

Die Beregnungsbedürftigkeit von Winterweizen und Zuckerrübe in Sachsen-Anhalt vor dem Hintergrund des Klimawandels

Nils Dietrich KÜHNEL, Manfred FRÜHAUF und Falk BÖTTCHER

5 Abbildungen und 8 Tabellen

Abstract

KÜHNEL, N., FRÜHAUF, M., BÖTTCHER, F.: The need of irrigation of winter wheat and sugar beet in Saxony-Anhalt against the background of climate change. - *Hercynia N. F.* 51 (2018): 94 – 112.

Saxony-Anhalt (Germany) has a great amount of fertile soils and subsequently a large percentage of the land is used for agriculture. In addition the „Mitteldeutsche Trockengebiet“, which is among the driest areas in Germany, is situated there. For these reasons Saxony-Anhalt is very vulnerable to the changes in temperature and water regimes that occur due to climate change. One adaption measure possible is irrigation. That is why researching the need for irrigation of agricultural crops is very important. Winter wheat (*Triticum aestivum*) and sugar beet (*Beta vulgaris*) are important crops in the area and will be examined in this thesis. For this purpose data of the agricultural meteorological hydrologic budget model METVER for soil moisture shall be evaluated.

Key words: Agriculture, climate change, irrigation, Saxony-Anhalt, soil moisture, sugar beet, winter wheat

1 Einleitung

Das Bundesland Sachsen-Anhalt, in welchem ein bedeutender Teil der Böden zu den fruchtbarsten in Deutschland gehört und dem daraus folgenden großen Flächenanteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche (ca. 61,5% der Landesfläche), ist potenziell in hohem Maße von Klimaveränderungen und den damit verbundenen Änderungen im Temperatur- und Wasserhaushaltsregime betroffen (BGR, STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 2015). Zusätzlich befindet sich in Sachsen-Anhalt das Mitteldeutsche Trockengebiet, das durch den Regenschatten des Harzes zu den trockensten Regionen in Deutschland zählt und somit von Niederschlagsrückgängen bzw. Niederschlagsverlagerungen mit Trockenperioden empfindlich beeinträchtigt wäre. Durch diese erhöhte Vulnerabilität ist das Auftreten von Ertragsminderungen bzw. -ausfällen möglich.

Eine mögliche Anpassungsmaßnahme stellt die zusätzliche Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen dar. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Beregnungsbedürftigkeit von landwirtschaftlichen Kulturen zu untersuchen. Im Jahr 2008 wurden in Sachsen-Anhalt ca. 20.000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche zusätzlich bewässert. Das entspricht einem Anteil von ca. 1,7% der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche (MICHEL & SOURELL 2014). Als Hauptvertreter landwirtschaftlicher Kulturen in Sachsen-Anhalt sollen dazu die Winterkultur Winterweizen (*Triticum aestivum*) und die Sommerkultur Zuckerrübe (*Beta vulgaris*) betrachtet werden. Dazu werden Daten des agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodells METVER (meteorologische Verdunstung) zur Bodenfeuchte ausgewertet, um Trockenzeiten innerhalb der Vegetationsperioden erkennen und mögliche Tendenzen abschätzen zu können.

2 Untersuchungsgebiet

Das Bundesland Sachsen-Anhalt bildete das Untersuchungsgebiet, wobei zusätzlich die Randbereiche der Nachbarbundesländer in die Betrachtung mit einbezogen wurden. Zur Abdeckung der Fläche gingen

Daten von 13 Klimamessstationen des Deutschen Wetterdienstes in die Berechnung der Bodenfeuchte ein. Diese wurden in die zwei Regionen Nord und Süd unterteilt. Eine Übersicht über die Messstationen, die jeweiligen Bundesländer und die jeweilige Region gibt Tabelle 1.

Tab. 1 Verwendete Klimamessstationen mit den zugehörigen Bundesländern und Regionen.

Table 1 Used climate stations with their respective federal states and regions.

Stationskennung	Stationsname	Bundesland	Region
10261	Seehausen/Altmark	Sachsen-Anhalt	Nord
10359	Gardelegen	Sachsen-Anhalt	Nord
10253	Lüchow	Niedersachsen	Nord
10348	Braunschweig-Völkenrode	Niedersachsen	Nord
10270	Neuruppin	Brandenburg	Nord
10361	Magdeburg	Sachsen-Anhalt	Süd
NN548	Bernburg-Strenzfeld	Sachsen-Anhalt	Süd
10466	Halle-Kröllwitz	Sachsen-Anhalt	Süd
10474	Wittenberg	Sachsen-Anhalt	Süd
10444	Göttingen	Niedersachsen	Süd
10469	Flughafen Halle-Leipzig	Sachsen	Süd
10460	Artern	Thüringen	Süd
10567	Gera-Leumnitz	Thüringen	Süd

(Quelle: DWD 2017)

2.1 Böden

Sachsen-Anhalt besitzt eine große Vielfalt unterschiedlicher Böden, welche überwiegend während der Weichsel-Kaltzeit durch Verwitterungsprozesse sowie im Holozän durch Humifizierungsprozesse entstanden sind (FELDHAUS & HARTMANN 2006, OELKE 1997). Auffällig ist der große Anteil von Schwarzerden (Tschernoseme) aus Löss, welche sich vor allem im Bereich des Mitteldeutschen Trockengebietes sowie in der Magdeburger Börde befinden (BGR 2013).

Aus diesem Grund hat die Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt einen wichtigen Stellenwert. Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (ohne Forstwirtschaft) betrug 2013 mit etwa 61,5 % fast zwei Drittel der Landesfläche, (Bundesdurchschnitt: ca. 53,5 %), von welcher ein Großteil als Ackerland genutzt wird (STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 2012, 2015, INFORMATION.MEDIEN.AGRAR 2005).

Nach Böttcher (mündl. Mitt.) kann ab Bodenfeuchten < 50 % nutzbarer Feldkapazität (nFK) von einer Beregnungsbedürftigkeit gesprochen werden.

2.2 Klima

Sachsen-Anhalt befindet sich in der gemäßigten Klimazone und hat klimageographisch eine Übergangstellung zwischen dem maritim beeinflussten Westen und dem kontinental beeinflussten Osten Europas. Die Jahresdurchschnittstemperatur von Sachsen-Anhalt betrug im Zeitraum von 1981 bis 2010 etwa 9,3 °C (ALBRECHT et al. 2017). In den tiefer gelegenen Landschaftsräumen weist sie dabei im Mittel etwas höhere Werte auf als in den Hochlagen des Harzes (OELKE 1997).

