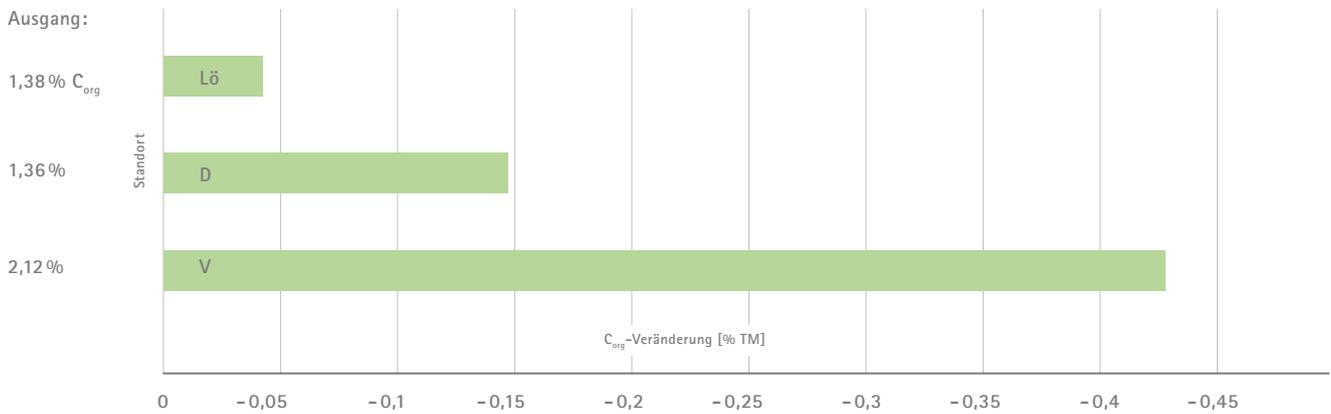


Es wird deutlich, dass es sowohl unterschiedliche Ausgangsniveaus der Humusgehalte in den unterschiedlichen Regionen gibt. Zudem sind je nach Bewirtschaftung unterschiedliche Entwicklungen unter Klimawandel bis 2050 möglich.

Je nach Bewirtschaftungsvariante sind bis 2050 sowohl Zunahmen (z. B. auf dem D-Standort von 1,35 auf 1,6 %) als auch Abnahmen (z. B. auf dem D-Standort von 1,35 auf 1,15 %) möglich.

5.2. Humusbilanzierung als Anpassungsstrategie

Abbildung 45: Einfluss des Klimawandels auf die C_{org} -Gehalte des Bodens auf Verwitterungsböden der Vorgebirgslagen (V), Sand- (D) und Lössböden (Lö) in Sachsen bis zum Jahr 2050 (Kolbe 2010)



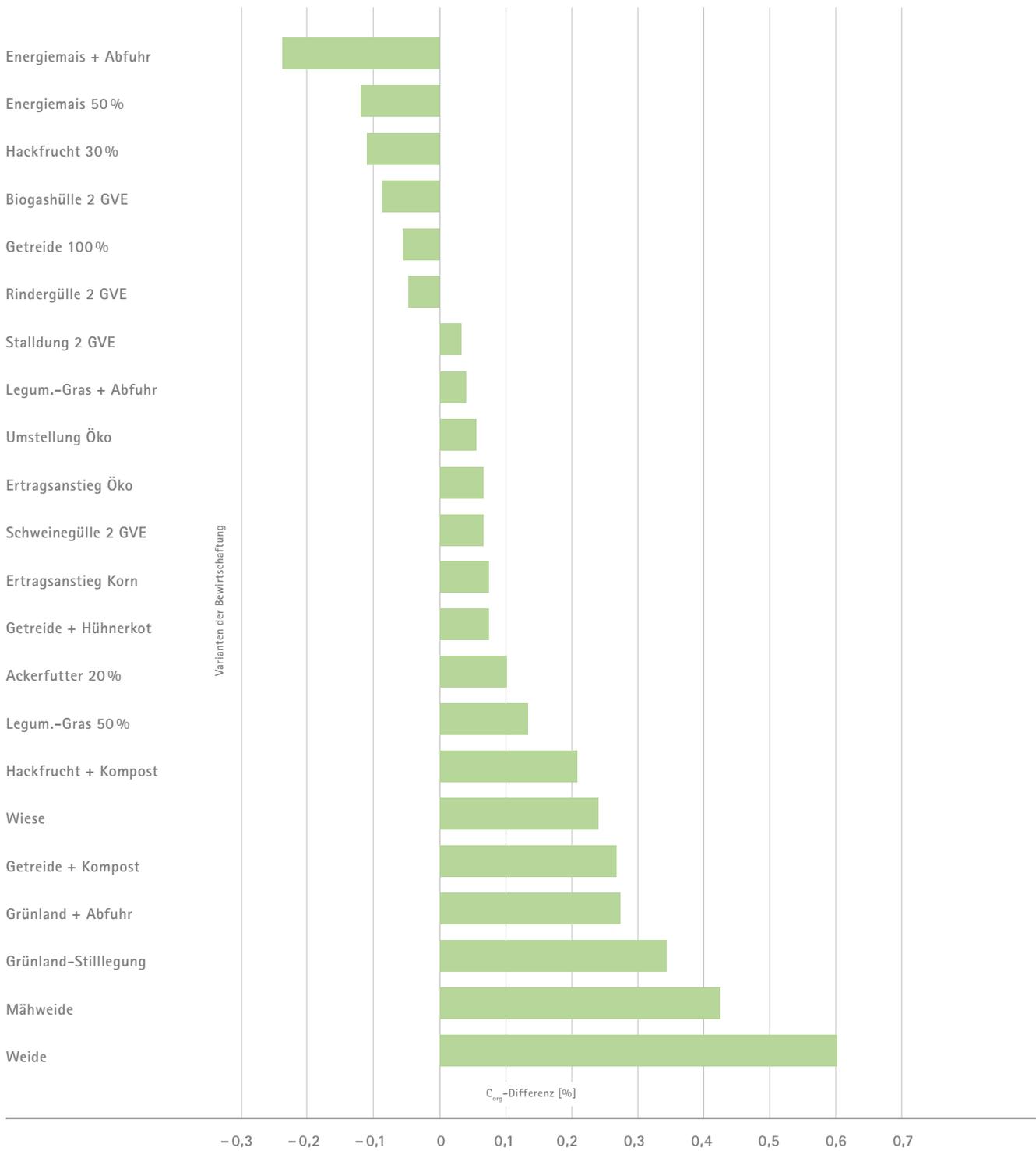
Im Mittel aller Bewirtschaftungsmaßnahmen kommt es nach diesen Berechnungen jedoch zu einer Abnahme der C_{org} -Gehalte. Die mittleren Veränderungen für diesen Zeitraum sind standortbezogen in Abbildung 45 dargestellt. Vor allem auf den V-Standorten, die derzeit die höchsten C_{org} -Gehalte aufweisen, werden bis 2050 durch die Temperaturerhöhung die höchsten Abnahmen erwartet. Bei ge-

ringeren Ausgangsgehalten treten auf D- und Lö-Standorten geringere Abnahmen auf, auf Lö-Standorten die geringsten Abnahmen.

Abbildung 46 zeigt die Kompensationsmöglichkeiten durch Änderung der Bewirtschaftung nach Berechnungen von Kolbe (2010).



Abbildung 46: Kompensationsmöglichkeiten durch Änderung der Bewirtschaftung (Kolbe 2010)



Anwendung von Methoden zur Humusbilanzierung

- durch Humusbilanzierung ist eine relative Beurteilung sowohl der Entwicklung der Versorgung mit organischer Substanz als auch der Humusgehalte möglich
- verwendete Bilanzierungsverfahren zur Sicherung der Humusreproduktion
 - VDLUFA (obere und untere Werte (CC))
 - Standortangepasste Methode
- In den untersuchten Partnerbetrieben wurde eine schlagbezogene Humusbilanzierung nach den genannten drei Methoden durchgeführt:
 - Jährlich (für jedes Fruchtfolgeglied)
 - für die gesamte Fruchtfolge



Abbildung 47 zeigt zwei Beispiele: Oben für eine positive und unten für eine negative Humusbilanz.

Abbildung 47: Beispiele der Humusbilanzierung nach VDLUFA Methode (obere und untere Werte) und Standortangepasster Methode (Lorenz 2011a)





- VDLUFA Methode untere Werte
- VDLUFA Methode obere Werte
- Standortangepasste Methode

Es wird deutlich, dass beim Belassen des Stroh auf dem Feld und einer angemessenen organischen Düngung ausgeglichene bis positive Humusbilanzen (Bereich C–D) erzielt werden können. Bei komplet-

ter Abfuhr des Stroh und ausbleibender organischer Düngung sind jedoch auch sehr negative Bilanzen (Bereich A–B) möglich.

5.3. Schlussfolgerungen

- Einfluss des Klimawandels auf die Humusgehalte des Bodens
 - D- und LÖ-Standorte: leichter Abfall der C_{org} -Werte
 - V-Standorte: z. T. deutlicher Rückgang der C_{org} -Werte (hohe methodische Schwankung)
- Einfluss der Landwirtschaft auf die Humusgehalte des Bodens: Es bestehen unausgeglichene Bilanzen in den untersuchten Gebieten: höhere Werte der Unterversorgung mit organischer Substanz (Versorgungsgruppen A, B) auf D- und LÖ-Standorten, sowie eine Überversorgung (D, E) auf V-Standorten.
- Im Vergleich zum Einfluss des Klimawandels bestehen Möglichkeiten sowohl zur weiteren Reduzierung als auch zur Kompensation der Humusgehalte.
- Unter Beachtung realistischer und wirtschaftlich vertretbarer Handlungsweisen ist das Kompensationsvermögen durch gezielte Änderung der Landwirtschaft jedoch begrenzt.
- Durch Humusbilanzierung ist eine relativ sichere Beurteilung sowohl der Entwicklung der Versorgung mit organischer Substanz als auch der Humusgehalte möglich.

6. Pflanzenschutz

6



6.1. Auswirkungen des Klimawandels

Im Pflanzenschutz ist klimabedingt künftig mit einem wachsenden Problemdruck sowohl in der Befallsstärke als auch der Einwanderung neuer Arten (Krankheiten, Unkräuter, Schädlinge) zu rechnen. Damit dies möglichst nicht zu einem erhöhten Pflanzenschutzmitteleinsatz führt, sind die Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes konsequent auszubauen. Weiterhin sind sowohl zur Sicherung stabiler Erträge und Qualitäten als auch zur Sicherung möglichst bedarfsorientierter Einsatzmengen und Zeitpunkte, witterungs-basierte Prognoseverfahren, Modelle und umfangreiche Monitoringaktivitäten notwendig, anzuwenden und weiter auszubauen. Gerade bei zunehmender Variabilität des Klimas im Vegetationsverlauf kommt diesem Aspekt unter Klimawandelbedingungen eine hohe Bedeutung zu.

Die klimatischen Veränderungen werden den Druck durch Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und Schädlinge auf landwirtschaftliche Kulturen erhöhen. Steigende Temperaturen in Verbindung mit sinkenden Niederschlägen v. a. im Frühsommer sowie ungünstige Temperatur- und Niederschlagsverteilungen in den entscheidenden Vegetationsabschnitten können das Spektrum an Krankheitserregern und deren Bedeutung verändern. Weiterhin können z. B. Hitze- oder Kältestress, heftige Regenfälle, Schadstoffe, UV-Strahlung und mangelhafte Ernährung der Pflanzenbestände einen Krankheitsausbruch begünstigen. Zukünftig werden tendenziell Wärme liebende Krankheiten, denen kurze Feuchte- oder Tauphasen zur Ausbreitung ausreichen, zunehmen (z. B. Brand- und Rostpilze), wohingegen Krankheiten, die für ihre Entwicklung Niederschläge, längere Feuchtephasen und eher mäßig warme Bedingungen benötigen (z. B. der Rhynchosporium Blattfleckkrankheit der Gerste, der Blatt- und Spelzenbräune des Weizens sowie der Krautfäule an Kartoffeln) tendenziell eher abnehmen. Dennoch ist in einzelnen Jahren auch mit stärkeren Ausbreitungen solcher Krankheiten zu rechnen. Mildere Winter können zu raschem und heftigerem Ausbruch von einzelnen Krankheiten (z. B. echtem Mehltau, Zwergrost, Gelb- und Braunrost) im Frühjahr führen. Weiterhin können insbesondere nach milden



Wintern häufig Viruskrankheiten auftreten, die durch Blattläuse oder Zikaden übertragen werden (LfULG 2009). Das Wachstum von Unkräutern wird ebenso wie das landwirtschaftlicher Kulturen durch veränderte Klimabedingungen beeinflusst. Unkräuter können bei einer Erwärmung mehrere Generationen in einem Jahr hervorbringen, damit könnte ihre Verbreitung generell zunehmen. Bei zunehmend milderen Wintern könnten Herbstkeimer, wie z. B. Ackerfuchschwanz, Klettenlabkraut, Taubnessel, Ehrenpreis und Stiefmütterchen Vorteile haben und z. B. im Frühjahr ein fortgeschrittenes Entwicklungsstadium erreichen. Dies kann zu Minderwirkungen beim Einsatz von Herbiziden führen. Des Weiteren können durch klimatische Veränderungen neue Unkrautarten aus wärmeren Klimaten auftreten. Nach LfULG (2009) lässt sich die Tendenz der Ausbreitung Wärme liebender Arten bereits heute am Beispiel der Arten Samtpappel, Weißer Stechapfel, Giftbeere oder Beifußblättrige Ambrosie erkennen. Hinsichtlich der Schädlinge könnten Wärme liebende Insekten (z. B. Kartoffelkäfer und Blattläuse) tendenziell zunehmen. Bei milderen Wintern wird eine zunehmende vitale Überwinterung von Schädlingen und damit ein höherer und früherer Befallsdruck im darauffolgenden Frühjahr erwartet. Dies kann im Frühjahr auch zu einer explosionsartigen Vermehrung mit der Folge einer stärkeren Selektion zur Anpassung an die Wirkmechanismen der Pflanzenschutzmittel führen. 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. Ebenso erhöht sich auch die Gefahr von Phytotoxizität bei Anwendung unter trockenen Bedingungen (Herbizide, Wachstumsregulatoren, z. T. auch Fungizide, LfULG 2009).



Nord- und Ostachsen bzw. der nördliche und nordöstliche Teil der REGKLAM-Modellregion werden davon schneller betroffen sein als die übrigen Gebiete. Damit dies möglichst nicht zu einem erhöh-

ten Pflanzenschutzmitteleinsatz führt, sind die Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes, auch im Sinne des Naturschutzes, konsequent auszubauen. Im integrierten Klimaanpassungsprogramm (REGKLAM-Konsortium, 2013) werden sechs konkrete Maßnahmen zur Anpassung der Landwirtschaft an die Klimaveränderungen im Bereich Pflanzenschutz vorgeschlagen:

- vorbeugende Maßnahmen (z. B. durch Fruchtfolgegestaltung, vgl. Kap. 2.2),
- Anwendung und Weiterentwicklung von Verfahren des biologischen Pflanzenschutzes,

- Anwendung geeigneter Zusatzstoffe bei Trockenheit,
- Weiterentwicklung von Precision Farming zur Verminderung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes,
- Intensivierung des Monitorings durch Anwendung witterungsbasierter Prognoseverfahren im Pflanzenschutz und
- Anpassung und Nutzung der Informationsbereitstellungs- und Weiterbildungsangebote.

Im Folgenden wird zuerst ein Index zur Ermittlung der Pflanzenschutzintensität vorgestellt. Außerdem wird detailliert auf die Anwendung witterungsbasierter Entscheidungshilfen eingegangen.

6.2. Index zur Ermittlung der Pflanzenschutzintensität

Zur Ermittlung der Pflanzenschutzintensität in den beteiligten Betrieben wurde schlagbezogen der Behandlungsindex (BI) als Maß für die Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung in Abhängigkeit der Aufwandmengen und Flächen berechnet:

- Herbizide (H), Fungizide (F), Insektizide (I), Wachstumsregulatoren (W)
- Jährlich (Fruchtfolgeglied)
- Fruchtfolge

In einem zweiten Schritt wurde untersucht, ob diese Aufwendungen mit dem Auftreten verschiedener Unkräuter, Krankheiten und Schadinsekten nach Aufnahmen der Schaderregerüberwachung in Sachsen korrelieren.

Der Behandlungsindex (BI) ist ein Maß für die PSM-Intensität und berücksichtigt die Anzahl der in einer Fruchtart eingesetzten PSM (getrennt nach den Wirkungsbereichen H, F, I, W), normiert auf die Anbaufläche der Fruchtart und auf die in der Zulassung ausgewiesene Aufwandmenge. Folgende Berechnung liegt dem Behandlungsindex (BI) zu Grunde:

$$BI = \frac{\text{ausgebrachte Aufwandmenge}}{\text{zugelassene Aufwandmenge}} \times \frac{\text{behandelte Fläche}}{\text{Schlaggröße}}$$

Abbildung 48 zeigt den Behandlungsindex der untersuchten Partnerbetriebe von 2003 bis 2009 getrennt nach Wirkungsbereichen. Die höchsten Werte traten sowohl bei den Herbiziden als auch den Fungiziden und Insektiziden in den Jahren 2008 und 2009 auf.

Abbildung 48: Behandlungsindex der Partnerbetriebe von 2003 bis 2009 nach Wirkungsbereichen (Lorenz 2011a)

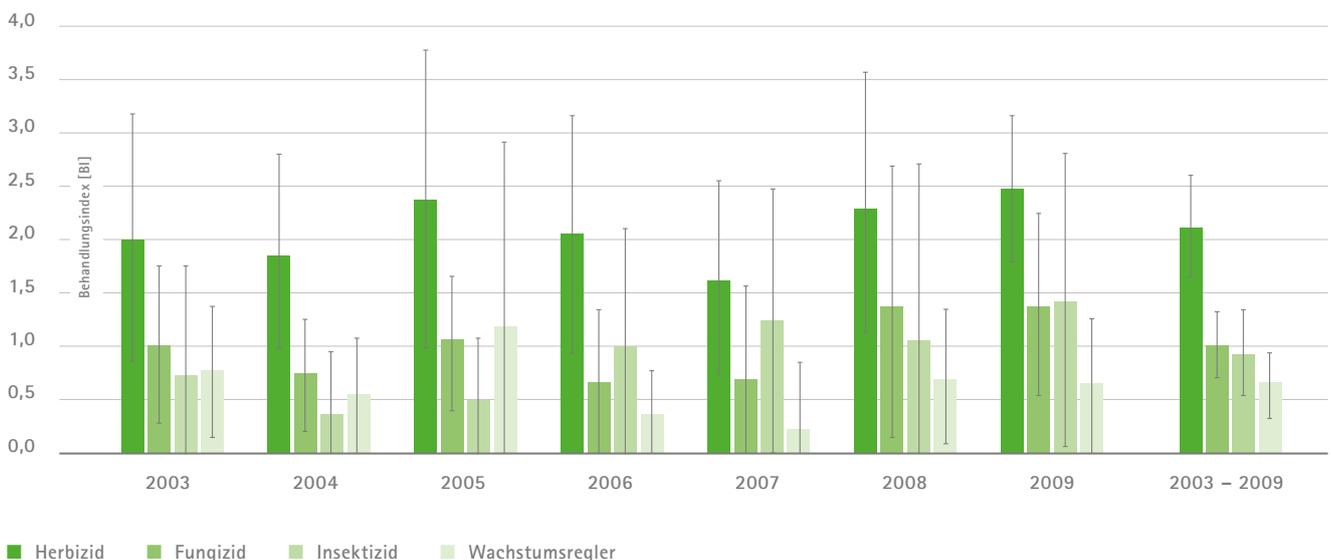
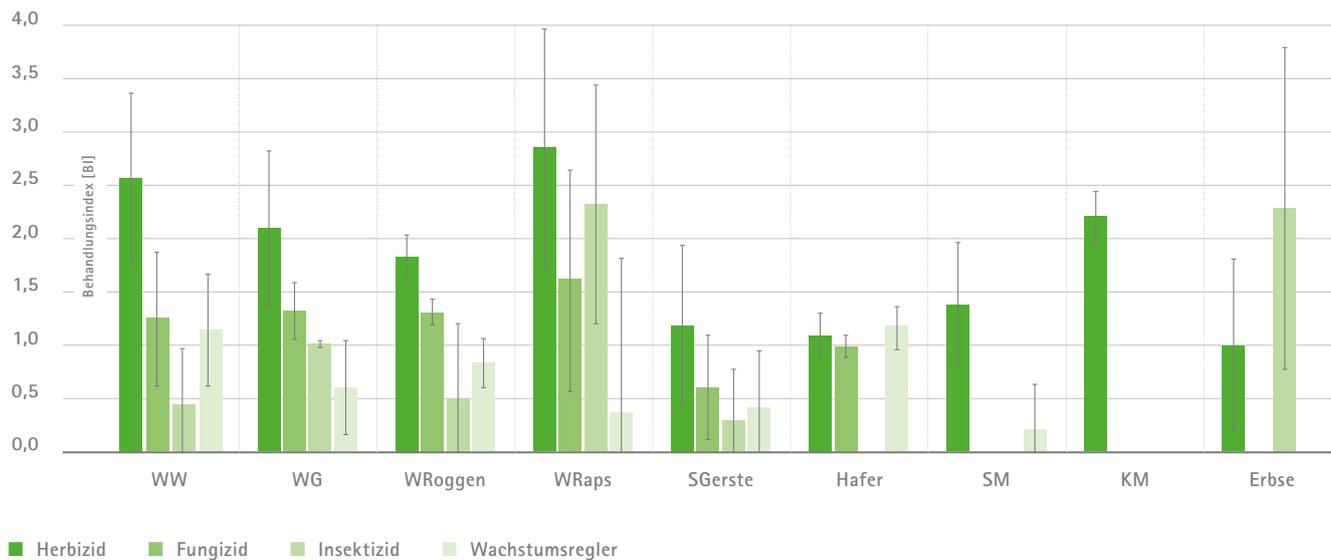


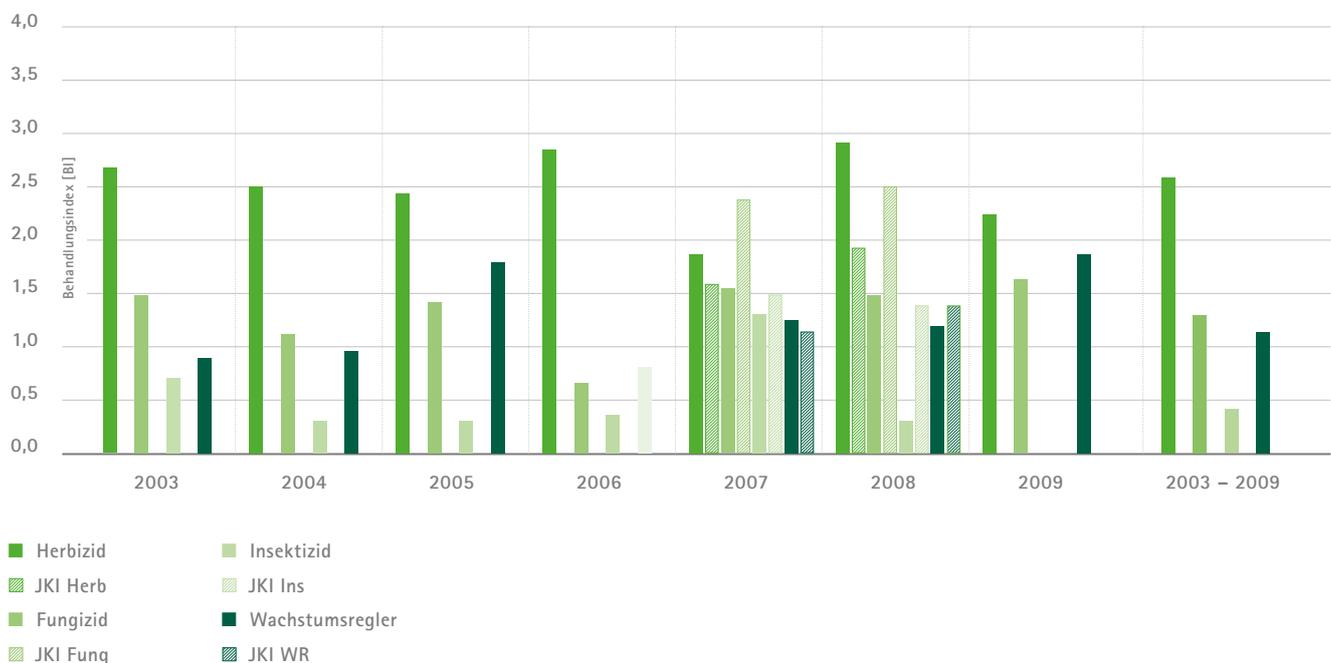
Abbildung 49: Behandlungsindex der Partnerbetrieb getrennt nach Kulturen und Wirkungsbereichen (Lorenz 2011a)



Die Aufteilung des Behandlungsindex der Partnerbetriebe nach Kulturen und Wirkungsbereichen (Abb. 49) zeigt, dass der höchste Einsatz an Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden im Raps erfolgt. Hinsichtlich der Herbizidanwendung finden sich höhere Werte auch

beim Winterweizen. Nachfolgend werden diese beiden Kulturen den Werten des Julius-Kühn-Instituts (JKI) für Ostdeutschland und die Jahre 2007 und 2008 gegenübergestellt (Abb. 50).

Abbildung 50: Vergleich des Behandlungsindex der Partnerbetriebe für Winterweizen mit Angaben des JKI (Lorenz 2011a)



Es zeigt sich beim Winterweizen, dass die ermittelten Betriebswerte für die Jahre 2007 und 2008 in vergleichbaren Größenordnungen wie die Angaben des JKI für Ostdeutschland liegen. Bei den Herbiziden treten in den Betrieben, v. a. im Jahr 2008, höhere Werte auf,

wohingegen der Einsatz von Fungiziden in beiden Jahren und von Insektiziden im Jahr 2008 in den Betrieben geringer ist. Der Einsatz von Wachstumsreglern ist vergleichbar.



Im Raps zeigt sich ein anderes Bild (vgl. Abb. 51). Hier finden sich in beiden Jahren, aber speziell im Jahr 2008, höhere Werte des BI für Herbizide, Fungizide und Insektizide in den untersuchten Partnerbetrieben. Hier scheint sowohl der Befall mit Unkräutern, pilzlichen Schaderregern und Schadinsekten höher gewesen zu sein als im Durchschnitt Ostdeutschlands.

Daraufhin wurden die Angaben der Schaderregerüberwachung zum Auftreten von Unkräutern, Krankheiten und Schaderregern dahingehend untersucht, ob sich Zusammenhänge zum Mitteleinsatz in einzelnen Jahren ableiten lassen. Unter anderem wurden hierbei für verschiedenen Entwicklungsphasen des Bestandes einbezogen:

Winterweizen:

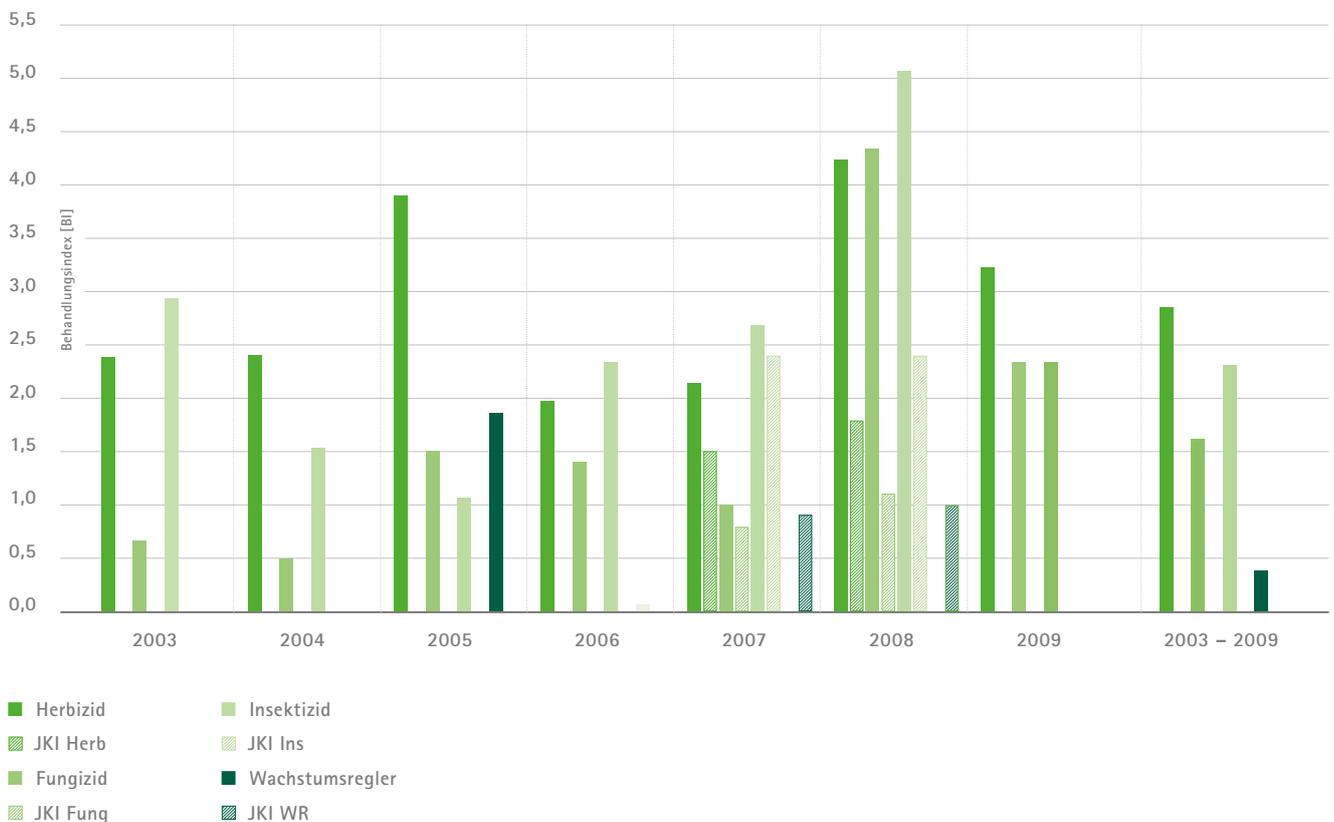
- Septoria tritici (Blattdürre)
- Septoria nodorum (Blatt- und Spelzenbräune)
- Mehltau
- Braunrost
- Auftreten von Blattläusen

Winterraps:

- Phoma lingam (Wurzelhals- und Stängelfäule)
- Auftreten des Rapsglanzkäfers

Bisher konnten keine statistisch abgesicherten Zusammenhänge zwischen dem Einsatz der PSM in den Betrieben der REGKLAM-Region und den Aufnahmen der Schaderregerüberwachung für ganz Sachsen ermittelt werden. Eine genauere regionale Unterscheidung scheint daher zukünftig notwendig.

Abbildung 51: Vergleich des Behandlungsindex der Partnerbetriebe für Winterraps mit Angaben des JKI (Lorenz 2011a)



6.3. Anwendung witterungsbasierter Entscheidungshilfen im Pflanzenschutz

Zur Ermittlung bedarfsorientierter Einsatzmengen und Zeitpunkte zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wird die Anwendung und die Weiterentwicklung witterungsbasierter Prognoseverfahren empfohlen.

Die in Kapitel 6.1 beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels werden v. a. in den Regionen der Sächsischen Heide- und Teichlandschaften mit vorwiegend sehr leichten Böden aber auch teilweise in den Sächsischen Lössgebieten auftreten. Die Vorgebirgslagen bzw. die kühleren und feuchten Verwitterungsstandorte im Süden Sachsens werden dagegen eher weniger betroffen sein, d. h. Nord- und Ostsachsen bzw. der nördliche und nord-östliche Teil der REGKLAM-Modellregion werden schneller betroffen sein als die übrigen Gebiete. Konfliktpotenziale bestehen mit dem Naturschutz und dem Gewässerschutz durch den Einsatz und mögliche Austragspotenziale von Pflanzenschutzmitteln. Beispiele sollen die Umsetzung der Maßnahme verdeutlichen:



Ausbau Monitoring:

Beispiel Schaderregerüberwachung (SEU): Durchführung der Schaderregerüberwachung und des Warndienstes nach § 59 Absatz 2 Pflanzenschutzgesetz

Im Rahmen des Warndienstes wird über das aktuelle Auftreten von Schaderregern informiert und auf notwendige Behandlungen sowie Möglichkeiten der Nutzung nichtchemischer sowie acker- und pflanzenbaulicher Verfahren zur Befallsreduzierung hingewiesen. Die Beratungsaussagen basieren auf den Ergebnissen der Schaderregerüberwachung (SEÜ) und der Versuche des Pflanzenschutzdienstes. Von den Ergebnissen der SEÜ-Beobachtungs- bzw. Monitoringschläge ist der aktuelle Befallstrend für die gesamte Anbaufläche der jeweiligen Kultur eingeschätzt worden. Dies erfolgt, um unnötige Pflanzenschutzmaßnahmen zu vermeiden und sachgerechte Empfehlungen für einen gezielten Pflanzenschutz zu geben. Ziel der Überwachung ist weiterhin das Erkennen und Verhindern von Kalamitäten und Epidemien und die Erfassung neuer bzw. noch nicht nachgewiesener Schaderreger in Sachsen.

Im Zuge des Klimawandels mit steigenden Variabilitäten und ggf. neu auftretenden Arten sind diese Aktivitäten sowohl Kulturarten- und Schaderregerspezifisch, als auch regional- und räumlich differenziert auszubauen, weiterzuentwickeln und an sich ändernde Verhältnisse anzupassen. Hierfür sind zukünftig zusätzliche Mittel einzuplanen.

Ausbau und Anwendung von Prognosemodellen:

Beispiel Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion (ISIP):

Auf den Internetseiten des ISIP (www.isip.de) sind aktuelle regionale Informationen v. a. zum Bereich Pflanzenschutz verfügbar. Diese basieren auf den Ergebnissen der Schaderregerüberwachung (SEÜ), den Versuchen der Pflanzenschutzdienste und witterungsbasierten Prognosemodellen zu verschiedenen Krankheiten und Schaderregern. Im Zuge des Klimawandels müssen diese Aktivitäten ausgebaut und intensiv von Landwirten genutzt und umgesetzt werden, um individuell und standortbezogen auf Schadereignisse reagieren bzw. auch vorbeugen zu können.

Hierfür bietet das ISIP eine Reihe von Informationen und Modellen, die z. B. auch die Witterungsverhältnisse der vorangegangenen Tage und Populationsentwicklungen mit einbezieht. Beispielhaft soll hier ein Überblick gegeben werden.



Handlungsempfehlungen:

Monitoring: Befallserhebungen auf Beispielschlägen

Modelle (Bsp.):

- SIMCERC: Halmbruch Befallsprognose für Winterweizen, Winterroggen, Wintertriticale; Berechnet bei Erreichen des Zweiknotenstadiums den ertragswirksamen Befall zur Milchreife → schlagspezifische Abschätzung der Behandlungsnotwendigkeit
- SIMONTO: Prognose des BBCH Stadiums/Bestandesentwicklung für Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Wintertriticale
- SIMPHYT: Krautfäule bei Kartoffeln: Vorhersage des Auftretens – Epidemiebeginn; Berechnung des Witterungsbedingten Infektionsdruckes
- SIMLEP: Kartoffelkäferprognose: Berechnung der Populationsdynamik (Eigelege, Larvenst.), schlagspezifischer Behandlungszeitraum
- CERC BET: Cercospora-Prognose Zuckerrüben: Erstinfektion möglich – Aufruf zur Feldkontrolle, schlagspezifische Befallsprognose – Überschreitung der Bekämpfungsschwelle
- Rapskrebs-Prognose: schlagspezifische Befallsprognose – Überschreitung der Bekämpfungsschwelle
- SkleroPro: Prognose der Sclerotinia (Weißstängeligkeit) beim Winterraps, Behandlungsnotwendigkeit zur Blüte

Infothek:

- Umfangreiche Grundlagenbibliothek/Infothek mit Schadbildsammlung
- Regionale Versuchsberichte der Bundesländer, pflanzenbauliche Versuchsbericht-Datenbank
- Aktuelle Listen zum PSM Zulassungsstand

Regionale Prognosen:

Informationen zum Pflanzenschutz im Feldbau und Gartenbau für Sachsen (und weitere Bundesländer), Informationen zum Pflanzenbau (Sortenwahl, Anbauverfahren etc.), Veranstaltungshinweise, Kontakthinweise zu Ansprechpartnern etc.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion ein umfassendes Instrument zur Entscheidungsunterstützung darstellt. Es bietet hochaktuelle schlagspezifische Entscheidungshilfen und eine umfangreiche Grundlagenbibliothek. Die ISIP-Plattform ist offen und flexibel erweiterbar sowie anpassbar an Nutzerbedürfnisse. Sie bietet eine flächendeckende Darstellung der Prognose-Ergebnisse in Form von Risikokarten durch Interpolation von Wetterdaten und weitere Informationen und Entscheidungshilfen zum Acker- und Gartenbau.

Im Zuge des Klimawandels mit steigenden Variabilitäten und ggf. neu auftretenden Arten sind diese Aktivitäten sowohl kulturarten- und schaderregerspezifisch, als auch regional- und räumlich differenziert auszubauen, weiterzuentwickeln und an sich ändernde Verhältnisse anzupassen. Weiterhin sollten Zusammenführung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse überregional auf Bundeslandebene ausgebaut, weiterentwickelt und verstärkt werden. Hierfür sind zukünftig zusätzliche Mittel einzuplanen.

7. Anpassung von Anbaustrategien und -verfahren im Obstbau unter besonderer Beachtung von Hagelschutzmaßnahmen und deren betriebswirtschaftlicher Bewertung



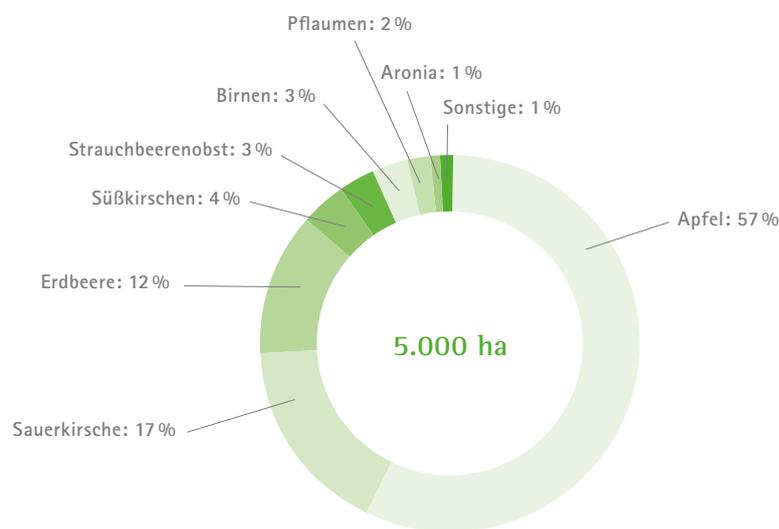
7.1. Ausgangssituation und Lösungsansätze

7.1.1. Obstbau

Auf einer Fläche von rund 5.000 ha (Abb. 52) werden über 100.000 t frisches Obst erzeugt. Damit ist Sachsen das drittgrößte Obstanbauggebiet in Deutschland. Mit 2.800 ha ist der Apfel die Hauptkultur im Anbauggebiet. Größere wirtschaftliche Bedeutung haben noch Sauerkirschen (ca. 850 ha) und Erdbeeren (ca. 600 ha). Birnen, Süßkirschen, Pflaumen, Strauchbeerenobst und Aronia ergänzen

das Sortiment. Die Hauptsorten im Apfelanbau Sachsens sind Idared, Gala, Jonagold, Golden Delicious und Elstar. Bei Birnen setzen die Anbauer besonders auf die bewährten Sorten Conference und Alexander Lucas. Jedes Jahr kommen neue Sorten auf den Markt, die Wahl der richtigen Sorte ist entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg des Betriebes (Handsack 2011).

Abbildung 52: Obstanbaufläche Sachsen (StaLa 2009)



Mit den sich verändernden Klimabedingungen stehen die Obstanbauer vor neuen Aufgaben wie Hagelabwehr und Absicherung der Wasserversorgung in Trockenzeiten. Dabei helfen ihnen Anbauversuche des LfULG, die sich auf den Versuchsflächen in Pillnitz und in einigen Praxisbetrieben den wichtigsten Fragen widmen.

