

# Klimafolgenstudie 2012

## Landwirtschaft



Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels  
in Sachsen-Anhalt



**SACHSEN-ANHALT**

Landesamt für Umweltschutz



# Klimafolgenstudie 2012

Landwirtschaft

## Bericht zur Untersuchung der Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt  
unter fachlicher Begleitung des  
Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Berichte des  
Landesamtes für Umweltschutz  
Sachsen-Anhalt

2013 – Heft 7

*In dieser Schriftenreihe erscheinen folgende Bände mit den Ergebnissen der beiden Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt:*

Die Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt Kurzfassungen der Studien 2009 und 2012	<b>Heft 2/ 2013</b>
Vulnerabilitätsstudie 2009 Bericht	<b>Heft 3/ 2013</b> (Band 1)
Vulnerabilitätsstudie 2009 Anhang	<b>Heft 3/ 2013</b> (Band 2)
Klimafolgenstudie 2012: Klimadiagnose und Klimaprojektion, Extremereignisse	<b>Heft 4/ 2013</b>
Klimafolgenstudie 2012: Wasser Bericht	<b>Heft 5/ 2013</b> (Band 1)
Klimafolgenstudie 2012: Wasser Folgeuntersuchungen	<b>Heft 5/ 2013</b> (Band 2)
Klimafolgenstudie 2012: Naturschutz	<b>Heft 6/ 2013</b>
Klimafolgenstudie 2012: Landwirtschaft	<b>Heft 7/ 2013</b>
Klimafolgenstudie 2012: Forstwirtschaft	<b>Heft 8/ 2013</b>
Klimafolgenstudie 2012: Anpassungsmaßnahmen	<b>Heft 9/ 2013</b>





## Vorwort

Die Anpassung an den Klimawandel ist neben dem Klimaschutz die zweite Säule der Klimapolitik in Sachsen-Anhalt. Nach Einschätzung der großen Mehrheit von Wissenschaft und Politik ist der Klimawandel trotz aller Bemühungen um den Klimaschutz nicht aufzuhalten. Das belegen auch die in zwei Studien erhobenen Daten und Szenarien für Sachsen-Anhalt. Das Klima in unserem Bundesland wird sich voraussichtlich regional in unterschiedlicher Weise ändern. Folglich müssen auch die Auswirkungen auf verschiedene Landesteile und Sektoren differenziert betrachtet werden. Nur ein überlegtes Handeln in Gegenwart und Zukunft erspart vermeidbare, durch den Klimawandel verursachte Kosten. Deshalb wurde im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 2009 eine Studie zum Klimawandel in Sachsen-Anhalt und der Verletzlichkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels (**Vulnerabilitätsstudie**) durchgeführt. 2012 wurden in einer weiteren Studie (**Klimafolgenstudie 2012**) die Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse, mit einem besonderen Fokus auf Extremereignisse, fortgeschrieben. Die Ergebnisse beider Studien sollen nun für die breite Öffentlichkeit zugänglich gemacht und deshalb in dieser Schriftenreihe publiziert werden.

Halle, 01.03.2013



Klaus Rehda  
Präsident



Abschlussbericht

# **Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt**

## **Los 2: Landwirtschaft**

Halle Oktober 2012

Bearbeiter:

Dr. Cornelia Deimer  
Landgesellschaft Sachsen-Anhalt GmbH  
Große Diesdorfer Straße 56/57  
39110 Magdeburg  
Tel.: 0345-6911123  
e-mail: deimer.c@lgsa.de

Dr. Michael Steininger  
Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz  
Ellen-Weber-Straße 98  
06120 Halle/Saale  
Tel.: 0345-5505764  
e-mail: m.steininger@bodensachverstaendige.de

Halle (S.), 30.11.2012



**Inhaltsverzeichnis**

Seite

1.	Aufgabenstellung .....	7
2.	Methodische Vorgehensweise .....	8
3.	Datengrundlagen.....	14
4.	Standortkundliche Charakterisierung der landwirtschaftlich genutzten Fläche Sachsen-Anhalts .....	15
5.	Ergebnisse Modellprüfung und Validierung .....	22
5.1	Überprüfung und Anpassung des Modells für die Standort- und Anbaubedingungen verschiedener Versuchsstandorte .....	22
5.1.1	Datengrundlagen.....	22
5.1.2	Ergebnisse Modellvalidierung für die landwirtschaftlichen Versuchsstationen Sachsen-Anhalts.....	26
5.2	Validierung des Modells auf Schlägebene unter Nutzung von Daten aus Versuchen.....	36
5.2.1	Datengrundlagen .....	36
5.2.2	Ergebnisse Modellvalidierung für die Bodendauerbeobachtungsflächen Sachsen-Anhalts.....	42
5.3	Validierung des Modells auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete .....	53
5.3.1	Datengrundlagen.....	53
5.3.2	Ergebnisse Modellvalidierung für landwirtschaftliche Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalts.....	54
5.4	Validierung des Modells auf Kreisebene unter Nutzung von Ertragsdaten aus der Kreis- und Landesstatistik.....	60
5.4.1	Datengrundlagen .....	60
5.4.2	Ergebnisse Modellvalidierung für ausgewählte Landkreise Sachsen-Anhalts .....	61
5.5	Vergleich der mit dem Modell geschätzten Erträge zum einen berechnet mit den realen Klimadaten und zum anderen berechnet mit den Szenario-Daten aus WETTREG .....	64
5.5.1	Datengrundlagen .....	64
5.5.2	Ergebnisse des Modellvergleichs reale Klimadaten mit WETTREG2010-Simulationen für den Zeitraum 1971 bis 2000 anhand von Referenzeinzugsgebieten .....	65
5.6	Fazit der Modellprüfung und Validierung .....	67
6.	Simulations- und Szenario-Berechnung unter Einbeziehung der Trendvorgaben bezüglich CO <sub>2</sub> , Züchtungserfolge, Bodenbearbeitung und Zusatzwasserbedarf für Sachsen-Anhalt sowie die abgegrenzten Boden-Klima-Regionen (Landwirtschaftliche Vergleichsgebiete) mit den WETTREG2010-Daten für die 3 Prognosezeiträume .....	68
6.1	Datengrundlagen .....	68
6.2	Ergebnisse Simulations- und Szenario-Berechnung.....	79
7.	Zusammenfassung .....	92
8.	Literatur.....	94



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Prinzipschema der Ertragsschätzung nach KINDLER (1992) und der Weiterentwicklung durch MIRSCHEL et al. (2003, 2006).....	9
Abb. 2:	Bildung von Flächentypen für verschiedene Standortparameter .....	16
Abb. 3:	Bodenentstehung landwirtschaftlicher Böden Sachsen-Anhalts .....	18
Abb. 4:	Bodenwasserregime der landwirtschaftlichen Böden Sachsen-Anhalts.....	19
Abb. 5:	Bodenbonität der Ackerböden Sachsen-Anhalts, abgeleitet aus der Bodenzahl der Bodenschätzung (Karte der Bodengüte in den Klassen n. Diemann, 1993; LLFG) ..	20
Abb. 6:	Hangneigungsverhältnisse der landwirtschaftlichen Nutzfläche Sachsen-Anhalts. ..	21
Abb. 7:	Lage der landwirtschaftlichen Versuchsstation Sachsen-Anhalts und Zuordnung .. der Klimastationen der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt.....	23
Abb. 8:	Vergleich der Versuchsdaten Silomais der Station Iden mit den Schätzergebnissen .....	26
Abb. 9:	Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Beetzendorf mit den Schätzergebnissen .....	27
Abb. 10:	Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Beetzendorf mit den Schätzergebnissen .....	28
Abb. 11:	Vergleich der Versuchsdaten Winterroggen der Station Beetzendorf mit den Schätzergebnissen .....	28
Abb. 12:	Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Magdeburg mit den Schätzergebnissen .....	29
Abb. 13:	Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Magdeburg mit den Schätzergebnissen .....	30
Abb. 14:	Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Hayn mit den Schätzergebnissen .....	31
Abb. 15:	Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Hayn mit den Schätzergebnissen .....	31
Abb. 16:	Vergleich der Versuchsdaten Winterroggen der Station Hayn mit den Schätzergebnissen .....	32
Abb. 17:	Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Walbeck mit den Schätzergebnissen .....	33
Abb. 18:	Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Walbeck mit den Schätzergebnissen .....	33
Abb. 19:	Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Gadegast mit den Schätzergebnissen .....	34
Abb. 20:	Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Gadegast mit den Schätzergebnissen .....	35
Abb. 21:	Vergleich der Versuchsdaten Winterroggen der Station Gadegast mit den Schätzergebnissen .....	35
Abb. 22:	Gegenwärtiger Stand des BDF-Programms Sachsen-Anhalt.....	37



Abb. 23:	Übersicht zur Nutzung der Bodendauerbeobachtungsflächen für die Modellvalidierung.....	40
Abb. 24:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Querstedt mit den Schätzergebnissen .....	43
Abb. 25:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Senst mit den Schätzergebnissen .....	43
Abb. 26:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Clossa mit den Schätzergebnissen .....	44
Abb. 27:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Plötzkau mit den Schätzergebnissen .....	44
Abb. 28:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Brücken mit den Schätzergebnissen .....	45
Abb. 29:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Ladeburg mit den Schätzergebnissen .....	45
Abb. 30:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Biere mit den Schätzergebnissen.....	46
Abb. 31:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Rodersdorf mit den Schätzergebnissen .....	46
Abb. 32:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Kleinwanzleben mit den Schätzergebnissen	47
Abb. 33:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Cattau mit den Schätzergebnissen.....	47
Abb. 34:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Leimbach mit den Schätzergebnissen.....	48
Abb. 35:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Eilenstedt mit den Schätzergebnissen .....	48
Abb. 36:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Drübeck mit den Schätzergebnissen.....	49
Abb. 37:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Polleben mit den Schätzergebnissen .....	49
Abb. 38:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Lettowitz mit den Schätzergebnissen .....	50
Abb. 39:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Schwanefeld mit den Schätzergebnissen.....	50
Abb. 40:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Siptenfelde mit den Schätzergebnissen .....	51
Abb. 41:	Vergleich der Ertragsdaten der BDF Löberitz mit den Schätzergebnissen .....	51
Abb. 42:	Lage der landwirtschaftlichen Vergleichsgebieten Schritt 3 und zugeordnete Klimastationen .....	54
Abb. 43:	Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Mittlere Altmarkplatten` .....	56
Abb. 44:	Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Lössebene der nördlichen Börde` .....	57
Abb. 45:	Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche` .....	58
Abb. 46:	Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung` .....	59
Abb. 47:	Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Unter- und Mittelharz` .....	60
Abb. 48:	Lage der Landkreise Schritt 4 und zugeordnete Klimastationen .....	61
Abb. 49:	Vergleich der statistischen Kreiserträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für den Landkreis Stendal .....	62
Abb. 50:	Vergleich der statistischen Kreiserträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für den Burgenlandkreis .....	63
Abb. 51:	Lage der Referenzgebiete .....	64



Abb. 52:	Vergleich der realen Klimatischen Wasserbilanz mit den Realisierungen aus WETTREG2010 im Zeitraum 1971 bis 2000 am Beispiel des Einzugsgebietes der Aller.....	66
Abb. 53:	Landwirtschaftliche Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalt (Bezeichnung lt. Tab. 11)	69
Abb. 54:	Bodenwasserspeichervermögen in der durchwurzelbaren Schicht für landwirtschaftlich genutzte Standorte Sachsen-Anhalts.....	76
Abb. 55:	Veränderung der Niederschläge 2071-2100 im Vergleich zur Referenzsituation (Median der 10 WETTREG2010-Realisierungen) für die einzelnen LVG und Nutzungsarten (Quelle: PFÜTZNER et al., 2012).....	79
Abb. 56:	Veränderung der KWB 2071-2100 im Vergleich zur Referenzsituation (Median der 10 WETTREG2010-Realisierungen) für die einzelnen LVG und Nutzungsarten (Quelle: PFÜTZNER et al., 2012).....	80
Abb. 57:	Übersicht der relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 für die Landesfläche Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	81
Abb. 58:	Erträge für das Land Sachsen-Anhalt als Mittel der 10 Realisierungen des WETTREG2010 - A1B-Referenzzeitraumes 1971-2000.....	83
Abb. 59:	Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von Silomais für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	84
Abb. 60:	Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von Sommergerste für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	85
Abb. 61:	Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von Wintergerste für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	86
Abb. 62:	Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von Winterraps für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	87
Abb. 63:	Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von Winterroggen für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	88
Abb. 64:	Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von Winterweizen für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	89



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht der Vegetationsperioden zur Ableitung der fruchtartenspezifischen Klimatischen Wasserbilanzen ( *) Quelle: MIRSCHEL et al., 2009) .....	9
Tab. 2:	Fruchtartenabhängige Hauptwachstumsphasen zur Berücksichtigung für die Ermittlung der ertragswirksamen Wasserversorgung sowie der ertragswirksamen Temperaturphasen ( *) Quelle: MIRSCHEL et al., 2009) .....	10
Tab. 3:	Datengrundlagen .....	14
Tab. 4:	Kurzcharakteristik der landwirtschaftlichen Versuchsstationen Sachsen-Anhalts ...	22
Tab. 5:	Übersicht Sortenversuche Sachsen-Anhalt (durchgeführte Untersuchungen grau hinterlegt) .....	24
Tab. 6:	Auswertung der Bodendauerbeobachtungsflächen hinsichtlich Nutzbarkeit der Daten zur Ertragsabschätzung (grün = Modellfruchtart Vorgabe, orange = landwirtschaftliche Nutzung, keine Modellfruchtart, rot = keine Ertragserfassung bzw. keine landwirtschaftliche Nutzfläche) .....	38
Tab. 7:	Zuordnung der Klimastationen der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt zu den ausgewählten BDF .....	41
Tab. 8:	Standortcharakteristika der ausgewählten landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete.	53
Tab. 9:	Übersicht der Standortheterogenität in den ausgewählten landwirtschaftlichen Vergleichsgebieten .....	55
Tab. 10:	Vergleich der Modellerträge Real-Klima und WETTREG2010-Simulation als Mittelwerte der Zeitreihe 1971 bis 2000.....	66
Tab. 11:	Übersicht der Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalts .....	70
Tab. 12:	Modell-Input Ertragssteigerungen durch CO <sub>2</sub> -Düngeeffekt .....	72
Tab. 13:	Modell-Input Ertragssteigerungen durch Züchtungserfolge .....	73
Tab. 14:	Ausweisung der mittleren Unter- bzw. Überschreitung von pflanzenphysiologisch relevanten Bodenwasserverhältnissen für repräsentative Böden Sachsen-Anhalts im Referenz- sowie den 3 Prognosezeiträumen .....	77
Tab. 15:	Spezifizierung des Zusatzwasserbedarfs in Abhängigkeit der Bodenwasserverhältnisse .....	78
Tab. 16:	Höhe der jährlichen Zusatzwassergaben in mm.....	78

## Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Modellergebnisse Referenz- und Prognosezeiträume - Rahmenbedingungen wie 1971 bis 2000
- Anlage 2: Modellergebnisse Referenz- und Prognosezeiträume unter Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes
- Anlage 3: Modellergebnisse Referenz- und Prognosezeiträume unter Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes und des Züchtungseffektes
- Anlage 4: Modellergebnisse Referenz- und Prognosezeiträume unter Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes, der Züchtung und wassersparender Bodenbearbeitungssysteme
- Anlage 5: Modellergebnisse Referenz- und Prognosezeiträume unter Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes, der Züchtung, wassersparender Bodenbearbeitungssysteme und Zusatzwasser



## 1. Aufgabenstellung

Die Bearbeitung des Loses 2 `Landwirtschaft` verfolgt innerhalb des Gesamtvorhabens `Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt` das Ziel, die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die Ertragsentwicklung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten standortdifferenziert zu quantifizieren. Hierbei werden langfristige Klimaänderungen berücksichtigt. Witterungsbedingte Ertragsschwankungen in Einzeljahren werden hingegen nicht abgebildet. Bei den abzubildenden Fruchtarten handelt es sich um die landwirtschaftlichen Leitkulturen Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterraps, Sommergerste und Silomais, anhand deren Entwicklungstrends Rückschlüsse auf andere Fruchtarten gezogen werden können. Die Abschätzung der Ertragsentwicklung erfolgt somit ausschließlich für Ackerstandorte. Grundlage für die Abbildung des Klimawandels bildet das Klimaszenario WETTREG2010 A1B in den Prognosezeiträumen 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100. Zum Vergleich wird der Referenzzeitraum 1971 bis 2000 herangezogen. In den Prognosezeiträumen wird die Ertragsentwicklung unter Zugrundelegung von Trends, die sich aus dem Einfluss des Züchtungstrends, der Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes und des Einflusses der Bodenbearbeitung ergeben, in unterschiedlichen Raumskalen (Landesebene und differenzierte landwirtschaftliche Vergleichsgebiete) ermittelt. Ein weiteres Trendszenario bilden der Zusatzwasserbedarf zur Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion vor dem Hintergrund des Klimawandels und die daraus resultierenden Auswirkungen auf das Ertragsniveau.

Der Ertragsprognose vorgeschaltet ist eine mehrstufige Prüfung und Validierung des Modells ausgehend von der Schlag- bis hin zur Landkreisebene, was die schrittweise Übertragung von Punktergebnissen in die Fläche und Validierung sowie räumliche und faktorenspezifische Anpassung der modellinternen Korrekturfaktoren zulässt.

Entsprechend dieser Vorgehensweise erfolgt die Bearbeitung in 6 Schritten,

Folgende Arbeitsschritte werden umgesetzt:

- Schritt 1: Überprüfung und Anpassung des Modells für die Standort- und Anbaubedingungen verschiedener Versuchsstandorte
- Schritt 2: Validierung des Modells auf Schlagebene unter Nutzung von Daten aus Versuchen
- Schritt 3: Validierung des Modells auf Gemarkungsebene
- Schritt 4: Validierung des Modells auf Kreisebene unter Nutzung von Ertragsdaten aus der Kreis- und Landesstatistik
- Schritt 5: Vergleich der mit dem Modell geschätzten Erträge, zum einen berechnet mit den realen Klimadaten und zum anderen berechnet mit den Szenario-Daten aus WETTREG2010
- Schritt 6: Simulations- und Szenario-Berechnung unter Einbeziehung der Trendvorgaben bezüglich CO<sub>2</sub>, Züchtungserfolge und Bodenbearbeitung für Sachsen-Anhalt sowie die abgegrenzten Boden-Klima-Regionen (Vergleichsgebiete) mit den WETTREG2010-Szenario-Daten für die 3 Prognosezeiträume



## 2. Methodische Vorgehensweise

Für das vorliegende Vorhaben wird der Modellansatz zur Ertragsschätzung nach KINDLER (1992) sowie dessen Weiterentwicklung durch MIRSCHEL et al. (2003, 2006) herangezogen. Diese Modellansätze wurden u. a. auch in das Modell YIELDSTAT des ZALF Müncheberg implementiert.

Das Verfahren stellt einen Hybridansatz aus standortabhängigen Algorithmen, standortspezifischen Ertragstermen und statischen Trendanalysen dar. Zur Berücksichtigung des Einflusses des CO<sub>2</sub>-Düngungseffektes auf die Ertragsbildung werden einfache Algorithmen aus dem FACE-Experiment des Johann Heinrich von Thünen-Instituts Braunschweig (SCHALLER und WEIGEL, 2007) genutzt.

Als Merkmale für die Abbildung des Standortes innerhalb des Modells gehen die Standortfaktoren Höhenlage, Hydromorphie, Acker- und Grünlandzahl, wachstumswirksame Temperaturen in fruchtartenabhängigen Wachstumsphasen sowie die Klimatische Wasserbilanz ein.

Das Modell selbst basiert auf den Arbeiten zur Auswertung der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK), dem bodenkundlichen Informationssystem für die Landwirtschaft der DDR, die federführend durch SCHMIDT und DIEMANN (1991) geführt wurden. Für die Standorttypen der MMK wurden ausgehend von langjährigen Erhebungen aus der landwirtschaftlichen Praxis für die wichtigsten Fruchtarten die standortunabhängigen Naturalerträge ermittelt und fruchtartspezifische relative Ertragsmatrizen in Form von Relativerträgen erstellt. Die Naturalerträge sind bei KINDLER (1992) für die einzelnen Standorttypen der MMK aufgeführt und in den Gemeindedatenspeicher GEMDAT, dem ehemaligen Landwirtschaftsdatspeicher der DDR, auf Gemeindeebene nach dem Ansatz von THIÈRE et al. (1991) aggregiert.

Als standortspezifische und standortdifferenzierende Ertragsterme kommen Korrekturalgorithmen für Zu- und Abschläge zur Anwendung, die die spezifischen Standortfaktoren Hangneigung, Steinigkeit, Höhenlage, Hydromorphie, Ackerzahl, Klimazone, wachstumswirksame Temperatur, Temperatur im Winter (Dezember-Februar) sowie die Klimatische Wasserbilanz (KWB) während des Vegetationsjahres und der Hauptwachstumsphase abbilden. Ein wichtiges Kriterium hierfür ist die Klimazonierung der östlichen Bundesländer nach ADLER (1987).

Der Trend aus Züchtung und Bearbeitung wurde anhand von Ergebnissen einer Literaturrecherche zum Entwicklungstrend seit 1990 in Absprache mit der landwirtschaftlichen Fachbehörde Sachsen-Anhalt definiert.



Aus der beschriebenen Vorgehensweise ergibt sich folgendes Ablaufschema:

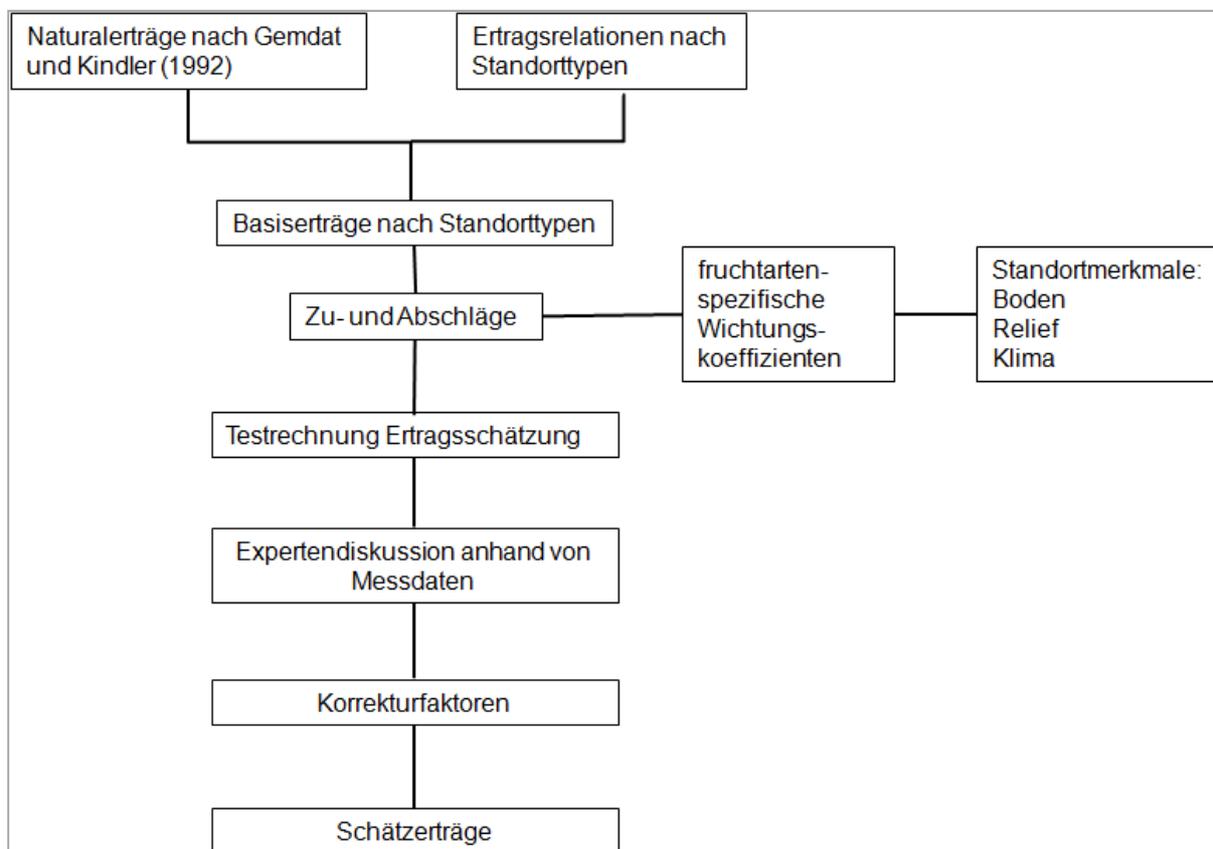


Abb. 1: Prinzipschema der Ertragsschätzung nach KINDLER (1992) und der Weiterentwicklung durch MIRSCHEL et al. (2003, 2006)

Den Arbeiten vom MIRSCHEL et al. (2009) entsprechend, wird entgegen der Vorgehensweise von KINDLER (1992), die die Auswirkung der standortspezifischen Wasserversorgung auf den Ertrag der Pflanzenbestände anhand der die Klimatische Wasserbilanz (KWB) des Kalenderjahres ableitet, eine fruchtartenspezifische KWB, die die Vegetationsperiode der jeweiligen Fruchtart berücksichtigt, verwendet. Diese sind in Tab. 1 aufgeführt.

Tab. 1: Übersicht der Vegetationsperioden zur Ableitung der fruchtartenspezifischen Klimatischen Wasserbilanzen ( \*) Quelle: MIRSCHEL et al., 2009)

Fruchtart	Vegetationsperiode
Winterweizen <sup>*)</sup>	September (Aussaatjahr) bis August (Erntejahr)
Wintergerste <sup>*)</sup>	September (Aussaatjahr) bis August (Erntejahr)
Winterroggen <sup>*)</sup>	September (Aussaatjahr) bis August (Erntejahr)
Winterraps <sup>*)</sup>	August (Aussaatjahr) bis Juli (Erntejahr)
Sommergerste	November (Vorjahr) bis August (Erntejahr)
Silomais <sup>*)</sup>	November (Vorjahr) bis Oktober (Erntejahr)



Darüber hinaus wird durch MIRSCHEL et al. (2009) eine weitere Ergänzung zum Ansatz nach KINDLER (1992) vorgeschlagen, indem zusätzlich die Ertragswirksamkeit der Wasserversorgung während der Hauptwachstumsphasen der Fruchtarten sowie die Temperatur in ertragsentscheidenden Wachstumsphasen berücksichtigt werden. Die dabei zu berücksichtigenden Zeitspannen sind Tab. 2 zu entnehmen. Für die ertragswirksame Wasserversorgung werden korrektive Zu- und Abschläge je mm KWB und für den ertragswirksamen Temperatureinfluss ein linearer Trend, der additiv berücksichtigt wird, verwendet. Beide Korrekturgrößen wurden unter Zugrundelegung des verfügbaren Datenmaterials für die Verhältnisse Sachsen-Anhalts statistisch ausgewertet. Für die Bearbeitung der Arbeitsschritte 1 und 2 wurden die Korrekturgrößen nach MIRSCHEL et al. (2009) angewandt.

Tab. 2: Fruchtartenabhängige Hauptwachstumsphasen zur Berücksichtigung für die Ermittlung der ertragswirksamen Wasserversorgung sowie der ertragswirksamen Temperaturphasen ( \*) Quelle: MIRSCHEL et al., 2009)

Fruchtart	Hauptwachstumsphase	ertragswirksame Temperaturphase
Winterweizen <sup>*)</sup>	April - Juni	Dezember - Februar
Wintergerste <sup>*)</sup>	April - Mai	Dezember - Februar
Winterroggen <sup>*)</sup>	April - Juni	Dezember - Februar
Winterraps <sup>*)</sup>	April - Mai	Dezember - Februar
Sommergerste	April - Mai	Mai - Juni
Silomais <sup>*)</sup>	Juni - August	Mai - Juli

Die Ertragsschätzung erfolgt in der Systemumgebung von ArcVIEW 3.2 und ArcGIS 9.3 als Rasterdaten sowie als Datenbankbearbeitung.

Die Vorgehensweise im Einzelnen:

### **I. Modellprüfung und Validierung**

Schritt 1: Überprüfung und Anpassung des Modells für die Standort- und Anbaubedingungen verschiedener Versuchsstandorte

Grundlage hierfür bilden die Ertragsdaten aus den Sortenversuchen der Versuchsstationen Sachsen-Anhalts. Ziel ist die Abbildung der fruchtartenspezifischen Erträge unter detailliert beschriebenen bzw. erfassten Boden- und Klimaverhältnissen. Dieser Schritt dient der prinzipiellen Modellprüfung hinsichtlich der Eignung für die Standortbedingungen Sachsen-Anhalts sowie der Erstanpassung der Korrekturfaktoren.



---

## Schritt 2: Validierung des Modells auf Schlagebene unter Nutzung von Daten aus Versuchen

---

Da erfahrungsgemäß das Ertragsniveau bei speziellen Sorten- und Anbauversuchen deutlich über den Erträgen in der Praxis liegt, stellt der 2. Schritt die Überführung, Validierung und Anpassung des Modells auf die Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis dar.

Grundlage hierfür bilden Ertragsdaten von Erhebungen auf Schlagebene. Idealerweise werden hierzu die Bodendauerbeobachtungsflächen des Landes Sachsen-Anhalts herangezogen, da diese über detailliert erfasste Standortgrunddaten für die betreffenden Schläge verfügen. Die bodenkundlichen Informationen werden in die Nomenklatur der MMK überführt und dienen als Basisdaten für die Naturalerträge. Die Klimadaten werden aus dem Stationsnetz der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt zugeordnet.

---

## Schritt 3: Validierung des Modells auf Gemarkungsebene/ auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete

---

Ausgehend von den Ergebnissen der Modellvalidierung und Anpassung aus Schritt 2 erfolgt im Schritt 3 die Modellvalidierung für die nächste Skalenebene - die Gemarkung. Da für einzelne Gemarkungen in Sachsen-Anhalt keine gesicherten Angaben zu den Erträgen vorliegen, wurden für den 3. Schritt die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete herangezogen. Die Vergleichsgebiete stellen homogene Landschaftseinheiten aus Sicht der Boden-, Klima- und Reliefverhältnisse dar und werden räumlich durch den Verlauf von Gemarkungsgrenzen abgegrenzt. Den Gebieten wird eine einheitliche Agrarstruktur unterstellt, so dass Anbaustruktur, Bodenbearbeitung, Düngung und Ertrag innerhalb der Gebiete als Gleichverteilung betrachtet werden können. Für die Vergleichsgebiete wurden im Rahmen der Erstellung der Datengrundlagen für die Bilanzierung der diffusen N- und P-Emissionen in Sachsen-Anhalt zur Umsetzung des Nährstoffkonzepts 2010-2013 Fruchtartenerträge ermittelt. Datenbasis hierfür bildeten die gemeldeten Erträge aus dem SBA-Düngungssystem.

In der Regel liegen die SBA-Daten nicht flächenscharf vor, so dass die Erträge entsprechend der Anbaustruktur für alle Ackerflächen der Vergleichsgebiete errechnet wurden.

Die Standortdaten werden wiederum aus der MMK/VBK, dem DGM und den vorliegenden Klimadaten abgeleitet.

Diese Phase der Modellanpassung wird anhand von fünf ausgewählten Vergleichsgebieten durchgeführt. Hierbei handelt es sich um:

- Mittlere Altmarkplatten
- Lössebene der nördlichen Börde
- Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche
- Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung
- Unter- und Mittelharz

Dieser Arbeitsschritt wird im Folgenden unter:

**Validierung des Modells auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete** geführt.



---

#### Schritt 4: Validierung des Modells auf Kreisebene unter Nutzung von Ertragsdaten aus der Kreis- und Landesstatistik

---

Der Schritt 4 stellt die Überführung und Validierung auf die letzte Skalenebene - den Landkreis dar. Datenbasis bilden hierbei die langjährigen Ertragsstatistiken der Landkreise. Dieser Schritt wird anhand von 2 Landkreisen, dem Landkreis Stendal und dem Burgenlandkreis bearbeitet, so dass die wichtigsten Standortbereiche Sachsen-Anhalts - die Tiefland und die Schwarzerdebereiche sowie deren Übergänge - exemplarische in die Validierung einbezogen werden. Beide Landkreise haben seit der 1. Gebietsreform 1994 nur unwesentliche Änderungen erfahren. Die ausgewählten Landkreise weisen eine hohe Standorthomogenität auf, so dass ein guter Abgleich zwischen den statistischen Ernteerträgen und den Modellerträgen mit einer entsprechenden Validierung möglich ist.

Anhand der Standortgrundinformationen werden für die vorkommenden Standortregionaltypen die fruchtartenspezifischen Naturalerträge und die Korrekturfaktoren ermittelt und der Schätzertrag berechnet. Hierbei wird der Ansatz umgesetzt, dass die Fruchtartenbelegung der jeweiligen Ackerfläche nach der standortspezifischen und ökonomischen Anbauwürdigkeit vorgenommen wird.

---

#### Schritt 5: Vergleich der mit dem Modell geschätzten Erträge zum einen berechnet mit den realen Klimadaten und zum anderen berechnet mit den Szenario-Daten aus 2010

---

Dieser Arbeitsschritt dient der Untersuchung zur Auswirkung verschiedener klimatischer Parametersätze auf die Ertragsschätzung. Es werden Aussagen zur Verschiebung der Ertragsschätzungen in Bezug auf Menge und Richtung zwischen den gemessenen Klimakennwerten und den WETTREG2010-Modellwerten ermöglicht, die die Basis für die Auswertungen in Schritt 6 bilden. Um innerhalb des Gesamtprojektes angestimmte Klimadaten zu verwenden, wurde auf die Modellräume und die Klimareihen aus Los 1.3 (PFÜTZNER et al. [Büro für angewandte Hydrologie (BAH)], 2012) zurückgegriffen. Schritt 5 wurde für die Einzugsgebiete Aller, Biese, Holtemme, Rossel und Weida für den Zeitraum 1971 bis 2000 umgesetzt. Die Klimadaten wurden dankenswerterweise durch das BAH bereitgestellt, wobei in diesem Schritt die gemessenen Klimadaten und die 10 Realisierungen auf der Basis der WETTREG2010-Ergebnisse für das Emissionsszenario A1B zur Anwendung kamen.



---

## **II. Ertragsschätzung für die Prognosezeiträume 2010 bis 2100**

Schritt 6: Simulations- und Szenario-Berechnung unter Einbeziehung der Trendvorgaben bezüglich CO<sub>2</sub>, Züchtungserfolge, Bodenbearbeitung und Zusatzwasserbedarf für Sachsen-Anhalt sowie die abgegrenzten Boden-Klima-Regionen (Vergleichsgebiete) mit den WETTREG2010-Szenario-Daten für die 3 Prognosezeiträume

---

Die Modellierung erfolgt für die 3 Prognosezeiträume 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100. Datenbasis bilden die 10 Realisierungen der WETTREG2010 Ergebnisse für das Emissionsszenarium A1B. Als Vergleich der Modellergebnisse aus den Prognosezeiträumen wird der Modellertrag aus dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 herangezogen.

Neben einem Modelllauf ohne Berücksichtigung von Trendvorgaben, d. h. die Randbedingungen entsprechen den gegenwärtigen Verhältnissen, wird die Ertragsentwicklung durch Pflanzenzüchtung, veränderte Bodenbearbeitung und den Düngungseffekt aus der CO<sub>2</sub>-Entwicklung in der Atmosphäre abgebildet. Der Zusatzwasserbedarf wird auf Basis der Ergebnisse zum Verlauf der nutzbaren Feldkapazitäten für differenzierte Standorteinheiten aus dem Los 1.3 (PFÜTZNER et al., 2012) sowie der Extremereignisse für Trockenheit auf Basis der Standortdaten der Vergleichsgebiete nach dem Ansatz der boden-klimatischen Trockenheitsgefährdung (KOEPEKE, 1985) ausgewiesen.

Die Berechnungen werden für die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalts durchgeführt und ausgewertet. Abschließend erfolgt eine Wertung der Modellergebnisse unter Nutzung der für den Referenzzeitraum ermittelten Modellerträge.



### 3. Datengrundlagen

Für die Bearbeitung des Vorhabens wurden die in Tab. 3 aufgeführten Datengrundlagen und Informationen genutzt:

Tab. 3: Datengrundlagen

<b>Datengrundlage</b>	<b>Datenquelle</b>
Digitale Grenzen der administrativen Einheiten Sachsen-Anhalts (Gemarkung, Landkreis, Land)	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG)
Digitale Grenzen der Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete einschließlich Charakteristik der Gebiete (Bodenausstattung, Agrarstruktur, Relief, Klima)	LLFG
Digitales Geländemodell Sachsen-Anhalt (10-m-Rasterweite)	LLFG
Digitale Karte der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK)	LLFG
Digitale Karte der Vorläufigen Bodenkarte 1:50.000 Sachsen-Anhalt (VBK 50) einschließlich Profildatenbank	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Digitale Datenbasis Agraratlas Sachsen-Anhalt (gemeindebezogene Acker- und Grünlandzahlen, gemeindebezogene Aufbereitung der MMK, Klimaauswertungen)	LLFG
Unterlagen der GEMDAT mit Verknüpfung zur digitalen Datenbasis Agraratlas	MISB
Ertragsdaten für die Versuchstationen der LLFG (Landessortenversuche) einschließlich der bodenkundliche Standortdaten sowie der Klimadaten für die Versuchstationen	LLFG
Ertragsdaten aus praxisnahen Feldversuchen der LLFG (Bodendauerbeobachtungsflächen)	LLFG
Standortabhängige Erträge aus dem SBA-Datenspeicher auf der Aggregierungsebene Gemarkung/Gemeinde	LLFG
Ertragsstatistiken auf Kreis- und Landesebene 2001 bis 2010	LLFG
Auf Ebene der Gemarkungen oder Vergleichsgebiete aggregierte Anbaustatistiken der Jahre 2006 bis 2009 aus den INVEKOS-Unterlagen	LLFG
gemessene Klimadaten in Tagesauflösung der Zeitreihe 1961 bis 2010 für die Klimamessstationen Sachsen-Anhalts sowie aus angrenzenden Bundesländern aus der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)
Klimadaten in Tagesauflösung des WETTREG2010-Szenario A1B der Zeitreihe 2011 bis 2100 für Sachsen-Anhalt sowie aus angrenzenden Bundesländern aus der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt	LAU, BAH
Ergebnisse der Bearbeitung des Loses 1	BAH, LAU



#### 4. Standortkundliche Charakterisierung der landwirtschaftlich genutzten Fläche Sachsen-Anhalts

In Kapitel 2 (Methodische Vorgehensweise) wurde darauf verwiesen, dass das Modell bezüglich der Abbildung der Standorteigenschaften auf den Unterlagen und Auswertungen der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (MMK) basiert. Die MMK liegt flächendeckend für die landwirtschaftliche Nutzfläche der östlichen Bundesländer im Arbeitsmaßstab 1:25.000 und gedruckt im Maßstab 1:100.000 als wesentliche Informationsbasis für die Landwirtschaft zur Abbildung der produktionsbestimmenden Standorteigenschaften vor. Sie basiert auf der Ausgrenzung der flächenhaften Verbreitung von Standortparametern, den sogenannten Flächentypen (siehe Abb. 2). Die für die Nutzung der MMK entwickelten Methoden und Verfahren basieren auf einer anliegenbezogenen Auswertung dieser Flächentypen, die aggregierte standortkundliche Einheiten darstellen, welche die Vergesellschaftung von Standortmerkmalen nach Art der Standortelemente (qualitatives Merkmal) und deren Flächenanteile (quantitatives Merkmal) wiedergeben. Sie wurden im Zuge der Auswertung der MMK zur Kennzeichnung der Standortregionaltypen entwickelt. Zur Kennzeichnung der wesentlichen Standortinformationen werden herangezogen:

- **Bodenformengesellschaften** (vorkommende Leitbodenformen und deren Flächenanteile),
- **Substratflächentypen** (vorkommende Substrattypen und deren Flächenanteile),
- **Hydromorphieflächentypen** (vorkommende Hydromorphieausprägungen und Wasserstufen sowie deren Flächenanteile),
- **Neigungsflächentypen** (vorkommende Hangneigungsklassen und deren Flächenanteile).