Die Jahressummen der Niederschläge lagen in der Zeit von 1981 bis 2010 in Sachsen-Anhalt bei etwa 579 mm. Sie zeigen in der Verteilung deutliche Abhängigkeiten von den orographischen Gegebenheiten und können auf der Niederschlagskarte (Abb.1) eingesehen werden. Luv-Lagen weisen dabei höhere Jahresniederschlagssummen auf als Lee-Lagen. In größeren Teilen des Zentrums und des Südens von Sachsen-Anhalt betragen die Jahresniederschläge aufgrund der Lee-Wirkung des Harzes unter 500 mm. Hier befindet sich das Mitteldeutsche Trockengebiet (OELKE 1997, DÖRING et al. 2003). Damit gehören große Teile des Landes zu den trockensten Regionen Deutschlands. Der größte Teil Sachsen-Anhalts besitzt mittlere Jahresniederschläge von 500 – 550 mm. Die meisten Niederschläge fallen im Oberharz mit ca. 1000 mm pro Jahr (DÖRING et al. 2003).

3 Methodik

3.1 Das Bodenwasserhaushaltsmodell METVER

Die Daten zur Bodenfeuchte wurden durch das agrarmeteorologische Bodenwasserhaushaltsmodell METVER für den Betrachtungszeitraum von 1961 bis 2015 (Seehausen/Altmark ab 1976) generiert. Es wurde auf Grundlage der Publikationen von J. Müller und G. Müller aus den Jahren 1988 und 1989 entwickelt (HAGE 2011, KAYSER 2002). Es handelt sich dabei um ein Einschichtmodell mit Entzugs- und Nachlieferungssektor, in welches gegenwärtig 27 verschiedene Frucht- und Anbauarten sowie verschiedene Substrattypen eingebunden werden können (KAYSER 2002, LILIENTHAL & BÖTTCHER 2012). Die Auflösung beträgt 10 cm bis in eine Tiefe von zwei Metern (BACH 2011).

Als Inputwerte für METVER werden meteorologische und bodenphysikalische Daten sowie Daten der phänologischen Entwicklung der jeweiligen Kultur benötigt. Zu den meteorologischen Daten zählen die Tagesmittel der Lufttemperatur, die Tagessummen der Sonnenscheindauer und die täglichen Niederschlagshöhen (LILIENTHAL & BÖTTCHER 2012). Die bodenphysikalischen Daten beinhalten Werte zur Feldkapazität und zum permanenten Welkepunkt des jeweils vorliegenden Substratflächentyps (LILIENTHAL & BÖTTCHER 2012, MÜLLER et al. 1995). Die Daten der phänologischen Entwicklung enthalten Tageswerte für den biologisch pflanzenphysiologischen Faktor (Verhältnis zwischen potenzieller Evapotranspiration nach Turc/Wendling und optimaler Evapotranspiration als ein Maß für den Entwicklungsstand der Pflanze) sowie die dazugehörige Durchwurzelungstiefe und die Interzeptionskapazität (LILIENTHAL & BÖTTCHER 2012, LILIENTHAL 2011). Zusätzlich erfolgen für die Modellierung Angaben zur geographischen Breite, zur Anzahl der zu betrachtenden Dezimeterschichten und zur Oberflächennutzung als Kultur (LILIENTHAL 2011).

Die Outputwerte von METVER sind Tageswerte der potenziellen Evapotranspiration nach Turc/Wendling, der aktuellen Evapotranspiration, des korrigierten Niederschlages (Korrektur nach RICHTER 1995), des Sickerwassers aus der tiefsten Bodenschicht zum Grundwasser, der Bodenfeuchte, des Gesamtbodenwassergehaltes sowie der Ausschöpfungsschichtdicke. Von besonderer Bedeutung ist die Bodenfeuchte, welche in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben ist. Diese bezieht sich stets auf die Ausschöpfungsschichtdicke, die sich aus der Hauptdurchwurzelungszone (60% der nFK) und dem Nachlieferungssektor (40% der nFK) unterhalb der Wurzel zusammensetzt und somit einen Mittelwert aus der jeweiligen Tiefe darstellt (LILIENTHAL & BÖTTCHER 2012). Dadurch können Unterschiede zwischen den Kulturen aufgrund der unterschiedlichen Durchwurzelung auftreten (BÖTTCHER 2017b). Die modellierten Werte von METVER stimmen laut MÜLLER & MÜLLER (1988) gut mit gemessenen Werten an Lysimeterstandorten überein.

3.2 Mathematische und statistische Verfahren

Die von METVER für die beiden Fruchtarten modellierten Bodenfeuchtedaten wurden getrennt nach zwei Vegetationsperioden (Vegetationsperiode I: April, Mai, Juni; Vegetationsperiode II: Juli, August, September) ausgewertet. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Jahresdaten jeweils zu Dekaden zusammengefasst.