Hauptproblemfelder Obstanbau und Klimawandel:

- Trockenheit/Dürreperioden
- Extremereignisse – Hagel, Starkniederschlag
- Schädlinge und Krankheiten

Lösungsansätze und Anforderungen Obstbau und Klimawandel:

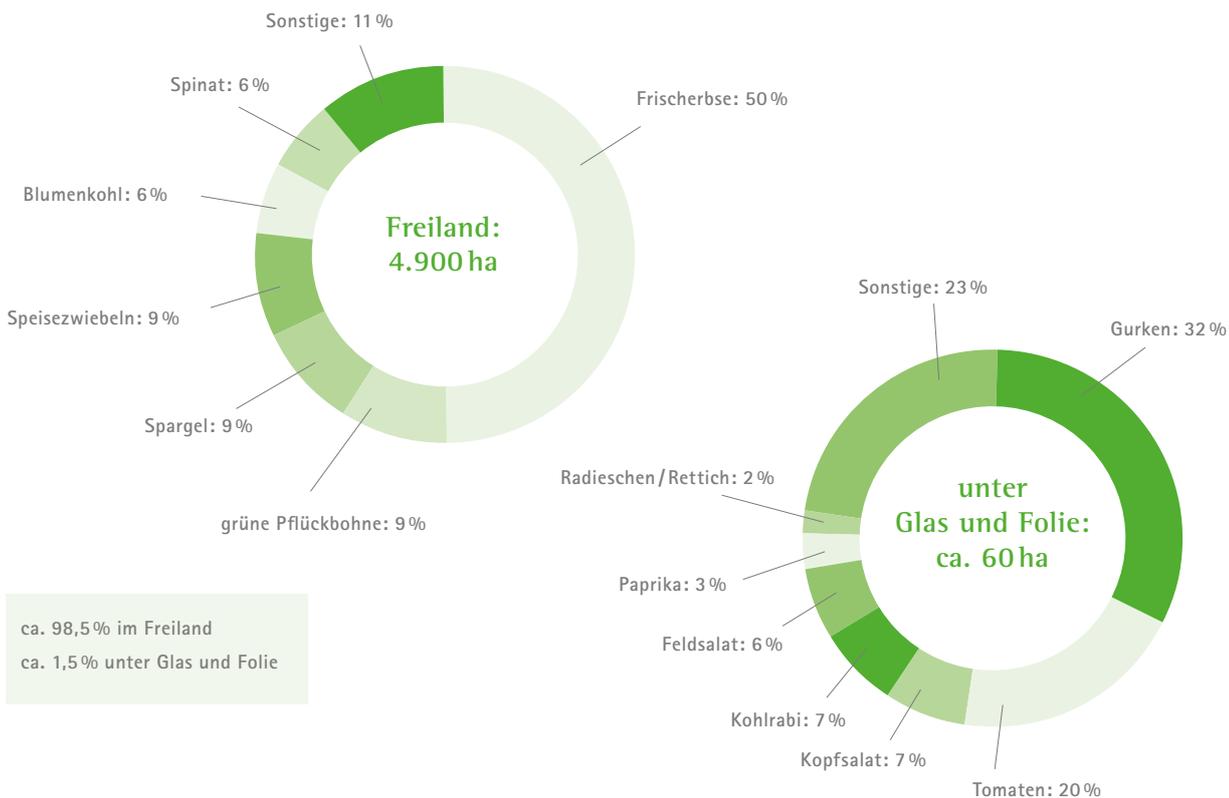
- Bewässerung
- Hagelschutz (Schutznetze, Versicherungen ...)
- Überdachungen gegen Starkniederschläge
- Schädlinge (Bekämpfungswürdigkeit, Neobiota)
- Qualitätssicherung

7.1.2. Gemüsebau

Der Gemüsebau im Freistaat Sachsen wird auf einer Anbaufläche von rund 4.900 ha (Abb. 53) betrieben. Der Schwerpunkt liegt im Anbau von Feldgemüse (Erbsen, Bohnen, Spinat) für die industrielle Verarbeitung. Im Frischmarktbereich dominieren neben verschiedenen Kohlarten vor allem Spargel und Speisezwiebeln. Der ökologische

Gemüsebau belegt eine Fläche von rund 700 ha, mit der Hauptkultur Gemüseerbsen für die Tiefkühlindustrie. Der Gewächshausanbau erstreckt sich auf einer Fläche von rund 60 ha mit den Hauptkulturen Tomaten und Gurken (Lattauschke 2011).

Abbildung 53: Gemüseanbaufläche im Freiland und unter Glas und Folie in Sachsen (StaLa 2009)



Hauptproblemfelder Gemüseanbau und Klimawandel:

- Trockenheit/Dürreperioden
- Extremereignisse – Hagel, Starkniederschlag
- Schädlinge und Krankheiten

Lösungsansätze und Anforderungen Gemüseanbau und Klimawandel:

- Bewässerung
- Hagelschutz (Schutznetze, Versicherungen, ...)
- Schädlinge (Bekämpfungswürdigkeit, Neobiota)
- Qualitätssicherung

Bei der Bearbeitung dieser Fragestellung werden u. a. derzeit laufender Forschungsvorhaben genutzt, die sich mit einzelnen Teilproblemen/-aspekten beschäftigen:

- Süßkirschenanbau unter Überdachung
- Verbesserung der Wasserversorgung von Apfelanlagen
- Überprüfung praxisnaher Lösungen zum Apfelanbau unter Wassermangel
- Anbau von Tafeläpfeln unter Hagelnetz
- Optimierung Anbauverfahren Industriegemüse
- Bewässerung und Sortenwahl bei Gemüseerbsen

7.2. Anpassungsstrategien

7.2.1. Überblick

Die Anpassungsstrategien im Gartenbau werden sich entsprechend dem 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 (Lattauschke 2009).

Da insbesondere der Gartenbau von den nur schwer zu prognostizierenden, aber bereits heute immer häufiger auftretenden Wetterextremen (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.

Die Anpassungsmaßnahmen und Umsetzungsinstrumente lassen sich nach Lattauschke (2009) gliedern (Tab. 6):



Tabelle 6: Anpassungsmaßnahmen und Umsetzungsinstrumente nach Lattauschke (2009)

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

7.2.2. Obstbau

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. Nach Schätzungen wird die zu bewässernde Obstfläche (ohne Erdbeeren) im Freistaat Sachsen mit bis zu ca. 2.400 ha rund 60 % der Obstanbaufläche einnehmen. Da diese Flächen bewässerungstechnisch komplett zu erschließen sind, kommt auf die Betriebe in den nächsten Jahren erheblicher Investitionsbedarf zu. Derzeit liegen die Kosten für 1 ha Tropfbewässerungsanlage im Obstbau bei ca. 4.000 € pro ha (Handsack 2010). Hinzu kommen noch Erschließungskosten für Brunnen, Pumpen, Anschlüsse, Erdleitungen, Hydranten von rund 1.200 € pro ha (bezogen auf die Erschließung von 100 ha Beregnungsfläche), 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 Pflieger 2004), die die Verfügbarkeit an Wasser zusätzlich einschränken (trifft auch für den Gemüsebau zu).

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 überdachende 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 Obstanbauer zukommen (vgl. Tab. 7).

Während der Zusatzwasserbedarf im sächsischen Weinbau nur in sehr trockenen Jahren auf Grenzstandorten zum Tragen kommen

Tabelle 7: Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Obstbau (Lattauschke 2009)

Anpassungsmaßnahme	Kosten
Investition Tröpfchenbewässerung (bis zu 2.400 ha; 4.000 €/ha)	bis zu 9,6 Mio. €
+ Erschließungskosten (1.200 €/ha)	bis zu 3,4 Mio. €
+ jährliche Beregnungskosten 5,0 Mio. m ³ ; 0,3 €/m ³	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

Beispiele:

1. Bewässerung von Apfelanlagen

- Messung von Wasserverbrauch (Saftstrom, Abb. 54)
- Bodenfeuchte (mm/10 cm Wassergehalt, Watermark)
- und Ertragsentwicklung

Varianten:

- Bewässert
- Unbewässert
- Hohe Fruchtzahl
- Mittlere Fruchtzahl

Abbildung 54: Messung der Bodenfeuchte und des Wasserverbrauchs (Saftstrom, Xylemfluss) (Handsack 2010)



Abbildung 55: Blattfläche und Baumertrag in Abhängigkeit des Fruchtbehangs mit und ohne Bewässerung (Handsack 2010)

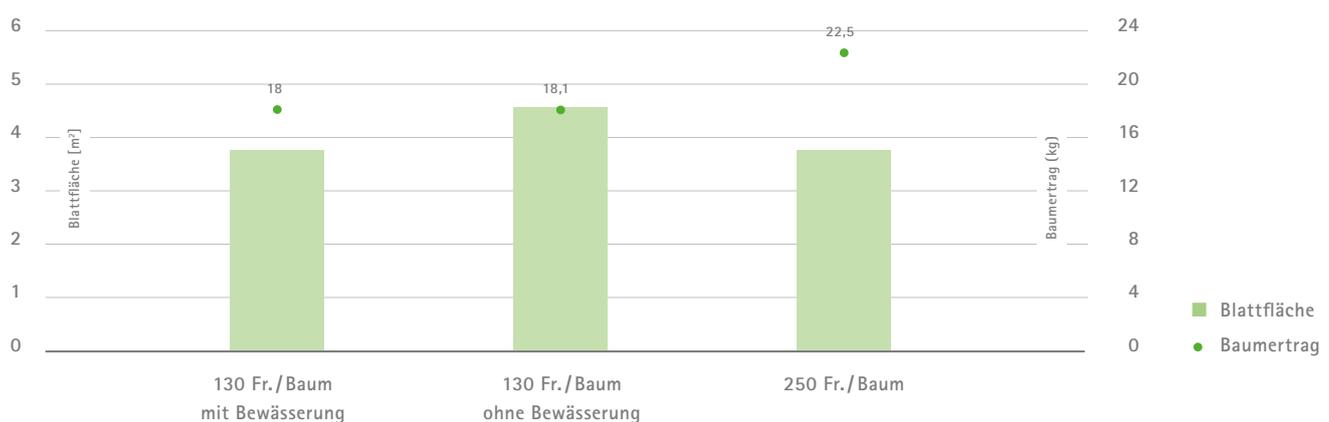
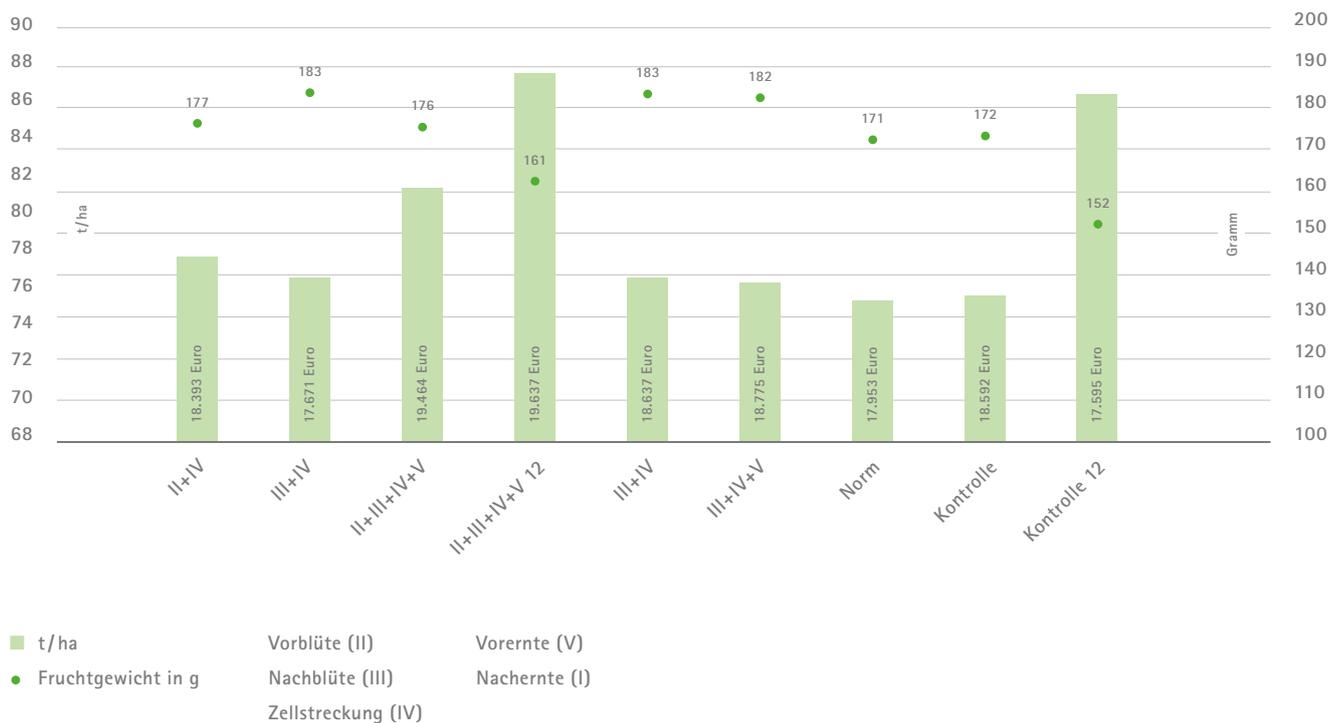


Tabelle 8: Bewässerungsvarianten 2009 (Handsack 2010)

Behandlungsvarianten 2009 (Norm: bewässert nach dem Monatsmittel 1999 – 2008)									
Variante	von	bis	I – V	I – IV	I,III + IV	Norm	Kontr	II – V	II – V
Nachernte 08 (I)	17.9.08	16.10.08	90	90	90				
Vorblüte 09 (II)	14.4.09	30.4.09	60	60	0	0	0	60	60
Nachblüte (III)	5.5.09	21.5.09	60	60	60	35	0	60	60
Zellstreckung (IV)	16.9.09	20.8.09	174	174	164	71	41	172	172
Vorernte (V)	24.8.09	14.9.09	67	0	0	20	20	64	0
Nachernte (VI)	17.9.09	5.10.09	62	62	62	11	0	0	0
Gesamt 09 mm			424	357	286	137	61	356	292

Abbildung 56: Ertrag und Fruchtgewicht bei Pinova bei unterschiedlichen Bewässerungsstrategien (vgl. Abb. 60) (Handsack 2010)



Zukünftig wird das Versuchsprogramm hinsichtlich verschiedener Bewässerungsstrategien (Abb. 55 – 56, Tab. 7 – 8) nach Norm, Spalten, Klimabilanz und Watermark-Sensor erweitert. Zur Ausschaltung

des natürlichen Niederschlags wird eine Reihe mit Folie abgedeckt, um die Wassergaben gezielt steuern zu können.

2. Anbau von Tafeläpfeln unter Hagelnetz

Als wirksamste Maßnahme zur Minderung von Hagelschäden hat sich die Überspannung der gefährdeten Anlagen mit Hagelnetzen im Zeitraum von Ende Mai bis Oktober erwiesen. Es zeigt sich aber, dass der geringere Lichtgenuss (15 % bis 25 % weniger Licht je nach Netzfarbe) unter Hagelnetzen eine Reihe von Auswirkungen auf die Baum- und Fruchtentwicklung hat. Die Stärke dieser Effekte hängt vom natürlichen Lichtangebot ab.

In der Ablasser Obstgarten GmbH wurde im Frühjahr 2008 ein Hagelnetzversuch unter Praxisbedingungen eingerichtet. Der Anbau fand unter hohem grauem Hagelnetz (4,5 m Firsthöhe) mit integrierten Bewässerungsvarianten statt. Bereits im ersten Standjahr zeigten sich Einflüsse des Netzes auf Wuchs und Deckfarbenausprägung. Lang anhaltende Trockenheit führte zu starkem Fruchtfall, die Netzwirkung wurde überdeckt. Der Lichteinfall (PAR-Sensor) wurde unter Hagelnetz und außerhalb gemessen (vgl. Abb. 57).

Auswirkungen des Hagelnetzes:

1. Geändertes Mikroklima
 - kein Sonnenbrand
 - Ertragssicherheit
 - Berostung verstärkt
 - Schaderreger verstärkt (rote Spinne)
2. Lichtverlust
 - Wuchsverstärkung
 - Ausfärbung gemindert
 - Alternanzverstärkung
 - Weniger Fruchtansatz
 - weniger Zucker
 - Reifeverzögerung
3. Wirtschaftlich
 - Investition von 12.000 – 20.000 €
 - Jährliche Kosten von 1.500 €

Abbildung 57: Lage des Praxisbetriebes (Lorenz 2011c, oben), Wetterstation mit PAR-Sensor, Hagelnetzversuch Ablaß unten, (Handsack 2010)

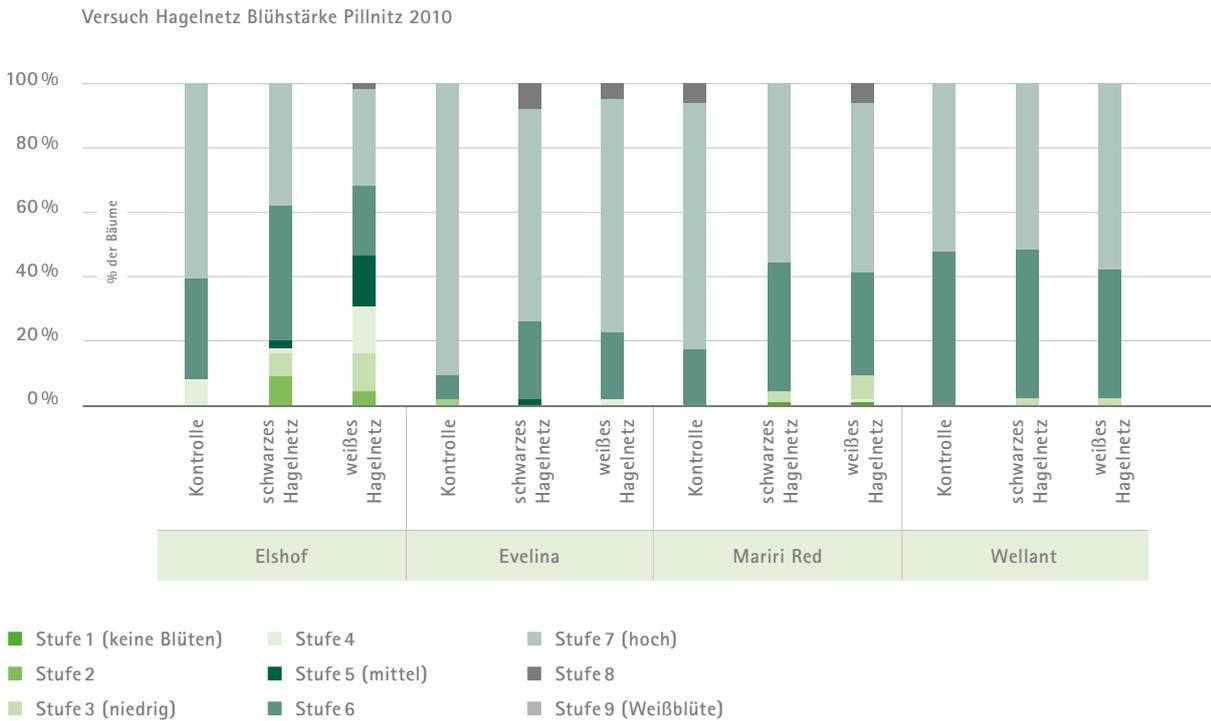


links: Wetterstation in Ablaß (Handsack, 2013)

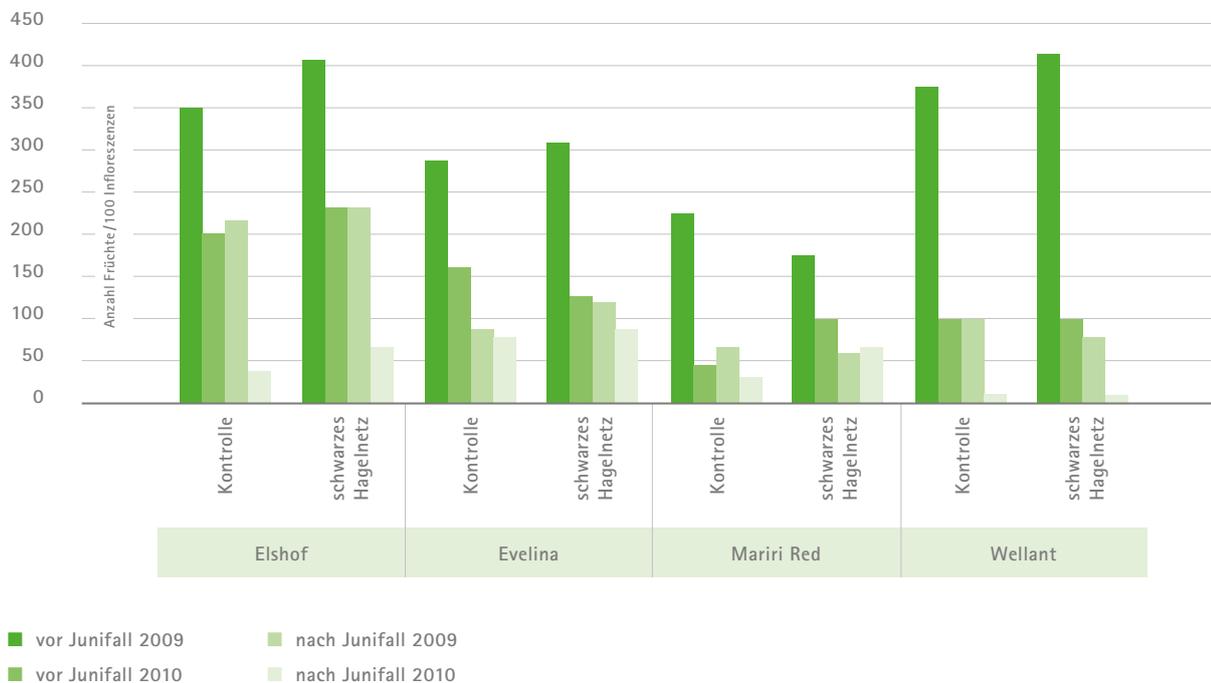
Ein trockenes Frühjahr (2008 Mai/Juni, 2009 April) führt dazu, dass bei hohen bis mittleren Blühstärken nur durchschnittlich 1 – 2 Früchte/Baum verbleiben. Vorteile zeigten hierbei nur die Bewässerungsvariante und die Sorte „Elshof“. Die höheren Erträge bei dieser Sorte schlagen sich im Gesamterlös nieder.

Die eingesetzte Tropfbewässerung konnte den Wasserstress in dieser Anlage nicht oder nur bedingt abbauen, die Fruchtgröße bleibt hinter vergleichbaren Bäumen in Dresden-Pillnitz zurück. Es deutet sich ein Einfluss des Hagelnetzes auf die Ausfärbung an. Der schräge Lichteinfall im Herbst führt zu einer Lichtminderung von bis zu 50 %. In den Nachmittagsstunden lag dagegen der Lichteinfall unter Hagelnetz in vergleichbarer Größenordnung.

Abbildung 58: Gibt es 2010 Anzeichen von Alternanz? (oben); Verstärkt die Einnetzung den Fruchtfall? (unten) (Handschack 2010)

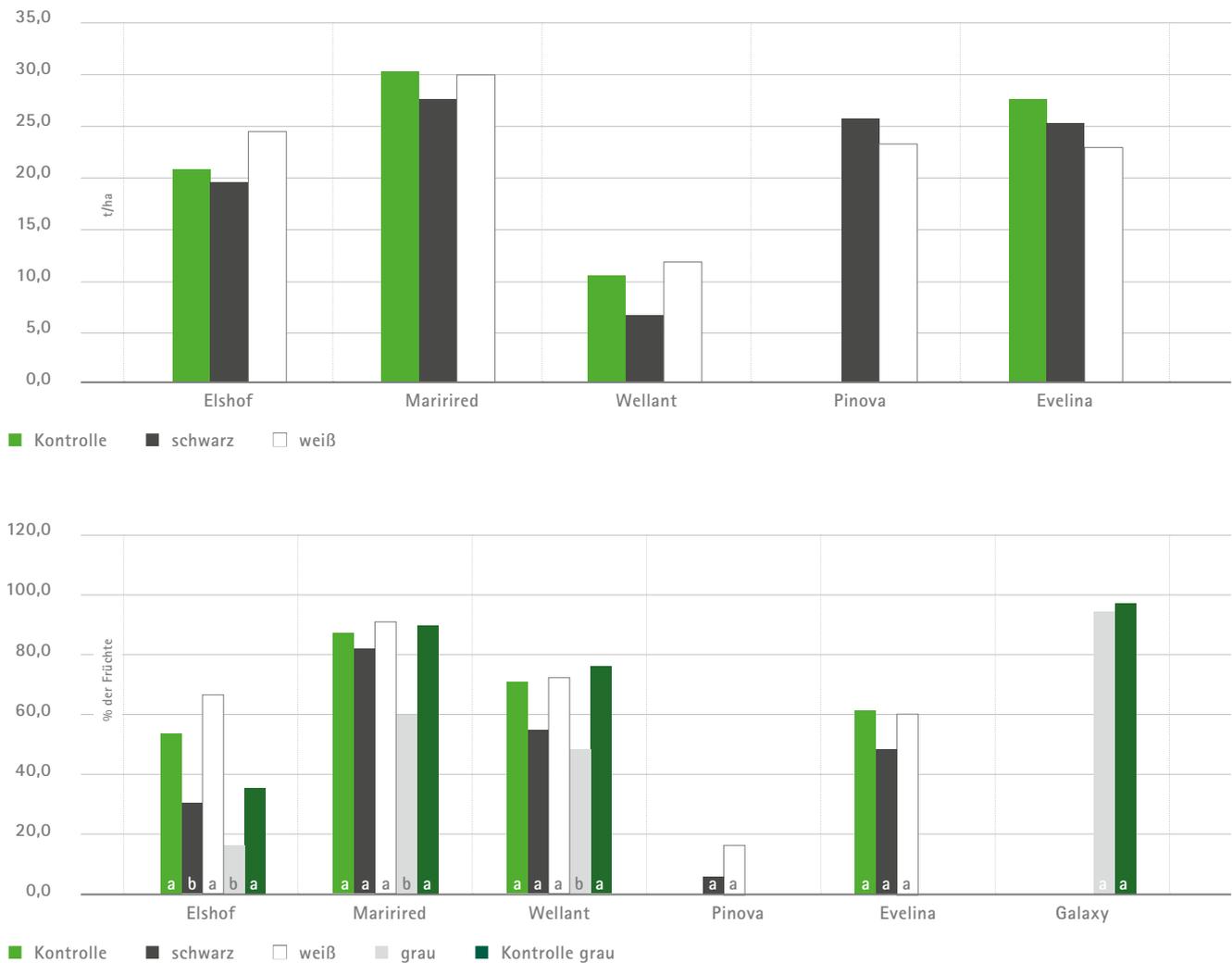


Versuch Hagelnetz "Vergleich vor und nach dem Junifall" Pillnitz 2009 und 2010 – mittlere Fruchtanzahl je 100 Infloreszenzen



- Bei „Eishof“ und „Mariri Red“ traten erste Anzeichen von Alternanz auf (Abb. 58).
- Der Jahreseinfluss überdeckt die Wirkung des Hagelnetzes, bisher keine Aussage über die Netzwirkung auf den Fruchtfall möglich

Abbildung 59: Hektarerträge 2008–2011 (oben); Ausfärbung 2009–2011 (unten)
(Handsack 2013)



- Der Ertragsverlust unter Hagelnetz ist sortentypisch, und liegt bei schwarzem Hagelnetz im Mittel bei 10 % (Abb. 59), oben.
- Der Neigungswinkel der Netze hat keinen Einfluss auf die Belichtung.
- Bei schwarzem Hagelnetz wird etwa 25 % der PAR-Strahlung geschluckt, bei weißem Hagelnetz etwa 12 % und bei grauem Netz etwa 17 %. Das entspricht den Literaturangaben. Im Ausfärbungszeitraum wurde die Strahlung im UVB-Bereich an sonnigen Tagen unter schwarzem Hagelnetz um 30 bis 35 % gemindert.
- Die Ausfärbung unter schwarzem Hagelnetz ist dadurch deutlich geringer, „Pinova“ färbt unter keinem der Netze ausreichend aus. „Pinova“ färbt unter schwarzem und weißem Hagelnetz so schwach aus, dass ihr Anbau unter Netz nicht empfohlen werden kann. „Evelina“ reagiert deutlich besser.
- Der Wuchs unter Hagelnetz wurde verstärkt und erfordert einen angepassten Schnitt.
- Der Ertrag erreichte bei fast allen Sorten im 4. Standjahr 45 bis 50 t/ha und damit die Grenze zu wirtschaftlichem Anbau. Das Hagelnetz minderte den Ertrag um 10 %. Beim weißen Hagelnetz trat nur bei „Evelina“/„Pinova“ ein negativer Effekt auf. Graues Hagelnetz wirkt ähnlich wie schwarzes.
- Bewässerung konnte den Einfluss des grauen Hagelnetzes auf die Ertragskomponenten nicht abschwächen.
- Bis auf „Pinova“ und „Evelina“ erreichten alle Sorten im Mittel der Jahre 80 % der Früchte die für Handelsklasse I geforderten 70 mm Fruchtdurchmesser.
- Die Fruchtgröße wird von schwarzem und weißem Hagelnetz nicht negativ beeinflusst. Der Einfluss von Kulturmaßnahmen ist der der Netzwirkung mindestens ebenbürtig.
- Der Fruchtansatz wurde stärker von der Jahreswitterung und der sortentypischen Fruchtungstendenz bestimmt als von der Einnetzung. Die Wirkung der mechanischen und chemischen Ausdünnung kann sich unter Hagelnetz verstärken.



- Unter schwarzem Hagelnetz reifen die Äpfel später. Zucker und Säure wurden von der Einnetzung nicht beeinflusst.
- Schwarzes Hagelnetz mindert Sonnenbrandschäden um bis zu 50 %, ohne sie ganz zu verhindern. Weißes Hagelnetz minderte den Schaden weniger deutlich.
- Bei angepasstem Anbauverfahren ist der Anbau unter weißem Hagelnetz in der REGKLAM-Region betriebswirtschaftlich vertretbar.

Beim Anbau unter Hagelnetz ergeben sich zusammenfassend folgende Vor- und Nachteile (Tab. 9):

Tabelle 9: Vor- und Nachteile der Nutzung eines Hagelnetzes nach Handschack (2013)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ■ Vermeidung von Schäden an den Bäumen ■ Minderung von sonnenbrandschäden ■ etwa 50 % geringere Windstärke ■ Verbesserung der Fruchtgröße ■ Verminderung der Fraßschäden durch Vögel ■ Schutz vor größeren Insekten wie Maikäfer ■ bessere Auslastung der Lagereinrichtung ■ Sortieraufwand geringer ■ Minderung der Alternanzgefahr nach Hagelschäden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lichtverlust von 10 bis 25 % ■ Reifeverzögerung ■ vertärkte Berostung ■ verstärktes Wachstum (mehr und längere Triebe) ■ geringere Ausfärbung ■ weniger Zucker ■ Verstärkung der Alternanz ■ verstärkter Fruchtfall ■ Verstärkung der Pilzkrankheiten wie Mehltau
<ul style="list-style-type: none"> ■ Unabhängigkeit von Versicherungen ■ Sicherung der Marktpräsenz ■ Sicherung der Ernten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ hohe Investitionskosten von 15.000 bis 20.500 € ■ jährliche Zusatzkosten von ca. 1.300 € ■ Anpassung des Anbauverfahrens ■ Auswahl geeigneter Sorten

3. Süßkirschen unter Überdachung

Ein großes Problem im Süßkirschanbau in Sachsen stellt das Platzen der Kirschen durch Starkregenereignisse während der Frucht-reife dar. Völlig platzfeste Sorten sind nicht vorhanden. Durch das Platzen der Früchte und damit einem erhöhten Befall mit Fruchtfäulen entstehen sehr hohe wirtschaftliche Verluste. Eine Möglichkeit dieses zu verhindern ist die Erstellung einer Überdachung. Eine Süßkirschüberdachung ist jedoch mit sehr hohen Investitionskosten verbunden. Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit einer Süßkirschüberdachung sind jährlich hohe Erträge bei gleichzeitig sehr guter Fruchtqualität. Um das zu erreichen, wurden in einem durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie betreuten Projekt von 2006 bis 2012 in einem Praxisbetrieb Untersuchungen zum Süßkirschanbau mit Regenschutzüberdachung durchgeführt. Von der ca. 10 ha großen Süßkirschanlage wurden ca. 2 ha zu Versuchszwecken verwendet und zur Hälfte im Frühjahr 2008 überdacht. Bewässerung und Düngung/Fertigation erfolgen mit einer Tropfbewässerungsanlage.



Abbildung 60: Lage des Praxisbetriebes (Lorenz 2011c, oben), und Überdachung von Süßkirschen (unten)



Eine Regenschutzüberdachung bei Süßkirschen bietet folgende Vorteile: Die Ernte ist witterungsunabhängig und zum optimalen Erntetermin möglich. Die Früchte können gut ausreifen und große Durchmesser erzielen. Der Anteil an geplatzen Früchten ist bedeutend geringer, ebenso der Befall mit Fruchtfäulen. Die Haltbarkeit ist besser. Eine kontinuierliche Marktbelieferung wird ermöglicht. Die Ernteware ist gleichmäßiger, der Sortieraufwand ist geringer und die Pflückleistung höher. Nachteile einer Regenschutzüberdachung sind die hohen Kosten. Diese liegen bei einer Standzeit von 20 Jahren je nach Überdachungsmodell zwischen 5.000 € und 7.000 € pro Hektar und Jahr für Abschreibung, Zinsen sowie das Auf- und Abziehen der Folie.

Um den Anbau unter einer Regenschutzüberdachung wirtschaftlich zu gestalten, müssen ertragreiche Sorten mit großen, festen Früchten wie z. B. „Regina“ an geeigneten, nicht spätfrostgefährdeten Standorten verwendet werden. Notwendig ist ein intensives Anbausystem mit ca. 1.000 Bäumen/ha mit schwachwachsenden Unterlagen, z. B. Gisela 5 oder Gisela 3 sowie eine an den Entwicklungszustand der Bäume und den Ertrag angepasste bedarfsgerechte Bewässerung und Düngung. Ebenso wichtig ist eine ausreichende Bestäubung. Grundlage dafür ist der Einsatz von Bienen und Wildinsekten. Das Überdachungssystem muss ausreichend windstabil sein. Der Aufwand für das Auf- und Abziehen der Folie sollte möglichst gering sein, um die Kosten dafür so gering wie möglich zu halten (Tab. 10, 11).

Tabelle 10: Ernteergebnisse von 'Regina' auf 'Gisela' 5 2007 – 2012 mit und ohne Regenschutzüberdachung (Überdachung ab 2008, Krieghoff 2013)

Standjahr	Jahr	ohne Überdachung			mit Überdachung		
		Erntetermin	Ertrag Hkl 1 [dt/ha]	Fruchtgröße [mm]	Erntetermin	Ertrag Hkl 1 [dt/ha]	Fruchtgröße [mm]
2.	2007	27.6.	15	-	27.6.	15	-
3.	2008	7.7.	43	27,1	7.7.	44	27,3
4.	2009	6.7.	3	29,8	10.7.	23	29,7
5.	2010	21.7.	9	28,8	22.7.	10	29,8
6.	2011	7.7.	86	25,0	9. – 10.7.	94	25,4
7.	2012	8.7.	108	26,9	8.7./12.7.	111	27,0
		Summe	264	27,5*	Summe	297	27,8*

Tabelle 11: Ernteergebnisse von 'Sylvia' auf 'Gisela' 5 2007 – 2012 mit und ohne Regenschutzüberdachung (Überdachung ab 2008, Krieghoff 2013)

Standjahr	Jahr	ohne Überdachung			mit Überdachung		
		Erntetermin	Ertrag Hkl 1 [dt/ha]	Fruchtgröße [mm]	Erntetermin	Ertrag Hkl 1 [dt/ha]	Fruchtgröße [mm]
2.	2007	27.6.	3	30,4	27.6.	1	30,4
3.	2008	30.6.	15	29,0	30.6.	15	28,3
4.	2009	29.6.	1	-	3.7.	4	-
5.	2010	21.7.	23	28,0	21.7.	27	28,1
6.	2011	1.7.	81	27,1	6.7.	93	27,4
7.	2012	30.6.	60	27,5	7.7.	66	28,5
		Summe	183	28,4*	Summe	206	28,5*

*Mittelwert

7.2.3. Gemüsebau

Im Gemüsebau, einschließlich Erdbeeren, steht analog zum Obst- und Weinbau in erster Linie die Ertragsabsicherung der Kulturen durch Bewässerung 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) auf rund 1.540 € pro ha (Lattauschke 2009). Die Gesamtinvestitionssumme würde demzufolge rund 20,0 Mio. € betragen (vgl. Tabelle 12). 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 Hauptanbaugbiet Lommatzcher Pflege (REGKLAM-Region, Abb. 67), 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 (Tab. 12).

Tabelle 12: Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Gemüse- und Erdbeeranbau (Lattauschke 2009)

Anpassungsmaßnahme	Kosten
Investition Tröpfchenbewässerung (ca. 13.000 ha; 1.540 €/ha) + jährliche Beregnungskosten 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 Beregnung

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. Bislang konn-

ten 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 (Lattauschke 2009).

Beispielbetrieb Beregnung von Feldgemüse

Abbildung 61: Lage des Praxisbetriebes in der REGKLAM-Region (Lorenz 2011c)



Das Agrarunternehmen bewirtschaftet über 2.000 ha auf überwiegend besseren Lößböden. Beregnet werden aufgrund des Wasserdargebotes Feldgemüse (Spinat, Bohnen) und in Einzeljahren Kartoffeln.

Es bestehen Möglichkeiten der Speicherung (Speicherbecken) von 300.000 m³ Wasser. Drei Pumpen je 100 m³/h füllen ein unterirdisches Leitungsnetz von über 20 km. Jeder Teilnehmer sichert eine Abnahme durch Schlauchberegnungsmaschinen von 80 – 100 m³/h ab.

Die Anlage stammt noch aus LPG-Zeiten (vor 1990) und wird fortlaufend instandgesetzt und erneuert. Daher fallen hier die hohen Investitionskosten einer Neuanlage weg, jedoch fallen bei einer solchen Anlage höhere Kosten für Reparatur und Instandhaltung an. Weiterhin sind die wasserrechtliche Entnahme und das Leitungsnetz über eine Bewässerungsgesellschaft geregelt, bei der sich die anfallenden Kosten prozentual auf alle Beteiligten aufteilen.

Nachfolgend sind die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Bewässerung von Feldgemüse und Kartoffeln für die beschriebenen Betriebsbedingungen dargestellt (Tab. 13, 14).

Tabelle 13: Investitionskosten: Kosten zur Erschließung von ca. 3.000 ha Bewässerungsfläche (Lorenz 2011c)

	Investitionen [Euro]	Kapital [Euro/a]
Speicher 1,5 ha	170.000 (25 Jahre 7% Zins + Tilgung)	11.900
Pumpe 100 m ³ (Frequenzregelung)	25.000 (15 Jahre 10% Zins + Tilgung)	2.500
Erdleitung 24.000 m	244.000 (25 Jahre 7% Zins + Tilgung)	17.080
Hydranten, Abgänge, Bögen etc.	56.000 (25 Jahre 7% Zins + Tilgung)	3.920
2 Beregnungsmaschinen	74.000 (15 Jahre 10% Zins + Tilgung)	3.700
Gesamt	569.000	35.400
		= 604,40 Euro/ha

Tabelle 14: Variable Kosten der Bewässerung (mit Strom), (Lorenz 2011c):

	Investitionen [Euro]	Kapital [Euro/a]
Energie	0,60 kWh/m ³ x 0,15 Euro/kWh = 0,09 Euro/m ³	= 0,90 Euro/mm
Reparatur	Pauschal	= 0,10 Euro/mm
Arbeit	0,4 h/ha x 15 Euro/h : 30 mm/Gabe	= 0,20 Euro/mm
	Gesamt:	= 1,20 Euro/mm
		= 12 ct/m ³

Gesamtkosten der Bewässerung:

Festkosten: 604,40 €/ha : 100.000 m³ = 0,604 ct/m³
 Variable Kosten: = 12 ct/m³
 = 12,604 ct/m³ = 1,26 €/mm

Da der Spinat ohne Bewässerung unter den Betriebsbedingungen nicht ernte- und vermarktungsfähig wäre und ein regionaler Absatz gewährleistet ist bzw. gewährleistet werden muss, lässt sich mit der Bewässerung des Feldspinates ein relevanter Mehrerlös erzielen.

Beregnung von Feldspinat:

Dieser steht in Zweitfruchtstellung und benötigt zur Sicherung des Ertrages und der Qualität eine durchschnittliche Bewässerungsmenge von 3 x 30 mm:

90 mm x 1,26 €/mm = 113,40 €/ha

Beregnung von Bohnen:

Bei der Bohne wird auf dem Betrieb meist zum Blühbeginn bewässert. Im Verlauf des Sommers reichen oft einzelne Niederschläge zur Bestandesbildung aus. Im langjährigen Mittel wird ein Bewässerungsbedarf von ca. 50 mm angenommen.