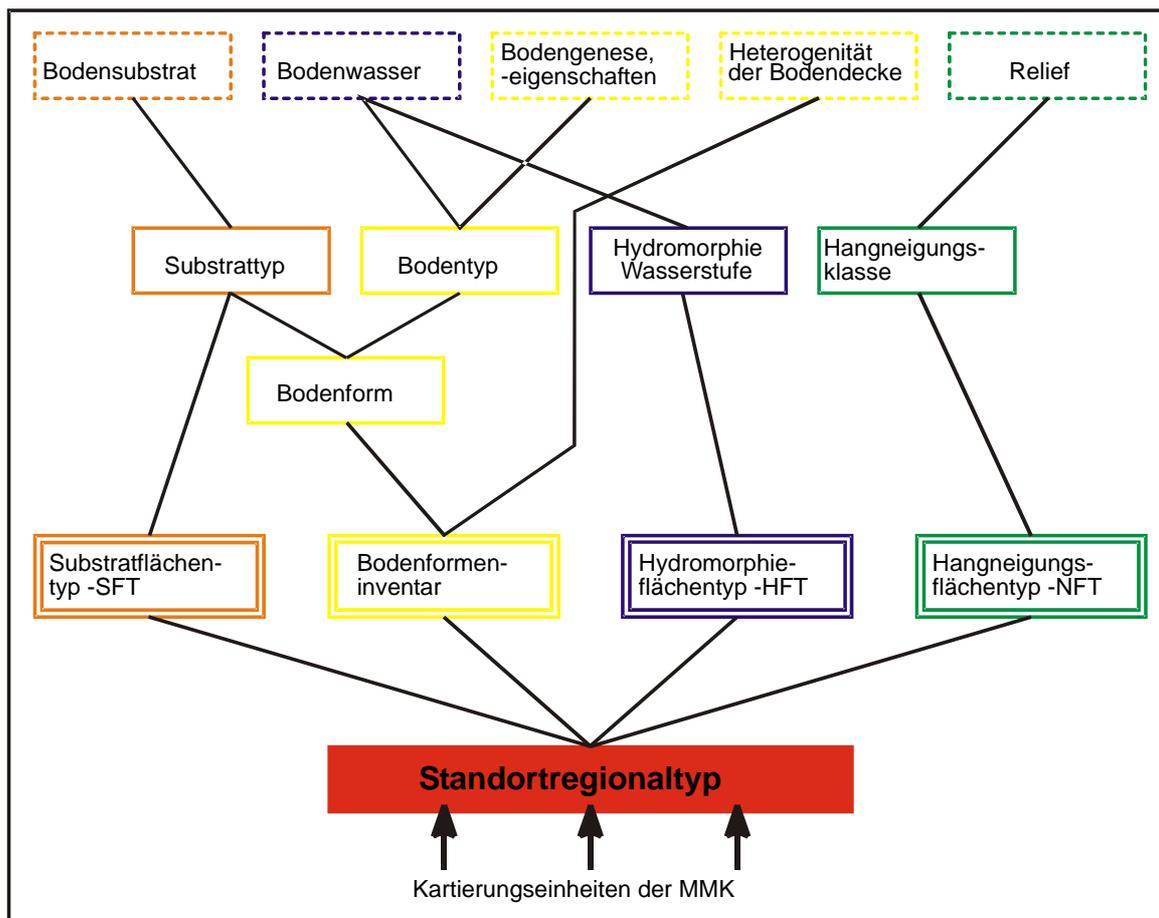


Abb. 2: Bildung von Flächentypen für verschiedene Standortparameter

Für die Ertragsschätzung werden als standortbeschreibende Eingangsgrößen auf den Standorttyp und den Neigungsflächentyp zurückgegriffen. Beide Kennwerte sind Bestandteil des Standortregionaltyps, der die komplexe Grundeinheit des Systems der Standorteinheiten ist und die Einheiten des Standorttyps, des Pedotopgefüges und des Neigungsflächentyps umfasst (LIEBEROTH, 1982):

Beispiel Standortregionaltyp

D 4 b 1 03 → Standortregionaltyp  
 wobei D 4 → natürliche Standorteinheit (NStE)  
 D 4 b → Standorttyp (StT)  
 1 → Pedotopgefüge  
 03 → Neigungsflächentyp (NFT)

Wie in der Methodik beschrieben, wurden für diese Standorttypen mittlere Naturalerträge unter der Annahme klimatischer Normalbedingungen abgeleitet, die als Grundgröße in das Modell eingehen und unter Zugrundelegung der standortkonkreten Klimaverhältnisse über Korrekturgrößen in den standortspezifischen Naturalertrag für den Betrachtungszeitraum überführt werden.



Wesentliche Standorteigenschaften, die Auswirkungen auf den Ertrag haben, sind:

**Bodenentstehung** (Abb. 3)

Die Bodenentstehung gibt einen Hinweis auf die geologische Entstehung der bodenbildenden Substrate. Da die Ertragsschätzung nur für natürliche Böden erfolgt, werden Kippenstandorte und anthropogene Böden nicht berücksichtigt.

**Bodenwasserregime** (Abb. 4)

Das Bodenwasserregime ist eine wesentliche Kenngröße für Aussagen zur Wasserversorgung der Pflanzen und wirkt somit direkt auf den Ertrag.

**Bodenbonität** (Abb. 5)

Die Ausweisung der Bodenbonität basiert auf den Unterlagen der Bodenschätzung. Dem Vorhaben entsprechend werden nur die Ackerstandorte dargestellt. Angewendet wird die Klassifizierung nach DIEMANN (1993).

**Hangneigungsverhältnisse** (Abb. 6)

Die Hangneigungsverhältnisse haben Auswirkungen auf pflanzenbaulich relevante Standortbedingungen wie Exposition, Wasserversorgung, Erosion usw. und stellen somit eine wesentliche Kenngröße für den Ertrag dar.



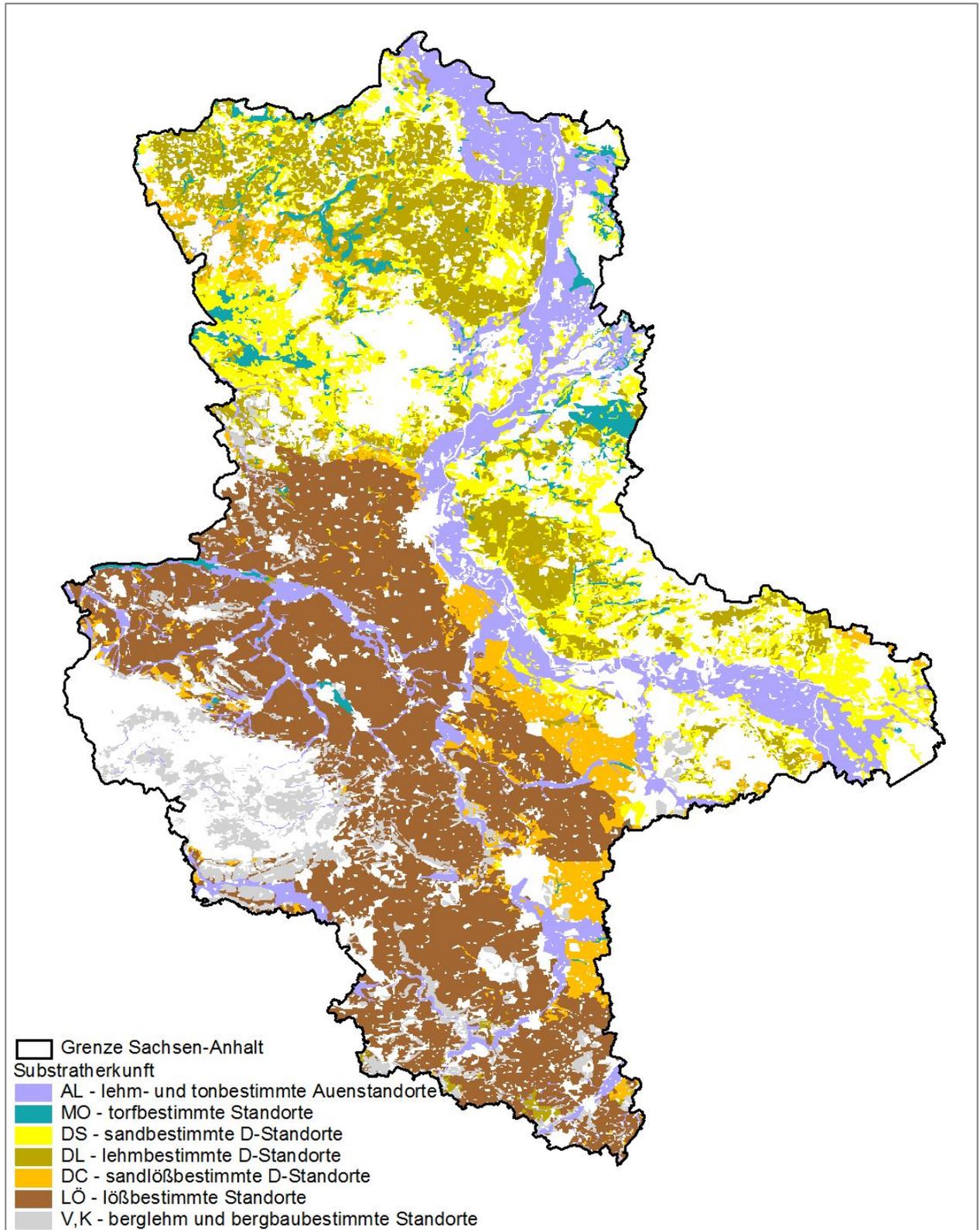


Abb. 3: Bodenentstehung landwirtschaftlicher Böden Sachsen-Anhalts

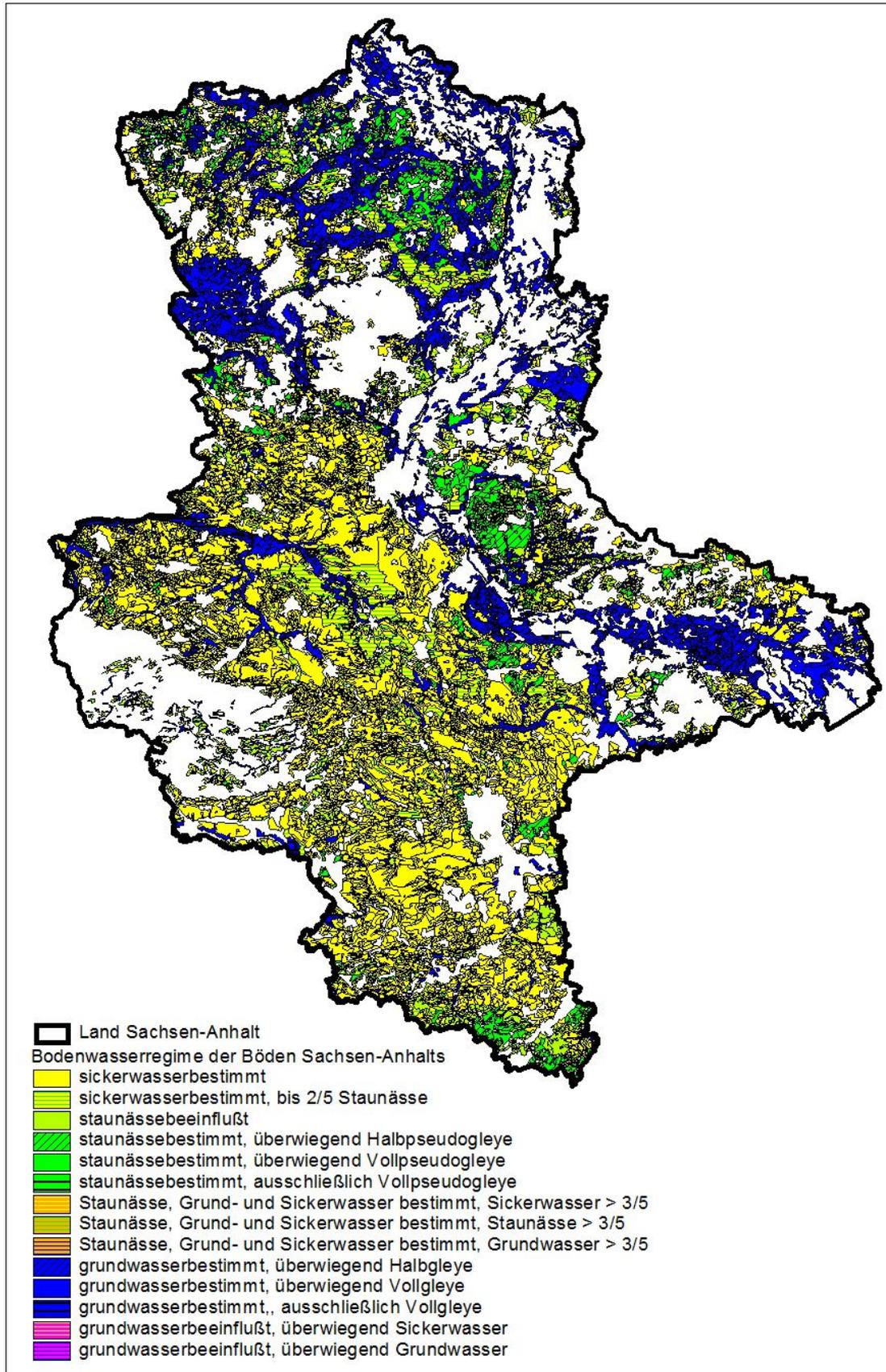


Abb. 4: Bodenwasserregime der landwirtschaftlichen Böden Sachsen-Anhalts



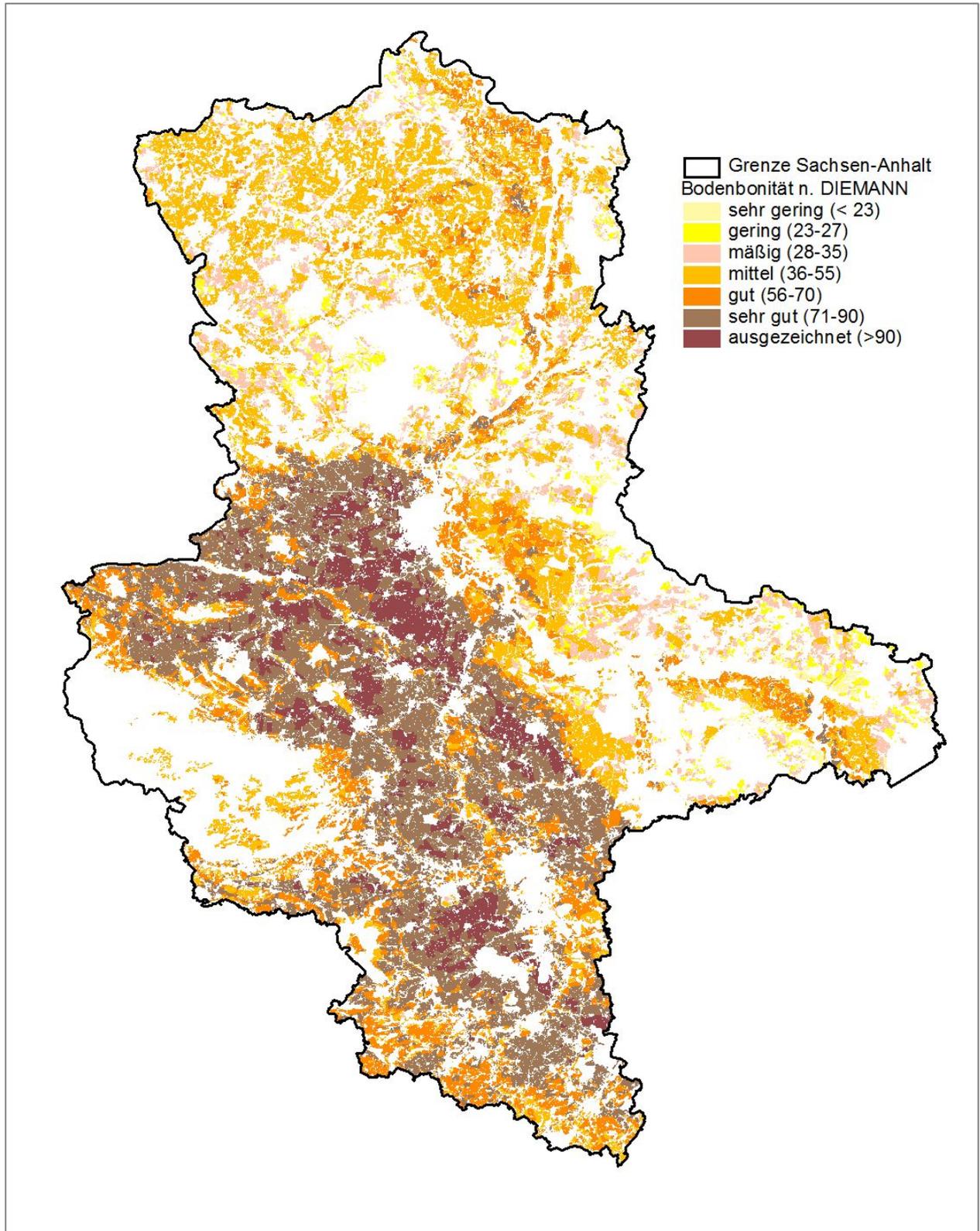


Abb. 5: Bodenbonität der Ackerböden Sachsen-Anhalts, abgeleitet aus der Bodenzahl der Bodenschätzung (Karte der Bodengüte in den Klassen n. DIEMANN, 1993; LLFG)

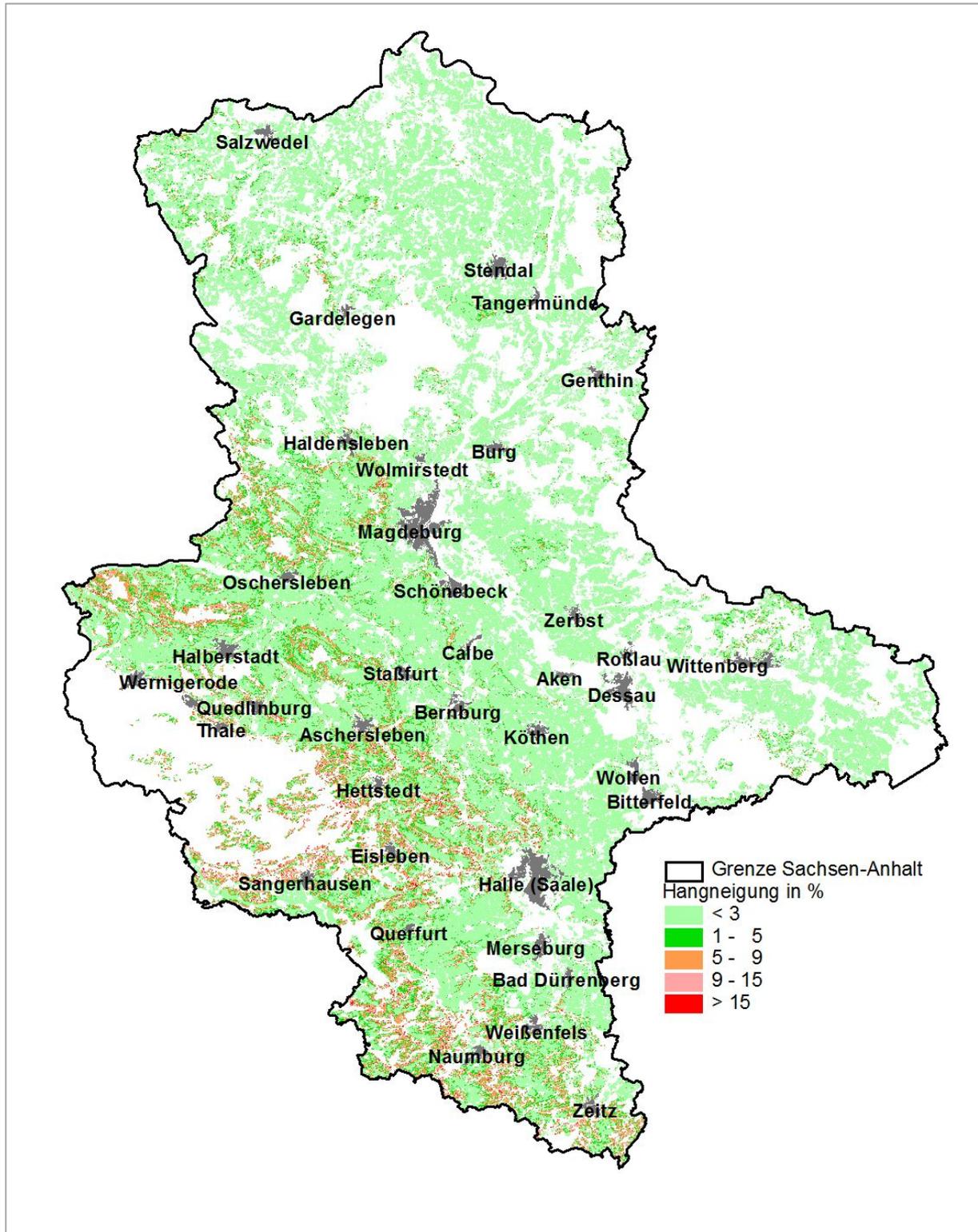


Abb. 6: Hangneigungsverhältnisse der landwirtschaftlichen Nutzfläche Sachsen-Anhalts

## 5. Ergebnisse Modellprüfung und Validierung

### 5.1 Überprüfung und Anpassung des Modells für die Standort- und Anbaubedingungen verschiedener Versuchsstandorte

#### 5.1.1 Datengrundlagen

Für die Umsetzung des Arbeitsschrittes zur Überprüfung und Anpassung des Modells für die Standort- und Anbaubedingungen verschiedener Versuchsstandorte wurden Versuchsergebnisse des Landessortenversuchswesens Sachsen-Anhalts herangezogen. Bei den landwirtschaftlichen Versuchsstationen handelt es sich um Beetzendorf, Iden, Magdeburg, Hayn, Walbeck und Gadegast. Eine Kurzcharakteristik der Versuchsstationen ist Tab. 4 zu entnehmen.

Tab. 4: Kurzcharakteristik der landwirtschaftlichen Versuchsstationen Sachsen-Anhalts

Ort	Bodenart	NStE	Ackerzahl	Höhenlage	Jahresmittel	
					Temperatur	Niederschlag
Magdeburg	Lehm	Lö1	90	79	8,7	509
Hayn	Lehm	V5	40	441	6,5	618
Walbeck	Lehm	Lö3	70-80	240	8,6	491
Gadegast	lehmiger Sand	D4	33-40	93	8,7	574
Beetzendorf	lehmiger Sand	D4c	45-50	47	8,4	575
Iden	sandiger Lehm	Al1	65	18	8,7	512

Die Lage der Versuchsstationen sowie die für die Modellierung zugeordnete Klimastation der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt zeigt Abb. 7. Ausschlaggebend für die Zuordnung der Klimastationen waren die Zugehörigkeit zum gleichen Klimatyp, die Entfernung zur Klimastation sowie die Vollständigkeit der Klimareihen. Letztgenanntes Kriterium war für die Zuordnung einer Klimastation für die Versuchsstation WALBECK problematisch, da die nach Entfernung und Klimatyp favorisierte Klimastation Vaterrode nur über sehr lückenhafte Datenreihen verfügt. Gleiches traf auf die Station Eisleben zu, so dass die Station Bernburg für die Klimakennzeichnung genutzt werden muss, die jedoch nicht zum gleichen Klimatyp gehört. Darüber hinaus wurde bei der Bearbeitung festgestellt, dass teilweise trotz der räumlichen Nähe zwischen Versuchs- und Klimastation erhebliche Abweichungen zwischen den Niederschlagssumme zu verzeichnen waren. Aus diesem Grund wurden für die Berechnung der Klimatischen Wasserbilanz die an den Versuchsstationen gemessenen Niederschläge verwendet, Grasreferenzverdunstung und Lufttemperatur wurden aus den Datenreihen der Klimastationen genutzt.

Durch das Landessortenversuchswesen werden langjährige Sortenversuche für die Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Silomais durchgeführt. Da langjährige Ergebnisse für die Modellprüfung notwendig sind, kann die Modellprüfung nur für diese Fruchtarten vorgenommen werden.

Die Übersicht über die durchgeführten Sortenversuche und somit das vorliegende Datenmaterial für die Umsetzung der Modellprüfung ist in Tab. 5 zu entnehmen.



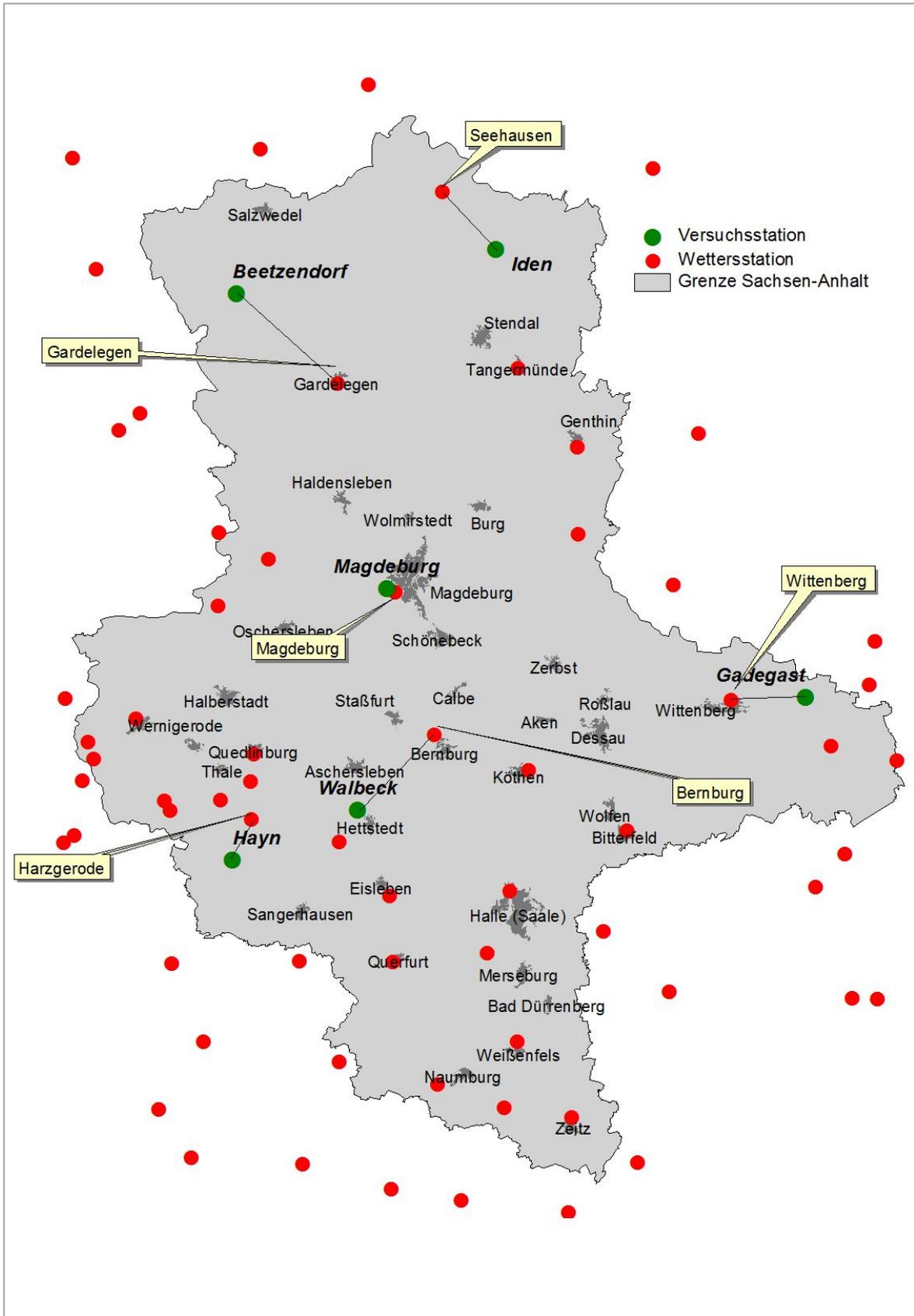


Abb. 7: Lage der landwirtschaftlichen Versuchsstation Sachsen-Anhalts und Zuordnung der Klimastationen der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt

Tab. 5: Übersicht Sortenversuche Sachsen-Anhalt (durchgeführte Untersuchungen grau hinterlegt)

Fruchtart	Versuchsstation	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Winterweizen	Beetzendorf																	
	Gadegast																	
	Hayn																	
	Magdeburg																	
	Walbeck																	
	Iden																	
Wintergerste	Beetzendorf																	
	Gadegast																	
	Hayn																	
	Magdeburg																	
	Walbeck																	
	Iden																	
Winterroggen	Beetzendorf																	
	Gadegast																	
	Hayn																	
	Magdeburg																	
	Walbeck																	
	Iden																	
Winterraps	Beetzendorf																	
	Gadegast																	
	Hayn																	
	Magdeburg																	
	Walbeck																	
	Iden																	
Sommergerste	Beetzendorf																	
	Gadegast																	
	Hayn																	
	Magdeburg																	
	Walbeck																	
	Iden																	
Silomais	Beetzendorf																	
	Gadegast																	
	Hayn																	
	Magdeburg																	
	Walbeck																	
	Iden																	

Die Prüfung des Modells hinsichtlich der prinzipiellen Verwendbarkeit für die Standortbedingungen Sachsen-Anhalts sowie die erste Anpassung an die Standortverhältnisse erfolgte unter Zugrundelegung der Daten des Landessortenversuchswesens mit den Stationen Iden (Silomais), Beetzendorf, Magdeburg, Walbeck, Hayn und Gadegast (jeweils Wintergetreide). Als Zeitreihe standen die Daten von 1993 bis 2008 zur Verfügung. Winterraps und Sommergerste konnten aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht in diese Prüfung einbezogen werden.

Da es sich um Versuchsdaten des Sortenversuchswesens handelt, ist davon auszugehen, dass diese über den erzielten Erträgen auf Praxisschlägen liegen. Der Modellansatz wurde jedoch für Praxiserträge entwickelt, so dass von einer Unterschätzung der Erträge auszugehen ist. Vorrangiges Ziel sollte jedoch, wie bereits angedeutet, die Prüfung sein, inwieweit mittels des Modells zumindest der zu erwartende Ertragsbereich (Versuchsminima und -maxima) abbildet werden kann. Eine pauschale Korrektur zum Angleich der Schätzergebnisse an die erzielten Versuchsergebnisse wurde nicht vorgenommen, jedoch wurden der Temperaturterm für jede Station separat abgeleitet, so dass eine große Sicherheit bei der Modelltreffsicherheit zu erwarten war. Aus den Ergebnissen wurden sichtbare Trends (wie verhält sich die Fruchtart bei Trockenheit bzw. bei Nässe) analysiert und als Korrekturgröße für die weiteren Arbeitsschritte abgeleitet.

Die Ergebnisse der Schätzung werden jeweils für die Versuchsstation dargelegt. In den Diagrammen sind jeweils die Versuchsmittelwerte, die Schätzergebnisse sowie als Boxplot die minimalen und maximalen Versuchswerte abgebildet. Zusätzlich zu den Jahreswerten ist der Mittelwert der Zeitreihe aufgeführt, der gleichzeitig als Prüfkriterium herangezogen wird.



### 5.1.2 Ergebnisse Modellvalidierung für die landwirtschaftlichen Versuchsstationen Sachsen-Anhalts

#### Versuchsstation Iden

Lage der Station: im Norden Sachsen Anhalts am Rande der Wische, dominierende Böden auf den Versuchsfeldern AI1c

Sortenversuche: Silomais (Abb. 8)

Prüfkriterium: Versuchsmittelwert der Zeitreihe 1993 bis 2008 wird um 5,8 % unterschätzt, Schätzwert liegt jedoch im Versuchsrahmen

Beschreibung: Bis auf 1996 und 2005 wird die in den Versuchen ermittelte Ertragsspanne erreicht, liegt jedoch, wie erwartet, in der Regel unter den Mittelwerten der Versuch. Ertragsabweichungen nach oben werden nicht so exakt nachgebildet, wie Abweichungen nach unten, welche auch durch das Modell abgebildet werden.

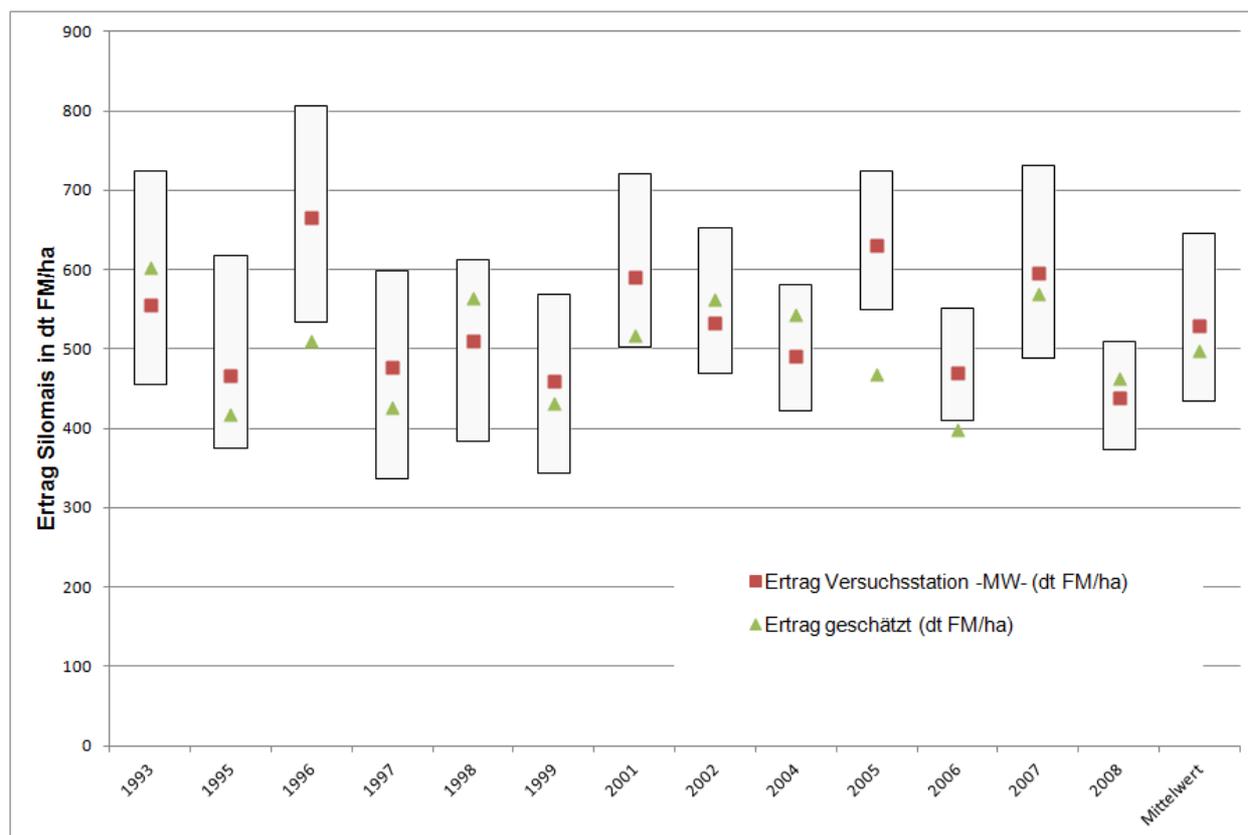


Abb. 8: Vergleich der Versuchsdaten Silomais der Station Iden mit den Schätzergebnissen

## Versuchsstation Beetzendorf

- Lage der Station: im Nordwesten Sachsen Anhalts in der westlichen Altmark, dominierende Böden auf den Versuchsflächen D4c
- Sortenversuche: Winterweizen (Abb. 9), Wintergerste (Abb. 10), Winterroggen (Abb. 11)
- Prüfkriterium: Versuchsmittelwert der Zeitreihe 1993 bis 2008 wurden für alle 3 Getreidearten leicht unterschätzt (Winterweizen -4,9 %, Wintergerste -3,7 %, Winterroggen - 3,5 %), Schätzwerte liegen jedoch im Versuchsrahmen
- Beschreibung: Erwartungsgemäß liegen bei allen 3 Getreidearten die Schätzergebnisse in der Regel unter den Mittelwerten der Versuche, starke Ertragschwankungen nach oben werden nicht in entsprechenden Maßen nachgebildet

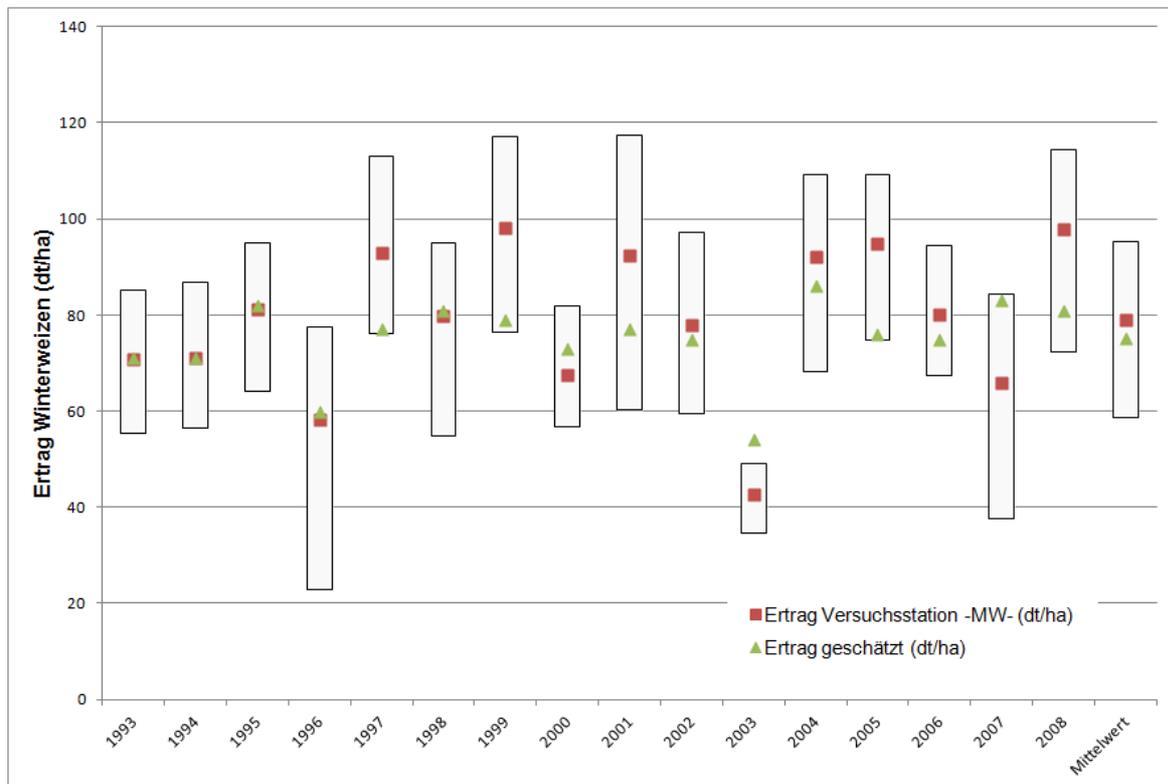


Abb. 9: Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Beetzendorf mit den Schätzergebnissen



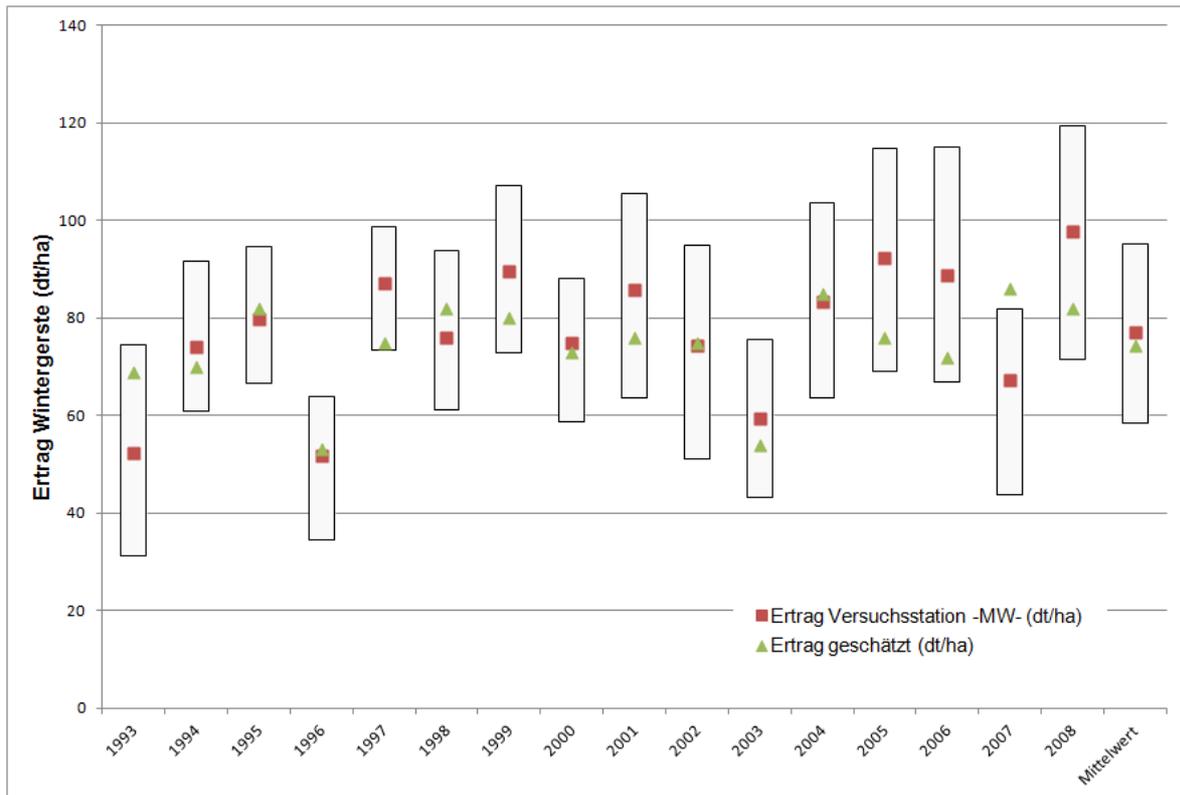


Abb. 10 Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Beetzendorf mit den Schätzergebnissen

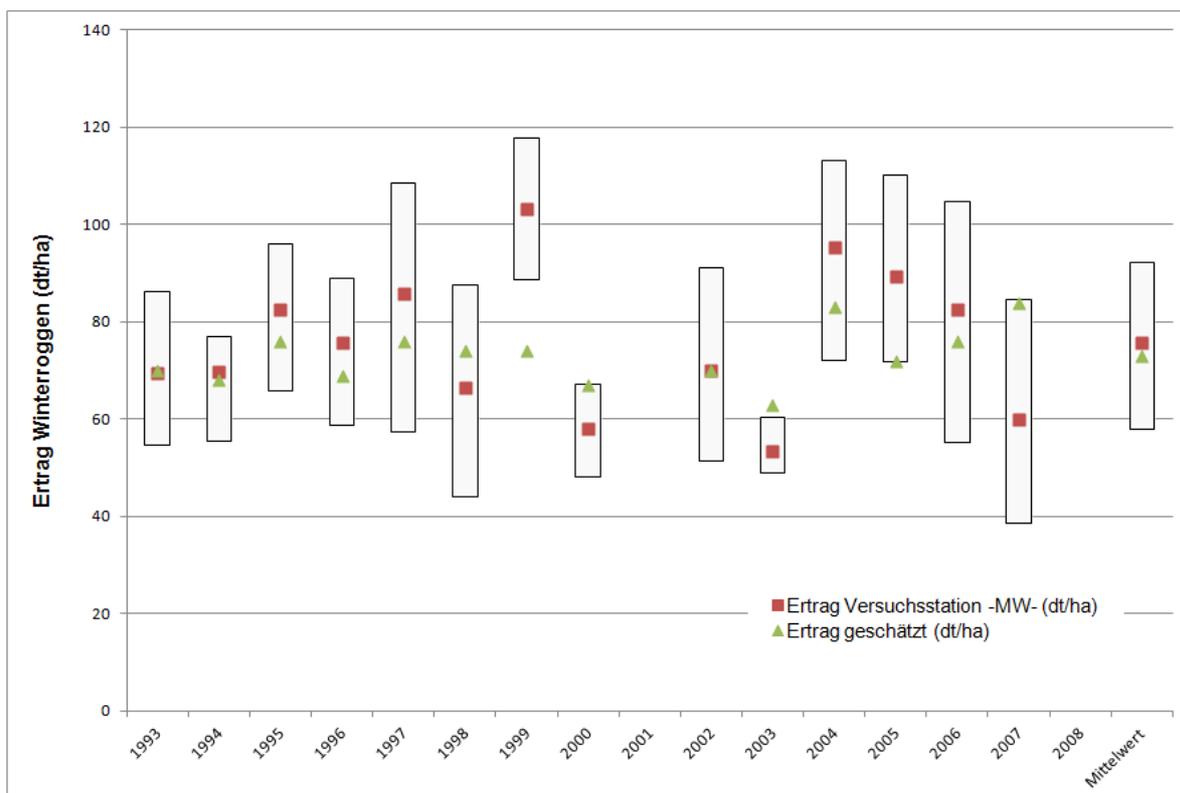


Abb. 11: Vergleich der Versuchsdaten Winterroggen der Station Beetzendorf mit den Schätzergebnissen



**Versuchsstation Magdeburg**

- Lage der Station: am westlichen Stadtrand von Magdeburg, dominierende Böden auf den Versuchsflächen LÖ1a
- Sortenversuche: Winterweizen (Abb. 12), Wintergerste (Abb. 13)
- Prüfkriterium: Versuchsmittelwert der Zeitreihe 1993 bis 2008 wurden für beide Getreidearten leicht unterschätzt (Winterweizen -1,9 %, Wintergerste -2,3 %) Schätzwerte liegen jedoch im Versuchsrahmen
- Beschreibung: Erwartungsgemäß liegen bei beiden Getreidearten die Schätzergebnisse in der Regel unter den Mittelwerten der Versuche. Ertragsdepressionen auf Grund von einmaligen Wetterereignissen, (August 2002) können nicht abgebildet werden.