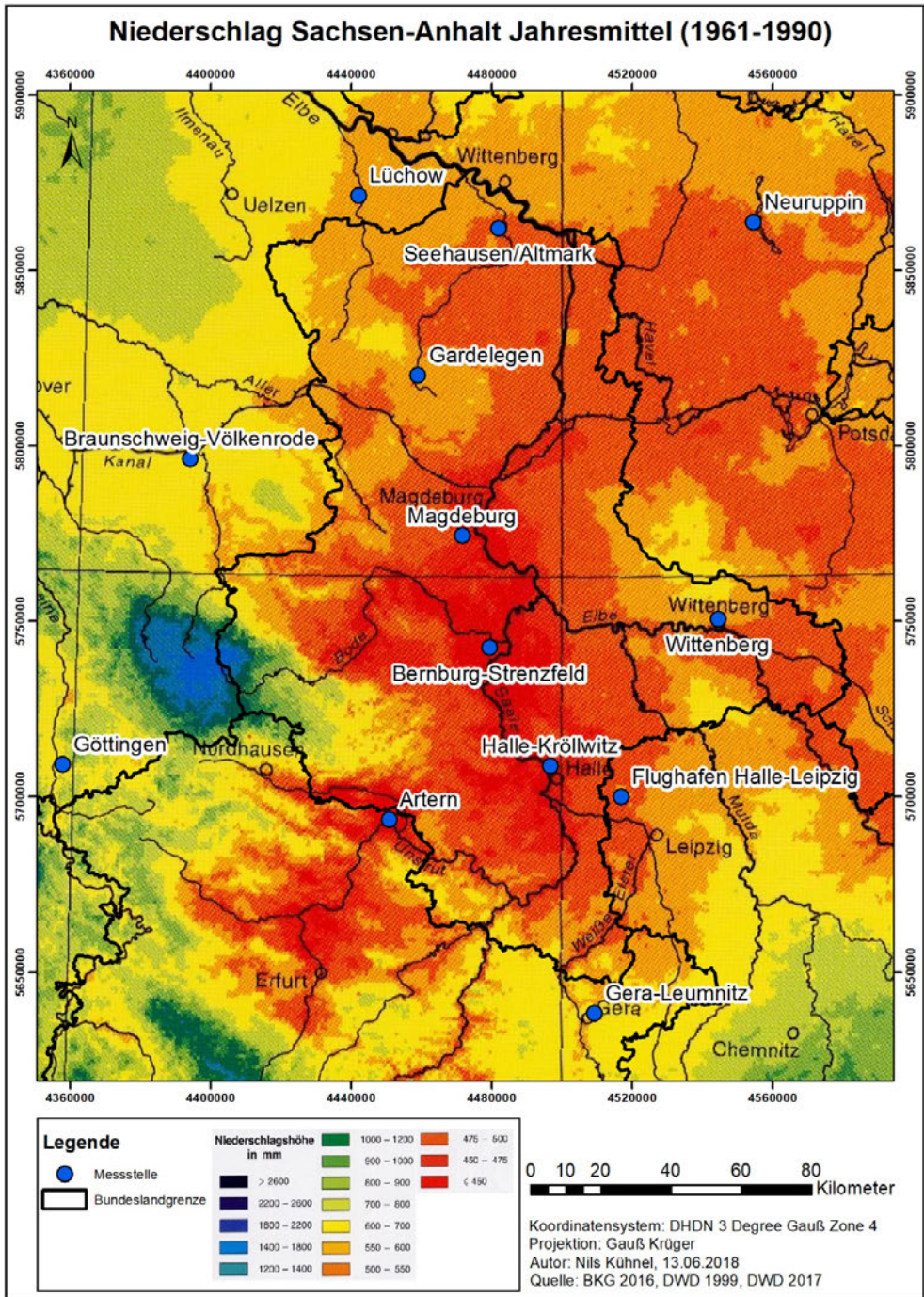


Abb. 1 Niederschlag der Jahresmittel (1961 – 1990) in Sachsen-Anhalt und die Lage der verwendeten Messstationen.

Fig. 1 Annual mean of precipitation (1961 - 1990) in Saxony-Anhalt and the location of the used climate stations.

Aus den Modellierungsdaten wurden für jede Station, jeweils für die beiden Fruchtarten und für die beiden Vegetationsperioden, drei Arten von Trockenereignissen untersucht. Dazu gehören:

- Die durchschnittliche Anzahl an Tagen mit Bodenfeuchten $< 50\%$, $< 30\%$ und $< 20\%$ nFK pro Dekade
- Die Anzahl der Jahre in einer Dekade mit einer Trockenperiode („Auftrittshäufigkeit“) von über 15 Tagen für alle drei Bodenfeuchtgrenzen
- Die durchschnittliche Länge von Trockenperioden über 15 Tage in einer Dekade für alle drei Bodenfeuchtgrenzen

Für die durchschnittliche Länge von Trockenperioden > 15 Tage gehen demnach, soweit vorhanden, nur Trockenperioden mit einer Mindestlänge von 16 Tagen in die Berechnung des arithmetischen Mittels ein. Jahre ohne eine solche Trockenperiode wurden somit nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund können die Anzahl der Tage $< 30\%$ und $< 20\%$ nFK jeweils einen höheren Wert aufweisen als die Anzahl der Tage $< 50\%$ nFK und die Anzahl der Tage $< 20\%$ nFK höhere Werte als die Anzahl der Tage $< 50\%$ und $< 30\%$ nFK.

Die Ergebnisse der Trockenereignisse wurden zur besseren Übersichtlichkeit in die drei Klassen „niedrig“, „mittelhoch“ und „hoch“ unterteilt und in Tabellenform dargestellt. Die Einteilung erfolgte nach den Grenzen:

- niedrig: 0 – 15 Tage (Anzahl an Trockentagen, Dauer von Trockenperioden), 0 – 2 Jahre (Auftrittshäufigkeit)
- mittelhoch: 16 – 30 Tage (Anzahl an Trockentagen, Dauer von Trockenperioden), 3 – 4 Jahre (Auftrittshäufigkeit)
- hoch: > 30 Tage (Anzahl an Trockentagen, Dauer von Trockenperioden), 5 – 10 Jahre (Auftrittshäufigkeit)

Des Weiteren wurden beispielhaft für die Station Gardelegen Diagramme der Trockenereignisse sowie eine Karte (mittlere Anzahl an Trockentagen) des Untersuchungsgebietes durch Interpolation (Inverse Distance Weighting) für die Zuckerrübe in der ersten Vegetationsperiode erstellt.

4 Ergebnisse

4.1 Nord-Sachsen-Anhalt

4.1.1 Winterweizen

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Fruchtart Winterweizen für Nord-Sachsen-Anhalt dargestellt. Dazu gehören die Anzahl an Trockentagen, die Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden über 15 Tagen sowie die mittlere Länge von Trockenperioden über 15 Tage, jeweils für die drei Trockengrenzen $< 50\%$, $< 30\%$ und $< 20\%$ nFK.

Es lässt sich erkennen, dass die Station Gardelegen in beiden Vegetationsperioden sowie die übrigen Stationen (insbesondere Neuruppin) vor allem in der zweiten Vegetationsperiode häufig mittelhohe oder hohe Werte besitzen. Besonders niedrige Werte sind in der ersten Vegetationsperiode für die Stationen Seehausen/Altmark, Lüchow und Braunschweig-Völkenrode vorhanden. Ein Vorkommen einer hohen Anzahl an Trockentage zeigt nicht immer auch eine hohe Auftrittshäufigkeit.

4.1.2 Zuckerrübe

Für die Zuckerrübe sollen hier die Ergebnisse für Gardelegen in der ersten Vegetationsperiode als Beispielstation dargestellt werden. Die Anzahl an Trockentagen zeigt für Bodenfeuchten $< 50\%$ nFK hohe Werte (Abb. 2). Es sind dabei vier Dekaden vorhanden, in welchen die Anzahl an Trockentagen $< 50\%$ nFK

Tab. 2 Ergebnisse der Trockenereignisse in Nord-Sachsen-Anhalt für Winterweizen in der ersten und zweiten Vegetationsperiode von 1961 bis 2015 (Seehausen/Altmark ab 1976).