Tabelle 15: Beispielrechnungen (Lorenz 2011c)

	Ertrag [dt/ha]	Marktpreis [Euro/ha]	Anbaufläche [ha]	Erlös [Euro/ha]
Spinat 2009				
Frühjahr	116	890	26,5	777
Winter	125	963	16,0	850
Herbst	123	943	53,0	830
Bohnen 2009				
Gesamt	107	1.706	90,5	1.640

Die Beispielrechnungen zeigen, dass bei der Bewässerung von bewässerungswürdigen Kulturen, wie z. B. Feldgemüse und Kartoffeln relevante Mehrerlöse erzielt werden können (Tab. 15). Zur Höhe des Erlöses trägt aber nicht nur der erzielte Mehrertrag bei, sondern auch der jeweils zu erzielende Marktpreis. Weiterhin kann bei

bestehenden Abnahmeverträgen durch eine Bewässerung der Kulturen eine Risikominimierung dahingehend betrieben werden, dass Totalausfälle weitgehend vermieden werden und damit auch neben dem Ertragsverlust keine teuren Vertragsstrafen, Abschläge o. ä. zu zahlen sind.



7.3. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich für den Gartenbau feststellen, dass besonders die zu erwartenden Wetterextreme 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 gegen extreme Wetterereignisse (Starkregen, Hagel, Sturm) für besonders wertvolle Obstkulturen. Die dazu benötigten Mittel wer-

den 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 Klimaprojektion 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.

8. Sortenanbaustrategien des Weinbaus im sächsischen Elbtal



8.1. Einleitung

Das Klima prägt, zusammen mit den Bodenbedingung, dem Relief und den Kulturmaßnahmen, den spezifischen Weincharakter bestimmter Sorten und damit die Charakteristik des jeweiligen Anbaugesbietes. Nach Schultz et al. (2009) wird das Image einer Weinbauregion oftmals von einer einzelnen Sorte oder einer sehr begrenzten Zahl von Sorten bestimmt (z. B. Riesling für Mosel und Rheingau; Spätburgunder und Chardonnay für Burgund, Cabernet Sauvignon, Cabernet franc und Merlot für das Médoc-Gebiet in Bordeaux), welche durch die jeweiligen Klima- und Bodenbedingungen eine charakteristische Note bekommen. Daher spielen Klimaveränderungen, die sowohl mit einer Verschiebung in der Anbaueignung bestimmter Rebsorten, als auch der Veränderung im spezifischen Charakter des Weines einhergehen können, eine große Rolle für den Weinbau. Dies gilt sowohl für den Anbau der Reben, als auch für den Ausbau und die Vermarktung des Weines. Neben der Veränderung der mittleren klimatischen Verhältnisse spielen aber auch Veränderungen im Auftreten und der Intensität von Extremereignissen, wie Hagel, Starkniederschlägen, Dürreperioden, aber auch längere Barfröste (z. B. Probleme bei Müller-Thurgau in Sachsen 2009/2010, z. T. Verbunden

mit der Rodung ganzer Weinberge und Aufreben mit anderen Rebsorten) eine zunehmende Rolle.

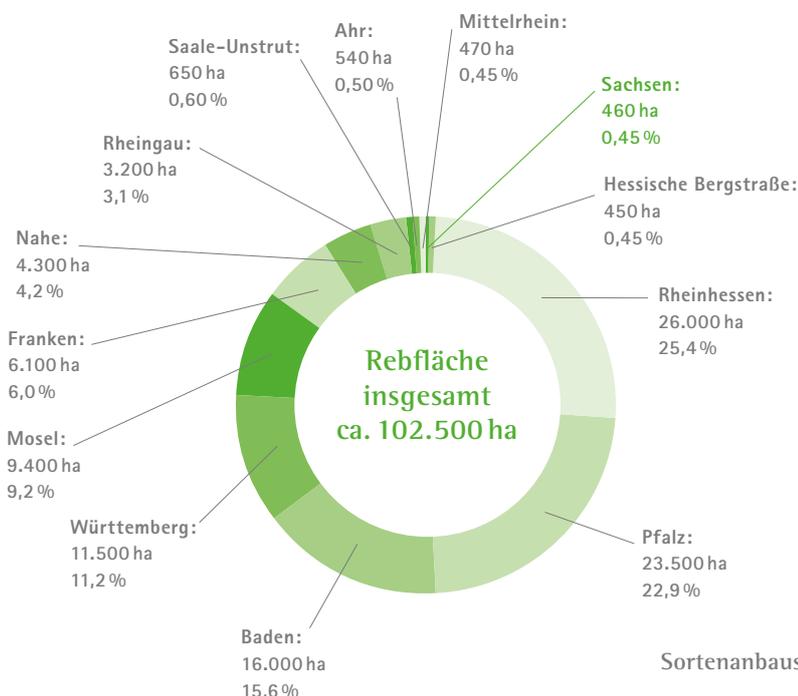
Nur durch die Anpassung an den Klimawandel, z. B. durch Sortenwechsel, kann der Weinbau Gefahren durch Qualitäts- und Ertragseinbußen begegnen. Untersuchungen zeigen auch eine zunehmende Variabilität der Erträge mit möglicherweise höheren ökonomischen Risiken für die Erzeuger (Bindi und Fibbi, 2000). Einflussfaktoren sind z. B. Trockenstress, standort- und bodenspezifische Probleme der Rebenernährung, des Schädlingsbefalls und übermäßige Sonneneinstrahlung mit erhöhtem UV-B-Anteil (Schultz, 2000). In der Folge sind Veränderungen im Spektrum und der Verteilung der Rebsorten gegenüber heute zu erwarten (Schultz et al. 2003). Innerhalb Europas ist die Verwendung bestimmter Sorten jedoch häufig auch in den einzelnen Anbaugesbietes gesetzlich geregelt, was im Hinblick auf die zukünftige Anpassung an klimatische Veränderungen Probleme bereiten kann und zukünftig berücksichtigt werden muss.

8.2. Vorgehen und Analyse der Ausgangssituation

Um mögliche Veränderungen im Rebsortenspektrum und der zukünftigen Anbaueignung neuer Rebsorten durch klimatische Veränderungen für das Weinbaugesbiet Sachsen ableiten und bewerten zu können, sind folgende Punkte von Bedeutung:

- Auswertung internationaler Literatur zur Sorteneignung in relevanten Klimaten,
- Analyse des Sortenspektrums im Elbtal und
- Ableitung/Erarbeitung von Sortenanbaustrategien des Weinbaus im Elbtal.

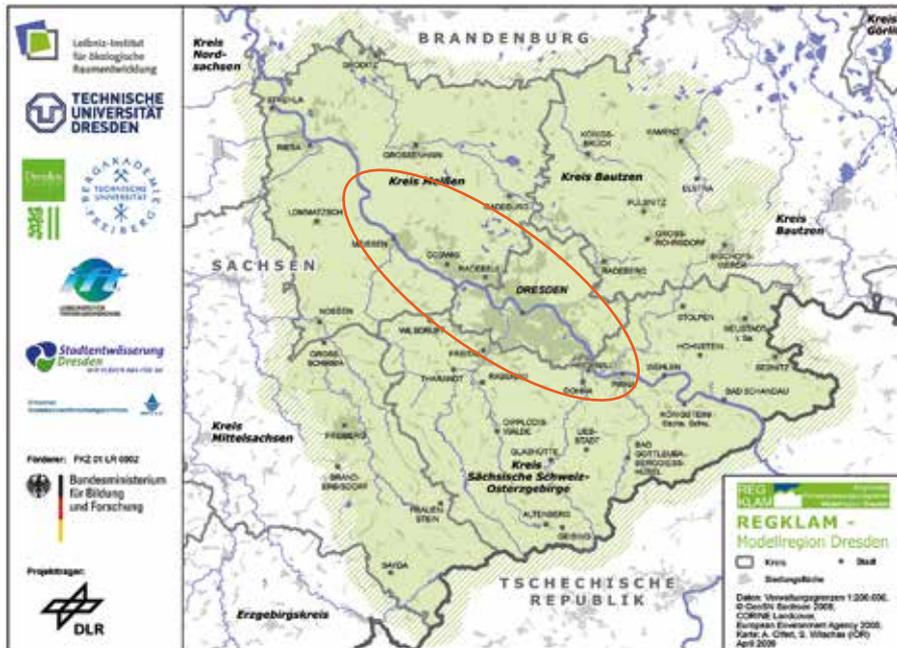
Abbildung 62: Weinanbaugesbietes in Deutschland (DWI 2009)



Sachsen gehört mit ca. 460 ha Rebfläche zu den kleineren und nördlichsten der 13 Weinanbaugebiete in Deutschland (vgl. Abb. 62). Das Weinanbaugebiet Sachsen erstreckt sich über ca. 55 km entlang

der Elbe von Pirna über Radebeul und Meißen bis nach Diesbar-Seußlitz. Damit liegt es im Zentrum der REGKLAM-Region Dresden (vgl. Abb. 63).

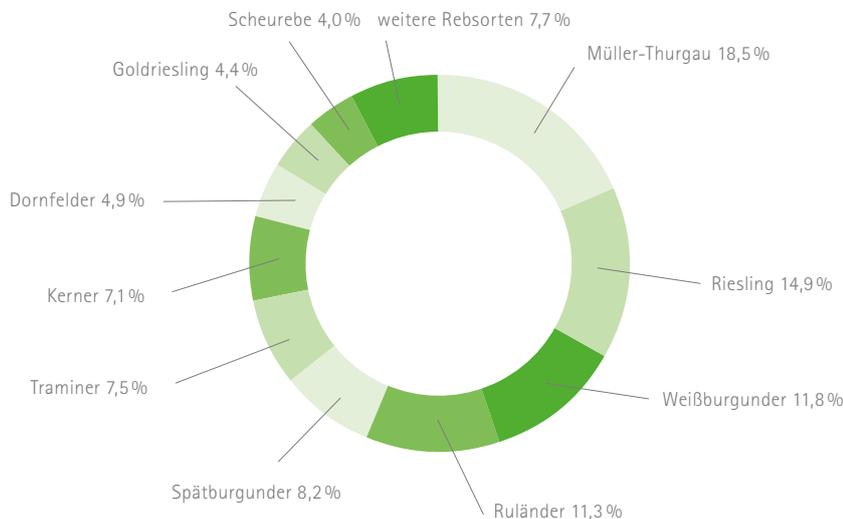
Abbildung 63: Das sächsische Weinanbaugebiet in der REGKLAM-Region



Die angebaute Rebsorten setzen sich zu ca. 82 % aus weißen und ca. 18 % aus roten Rebsorten (insgesamt 48 Rebsorten) zusammen. Hauptrebsorte in der Region ist mit knapp 20 % der Müller-Thurgau,

gefolgt vom Riesling (ca. 15 %) und Weißburgunder (ca. 12 %). Bei den roten Rebsorten dominieren Spätburgunder (ca. 8 %) und Dornfelder (ca. 5 %) (vgl. Abb. 64).

Abbildung 64: Rebsorten im Weinanbaugebiet Sachsen (Tränkner 2010, Weinbauverband Sachsen 2010)



Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den Weinbau (ergänzt nach Schultz 2009):

Temperaturanstieg

- Der Temperaturanstieg wird die phänologischen Phasen verändern
- Die EU-Anbauzonen könnten nordwärts wandern
- Verstärkter Anbau wärmeliebender Rebsorten wird möglich sein (z. B. Chardonnay, Cabernet Franc, Merlot usw.)
- Zu hohe Temperaturen bei der Ernte zusammen mit hohen Niederschlägen können möglicherweise zu mehr Fäulnis und Essigstich führen
- Stärkere Sonnenintensität führt zu Sonnenbrand
- Die Mostzuckerwerte werden tendenziell ansteigen
- Die Säurewerte werden tendenziell abnehmen (gesetzliche Rahmenbedingungen) beachten
- Eventuell höheres Risiko für Eisweinproduktion
- Eventuell geringeres Frostrisiko
- Probleme bei negativer Wasserbilanz, im Sommer Trockenstress
- größere Trockenheit würde z. B. bei Weißweinen zu einer reduzierten Haltbarkeit führen
- Begrünungsmanagement könnte auf einigen Standorten problematisch werden (Wasserkonkurrenz)
- Steigende Intensität von Starkregenereignissen kann die Erosionproblematik, v. a. in Steilhängen, verschärfen

- Eventuell könnte ein verstärkter Einsatz von Bewässerungssystemen und Blattdünger notwendig werden

Schaderreger/Krankheiten

- Früheres Auftreten der Peronospora und Oidium, dadurch stärkerer Infektionsdruck
- Nordwärtswanderung von Schaderregern (Zikaden und Esca)
- Zunahme der Populationsdichte und damit des Befallsdruck der Wicklerarten, Spinnmilben usw.

Hauptproblemfelder Weinbau und Klimawandel in Sachsen

- Rebsortenwahl
- Trockenheit/Dürreperioden
- Extremereignisse – Hagel, Starkniederschlag
- Schädlinge und Krankheiten

Lösungsansätze und Anforderungen Weinbau und Klimawandel

- Bewässerung
- Sonnenbrandschäden (Blattwandmanagement, Bewässerung)
- Hagel, Starkniederschläge (Blattwandmanagement, Abdeckungen, Versicherungen)
- Schädlinge (Bekämpfungswürdigkeit, Neobiota)
- Qualitätssicherung (UTA, Fehlparomen, Verlust typischer Sortenspezifika ...)

8.3. Erarbeitung von Sortenanbaustrategien des Weinbaus im Elbtal

8.3.1. Auswahl geeigneter Indices

Die weinbauliche Eignung der Rebsorten für ein Gebiet ist vor allem an die Temperatursumme während der Vegetationsperiode gekoppelt (z. B. Huglin 1986, Gladstones 1992), wobei sowohl die Summe als auch der Temperaturverlauf einen starken Einfluss auf verschiedene Qualitätsparameter haben. Mögliche Veränderungen im Sortenspektrum lassen sich damit relativ einfach anhand von Temperaturdaten abschätzen (Schultz 2009).

Aus einer umfangreichen Literaturrecherche wurden 13 Indizes ermittelt, die auf Grundlage unterschiedlichster Ausgangsparameter eine Aussage über die Anbaueignung ableiten. Diese sind nachfolgend aufgeführt.

Indizes zur Beurteilung der Anbaueignung und Qualität unterschiedlicher Rebsorten:

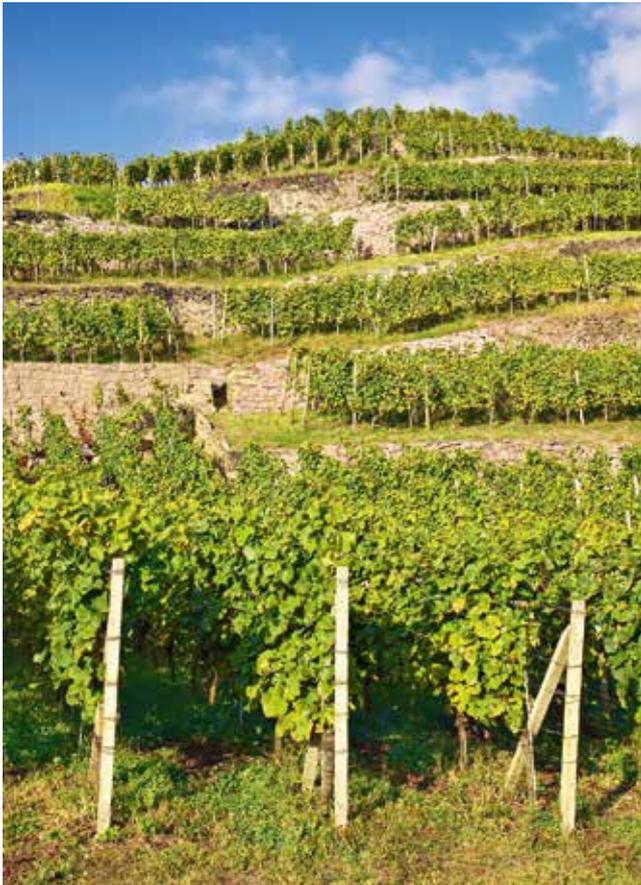
- Huglin – Index, (Huglin 1978, 1986)
- Winkler – Index, (Winkler et al., 1962, Amerine & Winkler 1944)
- Gladstones – Index, (Gladstones 1992)
- Fregoni – Index, (Fregoni et al. 2000)
- Branas – Index, (Branas et al. 1946)
- Sum of daily temperature excursion

- Growing degree days
- MTWM: Mean temperature of the warmest month, (Prescott 1969, Coombe & Dry 1988, 1989)
- LTI: Latitude Temperature Index, (Jackson 2001)
- Average growing season temperature
- Hydalgo bioclimatic Index, (Hidalgo 2002)
- Dryness Index, (Riou et al. 1994)
- Cool night index, (Tonietto 1999)

Am häufigsten verwendet wird hierbei der Huglin Temperatursummen-Index (Huglin 1978, 1986), da dieser sowohl zur Charakterisierung von Weinbaugebieten als auch zur Einteilung der Eignung von Rebsorten entwickelt wurde (Schultz 2000). Allerdings gibt dieser Index nur Auskunft über die minimalen Temperaturanforderungen einiger Hauptsorten und nicht über das klimatische Spektrum, für das diese geeignet sind.

Nachfolgend sollen die ersten Ergebnisse anhand des Huglin-Index und der mittleren Temperatur der Vegetationsperiode (Average growing season temperature) dargestellt werden.

8.3.2. Bewertung der Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten über den Huglin-Index (IH)



Der Huglin-Index (IH) ist definiert als Temperatursummen der Tagesmittel- und Tageshöchsttemperaturen vom 01.04. – 30.09. des jeweiligen Jahres:

$$IH = \sum_{01.04.}^{30.09.} K(x_{Lat}) \cdot \frac{(T_{MW}(t) - 10^\circ\text{C}) + (T_{Max}(t) - 10^\circ\text{C})}{2}$$

$$K(x_{Lat}) = \begin{cases} 1,02 & |x_{Lat}| \leq 40^\circ \\ 1,02 + 0,04 \cdot \frac{x_{Lat} - 40^\circ}{10^\circ} & 40^\circ < |x_{Lat}| < 50^\circ \\ 1,06 & |x_{Lat}| \geq 50^\circ \end{cases}$$

$T_{MW}(t)$ = Tagesmittel der Lufttemperatur ($^\circ\text{C}$)

$T_{Max}(t)$ = Tagesmaximum der Lufttemperatur ($^\circ\text{C}$)

x_{Lat} = Geographische Breite ($^\circ\text{NB}$)

$K(x_{Lat})$ = Breitengradabhängiger Korrekturfaktor (-)

Die entsprechende Temperatursumme wird nach oben stehender Formel in Abhängigkeit der Tagesmittel- und Tageshöchsttemperatur und eines breitengradabhängigen Korrekturfaktors berechnet. Die Einteilung der Eignung unterschiedlicher Rebsorten erfolgt dann nach Abbildung 65. Dieser Farbcode gilt für die entsprechenden Abbildungen in diesem Kapitel.

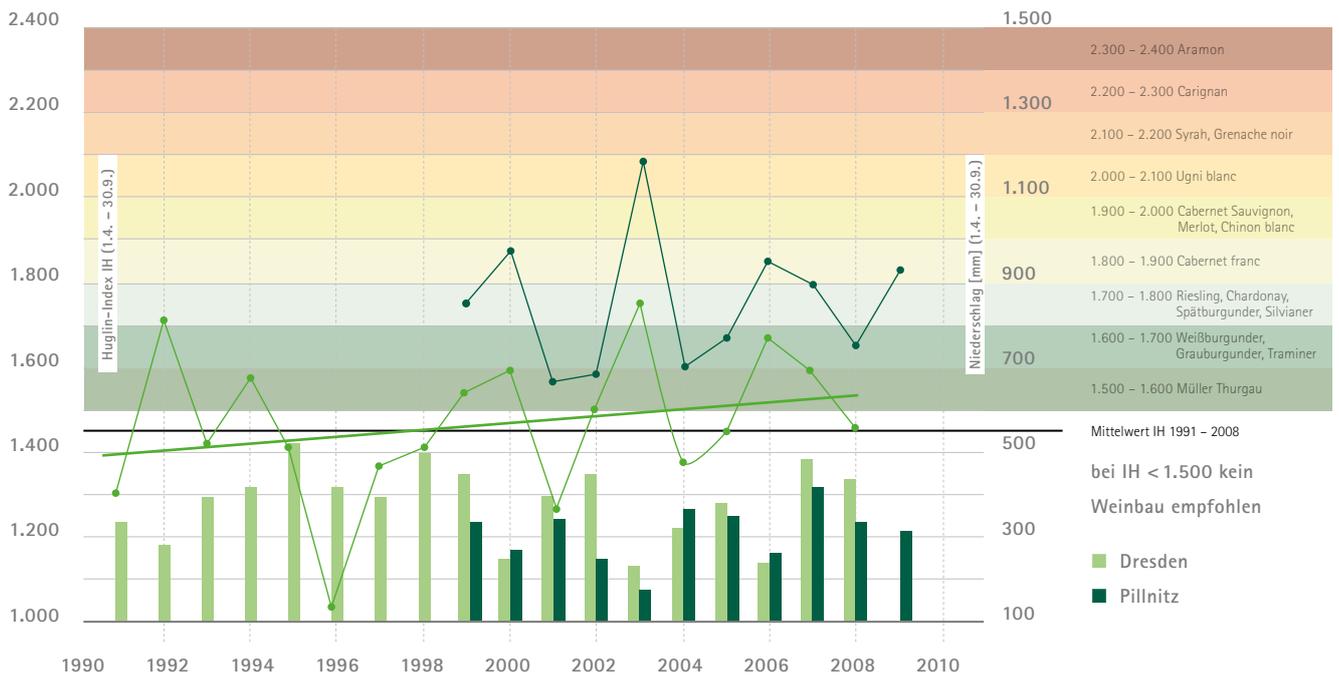
Abbildung 65: Einteilung der Anbauwürdigkeit verschiedener Rebsorten anhand des Huglin-Index (Lorenz 2011d)

Huglin-Index IH	Farbcode	ausgewählte anbauwürdige Rebsorten
$H < 1.500$		kein Anbau empfohlen
$1.500 < H = 1.600$		Müller Thurgau
$1.600 < H = 1.700$		Weißburgunder, Grauburgunder, Traminer
$1.700 < H = 1.800$		Riesling, Chardonay, Spätburgunder, Silvaner
$1.800 < H = 1.900$		Cabernet franc
$1.900 < H = 2.000$		Cabernet Sauvignon, Merlot, Chinon blanc
$2.000 < H = 2.100$		Ugni blanc
$2.100 < H = 2.200$		Syrah, Grenache noir
$2.200 < H = 2.300$		Carignan
$2.300 < H = 2.400$		Aramon

Auf Grundlage von Wetterstationsdaten im Gebiet wurde dann der Huglin-Index von 1991 – 2010 (für Dresden) bzw. 1999 – 2010 (für Pillnitz) berechnet und dem jeweiligen Niederschlag in der Vegetationsperiode (01.04. – 31.10) gegenübergestellt (vgl. Abb. 66). Es wird deutlich, dass in dieser Zeitspanne schon eine weite Spanne unterschiedlicher Temperatursummen auftritt. Der niedrigste Huglin-Index

findet sich im sehr kühlen und feuchten Jahr 1996, der höchste im trockenen Extremjahr 2003. Es wird aber auch deutlich, dass Jahre mit sehr hohen Indizes, d. h. Anbauwürdigkeit wärmebedürftigerer Rebsorten, die Niederschläge sehr gering sind. Am deutlichsten wird dies am Standort Pillnitz im Jahr 2003.

Abbildung 66: Huglin-Index und Niederschlag für Pillnitz und Dresden von 1991 – 2010 (Lorenz 2011d)

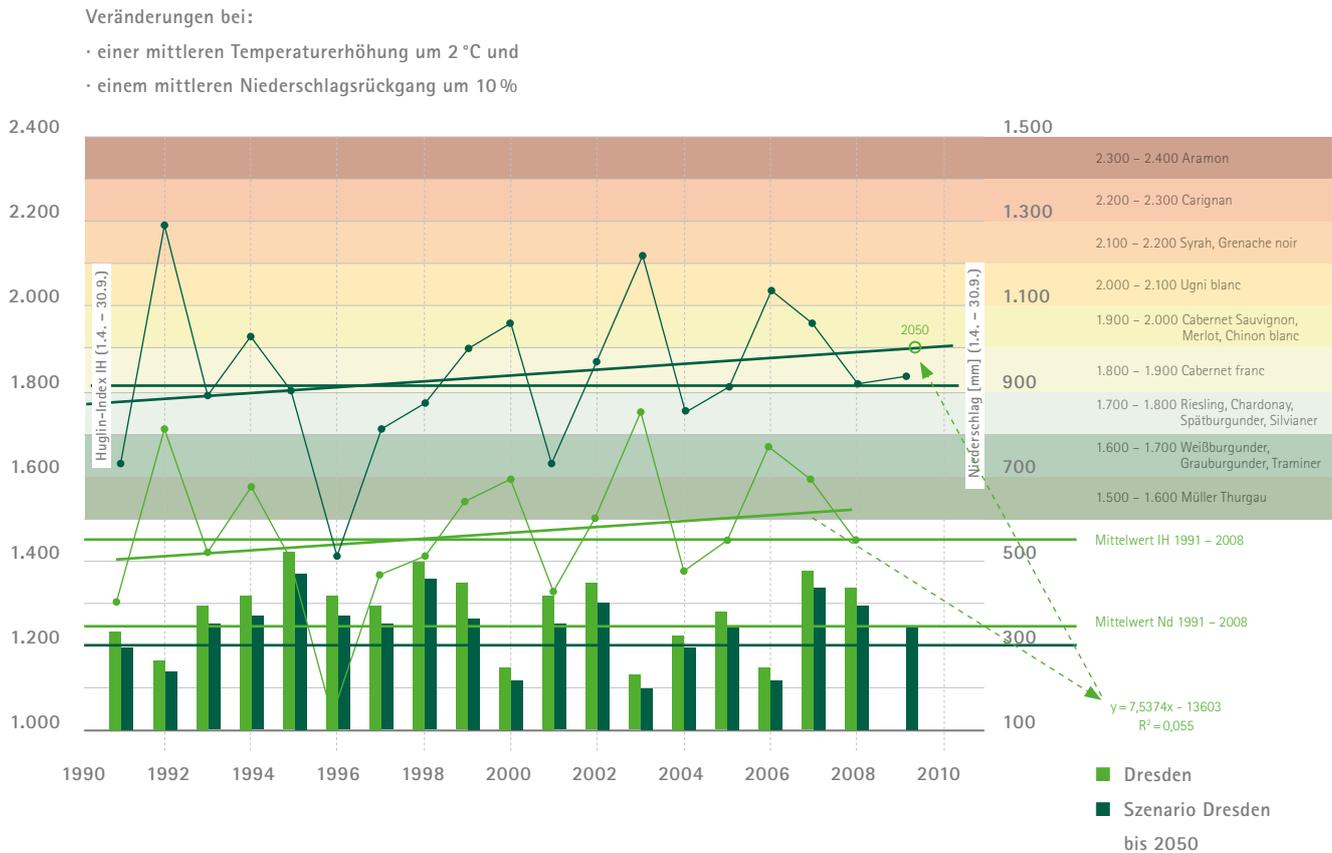


Verstärkt sich dieser Trend durch fortschreitenden Klimawandel, und viele Szenarien gehen von steigenden Temperaturen und sinkenden Niederschlägen in der Vegetationsperiode aus, so könnte zukünftig bei steigender Anbauwürdigkeit verschiedener Rebsorten die Wasserversorgung der Bestände v. a. in heißen Sommern zunehmend zum Problem werden.

Aus diesem Grund wurde der verfügbare Datensatz für die Wetterstation Dresden (Abb. 67 hellgrün) mit einer Temperaturerhöhung um 2 °C und einer Abnahme der Niederschläge um 10 % überprägt (Abb. 67 dunkelgrün). Dies stellt gängige Annahmen für ein Szenario der Veränderungen bis 2050 dar.



Abbildung 67: Veränderung des Huglin-Index und des Niederschlages bei einer mittleren Temperaturerhöhung von 2 °C und einem Niederschlagsrückgang um 10 % bis 2050 für Dresden (Lorenz 2011d)



Es wird deutlich, dass die Anbauwürdigkeit verschiedener Rebsorten, aufgrund der Temperaturerhöhung ansteigt (z. B. Cabernet Sauvignon oder Merlot), jedoch wird sich die Wasserversorgung der Reben in der Vegetationsperiode verschlechtern und damit die Trockenstressgefahr verschärfen.

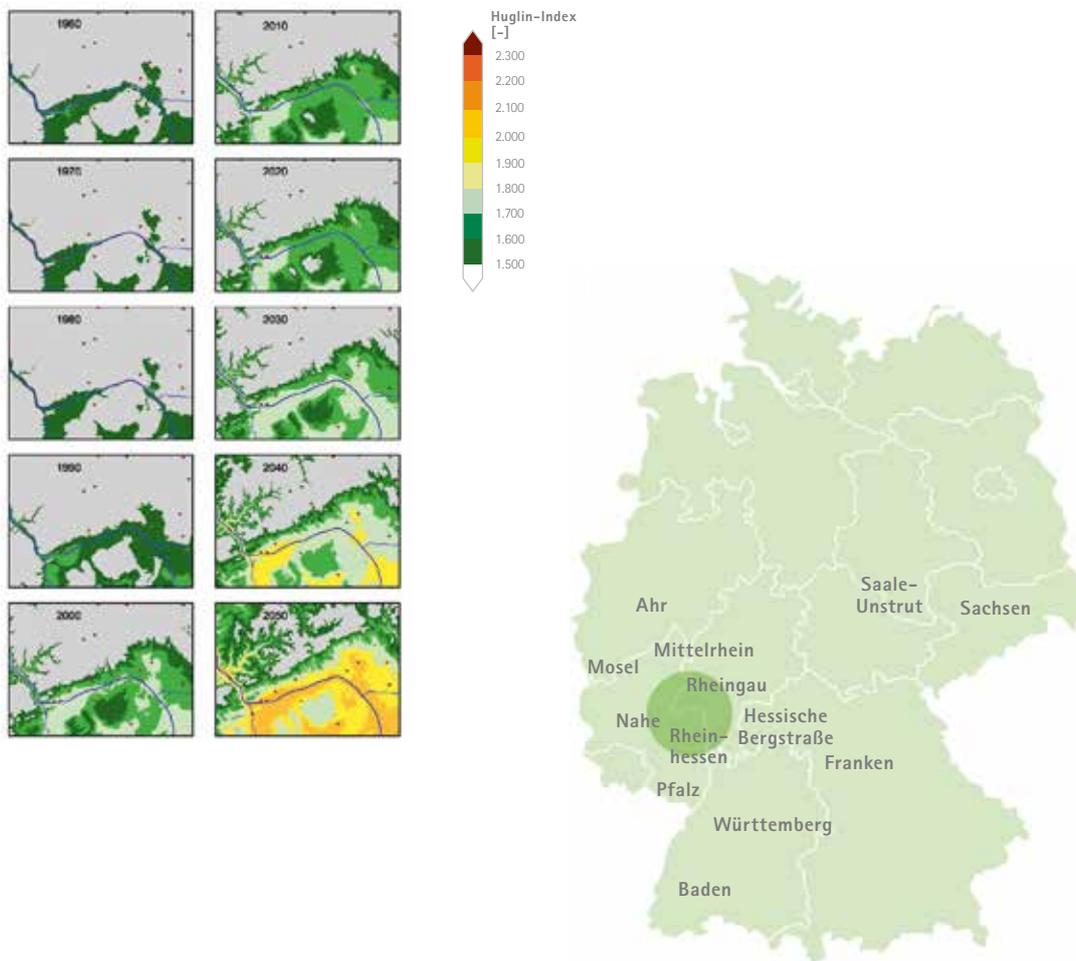
In einem 2. Schritt wurde der ansteigende Trend des Ausgangsdatensatzes (hellgrüne Trendlinie Abb. 67) bis ins Jahr 2050 linear fortgeschrieben. Das Ergebnis zeigt Abb. 67 (grüner Punkt 2050). Es wird deutlich, dass der derzeit stattfindende Trend (1991 – 2010), bis 2050 linear fortgesetzt, ziemlich exakt einer Temperaturerhöhung um 2° bis 2050 entspricht. Sollte sich dieser Trend jedoch zukünftig noch verstärken, sind auch größere Auswirkungen sowohl auf die Anbauwürdigkeit, als auch die Niederschlagsmenge und damit auch auf sich daraus ergebende Probleme (vgl. Anfang des Kapitels) möglich.

Diese Ergebnisse reihen sich gut in Ergebnisse von Stock et al. (2007) für andere Weinbauregionen Deutschlands ein (vgl. Abb 68 – 69). Diese untersuchten z. B. für den Rheingau und die Pfalz die Veränderungen der Anbauwürdigkeit von 1960 – 2050 mit Hilfe des Huglin-Index. Anhand der realen Klimareihe 1960 – 2000 und einer Projektion bis 2050 werden die Veränderungen regionalisiert dargestellt.

Nach diesen Untersuchungen werden temperaturbedürftige Rebsorten, wie Cabernet-Sauvignon und Merlot, in beiden Gebieten bis 2050 eine nennenswerte Anbauwürdigkeit erreichen. In der Pfalz im Rheintal sogar der Syrah, eine Rebsorte, die derzeit in Europa nur in Portugal oder Spanien angebaut wird, aber eher aus Californien, Südafrika, Chile oder Australien bekannt ist.

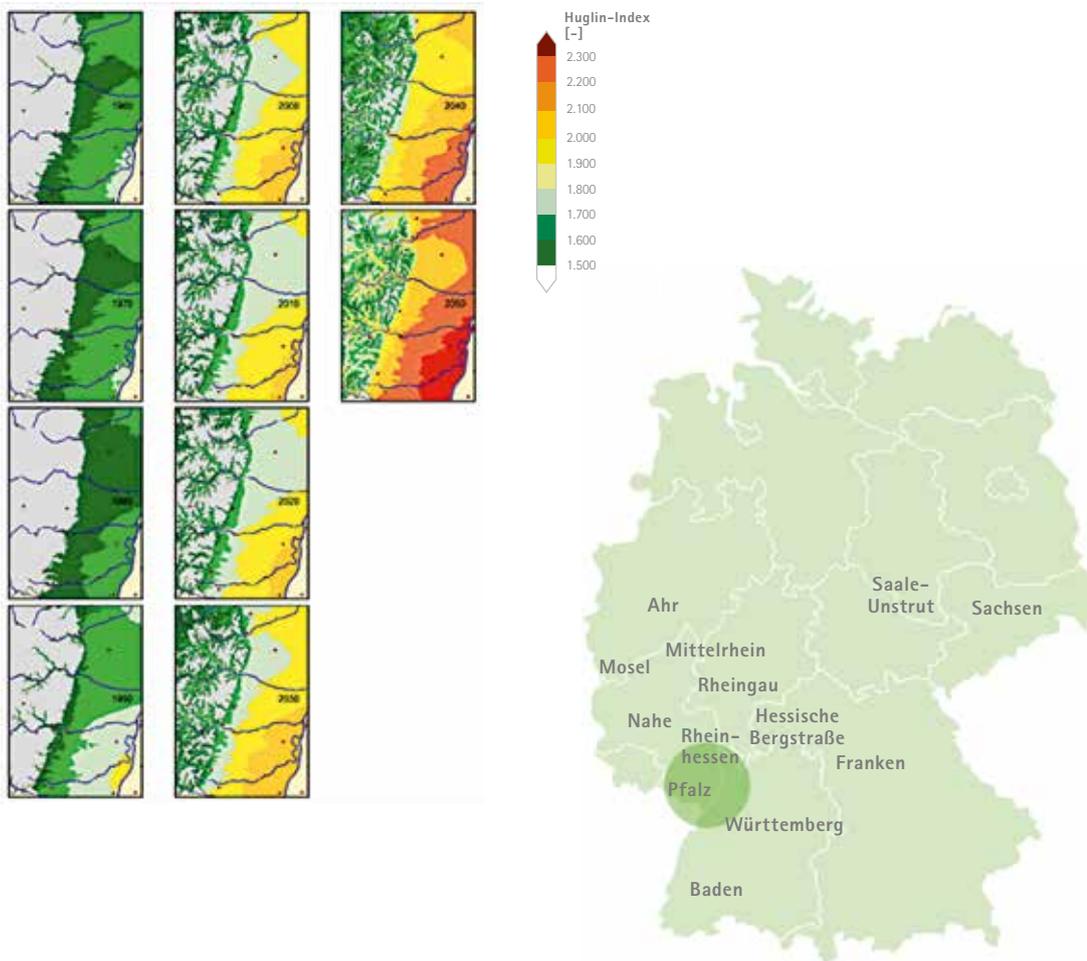


Abbildung 68: Veränderung des Huglin-Index von 1960 – 2050 für die Weinbauregionen Rheingau (Stock et al. 2007)



Huglin-Index IH	Farbcode	ausgewählte anbauwürdige Rebsorten
2.300 < H = 2.400		Aramon
2.200 < H = 2.300		Carignan
2.100 < H = 2.200		Syrah, Grenache noir
2.000 < H = 2.100		Ugni blanc
1.900 < H = 2.000		Cabernet Sauvignon, Merlot, Chinon blanc
1.800 < H = 1.900		Cabernet franc
1.700 < H = 1.800		Riesling, Chardonay, Spätburgunder, Silvaner
1.600 < H = 1.700		Weißburgunder, Grauburgunder, Traminer
1.500 < H = 1.600		Müller Thurgau
H < 1.500		kein Anbau empfohlen

Abbildung 69: Veränderung des Huglin-Index von 1960 – 2050 für die Weinbauregionen Pfalz (Stock et al. 2007)

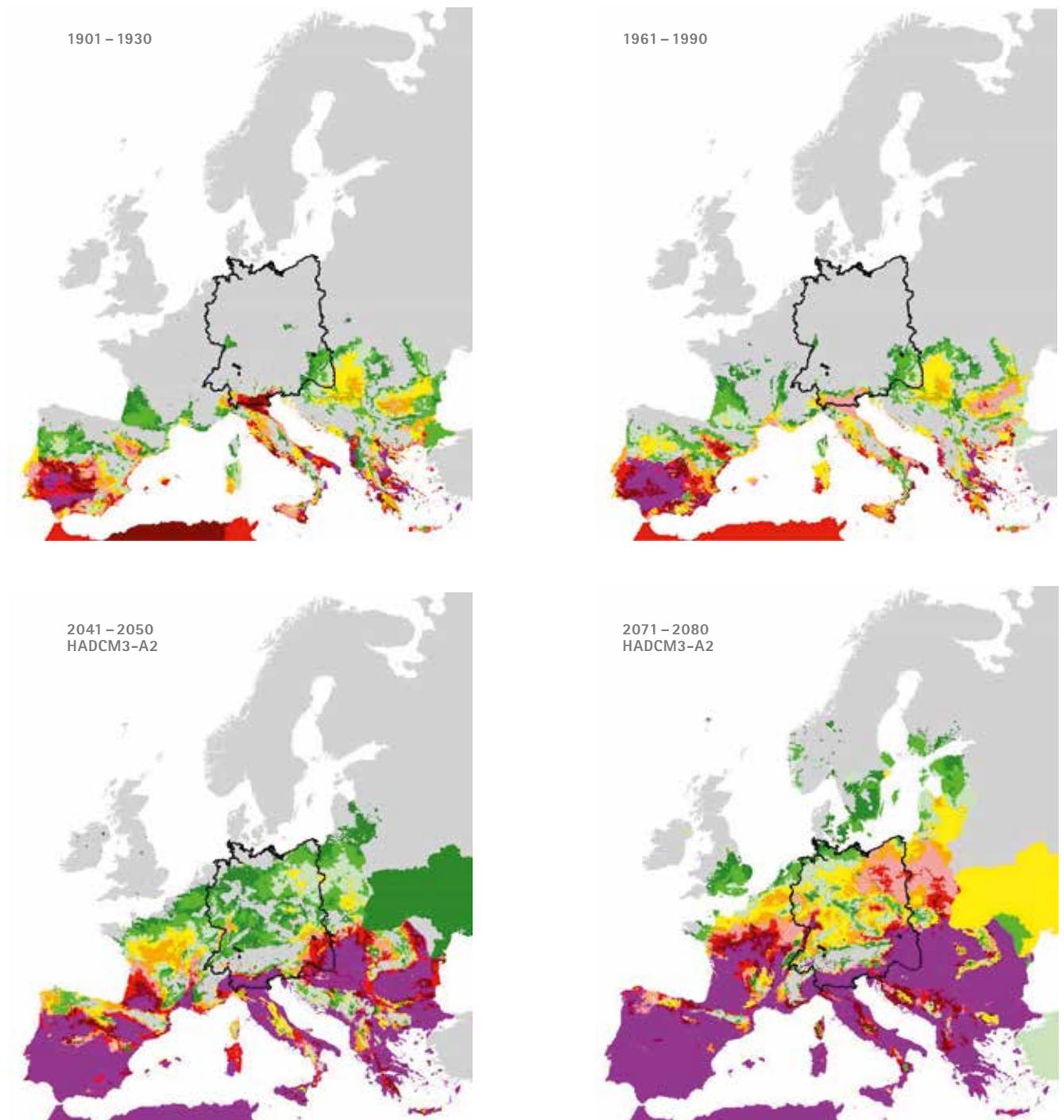


Zu den Veränderungen der Anbaueignung von Rebsorten in Europa gibt es z. B. Ergebnisse von Simota (2008) und Stock et al. (2005). Beide berechneten mit Hilfe des Huglin-Index die Veränderungen bis 2050 unter verschiedenen Szenarien.