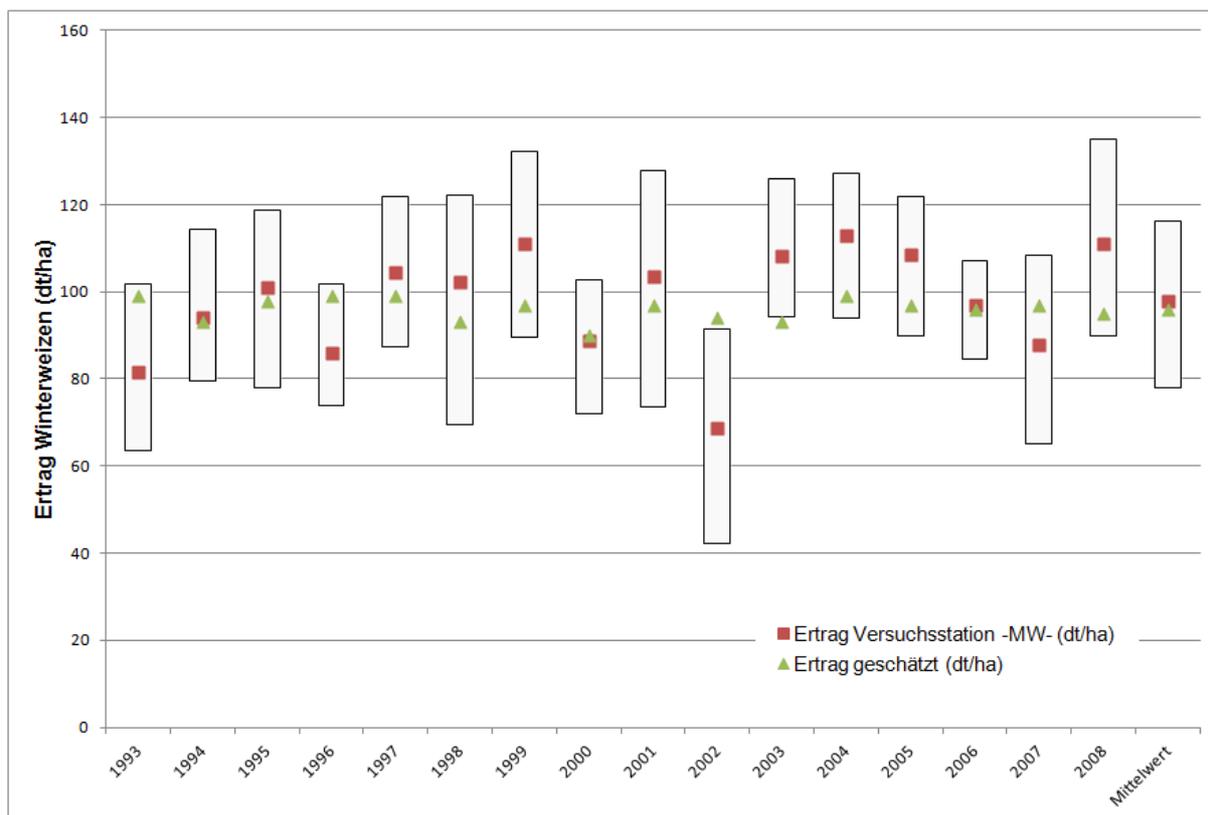


Abb. 12: Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Magdeburg mit den Schätzergebnissen



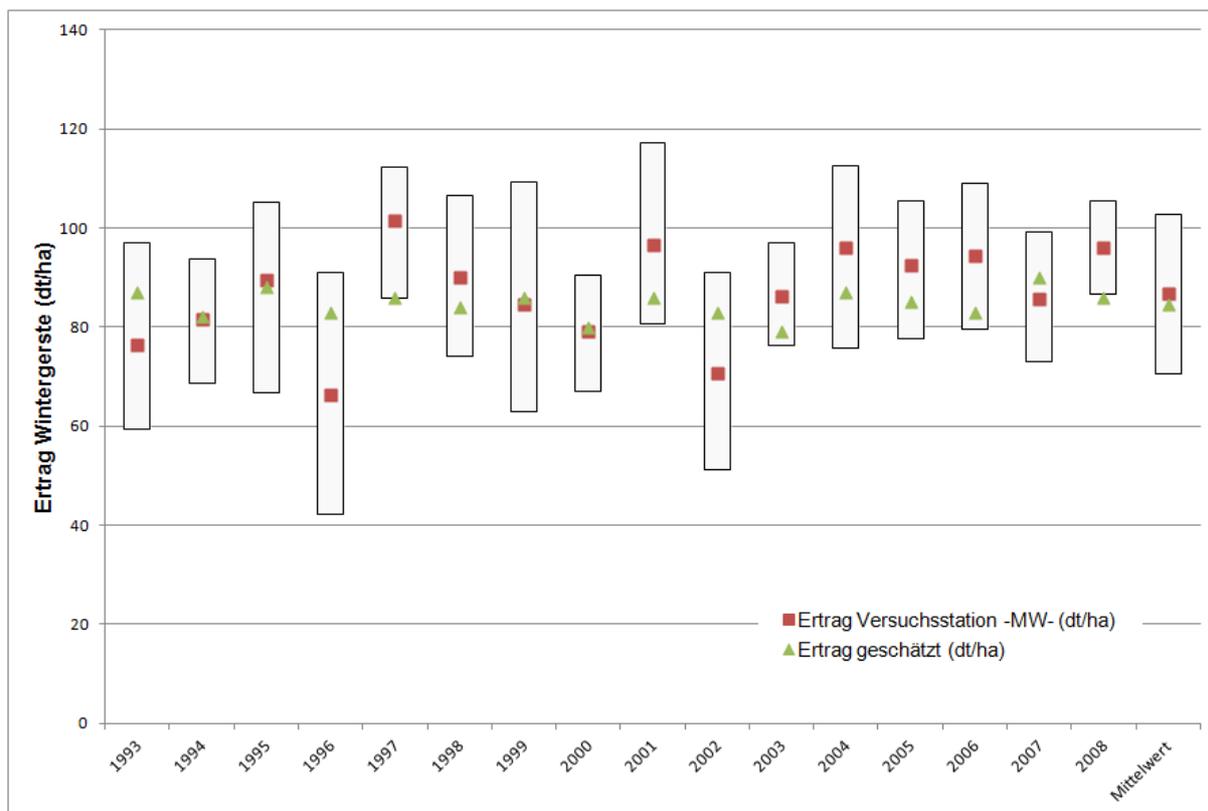


Abb. 13: Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Magdeburg mit den Schätzergebnissen

### Versuchsstation Hayn

- Lage der Station: Südharz-Plateau, dominierende Böden auf den Versuchsflächen V5a
- Sortenversuche: Winterweizen (Abb. 14), Wintergerste (Abb. 15), Winterroggen (Abb. 16)
- Prüfkriterium: Versuchsmittelwert der Zeitreihe 1993 bis 2008 wurden für Weizen leicht unterschätzt (-0,6 %), Wintergerste entspricht dem Versuchsmittelwert und für Winterroggen wird der Wert leicht überschätzt(1,2 %), Schätzwerte liegen jedoch im Versuchsrahmen
- Beschreibung: Erwartungsgemäß liegen bei allen 3 Getreidearten die Schätzergebnisse in der Regel unter den Mittelwerten der Versuche, starke Ertragschwankungen nach oben werden nicht in entsprechenden Maßen nachgebildet. Witterungsbedingt ist für die Harzstation eine starke Schwankung der Erträge um den Mittelwert zu beobachten, die durch das Modell nicht in dem Maße nachgebildet werden. Zudem wurde entgegen der Einstufung von Adler (1987) die Station dem Klimatyp Harz und nicht Südharzrand zugeordnet.



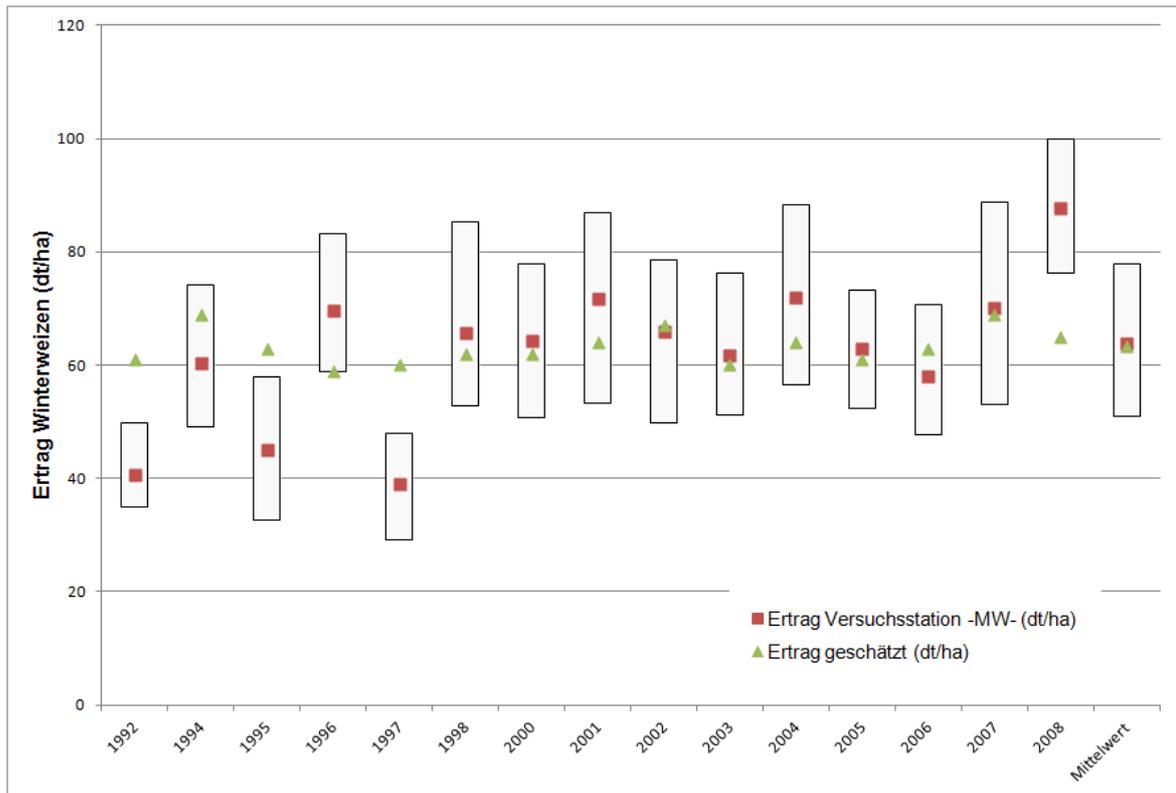


Abb. 14: Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Hayn mit den Schätzergebnissen

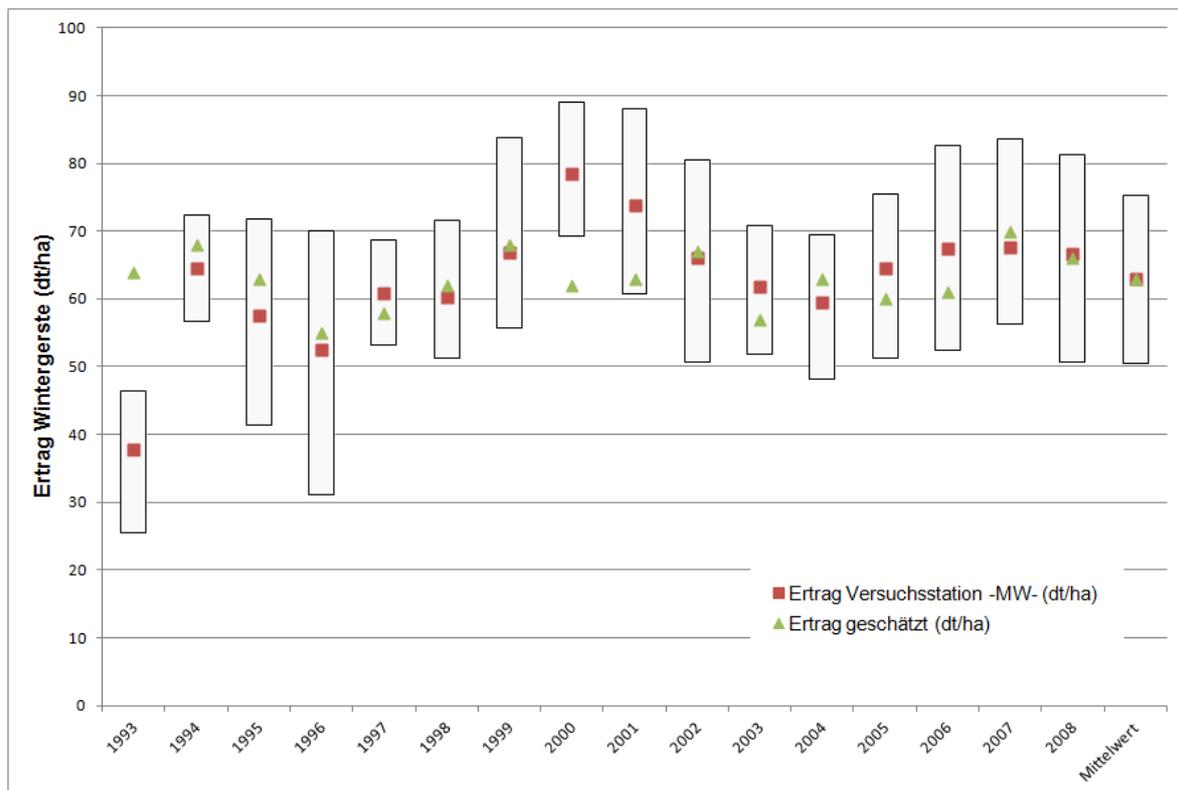


Abb. 15: Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Hayn mit den Schätzergebnissen



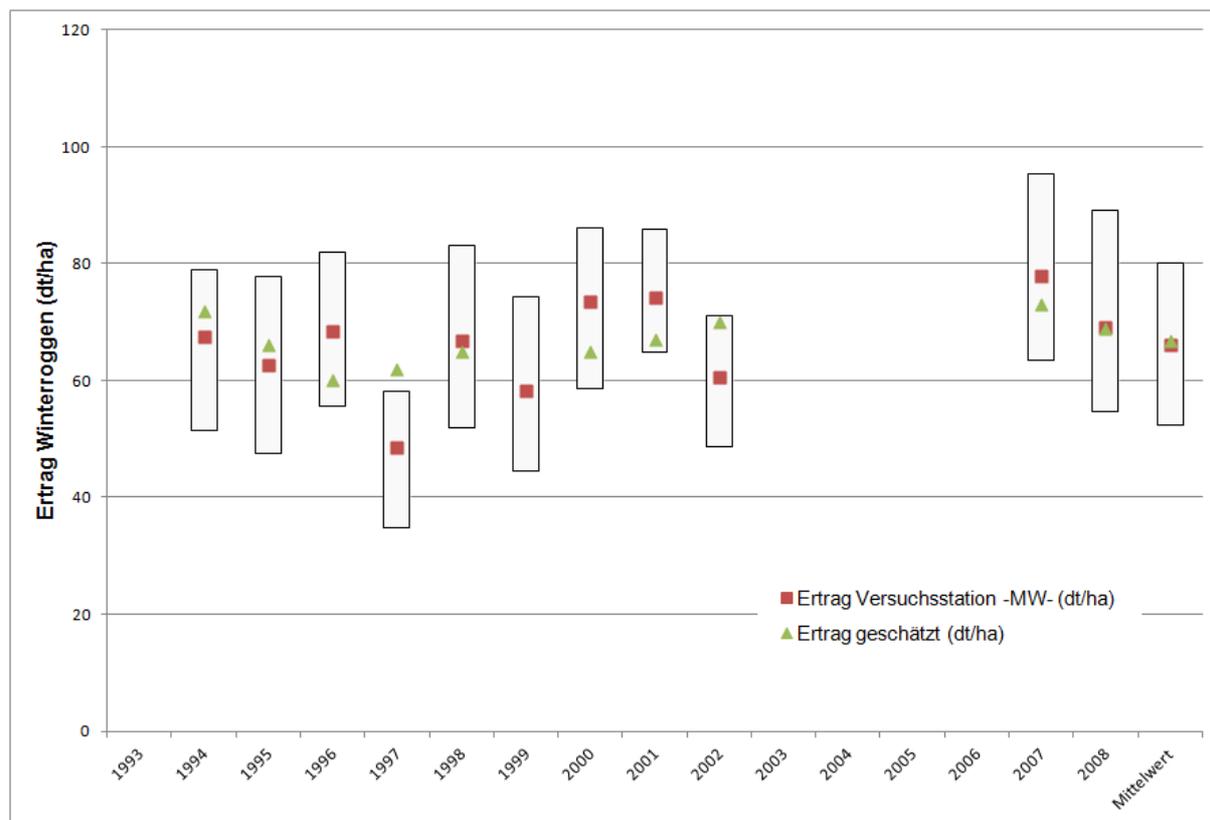


Abb. 16: Vergleich der Versuchsdaten Winterroggen der Station Hayn mit den Schätzergebnissen

### Versuchsstation Walbeck

Lage der Station: Östliches Harzvorland, dominierende Böden auf den Versuchsflächen Löss, als Klimastation musste Bernburg zugeordnet werden (abweichender Klimatyp)

Sortenversuche: Winterweizen (Abb. 17), Wintergerste (Abb. 18)

Prüfkriterium: Versuchsmittelwert der Zeitreihe 1993 bis 2008 wurden für beide Getreidearten leicht unterschätzt (Winterweizen -3,3 %, Wintergerste -2,7 %), Schätzwerte liegen jedoch im Versuchsrahmen

Beschreibung: Entgegen den Beobachtungen an den vorangegangenen Stationen ist für die Schätzergebnisse bei dieser Versuchsstation kein eindeutiger Trend zu beobachten. Eventuell ist dies auf die verwendete ETP der Klimastation Bernburg zurückzuführen, da diese viel trockener als der Bereich Walbeck ausfällt.



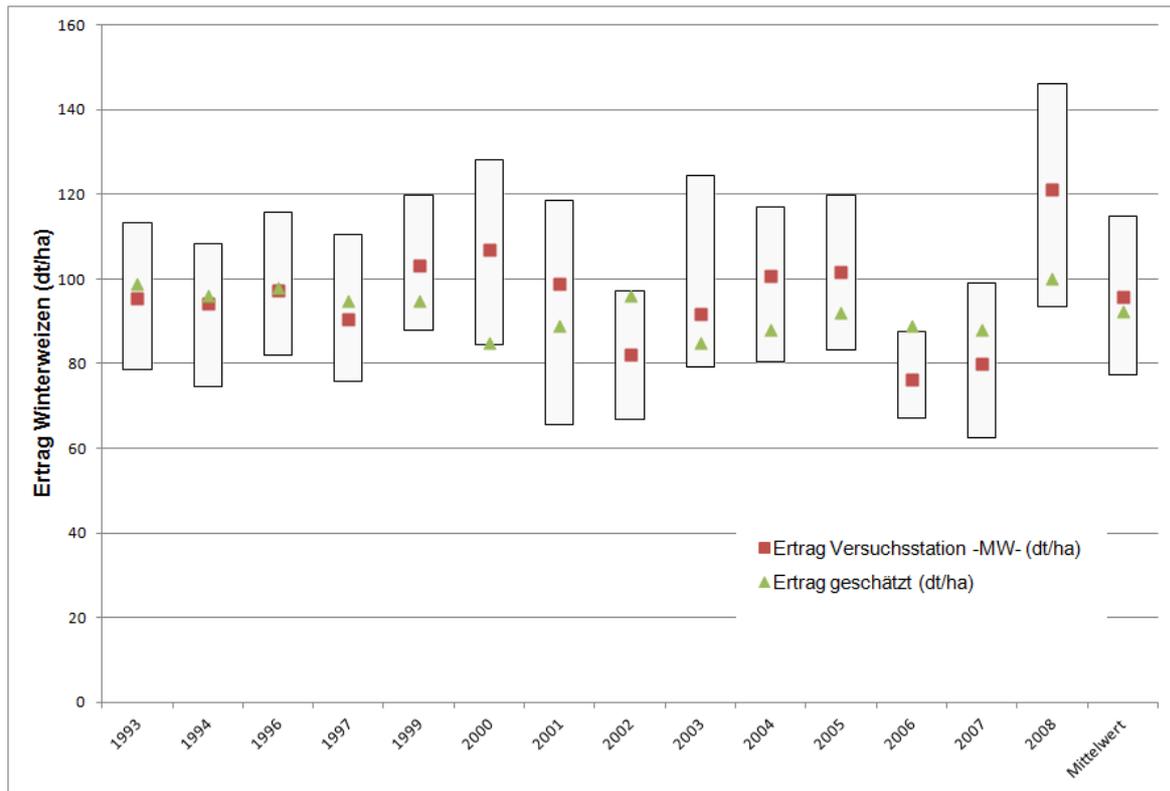


Abb. 17: Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Walbeck mit den Schätzergebnissen

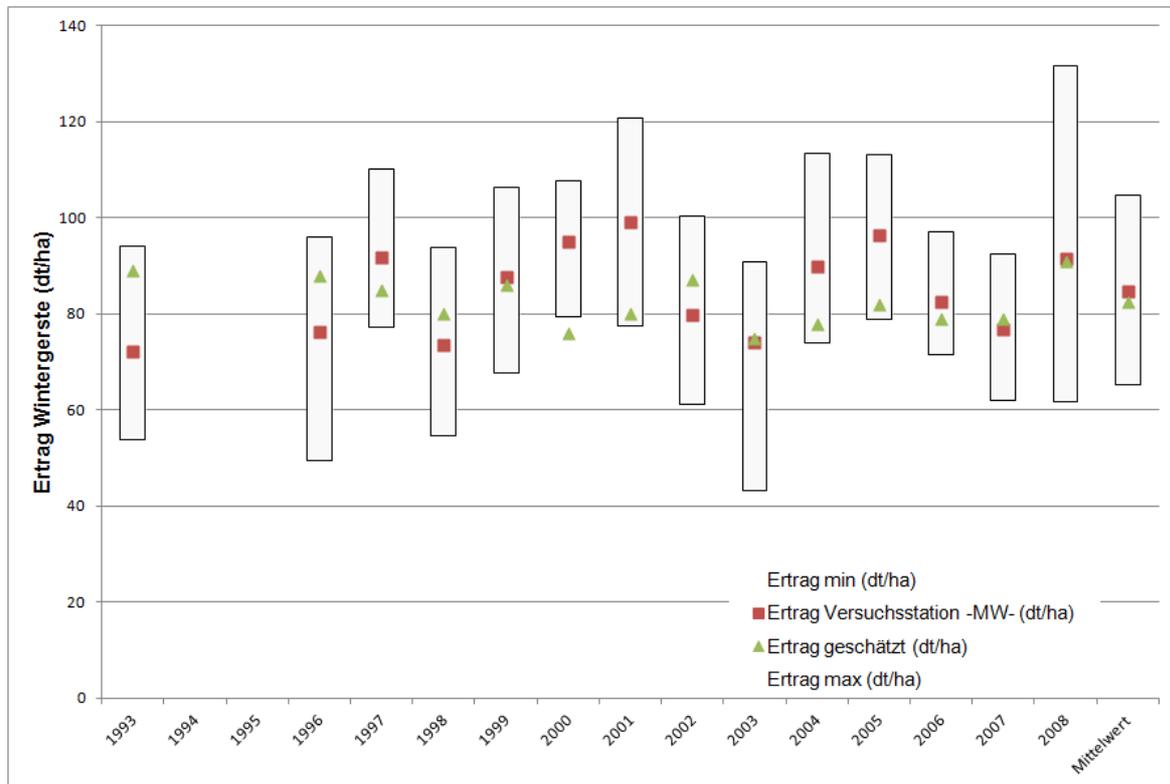


Abb. 18: Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Walbeck mit den Schätzergebnissen



**Versuchsstation Gadeqast**

Lage der Station: Westrand der Dübener Heide, dominierende Böden auf den Versuchsflächen D4b

Sortenversuche: Winterweizen (Abb. 19), Wintergerste (Abb. 20), Winterroggen (Abb. 21)

Prüfkriterium: Versuchsmittelwert der Zeitreihe 1993 bis 2008 wurden für alle 3 Getreidearten leicht unterschätzt (Winterweizen -4,1 %, Wintergerste -5,9 %, Winterroggen - 3,9 %), Schätzwerte liegen jedoch im Versuchsrahmen

Beschreibung: Erwartungsgemäß liegen bei allen 3 Getreidearten die Schätzergebnisse in der Regel unter den Mittelwerten der Versuche, starke Ertragsschwankungen nach oben werden nicht in entsprechenden Maßen nachgebildet

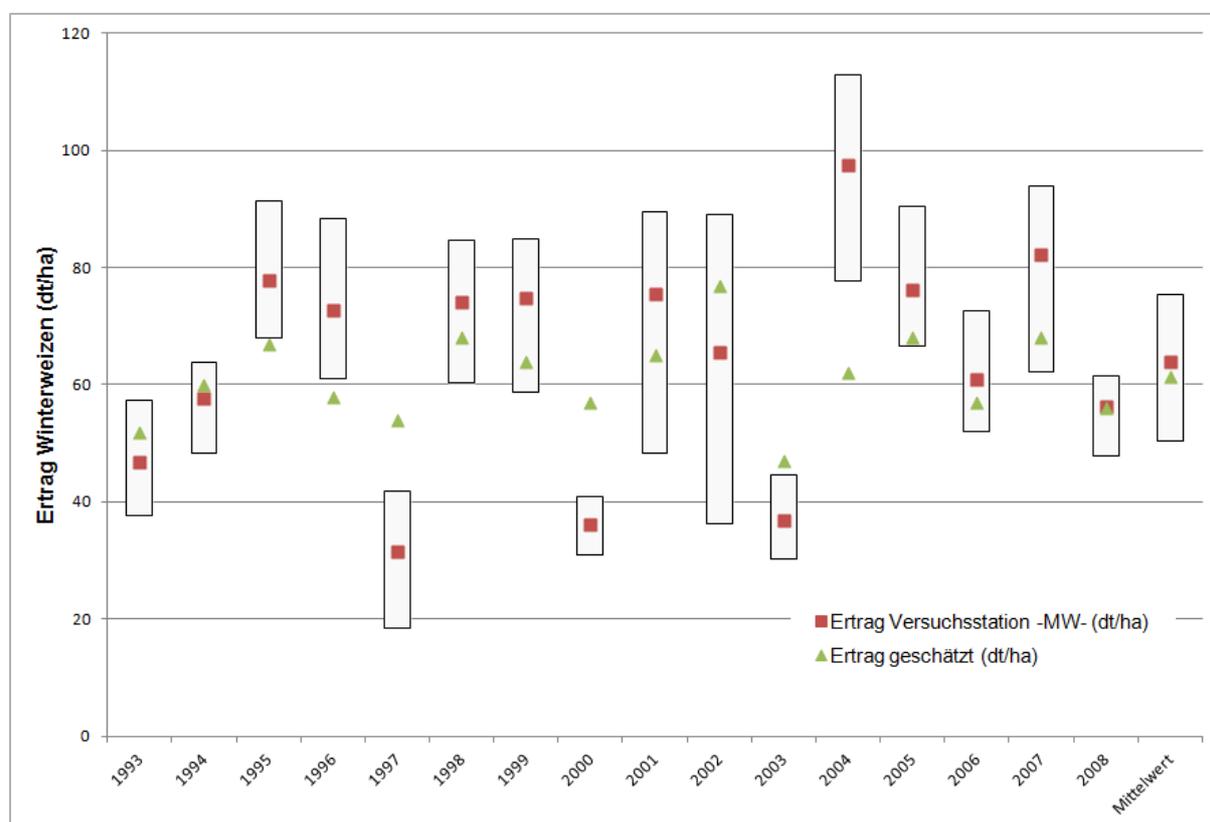


Abb. 19: Vergleich der Versuchsdaten Winterweizen der Station Gadeqast mit den Schätzergebnissen



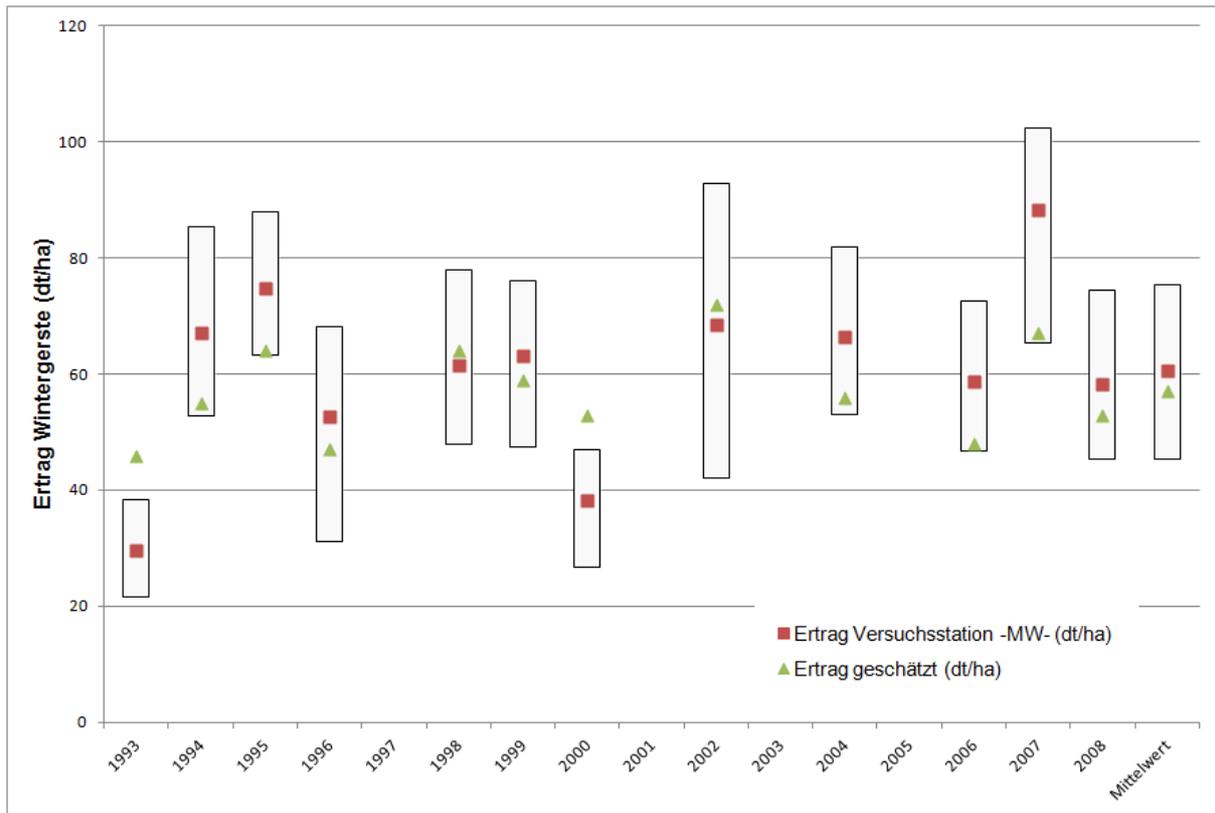


Abb. 20: Vergleich der Versuchsdaten Wintergerste der Station Gadegast mit den Schätzergebnissen

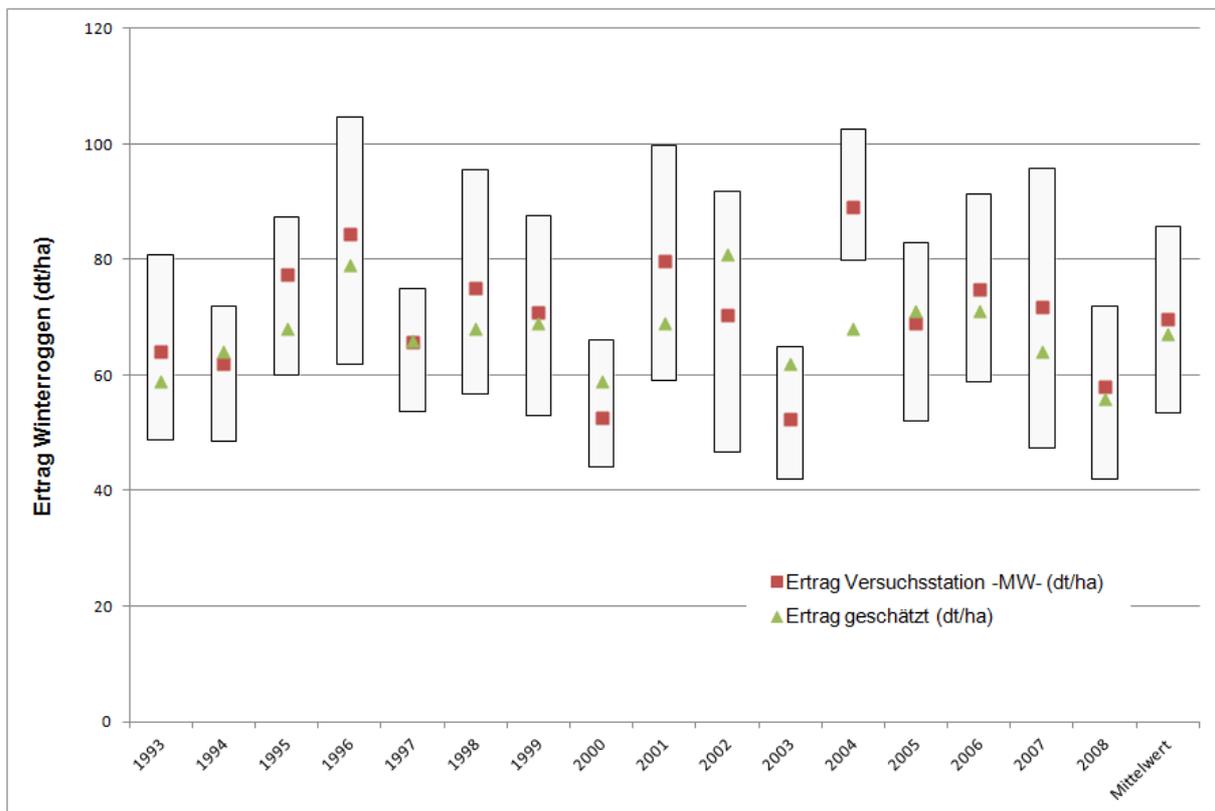


Abb. 21: Vergleich der Versuchsdaten Winterroggen der Station Gadegast mit den Schätzergebnissen



## **Zwischenfazit**

Der verwendete Modellansatz hat sich für alle geprüften Versuchsstationen und Fruchtarten als geeigneter Ansatz zur Schätzung der erzielten Naturalerträge erwiesen. Die in den Abbildungen als Boxplot dargestellten minimalen und maximalen Versuchsergebnisse zeigen, wie groß die Schwankungsbreite der Erträge an einem Standort bei gleichen Bewirtschaftungsverhältnissen ist. Das gesetzte Ziel, diesen Schwankungsbereich im langjährigen Mittel mit den Schätzergebnissen zu treffen, wurde in der Mehrheit der Jahre erreicht. Positive und negative 'Ausreiser' werden nicht in dem Maße nachgebildet. Ursache hierfür dürfte sein, dass es sich hierbei um Einzelereignisse der Witterung handelt

### **Schlussfolgerungen für die weitere Bearbeitung**

- Qualität der Klimadaten ist entscheidend für Güte der Schätzung
- Klimastationen müssen sich in der unmittelbaren Umgebung befinden und dem gleichen Klimatyp angehören
- Zeitreihen sind auf langjährige Mittelwerte (mindestens 10-jährige Mittel) zu verdichten
- Bei den Wintergetreidearten führen in Sachsen-Anhalt sehr hohe klimatische Wasserbilanzen in der Regel zu Ertragsausfällen
- Ursachen für Ertragsschwankung nach oben sind nicht allein über die Klimakennwerte nicht eindeutig zu identifizieren.

## **5.2 Validierung des Modells auf Schlagebene unter Nutzung von Daten aus Versuchen**

### **5.2.1 Datengrundlagen**

Ausgehend von der im 1. Arbeitsschritt durchgeführten Modellprüfung hinsichtlich der prinzipiellen Anwendbarkeit des Modellansatzes für die landwirtschaftlichen Nutzflächen und ausgewählter Ackerfruchtarten Sachsen-Anhalts stand im Mittelpunkt des 2. Arbeitsschrittes die Modellvalidierung. Als Validierungsdaten wurden hierzu die Ertragsdaten der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) Sachsen-Anhalts genutzt.