Table 2 Results of drought events in North Saxony-Anhalt of winter wheat in the first and second growing season from 1961 to 2015 (Seehausen/Altmark from 1976).

Station	VP	Anzahl der Trockentage			Auftrittshäufigkeit > 15 Tage			Länge der Trockenperioden > 15 Tage		
		< 50 % nFK	< 30 % nFK	< 20 % nFK	< 50 % nFK	< 30 % nFK	< 20 % nFK	< 50 % nFK	< 30 % nFK	< 20 % nFK
Seehausen	1	+	+	+	+	+	+	+/ +++	+	+
Seehausen	2	++/ +++	+/ ++	+	++/ +++	+/ +++	+	+++	++/ +++	++
Gardelegen	1	++/ +++	+/ ++	+	++/ +++	+/ ++	+/ ++	++/ +++	+/ +++	+/ +++
Gardelegen	2	+++	++/ +++	+/ +++	+++	+/ +++	+/ +++	+++	+++	++/ +++
Lüchow	1	+/ ++	+	+	+	+	+	+/ +++	+	+
Lüchow	2	++/ +++	+/ ++	+	+/ +++	+/ +++	+	++/ +++	+/ +++	+/ +++
Braunsch.	1	+/ ++	+	+	+	+	+	+/ +++	+	+
Braunsch.	2	++/ +++	+/ ++	+	++/ +++	+/ ++	+	+++	++/ +++	+/ +++
Neuruppin	1	++	+	+	+/ ++	+	+	++/ +++	+	+
Neuruppin	2	+++	+/ +++	+/ +++	+++	++/ +++	+/ +++	+++	++/ +++	+/ +++

(Datengrundlage: DWD 2016)

Anmerkung: VP: Vegetationsperiode, +: niedrig, ++: mittelhoch, +++: hoch, z.: zunehmend, a.: abnehmend, /: von bis

mindestens die Hälfte der Vegetationsperiodenlänge ausmacht. Die Feuchtegrenzen < 30 % und < 20 % nFK weisen stets Werte darunter auf, liegen allerdings für Bodenfeuchten < 30 % nFK von 1971 bis 2015 im mittleren bis hohen Bereich.

Trockenperioden < 50 % nFK zeigen für Längen > 15 Tage hohe (7 von 10 bis 9 von 10 Jahren) Auftretshäufigkeiten (Abb. 3). Somit kommen diese Ereignisse in jeder Dekade in mehr als jedem zweiten Jahr vor. Ein Auftreten von Trockenphasen < 30 % bzw. < 20 % nFK ist meist mit einer mittellangen bis hohen bzw. mittellangen Häufigkeit vorhanden. Bodenfeuchten < 30 % nFK mit mehr als 15 Tagen kommen von 1991 bis 2015 mindestens in jedem zweiten Jahr vor.

Trockenperioden über 15 Tage (Abb. 4) weisen in den Dekaden von 1981 bis 1990 und 2011 bis 2015 mit Werten von mehr als 40 Tagen eher große Längen aller drei Trockengrenzen auf. Für die Auftretshäufigkeit von Trockenphasen < 50 % nFK sind dabei ebenfalls hohe Werte in diesen Dekaden vorhanden (9 von 10 bzw. 8 von 10 Jahren). Feuchtwerte < 30 % nFK bzw. < 20 % nFK traten im Zeitraum von 2011 bis 2015 häufiger (6 von 10 bzw. 4 von 10 Jahren), von 1981-1990 jedoch seltener (jeweils 3 von 10 Jahren) auf. Überdies gibt es im Gegensatz dazu auch Dekaden mit einer hohen Auftretshäufigkeit und einer geringeren Dauer.

Es kann demnach erkannt werden, dass eine hohe gemittelte Trockenperiodenlänge keine hohe Auftretshäufigkeit haben muss. Umgekehrt kann eine große Anzahl von Trockenphasen im Durchschnitt auch kürzere Zeiträume betragen.

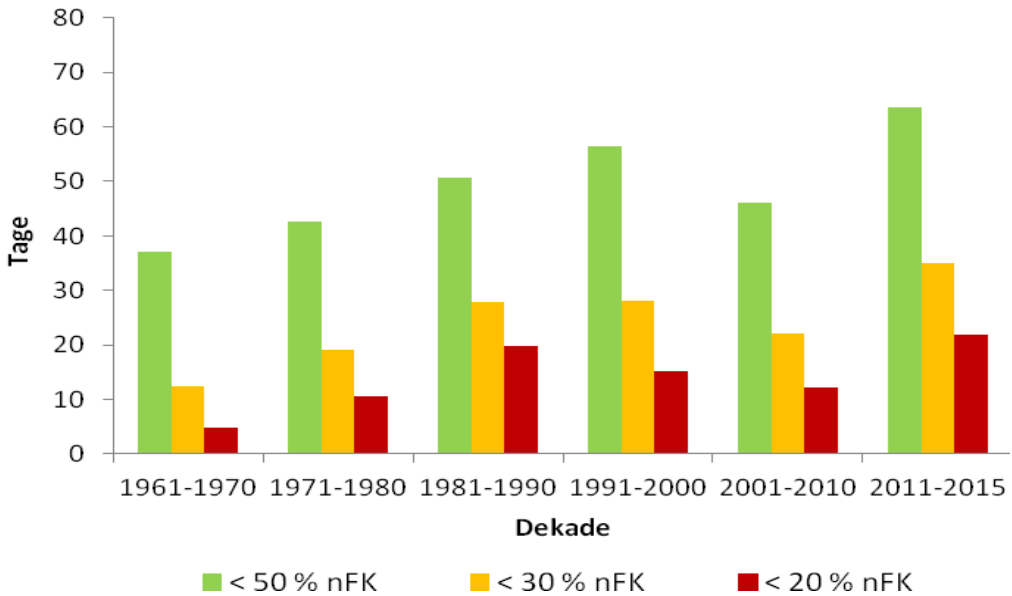


Abb. 2 Anzahl der Trockentage je Dekade in Gardelegen für Zuckerrübe in der 1. Vegetationsperiode (Datengrundlage: DWD 2016).

Fig. 2 Number of days with drought per decade in Gardelegen for sugar beet in the 1st growing season (Data base: DWD 2016).