Simota (2008) berechnet mit Hilfe realer Klimaaufzeichnungen die Veränderungen von 1901 – 1930 und 1961 – 1990, sowie die Veränderungen unter einem HADCM3-A2 Szenario für 2041 – 50 und 2071 – 80 (vgl. Abb. 76). Nach diesen Berechnungen wird sich die Anbauwürdigkeit von Reben bis 2050 auf fast ganz Mitteleuropa, sowie die baltischen Staaten etc. ausdehnen. Bis 2080 dehnt sich die

Anbauwürdigkeit auf Teile Skandinaviens (Südschweden, Südfinnland) und große Teile Südenglands aus. In den derzeitigen Anbauregion Spanien, Portugal, Frankreich, Italien und Griechenland werden alle Rebsorten mit sehr hohen Temperaturansprüchen anbaubar sein. Hier treten jedoch dann die Probleme mit der Wasserversorgung, Säure etc. verstärkt auf.

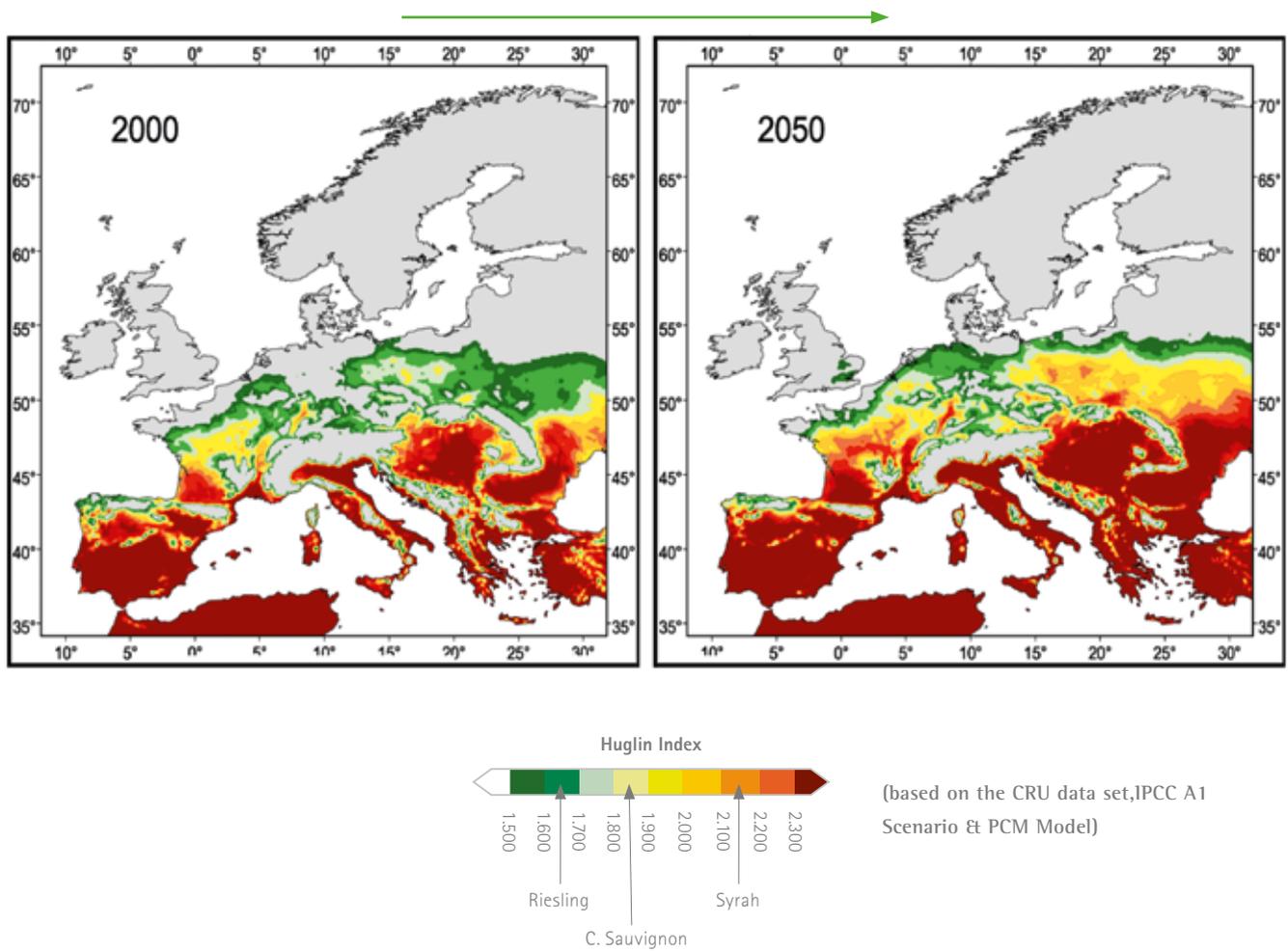
Abbildung 70: Huglin-Index für die Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten in Europa (Simota 2008)



Auch Stock et al. (2005) verwenden den Huglin-Index, um die mögliche Entwicklung der Anbaueignung verschiedener Rebsorten in Europa bis zum Jahr 2050 (A1F1 Szenario, +1,6 K bis 2050) abzuschätzen (Abb. 71). Ähnlich den Ergebnissen von Simota (2008; Abb. 70) zeigt auch diese Analyse eine deutliche Verschiebung der

Anbaueignung nach Norden und Osten, jedoch mit Unterschieden, die in der Verwendung unterschiedlicher globaler GCM (ECHAM4 vs. HADCM3), unterschiedlicher Szenarien (A1F1 vs. A2) und unterschiedlicher zeitlicher Auflösung begründet sind.

Abbildung 71: Huglin-Index in Europa 2050 im Vergleich zu den beobachteten Werten des Jahres 2000. Die Simulationen basieren auf dem A1F1 Szenario (+1,6°C bis 2050) (Stock et al. 2005).



8.3.3. Bewertung der Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten über die mittlere Temperatur der Vegetationsperiode (01.04. – 31.10.)



Neben dem Huglin-Index wird in vielen Arbeiten auch die mittlere Temperatur der Vegetationsperiode zur Einschätzung der Anbaueignung verschiedener Rebsorten herangezogen.

In Abbildung 72 links sind die Ergebnisse für Sachsen anhand der Stationen Pillnitz und Dresden für den Zeitraum 1999–2010 bzw. 1991–2010 dargestellt. Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 78 rechts die Entwicklungen von 1885–1925 über 1971–2000 bis 2050 für den Rheingau. Hierbei sind die Extremjahre 2003 und 2006 noch einmal gesondert ausgewiesen.

Abbildung 72: Bewertung der Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten über mittlere Temperatur der Vegetationsperiode (01.04. – 31.10.), links: für zwei Stationen in Sachsen (Mittelwert und Spannweite 1991 – 2010) (Lorenz 2010), rechts: für die Entwicklungen im Rheingau 1885 – 2050 (inkl. der Extremjahre 2003 und 2006 (Jones 2007)) basieren auf dem A1F1 Szenario (+1,6°C bis 2050) (Stock et al. 2005).



□ Length of rectangle indicates the estimated span of ripening for that varietal
 ■ Dresden
 ■ Pillnitz

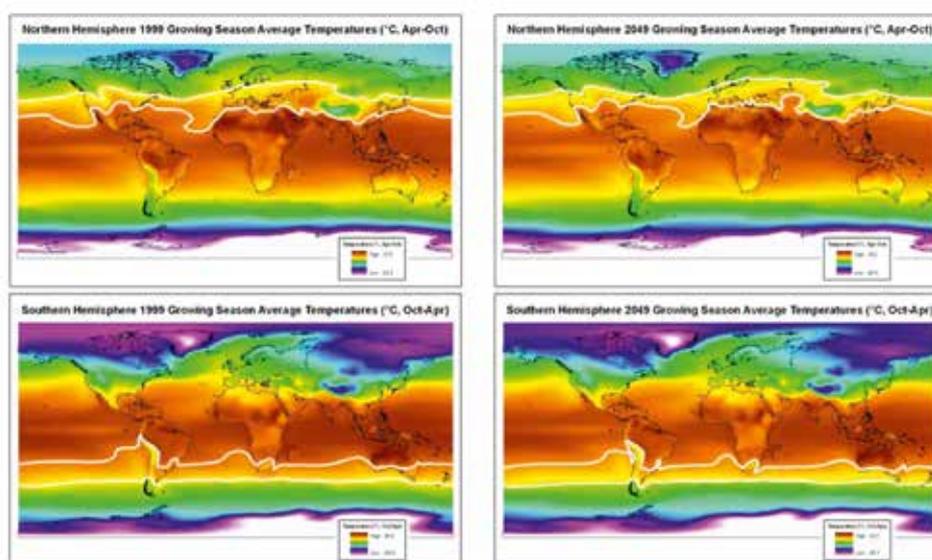
■ 1885 – 1925
 ■ 1971 – 2000
 ■ 2050

Es zeigt sich, dass diese Einteilung weitaus gröber ist, als z. B. der Huglin-Index, da z. B. ab einer mittleren Temperatur von 17 °C fast alle Rebsorten angebaut werden können. Des Weiteren treten auch hinsichtlich der Temperaturansprüche zwischen den verschiedenen Rebsorten Unterschiede zum Huglin-Index auf z. B. Cabernet-Sauvignon und Syrah.

Abbildung 73 zeigt eine Simulation der Verschiebung der Anbau-eignung für Reben basierend auf dem A1B Szenario (IPCC, + 3 K bis Ende diesen Jahrhunderts) für die Nord- und Südhalbkugel, wobei die Grenzen der Weinbaufähigkeit die 12 °C bis 22 °C Isotherme der

mittleren Temperatur der Vegetationsperiode bilden (Jones 2007). Nach diesen Berechnungen würden Teile Nordamerikas, Nordafrikas und Vorderasiens für den Anbau zu warm (> 22 °C April – Oktober), während eine deutliche Ausdehnung nach Norden in Europa sowie in Teilen von Asien und des Nordamerikanischen Kontinents möglich wäre (Abb. 73 oben). Während auf der Nordhalbkugel eine Ausdehnung in nördlichere Gebiete grundsätzlich erfolgen könnte, zeigt die gleiche Simulation, dass sich die für Weinbau geeignete Fläche auf der Südhalbkugel (Abb. 73 unten) verringern wird, da eine Ausdehnung nach Süden wegen fehlender Landmasse nur in Südamerika möglich ist (Schultz 2009).

Abbildung 73: Veränderung der mittleren Temperatur der Vegetationsperiode auf der Nord- (oben) und Südhalbkugel (unten) zwischen 1999 (links) und 2049 (rechts) (Jones 2007)



8.3.4. Weitere Problemfelder

8.3.4.1. Wasserhaushalt von Rebstandorten

Flachgründige Böden, wie sie oft in Steillagen der Flusstäler anzutreffen sind, neigen häufiger zu Problemen mit der Wasser- und Nährstoffversorgung. Diese Lagen zeigen aufgrund ihrer Ausrichtung starke Einstrahlungswerte, unterliegen jedoch bei Starkregenereignissen erheblichen Wasserverlusten durch Oberflächenabfluss, verbunden mit Erosion. Verschiebungen in der Niederschlagsverteilung lassen die Bewässerung auch von Reben zu einem zunehmend relevanteren Thema werden. Hierbei ist z. B. auch zu beachten, dass die Aromausprägung weißer Rebsorten deutlich empfindlicher auf lange Trockenperioden reagiert, als dies bei roten Traubensorten der Fall ist. Die Bewässerung von Steillagen ist jedoch schwierig, da sie mit erheblichen Kosten, Energieaufwand

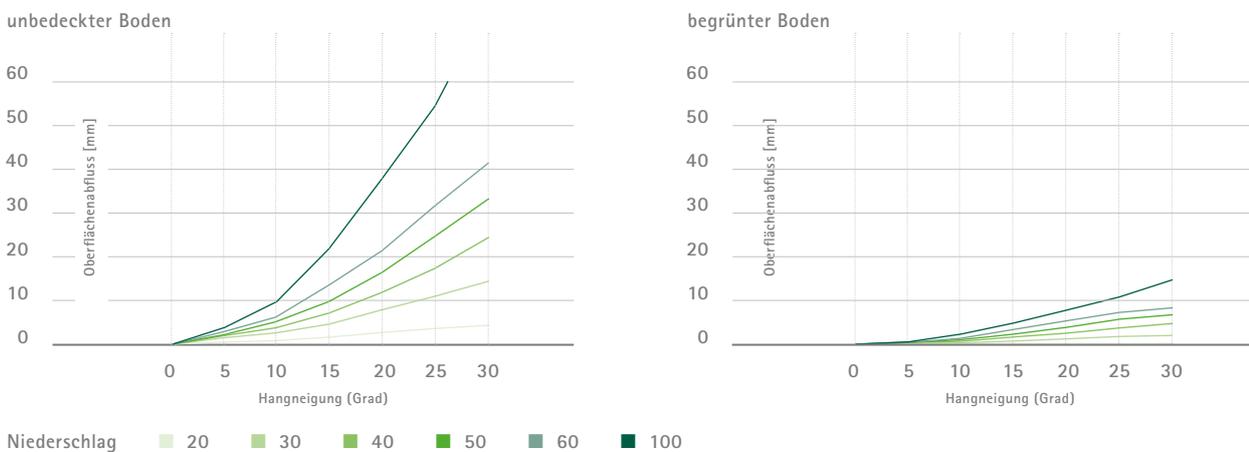
und z. T. ungelösten Fragen der Wasserentnahme bzw. Wasserbevorratung verbunden ist. Um die Rentabilität einer solchen Maßnahme abzuschätzen, muss zunächst eine Risikoabschätzung vorgenommen werden, die sowohl die zukünftigen Veränderungen, als auch die Kosten (Infrastruktur, Wasser etc.) und den Nutzen einer solchen Maßnahme einbezieht. Hierbei geben nur kleinräumige Betrachtungsweisen wertvolle Hinweise für die zukünftige Risikoausprägung (Schultz 2009). Da im Weinbau Wassermangel bei weißen Rebsorten zur Ausbildung von Fehleraromen führen oder auch hohe Ernteverluste verursachen kann, ist in Zukunft eine flächendeckende Abschätzung des Wasserhaushalts der jeweiligen Weinbauregionen bzw. Lage erforderlich (Schultz 2009).

8.3.4.2. Erosion

Hinsichtlich der Erosionsproblematik führen zunehmende Intensitäten von Starkniederschlagsereignissen gerade in Steillagen z. T. zu erheblichen Bodenabträgen. Hiermit ist zum einen ein Verlust an fruchtbarem Boden verbunden, zum anderen aber auch Kosten die durch die Verlagerung des Materials in Wohngebiete, Straßen etc. und den Eintrag in Gewässer entstehen. Eine möglichst dau-

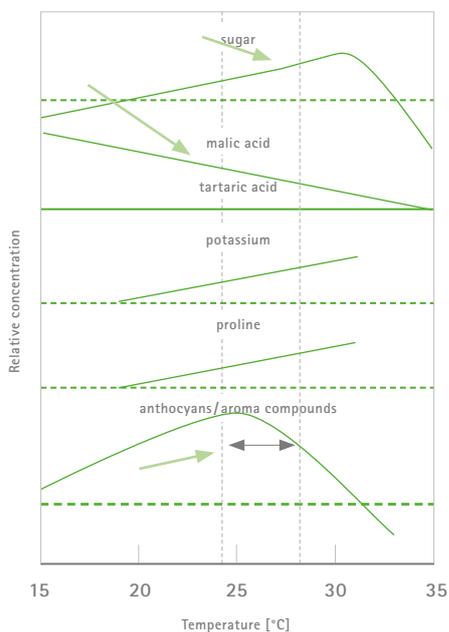
erhafte Begrünung oder Mulchbedeckung der Zwischenbereiche ist hier eine wirksame Maßnahme. Ergebnisse von Berthold (1994, vgl. Abb. 74) belegen dies. Bei flachgründigen Steillagen wird jedoch der Wasserbedarf dieser Begrünung in Konkurrenz zu den Reben oft als Problem gesehen.

Abbildung 74: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von der Hangneigung bei unterschiedlichen Niederschlägen (Berthold 1994)



8.3.4.3. Veränderung von Weininhaltsstoffen

Abbildung 75: Einfluss steigender Temperaturen auf einige Weininhaltsstoffe (Schultz und Jones 2008)



Untersuchungen von Schulz und Jones (2008) zeigen den Einfluss der Temperatur auf einige Weininhaltsstoffe. Gerade in der Zunahme des Zuckergehaltes, der Abnahme der Säuren (Wein- und Äpfelsäure) und der Veränderung der Aromen wird bei fortschreitendem Klimawandel ein Problem gesehen. Weiterhin wird befürchtet, dass durch zunehmenden Krankheitsdruck (z. B. pilzliche Schaderreger) Fehl aromen, wie Mäusel, Ethanolnote etc., zunehmen könnten (Abb. 75).

9. Wasser sparende, teilschlagbezogene Beregnungs- bzw. Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft



9.1. Einleitung



Im Rahmen des Klimawandels spielt die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen als eine mögliche Anpassungsmaßnahme (vgl. Abb. 1) vor allem in Regionen mit einer zunehmenden Trockenstressgefahr und abnehmender Klimatischer Wasserbilanz und bei berechnungswürdigen Kulturen zur Ertrags- und Qualitätssicherung eine wichtige Rolle. Um die Bedingungen, Möglichkeiten und zukünftige Veränderungen in Bezug auf die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen in der REGKLAM-Region Dresden aufzuzeigen und mögliche Konsequenzen auch z.B. im Hinblick auf ökonomische Aspekte, rechtliche Regelungen und die Umsetzung in einem Regionalen Klimaanpassungsprogramm abzuleiten, werden nachfolgend

- 1) die regionsbezogenen Auswirkungen der Klimaveränderungen auf berechnungsrelevante Größen (vgl. Kap. 1.4) und
- 2) die derzeitigen Randbedingungen und die Situation der Bewässerung in Sachsen und der REGKLAM-Region dargestellt. Darauf aufbauend werden
- 3) Wirtschaftlichkeitsberechnungen, u.a. anhand eines Beispielbetriebes, für unterschiedliche landwirtschaftliche Kulturen herangezogen und ausgewertet, bevor
- 4) mögliche Anpassungsmaßnahmen, auch im Hinblick auf die Umsetzung eines integrierten regionalen Klimaanpassungsprogramms für die REGKLAM-Region Dresden (IRKAP), aufgezeigt und hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz, Umsetzbarkeit und regionsbezogenen Anforderungen bewertet werden.

Mit weiter fortschreitendem Klimawandel gewinnt auch die Be-

wässerung landwirtschaftlicher Kulturen in Sachsen an Bedeutung. Durch die beschriebenen Änderungen sowohl im Niederschlagsangebot und der -verteilung als auch bei den Temperaturen steigt die Bewässerungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen an. Damit z. T. einhergehende veränderte ökonomische Bedingungen führen ferner zu einer steigenden Bewässerungswürdigkeit (zur Ertrags- und Qualitätssicherung und damit zur besseren Vermarktung). Eine mögliche klimatisch bedingte Zunahme der Wassernutzungskonkurrenzen führt dann zu einer steigenden Bedeutung von effizienten, wassersparenden Technologien und Verfahren.

Die primären Ziele einer Bewässerung liegen in der:

- Deckung des Wasserdefizits der landwirtschaftlichen Kulturen und damit in der
- Sicherung und Steigerung des Ernteertrages, der
- Sicherung hoher Qualitäten für eine gute Vermarktung und
- ggf. Einsparen von Fläche für andere Fruchtarten.

Hierbei gilt es zum einen effiziente, wassersparende Systeme einzusetzen, um den unproduktiven Wasserverbrauch zu senken (z. B. Tröpfchenbewässerung) und diese durch eine gezielte Steuerung der Bewässerung z.B. über die Bodenfeuchte zu optimieren.

9.2. Situation der Bewässerung in Sachsen

Informationen und Daten zur Bewässerung (Fläche, Wasserbedarf, Technik etc.) sind für Sachsen nicht flächendeckend vorhanden. Aktuellere Daten liefert nur die Landwirtschaftszählung 2010. Hierin findet sich jedoch ein guter Überblick über den Status der landwirtschaftlichen Bewässerung im Freistaat.

In Sachsen wurden nach diesen Angaben im Jahr 2009 ca. 3258 ha landwirtschaftliche Freilandflächen (ohne Frostschutzberegnung) bewässert. Abbildung 76 zeigt die potenzielle, Abbildung 77 die tatsächlich bewässerte landwirtschaftliche Fläche in Sachsen aufgliedert nach Betriebsgröße.

Abbildung 76: Potenziell bewässerbare landwirtschaftliche Freilandfläche (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)

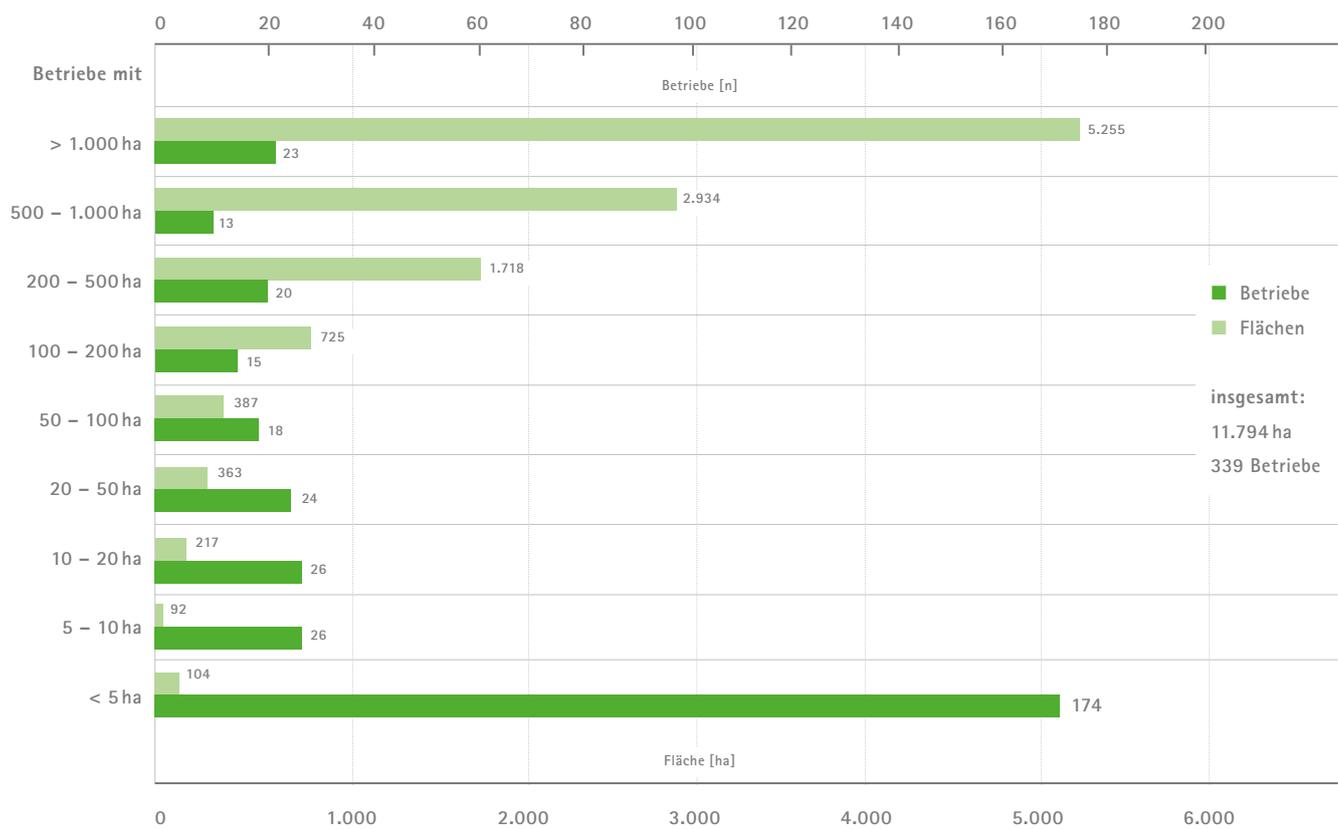
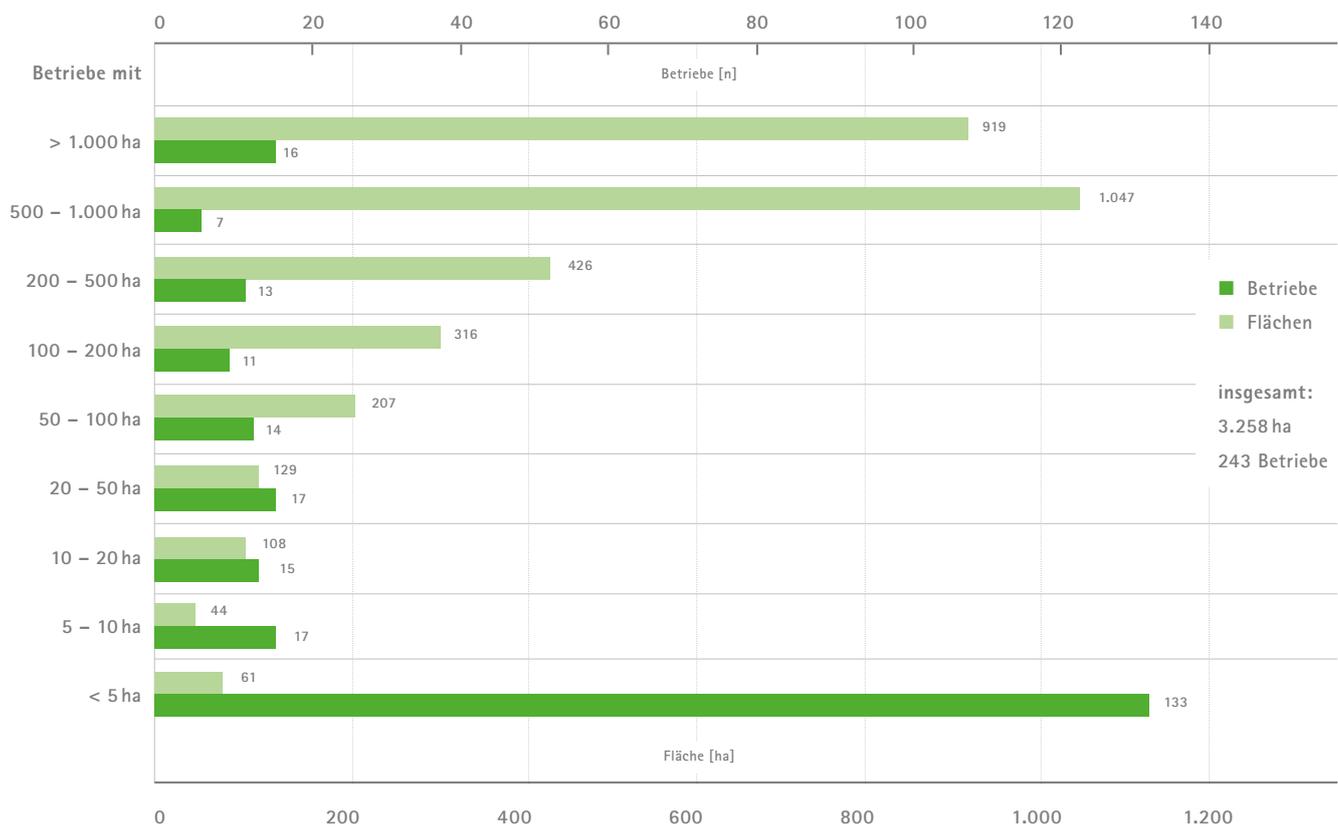


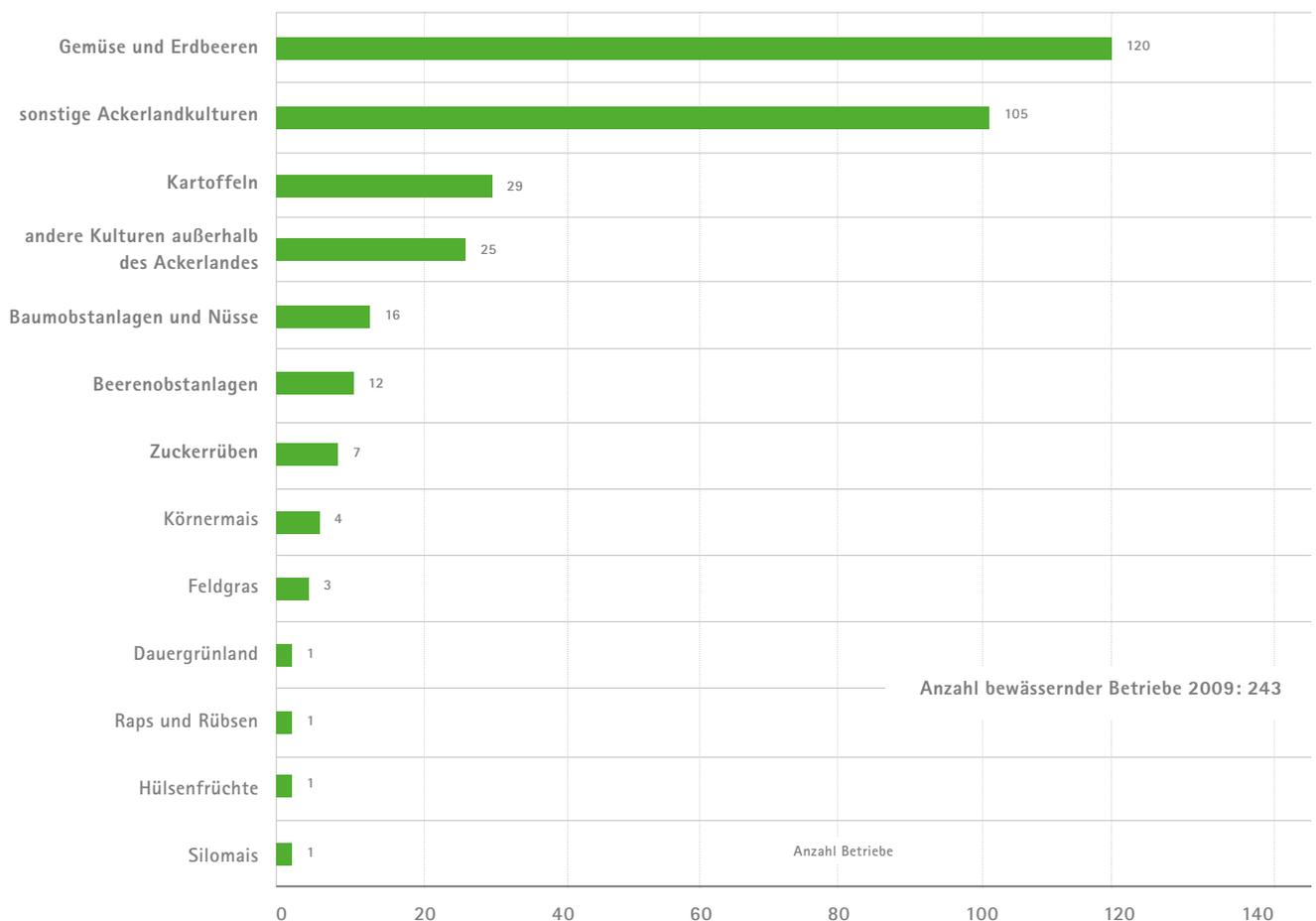
Abbildung 77: Bewässerte landwirtschaftliche Freilandfläche im Jahre 2009 in Sachsen (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)



Von den potenziell bewässerbaren Freilandflächen (11.795 ha) wurden im Jahr 2009 ca. 28 % (3.258 ha) bewässert. Hierbei zeigt sich, dass die meiste Fläche von einigen wenigen Großbetrieben bewässert wird, wohingegen der Flächenanteil der vielen Klein- und Kleinstbetriebe dagegen sehr gering ist. Nachfolgend sind die

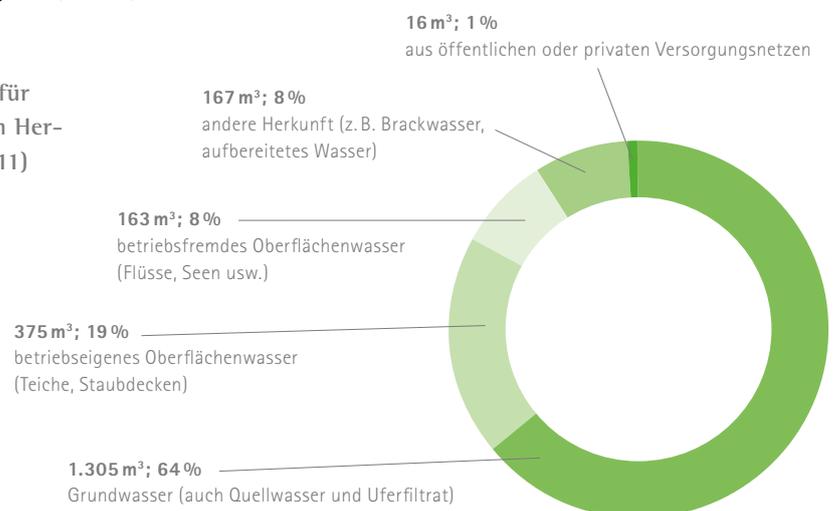
entsprechenden Betriebsanzahlen mit Bewässerung nach Kulturen aufgetragen. Es zeigt sich, dass auf den Landwirtschaftsflächen hauptsächlich Kulturen mit hoher Bewässerungswürdigkeit bewässert werden. Dies sind v. a. Gemüse und Erdbeeren, Kartoffeln sowie Baumobst- und Beerenobstanlagen (Abb. 78).

Abbildung 78: Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe mit Bewässerung nach Kulturen (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)



Hinsichtlich der verwendeten Wassermengen und deren Herkunft macht die Landwirtschaftszählung 2010 folgende Angaben (Abb. 79):

Abbildung 79: Menge an Bewässerungswasser für landwirtschaftliche Flächen nach Herkunft (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)



Die weitaus größte Menge (1.305.000 m³) des Bewässerungswassers in der Landwirtschaft stammt aus dem Grundwasser (auch Quellwasser und Uferfiltrat), gefolgt von betriebseigenen Oberflächengewässern (Teiche, Staubecken; 375.000 m³). Insgesamt werden nach diesen Angaben ca. 2.026.000 m³ für die Bewässerung landwirtschaftlicher Freilandflächen in Sachsen verwendet.

wässern (Teiche, Staubecken; 375.000 m³). Insgesamt werden nach diesen Angaben ca. 2.026.000 m³ für die Bewässerung landwirtschaftlicher Freilandflächen in Sachsen verwendet.

Abbildung 80: Landwirtschaftliche Betriebe mit Bewässerung auf Freilandflächen nach Bewässerungsverfahren (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)



Hinsichtlich der eingesetzten Bewässerungstechnik (Abb. 80) wird in der Landwirtschaftszählung lediglich zwischen 1. Beregnungsanlagen (Sprinklerbewässerung) und 2. Tropfbewässerung (bodennah, auch Mikrosprinkler) unterschieden. Hierbei werden effiziente, wassersparende Tropfbewässerungssysteme auf ca. 33 % (89 Betriebe) und wasserintensivere Beregnungssysteme auf ca. 67 % (184 Betriebe) eingesetzt. Über die jeweilige Flächenausstattung finden sich allerdings in der Landwirtschaftszählung keine Angaben.

Bezogen auf den Direktionsbezirk Dresden (beinhaltet REGKLAM-Region Dresden) werden ca. 1.340 ha landwirtschaftliche Freilandfläche bewässert. Auch hier sind Gemüse und Erdbeeren, Kartoffeln und Baumobstanlagen die hauptsächlich bewässerten Kulturen. Die eingesetzte Wassermenge beläuft sich auf ca. 794.000 m³ und kommt zu ca. 50 % der Betriebe aus dem Grundwasser und bei ca. 35 % der Betriebe aus betriebseigenen Oberflächengewässern (Teiche, Staubecken). Von den 155 Betrieben mit Bewässerung verwenden 62 (ca. 40 %) eine wassersparende Tropfbewässerung, die restlichen 60 % wasserintensivere Beregnungssysteme.

9.3 Planung einer Bewässerungsanlage

Bei der Neuinstallation einer Bewässerungsanlage sind nach Jäkel (2012) folgende Dinge zu berücksichtigen:

1. Vorplanung: Beregnungsfläche, Wasserbedarf (Fruchtart, -folge, Beregnungsdauer pro Jahr)
2. Vorprüfung der Standortverhältnisse: Bewertung der hydrogeologischen Situation auf Basis vorhandener Unterlagen, Prüfung der Nutzung von Grundwasser, Oberflächenwasser oder ggf. vorhandener Staubecken und Speicher
3. Hydrogeologisches Gutachten: Bewertung der klimatischen Standortverhältnisse, hydrogeologischen Verhältnisse, der Wasserhaushaltsbilanz und Beschreibung der Belange des Natur- und Bodenschutzes

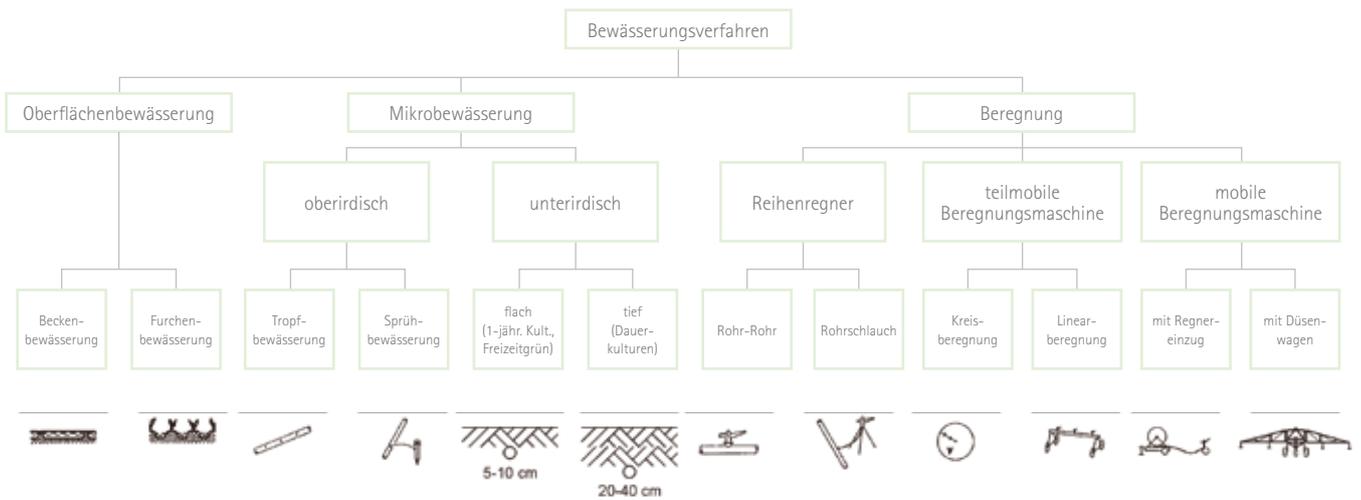
4. Wasserrechte und Genehmigungen:

- a) Brunnenbau ist gemäß WHG schriftlich anzuzeigen
- b) Grundwasserentnahme nur mit wasserrechtlicher Erlaubnis (untere Wasserbehörde)

Hierbei fallen im Vorfeld Investitionskosten für Betreuung durch ein Ingenieurbüro (Brunnenbau), Brunnenbau, Erdleitungen, Hydranten, Strom die sich nach der Lage und Art der Arbeiten und der Anlage richten.

Weiterhin spielt die Auswahl der geeigneten Bewässerungstechnik eine entscheidende Rolle. Dies richtet sich v. a. nach den Standortverhältnissen und den Gesamtkosten. Abbildung 81 zeigt eine Übersicht über die gängigsten Bewässerungsverfahren.

Abbildung 81: Bewässerungsverfahren im Freiland nach DIN 19655 (1996)



Bodennahe Tropfbewässerungssysteme sind effizienter und wassersparender als Beregnungssysteme (Sprinklerbewässerung), jedoch auch erheblich teurer. Zu den Kostenpositionen verschiedener Be-

wässerungssysteme finden sich bei Landakademie (2011) durchschnittliche Werte (vgl. Tab. 16).