Der Aufbau des Bodenbeobachtungssystems begann im Jahre 1990. Der Beschluss der Landesregierung von Sachsen-Anhalt zum „Aufbau und Betrieb des Bodenbeobachtungssystems des Landes Sachsen-Anhalt“ wurde am 5.12.1995 bekannt gegeben. Mit dem BDF-Programm werden im Wesentlichen folgende Ziele verfolgt:

- Erfassung der aktuellen Eigenschaften und Belastungen ausgewählter Böden,
- langfristige Ermittlung von Bodenveränderungen durch regelmäßige Wiederholungsuntersuchungen,
- Schaffung einer Datengrundlage für Entscheidungen in der Landesplanung,
- Ableitung der Empfindlichkeit der Böden,
- Festlegung von Referenzflächen für regionale Belastungen.



Die ausgewählten BDF-Flächen sollen eine ausreichende Repräsentanz für den größten Teil der Bodenfläche des Landes gewährleisten. Die Repräsentanz der BDF wird dabei durch die Landschaftsrepräsentanz (hier gehen u.a. die geologische Situation, das Klima und die Reliefverhältnisse ein), die Bodenrepräsentanz und die Nutzungsrepräsentanz wiedergegeben. Diesem Ansatz entsprechend, ist davon auszugehen, dass die auf den jeweiligen BDF angebaute Fruchtarten und deren Erträge gleichfalls die Verhältnisse (Ertragsniveau, Ertragsverlauf) auf den vergleichbaren Standorten repräsentieren.

Die BDF wurden auf allen Nutzungstypen, die in Sachsen-Anhalt flächenhaft von Bedeutung sind, angelegt. Dies betrifft die Acker- und Grünlandnutzung, Forstflächen, Kippenstandorte, Naturschutzflächen und anthropogene Standorte. Insgesamt sind zum gegenwärtigen Stand 65 BDF eingerichtet und werden durch die zuständigen Fachbehörden laufend untersucht bzw. die Nutzungsdaten erfasst.

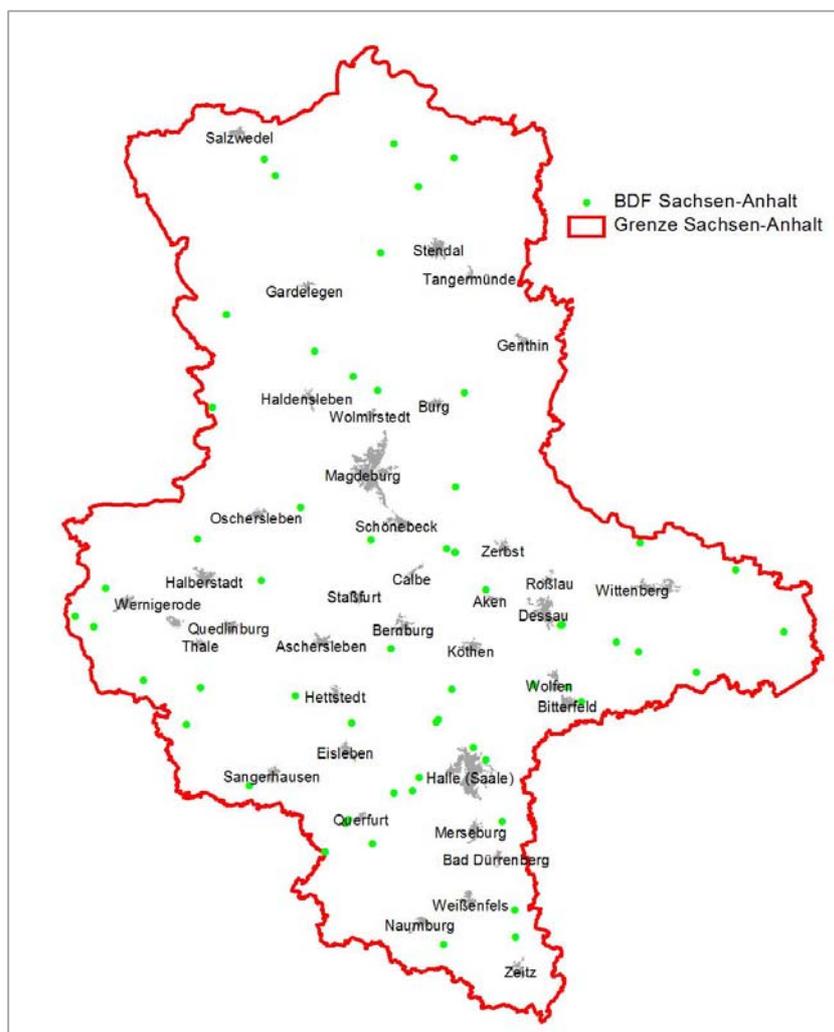


Abb. 22: Gegenwärtiger Stand des BDF-Programms Sachsen-Anhalt

Die Ertragsdaten wurden durch die LLFG, die Standortdaten durch das LAGB für das vorliegende Vorhaben zur Verfügung gestellt. Die Einrichtung erfolgte fortlaufend seit 1996, so dass auch die Ertragsdaten nicht einheitlich und komplett über den gesamten Zeitraum vorliegen. Eine Übersicht über die Nutzung der BDF sowie der Modelleignung der angebaute Fruchtarten ist Tab. 6 zu entnehmen.



Tab. 6: Auswertung der Bodendauerbeobachtungsflächen hinsichtlich Nutzbarkeit der Daten zur Ertragsabschätzung (grün = Modellfruchtart Vorgabe, orange = landwirtschaftliche Nutzung, keine Modellfruchtart, rot = keine Ertragserfassung bzw. keine landwirtschaftliche Nutzfläche)

BDF - Nr.	BDF	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Modellierung
1	Querstedt	orange	grün	ja														
2	Erxleben	orange	orange	grün	orange	grün	grün	orange	grün	grün	rot	nein						
3	Krevese	orange	orange	grün	orange	orange	orange	orange	grün	grün	orange	grün	orange	orange	grün	orange	grün	nein
6	Born	rot	keine LN															
7	Colbitz	rot	keine LN															
9	Zielitz	rot	keine LN															
10	Reesen	rot	keine LN															
12	Senst	grün	orange	grün	grün	orange	ja											
13	Ochsenkopf	rot	keine LN															
14	Bad Schmiedeb.	rot	keine LN															
15	Goitsche	rot	keine LN															
16	Golpa-Nord	rot	keine LN															
17	Clossa	orange	grün	grün	grün	grün	grün	grün	orange	ja								
18	Iden	rot	keine LN															
19	Barby	rot	keine LN															
21/ 1	Biberwerder 1	rot	keine LN															
21/ 2	Biberwerder 2	rot	keine LN															
22/ 1	Steckby 1	rot	keine LN															
23	Plötzkau	orange	orange	orange	grün	ja												
24	Brücken	orange	orange	grün	orange	ja												
25	Salegaster Aue	rot	keine LN															
26	Miesterhorst	rot	keine LN															
28	Ladeburg	orange	grün	grün	grün	grün	grün	orange	orange	ja								
29	Mahlsdorf	orange	nein															
30	Biere	orange	orange	orange	grün	orange	grün	grün	grün	grün	orange	grün	grün	grün	grün	orange	grün	ja
31	Rodersdorf	orange	grün	ja														
32	Klein Wanzleb	orange	grün	orange	orange	grün	grün	grün	orange	orange	grün	grün	orange	orange	orange	orange	orange	ja
33	Cattau	orange	orange	orange	orange	grün	grün	grün	orange	orange	grün	grün	grün	grün	grün	orange	orange	ja
34	Etzdorf	orange	nein															
35	Barnstädt	orange	nein															
36	Leimbach	orange	grün	orange	orange	orange	grün	grün	orange	orange	orange	grün	grün	grün	orange	orange	orange	ja
37	Querfurt	orange	nein															
38	Lodersleben	rot	keine LN															



BDF - Nr.	BDF	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Modellierung
39	Scheiplitz																	nein
40	Pirkau																	nein/Kippe
41	Profen																	nein/Kippe
42	Jeggeleben																	nein
43	Eilenstedt																	ja
45	Drübeck																	ja
46	Polleben																	ja
47	Teutschenthal																	nein/Kippe
48	Amsdorf																	keine LN
49	Seeben																	nein
50/ 1	Lettewitz 1																	ja
50/ 2	Lettewitz 2																	keine LN
51	Zöberitz																	keine LN
52	Merseburg-Ost																	nein
54	Schwanefeld																	ja
55/ 1	Ziegelroda 1																	keine LN
55/ 2	Ziegelroda 2																	keine LN
57	Schierke																	keine LN
58	Hasselfelde																	keine LN
59	Auerberg																	keine LN
60	Friedrichrode																	keine LN
62/ 1	Siptenfelde 1																	ja
62/ 2	Siptenfelde 2																	keine LN
63	Oschersleben																	nein
64/ 1	Mildensee G1																	keine LN
64/ 2	Mildensee G2																	keine LN
64/ 3	Mildensee G3																	keine LN
64/ 4	Mildensee A1																	keine LN
64/ 5	Mildensee A2																	keine LN
65	Brocken																	keine LN
67	Löberitz																	ja
68	Gadegast																	nein

Es zeigt sich, dass von den in Tab. 6 aufgeführten 65 BDF 18 für die Modellvalidierung genutzt werden können. Hauptkriterium hierfür war ein langjähriger und zumindest in längeren



Zeitabschnitten erfolgter Anbau derjenigen Fruchtarten, die für das vorliegende Vorhaben von Bedeutung sind. Die betreffenden BDF und deren Lage sind in Abb. 23 dargestellt.

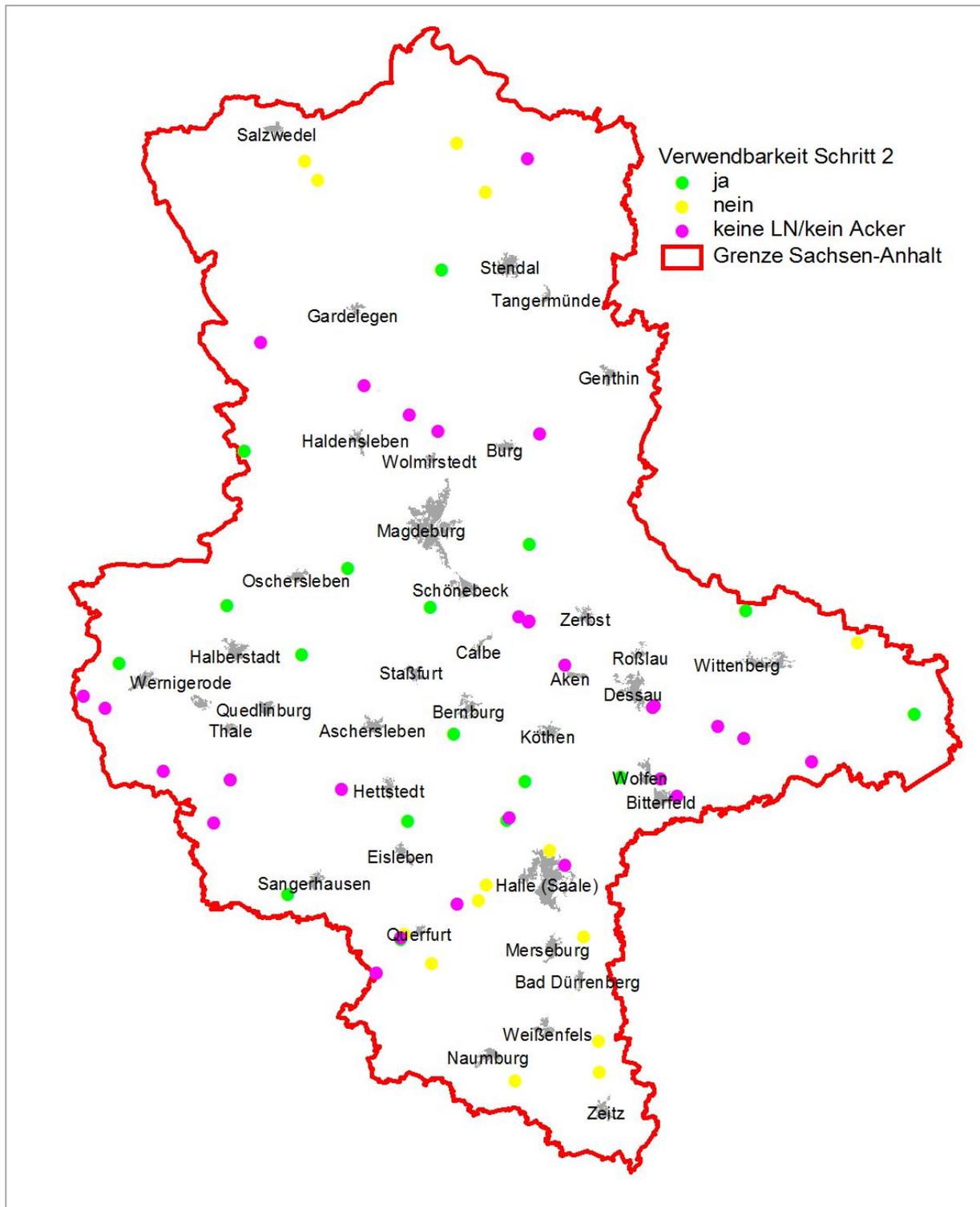


Abb. 23: Übersicht zur Nutzung der Bodendauerbeobachtungsflächen für die Modellvalidierung. Adäquat zur Vorgehensweise im Arbeitsschritt 2 wurden den ausgewählten BDF Klimastationen zur Ableitung der im Modell benötigten Klimakennwerte zugeordnet (siehe Tab. 7)

Tab. 7: Zuordnung der Klimastationen der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt zu den ausgewählten BDF

<b>BDF</b>	<b>BDF-Nr.</b>	<b>zugehörige Station</b>	<b>zugeordnete Station</b>
Querstedt	BDF-Nr. 1	Gardelegen	Gardelegen
Senst	BDF-Nr. 12	Wittenberg	Wittenberg
Clossa	BDF-Nr. 17	Wittenberg	Wittenberg
Plötzkau	BDF-Nr. 23	Bernburg	Bernburg
Brücken	BDF-Nr. 24	Artern	Artern
Ladeburg	BDF-Nr. 28	Magdeburg	Magdeburg
Biere	BDF-Nr. 30	Magdeburg	Magdeburg
Rodersdorf	BDF-Nr. 31	Wernigerode/Quedlinburg	Magdeburg
Kleinwanzl.	BDF-Nr. 32	Magdeburg	Magdeburg
Cattau	BDF-Nr. 33	Bernburg	Bernburg
Leimbach	BDF-Nr. 36	Querfurt	Querfurt
Eilenstedt	BDF-Nr. 43	Wernigerode/Quedlinburg	Magdeburg
Drübeck	BDF-Nr. 45	Wernigerode/Quedlinburg	Magdeburg
Polleben	BDF-Nr. 46	Bernburg	Bernburg
Lettewitz	BDF-Nr. 50	Bernburg	Bernburg
Schwanefeld	BDF-Nr. 54	Ummendorf	Ummendorf
Siptenfelde	BDF-Nr. 62	Harzgerode	Harzgerode
Löberitz	BDF-Nr. 67	Köthen	Bernburg

Es zeigte sich wiederum, dass einige Stationen, die entsprechend des Klimatyps und der Entfernung für die jeweilige BDF zugehörig waren, auf Grund fehlender Datenreihen oder sehr großer Lücken in den Beobachtungsreihen keine Verwendung fanden und dann die wiederum nächstgelegene Station herangezogen werden musste. Im Einzelnen betraf das die im Nordharz befindlichen BDF (31, 43 und 45), für die weder die Station Wernigerode noch die Station Quedlinburg über eine entsprechende Eignung verfügte, so dass hier auf die Station Magdeburg zurückgegriffen werden musste. Für den Bereich Bitterfeld/Wolfen trifft das auf die BDF 67 (Löberitz) zu, der daraufhin die Station Bernburg zugeordnet wurde. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Problematik in den Größenordnungen der Klimakennwerte, insbesondere über die Niederschlagssumme in den Klimatischen Wasserbilanzen widerspiegelt und somit die konkreten Standortverhältnisse nicht abgebildet werden, was wiederum die Schätzergebnisse negativ beeinflussen müsste.



### 5.2.2 Ergebnisse Modellvalidierung für die Bodendauerbeobachtungsflächen Sachsen- Anhalts

Nach erfolgreicher Prüfung des Modellansatzes bezüglich der Eignung zur Ertragsschätzung ausgewählter Fruchtarten für die Standortverhältnisse Sachsen-Anhalts soll in einem 2. Arbeitsschritt das Modell auf Schlagebene validiert werden. Während im 1. Arbeitsschritt Versuchsergebnisse des Landessortenversuchswesens Sachsen-Anhalts die Datenbasis bildete, werden in diesem Arbeitsschritt Praxiserträge herangezogen. Als Datenbasis werden hierfür die Erfassungsdaten der Bodendauerversuchsflächen genutzt. Eine Beschreibung des BDF-Programmes ist dem Abschnitt 4.2 zu entnehmen. Von den 65 in Sachsen-Anhalt angelegten BDF konnten nach Prüfung der vorliegenden Daten bezüglich Nutzung, angebaute Fruchtarten und Zeitreihe die Daten von 18 BDF in die Auswertungen einfließen. Auf Grund der Datenbasis können mit diesem Schritt sowohl alle Bereiche der landwirtschaftlichen Nutzfläche Sachsen-Anhalts als auch alle sechs vorgegebenen Fruchtarten in die Berechnung einbezogen werden.

Um die erfassten Ertragsdaten und die Modellergebnisse über die gesamte Zeitreihe von 1996 bis 2010 für alle betrachteten Fruchtarten mit ihren jeweiligen verschiedenen Ertragsniveaus abbilden zu können, wurden die Naturalerträge in Getreideeinheiten umgerechnet. Über die Verwendung von Getreideeinheiten kann die Produktionsleistung der Landwirtschaft zusammengefasst beschrieben werden.

Die Getreideeinheit ist ein für pflanzliche und tierische Erzeugnisse festgelegter Faktor. Sie beschreibt das Energielieferungsvermögen pflanzlicher Erzeugnisse im Verhältnis zu dem für Futtergerste errechneten Vermögen. Folgende Faktoren wurden für die Umrechnung genutzt:

Fruchtart	1 dt/ha der Fruchtarten = Getreideeinheit/ha
Wintergerste	1,00 (=Bezugsfruchtart)
Winterweizen	1,07
Winterroggen	1,01
Winterraps	2,00
Sommergerste	1,00
Silomais	0,16

Für die Schätzung fanden die Schlussfolgerungen aus Arbeitsschritt 1 Berücksichtigung. Des Weiteren wurde der Temperaturterm für die einzelnen Fruchtarten differenziert für die einzelnen Klimatypen bestimmt und zur Anwendung gebracht. In den Abb. 24 bis Abb. 41 sind die Vergleiche der Ertragsdaten der verwendeten BDF mit den zugehörigen Schätzergebnissen, jeweils umgerechnet in Getreideeinheiten dargestellt, hierbei beträgt die Größe der Boxplot  $\pm 10$  %. Die Bewertung erfolgt abschließend im Abschnitt `Zwischenfazit`.



**Querstedt (BDF-Nr. 1)**

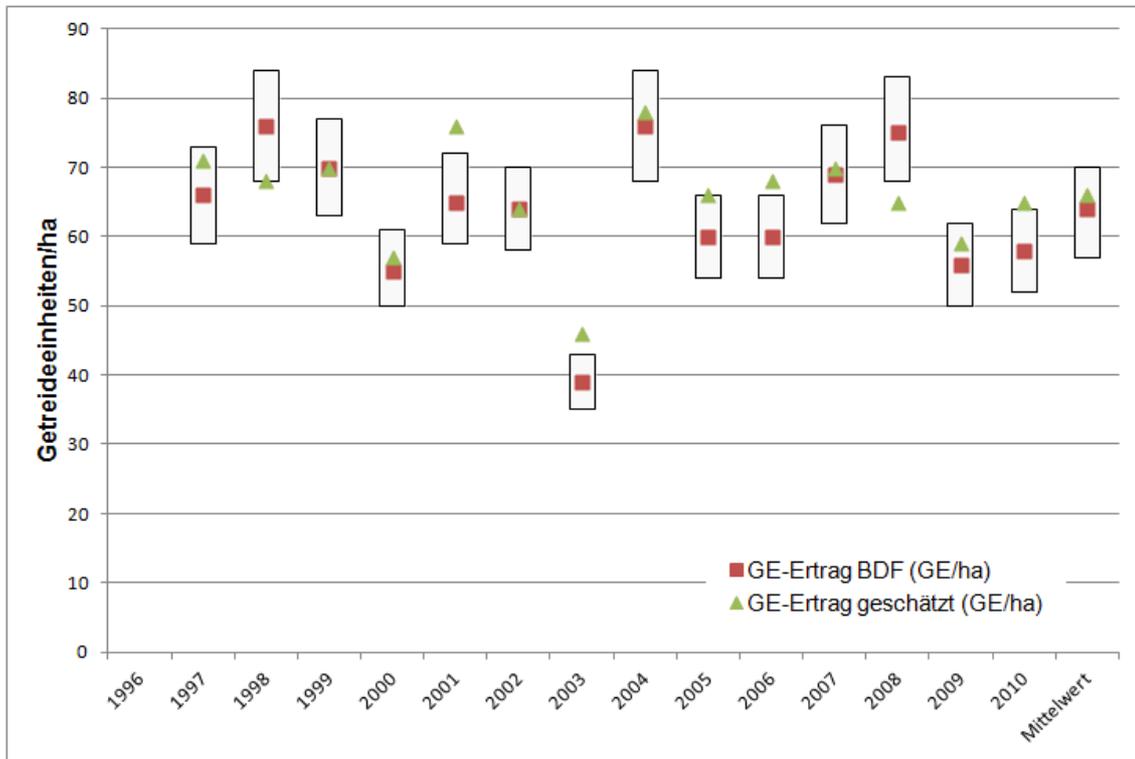


Abb. 24: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Querstedt mit den Schätzergebnissen

**Senst (BDF-Nr. 12)**

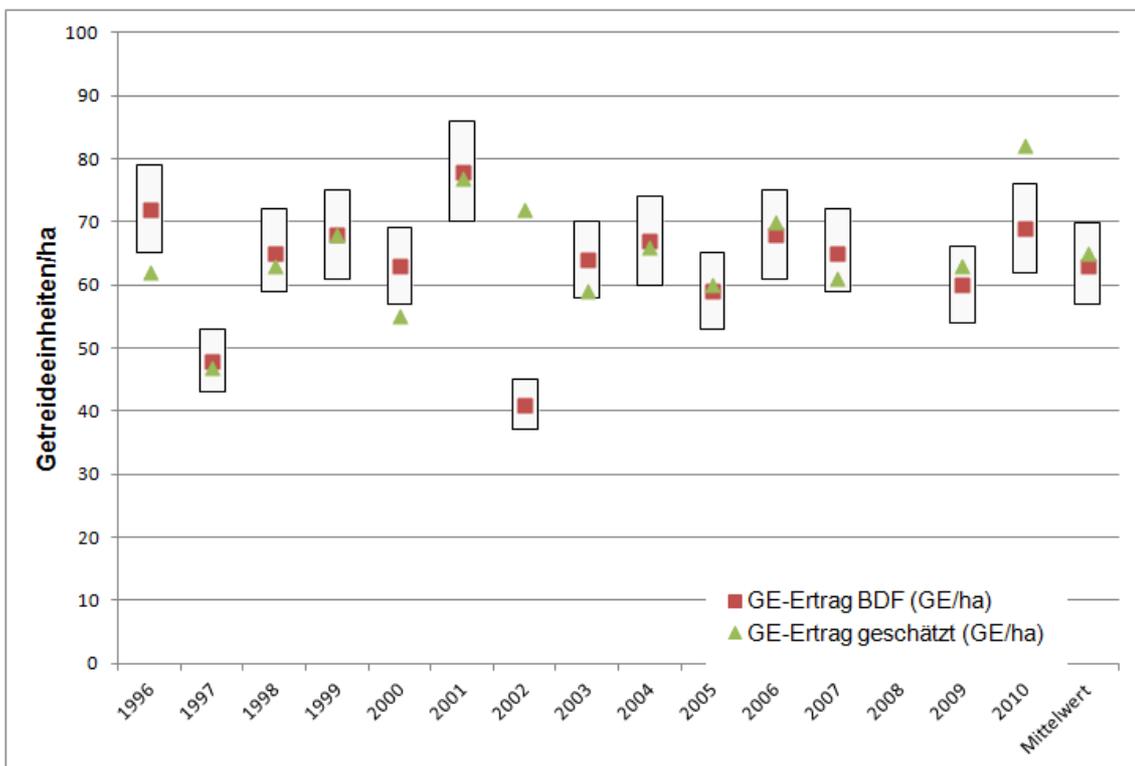


Abb. 25: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Senst mit den Schätzergebnissen

**Clossa (BDF-Nr. 17)**

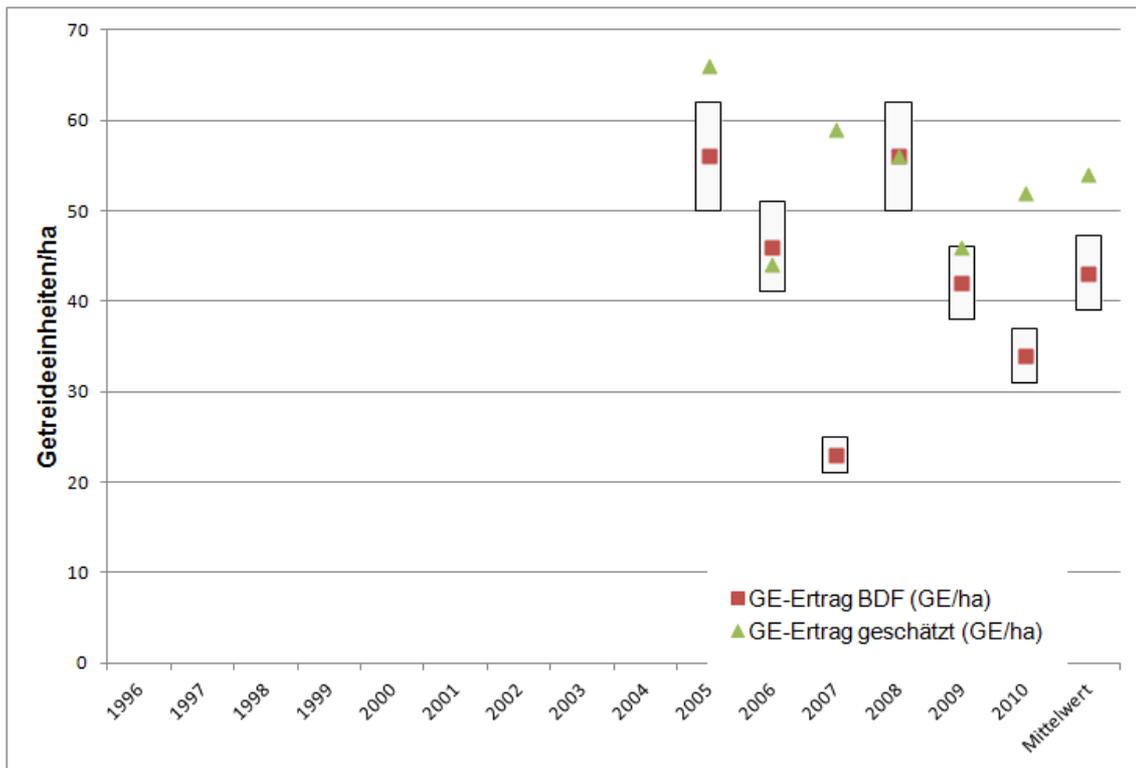


Abb. 26: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Clossa mit den Schätzergebnissen

**Plötzkau (BDF-Nr. 23)**

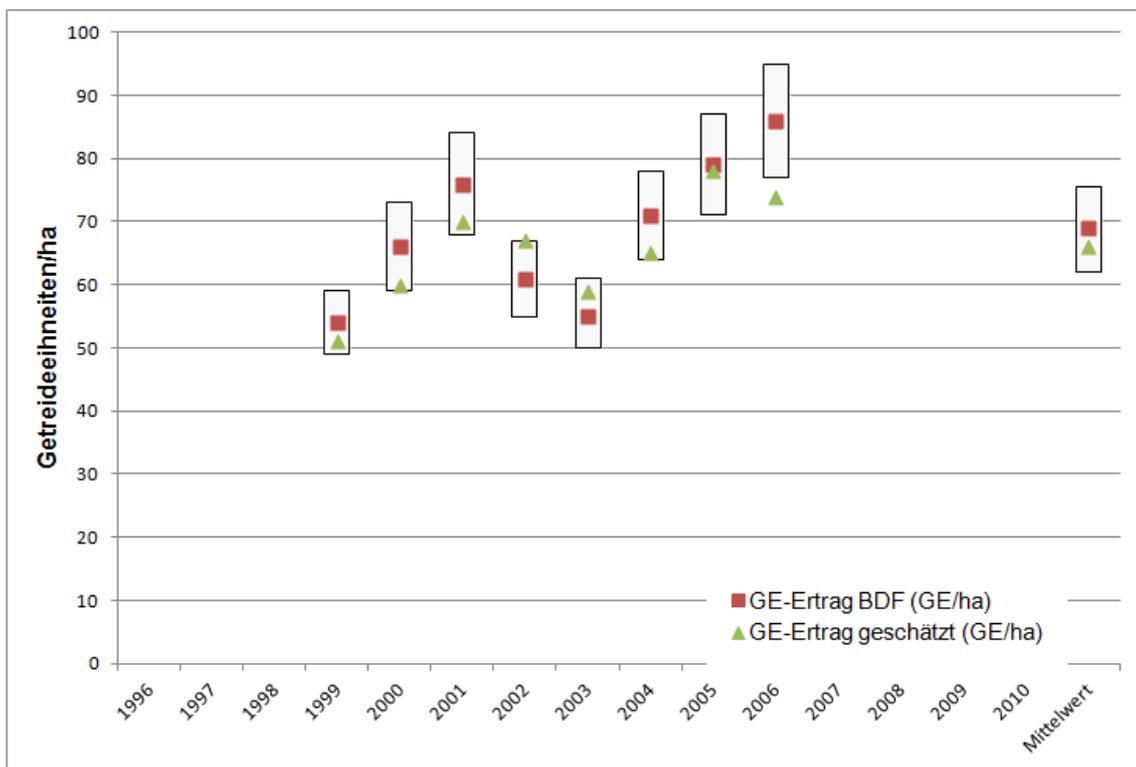


Abb. 27: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Plötzkau mit den Schätzergebnissen

**Brücken (BDF-Nr. 24)**

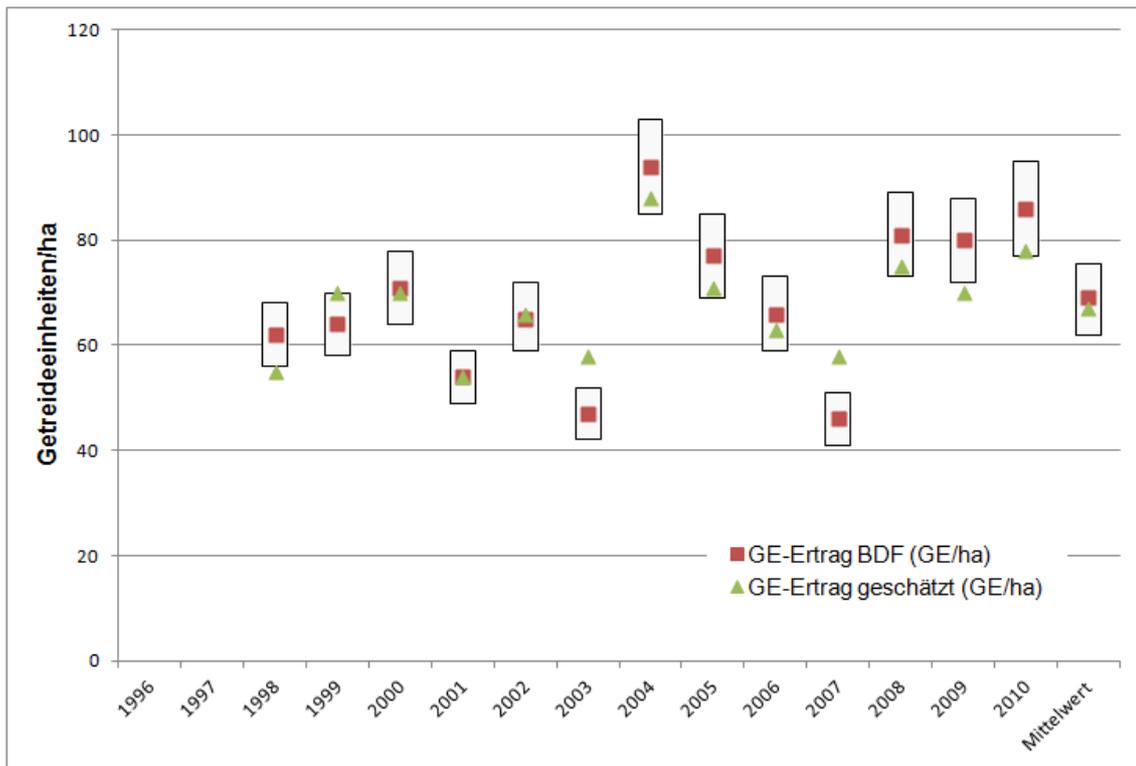


Abb. 28: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Brücken mit den Schätzergebnissen

**Ladeburg (BDF-Nr. 28)**

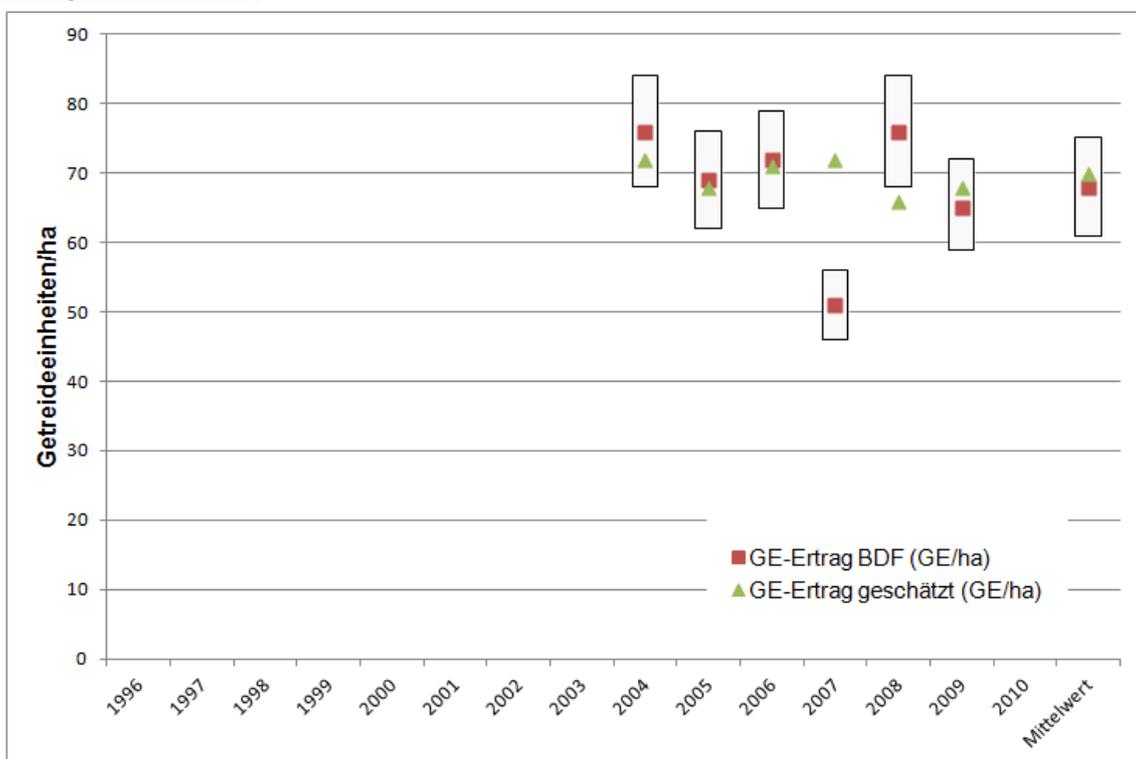


Abb. 29: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Ladeburg mit den Schätzergebnissen

**Biere (BDF-Nr. 30)**

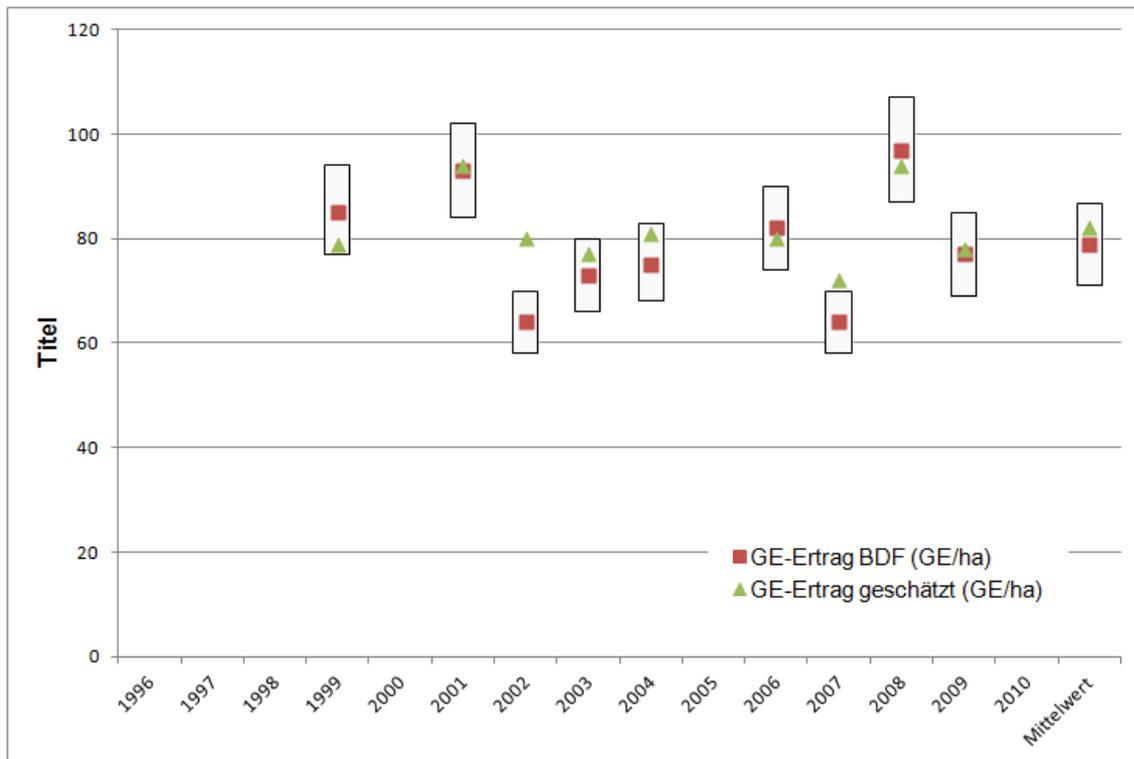


Abb. 30: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Biere mit den Schätzergebnissen

**Rodersdorf (BDF-Nr. 31)**

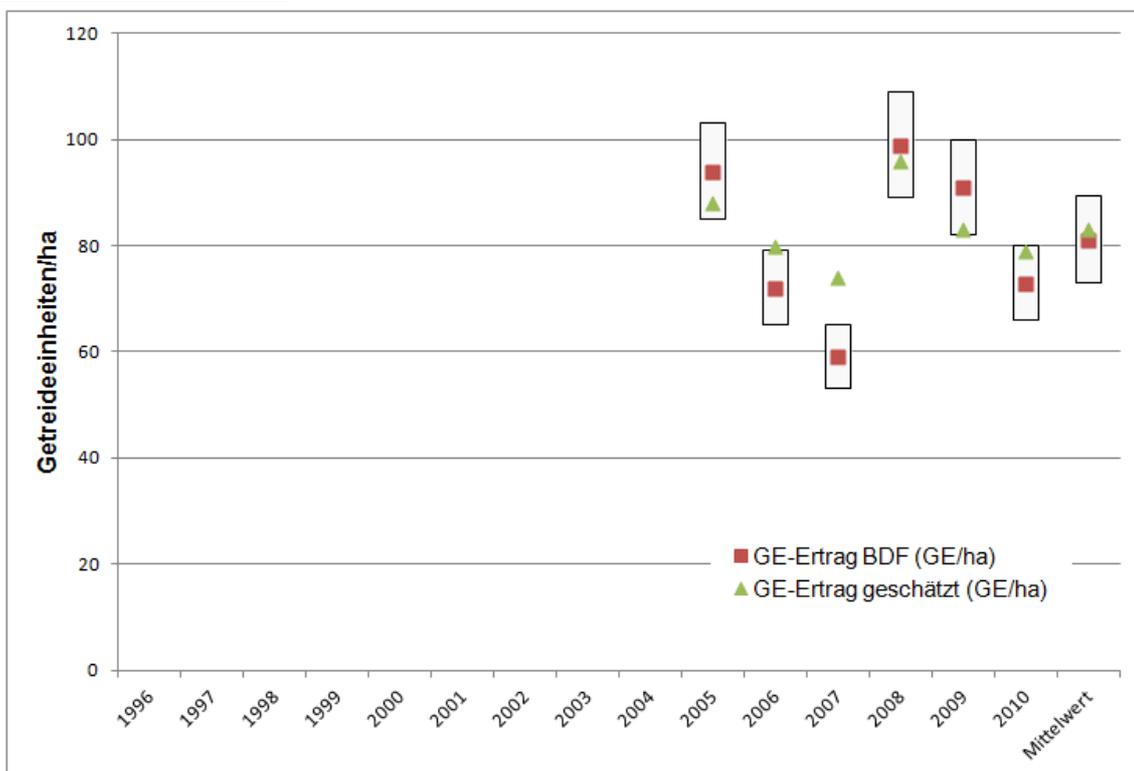


Abb. 31: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Rodersdorf mit den Schätzergebnissen