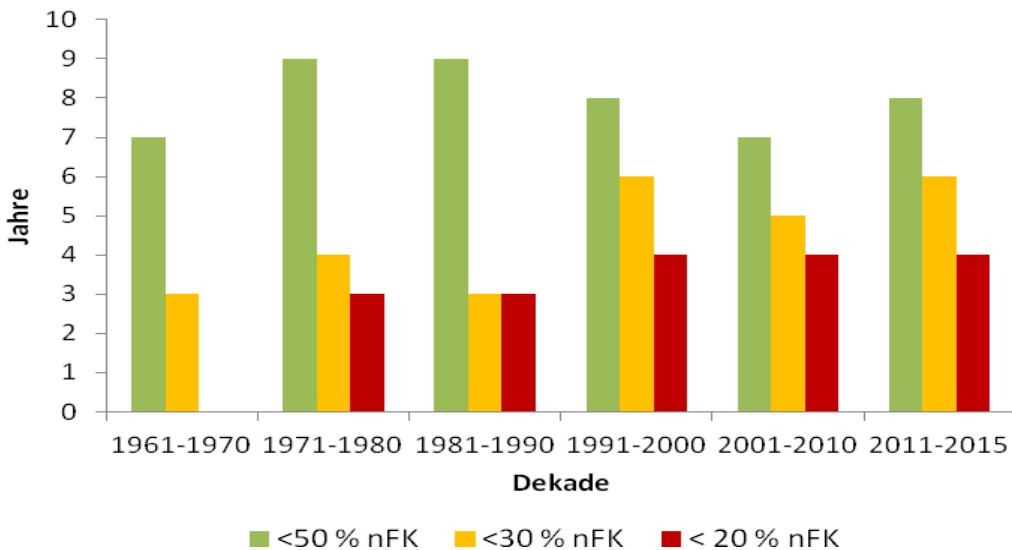


Abb. 3 Auftrittshäufigkeit der Trockenperioden > 15 Tage je Dekade in Gardelegen für Zuckerrübe in der 1. Vegetationsperiode (2011-2015: hochgerechnet auf 10 Jahre) (Datengrundlage: DWD 2016).

Fig. 3 Frequency of occurrence of dry periods > 15 days per decade in Gardelegen for sugar beet in the 1st growing season (2011-2015: forecast to 10 years) (Data base: DWD 2016).



Abb. 4 Mittlere Länge der Trockenperioden > 15 Tage je Dekade in Gardelegen für Zuckerrübe in der 1. Vegetationsperiode (Datengrundlage: DWD 2016).

Fig. 4 Mean length of dry periods > 15 days per decade in Gardelegen for sugar beet in the 1st growing season (Data base: DWD 2016).

Neben Gardelegen sind auch bei der Station Neuruppin in beiden Vegetationsperioden häufig mittelhohe oder hohe Werte vorhanden sind (Tab. 3). Für die übrigen Stationen, bis auf Seehausen/Altmark und Lüchow, treten höhere Werte vor allem in der ersten Vegetationsperiode auf.

Werden die Ergebnisse der beiden Fruchtarten miteinander verglichen, so kann erkannt werden, dass bei Winterweizen meist höhere Werte in der zweiten und bei Zuckerrübe meist höhere Werte in der ersten Vegetationsperiode auftreten. Hierbei ist allerdings zu erwähnen, dass die zweite Vegetationsperiode für den Winterweizen aufgrund der Erntezeit (meist im August) für die Beregnungsbedürftigkeit kaum von Bedeutung ist (DIEPENBROCK et al. 2005). Die Unterschiede zwischen den Vegetationsperioden sind für den Winterweizen oft größer als für die Zuckerrübe, da die Maximalwerte überwiegend höher und die Minimalwerte überwiegend niedriger sind als bei der Zuckerrübe. Die Dekade von 1991 bis 2000 besitzt bei beiden Fruchtarten vermehrt die Maximalwerte der jeweiligen Verteilung. Dies ist allerdings bei der Zuckerrübe schwächer ausgeprägt als bei Winterweizen. Des Weiteren zeigen vor allem die Stationen Gardelegen und zum Teil Neuruppin für beide Fruchtarten eine hohe Anzahl an Trockentagen bzw. eine hohe Häufigkeit von Trockenperioden.

4.2 Süd-Sachsen-Anhalt

4.2.1 Winterweizen

Für Winterweizen können die Ergebnisse Tabelle 4 entnommen werden. Es zeigt sich, dass für Süd-Sachsen-Anhalt die Stationen Magdeburg, Halle-Kröllwitz, Artern, teilweise auch Bernburg-Strenzfeld und Wittenberg in der ersten Vegetationsperiode sowie alle Stationen in der zweiten Vegetationsperiode häufig mittelhohe oder hohe Werte für Winterweizen aufweisen. Eher niedrige Werte finden sich bei den Stationen Göttingen, Flughafen Halle-Leipzig und Gera-Leumnitz. Auch hier hat nicht jede hohe Trockenperiodenlänge auch eine hohe Auftrittshäufigkeit.

Tab. 3 Ergebnisse der Trockenereignisse in Nord-Sachsen-Anhalt für Zuckerrübe in der ersten und zweiten Vegetationsperiode von 1961 bis 2015 (Seehausen/Altmark ab 1976).

Table 3 Results of drought events in north Saxony-Anhalt of sugar beet in the first and second growing season from 1961 to 2015 (Seehausen/Altmark from 1976).

Station	VP	Anzahl der Trockentage			Auftrittshäufigkeit >15 Tage			Länge der Trockenperioden >15 Tage		
		<50% nFK	<30% nFK	<20% nFK	<50% nFK	<30% nFK	<20% nFK	<50% nFK	<30% nFK	<20% nFK
Seehausen	1	++/ +++	+ +	+ +	+/ +++	+ +	+ +	+++ +++	+/ ++	+ +
Seehausen	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ ++	+ +	+ +	++/ +++	+ +	+ +
Gardelegen	1	+++ +++	+/ +++	+/ ++	+++ +++	++/ +++	+/ ++	++/ +++	++/ +++	+/ +++
Gardelegen	2	+/ +++	+/ ++	+ +	+/ +++	+/ ++	+ +	+++ +++	+/ +++	+/ ++
Lüchow	1	+/ ++	+ +	+ +	++/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ +++	+ +
Lüchow	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ ++	+ +	+ +	++/ +++	+ +	+ +
Braunsch.	1	+/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ +++	+ +
Braunsch.	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ +++	+ +
Neuruppin	1	++/ +++	+ +	+ +	+++ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	++/ +++	+/ ++
Neuruppin	2	+/ +++	+/ ++	+ +	+/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ +++	+/ +++

(Datengrundlage: DWD 2016)

Anmerkung: VP: Vegetationsperiode, +: niedrig, ++: mittelhoch, +++: hoch, z.: zunehmend, a.: abnehmend, /: von bis

4.2.2 Zuckerrübe

Für die Zuckerrübe sind die Werte in der ersten Vegetationsperiode für alle Stationen, bis auf die Stationen Flughafen Halle-Leipzig und Gera-Leumnitz, meist mittelhoch oder hoch. In der zweiten Vegetationsperiode sind vor allem die Stationen Magdeburg, Halle-Kröllwitz, Wittenberg und Artern die Stationen mit einer Häufung einer mittelhohen und hohen Trockentagesanzahl bzw. Auftrittshäufigkeit (Tab. 5). Besonders niedrig sind die Werte für die Station Gera-Leumnitz.