Tabelle 16: Durchschnittliche Kosten von Bewässerungsanlagen im Vergleich (Landakademie 2011)

Kostenart	Tropfbewässerung	Rohrberegnung	Regenmaschine	
			Düsenwagen	Kanone
Fläche (ha)	5	25	25	25
Investition (Euro)	40.000	86.000	75.000	60.000
Fixe Kosten (Euro/ha) Brunnen, Pumpe, Leitungen, Technik	1.300	300	170	135
Variable Kosten (Euro/mm) Energie, Arbeit, Reparatur	2,5	2,4	2,2	2,2
Summe (Euro/ha a bei 120 mm)	1.600	588	434	399

Es wird deutlich, dass die Tropfbewässerung aufgrund ihrer hohen fixen (aber auch variablen) Kosten mit Abstand das teuerste Bewässerungsverfahren ist, jedoch auch das mit der höchsten Wassernutzungseffizienz. Will man daher wassersparende Bewässerungssysteme, aus Gründen der Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung, verstärkt etablieren, so sind weitere Anreizsysteme notwendig, die über die derzeitige Investitionsförderung (vgl. Kap. 9.4) hinausgehen.

Für die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit eines Bewässerungssystems ist nicht zuletzt eine wassersparende Bewässerungssteuerung ausschlaggebend. Hierbei gibt es grundlegend verschiedene Verfahren:

1. Die Steuerung nach der klimatischen Wasserbilanz (z. B. Geisenheimer Beregnungssteuerung, Empfehlungen DWD) ist eine einfache Methode mit geringem finanziellen Aufwand
2. Messung der Bodenfeuchte mit Hilfe von Sensoren und Steuerung nach der Feldkapazität. Aufwendiges Verfahren mit Kosten für Installation und Instandhaltung der Sensorik (Anfälligkeit) und der Steuerung (ggf. auch automatisiert)
3. Nutzung von Computermodellen zur Berechnung der Bodenfeuchtedynamik auf der Grundlage von Wetter-, Pflanzen- und Bodendaten etc. Anschaffungskosten (z. B. der Programme), hierzu existieren Angebote z. B. von spezialisierten Ingenieurbüros.

9.4. Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen

Eine Kultur ist dann bewässerungswürdig, wenn die bewässerungsbedingten Mehrkosten durch die Ernte-Mehrerlöse gedeckt bzw. überschritten werden.

Hauptzielstellungen im Bereich der Bewässerung sind das Erzielen eines relevanten Mehrertrags bzw. die Ertrags- und Qualitätssicherung unter zunehmend variablen Klimabedingungen (auch Marktbedingungen). Mit zunehmenden Klimaveränderungen kommt vor allem der Ertragssicherheit ein hoher Stellenwert zu.

Die Bewässerung hat nach Jäkel (2011) weiterhin folgende positive Effekte auf die Anbaukulturen:

1. Kartoffeln
 - mehr Ertrag
 - mehr marktfähige Ware
 - mehr Stärke
 - weniger Befall mit Schorf
 - geringere Eisenfleckigkeit
 - schnellere gleichmäßigere Abreife
2. Getreide
 - mehr Ertrag
 - mehr ährentragende Halme pro m²
 - mehr Körner pro Ähre
 - geringere Eiweißgehalte bei Braugerste
3. Zuckerrübe
 - mehr Ertrag
 - höherer Zuckerertrag
 - weniger Ausbeuteverluste

4. Mais

- mehr Ertrag
- bessere Kolbenentwicklung
- höhere Kolbenmasse
- mehr Kolben pro Pflanze

Steigen die Erträge durch eine Bewässerung werden ggf. zudem betriebsintern mehr Flächen für andere Kulturarten frei.

Ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit einer Bewässerung sind neben den angebauten Kulturen und Fruchtfolgen (1) die betrieblichen Standortverhältnisse, (2) die Infrastruktur (Arrondierung, Wasserentnahmemöglichkeiten, -verteilung etc.) und (3) die vorhandene bzw. gewählte technische Umsetzung und Technologie.

- (1) Die Standortverhältnisse werden hinsichtlich der Bewässerung primär von der Niederschlagsverteilung und den Bodenverhältnissen bestimmt. Diese entscheiden über die Verfügbarkeit von Wasser für die Pflanze in der Vegetationsperiode. Auf leichten, Böden (D-Standorte, sandige Substrate) im nördlichen Teil der REGKLAM-Region Dresden sorgt eine geringere nutzbare Feldkapazität (nFK) und eine geringe, und zukünftig noch weiter abnehmende, klimatische Wasserbilanz (KWB) für eine schlechte Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode, so dass auf diesen Flächen grundsätzlich eine erhöhte Bewässerungswürdigkeit besteht. Weiterhin werden natürlich auch wasserbedürftige Kulturen (Dauerkulturen, Gemüse, z. T. Kartoffeln) auf den besseren Lößböden im mittleren Teil der REGKLAM-Region Dresden zur Ertrags- und v. a. Qualitätssicherung bewässert.



Auf den südlichen V-Standorten des Erzgebirges und Vorlandes wird (so gut wie) nicht beregnet, da hier auch mittelfristig noch mit positiven bis ausgeglichenen klimatischen Wasserbilanzen zu rechnen ist. Ausnahmen bilden aber z. B. Obstbaubetriebe südlich von Dresden an der Elbe bis ins Elbsandsteingebirge, die auch Bewässerungsmöglichkeiten haben.

(2) Die Infrastruktur der Landwirtschaftsbetriebe, und innerhalb dieser auch der jeweiligen Schläge, ist sehr unterschiedlich ausgebaut. So sorgen z. B. vorhandene alte Rohrleitungen, Hydranten, Brunnen und Speicher (mit entsprechenden Wasserentnahmerechten) z. T. noch aus DDR-Zeiten für eine deutliche Minderung der Investitions- und Betriebskosten, was dann wiederum zu einer rentableren Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen (v. a. Kartoffeln, Gemüse, Obst etc.) führt. Weiterhin macht z. B. das Vorhandensein von natürlichen oder künstlichen Speicheranlagen für Oberflächenwasser eine Brunnenbohrung überflüssig und führt so zu einer Steigerung der Rentabilität von Bewässerungsmaßnahmen. Bei Neuanlage z. B. eines Brunnens entscheidet aber die hydrogeologische Situation auf den Flächen des Betriebes durch die Höhe der Investitionskosten über die Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsmaßnahmen.

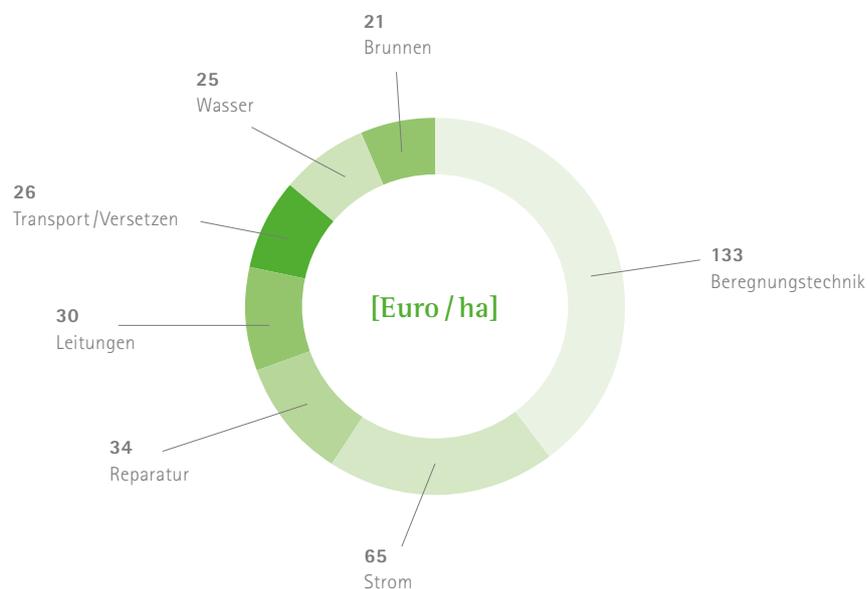
(3) Entscheidend für die Rentabilität von Bewässerungsmaßnahmen ist aber nicht zuletzt auch die Wahl der geeigneten Technik. Einfachere Technik, wie z. B. Schlauchtrommel und Regner verursachen relativ geringe Kosten, sind jedoch auch hinsichtlich der Wassernutzungseffizienz etwas schlechter einzustufen. Kostenintensivere, moderne Technik, wie z. B. Kreis- und Linearberegnungsmaschinen oder Tröpfchenbewässerungssysteme sind jedoch deutlich wassersparender und effizienter zu betreiben. Eine teilstationäre Tröpfchenbewässerung ist derzeit noch zu kosten- und arbeitsintensiv (Jäkel 2011).

Die Kostenpositionen bei der Neuinstallation einer Bewässerungsanlage setzen sich wie folgt zusammen:

- Strom/Diesel
- Wasser
- Brunnenbau
- Beregnungstechnik
- Leitungen
- Transport/Umsetzen u. ä.
- Reparaturkosten

Landakademie (2011) gibt einen Überblick über die allgemeinen Durchschnittskosten bei der Installation einer Bewässerungsanlage (Abb. 82).

Abbildung 82: Übersicht über die Kostenpositionen eines Bewässerungssystems (Landakademie 2011)



Die größten Positionen sind hierbei meist die Abschreibung der Beregnungstechnik, die laufenden Strom- bzw. Dieselposten, gefolgt von den Reparaturkosten und den Kosten für die Installation und den Betrieb des Leitungssystems sowie der laufenden Kosten für Transport, Umsetzen u. ä. Die Kosten für Wasser und Brunnen belaufen sich hiernach durchschnittlich auf je 20–25 €/ha. Bei unterschiedlichen Bewässerungsanlagen können sich diese Kosten jedoch deutlich unterscheiden.

Bei einer Neuinstallation einer Bewässerungsanlage kann nach Jäkel (2011), je nach den jeweiligen betrieblichen Bedingungen mit Kosten von bis zu 350 €/ha gerechnet werden. Tabelle 17 zeigt hierzu eine Beispielrechnung für zwei unterschiedliche Bewässerungssysteme und eine Bewässerungsfläche von 50 ha (Jäkel 2011).

Tabelle 17: Beispiel für eine Kostenübersicht bei der Planung einer Bewässerungsanlage (Jäkel 2011)

		feste Kosten		variable Kosten		Gesamtkosten	
		A)	B)	A)	B)	A)	B)
Brunnen	[Euro/ha]	56	51	6		62	57
Pumpe, Leitung	[Euro/m³]	0,056	0,050	0,006		0,062	0,056
Beregnungsmaschine	[Euro/ha]	60	133	91	118	151	251
	[Euro/m³]	0,06	0,13	0,09	0,11	0,15	0,24
Transport/Versetzen (AK)	[Euro/ha]	9	5	36	21	45	26
	[Euro/m³]	0,010	0,005	0,036	0,020	0,046	0,025
Summe	[Euro/ha]					258	334
	[Euro/m³]					0,26	0,32

A) mobile Beregnungsmaschine mit Düsenwagen B) Linearberegnungsanlage

Die Kostenpositionen bei der Installation und dem Betreiben einer Bewässerungsanlage setzen sich aus festen Kosten, wie z. B. Abschreibung, Zinsen, Versicherungen, Wartung etc., und variablen Kosten, wie z. B. Wasser, Energie, Schleppereinsatz, Reparaturen, Lohn etc. zusammen.

eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit. Daher wird nachfolgend die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung einiger wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen dargestellt (Jäkel 2011). Grundlagen der Berechnungen sind die Bedingungen eines D-Standortes, wie er z. B. im nördlichen Teil der REGKLAM-Region Dresden anzutreffen ist (Tab. 18).

Neben den Investitions- und den laufenden Betriebskosten spielt die jeweilige angebaute Kultur und die Einbindung in die Fruchtfolge

Tabelle 18: Bewässerung von Kartoffeln (Jäkel 2011)

Kosten Beregnung	3,00 EUR/mm
Ertragsbedingte Mehrkosten Kartoffel	0,90 EUR/dt

	ME	Kartoffeln			
		unberechnet	berechnet	unberechnet	berechnet
Ertrag	dt/ha	350	425	350	425
Preis	Euro/dt	7,30	7,30	13,60	13,60
Erlös	Euro/ha	2.555	3.103	4.760	5.780
Erlösdifferenz	Euro/ha		548		1.020
Kosten Beregnung 50 mm	Euro/ha		150		150
Kosten Beregnung 100 mm	Euro/ha		300		300
Kosten Mehrertrag	Euro/ha		68		68
Ergebnis 50 mm	Euro/ha		330		803
Ergebnis 100 mm	Euro/ha		180		653

Die Bewässerung von Kartoffeln lohnt sich auch bei sehr niedrigen Marktpreisen (Annahme hier 7,30 €/dt, Tab. 18). Bei höheren Preisen (Annahme hier 13,60 €/dt, 5-jähriges Mittel) sind durch die Bewässerung hohe Mehrgewinne (bis zu 800 €/ha) möglich. Weiterhin hat die eingesetzte Wassermenge zur Erzielung des jeweiligen Ertrages erheblichen Einfluss auf den Erlös. Dies wird hier mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Bewässerungsvarianten dargestellt. Zu

hohe Bewässerungsgaben verschlechtern den Gewinnzuwachs, da die bewässerte Menge nicht in entsprechenden Mehrertrag umgesetzt wird. Andererseits wird bei zu niedrigen Bewässerungsgaben der Optimalertrag nicht erreicht und führt darüber ebenfalls zu einer Reduzierung des Mehrerlöses. Hierbei wird deutlich, dass der Bewässerungssteuerung für Wirtschaftlichkeit einer Bewässerungsanlage eine entscheidende Bedeutung zukommt.

Tabelle 19: Bewässerung von Winterweizen (Jäkel 2011)

Kosten Beregnung	3,00 EUR/mm				
Ertragsbedingte Mehrkosten Winterweizen	3,55 EUR/dt				
	ME	Winterweizen			
		unberegnert	beregnert	unberegnert	beregnert
Ertrag	dt/ha	65	80	65	80
Preis	Euro/dt	14,50	14,50	19,00	19,00
Erlös	Euro/ha	943	1.160	1.235	1.520
Erlösdifferenz	Euro/ha		218		285
Kosten Beregnung 50 mm	Euro/ha		150		150
Kosten Beregnung 100 mm	Euro/ha		300		300
Kosten Mehrertrag	Euro/ha		53		53
Ergebnis 50 mm	Euro/ha		14		82
Ergebnis 100 mm	Euro/ha		-136		-68
Kosten Beregnung	1,08 EUR/mm				
Ergebnis 50 mm	Euro/ha		155		255
Ergebnis 100 mm	Euro/ha		101		201

Bei der Bewässerung von Winterweizen (Tab. 19) wären in diesem Beispiel die bewässerungsbedingten Mehraufwendungen bei einem Weizenpreis von 14,50 €/dt gedeckt, sofern eine sparsame und bedarfsgerechte Bewässerung gesichert werden kann. Preise von z. B. 19 €/dt für Winterweizen führen zu einem höheren Mehrerlös, wobei positive Ergebnisse nur bei sehr sparsamer Wassergabe (50 mm) zu erwirtschaften sind. Wird der Winterweizen allerdings in der Fruchtfolge mit einer berechnungswürdigeren Fruchtart, wie z. B. der Kartoffel, angebaut, wobei diese die festen Kosten trägt, so werden dem Winterweizen nur variable Kosten zugeordnet. Unter diesen

Bedingungen kann der Winterweizen in der Fruchtfolge mit Kartoffeln durchaus relevante Mehrerlöse erzielen. Daher sollte bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Bewässerungsmaßnahmen die gesamte Fruchtfolge bzw. Beregnungsfläche des Betriebes in die Berechnungen einbezogen werden. Eine wirtschaftliche Bewässerung ist bei den meisten Feldfrüchten dann möglich, wenn zum einen bereits eine Bewässerungsanlage vorhanden ist und andererseits die Kulturen in Fruchtfolgen mit bewässerungswürdigeren Fruchtarten, wie Kartoffeln oder Gemüse, angebaut werden.

Tabelle 20: Bewässerung von Zuckerrüben (Jäkel 2011)

Kosten Beregnung	3,00 EUR/mm
Ertragsbedingte Mehrkosten Zuckerrübe	0,66 EUR/dt

	ME	Zuckerrübe			
		unberegnert	beregnert	unberegnert	beregnert
Ertrag	dt/ha	520	625	520	625
Preis	Euro/dt	3,30	3,30	4,00	4,00
Erlös	Euro/ha	1.716	2.063	2.080	2.500
Erlösdifferenz	Euro/ha		347		420
Kosten Beregnung 50 mm	Euro/ha		150		150
Kosten Beregnung 100 mm	Euro/ha		300		300
Kosten Mehrertrag	Euro/ha		69		69
Ergebnis 50 mm	Euro/ha		127		201
Ergebnis 100 mm	Euro/ha		-23		51

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

Ergebnis 50 mm	Euro/ha	223	297
Ergebnis 100 mm	Euro/ha	169	243



Der Anbau der Zuckerrübe beschränkt sich, durch die förderpolitischen Veränderungen der letzten Jahre auf EU Ebene, im Gegensatz zu früher, auf die besseren Standorte und ist in Sachsen und auch der REGKLAM-Region Dresden fast nur noch auf den besseren Lößstandorten zu finden (Tab. 20). Dennoch lassen sich auch hier, je nach standörtlichen und betrieblichen Gegebenheiten durch eine Bewässerung der Zuckerrübe relevante Mehrerlöse erzielen. Dies ist v. a. dann der Fall, wenn die Zuckerrübe als zweite Fruchtart in der Fruchtfolge oder innerhalb des Betriebes bewässert wird und eine andere Frucht die festen Kosten bereits trägt. Dennoch sollte auch hier auf eine möglichst wassersparende Bewässerung geachtet werden, um relevante Mehrerlöse erzielen zu können.

Tabelle 21: Bewässerung von Silomais (Jäkel 2011)

Kosten Beregnung	3,00 EUR/mm				
Ertragsbedingte Mehrkosten Mais	1,65 EUR/dt				
	ME	Silomais			
		unberegnert	beregnert	unberegnert	beregnert
Ertrag	dt/ha	380	460	380	460
Preis	Euro/dt	2,70	2,70	3,20	3,20
Erlös	Euro/ha	1.026	1.242	1.216	1.472
Erlösdifferenz	Euro/ha		216		256
Kosten Beregnung 50 mm	Euro/ha		150		150
Kosten Beregnung 100 mm	Euro/ha		300		300
Kosten Mehrertrag	Euro/ha		132		132
Ergebnis 50 mm	Euro/ha		-66		-26
Ergebnis 100 mm	Euro/ha		-216		-176
Kosten Beregnung	1,08 EUR/mm				
Ergebnis 50 mm	Euro/ha		30		70
Ergebnis 100 mm	Euro/ha		-24		16

Beim Silomais ist eine wirtschaftliche Bewässerung in den meisten Fällen nicht gegeben (Tab. 21). Selbst bei der ausschließlichen Einbeziehung der variablen Kosten, kann der Mais nur bei sehr wassersparender Bewässerung auch nur geringe Mehrerlöse erzielen. Von den gezeigten Kulturen setzt Mais das dargebotene Wasser am unwirtschaftlichsten in Mehrertrag um. Gegebenenfalls könnte dies bei der Bewässerung von Zuckerhirsen etwas besser aussehen, da diese das dargebotene Wasser etwas effizienter umsetzen und ggf. etwas bessere Mehrerlöse erzielen könnten (Jäkel 2011). Hierzu sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, die z. B. am LfULG in einem derzeit laufenden Forschungsvorhaben zum Anbau verschiedener Sorghumarten und -sorten Bestandteil der angewandten Forschung sind.

Generell bleibt festzuhalten, dass die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen dann gegeben ist, wenn standort- oder fruchtartbedingt ein Bewässerungsbedarf besteht (z. B. auf trockeneren D-Standorten im nördlichen Teil der REGKLAM-Region), bereits eine Bewässerungsanlage und entsprechende Wasserent-

nahmepunkte und -rechte bestehen, bewässerungswürdige Kulturen, wie z. B. Kartoffeln oder Gemüse angebaut werden und weitere Kulturen in Fruchtfolgen mit diesen bewässert werden.

Hierbei sind sowohl die angebauten Fruchtfolgen, als auch die Kulturen innerhalb der Betriebsflächen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einzubeziehen.

Die Kartoffel ist innerhalb der Ackerbaukulturen weiterhin die bewässerungswürdigste Frucht. Die Bewässerung weiterer Kulturen, wie z. B. Zuckerrübe, Winterweizen und Braugerste kann unter den gezeigten Bedingungen wirtschaftlich sein. Eine Neuinstallation einer kompletten Bewässerungsanlage ist mit hohen Investitionskosten verbunden, die im Vorfeld genau überdacht und vor dem Hintergrund der betrieblichen Rahmenbedingungen analysiert und bewertet werden müssen.

9.5. Bewertung von möglichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Hinblick auf ihre Praxisrelevanz

Hinsichtlich der Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel stellt die Bewässerung eine Maßnahme zur Ertrags- und Qualitätsstabilisierung auf trockenen Standorten dar und ist damit ebenfalls ein Instrument zur Risikominimierung bei zunehmend variablen Wetter- und Klimabedingungen. Weiterhin kann eine gezielte, effiziente Bewässerung auf diesen Standorten für eine bessere Nährstoffverfügbarkeit und eine effizientere Düngerausnutzung in Trockenperioden sorgen. Zum Teil werden z. B. im Obstbau auch Systeme mit Fertigation (Fertilizer + Irrigation), also die Gabe von Düngern mit dem Beregnungswasser, eingesetzt.

Innerhalb des Teilbereichs Landwirtschaft im Integrierten regionalen Klimaanpassungsprogramm (IRKAP) in REGKLAM wird die Bewässerung sowohl in Handlungsschwerpunkt 2 (Sicherung einer ausgewogenen und nachhaltigen Produktion von Nahrungsmitteln und Energieträgern; Sicherung der Wasserversorgung, Erträge- und Qualitäten) als auch in den Maßnahmen (i) im Ackerbau (Ziel 3.1, Maßnahme 1.1 ‚Bewässerung zum Ausgleich von Wasserdefiziten und der Ertrags- und Qualitätssicherung‘, S. 83f) und (ii) im Obst- und Gemüsebau (LW 7, Maßnahme 7.3 ‚Bewässerung im Obst- und Gemüseanbau‘, S. 92f) als Anpassungsmaßnahme benannt (REGKLAM-Konsortium 2013). Im Einzelnen sind folgende Schwerpunkte aufgeführt:

(i) „Maßnahme 1.1: (...) **Schwerpunkte für eine wirtschaftliche Bewässerung** in der REGKLAM-Region liegen vor allem auf Standorten mit sandigen Böden und geringen Niederschlägen (z. B. Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal, Nord- und Ostachsen) **und/oder** bei speziellen Kulturen: Gemüsebau (z. B. Lommatzcher Pflege), Obstbau, Kartoffeln, Sonderkulturen (z. B. Wein) und Ackerfrüchten in Fruchtfolgen dieser Kulturen. Unter diesen Bedingungen kann eine **Wirtschaftlichkeit der Beregnungsmaßnahme** erreicht werden, welche durch den Klimawandel zukünftig ansteigen wird. Ein wirtschaftlicher Anbau von Kartoffeln, Obst, Gemüse und einiger Sonderkulturen ist ohne Bewässerung künftig weitgehend nicht mehr möglich. **Schwerpunktmäßig ist daher für diese Kulturen eine Bewässerung sicherzustellen**, soweit dies nicht bereits realisiert ist. (...)

(...) Bei der Bewässerung sollten **wassersparende und nach der Bodenfeuchte gesteuerte Bewässerungsverfahren mit hoher Wassernutzungseffizienz** zum Einsatz kommen. Weiterhin sind durch entsprechende **förderpolitische Maßnahmen geeignete Rahmenbedingungen für die Umsetzung effizienter Bewässerungsverfahren** zu schaffen. (...)

(ii) „Maßnahme 7.1: Bewässerung im Obst- und Gemüseanbau **Investition in Bewässerungsanlagen**

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. Nach Schätzungen des LfULG (2010) wird die zu bewässernde Obstfläche (ohne Erdbeeren) im Freistaat Sachsen mit bis zu ca. 2.400 ha rund 60 % der Obstanbaufläche einnehmen. Da diese Flächen bewässerungstechnisch komplett zu erschließen sind, kommt auf die Betriebe in den nächsten Jahren **erheblicher Investitionsbedarf** zu.

Wichtig ist ebenfalls die Berücksichtigung 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 Pflieger 2004), die die Verfügbarkeit an Wasser zusätzlich einschränken (trifft auch für den Gemüsebau zu).“

Die Bewässerung wird derzeit nur im Rahmen der Investitionsförderung auf Grundlage der Förderrichtlinie Land- und Ernährungswirtschaft – RL LuE/2007, Teil A Einzelbetriebliche Förderung von Investitionen für eine wettbewerbsorientierte und nachhaltige Landwirtschaft gefördert.

Förderfähig sind hierbei die **Anschaffung von umweltschonender, innovativer Spezialtechnik und bauliche Investitionen für die Bereitstellung von Beregnungswasser für die Tröpfchen- und Schlauchberegnung bei Freilandgemüse- und Kartoffelanbau** (RL LuE/2007, 2.2). Im Anhang zur RL sind unter c) ‚Spezialmaschinen und Geräte für den Freilandgemüse-, Heil-, Duft- und Gewürzpflan-





zenanbau und die Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen' unter dd) **Schlauch- und Tröpfchenberegnungsanlagen** (auch für den Kartoffelanbau und Weinbau) aufgeführt.

Regelungen zum Baumobst finden sich in der RL LuE/2007 2.4, (...) die Errichtung von **Tröpfchenbewässerungsanlagen in Baumobst- und Hopfenanlagen** einschließlich der baulichen Investitionen für die Bereitstellung von Beregnungswasser (...):

Die Zuwendungen werden als ‚Projektförderung mit Anteilfinanzierung‘ in Form von Zuschüssen gewährt. In den zuwendungsfähigen Aufwendungen dürfen bis zu 12 % für allgemeine Aufwendungen der Vorplanung (Durchführbarkeitsstudien, Gebühren für Behördenleistungen und andere) sowie Architekten- und Ingenieurleistungen enthalten sein. Hierbei beträgt die Höhe der Förderung 30 % des zuwendungsfähigen Investitionsvolumens.

Um die im IRKAP genannten Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Bewässerung im Acker- und Obstbau als notwendige Anpassungsmaßnahme an zunehmende Klimaveränderungen umzusetzen und verstärkt in die Praxis zu integrieren sind für die REGKLAM-Region und entsprechend ganz Sachsen verschiedene Anpassungen erforderlich:

- Ausschlaggebend für die Umsetzung von Bewässerungsmaßnahmen sind die ökonomischen Rahmenbedingungen. Daher sollte zukünftig eine **Prüfung der Ausweitung der investiven Förderung im Hinblick auf den Ausbau der Bewässerungsinfrastruktur** (Erschließung, Brunnen, Leitungen, Hydranten, Speicher etc.) und **weiterer Kulturen** (neben Kartoffel, Gemüse und Baumobst) erfolgen.

- Hinsichtlich des zukünftig steigenden Bedarfs an Beregnungswasser und möglicher Defizite in der Verfügbarkeit von Beregnungswasser sind zum einen **verstärkt wassersparendere Bewässerungssysteme und effizientere Beregnungssteuerungen** einzusetzen und ggf. verstärkt zu fördern und zum anderen auf eine Speicherung und Nutzung von Wasser, sowohl in Speichern und Stauanlagen, als auch im Boden durch angepasste Bewirtschaftungsmaßnahmen, mit dem Ziel einer **nachhaltigen Nutzung der Wasservorräte** (v. a. des Grundwassers) unter den Bedingungen des Klimawandels hinzuwirken. Weiterhin könnte, unter bestimmten Rahmenbedingungen und Regelungen die Bedeutung der Abwasser-/Klarwasserberegnung unter Klimawandelbedingung ansteigen. Wie in Kapitel 9.2 dargestellt werden unter den jetzigen Randbedingungen ‚nur‘ in ca. 33 % der Beregnungsbetriebe in Sachsen (und ca. 40 % im Regierungsbezirk Dresden) wassersparende, effizientere Tropfbewässerungssysteme eingesetzt. Weiterhin stammen ca. 65 % des Wassers für Beregnungszwecke in Sachsen aus dem Grundwasser (im Regierungsbezirk Dresden sind es ca. 50 %). Hier sind in Zukunft mit steigender Klimawandelwirkung (und damit u.a. zunehmenden Trockenperioden in der Vegetationsperiode) die Potenziale effizienter zu nutzen, d. h. nachhaltige Nutzung von bestehenden Wasserressourcen, Prüfung der Erweiterung durch weitere Wasserherkünfte (unter Berücksichtigung der Qualitätsanforderungen an das Beregnungswasser) und v. a. Ausbau effizienterer Wassernutzung durch innovative wassersparende Bewässerungstechnik und -steuerung.

- In Sachsen und der REGKLAM-Region Dresden ist von Seiten der Landesinstitutionen eine Erweiterung der Förderung innovativer, effizienter, wassersparender Bewässerungs- und -steuerungs-



systeme und entsprechender Investitionen im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu prüfen. Weiterhin sollte in der Region eine verstärkte, themenbezogene, regional ausgerichtete Informationsbereitstellung für die Praxis erhalten werden.

- Förderung der Forschungs- und Entwicklung auf dem Gebiet der Effizienzsteigerung von Bewässerungssystemen (**Innovationsförderung**) und des Wissenstransfers in die Praxis
- Bereitstellung von (regionalen) **Informationen** und Weiterbildungen für die Praxis.
- Weiterführung und Einbeziehung von **Langzeitversuchen** zum Klimawandel und speziell der Bewässerung (z. B. LfULG, Standort Baruth) zur fortlaufenden Aktualisierung der Empfehlungen und den Transfer in die praktische Umsetzung.

Der Klimawandel wird sich zukünftig in zunehmendem Maße auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken. Hierbei spielt v. a. auf den sandigen D-Standorten in den nördlichen Teilen der REGKLAM-Region Dresden die Wasserversorgung der Pflanzen in der Vegetationsperiode eine zunehmende Rolle. Hierdurch ergibt sich bei zunehmend variablen Klimabedingungen in Kombination mit Extremereignissen ein zunehmendes Ertrags- und Qualitätsrisiko. Auf leichten Böden und/oder bei speziellen Kulturen gewinnt daher die Sicherstellung einer bedarfsorientierten zusätzlichen Bewässerung zunehmend an Bedeutung. Hierbei sollten die Überlegungen bzgl. der Bewässerungsmaßnahmen Teil des betrieblichen Risikomanagements sein. Die Wirtschaftlichkeit einer Bewässerung hängt dabei jedoch sehr stark von den jeweiligen, betrieblichen Randbedingungen ab, die im Einzelfall zu prüfen sind. Bei einer Neuinstallation sind daher umfangreiche Vorplanungen und ein Vergleich verschiedener Varianten unbedingt notwendig. Die betriebliche Anpassung an den Klimawandel sollte sich jedoch nicht allein auf die Bewässerung beziehen, sondern alle pflanzenbaulichen, betriebstechnischen und organisatorischen Aspekte mit einbeziehen.

Im Vergleich zu anderen Bundesländern Deutschlands ist der Anteil der bewässerten landwirtschaftlichen Fläche in Sachsen (und der REGKLAM-Region) eher gering. Wie in Kap. 9.2 gezeigt, werden von den potenziell bewässerbaren Freilandflächen (11.795 ha) nur ca. 28 % (3.257 ha) bewässert; das sind ca. 0,4 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Acker- und Grünland insg. ca. 920.000 ha) in Sachsen. Bei fortschreitendem Klimawandel wird die Beregnungswürdigkeit regional z. T. erheblich ansteigen. Um hierbei eine nachhaltige, effiziente und wassersparende Wassernutzung zu Bewässerungszwecken in der Landwirtschaft zu implementieren, sind sowohl Anpassungen seitens der Förderrichtlinien, als auch die Nutzung von Innovationen und die Informationsbereitstellung, Beratung und Weiterbildung für die Praxis notwendig. Hierbei sind sowohl Landesinstitutionen (SMUL, LfULG, LTV etc.), Hochschulen (Forschung- und Entwicklung), als auch die entsprechenden Verbände (SLB, Landesverband Sächsisches Obst, Landesverband Gartenbau, Weinbauverband etc.) und die Praxis (Landwirte, Obst- und Gemüsebauern, Weinbauern) angehalten, (auch gemeinsam) zu vertretbaren, nachhaltigen und effizienten Lösungen zu kommen. Für die Region Dresden kann hierbei der REGKLAM-Verbund einen Beitrag leisten (Iniziierung, Vernetzung, Informationsaustausch etc.).

10.

10. Prüfung alternativer Landnutzung
durch den Anbau von speziellen
Energiepflanzen



10.1. Einleitung

Primäre Aufgabe der Landwirtschaft ist die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln von hoher Qualität. Um dieser Aufgabe in Zukunft unter veränderten Klimabedingungen und steigendem Anspruch der Produktion nachwachsender Rohstoffe gewachsen zu sein, ist die Sicherung, Umsetzung und Etablierung einer ausgewogenen und nachhaltigen Produktion mit entsprechend angepassten landwirtschaftlichen Systemen wichtig. Hierfür sind zum einen Maßnahmen zur Sicherung der Ertragshöhen und -stabilität, sowie Qualitäten, z. B. durch ein angepasstes Düngemanagement v. a. auf Trockenstandorten oder wassereffiziente Bewässerungsverfahren zu integrieren, zum anderen aber auch Maßnahmen zur Diversifizierung, z. B. Kurzumtriebsplantagen (KUP), Agroforst, trockenstresstolerantere Arten (Hirsen u. a.), auch im Hinblick auf die nachhaltige Erzeugung nachwachsender Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Nutzung, zu berücksichtigen.

In den letzten Jahren hat ein sprunghafter Anstieg des Einsatzes und der Verwendung nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen und energetischen Nutzung stattgefunden (Abb 83, 84). Durch steigende Energiepreise und die Abhängigkeit von Ölpreisen und -förderländern wird in Zukunft mit einem weiteren Anstieg der Nachfrage zu rechnen sein. In Kombination mit den zu erwartenden Klimaveränderungen müssen hierfür geeignete Anpassungsmaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden, um zum einen negative Entwicklungen



zu vermeiden und andererseits mögliche positive Synergien (z. B. zwischen Land- und Forstwirtschaft) zu nutzen.

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe, u. a. auch in Konzepten wie Agroforstsystemen oder KUP, bietet unter dem Aspekt des Klimawandels eine Vielzahl von Anpassungsmöglichkeiten. Durch den Anbau von Energiepflanzen bestehen Möglichkeiten zur Auflockerung enger Fruchtfolgen und zur Diversifizierung des betrieblichen Anbauspektrums, sofern weitere Kulturen zum Rohstoffmix, z. B. von Biogasanlagen, hinzukommen. Hierbei sind die Änderungen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) und die weiteren Diskussionen um die Einbindung von Kulturen in die Einsatzstoffvergütungsklassen des EEG sowie die aktuellen Diskussionen um die GAP zu beachten.

Zunächst wird die derzeitige Situation des Anbaus nachwachsender Rohstoffe in Sachsen und der REGKLAM-Region Dresden sowie die verschiedenen Anbaualternativen und -möglichkeiten aufgezeigt und dargestellt. Im zweiten Teil werden Möglichkeiten und Effekte von Agroforstsystemen und Kurzumtriebsplantagen unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels erläutert. Ferner werden die Möglichkeiten und die Situation der stofflichen und energetischen Nutzungen nachwachsender Rohstoffe dargestellt und erläutert. Abschließend werden die Möglichkeiten und Grenzen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe als Anpassungsmöglichkeit an klimatische Veränderungen für die REGKLAM-Region Dresden zusammenfassend diskutiert.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch hat in Sachsen in den letzten Jahren stark zugenommen (vgl. Abb. 83). Er liegt derzeit bei rd. 15,5 %. Die Nutzung von Biomasse rangiert dabei, nach der Windenergie, auf dem 2. Platz (Marx 2011). Abbildung 84 zeigt die Anzahl der Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in Sachsen im Jahr 2010. Hier rangiert die Biomasse, hinter Photovoltaik und Wind, auf Platz 3. Nach Vorgaben der Staatsregierung soll der Anteil erneuerbarer Energie am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2020 auf 33 % gesteigert und damit mehr als verdoppelt werden. Schaut man sich die Zunahme der letzten 10 Jahre an, wird deutlich, dass dies ein sehr anspruchsvolles Ziel ist, dass ohne weitere Steuerungsmaßnahmen, auch von Seiten der Landesregierung, und unter den derzeitigen Rahmenbedingungen (EEG, Gemeinsame Agrarpolitik [GAP] etc.) nicht ohne weiteres zu realisieren ist.

Abbildung 83: Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Sachsen (Marx 2011)

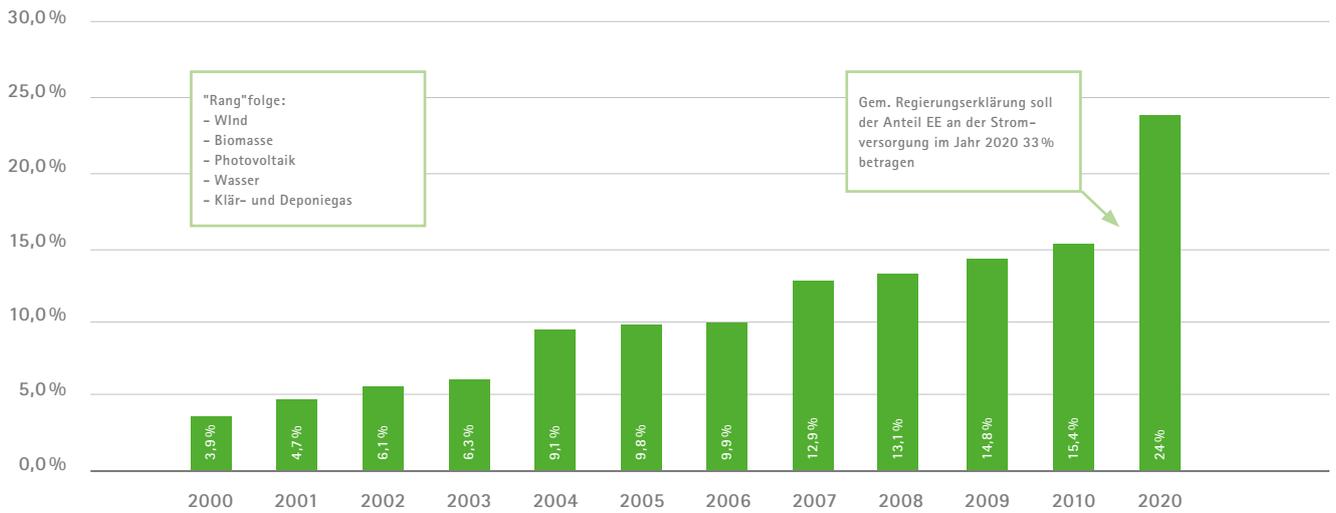
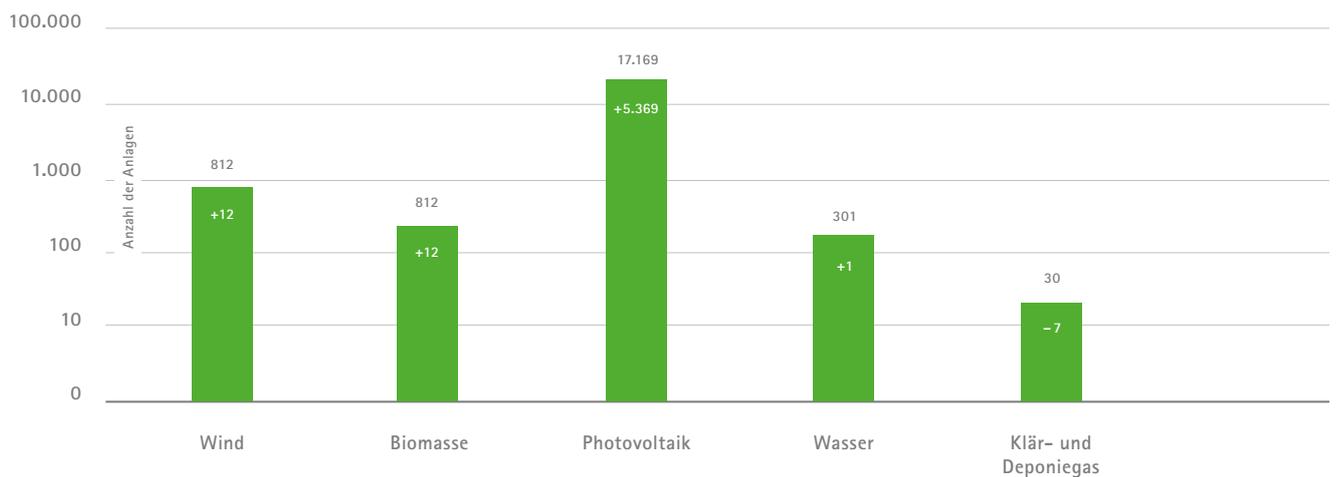


Abbildung 84: Anzahl der Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in Sachsen 2010 (+/- Veränderung zum Vorjahr)



Quelle: Sächsische Energieagentur

10.2. Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen und der REGKLAM-Region

Unter nachwachsenden Rohstoffen werden nach Grunert (2010a) Produkte pflanzlicher und tierischer Herkunft verstanden, die im Nicht-Nahrungs- und Nicht-Futtermittelsektor verwertet werden. Hierzu gehören u. a.