**Kleinwanzleben (BDF-Nr. 32)**

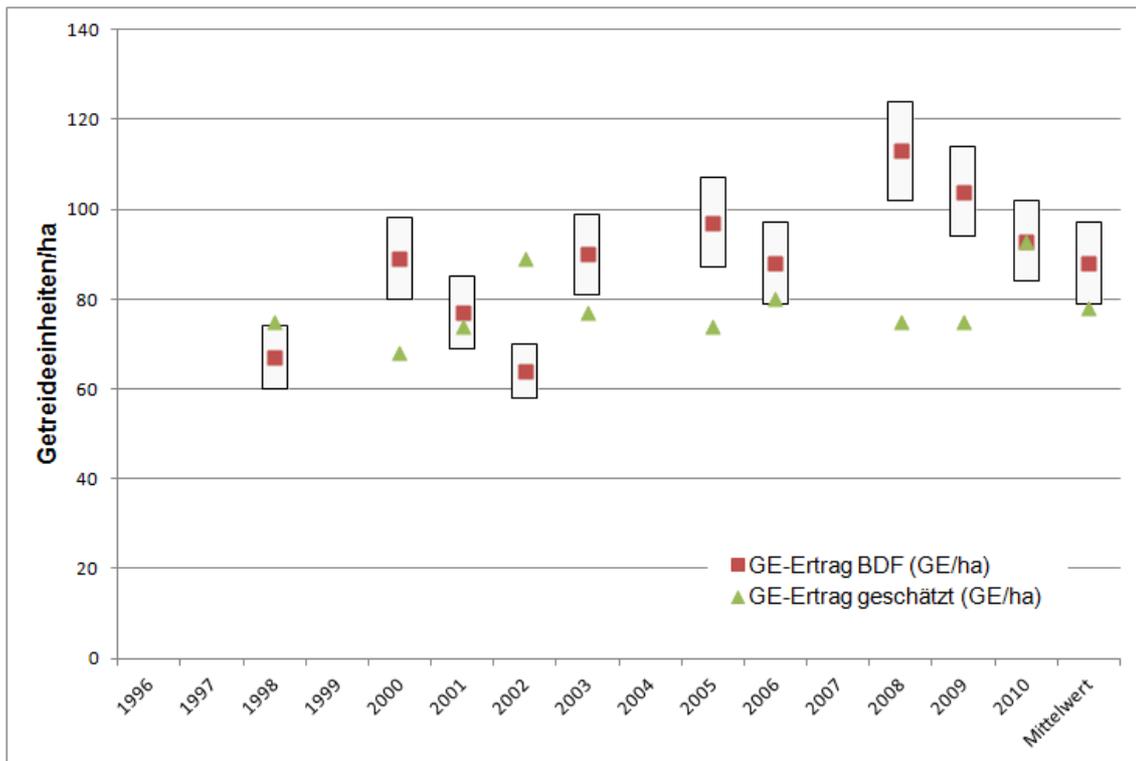


Abb. 32: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Kleinwanzleben mit den Schätzergebnissen

**Cattau (BDF-Nr. 33)**

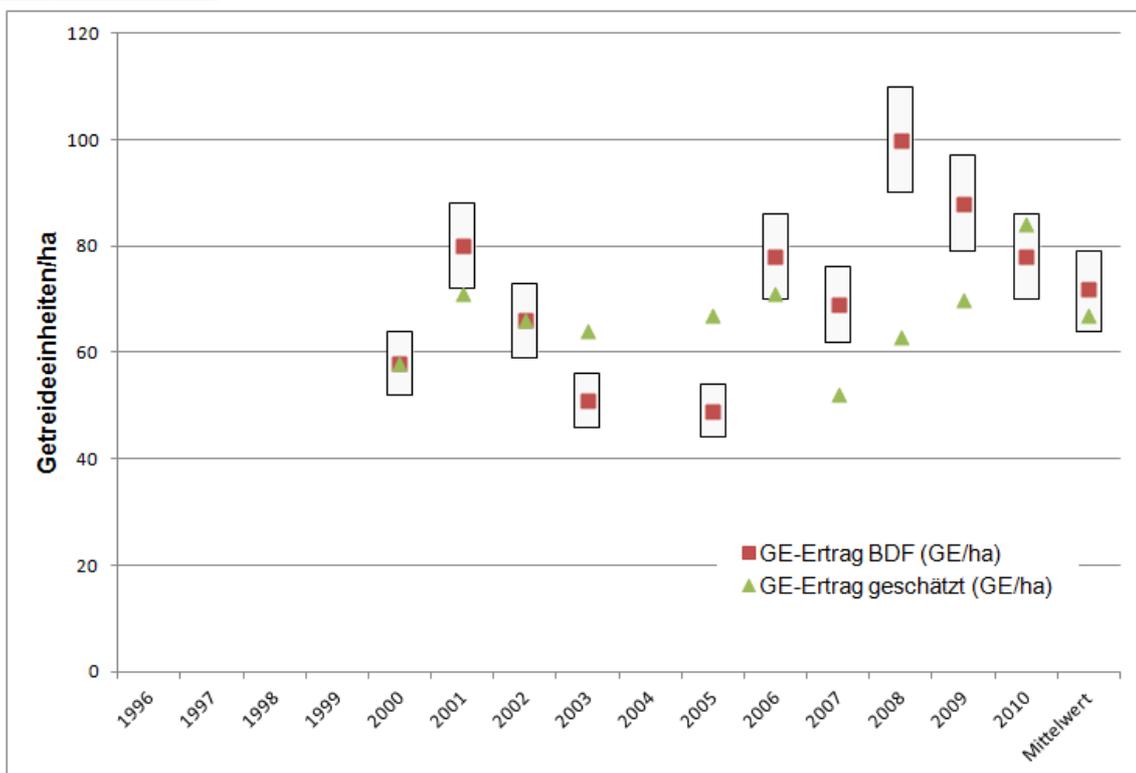


Abb. 33: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Cattau mit den Schätzergebnissen

**Leimbach (BDF-Nr. 36)**

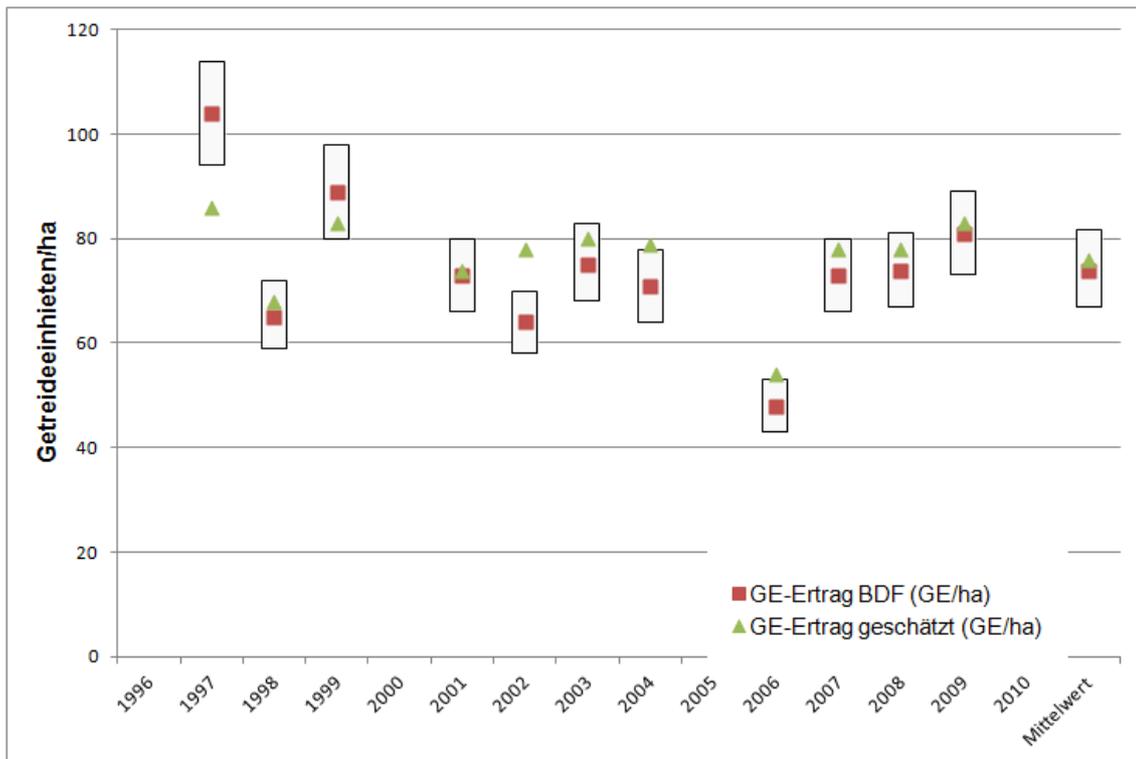


Abb. 34: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Leimbach mit den Schätzergebnissen

**Eilenstedt (BDF-Nr. 43)**

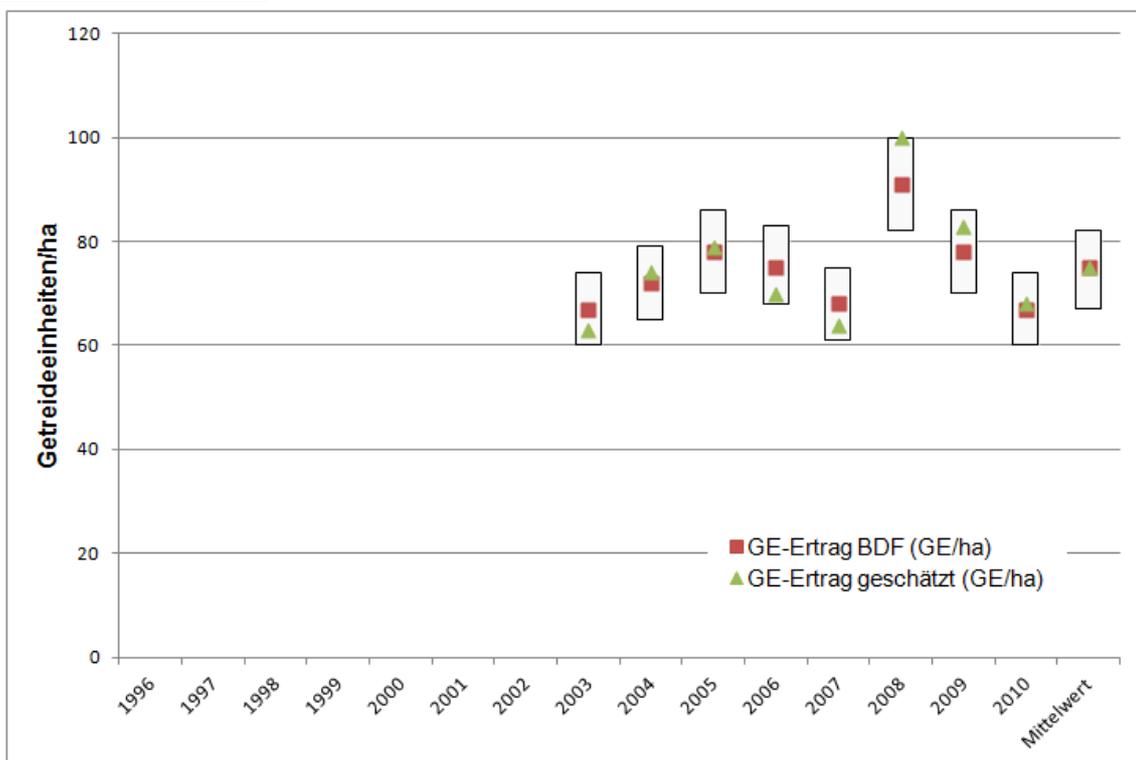


Abb. 35: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Eilenstedt mit den Schätzergebnissen

**Drübeck (BDF-Nr. 45)**



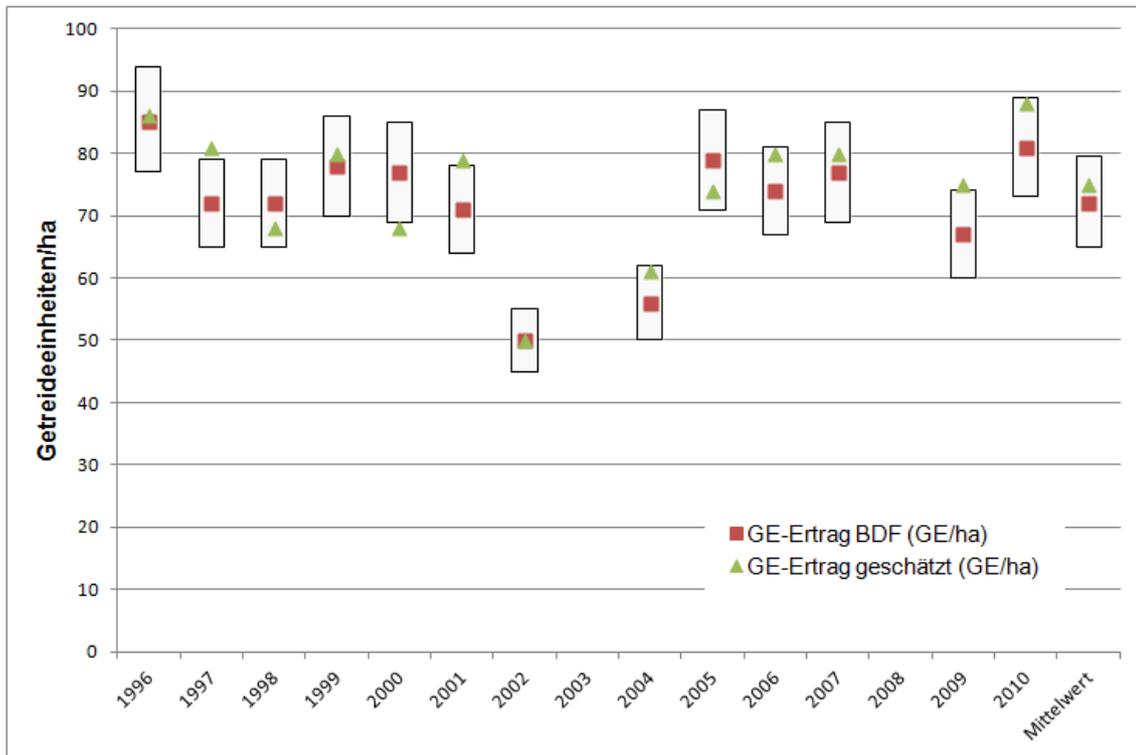


Abb. 36: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Drübeck mit den Schätzergebnissen

**Polleben (BDF-Nr. 46)**

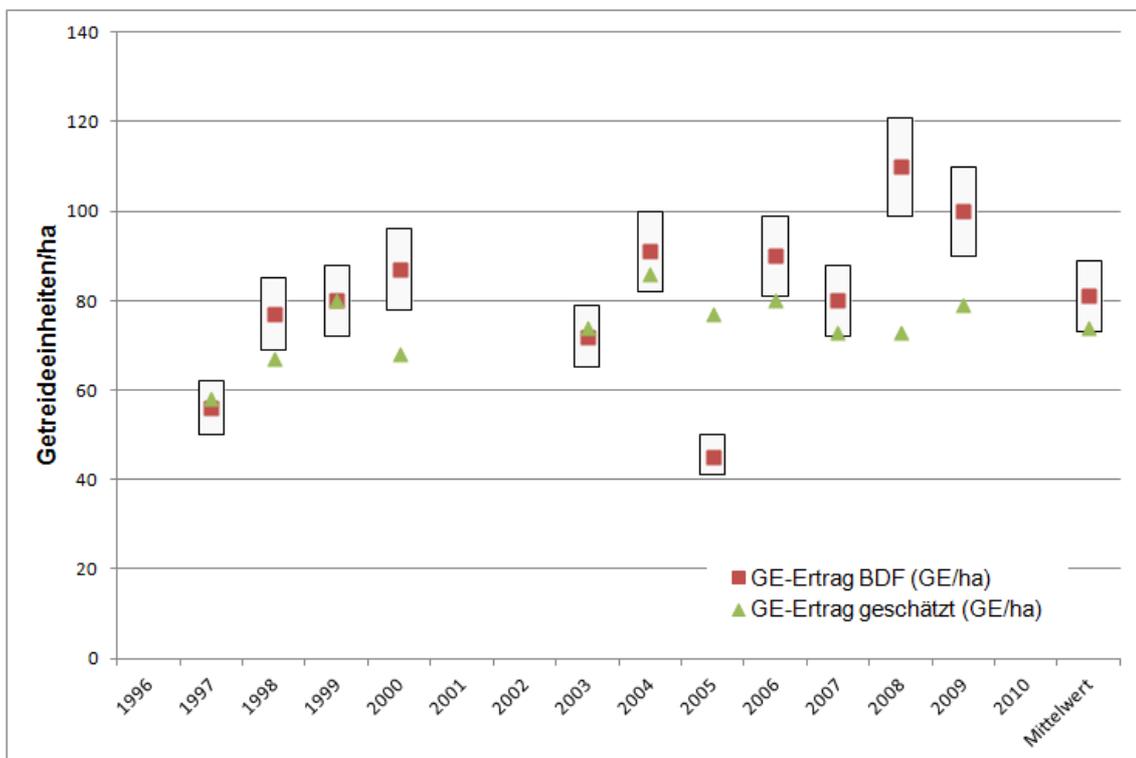


Abb. 37: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Polleben mit den Schätzergebnissen

Anmerkung: Problem Wetterstation passt nicht zum Klimatyp

**Lettewitz (BDF-Nr. 50)**



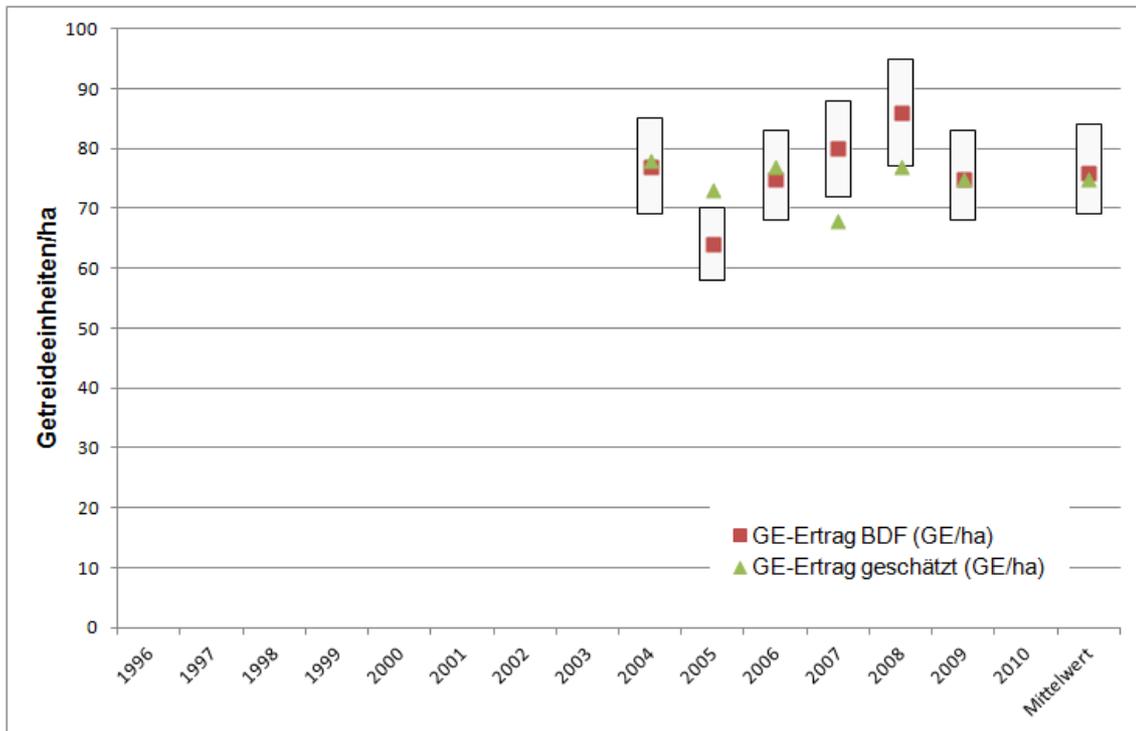


Abb. 38: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Lettewitz mit den Schätzergebnissen

**Schwanefeld (BDF-Nr. 54)**

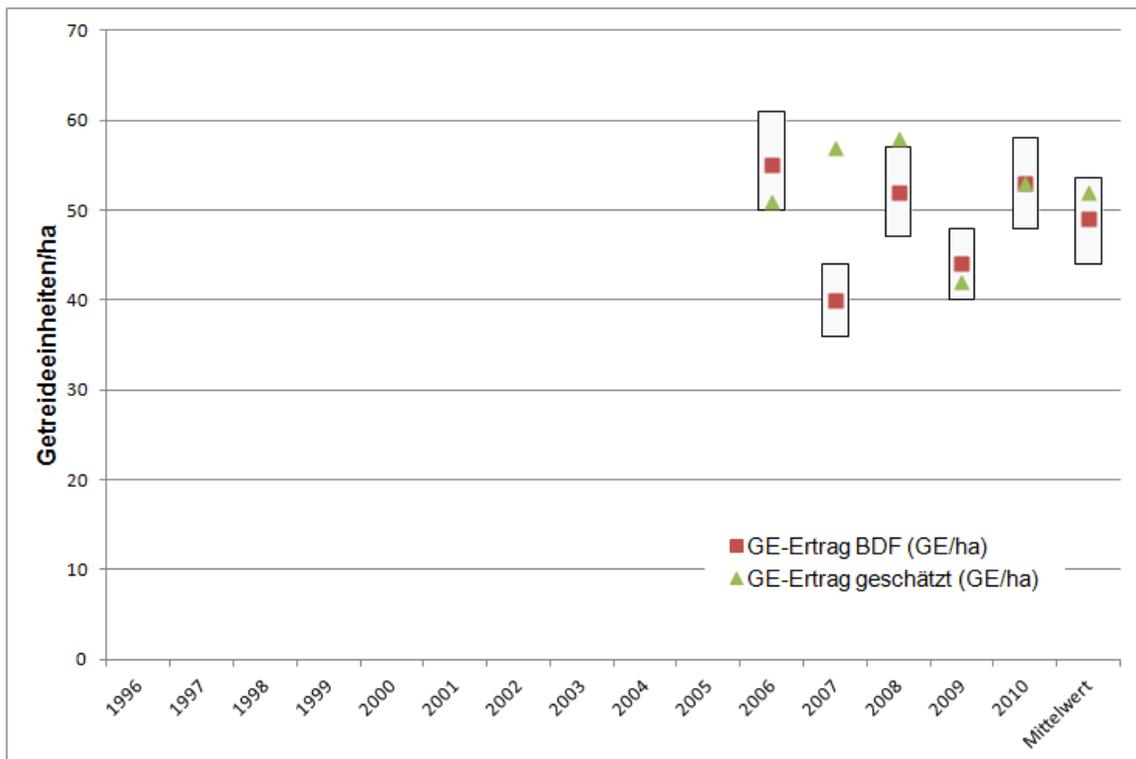


Abb. 39: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Schwanefeld mit den Schätzergebnissen

**Siptenfelde (BDF-Nr. 62)**



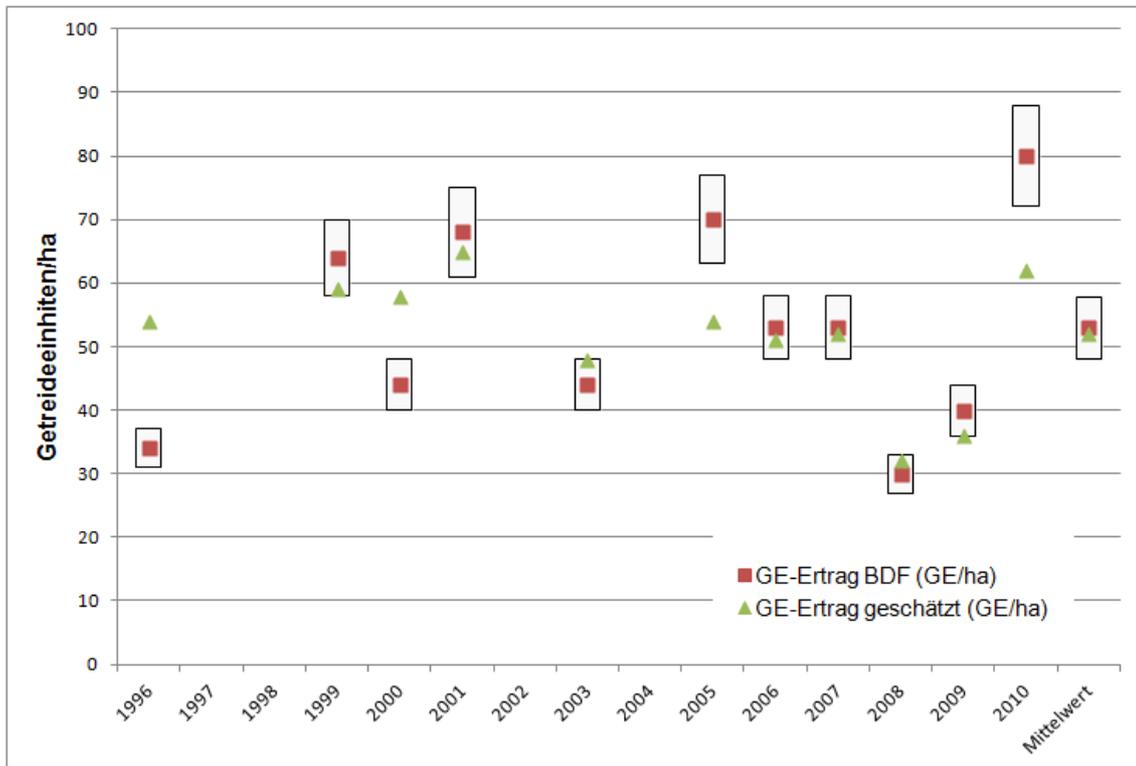


Abb. 40: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Siptenfelde mit den Schätzergebnissen

**Löberitz (BDF-Nr. 67)**

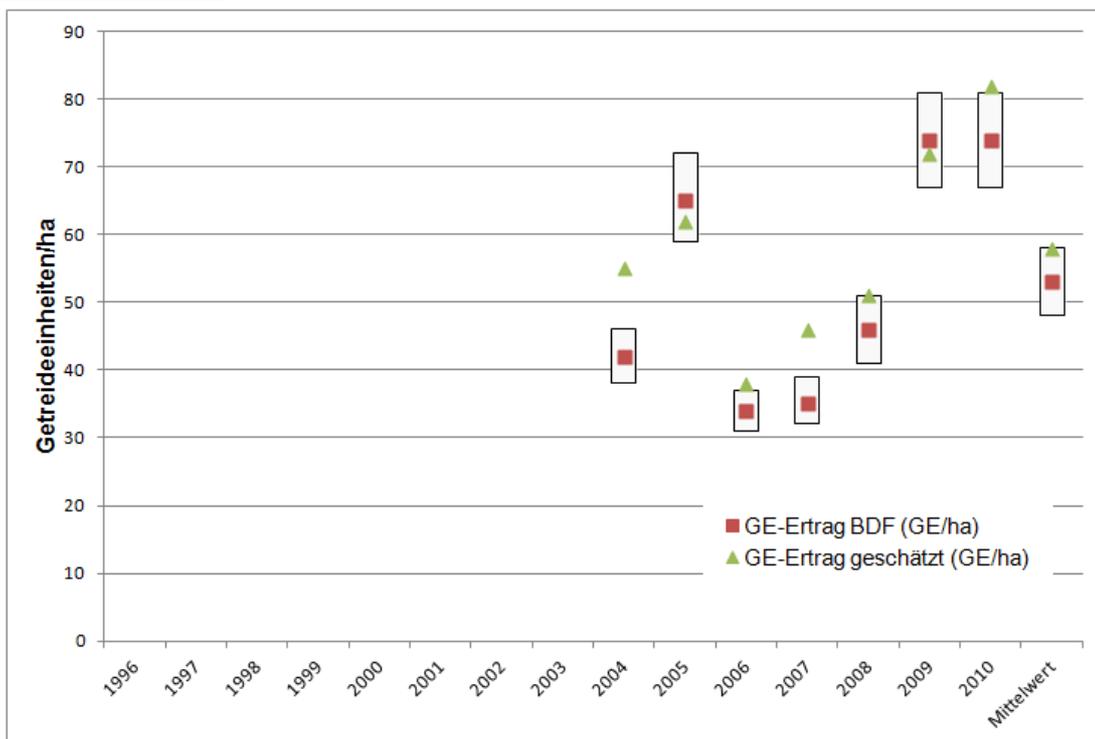


Abb. 41: Vergleich der Ertragsdaten der BDF Löberitz mit den Schätzergebnissen

**Zwischenfazit**



Insgesamt kann zur Schätzgüte beurteilt werden, dass der langjährige Trend der Ertragsreihen und der Schätzergebnisse, abgebildet über den Mittelwert der Zeitreihe 1996 bis 2010, bei fast allen BDF in dem  $\pm 10\%$  Bereich liegen. Das betrifft die gesamte Landesfläche und alle sechs geprüften Fruchtarten. Ausnahmen sind die BDF Clossa und die BDF Kleinwanzleben. Bei letzterer handelt es sich um eine Versuchsstation, so dass hier keine Praxiserträge erzielt werden. Dementsprechend liegt das geschätzte Ertragsniveau meist deutlich unter den tatsächlichen Erträgen. Die Erträge der BDF Clossa sind unabhängig von den Witterungsverhältnissen stark schwankend und korrespondieren nicht mit dem Ertragstrend der umliegenden BDF in den entsprechenden Jahren. Für diese BDF muss davon ausgegangen werden, dass Fehler in der Bewirtschaftung zu diesen Schwankung führt und diese sind zwangsläufig über das Modell nicht abbildbar. Bei den BDF Polleben, Schwanefelde, Siptenfelde und Löberitz ist zwar das Ergebnis des langjährigen Trends zufriedenstellend, jedoch die Schätzgüte der Einzeljahre nicht zufriedenstellend. Für die BDF Polleben und Löberitz ist hierfür das Problem der Stationszuordnung aus Fehlerursache zu benennen. Polleben, im östlichen Harzvorland gelegen, musste der deutlich trockneren und wärmeren Station Bernburg zugeordnet werden. Diese Station musste auch der BDF Löberitz zugeordnet werden, die jedoch auf Grund der Lage noch etwas wärmer ausfällt. Bei den BDF Schwanefelde und Siptenfelde sind Ertragsschwankungen auszumachen, die nicht witterungsbedingt sind bzw. zumindest nicht die Klimakennwerte betreffend, die in das Modell eingehen. Für die BDF Siptenfelde, im Unterharz gelegen, betrifft dies insbesondere die Winterrapserträge, der in den Jahren 1996 (sehr niedriger Ertrag), 2005 und 2010 (jeweils sehr hoher Ertrag) angebaut wurde. Die Witterungsverhältnisse in den Jahren waren ähnlich. Hier ist anscheinend das harzspezifische Klima für die große Schwankungsbreite verantwortlich. Dieses kann, da es in erster Linie für die Tieflandsbereiche entwickelt wurde, nur bedingt über das Modell abgebildet werden. Daraus ist zu schlussfolgern, dass für die Mittelgebirgsstandorte des Harzes nur der langjährige Mittelwert als Trend für die Ertragsentwicklung genutzt werden kann. Auch für die BDF Schwanefelde ist eine starke Schwankung der Erträge zu beobachten, die nicht allein witterungsbedingt sind.

Allgemein ist festzustellen, dass auf allen BDF, auf denen Silomais angebaut wurde, der Ertrag auch bei gleichen Witterungsverhältnissen sehr stark schwankt.

Insgesamt zeigt der Vergleich der Schätzergebnisse und der ermittelten Praxiserträge, dass das Modell für die Ertragsschätzung der vorgegebenen Fruchtarten auf den Standortbedingungen Sachsen-Anhalts zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Des Weiteren können die ermittelten Temperaturterme für die weitere Bearbeitung in den Arbeitsschritten 3 bis 6 genutzt werden.



### 5.3 Validierung des Modells auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete

#### 5.3.1 Datengrundlagen

Ausgehend von den Ergebnissen aus Schritt 1 und 2 war ursprünglich die Modellvalidierung auf Ebene der Gemarkung als nächstgrößere räumliche Skaleneinheit geplant. Da für die Gemarkungen jedoch keine flächenscharfen Ertragswerte vorliegen, wurde auf die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete zurückgegriffen. Auf das Anliegen der Vergleichsgebiete wurde im Abschnitt `Methodische Vorgehensweise` bereits eingegangen. Ziel des 3. Arbeitsschrittes ist es, das breite Spektrum der landwirtschaftlich genutzten Standorte und der Anbauverhältnisse in Sachsen-Anhalt in die Berechnung einzubeziehen. Diese werden im Wesentlichen durch die Vergleichsgebiete:

- Mittlere Altmarkplatten
- Lössebene der nördlichen Börde
- Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche
- Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung
- Unter- und Mittelharz

charakterisiert. Die Lage der ausgewählten Vergleichsgebiete und die für die Ermittlung der Klimakennwerte herangezogenen Stationen sind Abb. 42 zu entnehmen, die Standortcharakteristika sind in Tab. 8 aufgeführt

Tab. 8: Standortcharakteristika der ausgewählten landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete

Vergleichsgebiet	mittlere Höhe in m	dominierende Böden	mittlere Niederschlagssumme in mm/ Jahresdurchschnittstemperatur in °C (1961-1990)
Mittlere Altmarkplatten	41	staunässe- und grundwasserbestimmte Lehme und Tieflehme	547 mm 8,5 °C
Lössebene der nördlichen Börde	91	Löß-Schwarzerden	493 mm 8,9 °C
Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche	110	sickerwasserbestimmte Sande und Sande mit Tieflehm	576 mm 8,8 °C
Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung	212	vernässungsfreie Schuttlehme und Auentone	520 8,2 °C
Unter- und Mittelharz	460	vernässungsfreie Bergsandlehme	771 6,9 °C



Hinsichtlich der Bodenausstattung wurden für die einzelnen Vergleichsgebiete alle im Gebiet vorkommenden Standorttypen > 1 % Flächenanteil in die Berechnung einbezogen und der Modellertrag abschließend als gewichtetes Mittel aus den einzelnen standorttypenabhängigen Erträgen ermittelt.

Als Vergleichsbasis für den Ertrag wurden Ertragswerte aus dem SBA-Düngungssystem Sachsen-Anhalt herangezogen. Gesicherte Daten liegen für die zu modellierenden Fruchtarten für den Zeitraum 2001 bis 2010 vor.

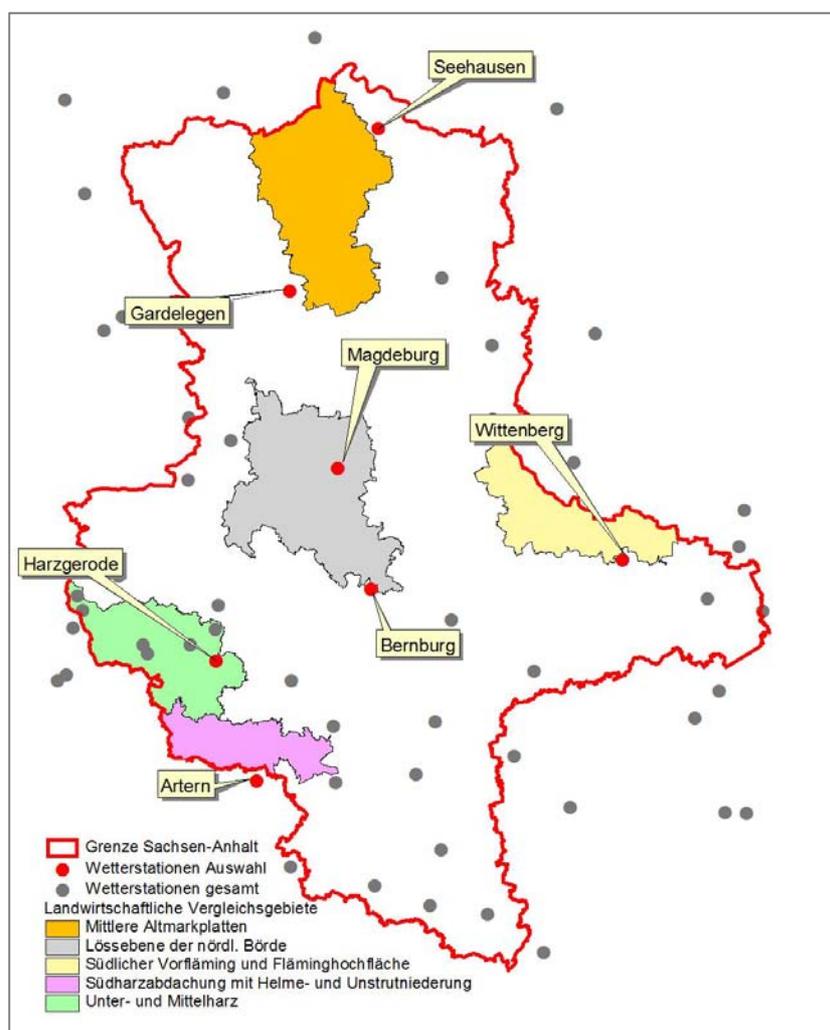


Abb. 42:  
Lage der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete Schritt 3 und zugeordnete Klimastationen

### 5.3.2 Ergebnisse Modellvalidierung für landwirtschaftliche Vergleichsgebiete Sachsen- Anhalts

In den Arbeitsschritten 1 und 2 wurde der Modellansatz bezüglich der prinzipiellen Eignung zur Ertragsschätzung ausgewählter Fruchtarten für die Standortverhältnisse Sachsen-Anhalts sowie die Modelleignung auf Schlagebene erfolgreich geprüft und validiert. Während die Standortverhältnisse in den beiden vorangegangenen Schritten als homogen angesetzt werden konnten, nimmt die Standortheterogenität bei den folgenden beiden zu prüfenden räumlichen



Ebenen zu. Aus Tab. 9 sind die Anzahl der in den Vergleichsgebieten insgesamt vorkommenden sowie die Anzahl von Standorttypen mit > 1 % Flächenanteil zu entnehmen. Die letztgenannte Kategorie der Standorttypen ist in die Berechnung eingeflossen.

Die Ergebnisse der Validierung auf Ebene der Vergleichsgebiete sind in den Abb. 43 bis Abb. 47 dargestellt. Die Größe der Boxplot beträgt  $\pm 10$  % vom IST-Ertrag (Realertrag). Der Schritt 3 und der folgende Schritt 4 (Validierung auf Ebene der Landkreise) verfolgen das gleiche Ziel der Prüfung und Validierung von Räumen mit einer hohen Standortheterogenität und bilden die Basis für die Modellierungen der Schritte 5 und 6. Die Bewertung und Schlussfolgerung für die weiteren Arbeiten werden dementsprechend abschließend im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus dem Arbeitsschritt 4 `Validierung des Modells auf Kreisebene unter Nutzung von Ertragsdaten aus der Kreis- und Landesstatistik` vorgenommen.