Auch hier fällt auf, dass eine hohe Anzahl von Tagen nicht unbedingt auch eine hohe Auftrittshäufigkeit besitzen muss. Allerdings sind in der ersten Vegetationsperiode mit den Ausnahmen von Göttingen und Flughafen Halle-Leipzig vor allem im Zeitabschnitt von 2011 bis 2015 eine große Anzahl an Trockentagen und ein höheres Auftreten erkennbar. Die in Nord-Sachsen-Anhalt beobachteten Unterschiede zwischen den beiden Fruchtarten sind für Süd-Sachsen-Anhalt ähnlich. Es sticht hier jedoch keine Dekade mit einem vermehrten Auftreten von Maxima hervor.

Vergleichend zeigen sich für das gesamte Untersuchungsgebiet bei Winterweizen meist höhere Werte in der zweiten Vegetationsperiode, wohingegen bei der Zuckerrübe häufig die erste Vegetationsperiode (bis auf die mittlere Länge der Trockenperioden > 15 Tage) einen größeren Wertebereich besitzt. Jedoch ist, wie oben erwähnt, zu beachten, dass die zweite Vegetationsperiode für den Winterweizen für eine Berechnung wenig bedeutsam ist. Zusätzlich sind die Unterschiede zwischen den Vegetationsperioden für

Tab. 4 Ergebnisse der Trockenereignisse in Süd-Sachsen-Anhalt für Winterweizen in der ersten und zweiten Vegetationsperiode von 1961 bis 2015.

Table 4 Results of drought events in south Saxony-Anhalt of winter wheat in the first and second growing season from 1961 to 2015.

Station	VP	Anzahl der Trockentage			Auftrittshäufigkeit > 15 Tage			Länge der Trockenperioden > 15 Tage		
		<50 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<50 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<50 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK
Magdeburg	1	++/ +++	+ 	+ 	+/ +++	+ 	+ 	++/ +++	+/ ++	+/ ++
Magdeburg	2	+++ 	++/ +++	+/ +++	+++ 	++/ +++	+/ +++	+++ 	+++ 	++/ +++
Bernburg	1	+/ +++	+/ ++	+ 	+/ +++	+/ ++	+ 	+/ +++	+/ +++	+
Bernburg	2	++/ +++	+ 	+ 	++/ +++	+/ ++	+ 	++/ +++	+/ +++	+/ +++
Halle	1	+/ +++	+ 	+ 	+/ +++	+ 	+ 	++/ +++	+/ +++	+/ ++
Halle	2	+++ 	+/ +++	+/ ++	+++ 	+/ +++	+/ ++	++/ +++	+/ +++	
Wittenberg	1	+/ ++	+/ ++	+ 	+/ ++	+ 	+ 	+/ +++	+/ ++	+
Wittenberg	2	+++ 	+/ +++	+/ ++	+++ 	+/ +++	+/ ++	+++ 	++/ +++	++/ +++
Göttingen	1	+/ ++	+ 	+ 	+/ ++	+ 	+ 	+/ +++	+ 	+
Göttingen	2	++/ +++	+/ ++	+/ ++	++/ +++	+/ ++	+/ ++	+++ 	++/ +++	+/ +++
Flughafen	1	+/ ++	+ 	+ 	+ 	+ 	+ 	+/ +++	+ 	+
Flughafen	2	+++ 	+/ ++	+ 	+++ 	+/ ++	+/ ++	+++ 	++/ +++	++/ +++
Artern	1	++/ +++	+ 	+ 	+/ +++	+ 	+ 	++/ +++	+/ +++	+/ ++
Artern	2	+++ 	++/ +++	+/ ++	+++ 	+/ +++	+/ +++	+++ 	++/ +++	+/ +++
Gera	1	+ 	+ 	+ 	+ 	+ 	+ 	+/ +++	+ 	+
Gera	2	++/ +++	+/ ++	+ 	++/ +++	+/ ++	+ 	+++ 	+/ +++	+/ +++

(Datengrundlage: DWD 2016)

Anmerkung: VP: Vegetationsperiode, +: niedrig, ++: mittelhoch, +++: hoch,

z.: zunehmend, a.: abnehmend, /: von bis

den Winterweizen oft größer als für die Zuckerrübe, da die Maximalwerte überwiegend höher und die Minimalwerte überwiegend niedriger sind als bei der Zuckerrübe.

4.3 Zusammenfassende Betrachtung des Untersuchungsgebietes

Tabelle 6 können vorhandene Tendenzen der einzelnen Stationen nach Region, Fruchtart und Vegetationsperiode entnommen werden. Diese beziehen sich auf den Untersuchungszeitraum für die Anzahl an

Tab. 5 Ergebnisse der Trockenereignisse in Süd-Sachsen-Anhalt für Zuckerrübe in der ersten und zweiten Vegetationsperiode von 1961 bis 2015.

Table 5 Results of drought events in South Saxony-Anhalt of sugar beet in the first and second growing season from 1961 to 2015.

Station	VP	Anzahl der Trockentage			Auftrittshäufigkeit > 15 Tage			Länge der Trockenperioden > 15 Tage		
		<50% nFK	<30% nFK	<20% nFK	<50% nFK	<30% nFK	<20% nFK	<50% nFK	<30% nFK	<20% nFK
Magdeburg	1	++/ +++	+/ ++	+ +	+++	+/ +++	+/ ++	++/ +++	++/ +++	+/ ++
Magdeburg	2	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +	+++	++/ +++	+ +
Bernburg	1	+/ +++	+ +	+ +	+/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +
Bernburg	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ ++	+ +	+ +	+/ +++	+/ +++	+ +
Halle	1	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ +++	+/ ++
Halle	2	+/ +++	+ +	+ +	+/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ +++	+/ +++
Wittenberg	1	++/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ +++	+/ ++
Wittenberg	2	+ +++	+ +	+ +	+ +++	+ +	+ +	+++	+ +++	+ +++
Göttingen	1	++/ +++	+ +	+ +	+/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	++ +	+/ ++
Göttingen	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +
Flughafen	1	+/ ++	+ +	+ +	+/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +
Flughafen	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ +++	+ +	+ +	++/ +++	+/ +++	+ +
Artern	1	+++	+/ ++	+ +	+++	+/ ++	+/ ++	+++	++/ +++	+/ ++
Artern	2	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +	++/ +++	+/ +++	+/ +++
Gera	1	+/ +++	+ +	+ +	+/ +++	+ +	+ +	+/ ++	+ +	+ +
Gera	2	+/ ++	+ +	+ +	+/ ++	+ +	+ +	++/ +++	+/ ++	+ +