- Pflanzen aus dem landwirtschaftlichen Anbau (z. B. Energiepflanzen, öl- und stärkehaltige Pflanzen, ein- und mehrjährige Gräser, Faserpflanzen) und
- Nebenprodukte der Land- und Forstwirtschaft (z. B. Stroh, Holz aus Waldpflege, Biomasse aus der Landschaftspflege),

- unbehandelte Abfallstoffe der Biomasseverarbeitung (Bau- und Industrierestholz, Hobel- und Sägespäne u. a.).

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe bietet unter optimalen Bedingungen eine Reihe von Vorteilen, die z. T. auch unter dem Aspekt des Klimawandels relevant werden:

- Schonung natürlicher und fossiler Ressourcen,
- positive Energie- und Treibhausgasbilanz (zukünftig Nachweis durch Zertifizierung inkl. Treibhausgasbilanzierung),

- geringere Abhängigkeit von Rohstoffimporten,
- Schaffung regionaler Kreisläufe,
- Schaffung von (innerbetrieblichen) Stoffkreisläufen,
- Nutzung schadstoffbelasteter Ackerflächen, z. B. zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb,
- Anbaualternative auf Trockenstandorten durch neue Arten und Sorten (Anpassung an Klimawandel),
- Erhalt und Bereicherung der Kulturlandschaft,

- Verarbeitungskapazitäten und Arbeitsplätze im ländlichen Raum durch dezentrale Produktion und Verarbeitung und
- Einschränkung/Minderung von Transportwegen durch lokale Verfügbarkeit und lokale Nutzungsmöglichkeiten

Im nachfolgenden werden beispielhaft einige Pflanzen und deren Verwendungen als nachwachsende Rohstoffe (LfULG 2010a) genannt (Tab. 22):

Tabelle 22: Pflanzen und deren Verwendungen als nachwachsende Rohstoffe (LfULG 2010a)

Kategorie (Pflanzen)	Verwendung
Ölpflanzen: Raps, Sonnenblume, Öllein, Leindotter, Krambe, Nachtkerze, Iberischer Drachenkopf, Mohn, Senf u. a.	Kraftstoffe, biologisch abbaubare Schmiermittel /Hydrauliköle, Farben, Lacke, Firnis, Linoleum, Kitt, Tenside, Weichmacher, Alkydharze, Syntheserohstoffe, Wachse, Bitumenemulsion u. a.
holzartige Biomasse: Waldrestholz, Stroh, Miscanthus, schnellwachsende Hölzer, unbehandeltes Industrierestholz u. a.	Festbrennstoffe, Biokraftstoffe der 2. Generation (BtL), Dämmstoffe, Bauplatten, Verpackungen, Spezialpapier, Bindemittel u. a.
Biogas: Mais, Getreide, Ganzpflanzensilage (GPS), Gräser, organische Reststoffe u. a.	energetische Verwertung über Biogas, u. a.
Pflanzenfasern: Faserlein (Flachs), Hanf, Fasernessel, Kenaf	stoffliche Nutzung als Garne, Textilien, Vliese, Formpressteile, Geo-Textilien, Dämm- und Baustoffe, Verbundwerkstoffe, Seile, Bindfäden, Papier u. a.
Stärke und Zucker: Weizen, Kartoffel, Mais, Erbse, Zuckerrübe, Topinambur, Zichorie, Zuckerhirse	Bioalkohol als Kraftstoff, Papier /Pappe, Bau- und Klebstoffe, Lösungsmittel, abbaubare Werkstoffe /Folien, Emulgatoren, Weichmacher, Tenside, Zitronensäure, Aminosäuren, Vitamine, Kosmetika u. a.
Pharmazeutika, Duft- und Farbstoffe: Kamille, Pfefferminze, Salbei, Kümmel, Mariendistel, Johanniskraut, Krapp, Goldrute, Saflor, Waid u. a.	Arzneimittel, Tees, Duft- und Aromastoffe, Extrakte für Kosmetika, Anstriche, Farben, Holzschutzmittel, Keimhemmer u. a.

Tabelle 23 zeigt die landwirtschaftlichen **Anbauflächen** für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland (FNR 2013) unterschieden nach stofflicher (Industriepflanzen) und energetischer (Energiepflanzen) Nutzung. Es wird deutlich, dass die energetische Nutzung bei Weitem überwiegt. Die Anbauflächen sind um das mehr als 5-fache höher als bei der stofflichen bzw. industriellen Nutzung. Beim Anbau nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung dominieren Pflanzen für die Biogasproduktion und Rapsöl für die Biodiesel- und Pflanzenölproduktion mit jeweils über 700.000 ha. Pflanzen für die Festbrennstoffproduktion nehmen dagegen mit 11.000 ha nur einen geringen Teil ein. Bei der stofflichen Nutzung sind v. a. die Industriestärke mit 121.500 ha und technisches Rapsöl mit 125.000 ha zu nennen. Die restlichen Nutzungen liegen jeweils meist unter 15.000 ha, jedoch mit z. T. ansteigenden Tendenzen.



Tabelle 23: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland für die Jahre 2012/2013 (in Hektar)
(FNR 2013)

Pflanzen	Rohstoff	2012	2013*
Industriepflanzen	Industriestärke	121.500	121.500
	Industriezucker	10.000	9.000
	Technisches Rapsöl	125.000	125.000
	Technisches Sonnenblumenöl	7.500	7.500
	Technisches Leinöl	4.000	4.000
	Pflanzenfasern	500	500
	Arznei- und Farbstoffe	13.000	13.000
	Summe Industriepflanzen	281.500	280.500
Energiepflanzen	Rapsöl für Biodiesel/Pflanzenöl	786.000	746.500
	Pflanzen für Bioethanol	201.000	200.000
	Pflanzen für Biogas	1.158.000	1.157.000
	Pflanzen für Festbrennstoffe (u. a. Agrarholz, Miscanthus)	11.000	11.000
	Summe Energiepflanzen	2.156.000	2.114.500
Gesamtanbaufläche NawaRo		2.437.500	2.395.000

* Werte für 2013 geschätzt

Im Weiteren werden die Anbaumöglichkeiten von landwirtschaftlichen Kulturen zur Nutzung als nachwachsender Rohstoff und einige Fruchtfolgeaspekte für Sachsen und die REGKLAM-Region Dresden dargestellt und erläutert.

Die meisten der angebauten landwirtschaftlichen Kulturen in Sachsen und der REGKLAM-Region Dresden lassen sich auch auf verschiedenste Weise als nachwachsender Rohstoff nutzen. Sie lassen sich entsprechend in die Fruchtfolgen integrieren. Bei einigen Nutzungen, z. B. von Getreide-GPS sind hierbei jedoch, im Gegensatz zur Kornnutzung, verschiedene Dinge, wie z. B. die Silierfähigkeit etc. zu beachten, wodurch es hinsichtlich der Termine (z. B. Ernte) zu Verschiebungen kommt, die Einfluss auf die jeweilige Fruchtfolgegestaltung haben. Grunewald (2012) hat die Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen sowohl für einjährige Kulturen (Tab. 24) als auch mehrjährige Kulturen (Tab. 25) zusammengetragen und gibt sowohl die jeweiligen Ansprüche der Pflanzen als auch einen mittleren Trockenmasseertrag für Diluvial-, Löss- und Verwitterungsstandorte an. Die Angabe des Trockenmasseertrags ist z. B. für die Verwendung als Biogassubstrat wichtig.

Hinsichtlich der Trockenmasseerträge liefert der Mais über alle Standorte mit die höchsten Werte. Jedoch können auch die Getreide-GPS (z. B. Wintertriticale-GPS) durchaus mithalten und ähnlich hohe Erträge liefern. Auf trockenen Standorten können in Einzeljahren auch die Futter-, Zuckerhirsen und Sudangrasybriden ähnlich hohe Trockenmasseerträge wie Mais erzielen. In der Summe der untersuchten Jahre lagen sie jedoch im Schnitt etwas, z. T. deutlich, unter dem Mais; in Einzeljahren, je nach Witterungsverlauf, auch darüber.

Auf den besseren Standorten (Lössregion) sind weiterhin die Stärkekartoffeln und v. a. die Energierüben mit hohen Trockenmasseerträgen zu nennen.

Die Sommergetreide liegen, aufgrund der kürzeren Vegetationszeit, in allen Regionen ertraglich deutlich hinter der jeweiligen Winterung.

Tabelle 24: Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen – Einjährige Kulturen (Grunewald 2012)

Fruchtart	Bodenanspruch	Wärmebedarf	Wasserbedarf	Trockentoleranz	erzielbare Trockenmasseerträge ⁵ (dt TM/ha* Jahr)			TS-Gehalte ⁵ (%)	Ø CH ₄ Ausbeuten (l/kg oTS)
					D	Löss	V		
Einjährige Energiepflanzen									
Mais	+bis++	++	++/~	+ (bis ++)	90 – 140	100 – 200	90 – 140	28 – 35	340 – 350 ¹
Winterroggen	+	+	+bis++	++	75 – 110	90 – 160	80 – 140	35 – 40	355 ²
Wintertriticale	+bis++	+	+bis++	+ +bis++	60 – 120	95 – 200	60 – 130	35 – 40	365 ²
Winterweizen	+ +bis+++	+bis++	+bis++/~	+	70 – 90	110 – 170	-	35 – 40	385 ²
Wintergerste	++	+bis++	++	++	60 – 110	100 – 170	70 – 130	30 – 35	395 ²
Sommerroggen	+	+	+ bis ++	++	55 – 60	90 – 120	55 – 60	35 – 40	300 ³
Sommergerste	++	+ bis ++	++	++	55 – 60	90 – 120	50 – 70	30 – 35	320 ³
Sommerhafer	+ bis ++	+ bis ++	++	+	40 – 60	80 – 110	40 – 80	35 – 40	290 ³
Futter-/Zuckerhirsen	+ bis ++	+++	++	++	70 – 145	70 – 160	-	24 – 27	300 – 330 ³
Sudangrashybride	+ bis ++	+++	++	++	60 – 130	60 – 140	-	26 – 29	300 – 330 ³
Sonnenblumen	++	+++	++	++	70 – 110	um 150	-	20 – 24	270 – 300 ⁴
Winterraps	++ (bis +++)	+ bis ++	+++	+	30 – 60	50 – 90	30 – 60	Ø 20	335 ¹
Kartoffeln	+	+ bis ++	++ bis +++/~	+	70 – 90	bis 100	70 – 90	≤ 20	350 ⁴
Zuckerrübe					> AZ 35				
Körper	+++	+++	+++/~	+	80 – 160	100 – 190	-	Ø 24	350 – 360 ¹
Blatt					20 – 60	20 – 60		Ø 15	270 – 335 ⁴
Futterrübe					100 – 180	110 – 200	100 – 180		
Körper	+ bis ++	++	++	++	(Rübe + Blatt)	(Rübe + Blatt)	(Rübe + Blatt)	Ø 17	350 – 360 ¹
Blatt								Ø 15	270 – 335 ⁴

Merkmalsausprägung:

- + gering – mäßig
- ++ mittel
- +++ hoch
- ~ In trockenen Lagen und auf leichten Böden kann eine Beregnung ökonomisch sinnvoll sein.

Methanausbeuten:

- 1 KTBL-Richtwert
- 2 experimentell bestimmt vom „Biogas-Forum Bayern“, Dr. Stickel (Methode nach Heuwinkel et al. 2009 – Referenz siehe „Ganzpflanzengetreide“, 2.3)
- 3 ermittelt in Batch-Versuchen (VDI-Richtlinie 4630)
- 4 berechnete, theoretische Methanausbeute nach BASERGA mithilfe der WEENDER-Inhaltsstoffe und den Verdaulichkeiten aus der DLG-Futterwerttabelle – Wiederkäuer der Universität Hohenheim
- 5 Die erzielbaren Erträge und TS-Gehalte wurden zu größten Teilen aus Projektergebnissen abgeleitet und sind deshalb nur als Richtwert zu sehen.

Bei den mehrjährigen Kulturen treten v. a. die durchwachsene Silphie, Topinambur und verschiedene Energiegräser mit höheren Trockenmasseerträgen hervor. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich diese Kulturen z. T. nur schwer bis gar nicht in bestehende Fruchtfolgen integrieren lassen. Daher sollten die Flächen beim Anbau dieser Kulturen, z. B. durchwachsene Silphie, über mehrere Jahre für den Energiepflanzenanbau genutzt und verplant werden. Des Weiteren

treten bei diesen Kulturen z. T. erst im zweiten oder dritten Jahr die angestrebten Zielerträge auf, so dass die z. T. hohen Kosten der Etablierung erst nach mehrjähriger Nutzung kompensiert sind. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass bei einigen der aufgeführten Kulturen nur wenige, langjährige Anbauerfahrungen, zum Teil aus Versuchsanlagen vorliegen und diese bis dato noch keine Praxisrelevanz erlangen konnten.

Tabelle 25: Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen – Mehrjährige Kulturen (Grunewald 2012)

Fruchtart	Bodenanspruch	Wärmebedarf	Wasserbedarf	Trockentoleranz	erzielbare Trockenmasseerträge ⁵ (dt TM/ha* Jahr)			TS-Gehalte ⁵ (%)	Ø CH ₄ Ausbeuten (l/kg oTS)
					D	Löss	V		
Mehrjährige Energiepflanzen									
Topinambur									
Blätter	+++	+++	+++	+	k.A.	80 – 200	–	> 27	230 ³
Knolle						40 – 130		Ø 21	k.A.
Rotklee gras	+	+	++ bis +++	+	k.A.	65 – 130	65 – 110	k.A.	310 ⁴
Luzerne(klee) gras	+	+ bis ++	+	++	60 – 100	65 – 130	k.A.	k.A.	290 – 300 ⁴
Gräsermischung	+	+	++ bis +++	+	k.A.	70 – 150	70 – 130	k.A.	320 – 330 ⁴
Wildpflanzenmischungen	+	+ bis ++	++	++	50 – 120	50 – 150	50 – 120	k.A.	250 – 320 ⁴
D. Silphie	+	+	++	++ bis +++	140 – 130	150 – 200	140 – 180	24 – 30	310 – 320 ⁴
Ung. Energie gras	+	+	+	+++	bis 180	bis 190	bis 180	k.A.	350 ³
Rutenhirse	+	++ bis +++	+	+++	80 – 150	80 – 150	–	> 28	350 ¹
Virginiamalve	+	+	++	++	ca. 80	80 – 120	ca. 80	k.A.	230 ¹
Igniscum®-Knöterich	+	+	+	+++	> 50 je Schnitt	> 50 je Schnitt	> 50 je Schnitt	k.A.	290 ⁴
Rumex Schavnat	+	+	++ bis +++	+	20 – 50 je Schnitt	20 – 50 je Schnitt	20 – 50 je Schnitt	> 28	k.A.

■ Art zum Anbau in diesem Gebiet geeignet und/oder empfohlen

■ Anbau eingeschränkt empfohlen/nach möglich (z. B. bei besserer Bodengüte, Beregnung, ...)

■ Anbau nicht empfohlen

D = leichte Böden Nordsachsens, zum Teil mit ausgeprägter Vorsommertrockenheit

Löss = Lössgebiet Mittelsachsens

V = Verwitterungsregion in Vorgebirgs- und Höhenlage

Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung beim Anbau von Energiepflanzen

Hinsichtlich der Integration in die Fruchtfolgen sind die einjährigen Energiepflanzen ebenso in die Fruchtfolgen zu integrieren wie bei anderen Nutzungen. Es sollte jedoch unbedingt auf eine nutzungs- und standortangepasste Sortenwahl geachtet werden. Weiterhin führt z. B. die Nutzung von Getreide-GPS zu zeitlichen Veränderungen in der Fruchtfolge, die entsprechend anzupassen ist (Folgekultur, Zwischenfruchtanbau etc.). Grunewald (2012) nennt auf der Grundlage langjähriger Untersuchungen von unterschiedlichen (Energie-) Fruchtfolgen in Sachsen Ergebnisse zu einzelnen Kulturen/Kulturfolgen und gibt nachfolgend zusammengefasste Empfehlungen hinsichtlich der Eignung als Biogassubstrat:

- D-Standorte: vorwiegend leichte, sandige Böden Nordsachsens z. T. mit ausgeprägter Vorsommertrockenheit

In dieser Region liefern v. a. Fruchtfolgen mit Mais, Wintergetreideganzpflanzen, insbesondere Winterroggen, Wintertriticale und Wintergerste, sowie z. T. Sorghumhirsen hohe Trockenmasseerträge. „Im Vergleich zu Mais besitzen die wärmeliebenden Zucker- bzw. Futterhirsen und Sudangrasybride ein höheres Bodenwasserausschöpfungsvermögen aufgrund eines ausgedehnten Faserwurzel-systems sowie eine größere Hitze- und Trockentoleranz und können somit vor allem in wasserarmen Jahren und in Regionen mit ausgeprägten Trockenphasen das Ertragsrisiko deutlich senken.“ (Grunewald 2012). Jedoch können auch hier längere Trockenphasen nach Aussaat und im frühen Jugendwachstum zu erheblichen Ertragsdepressionen führen. Im späteren Wachstumsverlauf sind sie dann jedoch Hitze- und Trockenstresstoleranter und können ihre Vorteile in Trockenphasen ausspielen. In Einzeljahren haben sie jedoch auch in feuchteren Sommern eine gute bis sehr gute Ertragsentwicklung gezeigt und das verfügbare Wasser sehr gut in Ertrag umgesetzt.

Zur Auflockerung enger, Getreide betonter Fruchtfolgen können Fruchtarten, wie Sonnenblume, auf besseren Standorten auch Zucker- bzw. Futterrüben und Kartoffeln als Marktfrüchte oder Energiepflanzen integriert werden. Eine mehrjährige (2–3-jährige) Nut-

zung von Leguminosengemengen kann, bei gleichzeitiger Nutzung z. B. als Biogassubstrat, auf Standorten mit niedrigen Humussalden, auch unter Klimawandelgesichtspunkten (vgl. Kapitel 5) zur Humusstabilisierung eingesetzt werden. Mit dem Anbau von Zwischenfrüchten können auch unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels positive Effekte erzielt werden. Bei Nutzung als Gründüngung wirken diese positiv auf die Bodenfruchtbarkeit, die Humusgehalte und damit u.a. auch auf die Stabilität des Bodengefüges und tragen darüber hinaus durch die Bodenbedeckung zur Minderung des Erosionsrisikos in diesen Phasen bei. Des Weiteren vermindert sich das Risiko von Stickstoffauswaschungen ins Grundwasser (WRRRL). Für die Gründüngung kommen z. B. Gelbsenf, Ölrettich oder Phacelia in Frage (LfULG 2011). Für die Nutzung als Biogassubstrat kommen nach den Ergebnissen von Grunewald (2012) auf leichten, wasserärmeren Böden Sudangrasybride mit guter Abreife (z. B. „Lussi“), Buchweizen und Winterrüben in Frage. Bei fortschreitendem Klimawandel und einem damit einhergehenden Temperaturanstieg und einer Verlängerung der Vegetationsperiode könnte, unter Berücksichtigung der Wasserversorgung, ggf. Zweikulturnutzungssystem zukünftig interessant werden. Nach den Ergebnissen von Grunewald (2012) aus dem EVA-Projekt (www.eva-verbund.de) eignen sich unter trockeneren Bedingungen Grünroggen, auf besseren Standorten mit höherem Niederschlagsangebot Landsberger Gemenge als Wintervorfrüchte zur Zweitkultur Mais.

- Lö-Standorte: Lössböden Mittelsachsens, zum Teil mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit

Auf diesen Standorten zeigten ebenfalls Fruchtfolgen v. a. mit Mais und Wintergetreideganzpflanzen, insbesondere Wintertriticale, Winterweizen und Wintergerste, sowie z. T. Sorghumhirsen hohe Trockenmasseerträge. Sorghum bicolor x sudanense ist ebenfalls geeignet, war in diesen Untersuchungen jedoch durch starke Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Witterung gekennzeichnet.



Zur Auflockerung sehr enger Getreide- und Rapsbetonter Fruchtfolgen bieten sich der Anbau von Zuckerrüben oder Sonnenblumen, sowie der konsequente Zwischenfruchtanbau an. Die Einbindung mehrjähriger Ackergras- und Leguminosen-Grasmischungen in die Fruchtfolgen bietet Vorteile für den Nährstoff- und Humushaushalt, bei gleichzeitiger Möglichkeit der energetischen Nutzung.

Auf erosionsgefährdeten Standorten kann der Zwischenfruchtanbau zunächst für eine erosionsmindernde/-verhindernde Bodenbedeckung sorgen. Zur Biogaserzeugung kommen auf etwas trockeneren Standorten Sudangrashybride und bei einem etwas besseren Wasserangebot Weidelgräser, Raps und Rübsen in Frage. Für die Gründüngung können Gelbseif, Ölrettich oder Phacelia etc. verwendet werden.

Für eine mögliche Zweikulturnutzung werden von Grunewald (2012) Anbausysteme mit Grünroggen als Winterzwischenfrucht und Mais als Zweitfrucht empfohlen.

- V-Standorte: Kühl-feuchte Verwitterungsstandorte in Vorgebirgs- und Gebirgslage

Für diese Gebiete sind v. a. Fruchtfolgen mit Mais und Getreide-GPS, z. B. Wintertriticale-, Winterroggen-GPS am leistungsstärksten. Aufgrund der z. T. sehr kurzen Vegetationszeit ist besonders auf eine angepasste Sortenwahl zu achten, um die Abreife der Kulturen bzw.

Nutzung von Zwischenfrüchten als Biogassubstrat

Nach der Ernte der Hauptkultur (z. B. Getreide, Raps) steht oft noch genügend Vegetationszeit zur Verfügung, die für den Anbau von Zwischenfrüchten als Biogassubstrat sinnvoll genutzt werden sollten. Generell sollten nach der Ernte der Hauptfrucht jedoch noch 60–80 Tage zur Verfügung stehen, um einen erntewürdigen Aufwuchs realisieren zu können.

Zwischenfrüchte können bei massigem, erntewürdigem Aufwuchs als Biogassubstrat verwendet werden oder ggf. als Gründüngung zur Sicherung der Humusgehalte und Verminderung der winterlichen N-Auswaschung. Hierdurch kann im optimalen Fall zusätzliche Biomasse erzeugt werden oder zumindest eine Gründüngung mit den geschilderten positiven Effekten. Der Gründüngungsaspekt des Zwischenfruchtanbaus ist besonders in viehlosen Betrieben, bei intensiven Energiepflanzenfruchtfolgen (Fruchtfolgen mit Betonung auf Ganzpflanzennutzung) und auf humusarmen Böden hervorzuheben.

Weitere Vorteile des Zwischenfruchtanbaus:

- zusätzliche Auflockerung enger Fruchtfolgen
- Bindung von Reststickstoff nach der Haupternte (Wasserrahmenrichtlinie)
- Erosionsschutz durch Bodenbedeckung

den angestrebten Trockenmasseertrag auch zu realisieren. Zur Verbesserung der Nährstoff (N-) und Humusbilanz des Bodens ist auch der Anbau von Wickroggen als Biogassubstrat möglich.

Neben diesen Kulturarten liefern auf den Verwitterungsstandorten, auch aufgrund der guten Niederschlagsverteilung, v. a. mehrjährige Ackergrasmischungen (Rotklee-Gras, Weidelgras betonte Mischungen und Gräsermischungen) hohe Erträge. In Hanglagen kann der Zwischenfruchtanbau zur erosionsmindernden Bodenbedeckung eingesetzt werden. Hierzu werden nach der Hauptkultur jedoch noch ca. 60–80 Tage Vegetationszeit optimal, die auf diesen Standorten, auch in Abhängigkeit der jeweiligen Fruchtfolge und dem Witterungsverlauf, jedoch nicht immer gegeben sind. Als Zwischenfrüchte kommen nach Grunewald (2012) Weidelgräser (auch als Biogassubstrat), Ölrettich und Gelbseif in Frage.

Nach Aussagen von Grunewald (2012) sind Zweikulturnutzungssysteme mit Grünroggen, Landsberger Gemenge oder Wickroggen als Vorfrüchte auf diesen Standorten nur mit sehr frühreifen Mais-Sorten möglich. Aufgrund der kurzen Vegetationszeit und des damit verbundenen hohen Risikos wird hiervon jedoch derzeit abgeraten. In der Nutzung eines Zweikultursystems auf diesen Standorten wird bei weiter fortschreitendem Klimawandel mit weiter ansteigenden Temperaturen und einer Verlängerung der Vegetationsperiode allenfalls langfristig eine mögliche Option gesehen.

- z. T. intensive Durchwurzelung des Bodens, Auflockerung des Bodens durch Wurzelmasse, Förderung der Bodengare, Stabilisierung des Bodengefüges, Schutz vor Verdichtung
- Beitrag zur Humusreproduktion und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit
- Erweiterung des Ausbringungszeitfensters für Wirtschaftsdünger
- Unterdrückung von Unkräutern und Ungräsern
- viele Zwischenfrüchte sind Gesundheitspflanzen, u. a. Unterbrechung von Infektionslinien bei engen Fruchtfolgen und intensiver landwirtschaftlicher Produktion in einer Region

Nachfolgend sind in Tabelle 26 einige Zwischenfrüchte, deren Eigenschaften, Bewirtschaftungshinweise und Standortbedingungen nach Grunewald (2012) aufgelistet.

Tabelle 26: Sommer- und Winterzwischenfrüchte mit Produktionstechnischen Daten, Anbaubedingungen und Hauptverwendungszweck (Grünwald 2012)

	Saattermin	Saatstärke kg/ha	Saattiefe cm	N-Düngung kg/ha	TM-Ertrag* dt/ha	
Sommerzwischenfrüchte						
Sommerraps (Kreuzblüter)	Anfang – Ende August	8 – 12	1 – 2	80 – 100	20 – 40	
Welsches Weidelgras (Süßgras)	Mitte Juli – Mitte August	40	1 – 2	30 – 100	20 – 50	
Einjähriges Weidelgras (Süßgras)	Ende Juli – Anfang August	40	1 – 2	30 – 100	20 – 40	
Sandhafer (Süßgras)	Juli – August	25	2 – 4	40 – 80	k.A.	
Persischer und Alexandrinerklee (Leguminose)	Ende Juli – Mitte August	20 – 30	1 – 2	0 – 20	15 – 40	
Blaue Lupine (Körner-Leguminose)	Ende Juli – Mitte August	120 – 170	2 – 4	0 – 20	20 – 40	
Ackerbohne/Futtererbse (Körner-Leguminose)	Mitte Juli – Anfang August	150 – 200	7 – 8/4 – 6	0 – 20	20 – 45	
Sommerwicke (Körner-Leguminose)	Mitte Juli – Anfang August	90 – 120	3 – 5	0 – 20	20 – 35	
Buchweizen (Knöterichgewächs)	Anfang – Mitte August	70 – 90	2 – 3	0 – 40	20 – 50	
Ölrettich (Kreuzblütler)	Mitte August – Anfang September	15 – 25	1 – 2	0 – 40	15 – 40	
Gelbsenf (Kreuzblütler)	Mitte August – Mitte (Ende) September	15 – 25	1 – 2	0 – 40	15 – 40	
Phacella (Wasserblattgewächs)	Juli – Ende August	8 – 14	1	0 – 40	15 – 40	
Mungo (Korbblütler)	Juli – Anfang August	6 – 10	1 – 2	k.A.	k.A.	
Sudangrashybrid (Süßgras)	Juli	15 – 40	2 – 3	100 – 120	30 – 80	
Serradella (leguminose)	Juli/August	40	1 – 4	0 – 20	k.A.	
Winterzwischenfrüchte						
Welsches Weidelgras (Süßgras)	September	30 – 45	1 – 2	60 – 100	20 – 50	
Winterrüben/Winterraps (Kreuzblüter)	September	8 – 12	1 – 2	30 – 80	20 – 40	
Winterwicke (Körner-Leguminose)	Mitte September	00 – 120	3 – 5	0 – 20	15 – 30	
Inkamatklee (Leguminose)	August – September	25 – 35	1 – 2	0 – 20	15 – 40	

* Die angegebenen Erträge sind Ableitungen aus Versuchsergebnisse bzw. Richtwerte aus der Literatur. Sie sind abhängig von Saattermin, Düngung, Witterung und Standort (Boden)

B = Aufwuchs zur Ernte für Biogasproduktion geeignet
 G = zur Gründüngung
 M = zur Mulchsaat der Nachfolgekorrektur (sicher abfrierend)

pro	contra	Standortbedingungen	Nutzung
	nicht in Fruchtfolgen mit Raps	nährstoffreiche Löß- und Lehm Böden, gute Wasserversorgung	B
Schnellwüchsig		für niederschlagsreiche Lagen (auch höhere Lagen)	B
Schnellwüchsig		für niederschlagsreiche Lagen, auch für leichtere und V-Böden geeignet, aber ausreichend Niederschlag	B
hohe Aufwuchsrate (bis 1,60 m). Verspricht hohe TM-Einträge. für Mischung geeignet		Bodenanspruch gering, aber gute Wasserversorgung	B
optimal in Mischungen mit z.B. Phacelia oder Weidengras		braucht Wärme und Feuchtigkeit, für N-arme Böden	G, B
Unterbodenlockerung (tief wurzelnd), kräftige Wurzel, Auflösung von Bodenverdichtung	Mehltau anfällig, hohe Saatgutpreise, 5 – 6 Jahre Anbauphasen (Anthracnose)	für leichte Böden und Trockengebiete, für sandigere Böden: "Gelbe Lupine", für N-arme Böden	G, B
Unterbodenlockerung (tief wurzelnd), optimal in Mischungen mit Wicke	hohe Saatgutpreise	leichte – mittlere Böden (Löß), gute Wasserversorgung, nicht in Trockengebieten, für N-arme Böden	G, B
in Gemenge mit Erbse/Ackerbohne, für Zuckerrüben-FF geeignet	hohe Saatgutpreise	für N-arme Böden, auch für leichtere und trockenere Standorte	G, B
gut geeignet für Mischungen (z. B. mit Senf/Ölrettich oder Mungo/Phacelia)	schwach durchwurzelnd, geringe Unkraut-Unterdrückung	für leichte Böden + wasserarme Regionen, auch für V-Standorte, toleriert niedrige pH-Werte, Sorten nur Gründüngung verwenden (nicht Kornnutzung)	B
Unterbodenlockerung (tief wurzelnd)	nicht in Raps-betonten FF (Kreuzblütler, Kohlhernie)		G, B, M
für sehr späten Anbau geeignet (bei später Vorfruchternte)	nicht in Raps-betonten FF (Kreuzblütler, Kohlhernie) und Kartoffel-FF (Eisenleckigkeit)	geringe Ansprüche an Boden + Klima, auch für V-Standorte, für trockenere Regionen geeignet, in Rüben-FF auf Nematodenresistenz achten	G, B, M
ökologischer Aspekt – "Bienenweide", Wasserblattgewächs (kaum Krankheitsüberträger), ideal für Rüben-FF	nicht in Kartoffel-FF		G, B, M
hohe Biomasseaufwüchse (1 m), geringe Lignin-Gehalte, für Raps und Rüben-FF	nicht als Reinsaat (z. B. mit Buchweizen, Phacelia)	geringe Bodenansprüche, für Trockenregionen geeignet	B, G, M
hohe Aufwüchse (> 1,20), akzeptable TS-Gehalte (z. B. Sorte "Lussi")	keine Gemenge bekannt	auch für Wasserärmere Standorte und leichte Böden, keine kühlen V-Standorte	B
		saure, arlemige Sandböden, auch für Trockengebiete, für N-arme Böden	G, (B?), M
schnellwüchsig		in niederschlagsreichen Lagen (auch höhere Lagen)	B
	für Raps-FF ungeeignet	Rüben etwas geringere Standortansprüche als Raps	B
für Rüben-FF geeignet	hohe Saatpreise	geringe Ansprüche an Boden und Klima, auch für leichtere und trockenere Böden, für N-arme Böden	G, B
in Gemengen, z. B. mit Weidengräsern		leichte – mittlere Böden, aber gute Wasserversorgung, für N-arme Böden	G, B

Hauptkultur des Substratmix für die Biogasproduktion ist Mais. Im Gegensatz zu anderen Bundesländern (vgl. Tab. 27) ist die Maisanbaufläche in Sachsen mit einem Anteil von ca. 13,4 % (ca. 96.100 ha) an der Gesamt-Ackerfläche noch moderat (Statistisches Bundesamt 2012). In einigen Regionen mit oftmals sehr getreidebetonten Fruchtfolgen stellt der Mais z. Z. eher noch eine Bereicherung dar und trägt damit z. T. regionsbezogen zu einer Diversifizierung sehr enger, Getreide- und Rapsbetonter Fruchtfolgen bei. Bei weiter ansteigender Anzahl an Biogasanlagen in Sachsen ist jedoch hierauf weiter zu achten. Mais-Selbstfolgen sind aus phytosanitären Gründen und aus Gründen der Diversifizierung, weitgehend zu vermeiden. Der Hauptanteil der Maisproduktion in Deutschland geht in die Tierfütterung (69 %, 1,8 Mio.ha). Für Biogas werden ca. 31 % (0,8 Mio ha) eingesetzt (Statistisches Bundesamt 2012, FNR 2012).



Tabelle 27: Maisanbaufläche in Deutschland nach Bundesländern und Nutzungsrichtung, Sortiert nach dem Anteil der Maisfläche an der jeweiligen Ackerfläche (Statistisches Bundesamt 2012, links), sowie Aufteilung nach der Nutzung (FNR 2012a, rechts) und Hauptverwendungszweck (Grunewald 2012)

Bundesland	Körnermais [ha]	Silomais [ha]	Mais-Anbaufläche gesamt [ha]	Anteil an Ackerfläche [%]
Niedersachsen	92.500	515.300	607.800	32,4
Schleswig-Holstein	1.100	194.000	195.100	28,9
Nordrhein-Westfalen	104.600	177.000	281.600	26,6
Bayern	124.100	399.400	523.500	25,4
Baden-Württemberg	72.900	109.100	182.000	21,9
Brandenburg	25.700	165.400	191.100	18,6
Mecklenburg-Vorpommern	5.900	155.200	161.100	14,9
Sachsen	21.500	74.600	96.100	13,4
Sachsen-Anhalt	19.400	113.200	132.600	13,2
Saarland	300	3.700	4.000	10,8
Rheinland-Pfalz	8.900	30.700	39.600	9,9
Thüringen	5.200	51.900	57.100	9,3
Hessen	5.800	38.200	44.000	9,2
Deutschland gesamt	487.900	2.028.800	2.516.800	21,2

10.3. Agroforstsysteme und Anbau von schnellwachsenden Baumarten in Kurzumtriebsplantagen

10.3.1. Überblick

Ziel der Anpassung an klimatische Veränderungen in der Landwirtschaft ist der Erhalt der Leistungs- und Funktionsfähigkeit landwirtschaftlicher Systeme auch unter veränderten klimatischen Rahmenbedingungen. Dies beinhaltet auf der einen Seite die Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Anpassungsmaßnahmen durch eine angepasste Wirtschaftsweise, jedoch auf der anderen Seite auch die Einbeziehung, ggf. erst langfristig umsetzbarer, „neuer“ Anbausysteme, ggf. auch als Übergangsformen. Hierzu zählen z. B. der gleichzeitige Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen und Gehölzen in Agroforstsystemen oder der Anbau von Energieholz in Kurzumtriebsplantagen. Hierfür kommen, unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels, primär Flächen mit besonderen Klimawandelrisiken (Trockenheit, Erosion) oder einer Verminderung bislang standörtlich limitierender Faktoren durch Klimawandel (in Erzgebirgslagen ggf. weiter rückgängige Aufforstungsaktivitäten) in Frage und damit eine mögliche, schrittweise Veränderung bisheriger prioritärer Nutzungssysteme.

Um die negativen Folgen klimatischer Veränderungen für die Landwirtschaft zu minimieren und die Chancen zu nutzen, kommt der Steigerung der Robustheit landwirtschaftlicher Systeme eine zentrale Bedeutung zu. Bei fortschreitendem Klimawandel könnten daher langfristig in Zukunft alternative Landnutzungen wie z. B. Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Agroforstsysteme (AFS) oder z. B. auch neue Kulturen, wie z. B. Hirse, Miscanthus, (v. a. auf Trockenstandorten) eine Anpassungsoption darstellen, bestehende Landnutzungssysteme ergänzen und an Bedeutung gewinnen. Hierbei spielt weiterhin die Nutzung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten und Innovationen eine wichtige Rolle, um die Möglichkeiten solcher Anpassungsoptionen regions-, standort- und betriebsbezogen zu optimieren. Dazu besteht zukünftig in der REGKLAM-Modellregion Dresden noch weiterer Forschungs-, Förderungs- und Entwicklungsbedarf.

10.3.2. Agroforstsysteme

Agroforstsysteme könnten bei fortschreitendem Klimawandel vorteilhaft eingesetzt werden, da sie zum einen den Anbau der gängigen Hauptkulturen erlauben, zum anderen aber auch energetisch oder stofflich nutzbare Biomasse erzeugen und weiterhin für eine Strukturierung der Landschaft sorgen und das Mikroklima positiv beeinflussen.

Nach FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010) ist Agroforst:

- Managed use of woody perennials (trees, shrubs, etc.) within agricultural or pastoral land use systems. In these systems both ecological and economic interactions are considered. (Gezielte Nutzung von verholzenden mehrjährigen Pflanzen (Bäume, Sträucher, etc.) innerhalb eines Acker- oder Grünlandbewirtschaftungssystems, in dem ökologische und ökonomische Wechselwirkungen stattfinden).

Agroforstsysteme (AFS) können in zwei größere Formen unterteilt werden (Bender et al. 2009). Diese zwei Nutzungsformen hängen davon ab, ob auf dieser Fläche Viehwirtschaft oder Pflanzenbau betrieben wird.

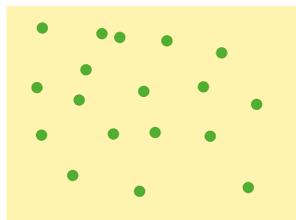
So gibt es:

- Silvopastorale Systeme von Bäumen mit Grünland und
- Silvoarable Systeme von Bäumen mit Ackerland.

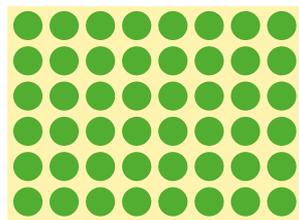
Batish et al. (2008) sehen z. B. in der Kombination von Bäumen mit Nutzpflanzen und -Tieren die Möglichkeit, deren multiple Effekte und Ökosystemleistungen für eine nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion zu nutzen. Hinsichtlich der Multifunktionalität und ökologischen und ggf. ökonomischen Vorteile, bieten AFS die Chance mehrere Landnutzungssysteme zu etablieren und der Nachfrage nach Bioenergieträgern und Nahrungsmitteln gleichzeitig gerecht werden zu können (Grünwald und Reeg, 2009).

Abbildung 85 zeigt die prinzipiellen Möglichkeiten einer mehr agrarwirtschaftlichen Flächennutzung in einem AFS. In Sachsen kommen hier vor allem Streuobstwiesen und in geringem Umfang der Anbau von Energieholz in Kurzumtriebsplantagen vor. Langfristig könnte jedoch auch das „Alley-cropping“ (Streifenanbau) für die auf maschinelle Bewirtschaftungsweise ausgerichtete Landwirtschaft interessanter werden. Hierzu existieren jedoch derzeit erst wenige Anlagen, vorwiegend zu Forschungszwecken.

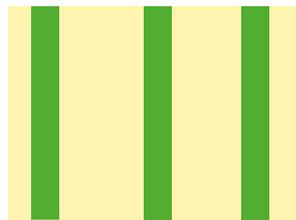
Abbildung 85: Übersicht der Kombinationsmöglichkeiten eines AFS mit Dominanz der Feldkulturen, nach Zehlius-Eckhart et al. (2010)



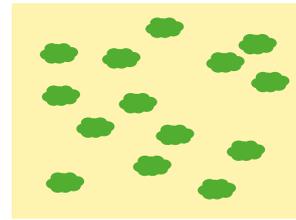
Typ L 1;
Beispiele: Dehesas, Oliven



Typ L 2;
Beispiele: Streuobstwiesen



Typ L 3;
Beispiele: Alley-cropping,
Energieholzstreifen



Typ L 4;
Beispiele: Halboffene Weidelandschaften

In der Literatur finden sich zwei Nutzungsmöglichkeiten von Bäumen in Feldkulturen.