Tab. 9: Übersicht der Standortheterogenität in den ausgewählten landwirtschaftlichen Vergleichsgebieten

Vergleichsgebiet	Anzahl Standorttypen gesamt	Anzahl Standorttypen > 1% Flächenanteil
Mittlere Altmarkplatten	17	10
Lössebene der nördlichen Börde	31	9
Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche	14	9
Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung	26	16
Unter- und Mittelharz	17	6



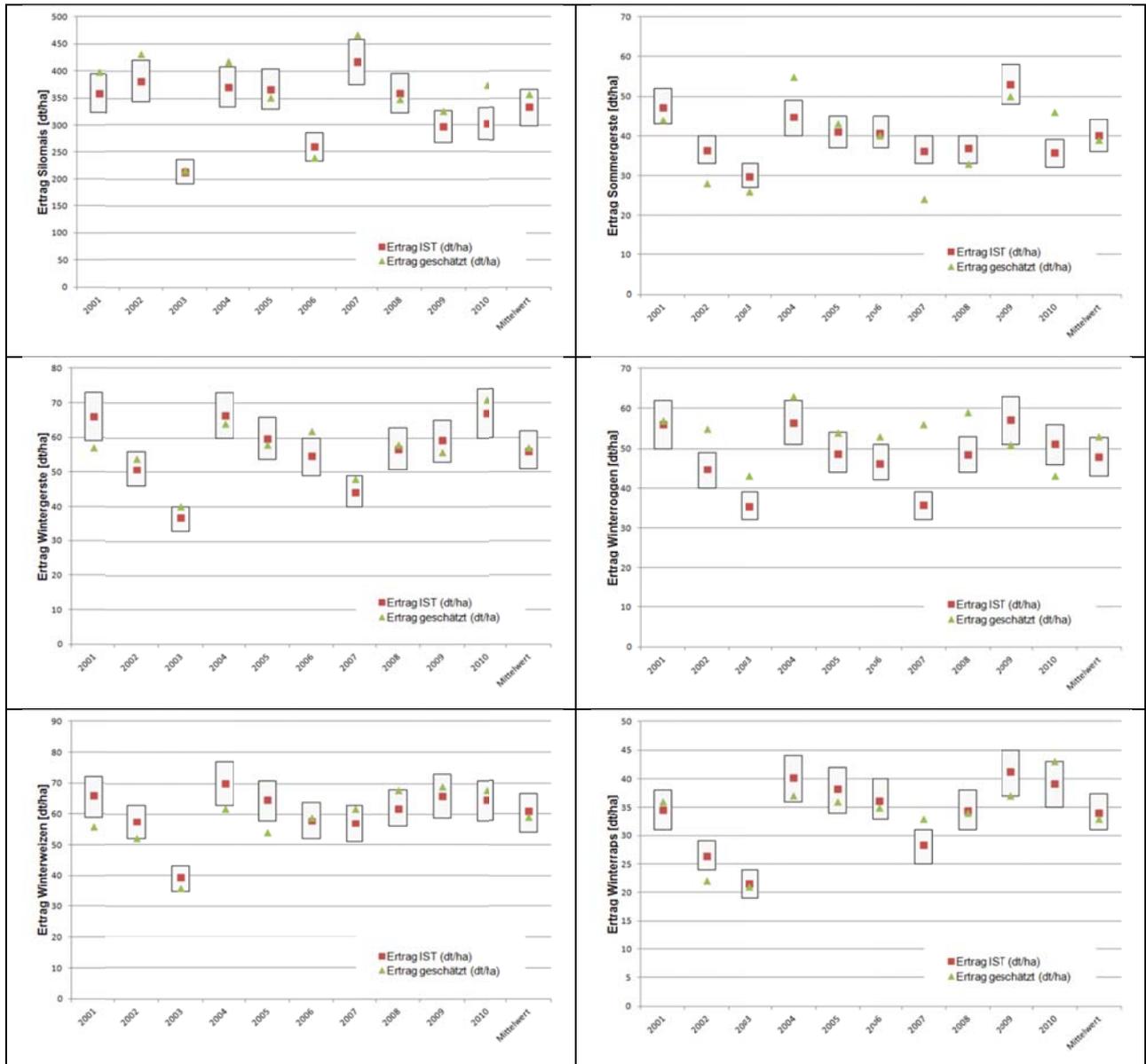


Abb. 43: Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Mittlere Altmarkplatten`

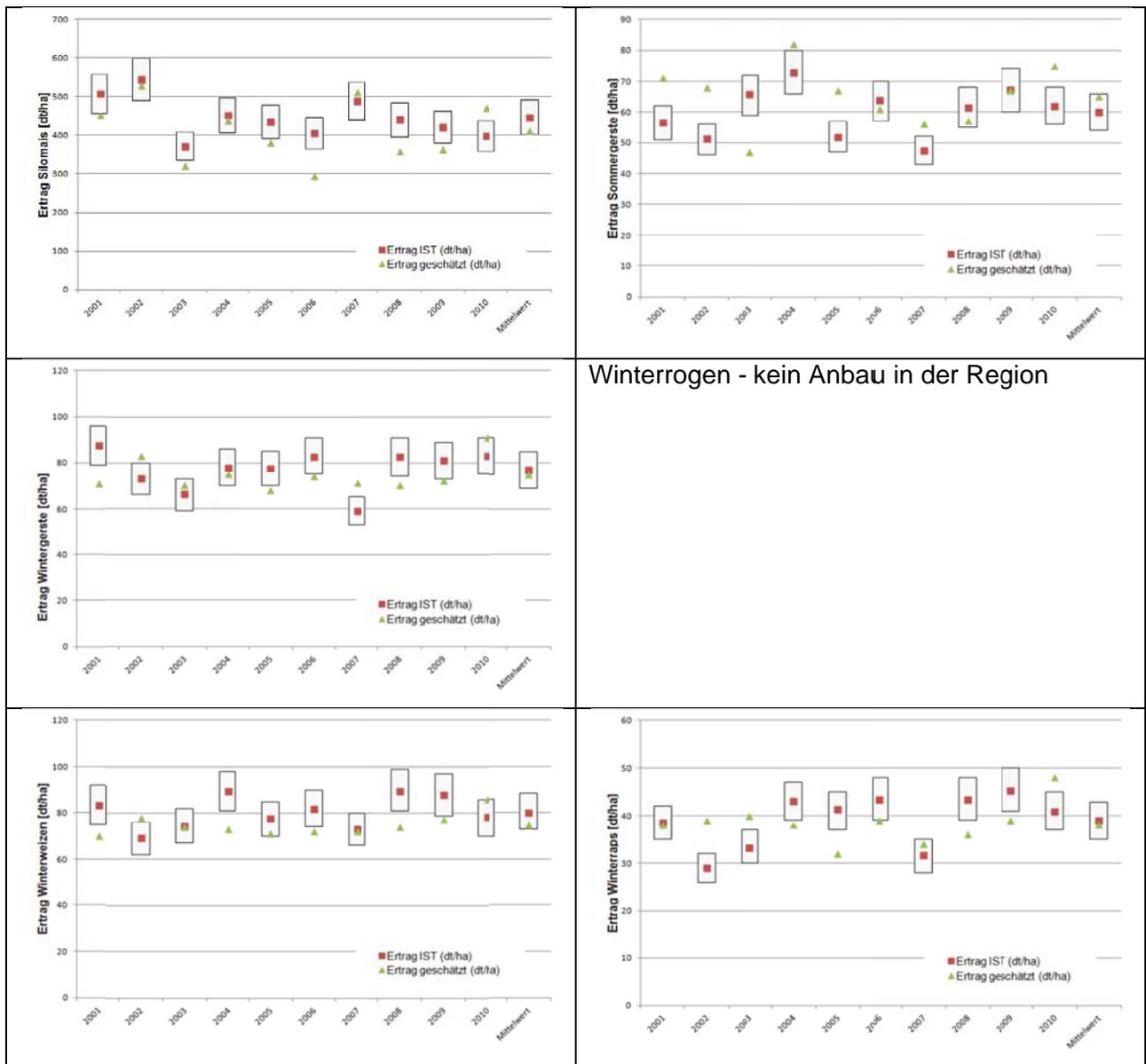


Abb. 44: Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Lössebene der nördlichen Börde`

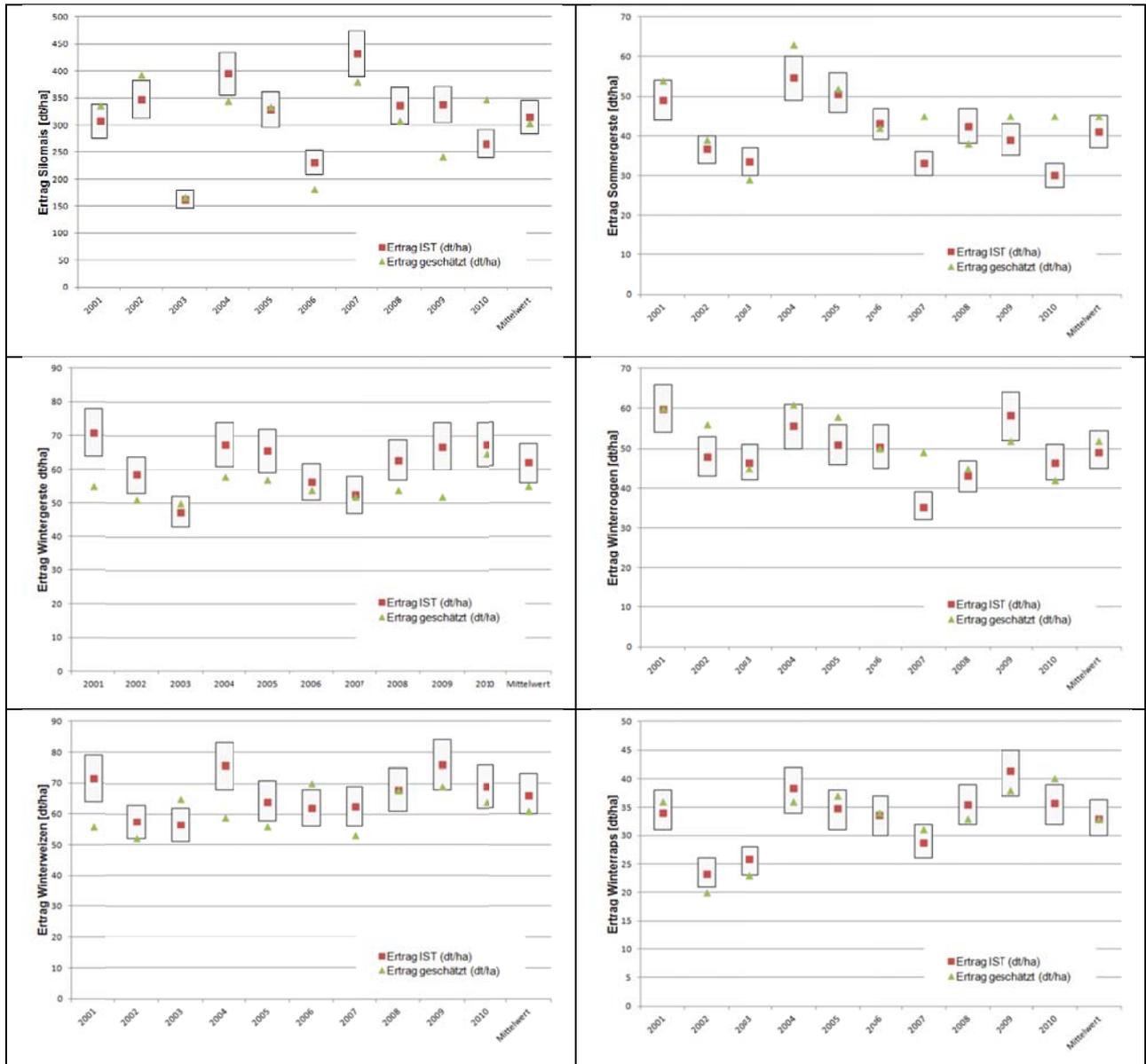


Abb. 45: Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Südlicher Vorflämung und Flämingshochfläche`

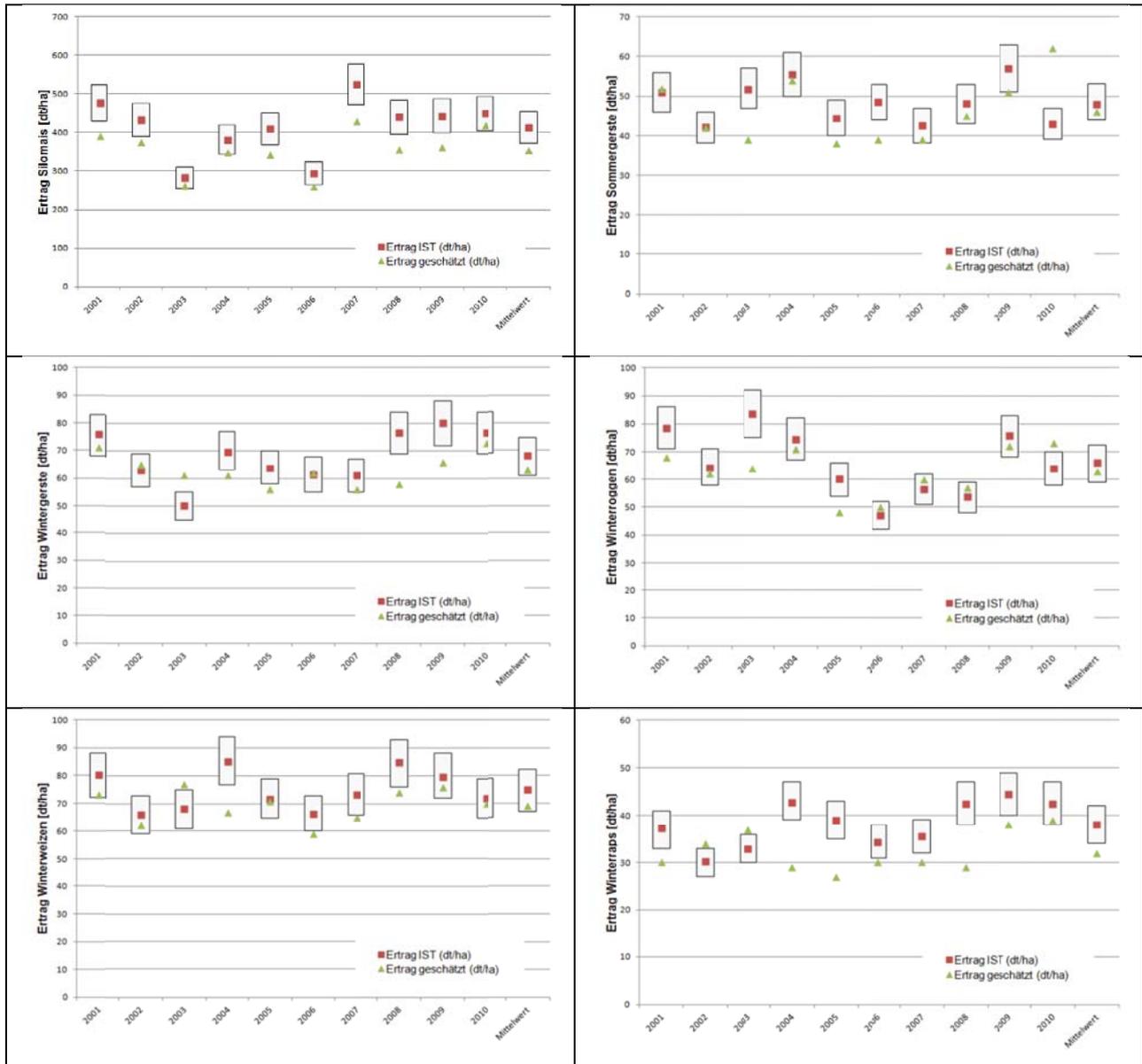


Abb. 46: Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung`



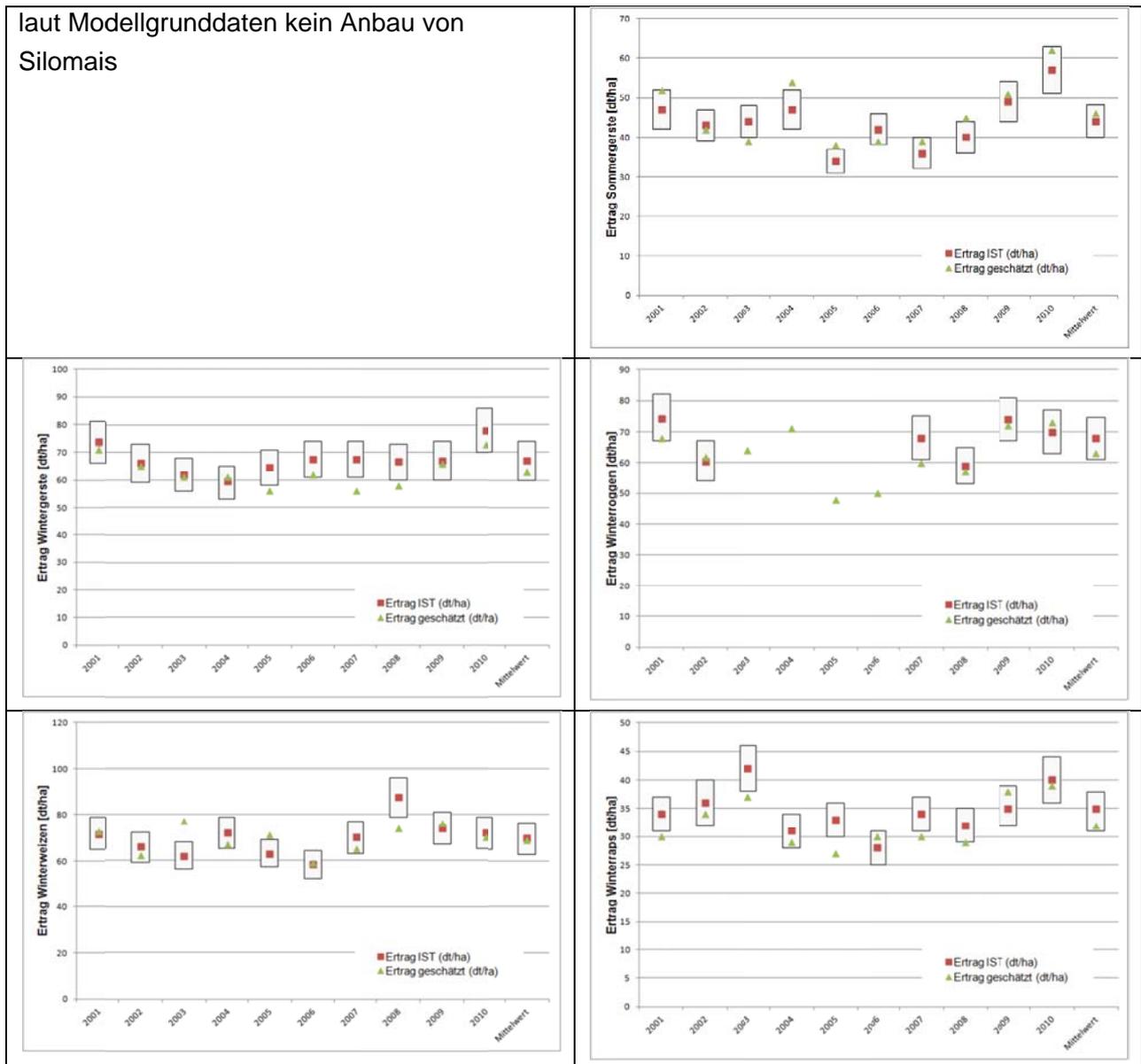


Abb. 47: Vergleich der statistischen Erträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet `Unter- und Mittelharz`

## 5.4 Validierung des Modells auf Kreisebene unter Nutzung von Ertragsdaten aus der Kreis- und Landesstatistik

### 5.4.1 Datengrundlagen

Eine weitere Stufe der Modellvalidierung stellt die Berechnung auf Ebene der Landkreise dar. Hierfür wurden der Landkreis Stendal im Norden und der Landkreis Burgenlandkreis im Süden Sachsen-Anhalts als repräsentative Landkreise ausgewählt (siehe Abb. 48), d. h. ein Landkreis (Landkreis Stendal) aus der Tieflandregion und ein Landkreis (Burgenlandkreis) aus der Schwarzerde-/Übergangsregion). Ebenso wie für den vorangegangenen Berechnungsschritt wurden alle im Gebiet vorkommenden Standorttypen > 1 % Flächenanteil in die Berechnung



einbezogen und der Modellertrag abschließend als gewichtetes Mittel aus den einzelnen standorttypenabhängigen Erträgen ermittelt. Vergleichsbasis für den Ertrag bilden die Daten der Agrarstatistik des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalts für den Zeitraum 2001 bis 2010.

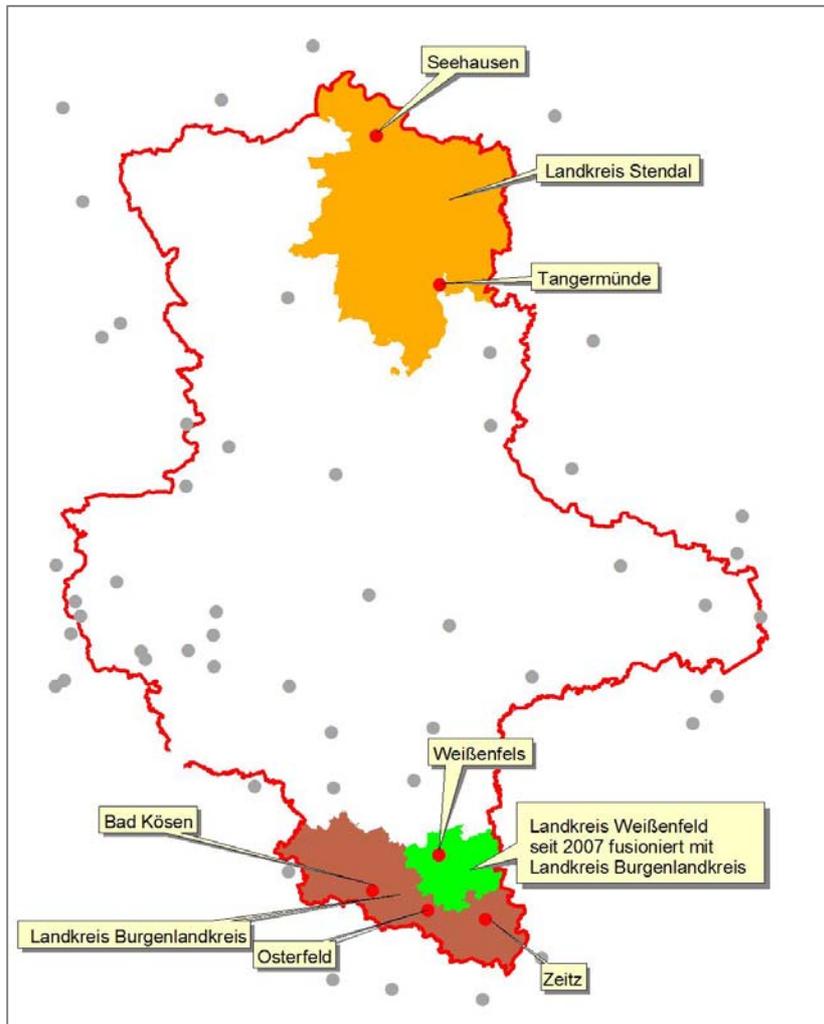


Abb. 48: Lage der Landkreise Schritt 4 und zugeordnete Klimastationen

#### 5.4.2 Ergebnisse Modellvalidierung für ausgewählte Landkreise Sachsen-Anhalts

Die Modellprüfungen auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (Schritt 3) und auf Landkreisebene sind als eine Einheit zu betrachten. Im Mittelpunkt steht im Gegensatz zu den Schritten 1 und 2, in denen auf Feldebene geprüft wurde, die Nutzung des Modells in standortkundlich heterogenen Räumen. Die Ergebnisse der betrachteten Zeitreihe 2001 bis 2010 sowie den Mittelwert hierfür sind für die Landkreise Stendal und den Burgenlandkreis der Abb. 49 und Abb. 50 zu entnehmen.

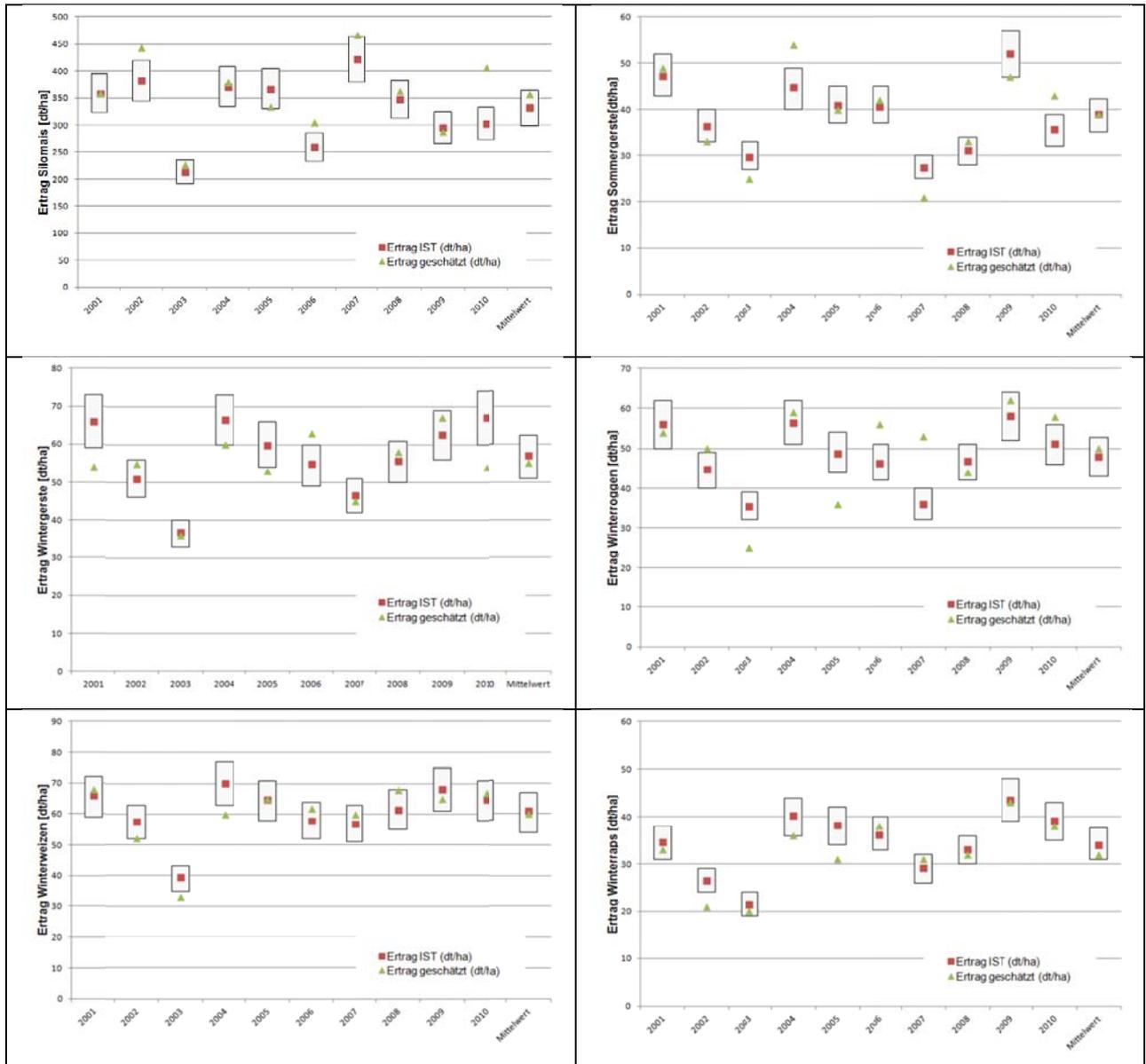


Abb. 49: Vergleich der statistischen Kreisenerträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für den Landkreis Stendal

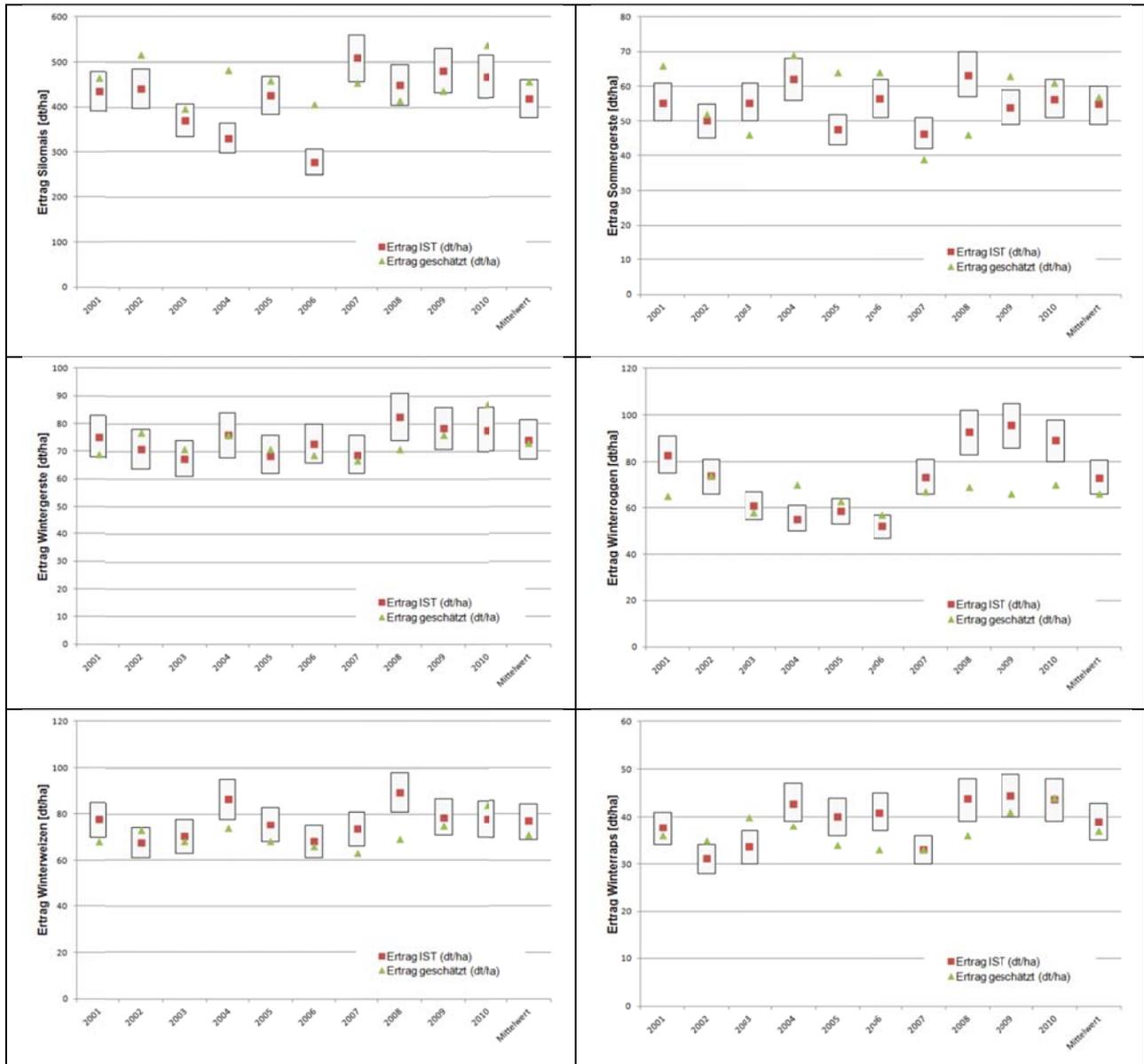


Abb. 50: Vergleich der statistischen Kreisenerträge mit den Modellerträgen aus der Zeitreihe 2001 bis 2010 für den Burgenlandkreis

Wie auch bei der Modellprüfung und Validierung auf Feldebene zeigt sich bei größeren, heterogenen Raumeinheiten eine gute Übereinstimmung zwischen den langjährigen Mittelwerten aus Realerträgen und den Modellerträgen. Die Streuung der Abweichung liegt für die betrachteten Fruchtarten in beiden Landkreisen jeweils innerhalb des  $\pm 10\%$ -Bereiches. Sie ist somit als sehr gering einzuschätzen, was die Anwendbarkeit des Modells auch für heterogene Raumeinheiten erlaubt.

Analog der bisherigen Ergebnisse zeigen sich jedoch auch auf dieser Modellebene teilweise starke Differenzen bei Einzeljahren, deren Witterungsverlauf in beiden Richtungen extrem vom mittleren Verlauf in dieser Region abweicht. Für eine Einzeljahrbeobachtung ist das Modell daher nur bedingt unter Berücksichtigung der konkreten Witterungsbedingungen im Vergleich zu den mittleren Klimaverhältnissen geeignet.



## 5.5 Vergleich der mit dem Modell geschätzten Erträge zum einen berechnet mit den realen Klimadaten und zum anderen berechnet mit den Szenario-Daten aus WETTREG

### 5.5.1 Datengrundlagen

Den abschließenden Schritt der Modellvalidierung und Testberechnungen bildet der Modellvergleich zwischen Realwetter und den WETTREG2010-Daten. Da die bisherigen Modellläufe ausschließlich mit gemessenen Klimareihen durchgeführt wurden, ist im Vorfeld der Ertragsabschätzung für die prognostizierte perspektivische Zeitreihe 2011 bis 2100 die Übereinstimmung der Ertragsabschätzung auf Basis meteorologischer Real- und Modelldaten zu prüfen. Gleichzeitig wurden die Integration der im Los 1.3 `Wasser` durch das Büro für angewandte Hydrologie aufbereiteten Zeitreihen für die einzelnen Klimakennwerte getestet. Aus diesem Grund wurde als räumliche Bewertungseinheit auf die im Los 1.3 verwendeten Referenzgebiete ALLER, BIESE, HOLTEMME, ROSSEL und WEIDA zurückgegriffen. Die Lage der Referenzgebiete ist Abb. 51 zu entnehmen. Auf eine Charakterisierung dieser Gebiete wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Ausführungen in PFÜTZNER et al. (2012) verwiesen. Der Modellvergleich für die Ertragsabschätzung wird für die Zeitreihe 1971 bis 2000 durchgeführt, für die die gemessenen Klimakennwerte und die als Referenzzustand in WETTREG2010 simulierten 10 Realisierungen vorliegen.

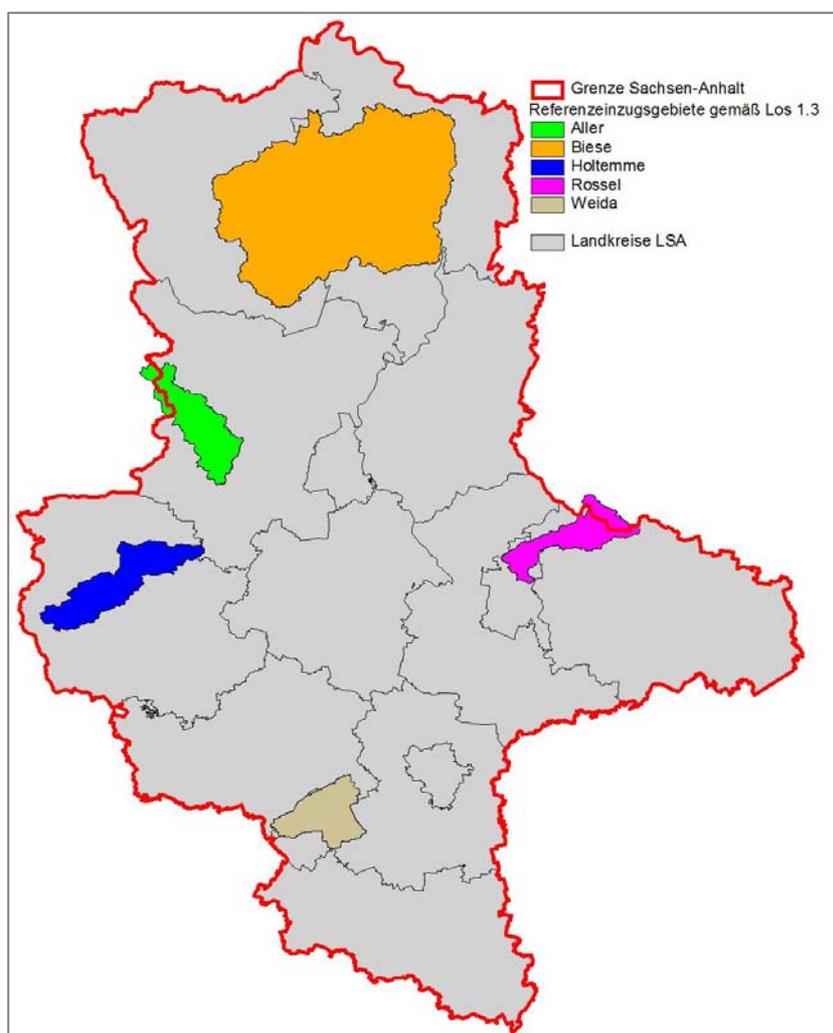


Abb. 51: Lage der Referenzgebiete

Zu prüfen ist die Streuung der langjährigen Ertragsmittel (30-jähriges Mittel der Reihe 1971 bis 2000) für die zu betrachtenden sechs Fruchtarten aus der Berechnung der 10 Realisierungen aus WETTREG2010 um die errechneten Ertragsmittelwerte auf Basis der gemessenen Klimakennwerte für diese Zeitreihe. Das Prüfergebnis bildet die Grundlage für die Anwendbarkeit und Aussagefähigkeit der Ertragsmodellierung für die Prognosezeiträume. Die Ergebnisse des Referenzzustandes aus WETTREG2010 bilden im Arbeitsschritt 6 die Vergleichsbasis für die Modellergebnisse der 3 Zeiträume 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100.

#### 5.5.2 Ergebnisse des Modellvergleichs reale Klimadaten mit WETTREG2010-Simulationen für den Zeitraum 1971 bis 2000 anhand von Referenzeinzugsgebieten

Nach der Modellprüfung, Validierung und des Nachweises der Nutzbarkeit des Schätzansatzes auf unterschiedlichen räumlichen Heterogenitätsniveaus ausgehend von Versuchsflächen über Praxisschläge bis hin zu landwirtschaftlichen Vergleichsgebieten und Landkreisen steht der Vergleich der Schätzergebnisse auf der Basis von real gemessenen Klimadaten und WETTREG2010-Simulationsergebnissen der 10 Realisierungen im Mittelpunkt dieses Prüfschrittes. Der Vergleich erfolgt anhand der Zeitreihe 1971 bis 2000, der bei WETTREG2010 den Referenzzeitraum bildet, für die Referenzeinzugsgebiete (siehe Abb. 51) aus Los 1.3 (PFÜTZNER et al., 2012). Berechnet wurde der Schätzertrag für die realen Klimadaten und für jede der 10 Realisierungen.

Bedingt durch die methodischen Ansätze bei den WETTREG2010-Realisierungen ist ein jahreskonkreter Vergleich der Schätzergebnisse nicht möglich. Konkreter Witterungsverlauf und Aussagen für das Einzeljahr unterscheiden sich sehr deutlich voneinander. Abb. 52 verdeutlicht dies am Beispiel der Aller für den Klimaparameter `Klimatische Wasserbilanz`. Die Realisierungen geben jeweils den Verlauf innerhalb einer Zeitspanne wieder, der synthetisch erzeugt wurde und den Realverhältnissen lediglich im langjährigen Mittel entspricht. Bei den in Abb. 52 dargestellten Verläufen der Klimatischen Wasserbilanzen 1971 bis 200 für das Referenzeinzugsgebiet Aller beträgt zum Beispiel die Klimatische Wasserbilanz auf Basis der gemessenen Werte 18 mm und das Mittel der 10 WETTREG2010-Realisierungen liegt bei 2 mm.

Da der obige Ansatz den Schlussfolgerungen für die Schätzgüte des Ertragsmodelles entspricht, wird der Vergleich jeweils auf Basis langjähriger Mittelwerte vorgenommen. Das Ertragsmodell liefert, wie die Ergebnisse der Modellprüfung belegen, bereits für Mittelwerte aus 10-jährigen Zeitreihen sehr gute Aussagen. Für die WETTREG-Ergebnisse geben die Modellentwickler eine 30-jährige Zeitreihe vor, so dass der Vergleich anhand der Schätzergebnisse für den Mittelwert eben dieser Zeitreihe als kleinster gemeinsamer Nenner erfolgen muss.



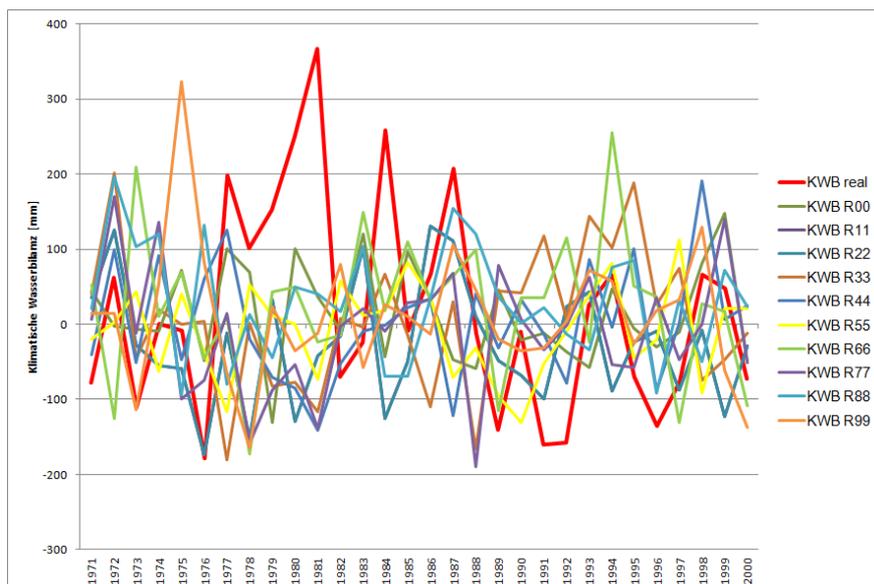


Abb. 52: Vergleich der realen Klimatischen Wasserbilanz mit den Realisierungen aus WETTREG2010 im Zeitraum 1971 bis 2000 am Beispiel des Einzugsgebietes der Aller

Die Ergebnisse der Ertragsschätzung für die realen Witterungsdaten und die WETTREG2010-Simulation, hierbei Mittelwert der 10 Realisierungen, sind in Tab. 10 gegenübergestellt.