(Datengrundlage: DWD 2016)

Anmerkung: VP: Vegetationsperiode, +: niedrig, ++: mittelhoch, +++: hoch, z.: zunehmend, a.: abnehmend, /: von bis

Trockentagen, die Auftrittshäufigkeit bzw. die mittlere Länge von Trockenperioden > 15 Tage für die drei Trockengrenzen und wurden in zunehmende und abnehmende Tendenzen unterteilt. Überdies wurden mehrfach vorhandene Tendenzen für eine Station bei gleicher Fruchtart und Vegetationsperiode durch Ziffern kenntlich gemacht.

Tab. 6 Tendenzen der Trockenergebnisse für Winterweizen und Zuckerrübe nach Region, Station, Fruchtart und Vegetationsperiode von 1961 bis 2015 (Seehausen/Altmark ab 1976).

Table 6 Tendencies of drought events of winter wheat and sugar beet by region, station, crop and growing season from 1961 to 2015 (Seehausen/Altmark from 1976).

Region	Station	Fruchtart	Tendenz	
			VP 1	VP 2
Nord	Seehausen/Altmark	WW	z.	-
Nord	Seehausen/Altmark	ZR	z.	a.
Nord	Gardelegen	WW	z. (2x)	z.
Nord	Gardelegen	ZR	z. (3x)	-
Nord	Lüchow	WW	z.	a.
Nord	Lüchow	ZR	z. (3x)	-
Nord	Braunschweig-Völkenrode	WW	z.	z. (2x)
Nord	Braunschweig-Völkenrode	ZR	z. (2x)	-
Nord	Neuruppin	WW	z.	a.
Nord	Neuruppin	ZR	z. (2x)	-
Süd	Magdeburg	WW	z. (3x)	-
Süd	Magdeburg	ZR	z. (3x)	-
Süd	Bernburg-Strenzfeld	WW	z.	a.
Süd	Bernburg-Strenzfeld	ZR	z. (3x)	a.
Süd	Halle-Kröllwitz	WW	-	a. (2x)
Süd	Halle-Kröllwitz	ZR	z. (3x)	a. (2x)
Süd	Wittenberg	WW	z.	a.
Süd	Wittenberg	ZR	z. (3x)	a.
Süd	Göttingen	WW	z. (2x)	-
Süd	Göttingen	ZR	z. (3x)	-
Süd	Flughafen Halle-Leipzig	WW	z.	a.
Süd	Flughafen Halle-Leipzig	ZR	z. (2x)	a.
Süd	Artern	WW	z./a.	a. (2x)
Süd	Artern	ZR	z. (3x)	a. (2x)
Süd	Gera-Leumnitz	WW	z.	-
Süd	Gera-Leumnitz	ZR	z.	a. (2x)

(Datengrundlage: DWD 2016)

Anmerkung: WW: Winterweizen, ZR: Zuckerrübe, VP: Vegetationsperiode, z.: zunehmend, a.: abnehmend

Werden die Tendenzen von allen untersuchten Stationen betrachtet, so lässt sich erkennen, dass sich in 50 (von 156 insgesamt) Einzelfällen (ca. 32%) eine Zunahme der Anzahl an Trockentagen, der Auftrittshäufigkeit oder der Länge der Trockenperioden zeigt, wohingegen 19mal (ca. 12%) eine abnehmende Tendenz vorhanden ist. In einem Fall (ca. 1%) existiert sowohl eine zunehmende als

auch eine abnehmende Tendenz für die Anzahl an Trockentagen bei gleicher Station, Fruchtart und Vegetationsperiode. Damit sind mehr Zunahmen vorhanden als Abnahmen (Tab. 7).

Tab. 7 Anteil zunehmender Tendenzen der Trockenereignisse für Winterweizen und Zuckerrübe nach Fruchtart und Vegetationsperiode von 1961 bis 2015.

Table 7 Percentage of increasing tendencies of drought events for winter wheat and sugar beet per crop and growing season from 1961 to 2015.

Vegetationsperiode/Fruchtart	WW	ZR	\bar{x} Vegetationsperiode
VP I	38 %	90 %	64 %
VP II	8 %	0 %	4 %
\bar{x} Fruchtart	23 %	45 %	

(Datengrundlage: DWD 2016)

Anmerkung: WW: Winterweizen, ZR: Zuckerrübe, VP: Vegetationsperiode, \bar{x} : arithmetisches Mittel

Da für jede Station jeweils drei Trockenereignisse (Anzahl, Häufigkeit, Dauer) untersucht wurden, ergeben sich für alle 13 Stationen 39 Trockenereignisse pro Fruchtart und Vegetationsperiode. Es ergibt sich für die zunehmenden Tendenzen bei Winterweizen in der ersten Vegetationsperiode:

$$\frac{15 \cdot 100\%}{39} = 38,46\% \quad (1)$$

Somit haben die 15 zunehmenden Tendenzen für Winterweizen in der ersten Vegetationsperiode (Tab. 6) einen Anteil von ca. 38 % an allen Trockenereignissen aller Stationen für Winterweizen in der ersten Vegetationsperiode. Analog dazu ergeben sich die weiteren Anteile in Tabelle 7.

Überdies können anhand der interpolierten Karte (Abb. 5), die beispielhaft für die Zuckerrübe in der ersten Vegetationsperiode für Bodenfeuchten < 50 % nFK erstellt wurde, die verschiedenen Regionen des Untersuchungsgebietes miteinander verglichen werden. In der Zeit von 1961 bis 2010 ist dabei überwiegend eine niedrige Anzahl an Trockentagen vorhanden. Ausnahmen bilden die Stationen Gardelegen (1961-2010), Artern (1961-2010), Neuruppin (1971-2010), Magdeburg (1971-1980, 1991-2010) und Halle-Kröllwitz (1991-2000) mit mittleren Werten. In der Zeit von 2010 bis 2015 ist überwiegend eine mittlere Anzahl an Tagen vorhanden. Hier besitzen die Stationen Lüchow, Flughafen Halle-Leipzig und Gera-Leumnitz niedrigere und die Station Gardelegen und Magdeburg höhere Werte an Trockentagen. Es kann zusätzlich eine leichte Zunahme der Trockentage über den Betrachtungszeitraum erkannt werden.