- 1) reine Energieholzbestände (Kurzumtrieb)
- 2) Wertholz und/oder Obst

Nutzungsversion 1 „Energieholzproduktion“

In der ersten Variante handelt es sich um geschlossene Baumstreifen oder -bestände, deren Arten für die Produktion von Energieholz oder Biomasse im Kurzumtrieb (Intervall von 2 oder bis zu 20 Jahren) geeignet sind (vgl. nachfolgendes Kapitel zu Kurzumtriebsplantagen). Diese Eigenschaften bringen in Sachsen vor allem Weide, Pappel, Robinie, Erle und Birke mit. Aufgrund des Kurzumtriebes wird die Baumkultur eine Höhe erreichen, deren Schatteneinfluss für die Feldkultur von geringerer Bedeutung ist als in der zweiten Version mit Werthölzern. Wobei die Größe des Unterschiedes vor allem durch die Umtriebsdauer beeinflusst wird. Durch den dichteren Be-

stand hat der Kurzumtrieb eine stärkere Wind bremsende Wirkung. Durch einen mehrstreifigen, zeitversetzten Anbau lässt sich der Einfluss des Baumstreifens dauerhaft im AFS erhalten und dessen positive Effekte ausnutzen (Quinkenstein et al. 2008), da die Reihen im Kurzumtrieb nicht zu einem Zeitpunkt komplett beerntet werden. Eine weitere Möglichkeit besteht, darin, in einem Baumstreifen die einzelnen Reihen mit jeweils verschiedenen Arten zu bepflanzen. Neben der alternierenden Beerntung besteht der Vorteil weiterhin in einer Streuung des Risikos von Ausfällen.

Nutzungsversion 2 „Wertholz- und/oder Fruchtproduktion“



Eine weitere Möglichkeit besteht in der Pflanzung von Baumarten für die Holzverarbeitung (stoffliche Nutzung). Es handelt sich hierbei z. B. um Edellaubbäume, die nach 40 – 70 Jahren geschlagen werden können (z. B. Furnierholzproduktion o. ä.) (Bender et al. 2009).

Für die weiteren Betrachtungen werden im Folgenden nur der Streifenanbau („Alley-cropping“) mit energetischer Nutzung schnellwachsender Baumarten und der Anbau von Energieholz in Kurzumtriebsplantagen betrachtet.

In Tabelle 28 sind die Vor- und Nachteile von AFS genannt.

Tabelle 28: Vor- und Nachteile von AFS bezüglich Gemegepartnern, Umwelt und Nutzer. (nach Batish et al. 2008, ergänzt nach Grünewald und Reeg 2009, und Zehlius-Eckert et al. 2010).

Vorteile	Nachteile
Nachhaltige und Sichere Erträge	Ressourcenkonkurrenz
Bodenfruchtbarkeit, Umverteilung der Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten	Allelopathie, chemische Interferenz
Günstigeres Mikroklima	Überwinterung von Erregern und Schädlingen
Sicherung der Wasserqualität	In Summe verstärkte Verdunstung, geringere Grundwasserneubildung, erhöhte Grundwasserabsenkung in Trockenzeiten
Unkraut und Krankheitsregulierung	Schadenbildung
Kohlenstoffsequestration und Verringerung klimaschädlicher Gase	Erhöhte Anfälligkeit gegen Wildverbiss, erfordert Zäunung
Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit	Niedrigeres Ertragsniveau, durch Schattenwurf, Wurzelkonkurrenz, Tau, verstärkte Schneeablagerung und Windverwirbelung hinter dem Gehölzstreifen
Erhaltung und Steigerung der Biodiversität	Stoßartige CO ₂ -Freisetzung bei Energieholzpflanzung auf Grünland mit Umbruch
Habitat für Wild- und Nutztiere	Arbeitszeitbedarf, verglichen mit flächigem Anbau von Gehölzen und Feldkulturen
Phytoremediation Flächen-/ Bodensanierung mit Pflanzen	invasives Verhalten von evtl. eingeführten Spezies

Bäume haben vielfältige Einflüsse auf landwirtschaftliche Kulturen. Unter den Aspekten des Klimawandels sind davon besonders hervorzuheben:

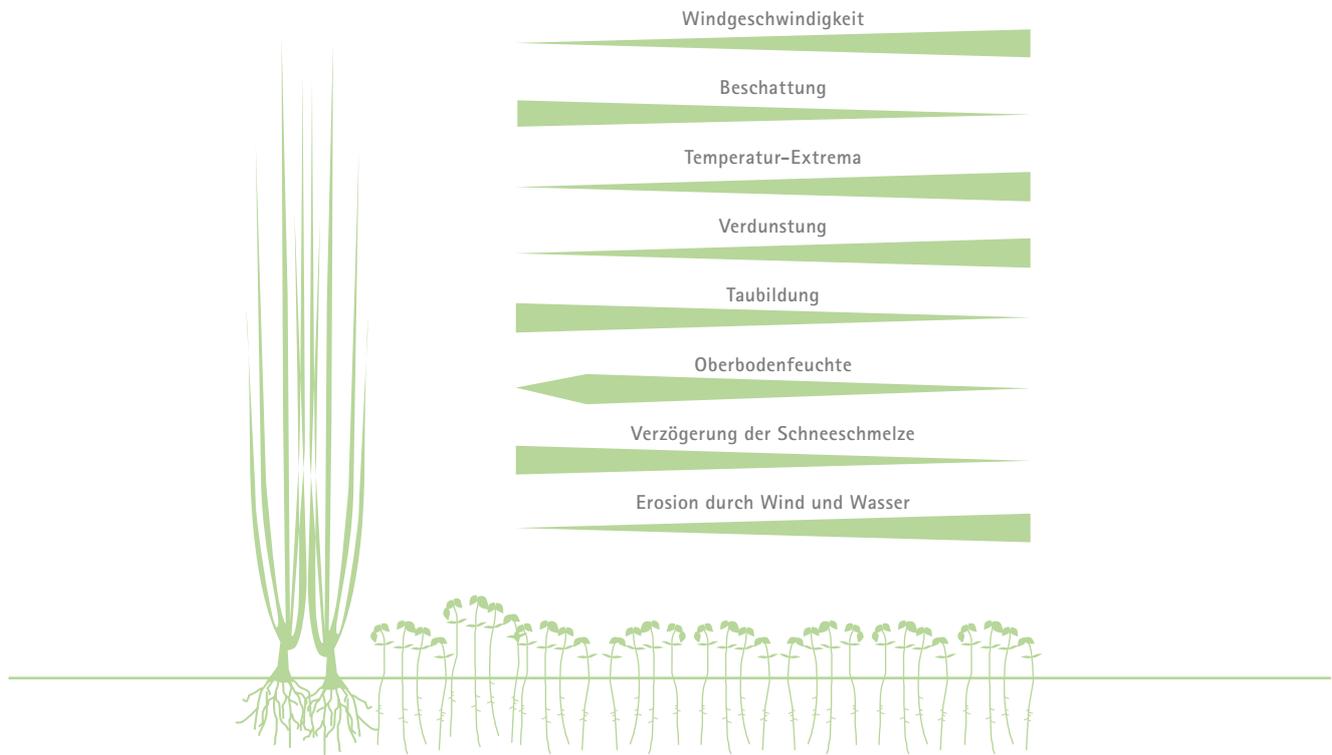
- Verbesserung des Mikroklimas
- Belebung offener Agrarlandschaften
- Minimierung der Winderosion
- Minderung der Wassererosion in Hanglage
- Belebung Artenvielfalt, evtl. auch Biotopvernetzung
- wirtschaftliche Nutzung der Baumreihen
- anzustreben: jeweils nur Teilbeerntung der Baumreihen zum Erhalt der Vorteilswirkungen

Heckenstreifen, die senkrecht zur Hauptwindrichtung angelegt werden, verändern beispielsweise das Mikroklima. Die Einflüsse auf verschiedensten Umweltaspekte sind in Abbildung 86 dargestellt. Diese wirken größtenteils positiv auf die Ackerkulturen (Grünewald et al. 2009).

Vetter und Bärwolf (2010) ermittelten für Dornburg (Thüringen) eine bis zu 6 % geringere Bodenfeuchte in der direkten Nähe (4 m) zu den Bäumen. Auf einer Entfernung von 4–8 m wurde hingegen eine Steigerung der Bodenfeuchte von 3 %, bei einer Baumstreifenhöhe von 1,5 m, gemessen. Dies wird auf eine geringere Evapotranspiration zurückgeführt, weil Temperaturmaxima und Verdunstung gesenkt, sowie die Taubildung gefördert werden. Eine Verringerung von Hitzeschäden an Feldkulturen ist dadurch gleichzeitig gegeben.



Abbildung 86: Veränderungen für die Ackerkultur im Mikroklima auf der Wind abgewandten Seite, durch die Anlage von Baumreihen quer zur Hauptwindrichtung. (nach Quinkenstein et al. 2008).



Außerdem wird auf Grund der windbremsenden Wirkung der Bäume, die Winderosion abgeschwächt.

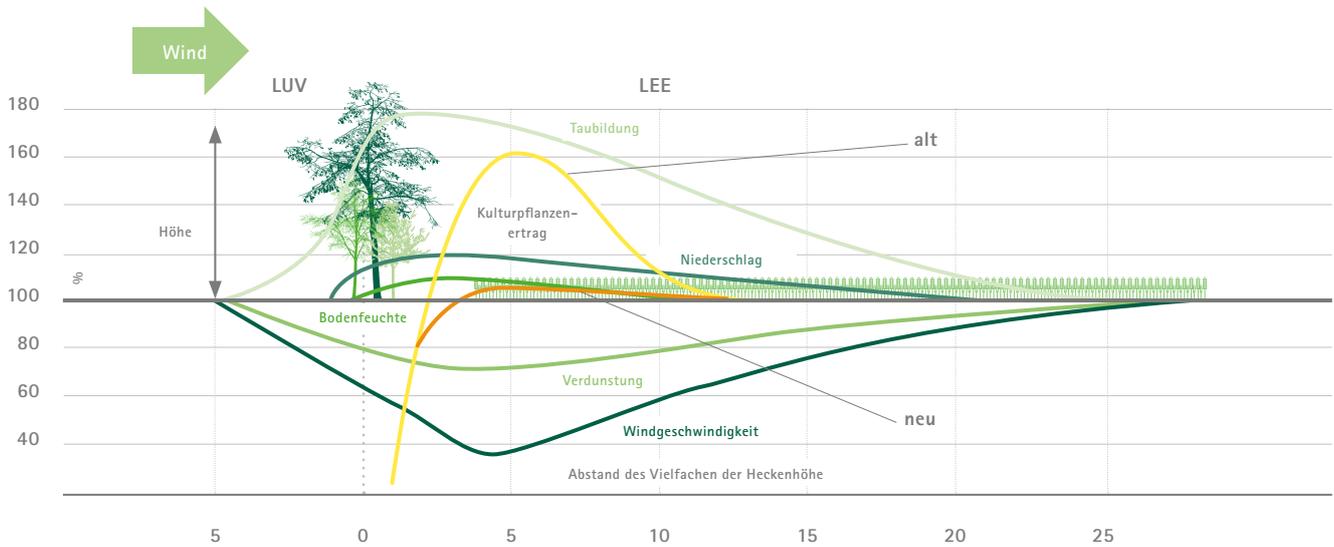
Die Anlage von Streifen quer zum Gefälle (in Abhängigkeit der Hauptwindrichtung und des Gefälles) mit Wechsel der Bestandeshöhe und -struktur bewirkt eine Erhöhung der Bodenbedeckung und

Oberflächenrauigkeit, sowie eine Verkürzung der Hanglänge, damit eine Erhöhung der Infiltration, verhindert bzw. bremst einen großflächigen Abfluss und stellt damit eine wirksame zusätzliche Maßnahme zur Minimierung der Bodenerosion durch Wind und Wasser dar. Wenn möglich (Windrichtung, Bearbeitung etc.), können die Baumstreifen auch entlang einer Höhenlinie angepflanzt werden, um den besten Effekt hinsichtlich Wassererosion zu erzielen.



Die Einflüsse in Abhängigkeit vom Abstand zur Baumreihe sind in Abbildung 87 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Strukturierung der Landschaft durch Baumreihen in AFS einen Einfluss auf verschiedene klimatische Größen (Niederschlag, Verdunstung, Windgeschwindigkeit) und deren räumliche Verteilung hat und damit auch z. B. auf die Bodenfeuchte und den Ertrag. Dies spielt v.a. unter dem Aspekt des Klimawandels eine wesentliche Rolle für die zukünftigen Etablierung und Umsetzung von Agroforstsystemen.

Abbildung 87: Veränderungen verschiedener Randbedingungen mit Abstand von der Baumreihe und der Windrichtung (Schwabe 2005, nach Schulte 1993, Buchner 1999)



Um die positiven Effekte der Baumreihen auch bei Beerntung zu erhalten, schlagen verschiedene Autoren eine teilweise Reihenbeerntung vor (z. B. Quinkenstein et al. 2008, Grunert 2010b).

Tabelle 29: Eine Auswahl an Gehölzen als Überträger von Schaderregern nach Chalmin et al. (2009)

Baumart	Schädling/Erreger
Wild Kirsche, <i>Prunus avium</i>	Kirschfruchtfliege
Gewöhnliche Robinie, <i>Robinia pseudoacacia</i>	Pflaumenschildlaus
Weiden, <i>Salix spp.</i>	Rußfleckenkrankheiten
Apfel, <i>Malus silvestris</i> ; Birne, <i>Pyrus communis</i>	Feuerbrand

Ein weiterer Aspekt ist, dass Pflanzen durch das Ausscheiden von Substanzen andere Pflanzen an ihrem Wachstum hindern und beeinträchtigen können (Allelopathie, z. B. Jose et al. 2008).

Die windbremsenden Wirkungen von AFS und einer höheren Bodenfeuchte, die auch für die Kulturen in Trockenphasen essentiell sein kann, ist vor allem für landwirtschaftliche Ungunststandorte ein interessanter Aspekt. Vor allem mit Blick auf die zu erwartenden Klimaentwicklungen in Sachsen, ist dies z. B. besonders für Nord- und Ostsachsen eine Möglichkeit die Wasserressourcen in der Landwirtschaft nachhaltig zu nutzen. Versuche aus Südbrandenburg an der Grenze zu Sachsen belegen diese positiven Effekte (Grüneward & Reeg 2009) auch für diese Region.

Pflanzenschäden und Ertragsverluste, die durch Wasserdefizit und Temperaturmaxima entstehen, können durch das verbesserte Mikroklima in AFS, welches vor allem in trockenen und heißen Sommern von Bedeutung ist, gesenkt werden (Brandl et al. 2004).

Zusätzlich werden durch AFS bessere Nährstoffausnutzungen erreicht. Die effektivere Nutzung ist bedingt durch eine geringere Auswaschung, Nutzung tiefer liegender Nährstoffe und symbiotische N-fixierung. Gleichzeitig wird die Bodenfruchtbarkeit durch einen höheren Humusgehalt gesteigert.

Hinzuweisen ist auf den achtsamen Einsatz von Neophyten und deren Allelopathie sowie invasives Verhalten, um Schäden in der bestehenden Kulturlandschaft, durch eine rasante und ungebremste Ausbreitung dieser Arten, zu vermeiden.

10.3.3. Kurzumtriebsplantagen

Zur nachhaltigen Nutzung nachwachsender Rohstoffe und der steigenden Nachfrage ist die Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUP) kurz- bis mittelfristig eine mögliche Maßnahme. Dies beinhaltet den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. Um die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu minimieren, sollten KUP im Zuge des Klimawandels auf Standorten mit geringem ackerbaulichen Nutzungspotenzial (Marginalstandorten) oder auf Standorten oder Teilflächen mit hoher Klimabetroffenheit, z. B. hohe Erosionsgefährdung, jedoch unter der Berücksichtigung der Anforderungen der verwendeten Baumarten (LfULG 2010b) angebaut werden.

Der Anbau schnellwachsender Baumarten in Kurzumtriebsplantagen ist eine spezielle landwirtschaftliche Produktionsform bei der Holzbiomasse, zumeist zur energetischen Nutzung, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen erzeugt wird. Eine KUP ist als Dauerkultur

anzusehen mit ca. 20-jähriger Nutzungsdauer bei Umtriebszeiten von zwei bis 20 Jahren.

Unter europäischen Klimabedingungen haben sich Pappel- und Weidenarten als besonders geeignet erwiesen. Sie zeichnen sich durch rasches Jugendwachstum, leichte Vermehrbarkeit, gutes Stockauschlagvermögen, Dichtstandsverträglichkeit und Krankheitstoleranz aus.

Abbildung 88 zeigt verschiedene Konzepte und Strukturen bei der Anlage einer KUP. Diese hängen sowohl vom Produktionsziel und den Randbedingungen (z. B. Bodenzahl), als auch z. B. von den Schutzziele, wie z. B. Erosionsschutz, Verminderung des Nährstoffeintrages an Fließgewässern oder technischen Randbedingungen, wie z. B. der Verbesserung der Technischschlagkraft durch Schlaggestaltung, Befahrbarkeit, Beerntbarkeit, ab.

Abbildung 88: Energieholzproduktion – Einordnung in die Landwirtschaft (ergänzt nach Grunert 2010b)

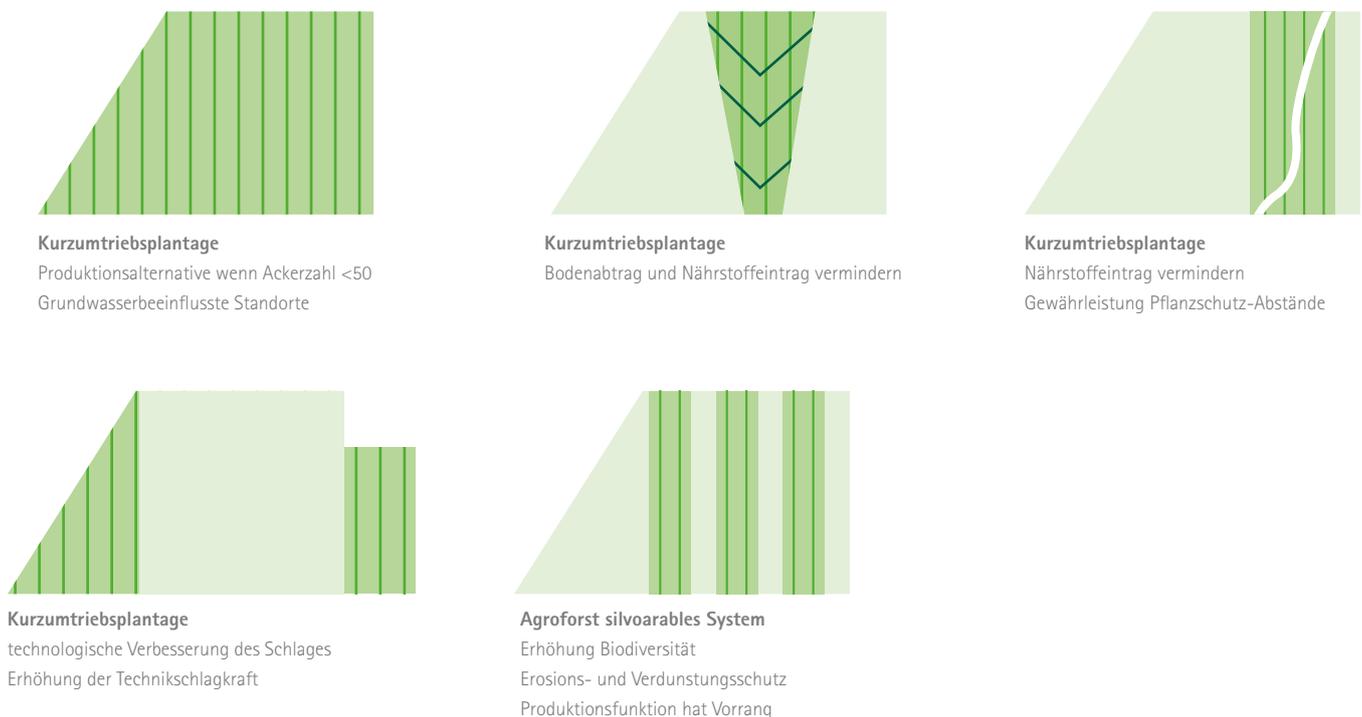


Abbildung 89 zeigt Standorte von Kurzumtriebsplantagen in Sachsen (Praxis- und Versuchsflächen; nach Grunert 2010b). Es wird deutlich, dass in verschiedenen Regionen Sachsens schon z. T. mehrjährige Erfahrungen mit dem Anbau von KUP bestehen. In der REGKLAM-Region Dresden finden sich diese v. a. im westlichen Teil der Region, sowohl auf Lößstandorten, als auch auf V-Standorten

in Vorgebirgslage. Innerhalb der REGKLAM Partnerbetriebe bestehen auch schon mehrjährige Erfahrungen mit Kurzumtriebsplantagen. Unter anderem werden dazu auch Kooperationen, z. B. mit dem Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen e. V., Freiberg, genutzt.

Abbildung 89: Kurzumtriebsplantagen Standorte in Sachsen (Praxis- und Versuchsflächen; Grunert 2010b)



Weitere Empfehlungen zum Anbau von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb, auch für die REGKLAM-Region Dresden, finden sich in LfULG (2010b).

10.3.4. Abwägung

10.3.4.1. Vorteile von KUP und Agroforstsystemen

Die Vorteile von KUP sind prinzipiell die gleichen wie bei AFS. Grunert (2010b) liefert eine Übersicht:

- Nutzung von Biomasse aus KUP ist eine lohnende Alternative zu fossilen Energieträgern
- Extensive Landnutzung
- Reduktion der Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, Minimierung von Pflanzenschutzmittel- und Nährstoffeinträgen in Grund- und Oberflächenwasser (nach Anpflanzjahr kein Pflanzenschutz, lediglich P/K/Ca-Ausgleichsdüngung)
- Erosionsschutz (Wind, Wasser), Minderung v.a. der Winderosion in strukturarmen Regionen, Minderung der Wassererosion in Hanglagen
- Nutzungsalternative auf ertragsschwachen und belasteten Standorten
- Landschaftselement in ausgeräumten Agrarlandschaften, Belebung offener Agrarlandschaften
- Schaffung von Biotopverbund und Erhöhung der Biodiversität
- Humusanreicherung, Verbesserung der Bodenstruktur (mind. 19 Jahre keine Bodenbearbeitung, positive Humusbilanz)
- Schaffung regionaler Wertschöpfungsketten

10.3.4.2. Risiken von KUP und Agroforstsystemen

- Erosionsgefährdung im Anpflanzjahr und nach Rückumwandlung (tiefe Bodenbearbeitung, Fräse)
- Gefahr der Bodenverdichtung bei feuchten Erntebedingungen und nach der Rodung
- ggf. negative Auswirkungen auf das Landschaftsbild bei großflächigem Anbau
- evtl. geringere Grundwasserneubildung
- Robinie ist als invasive Art eingestuft
- Festlegung des Anbaus auf mind. 20 Jahre → Pachtverträge
- Entwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen
- Preisentwicklungen
- Erntetechnik
- Gesellschaftliche Meinung zum Biomasseanbau
- Politische Rahmenbedingungen

Tabelle 30 zeigt abschließend die Vor- und Nachteile von KUP mit Blick auf die Bodenfruchtbarkeit und den Bodenschutz.

Tabelle 30: KUP aus Sicht der Bodenfruchtbarkeit

positiv	kritisch
<ul style="list-style-type: none"> ■ Minimierung von Erosionsgefährdungen ■ mind. 19 Jahre keine Bodenbearbeitung und kein Pflanzenschutz ■ positive Humusbilanz ■ geringe Nährstoffentzüge 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erosionsgefahr in Anpflanz- und Rodejahr ■ Gefahr der Bodenverdichtung bei feuchten Erntebedingungen und nach der Rodung

deutliche Vorteile für die Bodenfruchtbarkeit, bei Berücksichtigung der Risiken in Pflanz- und Rodejahr

10.3.4.3. Rechtliche Regelungen

Eine vergleichbare Förderung wie für Erstaufforstung gibt es für Agroforstsysteme nicht, die Fläche bleibt rechtlich gesehen eine landwirtschaftliche Fläche und damit bleiben bestehende Zahlungsansprüche erhalten. Die Beihilfefähigkeit von KUP und Agroforstsystemen ist unter der Voraussetzung gegeben, dass Pappeln, Weiden, Birken, Erlen, Eschen und/oder Robinien mit einer Umtriebszeit von max. 20 Jahren angebaut werden (Grunert 2010b). Die Novelle des BWaldG hat hierbei Rechtssicherheit geschaffen, so dass der Status „landwirtschaftliche Nutzfläche“ nicht mehr an die Beihilfefähigkeit der Fläche gebunden ist. Die Errichtung klassischer Agroforstsysteme mit Wertholzgewinnung ist bei Erhalt der Beihilfe nur eingeschränkt möglich (max. 50 Bäume/ha). Die Mindestgröße eines Schlags muss 0,3 ha, die beihilfefähige Fläche eines Betriebes mindestens 1 ha betragen (Förderfähigkeit).

Aufgrund des Grünlanderhaltungsgebotes wird nach derzeitiger Rechtslage keine Möglichkeit gesehen, KUP oder Agroforstsysteme auf beihilfefähigem Grünland anzulegen, ohne dass dies als Grünlandumbruch gewertet wird.

Das Anlegen von KUP und Agroforstsystemen ist laut Naturschutzgesetzgebung kein Eingriff in die Natur, es gilt das Verschlechterungsverbot gemäß Natura 2000. Jedoch sollte bei der Planung die zuständige Naturschutzbehörde mit einbezogen werden, um spätere Schwierigkeiten zu vermeiden. Des Weiteren ist die untere Natur-

schutzbehörde berechtigt innerhalb eines Monats nach Anzeige zur Anlage einer KUP aus naturschutzfachlichen Gründen Einspruch zu erheben.

Forstvermehrungsgesetz gilt u. a. für Pappel, jedoch nicht für Weide. Die Anforderungen der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung sind einzuhalten, wenn aus KUP Biokraftstoffe erzeugt werden sollen.

Zu beachten ist weiterhin, dass für Agroforstsysteme mit Bäumen nach dem KN Code ex: 06029041, die zur Wertholzgewinnung dienen und demzufolge das Kriterium Kurzumtriebsplantage (max. Umtriebszeit von 20 Jahren) nicht erfüllen, keine Beihilfe gewährt wird. Ebenso sind weiterführende Gesetze mit zu beachten. So muss z. B. in Sachsen, nach dem sächsischen Nachbarschaftsrecht (SächsNRG, § 10), ein gesetzlicher Mindestabstand von drei Metern zu benachbarten und landwirtschaftlich genutzten Flächen eingehalten werden, wenn diese Bäume/Hecken eine Höhe von über zwei Meter haben.

Ausführlichere Darstellungen der aktuellen Rechtslage bzgl. Agroforstsystemen und KUP finden sich z. B. bei LfULG (2010b).

Durch die beschriebenen rechtlichen Randbedingungen werden in Sachsen für AFS und KUP zukünftig keine größeren Hindernisse zu erwarten sein.

10.3.4.4. Bedeutung von KUP für die REGKLAM-Region

Auch im Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden (IRKAP) wird der Anbau von Agroforstsystemen und schnellwachsenden Baumarten in Kurzumtriebsplantagen als mögliche mittel- bis langfristige Maßnahme angeführt (REGKLAM-Konsortium 2013, S. 91).

Es ist jedoch hervorzuheben, dass in diesen Maßnahmen nur ggf. langfristig bei steigenden Klimaauswirkungen auf Einzelstandorten und einer stetigen Weiterentwicklung und regionalen Adaptation der Verfahren und Systeme Möglichkeiten gesehen werden. Die Erfahrungen mit Agroforstsystemen sind derzeit noch begrenzt und regional innerhalb der REGKLAM-Modellregion Dresden nicht erprobt. Daher bietet diese Maßnahme eher eine langfristige Option bei sich weiter verschärfenden Klimawirkungen. Hierfür ist eine Weiterentwicklung grundlegender Konzepte und regionaler Anpassungsmöglichkeiten von Agroforstsystemen zur Anpassung an eine Vielzahl von Klimawirkungen (z. B. an erhöhtes Wassererosionsrisiko, erhöhtes Winderosionsrisiko in Windoffenheit von Landschaften) bei gleichzeitiger zusätzlicher Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Zusammenarbeit von Forschung und Wissenschaft sowie Behörden, Landwirten und ggf. Abnehmern nachwachsender Rohstoffe notwendig.

Zusammenfassend bleibt für die REGKLAM-Region Dresden festzuhalten, dass:

- die rechtlichen Rahmenbedingungen nun Sicherheit für den Anbau von KUP auf Ackerflächen geben, jedoch auch die Möglichkeiten z. T. einschränken.
- in der Projektregion langjährige Erfahrungen aus Versuchs- und Praxisanbau mit Pappel und Weide im Plantagenanbau vorliegen, auf die auch bei der Neuetablierung von Anlagen zurückgegriffen werden sollte.
- die Etablierung und Bewirtschaftung Standort-, Verwertungs- und Umtriebsabhängig erfolgen sollte.
- auf die hohe Bedeutung der Bestandesetablierung und Pflege im ersten Jahr für den Gesamterfolg einer KUP zu achten ist.
- verschiedene Schädlinge und Krankheiten auftreten, jedoch durch gute Vorbereitung (z. B. Sortenwahl) und angepasste Maßnahmen (z. B. Pflanzenschutz) mit vertretbarem Aufwand beherrschbar sind.
- standortabhängig akzeptable bis sehr gute Erträge erzielt werden können.
- hohe Synergieeffekte, aber auch Risiken in Bezug auf den Boden-, Gewässer- und Naturschutz bestehen und, gerade unter dem Aspekt einer fortschreitenden Klimawandels, berücksichtigt bzw. vorteilhaft genutzt werden sollten.

10.4. Zusammenfassung

Primäre Aufgabe der Landwirtschaft ist die nachhaltige Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln von hoher Qualität. In den letzten Jahren ist jedoch zunehmend auch die Erzeugung von Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen zur stofflichen und energetischen Nutzung in den Fokus gerückt. Unter den Aspekten des Klimawandels bietet sich durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe eine Reihe von Möglichkeiten zur Anpassung. Diese wurden dargestellt und erläutert.

Anbautechnisch sind hierbei v. a. die Möglichkeiten der Diversifizierung innerhalb der Fruchtfolgen (auch zur Risikoabsicherung), die Möglichkeiten von Anbaualternativen z. B. auf Trockenstandorten durch neue Arten und Sorten (z. B. Hirsearten) und die Nutzung mehrjähriger Kulturen (im Gegensatz zum herkömmlichen Anbau einjähriger Kulturen), wie z. B. durchwachsene Silphie, Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb etc., mit meist positiven Effekten bzgl. Erosionsschutz, Humuswirkung, Wasserhaushalt und reduziertem Einsatz an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie der Minderung von N-Auswaschungsverlusten z. B. bei der energetischen Nutzung von Zwischenfrüchten, zu nennen. Nicht zuletzt bieten sich durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe auch vielfältige Möglichkeiten der Schlaggestaltung, der Strukturierung der Landschaft und

damit dem Erhalt und der Bereicherung der Kulturlandschaft, was u. a. auch positiv hinsichtlich der Artenvielfalt, Vernetzung und der Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen, wie Sturm, Starkregen etc. zu bewerten ist. Auf betrieblicher Ebene bietet der Anbau nachwachsender Rohstoffe u. a. Möglichkeiten zur Diversifizierung der betrieblichen Einkommensquellen (auch hinsichtlich Risikominimierung) und der Schaffung innerbetrieblicher Stoffkreisläufe und z. T. kaskadenartiger Nutzung von Rohstoffen. Auf Regionesebene bieten der Anbau und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe Möglichkeiten zur Schaffung und Sicherung regionaler Kreisläufe, auch z. B. hinsichtlich der Einschränkung/Minderung von Transportwegen durch lokale Verfügbarkeit und lokale Nutzungsmöglichkeiten, sowie der Stärkung des ländlichen Raumes durch Verarbeitungskapazitäten und Arbeitsplätze sowie eine dezentrale Produktion und Verarbeitung. Hinsichtlich des Klimaschutzes ist der Anbau nachwachsender Rohstoffe auch vielfach mit einer positiven Energie- und Treibhausgasbilanz verbunden.

Bei all den positiven Effekten, die bei optimaler Gestaltung des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen erzielt werden können, sollte jedoch auf eine Förderung von nachhaltigen Entwicklungen Wert gelegt werden. So ist z. B. zukünftig verstärkt darauf zu achten,

dass bei zunehmender Anzahl an Biogasanlagen ein vertretbarer Anteil an Mais in der Fruchtfolge nicht überschritten wird. Ebenso sollten Mais-Selbstfolgen aus phytosanitären Gründen möglichst vermieden werden. Derzeit ist der Maisanteil in Sachsen mit ca. 13,4 % noch sehr moderat und stellt für die Gestaltung v. a. sehr getreidelastiger Fruchtfolgen z. T. eher eine Bereicherung dar. Bei fortschreitender Entwicklung v. a. im Biogassektor ist jedoch zukünftig, auch regional, auf entsprechende Anbauanteile zu achten. Weiterhin kommt dem Ausbau und der Sicherung innerbetriebliche Stoffkreisläufe und der Rückführung von Nährstoffen auf die Betriebsflächen durch Gärrestdüngung und eine eingeschränkte Strohnutzung, auch unter den Aspekten der Humusstabilisierung unter fortschreitendem Klimawandel, eine besondere Bedeutung zu. Gerade bei der Gülle- und Strohnutzung im Biogassektor und den steigenden Ansprüchen auch von Seiten der thermischen Nutzung von Stroh ist diesem Aspekt zukünftig verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen. Weiterhin sind die förderpolitischen Regelungen dran auszurichten und ggf. anzupassen. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe bietet eine Vielzahl an Kulturen zur Verwendung in unterschiedlichsten stofflichen und energetischen Verwertungslinien auch unter den verschiedenen Anbaubedingungen Sachsens. Hierbei bestehen, auch unter den Aspekten des Klimawandels, Möglichkeiten zur Diversifizierung und sinnvollen Nutzung von Synergien zur nachhaltigen Produktion von Nahrungs-, Futtermitteln und nachwachsenden Rohstoffen (in prioritärer Reihenfolge).

Durch die Erschließung (neuer) Verwertungsmöglichkeiten für nachwachsende Rohstoffe und die Rohstoffvielfalt mit z. T. spezifischen Inhaltsstoffen bietet sich eine äußerst breite Palette für Anbau und Verwertung. Auf dem Weg zur Etablierung nachwachsender Rohstoffe als feste Größe bei der Energiegewinnung und als Rohstoff für die industrielle Verarbeitung ist die Gesellschaft gefordert, günstige Rahmenbedingungen zu schaffen. Große Bedeutung bei der Unterstützung der Markteinführung und -etablierung nachwachsender Rohstoffe kommt aber auch der zielgerichteten Projektförderung zu. Bei fortschreitendem Klimawandel könnten langfristig in Zukunft alternative Landnutzungen wie z. B. KUP und Agroforstsysteme oder neue Kulturen, wie z. B. Hirse, Miscanthus, v. a. auf Trockenstandorten eine Anpassungsoption darstellen, bestehende Landnutzungssysteme ergänzen und an Bedeutung gewinnen. Hierbei spielt weiterhin die Nutzung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten und Innovationen eine wichtige Rolle, um die Möglichkeiten solcher Anpassungsoptionen regions-, standort- und betriebsbezogen zu optimieren. Dazu besteht zukünftig in der REG-KLAM-Modellregion Dresden noch weiterer Forschungs-, Förderungs- und Entwicklungsbedarf.

Grundvoraussetzung für die Etablierung der stofflichen oder energetischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe ist die Nachhaltigkeit der Verwertungslinien. Hierfür gelten entsprechende gesetzliche Regelungen. Zur Steigerung der Effektivität und Nachhaltigkeit der Verwertungsketten sollten etwaige Möglichkeiten der Kaskadennutzung nachwachsender Rohstoffe, sowie der Nährstoffrückführung auf die Flächen voll ausgeschöpft werden. Die förderpoliti-

schen Ausrichtungen sollten dabei alle Aspekte einer nachhaltigen, umweltgerechten Produktion, des Klima-, Boden-, Gewässer-, Natur- und Umweltschutzes, sowie der ökonomischen und betrieblichen Rahmenbedingungen berücksichtigen.

Das novellierte EEG zielt mit den Einsatzstoffvergütungsklassen u. a. auf eine Diversifizierung im Substratmix von Biogasanlagen und damit auch im Anbau, was auch unter den Aspekten eines fortschreitenden Klimawandels zu begrüßen ist. Die Ausgestaltung ist jedoch in einzelnen Punkten, auch unter der Berücksichtigung von Klimawandelaspekten, noch einmal zu überdenken bzw. ggf. anzupassen, um möglichst große Synergieeffekte durch unterschiedliche Förderschwerpunkte, -richtlinien und -gesetze zu erzielen. Hier gibt es u. a. im Bereich der Förderung der nachwachsenden Rohstoffe noch Koordinierungs- und ggf. Anpassungsbedarf.

In diesem Zusammenhang sind weiterhin die derzeitigen Diskussionen um die Ausgestaltung der ‚gemeinsamen Agrarpolitik‘ GAP ab 2014 in der EU zu nennen. Hierbei ist im Rahmen des ‚Greening‘ der 1. Säule eine Einführung von ökologischen Vorrangflächen (ÖVF) in der Größenordnung von 5–7 % der Betriebsfläche vorgesehen. Die genaue Ausgestaltung wird derzeit noch diskutiert. Der derzeitige Entwurf der EU-Kommission sieht jedoch auf den Vorrangflächen keinen oder nur eingeschränkten üblichen Anbau von Nahrungsmitteln, Futtermitteln und Energiepflanzen vor. Die Landwirtschaft ist sowohl bei der Energiewende als auch bei der Erzeugung von Lebensmitteln und den Herausforderungen des Klimawandels gefordert, tragbare Lösungen zu finden, die sich zum einen an diesen Herausforderungen orientieren und messen lassen müssen, zum anderen aber auch die Belange des Umwelt- und Naturschutzes, sowie der Landschaftspflege und -gestaltung berücksichtigen. Hierbei sind landwirtschaftliche Systeme, Verfahren und Techniken gefragt, die Synergien zwischen diesen verschiedensten Anforderungen generieren und nutzen. Daher sollte es das primäre Ziel sein, verstärkt Synergieeffekte zwischen verschiedenen Schutzziele, wie z. B. Klimaanpassung und Biodiversität (Begrünung von Hangrinnen, Anbau von Gehölzstreifen zum Erosionsschutz und der gleichzeitigen periodischen Nutzung) zu generieren. Eine Möglichkeit zur Ausgestaltung wäre der Anbau von Eiweißpflanzen, bestimmten einjährigen oder mehrjährigen Kulturen zur energetischen Nutzung unter den Hauptzielstellungen Ökologisierung, Biodiversität und ggf. auch Landschaftsstrukturierung. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe bietet hierbei vielfältige Möglichkeiten.

11. Zusammenfassende Schlussbetrachtung

11





Die Landwirtschaft muss sich künftig unter fortschreitendem Klimawandel vor allem auf zunehmende Variabilität (Witterung, Ertrags- und Qualitätsschwankungen) einstellen und daran anpassen. Hierbei spielen v. a. Wetterextreme und Verschiebungen innerhalb der Vegetationsperiode (z. B. Niederschläge) eine wesentliche Rolle. In der betrachteten REGKLAM-Region besteht eine unterschiedliche regionale Betroffenheit (Nord-Ostsachsen am stärksten betroffen) und eine unterschiedliche Wahrnehmung der derzeit schon spürbaren Veränderungen. Die Ausführungen in dieser Broschüre zeigen, dass es hierbei eine Vielzahl an Betroffenheiten, aber auch umfangreiche Anpassungsmöglichkeiten gibt. Diese liegen v. a. in der Anpassung des jeweiligen Produktionssystems an die zukünftigen Herausforderungen, aber auch in technischen Lösungen. Meist gehen diese Anpassungsmaßnahmen jedoch mit Mehraufwendungen, v. a. im arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Bereich einher. Bei zukünftigen Anpassungsmaßnahmen sollten verstärkt Synergieeffekte z. B. zum Boden-, Gewässer-, Klima-, Natur- und Hochwasserschutz genutzt werden.

Der Klimawandel stellt die Landwirtschaft in der Region vor eine Vielzahl von Herausforderungen, die sowohl Probleme aufwerfen, als auch Chancen bieten können. Um die negativen Folgen klimatischer Veränderungen für die Landwirtschaft zu minimieren und die Chancen zu nutzen, kommt der Steigerung der Robustheit landwirtschaftlicher Systeme eine zentrale Bedeutung zu. Bei zunehmender Variabilität des Wetters im Vegetationsverlauf und zunehmender Intensität von Extremereignissen müssen die landwirtschaftlichen Systeme an diesen veränderten Bedingungen ausgerichtet werden, um auch zukünftig eine nachhaltige Produktion von Nah-

rungsmitteln und Energieträgern in der Region sicher zu stellen. Sich daraus regions- und betriebsbezogen ergebende wesentliche Elemente/Ziele sind z. B. ein angepasstes Düngemanagement v. a. auf Trockenstandorten, um eine ausreichende Nährstoffversorgung sicher zu stellen und Auswaschungsprozessen vorzubeugen oder angepasste Bodenbearbeitungsverfahren, um Erosion möglichst zu verhindern und den Bodenwasserhaushalt positiv zu beeinflussen, u. v. m.