Tab. 10: Vergleich der Modellerträge Real-Klima und WETTREG2010-Simulation als Mittelwerte der Zeitreihe 1971 bis 2000

Referenz-einzugs-gebiet	Fruchtart	Ertrag Klimamessdaten MW 1971-2000 dt/ha	Ertrag WETTREG 2010 (MW der 10 Realisierungen) MW 1971-2001 dt/ha	Abweichung WETTREG2010 zu Klimamessdaten %
Aller	Silomais	479	467	-3
	Sommergerste	79	77	-3
	Winterweizen	75	74	-1
	Wintergerste	78	77	-1
	Winterroggen	kein Anbau	kein Anbau	kein Anbau
	Winterraps	38	39	3
Biese	Silomais	364	350	-4
	Sommergerste	64	62	-3
	Winterweizen	59	58	-2
	Wintergerste	60	59	-2
	Winterroggen	56	54	-4
	Winterraps	36	36	0
Holtemme	Silomais	480	494	3
	Sommergerste	83	85	2
	Winterweizen	75	76	1
	Wintergerste	77	78	1
	Winterroggen	kein Anbau	kein Anbau	kein Anbau
	Winterraps	39	39	0



Referenz-einzugs-gebiet	Fruchtart	Ertrag Klimamessdaten MW 1971-2000 dt/ha	Ertrag WETTREG 2010 (MW der 10 Realisierungen) MW 1971-2001 dt/ha	Abweichung WETTREG2010 zu Klimamessdaten %
Weida	Silomais	435	423	-3
	Sommergerste	74	72	-3
	Winterweizen	73	72	-1
	Wintergerste	74	73	-1
	Winterroggen	kein Anbau	kein Anbau	kein Anbau
	Winterraps	37	37	0
Rossel	Silomais	307	312	2
	Sommergerste	53	54	2
	Winterweizen	52	53	2
	Wintergerste	56	57	2
	Winterroggen	50	50	0
	Winterraps	34	35	3

Die Mittelwerte der Klimaparameter beider Reihen weichen nur gering voneinander ab, so dass eine gute Überstimmung der Modellerträge zu erwarten ist. Dies wird durch den direkten Vergleich bestätigt. Dieser zeigt, dass in allen geprüften Referenzeinzugsgebieten die Abweichungen der WETTREG2010-basierten Modellerträge in einer engen Spanne mit positiven und negativen Abweichungen um den Mittelwert basierend auf den Klimamesswerten streuen. Die Abweichungen betragen maximal -4 bis +3 %, wobei alle Fruchtarten in unterschiedlichem Maße von Abweichungen betroffen sind. Es zeigt sich, dass bei der WETTREG2010-Simulation trotz abweichender Klimaverläufe im Mittel Witterungswerte wiedergegeben werden, die den realen Verhältnissen entsprechen.

## 5.6 Fazit der Modellprüfung und Validierung

Ausgehend von der Betrachtung und Validierung des Ertragsmodells von der Feldebene bis hin zu heterogenen Raumeinheiten ist zur Schätzgüte zu urteilen, dass der langjährige Trend der Ertragsreihen und der Schätzergebnisse, abgebildet über den Mittelwert einer mindestens 10-jährigen-Zeitreihe, für alle zu modellierenden Leitkulturen sehr gut abgebildet wird und in der Regel innerhalb eines  $\pm 10\%$ -Schwankungsbereiches liegt. Eine Modellnutzung zur Schätzung langjähriger, mindestens 10-jähriger, mittlerer Erträge ist für die pedologischen und klimatischen Standortbedingungen der landwirtschaftlichen Flächen Sachsen-Anhalts möglich. Die Ergebnisse rechtfertigen zudem die Nutzung der WETTREG2010-Simulationen für die Ertragsmodellierung als Mittelwerte 30-jähriger Zeitreihen in den Prognosezeiträumen, wobei die Modellergebnisse zum Fruchtartenertrag ursächlich von der Güte des WETTREG2010-Modells bestimmt werden.



## **6. Simulations- und Szenario-Berechnung unter Einbeziehung der Trendvorgaben bezüglich CO<sub>2</sub>, Züchtungserfolge, Bodenbearbeitung und Zusatzwasserbedarf für Sachsen-Anhalt sowie die abgegrenzten Boden-Klima-Regionen (Landwirtschaftliche Vergleichsgebiete) mit den WETTREG2010-Daten für die 3 Prognosezeiträume**

Die Simulation und Szenario-Berechnung für die 3 Prognosezeiträume 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100 wird für folgende Trendvorgaben durchgeführt:

- Beibehaltung der Rahmenbedingungen wie im Referenzzeitraum (1971 bis 2000)
- Ertragssteigerung durch CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt
- Ertragssteigerung durch Züchtungsfortschritte
- Erhöhung der Klimatischen Wasserbilanz durch konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaatsysteme
- Erhöhung der Klimatischen Wasserbilanz durch Zusatzwassergaben (Beregnung)

Als räumliche Betrachtungseinheit wird allen Berechnungsschritte die Landesfläche Sachsen-Anhalts, untergliedert in die Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete zugrunde gelegt. Diese werden abschließend auf die Gesamtlandesfläche aggregiert. Aus dem Los 1.3 werden die aufbereiteten Klimakennwerte (PFÜTZNER et al., 2012) für die 4 Zeiträume als Mittelwert der 10 Realisierungen der WETTREG2010-Ergebnisse für das Emissionsszenario A1B genutzt. Die Modellkennwerte für die Abbildung der 4 Trends wurden aus Literaturrecherchen abgeleitet und in enger Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt abschließend definiert.

### **6.1 Datengrundlagen**

Im Arbeitsschritt 3 wurde bereits auf die methodischen Grundlagen zur Ausgrenzung der Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG) eingegangen. Den Grundansatz bildet die Untergliederung der landwirtschaftlich genutzten Standorte Sachsen-Anhalts in Landschaftseinheiten mit weitestgehend homogenen Boden-, Klima- und Reliefverhältnisse. Den Gebieten wird eine einheitliche Agrarstruktur unterstellt, so dass Anbaustruktur, Bodenbearbeitung, Düngung und Ertrag innerhalb der Gebiete als Gleichverteilung betrachtet werden können. Insgesamt wurden für Sachsen-Anhalt 33 LVG ausgegrenzt. Die Lage der einzelnen LVG ist der Abb. 53, die Bezeichnung und Zuordnung zu den Großeinheiten sind der Tab. 11 zu entnehmen



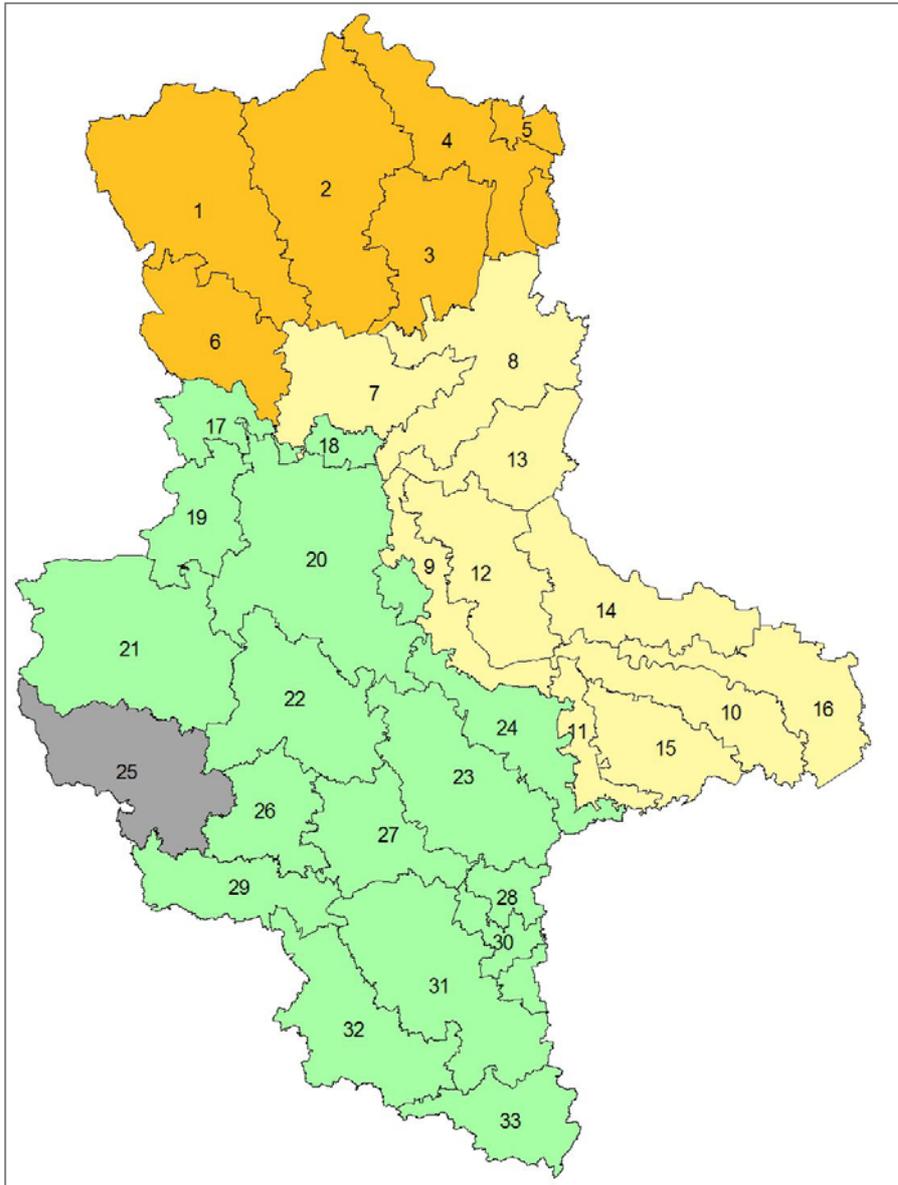


Abb. 53:  
Landwirtschaftliche  
Vergleichsgebiete  
Sachsen-Anhalt  
(Bezeichnung lt. Tab.  
11)

In der großräumigen Abfolge gehen die sandigen bis lehmig-sandigen Standorte der Altmark nach Süden hin in das von Löß-Substraten unterschiedlicher Gründigkeit bestimmte niederschlagsarme Mitteldeutsche Schwarzerdegebiet über. Nach Westen wird die landwirtschaftliche Nutzfläche durch die Harzstandorte und deren Übergangsbereiche mit den Verwitterungs- und schluffhaltigen Substraten geprägt. Die Auenbereiche der Elbe und deren Zuflüsse stellen eine Grenze zu den Sandlösssubstraten und sandigen Standorten im Osten des Landes dar, die im Wesentlichen vom Fläming und der Dübener Heide geprägt werden. Hinsichtlich der Bodenbonität/des Ertragsniveaus lassen sich die Bodensubstrate und damit die LVG in absteigender Richtung wie folgt charakterisieren:

Löß > Lehm > Sandlehme/Verwitterungsstandorte > Sand

Ausschlaggebend sind die Wasserspeichervermögen, die in gleicher Richtung abnehmen. Die klimatischen Verhältnisse, insbesondere die Niederschlagsmengen, die die Wasserversorgung der Pflanzen in erster Linie gewährleisten, lassen in Einzeljahren Verschiebungen in der Reihenfolge erkennen, wobei in mittleren und niederschlagsarmen Jahren das hohe



Wasserspeichervermögen der Löss- und einiger Lehme sich positiv auf die Ertragsleistung der Standorte auswirken.

Tab. 11: Übersicht der Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalts

<b>LVG Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Großeinheit</b>
1	Westliche Altmarkplatten und Klötzer Heide	Altmark
2	Mittlere Altmarkplatten	Altmark
3	Östliche Altmark	Altmark
4	Nördliche Elbaue mit Havelniederung	Nördliche Elbaue mit Havelniederung
5	Kyritzer Platte und Schollener Land	Kyritzer Platte und Schollener Land
6	Drömling	Drömling
7	sandbestimmte Heiden der südl. Altmark	Altmark
8	Elbtalniederung	Nördliche Elbaue mit Havelniederung
9	Mittlere Elbaue	Südliche Elbaue mit Saale- und Muldeaue
10	Südliche Elbaue	Südliche Elbaue mit Saale- und Muldeaue
11	Muldeaue	Südliche Elbaue mit Saale- und Muldeaue
12	Zerbster Land	Fläming und Vorfläming
13	Nördlicher Vorfläming	Fläming und Vorfläming
14	Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche	Fläming und Vorfläming
15	Dübener Heide	Dübener Heide
16	Südliches Fläminghügelland und Elbe/Elster-Tiefland	Fläming und Vorfläming
17	Ostbraunschweigisches Flachland	Ostbraunschweigisches Flachland
18	Nördlicher Lössübergang	Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet
19	Nördliches Harzvorland - ostbraunschweigisches Hügelland	Nördliches Harzvorland
20	Lössebene der nördlichen Börde	Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet
21	Nördliches Harzvorland - Harzrandmulde	Nördliches Harzvorland
22	Lössbedeckte wellige Hochflächen der südlichen Börde	Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet
23	Köthener-hallesche Lössebene	Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet
24	Sandlössgürtel	Sandlössgürtel
25	Unter- und Mittelharz	Unter- und Mittelharz
26	Östliches Harzvorland und Hornburger Sattel	Östliches Harzvorland
27	Pollebener/Gerbstädter Lössplateau und Wettiner Hügelland	Östliches Harzvorland
28	Osthallesches Sandlössplateau	Sandlössgürtel
29	Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung	Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung
30	Saale- und Elsteraue	Südliche Elbaue mit Saale- und Muldeaue
31	Querfurter Platte und Hohenmölsener Plateau	Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet
32	Lössbeeinflusste Untere Unstrutplatten und Schichtstufenland des mittleren Saaletales	Untere Unstrutplatten und Schichtstufenland des Mittleren Saaletales
33	Südliches Lösshügelland	Zeitzer Lösshügelland



---

**Basisszenario: Rahmenbedingungen wie Stand Referenzzeitraum**

---

Dem Basisszenario für die Prognosezeiträume liegen die gleichen Rahmenbedingungen wie zum Referenzzeitraum 1971-2000 zugrunde. Das bedeutet im Einzelnen

- CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: 375 ppm
- Züchtungsniveau: Stand Jahr 2000
- Bodenbearbeitung: überwiegend konventionell
- Zusatzwasser (Beregnung): nicht berücksichtigt

Das Basisszenario dient dem direkten Vergleich mit den Modellergebnissen des Referenzzeitraumes (=100%-Niveau) und bildet als Einzelmerkmal die **nur die Auswirkung der sich ändernden klimatischen Bedingungen** auf den Ertrag der zu prüfenden Fruchtarten ab. Neben diesem Direktvergleich wird anhand des Basisszenarios die Auswirkung der zu berücksichtigenden Entwicklungstrends auf das Ertragsniveau differenziert sichtbar.

---

**Trend: Ertragssteigerung durch CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt**

---

Bei der Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Düngungseffekts auf die Erträge der zu prüfenden Fruchtarten werden folgende Rahmenbedingungen gesetzt:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: lineare Steigerung von 375 ppm auf 550 ppm im Jahr 2100
- Züchtungsniveau: Stand Jahr 2000
- Bodenbearbeitung: überwiegend konventionell
- Zusatzwasser (Beregnung): nicht berücksichtigt

Der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre bis zum Ende des Prognosezeitraums 2100 gilt als sicher. Über die Höhe des Anstieges wird kontrovers diskutiert. Je nach Modellansatz und Emissionsszenarium reichen die `Zielwerte` von 550 ppm bis 970 ppm (SCHALLER und WEIGEL, 2007).

Als Modellgrundlage für die Ausweisung des Düngungseffektes wurde ein konservativer Ansatz gewählt und der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre zum Stand 2100 auf den unteren in der Literatur genannten Wert von 550 ppm gesetzt. Dem liegt auch zugrunde, dass Forschungsergebnisse zeigen, dass ab ca. 650 ppm eine Sättigungskonzentration in C3-Pflanzen, die außer Silomais im vorliegenden Vorhaben zu prüfen sind, erreicht ist (BUNCE, 2002 in SCHALLER und WEIGEL, 2007). Des Weiteren bildet der Wert von 550 ppm CO<sub>2</sub> die obere Begrenzung des Braunschweiger FACE-Experiments, dessen Ertragssteigerungswerte als Modellinput genutzt werden.

Für deutsche Standortverhältnisse von Bedeutung sind die Freilandversuche des Braunschweiger FACE-Experiments (siehe SCHALLER und WEIGEL, 2007). Im Rahmen des



Experimentes wurden zwischen 1999 und 2005 die Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Anreicherung vom gegenwärtigen Niveau (375 ppm) auf 550 ppm für eine mehrgliedrige Fruchtfolge, bestehend aus Wintergerste, Weidelgras, Zuckerrübe und Winterweizen, untersucht. Dabei wurden im Mittel für Winterweizen und Wintergerste Ertragssteigerungen von 16 % (=0,091 % ppm CO<sub>2</sub>-Erhöhung) ermittelt. Unter Wasserstressbedingungen lagen diese teilweise deutlich höher und erreichten Werte bis 44 %. Obwohl diese Bedingungen der Wasserversorgung im Prognosezeitraum, wie die Ergebnisse aus Los 1.3 (PFÜTZNER et al., 2012) belegen, auch für die landwirtschaftlichen Nutzflächen Sachsen-Anhalts zu erwarten sind, wurde auch hier als Modellinput der konservative Ansatz gewählt. Nicht geprüft wurden Winterraps und die C4-Pflanze Silomais. Für diese Fruchtarten wurde ein Ansatz analog MIRSCHEL et al. (2009) für die Verhältnisse Sachsens gewählt, indem für Winterraps der Mittelwert der Versuchsfruchtfolge (=0,067 % je ppm CO<sub>2</sub>-Erhöhung) und für Silomais nur 20 % des Effektes von Getreide (=0,016 je ppm CO<sub>2</sub>-Erhöhung) angenommen wurde. Der Annahme für Silomais liegt zugrunde, dass die Reaktion von Silomais als C4-Pflanze auf die CO<sub>2</sub>-Erhöhung im Vergleich zu den C3-Pflanzen deutlich geringer ausfällt (MIRSCHEL et al., 2009).

In das Modell flossen die in Tab. 12 aufgeführten prozentualen Ertragssteigerungen in die Berechnungen ein.

Tab. 12: Modell-Input Ertragssteigerungen durch CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt

Fruchtart	%-Steigerung 2040 im Vergleich zu Stand 2000	%-Steigerung 2070 im Vergleich zu Stand 2000	%-Steigerung 2100 im Vergleich zu Stand 2000	Quelle
Silomais	1,3	2,4	3,2	MIRSCHEL et al., 2009
Sommergerste	6,74	11,79	16,0	eigene Annahme analog SCHALLER und WEIGEL, 2007
Winterroggen	6,74	11,79	16,0	SCHALLER und WEIGEL, 2007
Wintergerste	6,74	11,79	16,0	SCHALLER und WEIGEL, 2007
Winterraps	4,7	8,2	11,1	MIRSCHEL et al., 2009
Winterweizen	6,74	11,79	16,0	SCHALLER und WEIGEL, 2007



---

Trend: Ertragssteigerung durch Züchtungsfortschritte

---

Als weiterer Trend wurden die Ertragssteigerungen in Folge des Züchtungsfortschrittes simuliert. Hierbei wurden als Annahmen zugrunde gelegt:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: lineare Steigerung von 375 ppm auf 550 ppm im Jahr 2100
- Züchtungsniveau: Ertragssteigerung durch Züchtungsfortschritt gegenüber dem Jahr 2000
- Bodenbearbeitung: überwiegend konventionell
- Zusatzwasser (Beregnung): nicht berücksichtigt

Entgegen den Annahmen zur Ertragssteigerung durch den CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt, die auf Untersuchungsergebnissen basieren, liegen zum Trend in der Pflanzenzüchtung keine gesicherten Aussagen vor. In der Literatur wird lediglich u. a. darauf verwiesen, dass zumindest in absehbarer Zeit die Züchtungserfolge weiterhin sehr dynamisch ausfallen werden (AHLEMEYER und FRIEDT, 2010). Der Grad der Steigerung in den folgenden Jahren, insbesondere nach 2041, ist gegenwärtig nicht bestimmbar, so dass auch die LLFG keine Größenordnung definiert. Aus diesem Grund werden Annahmen von MIRSCHEL et al. (2009) für den Freistaat Sachsen zur Ertragssteigerung durch Züchtungsfortschritte übernommen, die aus Ertragsentwicklungen der Jahre 1992 bis 2007 in Sachsen abgeleitet wurden. Analog dieser Vorgehensweise wird dem konservativen Ansatz folgend, nach 2040 von einem sich abschwächenden Entwicklungstrend ausgegangen (Tab. 13). Diese Annahmen wurden von der LLFG bestätigt, wobei nochmals darauf verwiesen wird, dass der langfristige Trend, insbesondere vor dem Hintergrund der Entwicklung der Pflanzengenetik und der Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration, nicht vorhergesagt werden kann.

**Im Vergleich aller 4 Trendsimulationen ist zu betonen, dass der Trend der Ertragssteigerung durch den Züchtungsfortschritt auf den unsichersten Modellannahmen basiert.**

Tab. 13: Modell-Input Ertragssteigerungen durch Züchtungserfolge

Fruchtart	MW 2011-40 %-Zuwachs zu 2000 in 30 Jahre	2041-70 %-Zuwachs zu 2000 in 30 Jahre	2071-2100 %-Zuwachs zu 2000 in 30 Jahre	Quelle
Winterweizen	8,7	10,9	13,1	MIRSCHEL et al., 2009
Wintergerste	6,3	7,9	9,5	
Winterroggen	3,7	4,7	5,7	
Winterraps	5,5	7,0	8,5	
Silomais	17,0	21,2	25,4	
Sommergerste	3,7	4,7	5,7	eigene Annahme in Absprache mit LLFG (2012)



---

Trend: Erhöhung der Klimatischen Wasserbilanz durch wassersparende Bodenbearbeitungssysteme

---

Dieser Trend widerspiegelt die positiven Erfahrungen in Sachsen-Anhalt bezüglich der Auswirkungen wassersparender Bodenbearbeitungsverfahren auf das pflanzenverfügbare Bodenwasser. Als Annahmen wurden gesetzt:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: lineare Steigerung von 375 ppm auf 550 ppm im Jahr 2100
- Züchtungsniveau: Ertragssteigerung durch Züchtungsfortschritt gegenüber dem Jahr 2000
- Bodenbearbeitung: flächendeckend wassersparende Bodenbewirtschaftungssysteme
- Zusatzwasser (Beregnung): nicht berücksichtigt

Auf Grund der Tatsache, dass große Bereiche Sachsen-Anhalts zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands gehören, wurden frühzeitig in Sachsen-Anhalt eine Vielzahl von Parzellen- und Feldversuchen zur Untersuchung der Auswirkung wassersparender Bodenbearbeitungssysteme auf den Bodenwasserhaushalt und die Ertragsleistung etabliert. Diese Arbeiten wurden und werden federführend durch Dr. BISCHOFF (LLFG Sachsen-Anhalt) geleitet und bearbeitet.

Je nach Bodenausgangssubstrat zeigen sich unterschiedliche Auswirkungen. Auf Lösssubstraten ist nach BISCHOFF (2005) eine Erhöhung der Klimatischen Wasserbilanz bis zu 50 mm durch einen erhöhten Verdunstungsschutz in Folge der erhöhten Bodenbedeckung bei konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren möglich. Lösssubstrate verfügen über ein sehr hohes Bodenwasserspeichervermögen und sind in der Regel zum Ende der Winterperiode gut aufgefüllt. Die konservierende Bodenbearbeitung bewirkt neben einem verbesserten Infiltrationsvermögens auf diesen Standorten besonders einen Schutz vor unproduktiver Verdunstung, was sich in Summe in der Verbesserung der Klimatischen Wasserbilanz niederschlägt.

Anders die Situation auf Sand- und Sandlehm-Standorten. Bedingt durch die geringeren Wasserspeichervermögen beruht nach BISCHOFF (2012) die positive Wirkung in erster Linie durch die Verbesserung der Wasseraufnahmefähigkeit und -teilung im Boden und sekundär durch den Verdunstungsschutz. Hervorgehoben wird dies, durch eine Verbesserung der Humusgehalte, der Porengrößenverteilung und -konsistenz sowie einer erhöhten Bodenbedeckung in Folge von Zwischenfruchtanbau und konservierenden oder Direktsaatverfahren. BISCHOFF (2012) beziffert die Verbesserung der Klimatischen Wasserbilanz auf diesen Standorten mit 10 mm (reine Sande) und 30 mm (Lehme).

Diese Größenordnungen wurden entsprechend der angegebenen standortspezifischen Abstufungen als Modell-Input übernommen und den jeweiligen Werten der Klimatischen Wasserbilanz zugeschlagen. Da es sich um Jahreswerte handelt, wurde nur die Gesamtvegetationsperiode berücksichtigt.



---

Trend: Erhöhung der Klimatischen Wasserbilanz durch Zusatzwassergaben (Beregnung)

---

Ausgehend von den Ergebnissen aus Los 1.3, in denen eine teilweise erhebliche Verringerung der Klimatischen Wasserbilanzen für alle LVG innerhalb der Prognosezeiträume festgestellt wurde, wird mittels dieses Trendszenarios die Auswirkung von Zusatzwassergaben auf die Ertragsleistung untersucht. Es kommen folgende Annahmen zur Anwendung:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: lineare Steigerung von 375 ppm auf 550 ppm im Jahr 2100
- Züchtungsniveau: Ertragssteigerung durch Züchtungsfortschritt gegenüber dem Jahr 2000
- Bodenbearbeitung: flächendeckend wassersparende Bodenbewirtschaftungssysteme
- Zusatzwasser (Beregnung): bedarfsgerechte Zusatzwassergaben mit wassersparenden Ausbringungssystemen

Die Wirkung von Zusatzwassergaben auf die Ertragssteigerung bzw. -stabilisierung steht in Abhängigkeit der standortspezifischen Beregnungsbedürftigkeit außer Frage und wird in der Meliorationsliteratur umfangreich behandelt (z. B. DÖRTER, 1986; ACHTNICH, 1980, ROTH und WERNER in BLUME et. al, 1998).

Unter der Voraussetzung von wassersparenden Ausbringungssystemen, wie sie bereits aktuell Stand der Technik bzw. als erdverlegte Niederdrucksysteme in der Erprobung sind, geht die Zusatzwassergabe annähernd 100%ig in die Klimatischen Wasserbilanz ein. Durch die genannten Systeme sind unproduktive Transpirationsverluste aus der Interzeption der Pflanzen und der Evaporation nahezu auszuschließen. Die Auswirkungen auf den Ertrag beruhen bei einer bedarfsgerechten, an den Entwicklungsphasen der Fruchtarten orientierten Gabe auf der Optimierung des Wasserdargebotes in den ertragsbildenden Phänophasen.

Zusatzwassergaben werden im Modell nur für die ertragsbildenden Phasen berücksichtigt. Auflaufgaben werden nicht angenommen, hier wird von einer Anpassung der technologischen Termine ausgegangen.

Für die fruchtarten- und standortspezifischen Bemessungen der Zusatzwassergaben wurden die Ergebnisse aus Los 1.3 (PFÜTZNER et al., 2012) zum mittleren Verlauf der nutzbaren Feldkapazität (nFK) für repräsentative Böden Sachsen-Anhalts zugrunde gelegt. Die auf diesen Daten basierte Ausweisung der Unter- bzw. Überschreitung von pflanzenphysiologisch relevanten Bodenwasserverhältnissen ist Tab. 14 zu entnehmen. Zur Wertung und zum Vergleich dieser Ergebnisse wurde die Abb. 54 beigefügt, aus der das Bodenwasserspeichervermögen der landwirtschaftlich genutzten Standorte Sachsen-Anhalts zu entnehmen ist. Um Rückschlüsse auf den Bodenwasservorrat ableiten zu können, sind die in Tab. 14 ausgewiesenen Prozentangaben mit den Angaben aus Abb. 54 in Relation zu setzen. Es zeigt sich, dass bis auf die Auenböden auf allen Standorten mit einer deutlichen Verschärfung der Trockenheitsgefahr (< 30 % nFK) zu rechnen ist. Die Auenböden profitieren, obwohl diese Standorte Zehrungsgebiete darstellen, vom lateralen Grundwasserzufluss, was



ein Absinken unter die kritischen Bodenwasserverhältnisse im Mittel der Jahre verhindert und eine hohe Ertragsstabilität ermöglicht. Besonders kritisch ist die Situation für die Schwarzerden zu werten.

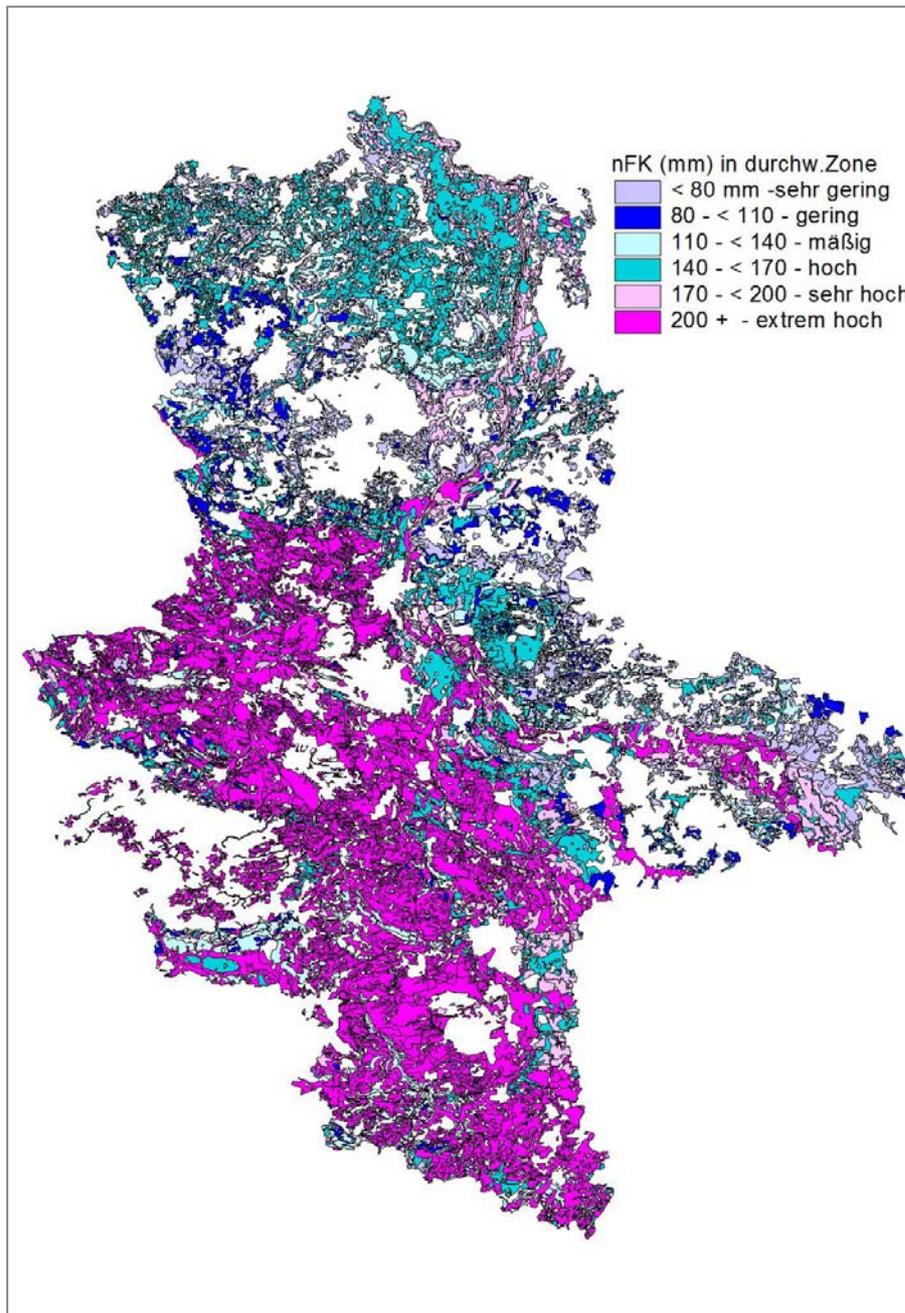


Abb. 54:  
Bodenwasserspeicher-  
vermögen in der  
durchwurzelbaren  
Schicht für  
landwirtschaftlich  
genutzte Standorte  
Sachsen-Anhalts

Die Berechnungen ergaben, dass bereits ab dem 1. Prognosezeitraum eine Auffüllung des Bodenwasserspeichers nicht mehr gewährleistet werden kann und nur noch mit Auffüllungen zwischen 70 und 80 % nFK zu rechnen ist. Während jedoch auf diesen Standorten bedingt durch das hohe Speichervermögen noch vergleichsweise ausreichend Wasser für die Pflanzenentwicklung vorliegt, sind die langen Zeiträume der Unterschreitung von 40..30 % nFK auf den Braunerden und Podsolen mit ihren geringen Speichervermögen als sehr kritisch für die Ertragsbildung zu werten. Die kritischen Werte werden hier in den ertragsbildenden Phasen

bereits deutlich unterschritten und erreichen erst zum Beginn der Herbstperiode wieder Werte darüber. Dies dürfte sich auf die Aussaattermine der Winterungen und den Zwischenfruchtanbau auswirken.

Tab. 14: Ausweisung der mittleren Unter- bzw. Überschreitung von pflanzenphysiologisch relevanten Bodenwasserverhältnissen für repräsentative Böden Sachsen-Anhalts im Referenz- sowie den 3 Prognosezeiträumen

Einheit	Boden	Zeit- raum	< 80 % nFK	< 40 % nFK	< 30% nFK	min. nFK in %	> 30 % nFK	> 40 % nFK	> 80 nFK
Auen	GG-AB	1971-00	04. Jun	--	--	55,7	--	--	25. Okt
	GG-AB	2011-40	03. Jun	--	--	54,1	--	--	29. Okt
	GG-AB	2041-70	26. Mai	--	--	55,5	--	--	04. Nov
	GG-AB	2071-00	20. Mai	--	--	55	--	--	04. Nov
Südliches Lößhügelland	SS	1971-00	29. Mai	13. Jul	--	34,9	--	17. Sep	24. Dez
	SS	2011-40	10. Mai	02. Jul	--	30,9	--	18. Okt	08. Jan
	SS	2041-70	04. Apr	07. Jun	24. Jun	22,7	11. Okt	10. Nov	10. Mrz
	SS	2071-00	--	13. Mai	09. Jun	19,7	01. Nov	19. Nov	--
Schwarzerde- gebiet	TT	1971-00	21. Apr	27. Jun	14. Jul	23,5	27. Okt	22. Nov	28. Feb
	TT	2011-40	--	17. Jun	03. Jul	21,2	01. Nov	28. Nov	--
	TT	2041-70	--	16. Mai	02. Jun	12,9	01. Dez	23. Dez	--
	TT	2071-00	--	29. Apr	12. Mai	11,3	08. Dez	06. Jan	--
Fläming/ Altmark	BB	1971-00	10. Mai	29. Jun	15. Jul	22,8	08. Sep	26. Okt	02. Jan
	BB	2011-40	07. Mai	23. Jun	06. Jul	22,3	04. Okt	01. Nov	09. Jan
	BB	2041-70	20. Apr	08. Jun	21. Jun	18,7	26. Okt	17. Nov	01. Feb
	BB	2071-00	--	22. Mai	18. Jun	18,9	30. Okt	21. Nov	--
	BBp-PP	1971-00	07. Mai	16. Jun	26. Jun	20,4	13. Sep	24. Okt	18. Dez
	BBp-PP	2011-40	04. Mai	10. Jun	20. Jun	19,2	04. Okt	29. Okt	19. Dez
	BBp-PP	2041-70	22. Apr	23. Mai	02. Jun	14,1	30. Okt	14. Nov	01. Jan
	BBp-PP	2071-00	15. Apr	14. Mai	23. Mai	13	30. Okt	15. Nov	07. Jan

Ausgehend von der Ausweisung in Tab. 14 wurden fruchtartenbezogen in den drei Prognosezeiträumen der Zusatzwasserbedarf spezifiziert (Tab. 15). Dabei wurde von einer bedarfsgerechten Gabe in den jeweiligen ertragsbildenden Phänophasen (Entwicklungsphasen) entsprechend ROTH und WERNER in BLUME et. al, 1998 und den mittleren Bodenwasserverhältnissen aus Tab. 14 ausgegangen. Die Höhe der Zusatzwassergaben (Tab. 16) beruht auf den Vorgaben nach HANKE u. a. (1989) und berücksichtigt die maximale Höhe der Einzelgaben und die Anzahl der Beregnungsturnusse. Eine Erhöhung der jährlichen Gaben erscheint aus Sicht der engen Zeitfenster für die Getreidearten und den Winterraps als nur bedingt möglich.



Tab. 15: Spezifizierung des Zusatzwasserbedarfs in Abhängigkeit der Bodenwasserverhältnisse

Einheit	Boden	Zeit- raum	Silo- mais	Sommer- gerste	Winter- gerste	Winter- roggen	Winter- weizen	Winter- raps
Auen	GG-AB	2011-40	--	--	--	--	--	--
	GG-AB	2041-70	--	--	--	--	--	--
	GG-AB	2071-00	--	--	--	--	--	--
Südliches Lößhügelland	SS	2011-40	--	--	--	--	--	--
	SS	2041-70	hoch	--	--	--	hoch	--
	SS	2071-00	sehr hoch	--	--	mittel	sehr hoch	mittel
Schwarzerde- gebiet	TT	2011-40	mittel	--	--	--	--	--
	TT	2041-70	hoch	mittel	--	mittel	hoch	mittel
	TT	2071-00	sehr hoch	hoch	mittel	sehr hoch	sehr hoch	mittel
Fläming/ Altmark	BB	2011-40	hoch	--	--	--	--	--
	BB	2041-70	sehr hoch	--	--	mittel	sehr hoch	--
	BB	2071-00	sehr hoch	--	--	hoch	sehr hoch	mittel
	BBp-PP	2011-40	sehr hoch	--	--	--	hoch	--
	BBp-PP	2041-70	sehr hoch	mittel	mittel	mittel	sehr hoch	--
	BBp-PP	2071-00	sehr hoch	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	mittel

Tab. 16: Höhe der jährlichen Zusatzwassergaben in mm

Fruchtart	mittel	hoch	sehr hoch
Silomais	100	130	150
Sommergerste	60	80	100
Wintergerste	40	50	70
Winterroggen	40	50	70
Winterweizen	60	80	110
Winterraps	40	50	70

**Abschließend wird darauf verwiesen, dass nur die Beregnungsbedürftigkeit vor dem Hintergrund sich deutlich verschlechternder Klimatischer Wasserbilanzen und deren Auswirkung auf die potenzielle Ertragssteigerung untersucht wurde. Aussagen zur Beregnungswürdigkeit, d. h. die ökonomische Betrachtung, erfolgten ebenso wie die Diskussion um die Möglichkeit der Zusatzwasserbereitstellung vor dem Hintergrund der sich verringernden Grundwasserneubildungen nicht. Darüber hinaus wurden nur die oben aufgeführten Rahmenbedingungen im Modell simuliert. Durch den Klimawandel verursachte Auswirkungen auf sich ändernde bodenchemische und bodenphysikalische Prozessabläufe wurden ebenso wenig wie die Ausweitung der Vegetationsphasen mit daraus sich ableitenden Änderungen der technologischen Termine berücksichtigt. Gleiches trifft auf Ertragsverluste bei wassersparenden Bodenbearbeitungssystemen infolge erhöhten Schaderregeraufkommens zu.**



## 6.2 Ergebnisse Simulations- und Szenario-Berechnung

Ausschlaggebend für die Ertragsentwicklung in den 3 Prognosezeiträumen bis 2100 sind die durch den prognostizierten Klimawandel sich verändernden Niederschlags-, Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse, wobei, wie die Ergebnisse aus Los 1.3 belegen, diese sich insbesondere in einer deutlichen Reduzierung der Klimatischen Wasserbilanzen manifestieren.