Für eine sinnvolle Anpassungsstrategie auf Betriebsebene ist daher ein umfassendes betriebliches Risikomanagement notwendig, um die bestehenden und möglichen zukünftigen Betroffenheiten aufzuzeigen, die sich zukünftig ggf. ergebenden Risiken zu analysieren, die notwendigen Anpassungsmaßnahmen erarbeiten zu können und so zu einer steigenden Robustheit der Systeme unter veränderten Randbedingungen beizutragen.

Literaturnachweise, Abbildungs-, Tabellen-, Abkürzungsverzeichnis



Literaturnachweise

- Albert (2009): Anpassungsstrategien bei der Düngung an den Klimawandel. http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Albert_Klimatagung_19.3.2009.pdf
- Amerine, M. A. & A. J. Winkler, 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes, *Hilgardia*, 15, 493 – 675.
- Bernhofer, C., Matschullat, J., Bobeth, A. (Hrsg.) (2009): Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden.
- Bindi, M., L. Fibbi, B. Gozzini, S. Orlandini, and F. Miglietta (1996), Modeling the Impact of Future Climate Scenarios on Yield and Variability of Grapevine, *Clim. Res.* 7: 213 – 224.
- BMELV (2009): Das Erneuerbare-Energien- und das Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz – Daten und Fakten zu Biomasse. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin.
- BMELV (2012): Das Erneuerbare-Energien-Gesetz – Daten und Fakten zu Biomasse – Die Novelle 2012. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin.
- Branas, J., Bernon, G., and Levadoux, 1946. *Elements de viticulture generale*. Imp. Deham, Montpellier (France).
- Coombe & Dry 1988, 1989
- Brandl, J.R., L. Hodges, X. H. Zhou (2004): Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry Systems* 61, p. 65 – 78.
- Brückner, C.; Zschoche, E. (2012): Biogasproduktion in Sachsen – Aktuelle Hinweise für Landwirte. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- Chalmin, A. (2009): Produktionsaspekte in Agroforstsystemen mit Werthölzern – landwirtschaftliche Produktion. Kapitel 25 In: Reeg, T., A. Bemann, W. Konold, D. Murach, H. Spiecker (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Willey-VCH Verlag, Weinheim.
- Deutsches Weininstitut (2009): Die deutschen Weinanbaugebiete. www.deutscheweine.de
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010): <http://www.fao.org/docrep/x5327e/x5327e03.htm>
- Farack, K. & E. Albert (2011): Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter Berücksichtigung des Klimawandels. Schriftenreihe des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 12/2011.
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.) (2012a): Grafiken zum Energiepflanzenanbau in Deutschland. www.fnr.de à Mediathek.
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.) (2012b): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Regionalbroschüre Sachsen. www.fnr.de
- FNR, 2013: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland für die Jahre 2012/2013; <http://www.fnr.de/uploads/media/Tabelle-Anbau-NR-12-13.pdf>; 22.1.2014
- Fregoni, C. & S. Pezzutto (2000): Principe set premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni. *Progrès Agricole et Viticole*, 2000, 117 No. 18. Chaire de Viticulture – Université Catholique Sacro Cuore – Piacenza, Italy.
- Gladstones, J. (1992), *Viticulture and Environment*, Winetitles, Adelaide.
- Grünewald, H., T. Reeg (2009): Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland Kapitel 21. In: Reeg, T., A. Bemann, W. Konold, D. Murach, H. Spiecker (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Willey-VCH Verlag, Weinheim.
- Grunert, M. (2010a): Nachwachsende Rohstoffe – Rohstoffe und Verwertungsmöglichkeiten, ein Überblick. Faltblatt. LfULG 2010.
- Grunert, M. (2010b): Kurzumtriebsplantagen – Chancen für die REGKLAM-Region? 2. REGKLAM-Workshop ‚Landwirtschaft im Klimawandel‘. Groitzsch 03.12.2010. www.REGKLAM.de
- Grunert, M.; Becker, R. (2011): Schnellwachsende Baumarten – Anbau auf landwirtschaftlichen Flächen. Broschüre. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- Grünwald, J. & D. Zander (2010): Energiepflanzen zur Biogasproduktion. 2. REGKLAM-Workshop ‚Landwirtschaft im Klimawandel‘. Groitzsch 03.12.2010. www.REGKLAM.de
- Grünwald, J. (2012): Entwicklung der Biogasbranche und des Energiepflanzenanbaus zur Biogasproduktion in Sachsen. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.)(2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Regionalbroschüre Sachsen. www.fnr.de
- Handschack, M. (2010): Anbau von Tafeläpfeln unter Hagelnetz. Zwischenbericht LfULG.
- Handschack, M. (2011): Situation des Kernobstanbaus und speziell des Apfelanbaus in Sachsen. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/8589.htm>
- Handschack, M. (2013): Anbau von Tafeläpfeln unter Hagelnetz. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie., Heft 11/2013
- Hidalgo, L.; 2002: *Tratado de Viticultura General*. Ediciones Multi-Prensa. Madrid.
- Hiller, D. & A. Bräunig (2009): Regionalisierung Erosivität – Ableitung von R- und C-Faktoren. Projektbericht LfULG.
- Huglin, P., (1978): Nouveau mode d'évaluation des possibilités heliothermiques d'un milieu viticole, C. R. Academy of Agriculture in France (111726).
- Huglin, P. (1986): Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Viticulture*. Institut National de la Recherche Agronomique, Colmar, France.
- Jäkel, K. (2011): Wirtschaftlichkeit und Management der Bewässerung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft

- und Geologie. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/12666.htm>
- Jäkel, K. (2012): Bewässerung in Sachsen – Folgen des Klimawandels für die Bewässerung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/12666.htm>
 - Jones, G. V. (2007a): Climate Change: Observations, Predictions, and Potential Implications for the Wine Industry. Climate Change Science Conference. September 5 – 7, 2007.
 - Jones, G. V. (2007b): Spatial Changes in Global Viticulture Zones.
 - Jose, S., S. C. Allen, P. K. R. Nair (2008): Tree-Crop Interactions: Lessons from Temperate Alley Cropping Systems. In: Batish, D. R., R. K. Kohli, S. Jose, H. P. Singh (2008): Ecological Basics of Agroforestry. CRC Press, Boca Raton in USA
 - KBU – Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (2008): Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe. Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt.
 - Knittel et al. in Albert, 2009; http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Albert_Klimatagung_19.3.2009.pdf
 - Kolbe, H. (2009): Klimawandel und C-Sequestrierung – Auswirkungen differenzierter Land- und Bodenbewirtschaftung auf den C- und N-Haushalt der Böden unter Berücksichtigung konkreter Szenarien der prognostizierten Klimaänderung im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Heft 23/2009.
 - Kornmann, M., W. Schmidt & E. Müller (2008): Hochwasserschutz durch konservierende Bodenbearbeitung. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes Landwirtschaft. 16/2008.
 - KTBL (2006): Energiepflanzen – Datensammlung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
 - Kriehoff, G. (2010): Süßkirschanbau unter Überdachung. Zwischenbericht LfULG.
 - Kriehoff, G. (2011): Situation des Steinobstanbaus und speziell des Kirschanbaus in Sachsen. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/8586.htm>
 - Landakademie (2011): Kurs ‚Effiziente Bewässerung‘. www.landakademie.de
 - Lattauschke, G. (2009): Auswirkungen des projizierten Klimawandels und Anpassungsmöglichkeiten des Gartenbaus (Obst-, Gemüse- und Weinbaus) in Sachsen. In: LfULG (2009): Klimawandel und Landwirtschaft. Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel.
 - Lattauschke, G. (2011): Situation des Gemüsebaus in Sachsen. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/6275.htm>
 - Lattauschke, G. & H. Laber (2009): Optimierung der Anbauverfahren von in Sachsen bedeutsamen Industriegemüsearten. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 07/2009.
 - LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Bodenatlas Sachsen. www.smul.sachsen.de/lfulg.
 - LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009a): Sachsen im Klimawandel. Schriftenreihe des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/1308.htm>
 - LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009b): Klimawandel und Landwirtschaft – Fachliche Grundlagen für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Schriftenreihe des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11581>
 - LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2010a): Faltblatt nachwachsende Rohstoffe.
 - LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2010b): Anbauempfehlungen – schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb. Schriftenreihe des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13410>
 - LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011): Faltblatt Zwischenfrüchte.
 - Lorenz 2011a: Formulierung optimierter Anpassungsmaßnahmen des Ackerbaus an den Klimawandel hinsichtlich Sorten- und Düngungsstrategien, der Bestandesführung in Umsetzung des Pflanzenschutzreduktionsprogramms und nachhaltiger bodenschutzrelevanter Maßnahmen, [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=89](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1[tab]=89)
 - Lorenz 2011b: Erstellung eines Erosionsschutzkonzeptes für die ausgeprägten Hanglagen der Stadt Dresden sowie des relevanten Umlandes im Osterzgebirge und im nördlichen Umland Dresdens, [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=89](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1[tab]=89)
 - Lorenz 2011c: Anpassung von Anbaustrategien und – verfahren im Obstbau unter besonderer Beachtung von Hagelschutzmaßnahmen und deren betriebswirtschaftlicher Bewertung, [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=89](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1[tab]=89)
 - Lorenz 2011d: Erarbeitung von Sortenanbaustrategien des Weinbaus im Rahmen des Klimawandels im sächsischen Elbtal, [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=89](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1[tab]=89)
 - Lorenz 2012a: Wasser sparende, teilschlagbezogene Beregnungs- bzw. Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft und deren ökonomische Bewertung, [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=89](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1[tab]=89)
 - Lorenz 2012b: Prüfung alternativer Landnutzung durch den Anbau von speziellen Energiepflanzen sowie der stofflichen Nutzung landwirtschaftlicher Rohstoffe, [http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1\[tab\]=89](http://www.regklam.de/themen/land-und-forstwirtschaft/landwirtschaft/?tx_sbtabs_pi1[tab]=89)
 - Lorenz, M., Thiel, E. and Schonhart, M., 2012c. The choice of crop rotations as an important model input – a case study from Saxony. In: R. Seppelt, A. A. Voinov, S. Lange and D. Bankamp (Eds.), Proceedings of the International Congress on International Environmental Modelling and Software (iEMSs 2012) Leipzig, Germany.

- Lorenz, M., Fürst, C. and Thiel, E., 2013. A methodological approach for deriving regional crop rotations as basis for the assessment of the impact of agricultural strategies using soil erosion as example. *Journal of Environmental Management*, 127, S. 37 – 47. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.04.050.
- Marx, M. (2011): Erneuerbare Energien in Sachsen – Wo stehen wir?. Biogastagung am 06.10.2011 in Groitzsch.
- Mirschel, W., Wenkel, K.-O., Wieland, R., Luzi, K., Albert, E. & B. Köstner (2009c): Klimawandel und Ertragsleistung – Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsleistung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten im Freistaat Sachsen, eine landesweite regionaldifferenzierte Abschätzung. Schriftenreihe des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Heft 28/2009.
- Möndel, A., M. Brix, A. Chalmin (2009): Ökonomische Bewertung von Agroforstsystemen. In: Reeg, T., A. Bemann, W. Konold, D. Murach, H. Spiecker (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Willey-VCH Verlag, Weinheim.
- Murach, D., H. Hartmann, Y. Murn, M. Schultze, A. Wael, H. Röhle (2009): Standortbasierte Leistungsschätzung in Agrarholzbeständen in Brandenburg und Sachsen. In: Reeg, T., A. Bemann, W. Konold, D. Murach, H. Spiecker (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Willey-VCH Verlag, Weinheim.
- Nair, P. K. R (1993): An Intriduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands.
- Quinkenstein, A., C. Böhm, D. Freese, J. Wöllecke, H. Grünwald, B.U. Schneider, R. F. Hüttl (2008): Alley-Cropping – Ein klima-adaptierbares landnutzungssystem zur nachhaltigen Biomasseproduktion. *Forum der Forschung* 21, p. 131 – 138, BTU Cottbus Eigenverlag.
- REGKLAM – Konsortium (Hrsg.) (2013): Integriertes Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Region Dresden. Grundlagen, Ziele und Maßnahmen. REGKLAM-Publikationsreihe, Heft 7. Rhombos-Verlag, Berlin. ISBN: 978-3-944101-17-0.
- Riou, C., Morlat, R., Asselin, C., 1995. Une approche integree des terroirs viticoles. *Discussions sur les criteres de caracterisation accessibles*. *Bull. ON*, 68, (767 – 768), 93-106.
- Riou, C.; Becker, N.; Sotes-Ruiz, V.; Gómez-Miguel, V.; Carbonneau, A.; Panagiotou, M.; Calo, A.; Costacurta, A.; Castro De, R.; Pinto, A.; Lopes, C.; Carneiro, L.; Climaco, P. (1994): Le Déterminisme Climatique de la Maturation du Raisin: Application au Zonage de la Teneur en Sucre dans la Communauté Européenne. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg.
- Röhricht, C; Zander, D. (2008): Anbau und Nutzung von Energiehirse. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 2/2008.
- Röhricht, C.; Ruscher, K.; Grunert M. (2009): Energiepflanzen – Kurzkennzeichnung Halmgut- und Holzartiger Kulturarten zur Verbrennung oder Biogaserzeugung. Broschüre. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- Sacher, 2010: Sortenwahl sowie sorten- und standortabhängige Bestandesführung zur Risikominimierung. http://www.regklam.de/fileadmin/Daten_Redaktion/Veranstaltungen/04_Sacher_WS_TM331_30.03.2010.pdf
- SAENA – Sächsische Energieagentur (2012): Standorte von Bioenergieanlagen in Sachsen. www.saena.de
- Schindewolf, M. (2010): Erosion 3D Sachsen. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 09/2010.
- Schmidt, W. (2010): Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat – Wege zu einer bodenschonenden und wassersparenden Bewirtschaftung. REGKLAM-Workshop Nossen 30.03.2010
- Schob, A. (2008): Erosionsmodellierung im Einzugsgebiet des Baderitz-Stausees mit Hilfe des Modells EROSION 3D. Diplomarbeit. Uni Leipzig.
- Schöne, R. (2008): Evaluierung von Sorten zur Optimierung des Tafelapfelanbaus in Sachsen. Zwischenbericht LfULG.
- Schultz, H. R. (2000), Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide, and UV-B effects, *Aust. J. Grape and Wine Res.* 6: 2 – 12.
- Schultz, H.R & G.V. Jones (2008): Warnsignal Klima. GEO series4.
- Schultz, H.R., M. Hofmann & G. Jones (2009): Weinbau im Klimawandel: Regionen im Umbruch. DWD Klimastatusbericht 2009.
- Simota, C. (2008): Quantitative Assessment of some adaption measures to climate change for arable crops. University of Utrecht.
- SMUL – Sächsisches Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2011): Agrarbericht 2010. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/19192>
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten Juli 2007.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2011): Regionale Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010. <http://www.statistik.sachsen.de/>.
- Statistisches Bundesamt (2012): Maisanbauflächen in Deutschland. www.destatis.de
- Statistisches Landesamt Sachsen (2009a): Rebflächen im Weinanbaugebiet Sachsen.
- Statistisches Landesamt Sachsen (2009b): Baumobstanbau in Sachsen. <http://www.statistik.sachsen.de/html/508.htm>
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2011): Landwirtschaftszählung 2010 – Landwirtschaftliche Produktionsmethoden im Freistaat Sachsen C/LZ 2010 – 6. <http://www.statistik.sachsen.de/>.
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2011): Nutzung von landwirtschaftlichen Kulturen zur Biogasproduktion in Sachsen. www.statistik.sachsen.de.
- Stock, M., F. Badeck, F. W. Gerstengarbe, D. Hoppmann, T. Kartschall, H. Österle, P. C. Werner & M. Wodinski (2007): Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland (Klima 2050). PIK-Report 106.
- Stock, M. (2005), Klimaveränderungen fordern die Winzer – Bereitschaft zur Anpassung ist erforderlich; Geisenheimer Berichte, Band 57, 29 – 48.

- Tonietto, J.; 1999: Les Macroclimats Viticoles Mondiaux et l'Influence du Mésoclimat sur la Typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le Sud de la France: Méthodologie de Caractérisation. Thèse Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier.
- Strugale 2009: Landwirtschaft in der Region Dresden- Vom Umgang landwirtschaftlicher Betriebe mit der Unsicherheit. Diplomarbeit.
- Vetter, A.; Heiermann, M.; Toews, T. (2009): Anbausysteme für Energiepflanzen – optimierte Fruchtfolgen und effiziente Lösungen. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Vetter, A., M. Bärwolff (2010): Verbundprojekt AgroForstEnergie – Mischkulturen mit Energieholz. Agrarholz 2010. Symposium 18./19. Mai 2010 in Berlin.
<http://mediathek.fnr.de/agrarholz-2010-symposium-am-18-und-19-mai-2010-in-berlin.html>
- Vetter, A. (2009): Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
http://www.tll.de/ainfo/pdf/afs/afs07_09.pdf 22.10.2010
- Winkler, A., Cook, J., Kliewer, W.M., Lider, L.A., and LIDER L. A., 1962. General Viticulture. University of California press, 543.
- Winkler, B. et al: „Die landwirtschaftlichen Vergleichgebiete im Freistaat Sachsen“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1999
- Zehlius-Eckert, W., K. Eckstein, N. Reppin, A. Thömmes, H. Hoffmann, R. Unseld, T. Huber (2010): Agroforst in der europäischen Forschung – mit einem Schwerpunkt auf der ökologischen Nachhaltigkeit. Agrarholz 2010. Symposium 18./19. Mai 2010 in Berlin. <http://mediathek.fnr.de/agrarholz-2010-symposium-am-18-und-19-mai-2010-in-berlin.html>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Themenfelder bei der Ableitung von Klimaanpassungsstrategien im Pflanzenbau	8
Abbildung 2:	Vergleich der Flächenanteile in Sachsen mit den REGKLAM-Betrieben (2008).....	9
Abbildung 3:	Vergleich der Flächenanteile einzelner Kulturen in Sachsen mit den REGKLAM-Betrieben (2008).....	10
Abbildung 4:	Klimatische Veränderungen für die Region Dresden zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2005 (LfULG 2009a).....	12
Abbildung 5:	Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz für die REGKLAM-Region Dresden zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2005 (Bernhofer et al. 2010).....	13
Abbildung 6:	Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums in der REGKLAM-Region Dresden (LfULG 2008, Bodenatlas Sachsen).....	14
Abbildung 7:	Regional differenzierte Entwicklung der Erträge.....	15
Abbildung 8:	Ertragsentwicklung von Winterweizen für Sachsen von 1955 bis heute und eine Projektion mit dem Modell Yieldstat bis 2050 (LfULG 2009).....	16
Abbildung 9:	Sortenstrategien in Abhängigkeit der Flächen- bzw. Anbaugröße (Sacher 2010).....	18
Abbildung 10:	Vergleich der Erträge zwischen ‚Normalen‘ – und Spätsaatterminen am Beispiel des Winterweizens für Standorte in Sachsen und Sachsen-Anhalt (Sacher 2010).....	19
Abbildung 11:	Kornertrag in Abhängigkeit von der Saatstärke (Mittel über drei Jahre) am Beispiel Winterraps (Karalus in Sacher 2010).....	20
Abbildung 12:	Beispiel des Sortenspektrums für Winterweizen in den Landessortenversuchen (LSV) im Jahr 2010.....	21
Abbildung 13:	Agrarstrukturgebiete (oben) und Vergleichsgebiete (unten) in Sachsen	23
Abbildung 14:	Kulturartenanteile aller untersuchten Datensätze (in der REGKLAM-Region) (Lorenz 2011a).....	24
Abbildung 15:	Kulturartenverteilung in den Agrarstrukturgebieten/Vergleichsgebieten (ca. 7780 Schläge) (Lorenz 2011a).....	24
Abbildung 16:	Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen in den Agrarstrukturgebieten/Vergleichsgebieten (ca. 7780 Schläge), (Lorenz 2011a).....	26
Abbildung 17:	Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 1 (nördlicher Teil der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal) (Lorenz 2011a).....	27
Abbildung 18:	Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 2 und 3 (Mitte bis Südost der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, Lausitzer Platte, Elbsandsteingebirge) (Lorenz 2011a).....	28
Abbildung 19:	Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 4 und 5 (südlicher Teil der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, Erzgebirge und Erzgebirgsvorland) (Lorenz 2011a).....	28
Abbildung 20:	Anbauanteile der Vor- und Nachfrüchte zu/nach Winterweizen im VG 7 und 8 (Mitte West der REGKLAM-Region, siehe Abb. 14, Lößhügelland) (Lorenz 2011a).....	29
Abbildung 21:	Entwicklung der Anteile von Winterungen und Sommerungen an der Gesamtgetreidefläche in Sachsen im Vergleich zu Angaben aus Österreich (Lorenz 2011a).....	30
Abbildung 22:	Entwicklung der Anbauanteile von Wintergetreide in Sachsen (Lorenz 2011a).....	30
Abbildung 23:	Entwicklung der Anbauanteile von Sommergetreide in Sachsen (Lorenz 2011a).....	31
Abbildung 24:	Zusammenfassung der betrieblichen Ergebnisse zur Bodenbedeckung: Dauer nicht ausreichender Bodenbedeckung (Lorenz 2011b).....	34
Abbildung 25:	Erosionsgefährdung berechnet mit EROSION 3D für ein 10-jähriges Niederschlagsereignis (Schindewolf 2010).....	36
Abbildung 26:	Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser nach ABAG (LfULG 2008, Bodenatlas Sachsen).....	36
Abbildung 27:	Anteil der Kulturen zu denen Zwischenfrüchte angebaut werden (Lorenz 2011b).....	37
Abbildung 28:	Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu Mais auf die Wasserinfiltration (oben) und den Bodenabtrag (unten) in einem Regensimulationsversuch, Körnermais, 38 mm/20 min (Schmidt 2010).....	38
Abbildung 29:	Lage der Beispielstandorte	39
Abbildung 30:	Anbauverteilung und Bodenbearbeitung (links) und Erosionsrinnen (rechts) für Beispielgebiet 1 (Kornmann et al. 2008).....	40
Abbildung 31:	Erosion für das Gebiet und drei Szenarien (Kornmann et al. 2008)	40
Abbildung 32:	Erosionsrinnen und Bodenabtrag für Beispielgebiet 2 (Schob und Schmidt 2006).....	41
Abbildung 33:	Begrünung einer Hangrinne und Auswirkung auf den Bodenabtrag im Einzugsgebiet (Schob und Schmidt 2006).....	42

Abbildung 34:	Niederschlagsverteilung eines 100-jährigen Starkniederschlagsereignisses (Lorenz 2011b).....	42
Abbildung 35:	Untersuchungsflächen, links mit Grün- und Gehölzstreifen, rechts mit Schlagunterteilung (Lorenz 2011b).....	43
Abbildung 36:	Mittlerer Bodenabtrag der Gesamtfäche für unterschiedliche Szenarien (Lorenz 2011b).....	44
Abbildung 37:	Jährliche und kumulative P-Bilanz (oben) und K-Bilanz (unten) in Sachsen von 1960 – 2009 (Albert 2010).....	47
Abbildung 38:	Kalium-Düngewirkung auf den Kornertrag von Triticale bei zunehmendem Trockenstress (Albert 2010).....	48
Abbildung 39:	Winterweizenerträge in Abhängigkeit von der N-Applikation (Farack 2010), AZ = Ackerzahl; VB = Vegetationsbeginn, KAS = Kalkammonsalpeter.....	49
Abbildung 40:	Traditionelles und stabilisiertes Düngungssystem bei Wintergetreide (Albert 2009).....	51
Abbildung 41:	Mehrertrag von Winterweizen beim Einsatz stabilisierter Dünger zum Schossen (2. und 3. Gabe) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge im Mai/Juni und der Bodengüte (Knittel et al. in Albert, 2009).....	51
Abbildung 42:	Spannweite der C_{org} -Entwicklung der berechneten Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Abb. 50), D-Standort (2000 – 2050, Modell CANDY, Kolbe 2010).....	53
Abbildung 43:	Spannweite der C_{org} -Entwicklung der berechneten Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Abb. 50), Lö-Standort (2000 – 2050, Modell CANDY, Kolbe 2010).....	54
Abbildung 44:	Spannweite der C_{org} -Entwicklung der berechneten Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Abb. 50), V-Standort (2000 – 2050, Modell CANDY, Kolbe 2010).....	54
Abbildung 45:	Einfluss des Klimawandels auf die C_{org} -Gehalte des Bodens auf Verwitterungsböden der Vorgebirgslagen (V), Sand- (D) und Lössböden (Lö) in Sachsen bis zum Jahr 2050 (Kolbe 2010).....	55
Abbildung 46:	Kompensationsmöglichkeiten durch Änderung der Bewirtschaftung (Kolbe 2010).....	56
Abbildung 47:	Beispiele der Humusbilanzierung nach VDLUFA Methode (obere und untere Werte) und Standortangepasster Methode (Lorenz 2011a).....	57
Abbildung 48:	Behandlungsindex der Partnerbetriebe von 2003 bis 2009 nach Wirkungsbereichen (Lorenz 2011a).....	61
Abbildung 49:	Behandlungsindex der Partnerbetrieb getrennt nach Kulturen und Wirkungsbereichen (Lorenz 2011a).....	62
Abbildung 50:	Vergleich des Behandlungsindex der Partnerbetriebe für Winterweizen mit Angaben des JKI (Lorenz 2011a).....	62
Abbildung 51:	Vergleich des Behandlungsindex der Partnerbetriebe für Winterraps mit Angaben des JKI (Lorenz 2011a).....	63
Abbildung 52:	Obstanbaufläche Sachsen (StaLa 2009).....	67
Abbildung 53:	Gemüseanbaufläche im Freiland und unter Glas und Folie in Sachsen (StaLa 2009).....	68
Abbildung 54:	Messung der Bodenfeuchte und des Wasserverbrauchs (Saftstrom, Xylemfluss) (Handsack 2010).....	70
Abbildung 55:	Blattfläche und Baumertrag in Abhängigkeit des Fruchtbehangs mit und ohne Bewässerung (Handsack 2010).....	70
Abbildung 56:	Ertrag und Fruchtgewicht bei Pinova bei unterschiedlichen Bewässerungsstrategien (vgl. Abb. 60) (Handsack 2010).....	71
Abbildung 57:	Lage des Praxisbetriebes (Lorenz 2011c, oben), Wetterstation mit PAR-Sensor, Hagelnetzversuch Abblau unten, (Handsack 2010).....	72
Abbildung 58:	Gibt es 2010 Anzeichen von Alternanz? (oben); Verstärkt die Einnetzung den Fruchtfall? (unten) (Handsack 2010).....	73
Abbildung 59:	Hektarerträge 2008 – 2011 (oben); Ausfärbung 2009 – 2011 (unten) (Handsack 2013).....	74
Abbildung 60:	Lage des Praxisbetriebes (Lorenz 2011c, oben), und Überdachung von Sübkirschen (unten).....	76
Abbildung 61:	Lage des Praxisbetriebes in der REGKLAM-Region (Lorenz 2011c).....	79
Abbildung 62:	Weinanbaugebiete in Deutschland (DWI 2009).....	83
Abbildung 63:	Das sächsische Weinanbaugebiet in der REGKLAM-Region.....	84
Abbildung 64:	Rebsorten im Weinanbaugebiet Sachsen (Tränkner 2010, Weinbauverband Sachsen 2010).....	84
Abbildung 65:	Einteilung der Anbauwürdigkeit verschiedener Rebsorten anhand des Huglin-Index (Lorenz 2011d).....	86
Abbildung 66:	Huglin-Index und Niederschlag für Pillnitz und Dresden von 1991 – 2010 (Lorenz 2011d).....	87
Abbildung 67:	Veränderung des Huglin-Index und des Niederschlages bei einer mittleren Temperaturerhöhung von 2 °C und einem Niederschlagsrückgang um 10% bis 2050 für Dresden (Lorenz 2011d).....	88
Abbildung 68:	Veränderung des Huglin-Index von 1960 – 2050 für die Weinbauregionen Rheingau (Stock et al. 2007).....	89
Abbildung 69:	Veränderung des Huglin-Index von 1960 – 2050 für die Weinbauregionen Pfalz (Stock et al. 2007).....	90
Abbildung 70:	Huglin-Index für die Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten in Europa (Simota 2008).....	91
Abbildung 71:	Huglin-Index in Europa 2050 im Vergleich zu den beobachteten Werten des Jahres 2000. Die Simulationen basieren auf dem A1F1 Szenario (+1,6 °C bis 2050) (Stock et al. 2005).....	92
Abbildung 72:	Bewertung der Anbaueignung unterschiedlicher Rebsorten über mittlere Temperatur der Vegetationsperiode (01.04. – 31.10.), links: für zwei Stationen in Sachsen (Mittelwert und Spannweite 1991 – 2010) (Lorenz 2010), rechts: für die Entwicklungen im Rheingau 1885 – 2050 (inkl. der Extremjahre 2003 und 2006 (Jones 2007)) basieren auf dem A1F1 Szenario (+1,6 °C bis 2050) (Stock et al. 2005).....	93
Abbildung 73:	Veränderung der mittleren Temperatur der Vegetationsperiode auf der Nord- (oben) und Südhalbkugel (unten) zwischen 1999 (links) und 2049 (rechts) (Jones 2007).....	94

Abbildung 74:	Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von der Hangneigung bei unterschiedlichen Niederschlägen (Berthold 1994).....	95
Abbildung 75:	Einfluss steigender Temperaturen auf einige Weininhaltsstoffe (Schultz und Jones 2008)	95
Abbildung 76:	Potenziell bewässerbare landwirtschaftliche Freilandfläche (StaLa 2011, aus Jäkel 2011).....	98
Abbildung 77:	Bewässerte landwirtschaftliche Freilandfläche im Jahre 2009 in Sachsen (StaLa 2011, aus Jäkel 2011).....	98
Abbildung 78:	Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe mit Bewässerung nach Kulturen (StaLa 2011, aus Jäkel 2011).....	99
Abbildung 79:	Menge an Bewässerungswasser für landwirtschaftliche Flächen nach Herkunft (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)	99
Abbildung 80:	Landwirtschaftliche Betriebe mit Bewässerung auf Freilandflächen nach Bewässerungsverfahren (StaLa 2011, aus Jäkel 2011)	100
Abbildung 81:	Bewässerungsverfahren im Freiland nach DIN 19655 (1996).....	101
Abbildung 82:	Übersicht über die Kostenpositionen eines Bewässerungssystems (Landakademie 2011)	103
Abbildung 83:	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Sachsen (Marx 2011)	113
Abbildung 84:	Anzahl der Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in Sachsen 2010 (+/- Veränderung zum Vorjahr).....	113
Abbildung 85:	Übersicht der Kombinationsmöglichkeiten eines AFS mit Dominanz der Feldkulturen, nach Zehlius-Eckhart et al. (2010)	124
Abbildung 86:	Veränderungen für die Ackerkultur im Mikroklima auf der Wind abgewandten Seite, durch die Anlage von Baumreihen quer zur Hauptwindrichtung. (nach Quinkenstein et al. 2008).	126
Abbildung 87:	Veränderungen verschiedener Randbedingungen mit Abstand von der Baumreihe und der Windrichtung (Schwabe 2005, nach Schulte 1993, Buchner 1999).....	127
Abbildung 88:	Energieholzproduktion – Einordnung in die Landwirtschaft (ergänzt nach Grunert 2010b)	128
Abbildung 89:	Kurzumtriebsplantagen Standorte in Sachsen (Praxis- und Versuchsflächen; Grunert 2010b)	129

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Veränderung der klimatischen Wasserbilanz in der REGKLAM-Region Dresden bis 2050 (LfULG, 2009b).....	13
Tabelle 2:	Untersuchte Szenarien.....	43
Tabelle 3:	Nährstoff- und Humusbilanzen ausgewählter Schläge in REGKLAM-Partnerbetrieben (Lorenz 2011a).....	46
Tabelle 4:	Ursachen sichtbarer Wachstumsminierungen bei landwirtschaftlichen Pflanzenarten (250 Praxisflächen) (Zorn & Schröter 2009).....	48
Tabelle 5:	Vor- und Nachteile der Injektionsdüngung (Farack 2010).....	49
Tabelle 6:	Anpassungsmaßnahmen und Umsetzungsinstrumente nach Lattauschke (2009).....	69
Tabelle 7:	Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Obstbau (Lattauschke 2009).....	70
Tabelle 8:	Bewässerungsvarianten 2009 (Handschack 2010).....	71
Tabelle 9:	Vor- und Nachteile der Nutzung eines Hagelnetzes nach Handschack (2013).....	75
Tabelle 10:	Ernteergebnisse von 'Regina' auf 'Gisela' 5 2007 – 2012 mit und ohne Regenschutzüberdachung (Überdachung ab 2008, Krieghoff 2013).....	77
Tabelle 11:	Ernteergebnisse von 'Sylvia' auf 'Gisela' 5 2007 – 2012 mit und ohne Regenschutzüberdachung (Überdachung ab 2008, Krieghoff 2013).....	77
Tabelle 12:	Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Gemüse- und Erdbeerenanbau (Lattauschke 2009).....	78
Tabelle 13:	Investitionskosten: Kosten zur Erschließung von ca. 3.000 ha Bewässerungsfläche (Lorenz 2011c).....	79
Tabelle 14:	Variable Kosten der Bewässerung (mit Strom), (Lorenz 2011c).....	80
Tabelle 15:	Beispielrechnungen (Lorenz 2011c).....	80
Tabelle 16:	Durchschnittliche Kosten von Bewässerungsanlagen im Vergleich (Landakademie 2011).....	101
Tabelle 17:	Beispiel für eine Kostenübersicht bei der Planung einer Bewässerungsanlage (Jäkel 2011).....	104
Tabelle 18:	Bewässerung von Kartoffeln (Jäkel 2011).....	104
Tabelle 19:	Bewässerung von Winterweizen (Jäkel 2011).....	105
Tabelle 19:	Bewässerung von Zuckerrüben (Jäkel 2011).....	106
Tabelle 20:	Bewässerung von Silomais (Jäkel 2011).....	107
Tabelle 21:	Pflanzen und deren Verwendungen als nachwachsende Rohstoffe (LfULG 2010a).....	114
Tabelle 22:	Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland für die Jahre 2012/2013 (in Hektar) (FNR 2013).....	115
Tabelle 23:	Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen – Einjährige Kulturen (Grunewald 2012).....	116
Tabelle 24:	Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus in Sachsen – Mehrjährige Kulturen (Grunewald 2012).....	117
Tabelle 25:	Sommer- und Winterzwischenfrüchte mit Produktionstechnischen Daten, Anbaubedingungen und Hauptverwendungszweck (Grunewald 2012).....	120
Tabelle 26:	Maisanbaufläche in Deutschland nach Bundesländern und Nutzungsrichtung, Sortiert nach dem Anteil der Maisfläche an der jeweiligen Ackerfläche (Statistisches Bundesamt 2012, links), sowie Aufteilung nach der Nutzung (FNR 2012a, rechts) und Hauptverwendungszweck (Grunewald 2012).....	122
Tabelle 27:	Vor- und Nachteile von AFS bezüglich Gemengepartnern, Umwelt und Nutzer. (nach Batish et al. 2008, ergänzt nach Grunewald und Reeg 2009, und Zehlius-Eckert et al. 2010).....	125
Tabelle 29:	Eine Auswahl an Gehölzen als Überträger von Schaderregern nach Chalmin et al. (2009).....	127
Tabelle 30:	KUP aus Sicht der Bodenfruchtbarkeit.....	130

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Agroforstsysteme
ASG	Agrarstrukturgebiete
C _{org}	organischer Kohlenstoff
D-Standorte	Diluvial-Standorte
ER	Erbse
GPS	Ganzpflanzen-Silage
K	Kalium
KUP	Kurzumtriebsplantagen
Lö-Standorte	Löss-Standorte
LSV	Landessortenversuche
N	Stickstoff
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFK _{WE}	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums
ÖVF	ökologische Vorrangflächen
P	Phosphor
PSM	Pflanzenschutzmittel
PS	Pflanzenschutz
SG	Sommergerste
SM	Silomais
VG	Vergleichsgebiete
V-Standorte	Verwitterungs-Standorte
WG	Wintergerste
WR	Winterroggen
WRaps	Winterraps
WT	Wintertriticale
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe

**Herausgeber:**

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
Postfach 10 05 10, 01076 Dresden
Bürgertelefon: +49 351 564-6814
Telefax: +49 351 564-2059
E-Mail: info@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de

Redaktion:

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Gestaltung und Satz:

Heimrich & Hannot GmbH

Fotos:

Titel: Digitalpress, www.fotolia.com; Marco Lorenz; RTimages, www.fotolia.com; Deyan Georgiev, www.123rf.com | Seite 6: Arun Roisri, www.shutterstock.com | Seite 13: Bernhofer et al. 2010 | Seite 14, 15: LfULG | Seite 16: Digitalpress, www.fotolia.com | Seite 17: Marco Lorenz | Seite 18: Vasilyev Alexandr, www.shutterstock.com | Seite 19: RTimages, www.fotolia.com | Seite 20: WernerHilpert, www.fotolia.com | Seite 22: fotoVISION360, www.fotolia.com | Seite 23: LfULG; Kristina Postnikova, www.shutterstock.com | Seite 24, 25: laschi adrian, www.fotolia.com | Seite 26: Marco Lorenz; LfULG | Seite 27: Harald Biebel, www.fotolia.com | Seite 29: Mazuryk Mykola, www.123rf.com | Seite 32: Marco Lorenz | Seite 33: Peter38, www.fotolia.com | Seite 34: henryn0580, www.fotolia.com | Seite 35: Manuel Ribeiro, www.123rf.com | Seite 36: Schindewolf 2010 | Seite 36: LfULG | Seite 37: LfULG | Seite 39: Marco Lorenz | Seite 40: Kornmann et al. 2008 | Seite 41, 42: Schob und Schmidt 2006 | Seite 43: Marco Lorenz | Seite 45: LfULG | Seite 50: Marco Lorenz | Seite 52, 53: Susanne Frank | Seite 53: Carola Schubel, www.fotolia.com | Seite 55: mariok, www.123rf.com | Seite 57: klikk, www.fotolia.com | Seite 59: Marco Lorenz | Seite 60: Micha R, www.fotolia.com; MARGRIT HIRSCH, www.shutterstock.com; Christian Pedant, www.fotolia.com | Seite 63: PRILL, www.shutterstock.com | Seite 64: Chatchai Somwat, www.123rf.com | Seite 65: touwanda, www.fotolia.com; pzaxe, www.123rf.com | Seite 66: lophie, www.fotolia.com | Seite 70: Margitta Handschack | Seite 72: LfULG; Margitta Handschack | Seite 75, 76: Marco Lorenz | Seite 78: Smileus, www.fotolia.com | Seite 79: LfULG | Seite 81: Marco Lorenz | Seite 82: Robert Kneschke, www.shutterstock.com | Seite 84: A. Olfert, S. Witschas | Seite 86: Rico K., www.fotolia.com | Seite 87: DOC RABE Media, www.fotolia.com | Seite 88: Marco Lorenz | Seite 89, 90: Stock et al. 2007 | Seite 91: Simota 2008 | Seite 92: Stock et al. 2005; AndreasJ, www.fotolia.com | Seite 94: Jones 2007 | Seite 96: Deyan Georgiev, www.123rf.com | Seite 97: Dusan Kostic, www.123rf.com; LfULG | Seite 102: LfULG | Seite 106: ExQuisine, www.fotolia.com | Seite 108: Dusan Kostic, www.fotolia.com | Seite 109: galam, www.fotolia.com | Seite 110: Luis Eduardo Varela Solari, www.123rf.com; Cecilia Lim, www.fotolia.com | Seite 111: Pavlo Loushkin, www.123rf.com | Seite 112: Songsak Paname, www.123rf.com | Seite 114: Wolfgang Zwanzger, www.123rf.com | Seite 118: Irina Borsuchenko, www.123rf.com; alein, www.123rf.com | Seite 122: Zhang Xiangyang, www.123rf.com | Seite 124: Ying Feng Johansson, www.123rf.com | Seite 125: LianeM, www.fotolia.com | Seite 126: lianem, www.123rf.com | Seite 133: maldesowhat, www.fotolia.com | Seite 134: Benicce, www.fotolia.com | Seite 135: Frank Bach, www.shutterstock.com | U4: Frank Bach, www.shutterstock.com; Luis Eduardo Varela Solari, www.123rf.com

Druck:

Lößnitz-Druck GmbH

Redaktionsschluss:

24. März 2014

Auflagenhöhe:

1.000 Exemplare

Papier:

Gedruckt auf 100 % Recycling-Papier

Bezug:

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 2103671
Telefax: +49 351 2103681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdruckes von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Diese Broschüre beruht auf Ergebnissen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Vorhabens REGKLAM (Entwicklung und Erprobung eines integrierten regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden). Die hier dargestellten Ergebnisse entstammen dem Modul 3.3 „Landnutzung“. Weitere Ergebnisse finden Sie unter www.regklam.de.