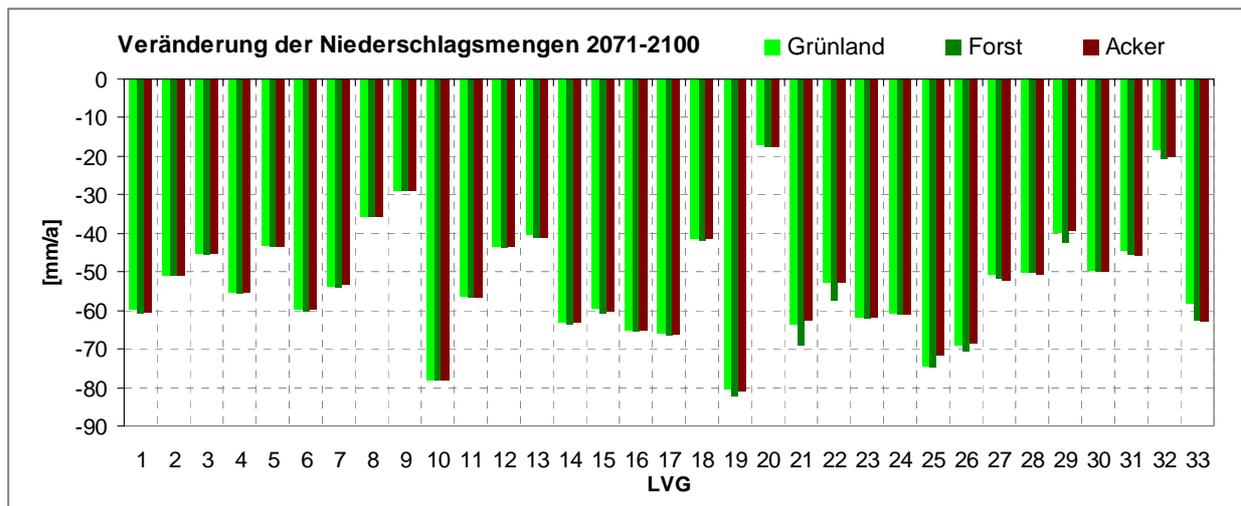


Abb. 55: Veränderung der Niederschläge 2071-2100 im Vergleich zur Referenzsituation (Median der 10 WETTREG2010-Realisierungen) für die einzelnen LVG und Nutzungsarten (Quelle: PFÜTZNER et al., 2012)

Die Auswertungen der WETTREG2010-A1B-Simulation für die LVG Sachsen-Anhalts durch PFÜTZNER et al. (2012) zeigen, dass sich die Niederschlagsmengen bis zum Jahr 2100 (siehe Abb. 55) um Werte zwischen 20 mm (Nördliche Börde) bis ca. 80 mm (Südliche Elbaue und Nördliches Harzvorland) verringern. Im Mittel ist demnach mit einem verminderten jährlichen Niederschlagsaufkommen von 30 bis 60 mm zu rechnen und das vor dem Hintergrund, dass große Teile Sachsen-Anhalts bereits gegenwärtig zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands gehören. Diese Veränderung der Niederschlagsmenge in Verbindung mit steigenden Temperaturen schlägt sich in einer deutlichen Verringerung der Klimatischen Wasserbilanzen in allen LVG nieder. Für die Klimatischen Wasserbilanzen weisen PFÜTZNER et al. (2012) für den Zeitraum bis 2100 Abnahmen um Werte zwischen 170 mm (Untere Unstrutplatten) und 300 mm (Unter- und Mittelharz) aus (siehe Abb. 56). Im Mittel muss bis zum Ende des Prognosezeitraums für die LVG mit Abnahmen der Klimatischen Wasserbilanz um 200 bis 250 mm gerechnet werden, so dass dann im Mittel der Jahre für den überwiegenden Teil der LVG durchgängig mit negativen Klimatischen Wasserbilanzen erwartet werden.

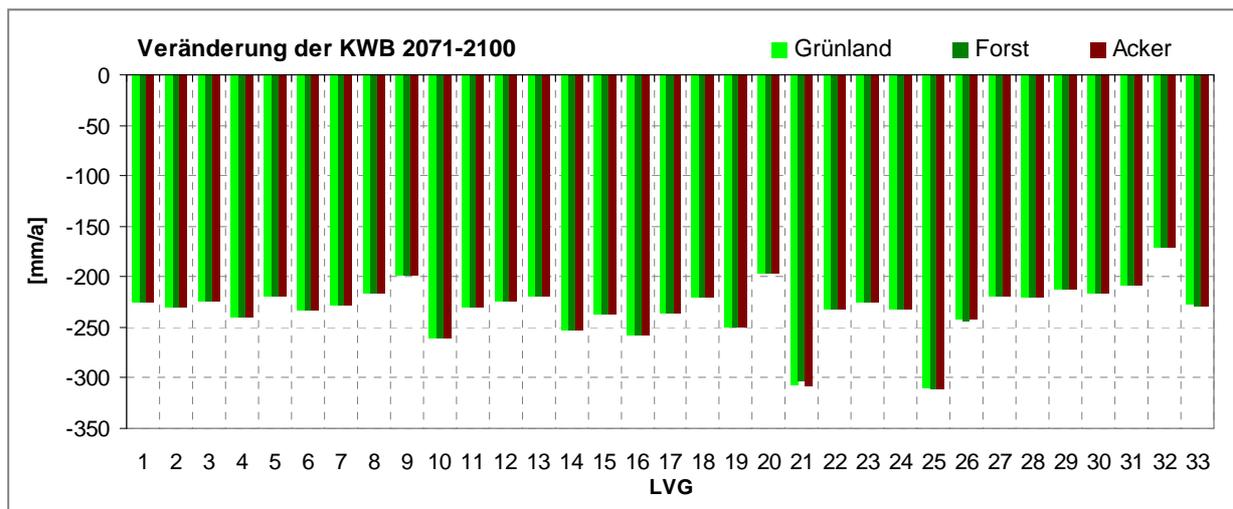


Abb. 56: Veränderung der KWB 2071-2100 im Vergleich zur Referenzsituation (Median der 10 WETTREG2010-Realisierungen) für die einzelnen LVG und Nutzungsarten (Quelle: PFÜTZNER et al., 2012)

Diese Entwicklung schlägt sich langfristig in den modellierten Erträgen der Fruchtarten nieder. Der Übersicht in Abb. 57 sind die relativen Ertragsänderungen von Silomais, Sommergerste, Wintergerste, Winterraps, Winterroggen und Winterweizen für die gesamte Landesfläche in den drei Prognosezeiträumen zu entnehmen. Es wird deutlich, dass im Prognosezeitraum 2011 bis 2040 die nachteilige Entwicklung der klimatischen Bedingungen für alle betrachteten Fruchtarten durch den züchterischen und technischen Fortschritt sowie den CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt (Legendeneinheit CO<sub>2</sub>+Zü+Bb) aufgehoben wird und sich die Erträge auf bzw. über dem Niveau des Referenzzeitraums (sprich aktuell) bewegen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit der Randbedingungen für dieses Szenario ist als sehr hoch einzustufen. Der Steigerungseffekt bei den einzelnen Fruchtarten gegenüber dem Grundszenarium (Legendeneinheit oT), welches nur die Klimaänderung ohne Berücksichtigung anderer Effekte abbildet, beträgt in Abhängigkeit der Reaktion auf den CO<sub>2</sub>-Effekt sowie den prognostizierten züchterischen und technischen Fortschritt zwischen 10 und 20 %. Im ersten Prognosezeitraum liegt das Ertragsniveau von Silomais noch über den anderen Fruchtarten, obwohl dieser als C4-Pflanze nicht so massiv vom CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt profitiert. Ursachen für den etwas stärkeren Anstieg sind in den unterstellten züchterischen Fortschritten sowie den leicht steigenden Temperaturen, auf die Mais positiv reagiert, gegenüber nur gering sinkenden Wasserbilanzen zu suchen.

Als weiterer Trend wurde die Verbesserung der Klimatischen Wasserbilanz durch standortdifferenzierte und bedarfsgerechte Zusatzwassergaben (=Beregnung) simuliert. Da hierbei keine pauschale sondern eine differenzierte Gabe in Abhängigkeit von den mittleren Bodenfeuchteverhältnissen angenommen wurde, wird der Zusatzwassereffekt nur bei Silomais mit einer hohen möglichen Zusatzwassermenge bei einer entsprechend langen Beregnungsphase und in Ansätzen bei Winterweizen sichtbar. Insgesamt muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die Bewässerungsbedürftigkeit in diesem Zeitraum noch auf dem gegenwärtigen Niveau liegt.



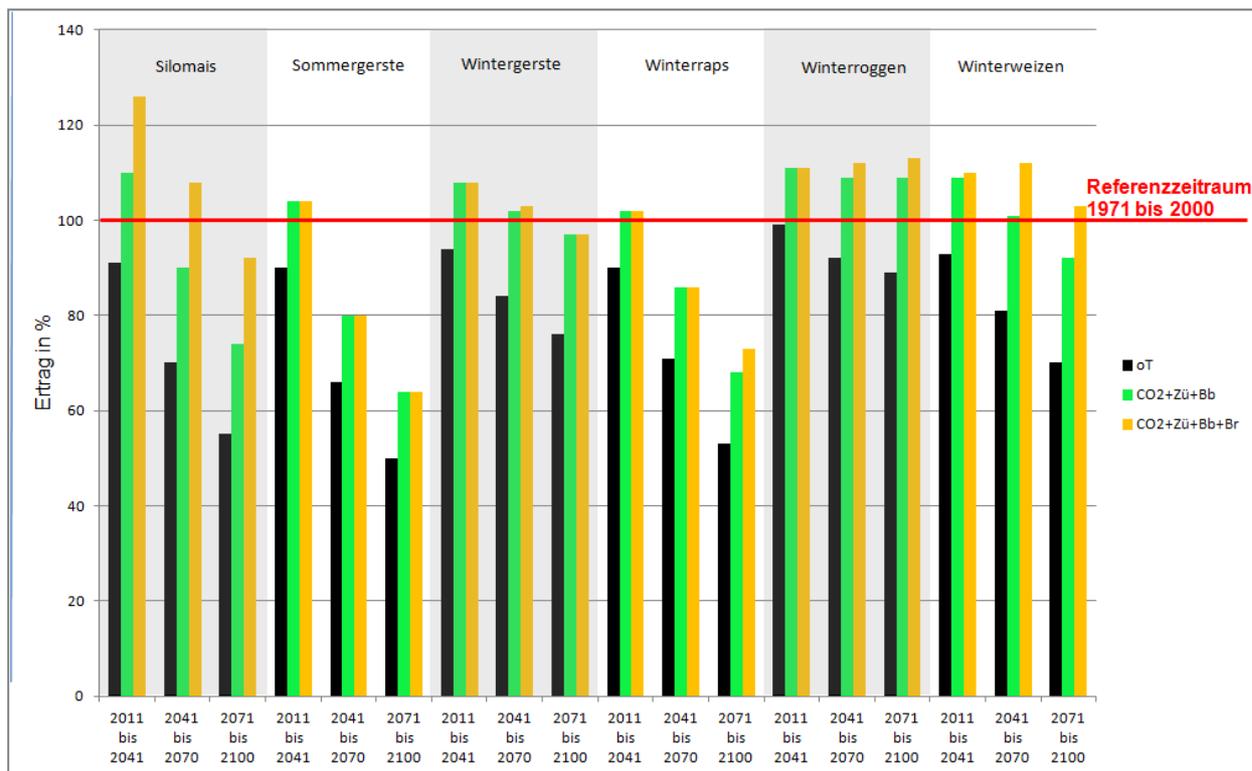


Abb. 57: Übersicht der relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 für die Landesfläche Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragsituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000

#### Erläuterung der Legenden in den Abb. 57 bis 63:

oT	ohne Trendberücksichtigung, d. h. Rahmenbedingungen wie im Referenzzeitraum
CO2+Zü+Bb	Berücksichtigung des CO <sub>2</sub> -Düngeeffekts, der Ertragssteigerung durch züchterische Fortschritte und der flächendeckenden Umsetzung wassersparender Bodenbewirtschaftungssysteme
CO2+Zü+Bb+Br	wie vor und bedarfsgerechte Zusatzwassergaben

Ab dem 2. Prognosezeitraum kommt es zu einer Differenzierung der Fruchtarten in Gewinner und Verlierer des Klimawandels, wobei betont werden muss, dass mit wachsendem Zeithorizont die Sicherheit der Modellannahmen, insbesondere was den züchterischen Fortschritt betrifft, immer geringer werden. Die Wintergetreidearten können bedingt durch ihre Reaktion auf den CO<sub>2</sub>-Effekt und den Fortschritt in der Landwirtschaft die Ertragsminderungen durch die negativen Auswirkungen des Klimawandels egalalisieren und bewegen sich in ihren Ertragsniveaus noch immer im Bereich des Referenzzeitraums. Deutlicher reagieren jetzt bereits Winterraps, Silomais und Sommergerste. Diese erreichen das Referenzniveau nicht mehr, was mit den deutlich abnehmenden Wasserbilanzen in der Hauptwachstumszeit zu begründen ist und im Gegensatz zum 1. Prognosezeitraum mit dem temperaturbedingten Ertragsanstieg nicht mehr ausgeglichen werden kann. Besonders bei Silomais und mit Abstrichen auch bei Winterraps ist unter diesen Bedingungen eine Ertragssteigerung durch Zusatzwassergaben erreichbar. Die Gewinner-Verlierer-Aufteilung setzt sich auch im 3. Prognosezeitraum fort, wobei jetzt auch Wintergerste und Winterweizen leicht sinkende Erträge



aufweisen. Am stabilsten über alle 3 Prognosezeiträume erweist sich Winterroggen. Silomais, Sommergerste und Winterraps reagieren mit weiter sinkenden Erträgen auf die noch stärkere Verringerung der klimatischen Wasserbilanzen. Eine deutliche Ertragssteigerung ist wiederum durch Zusatzwassergaben bei Silomais zu erreichen.

Bezogen auf die gesamte Landesfläche Sachsen-Anhalts ist festzustellen:

1. Im 1. Prognosezeitraum sind auf Grund der nur geringen klimatischen Abweichungen und der zu erwartenden landwirtschaftlichen Fortschritte nur geringe Änderungen der Ertragsniveaus zu erwarten. Auswirkungen auf die Anbaueignung bestimmter Fruchtarten und notwendiges Umschichten sind für diesen Zeitraum nicht ableitbar.
2. Ab dem 2. Prognosezeitraum tritt eine Untergliederung in Gewinner (Wintergetreidearten) und Verlierer (Silomais, Sommergerste, Winterraps) auf, die sich im 3. Prognosezeitraum noch verschärft.
3. Das Ertragsniveau von Silomais ist langfristig unter den Standortbedingungen von Sachsen-Anhalt nur mittels Zusatzwassergaben zu gewährleisten.

Während die bisherigen Aussagen aus der Ergebnisaggregation auf Ebene der Landesfläche erfolgten, erlauben die Simulationen auf Ebene der LVG eine standortbezogene innere Differenzierung. Der Ausweisung der relativen Ertragsänderungen für die betrachteten Fruchtarten innerhalb der 3 Prognosezeiträume (Abb. 59 bis 63) liegen die absoluten Erträge für den Referenzzeitraum 1971 bis 2000 (Abb. 58) zugrunde.

Aus den Ertragswerten in Abb. 58 wird die eingangs kurz abgehandelte Standortdifferenzierung mit den daraus resultierenden Bodenbonitäts-/Fruchtbarkeitsunterschieden in 4 größere `Ertragsräume` deutlich sichtbar:

- I. LVG 1 bis 6 - nördlicher Bereich Sachsen-Anhalts, Altmark und angrenzende LVG - mittlere Ertragsklassen (3-4)
- II. LVG 7 bis 16 - südliche Altmark und östliche Landesteile, Fläming, Dübener Heide, sandige Substrate, im westlichen Bereich in Sandlöss übergehend - geringe Ertragsklassen (1-2)
- III. LVG 17 bis 33 (außer 25) - Schwarzerdegebiet und LVG mit löss- sowie lössähnlichen Substraten - hohe Ertragsklassen (5-6)
- IV. LVG 25 - Mittel- und Unterharz, nimmt in Sachsen-Anhalt als Mittelgebirge sowohl pedologisch als auch klimatisch eine Sonderstellung ein, Erträge schwanken je nach Fruchtart zwischen gering bis mittel, Sonderstellung verstärkt sich

Betrachtet werden im Folgenden ausschließlich das aus CO<sub>2</sub>-Effekt und landwirtschaftlichem Fortschritt (Züchtung, Bodenbewirtschaftung) zusammengefasste Szenario sowie das darauf aufbauende mit Zusatzwasser. Die Grundsimulation ohne Berücksichtigung von Trends hat lediglich informativen Charakter.



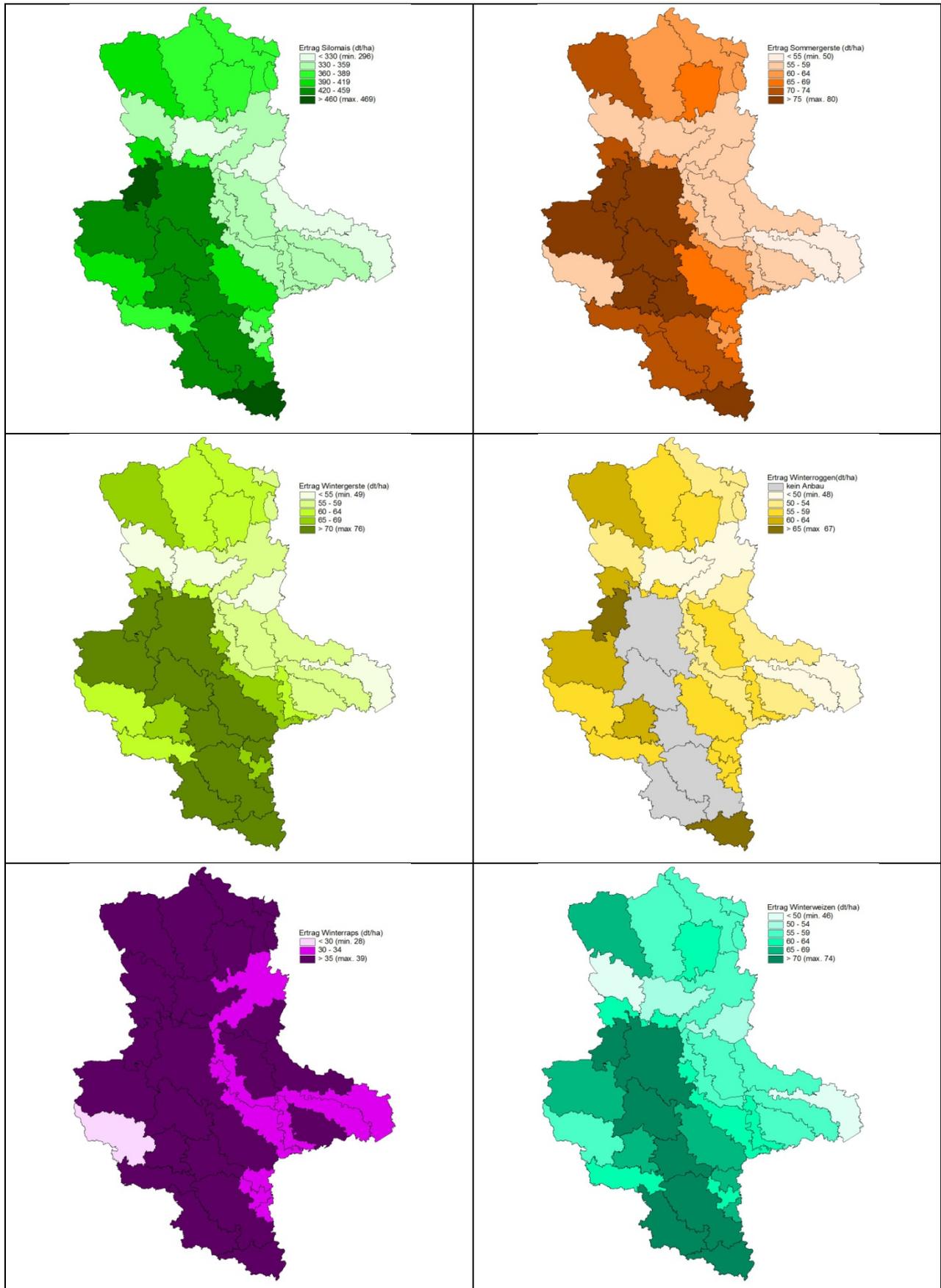


Abb. 58: Erträge für das Land Sachsen-Anhalt als Mittel der 10 Realisierungen des WETTREG2010 - A1B-Referenzzeitraumes 1971-2000





Abb. 59: Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von **Silomais** für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000





Abb. 60: Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von **Sommergerste** für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000





Abb. 61: Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von **Wintergerste** für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragsituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000





Abb. 62: Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von **Winterraps** für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragsituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000



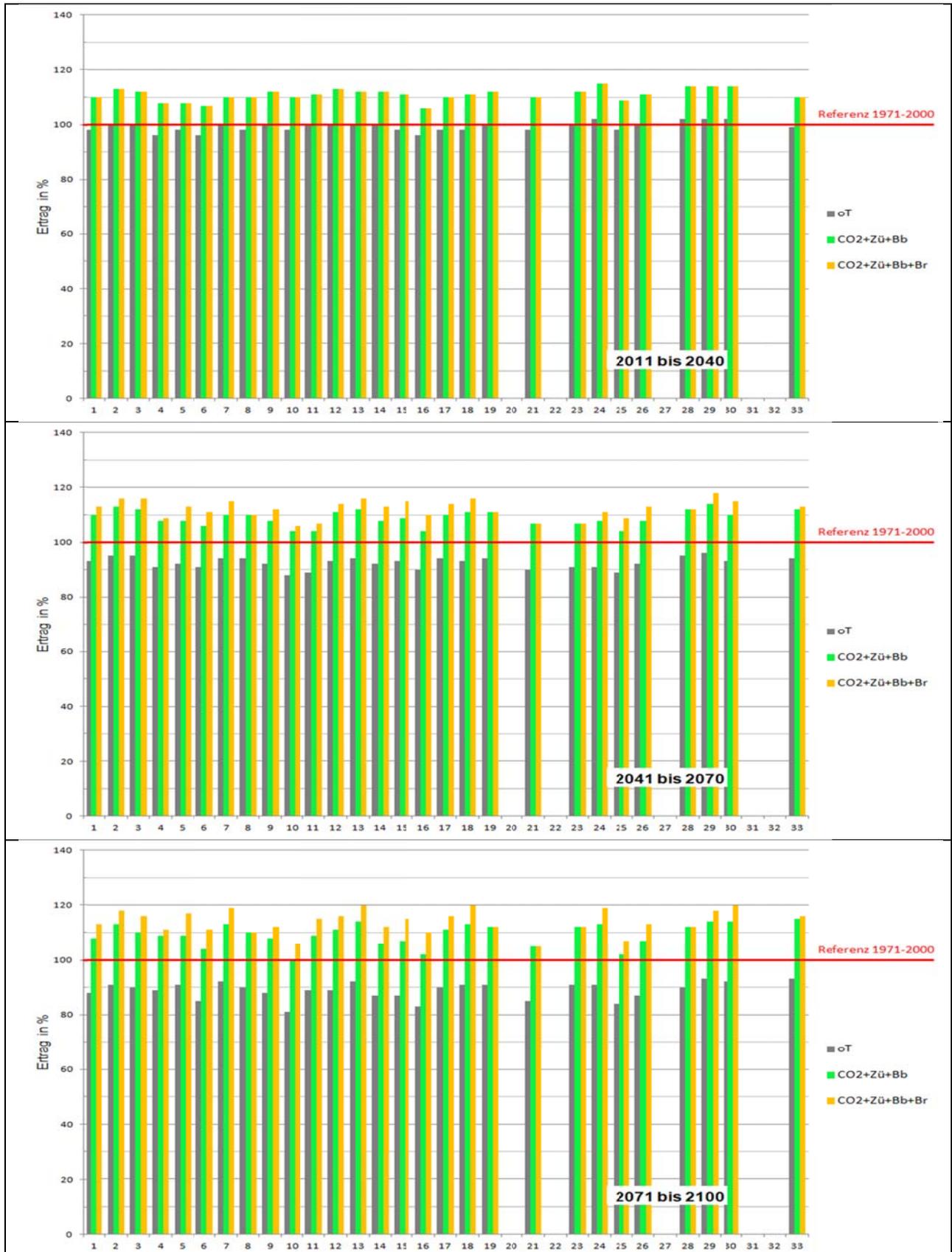


Abb. 63: Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von **Winterroggen** für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragsituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000





Abb. 64: Relative Ertragsänderungen 2011 bis 2100 von **Winterweizen** für die LVG Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragsituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000



Der Diskussion um die standortspezifische Veränderung der Erträge vorangestellt, sei nochmals verwiesen auf

1. die Sicherheit der Modellprognosen - Die mit zunehmender Zeitreihe, sprich für die Prognosezeiträume 2 und 3, mit der wachsenden Unsicherheit der Modelleingangskennwerte sehr stark abnehmen.
2. die Sonderstellung der LVG 25 `Unter- und Mittelharz`. Dieses Gebiet umfasst den Bereich des Brockenmassivs bis an den Randbereich der Mansfelder Mulde und weist entsprechend große Spannen bei den Klima- und Bodenkennwerten auf. Was auf Grund der Mittelung auf den LVG zu einer Überschätzung der klimatischen Kennwerte (sehr hohe Niederschlagswerte im Bereich des Brockens) und der Bodenbonität (große Anteile landwirtschaftlicher Nutzflächen im Unterharz mit vergleichsweise hoher Bodenfruchtbarkeit) führt. In allen Prognosezeiträumen und für alle Fruchtarten führt dies durch die Erhöhung der Temperaturen in Verbindung mit positiven Klimatischen Wasserbilanzen zu vergleichsweise starken Ertragsanstiegen, die in ihrer Höhe sicher überschätzt und nicht auf allen Bereichen der LVG übertragbar sind. Prinzipiell ist jedoch davon auszugehen, dass der Unter- und Mittelharz hinsichtlich der Ertragsentwicklung als eine der wenigen Gebiete in Sachsen-Anhalt vom Klimawandel profitiert.

Für die übrigen LVG sind folgende Trends festzustellen:

Im 1. Prognosezeitraum ist für alle Fruchtarten unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Entwicklungstendenzen ein Schwankungsbereich auf dem Niveau des Referenzzeitraumes bzw. leicht darüber festzustellen. Neben der vergleichsweise geringen Änderung der wesentlichen Klimakennwerte sind hierfür der CO<sub>2</sub>-Effekt und die Züchtungsfortschritte ausschlaggebend. Die geringe Änderung der klimatischen Kennwerte bzw. die Egalisierung der leicht abnehmenden Wasserbilanzen durch steigende Temperaturen wird an der Höhe des Basisszenarios (ohne Trend) sichtbar, welches in allen LVG und für alle Fruchtarten nur geringfügig unterhalb des Referenzniveaus schwankt. Einzig das Vergleichsgebiet 16 - `Südliches Fläminghügelland` weist bereits für diesen Zeitraum eine schwache Tendenz zu absinkenden Erträgen auf, was im hohen Anteil sandiger Substrate (> 80 % der Fläche) begründet liegt. Diese sind nur geringmächtig durchwurzelbar und weisen ein geringes Wasserspeichervermögen auf, so dass selbst die geringen Verminderungen der Wasserbilanzen sich bereits negativ auf die Ertragsentwicklung auswirken.

Insgesamt ist keine Verschiebung der Anbaueignung im Vergleich mit den gegenwärtigen Verhältnissen abzuleiten, was auch die Notwendigkeit von Zusatzwassergaben betrifft. Diese liegen im gegenwärtigen Rahmen und würden von den betrachteten Fruchtarten in erster Linie den Silomais betreffen. Ab dem 2. Prognosezeitraum ist eine Untergliederung in Gewinner und Verlierer sowohl innerhalb der Fruchtarten (wie bereits auf Landebene diskutiert) als auch innerhalb der Landesfläche zu konstatieren. Dabei ist festzustellen, dass die Wintergetreidearten als Gewinner im Vergleich der 3 Ertragsräume keine so starke Differenzierung aufweisen wie die Verlierer - Sommerungen und Winterraps. Die



Wintergetreidearten schwanken auch in diesem Prognosezeitraum noch um das Ertragsniveau des Referenzzeitraumes, die Unterschiede zwischen den Ertragsräumen sind sehr gering. Anders die Sommerungen und der Winterraps. Diese erreichen in dieser Phase bei Silomais < 90 % und bei Sommergerste und Winterraps < 80 % des Referenzniveaus. Auf den Lösssubstraten der LVG 17-33 liegen deren Ertragsrelationen über den lehmig-sandigen Altmarkbereichen und den östlichen sandigen bis sandig-lehmigen Landesteilen. Kritisch zu betrachten ist dieser Trend insbesondere für den Silomais vor dem Hintergrund, dass letztgenannte Regionen Schwerpunkte der Tierproduktion in Sachsen-Anhalt sind und Silomais aktuell noch der Energieträger der erneuerbaren Energien darstellt. Sollte sich in den folgenden Jahren der gegenwärtig prognostizierte Klimawandel für diesen Prognosezeitraum bestätigen, sind frühzeitig Bewässerungskonzepte für den Silomaisanbau bzw. Substituierungen für Silomais als Energieträger zu erarbeiten und langfristig umzusetzen, um die Tierproduktion in diesen Regionen sicherzustellen. Bezüglich der Anbaueignung muss eine Verschiebung von Sommergerste und Winterraps auf die Löss- und Lehmsubstrate und ein verstärkter Anbau von Wintergetreide auf den sandigen Substraten diskutiert werden.

Im 3. Prognosezeitraum kommt es zu einer weiteren Verschärfung der Entwicklungen. Die Trendableitung ist durch die unsicheren Modellannahmen nur bedingt aussagekräftig, dürfte aber den generellen Trend abbilden. Bei den Sommerungen und bei Winterraps wird ein weiteres Absinken des Ertragsniveaus wahrscheinlich, was auf den sandigen Standorten der LVG 7-16 wiederum prozentual stärker ausfällt als auf dem lehmigen Standorten der LVG 1-6 und den Löss- und lössähnlichen Substraten der LVG 17-33. Zwischen letztgenannten sind die Ertragsunterschiede jedoch nicht mehr so groß wie im 2. Prognosezeitraum. Die Wintergetreidearten können das verminderte Wasserdargebot besser abpuffern. Es lässt sich prognostizieren, dass das Ertragsniveau jeweils nur gering unter das Referenzniveau abfällt, wobei wiederum die bereits mehrfach aufgeführte Dreiteilung des Landes sichtbar wird. Die im 2. Prognosezeitraum eingeleiteten Maßnahmen bezüglich Zusatzwassergaben und Anbaueignung müssen in diesem Zeitraum intensiviert werden.

Zusammenfassend lassen sich für die standortdifferenzierte Ertragsentwicklung folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Unter Wertung der Modelleingangskennwerte sind die Ertragsentwicklungen für den 1. Prognosezeitraum als sicher einzustufen. Für die weiteren Zeiträume nimmt die Aussagesicherheit zunehmend ab.
- Im Zeitraum 2011 bis 2040 liegt das zu erwartende Ertragsniveau für alle sechs betrachteten Fruchtarten in allen LVG`s Sachsen-Anhalt auf dem Referenzniveau oder leicht darüber. Die Sicherung des Ertragsniveaus gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels wird in diesem Zeitraum durch die zu erwartenden Ertragsteigerungen durch den CO<sub>2</sub>-Effekt, züchterischen Fortschritt und die weitere Etablierung wassersparender Bodenbewirtschaftungssysteme gewährleistet.
- Zusatzwassergaben sind im 1. Prognosezeitraum nur im Rahmen der gegenwärtigen Bedürftigkeit notwendig und sollten vorrangig der Sicherung der Silomaiserträge dienen.



- Ab den Prognosezeiträumen nach 2040 werden Differenzierungen innerhalb der Fruchtarten und den landwirtschaftlich genutzten Standorten Sachsen-Anhalts in `Gewinner` und Verlierer` des Klimawandels sichtbar.
- Für die Wintergetreidearten ist lediglich ein geringer Ertragsrückgang zu beobachten, der von Löß- über Lehm- zu den Sandstandorten leicht zunimmt.
- Sommerungen und Winterraps weisen starke Rückgänge innerhalb der gleichen, oben genannten räumlichen Differenzierung auf.
- Die Anbaueignung von Sommergerste und Winterraps auf den sandigen Standorten ist langfristig zu diskutieren.
- Silomais bedarf auf allen Standorten insbesondere jedoch auf den lehmigen und sandigen der Gabe von Zusatzwasser zur Ertragsteigerung, um die Tierproduktion langfristig zu sichern.

## 7. Zusammenfassung

Die Bearbeitung des Loses 2 `Landwirtschaft` verfolgte innerhalb des Gesamtvorhabens `Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt` das Ziel, die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die Ertragsentwicklung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten standortdifferenziert zu quantifizieren. Bei den abzubildenden Fruchtarten handelt es sich um Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterraps, Sommergerste und Silomais. Als Ertragsmodell kam der Modellansatz zur Ertragsschätzung nach KINDLER (1992) sowie dessen Weiterentwicklung durch MIRSCHEL et al. (2003, 2006) zur Anwendung. Das Verfahren stellt einen Hybridansatz aus standortabhängigen Algorithmen, standortspezifischen Ertragstermen und statischen Trendanalysen dar. Als Merkmale für die Abbildung des Standortes innerhalb des Modells gehen die Standortfaktoren Standortregionaltyp, Höhenlage, Hydromorphie, Acker- und Grünlandzahl, wachstumswirksame Temperaturen in fruchtartenabhängigen Wachstumsphasen sowie die Klimatischen Wasserbilanzen ein.

Grundlage für die Abbildung des Klimawandels bildeten die 10 Realisierungen des Klimaszenarios WETTREG2010 A1B in den Prognosezeiträumen 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100. Zum Vergleich wurde der Referenzzeitraum 1971 bis 2000 herangezogen.

Den Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsentwicklung vorgeschaltet waren Arbeiten zur Modellprüfung und Validierung auf unterschiedlichen räumlichen Skalenebenen - vom Versuchsfeld, über den Praxisschlag bis hin zur Landkreisebene. Des Weiteren wurde die Nutzbarkeit des Ertragsmodells für die synthetisch erzeugten WETTREG2010-Realisierungen anhand eines Vergleichs mit messtechnisch gewonnenen Klimakennwerten für die Zeitreihe 1971 bis 2000 geprüft.

In den Prognosezeiträumen wurde die Ertragsentwicklung auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete und unter Zugrundelegung weiterer Trends, die sich aus dem Einfluss des Züchtungstrends, der Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes und des Einflusses der Bodenbearbeitung ergeben, berechnet. Darüber hinaus wurde der Zusatzwasserbedarf für die landwirtschaftlich



genutzten Standorteinheiten zur Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion vor dem Hintergrund des Klimawandels ermittelt und die sich resultierende Auswirkung auf das Ertragsniveau auszugewiesen.

Für die landwirtschaftlich genutzten Standorte Sachsen-Anhalts lassen sich bezüglich der Ertragsentwicklung in den 3 Prognosezeiträumen 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100 folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Unter Wertung der Modelleingangskennwerte sind die Ertragsentwicklungen für den 1. Prognosezeitraum als sicher einzustufen. Für die weiteren Zeiträume nimmt die Aussagesicherheit zunehmend ab.
- Im Zeitraum 2011 bis 2040 liegt das zu erwartende Ertragsniveau für die sechs betrachteten Fruchtarten in allen LVG`s Sachsen-Anhalt auf dem Referenzniveau oder leicht darüber. Die Sicherung des Ertragsniveaus gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels wird in diesem Zeitraum durch die zu erwartenden Ertragsteigerungen durch den CO<sub>2</sub>-Effekt, züchterischen Fortschritt und die weitere Etablierung wassersparender Bodenbewirtschaftungssysteme gewährleistet.
- Zusatzwassergaben sind im 1. Prognosezeitraum nur im Rahmen der gegenwärtigen Bedürftigkeit notwendig und sollten vorrangig der Sicherung der Silomaiserträge dienen.
- Ab den Prognosezeiträumen nach 2040 werden Differenzierungen innerhalb der Fruchtarten und den landwirtschaftlich genutzten Standorten Sachsen-Anhalts in `Gewinner` und `Verlierer` des Klimawandels sichtbar.
- Für die Wintergetreidearten als Gewinner ist lediglich ein geringer Ertragsrückgang zu beobachten, der von Löß- über Lehm- zu den Sandstandorten leicht zunimmt.
- Sommergerste und Winterraps als Verlierer weisen starke Rückgänge innerhalb der gleichen, oben genannten räumlichen Differenzierung auf.
- Die Anbaueignung von Sommergerste und Winterraps auf den sandigen Standorten ist langfristig zu diskutieren.
- Silomais bedarf auf allen Standorten insbesondere jedoch auf den lehmigen und sandigen der Gabe von Zusatzwasser zur Ertragsteigerung, um die Tierproduktion langfristig zu sichern.



## 8. Literatur

- Achtnich, W. (1980): Bewässerungshandbuch. - Ulmer-Verlag Stuttgart
- Adler, G. (1987): Zur mesoklimatischen Kennzeichnung landwirtschaftlich genutzter Standorte von Pflanzenbaubetrieben. - In: Zeitschrift für Meteorologie, Berlin, 37, H. 5, S. 291-298.
- Ahlemeyer, J. und W. Friedt (2010): Entwicklung der Weizenerträge in Deutschland - Welchen Anteil hat der Zuchtfortschritt? - In: Tagungsband der 61. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 23.-25. November 2010, Raumberg-Gumpenstein, S. 19-23
- Blume, H.-P., Felix-Henningsen, P. und W. R. Fischer (Hrsg.) (1998): Handbuch der Bodenkunde. - Hüthig Jehle Rehm Verlag.
- Bischoff; J. (2005): Pflügen kostet Wasser. - In: Neue Landwirtschaft, H. 2, S. 38-39.
- Bischoff; J. (2012): Mündliche Mitteilungen
- Diemann, R. (Redaktion) (1993): Agrarstrukturelle Vorplanung Südharz. - Eigenverlag der Landgesellschaft Sachsen-Anhalt
- Dörter, K. (1986): Landwirtschaftliche Melioration. - Landwirtschaftsverlag Berlin
- Kindler, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. - In: Verlag Pflug und Feder GmbH
- Koepke, V. (1985): Anleitung zur hydrologischen Standortaufnahme. - In: Ingenieurbüro für Melioration, Bad Freienwalde.
- Mirschel, W., Wieland, R. und K.-O. Wenkel (2003): Bedeutung der Modellwahl bei der Ertragsschätzung - Bauernschläue vs. Agrarwissenschaft-. In: Gnauck, A.(Hrsg.): Theorie und Modellierung von Ökosystemen: Workshop Kölpinsee 2001. (Berichte aus der Umweltinformatik), Shaker Verlag Aachen, 2003, S. 162 - 186
- Mirschel, W., Schultz, A., Wieland, R., Lutze, G. und K. Luzi (2006): Modellgestützte Analyse ausgewählter Größen des Landschaftshaushaltes am Beispiel der Agrarfläche der Ziethener Moränenlandschaft. In: Lutze, G.; Schultz, A.; Wenkel, K.-O. (Hrsg.): Landschaften beobachten, nutzen und schützen – Landschaftsökologische Langzeit-Studie in der Agrarlandschaft Chorin 1992 - 2006. G. B. TeubnerVerlag, Wiesbaden, 2006, S. 164 - 195
- Mirschel, W., Wenkel, K.-O., Wieland, R., Luzi, K., Albert, E. und B. Köstner (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsleistung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten im Freistaat Sachsen - eine landesweite regionaldifferenzierte Abschätzung -. - In: Klimawandel und Ertragsleistung, Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen, Heft 28.
- Pfützner, B., Klöcking, B., Schumann, A. und P. Hesse (2012): Endbericht zum Los 1.3 (Wasser) - Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt. - unveröffentlicht



Schaller, M. und H.-J. Weigel (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. - Schriftenreihe der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft 316.

Schmidt, R. und R. DIEMANN (1991): Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). FZB Müncheberg, Müncheberg.

Thiere, J., Altermann, M., Lieberoth, I. und D. RAU (1991): Zur Beurteilung landwirtschaftlicher Nutzflächen nach technologisch wirksamen Standortbedingungen. - In: Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde, 35, Heft 3, S. 171-183.





Herausgegeben  
durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt  
Stabsstelle Fachbereichsübergreifende Aufgaben, Klimawandel, Öffentlichkeitsarbeit

## **Impressum**

Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt - Halle (2013) Heft 7:

### **Klimafolgenstudie 2012, Landwirtschaft**

Autoren:

Landgesellschaft Sachsen-Anhalt  
C. Deimer

Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz  
M. Steininger

Redaktion:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt  
Dr. Christiane Röper  
Manfred Unglaube

Foto Titelseite: Manfred Unglaube (2012)

Herausgeber und Bezug:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, PSF 200 841, 06009 Halle (Saale)  
Sitz: Reideburger Str. 47, 06116 Halle (Saale), Telefon +49 345 5704-0  
E-Mail: [poststelle@lau.mlu.sachsen-anhalt.de](mailto:poststelle@lau.mlu.sachsen-anhalt.de)

Diese Schriftenreihe wird kostenlos abgegeben und darf nicht verkauft werden. Der Nachdruck bedarf der Genehmigung.

Die Autoren sind für den fachlichen Inhalt ihrer Beiträge selbst verantwortlich. Die von ihnen vertretenen Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

März 2013

Diese Schrift darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben politischer Informationen oder Werbemittel. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Schrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

**ISSN 0941-7281**