5 Diskussion

Bei den vorgestellten Ergebnissen sind zunächst die beschriebenen Unterschiede zwischen Winterweizen und Zuckerrübe auffällig, die mit dem unterschiedlichen Wasserbedarf während der Vegetationszeit der beiden Fruchtarten erklärt werden können. Der Winterweizen benötigt vor allem in der ersten Vegetationsperiode bedeutende Mengen an Wasser, kann aber zu der Zeit durch seine bereits hohe Durchwurzelungstiefe eine mächtigere Ausschöpfungsschichtdicke nutzen als die Zuckerrübe. Durch den hohen Wasserentzug in der ersten Vegetationsperiode reicht deshalb in der zweiten Vegetationsperiode die Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers durch spätsommerliche und frühherbstliche Niederschläge nicht aus. Daher treten vor allem in der zweiten Vegetationsperiode häufig Trockenereignisse bei Winterweizen auf. Im Gegensatz dazu beansprucht die Zuckerrübe zum Ende der ersten Vegetationsperiode in der zunehmend

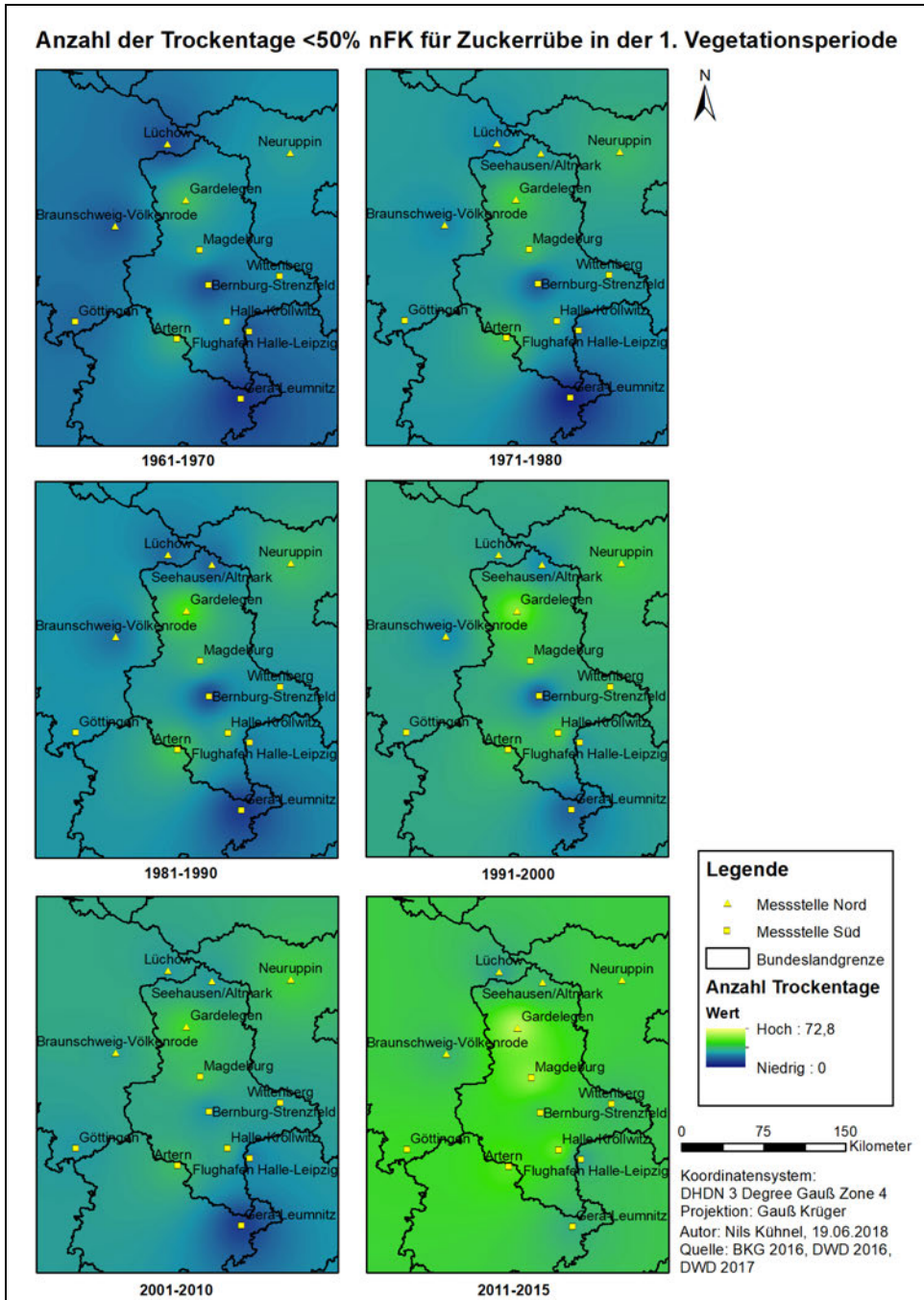


Abb. 5 Anzahl der Trockentage < 50 % nFK je Dekade im Untersuchungsgebiet für Zuckerrübe in der I. Vegetationsperiode.

Fig. 5 Number of days with drought < 50% effective field capacity per decade in the studied area for sugar beet in the first growing season.

trockeneren Zeit des Juni viel Wasser des Bodens aus einer geringeren Ausschöpfungsschichtdicke. In der zweiten Vegetationsperiode kann sie jedoch ihren Wasserbedarf überwiegend durch die spätsommerlichen und früh-herbstlichen Niederschläge decken, weshalb in den Jahren mit erhöhten Niederschlagsmengen in der zweiten Vegetationsperiode keine stärkere Wasserzehrung durch die Zuckerrübe erkennbar ist. Somit kommen bei der Zuckerrübe die Maxima der Trockenwerte eher in der ersten Vegetationsperiode vor (Böttcher, mündl. Mitt.).

Für die Stationen des nördlichen Untersuchungsgebietes zeigt vor allem die Station Gardelegen eine hohe Anzahl an Trockentagen bzw. eine hohe Häufigkeit und Länge von Trockenperioden. Die Begründung liegt in den für Gardelegen niedrigen Werten der nFK von 9,4 Vol.-% und den eher niedrigen Niederschlägen von 563 mm (1961-1990) (MÜLLER et al. 1995, DWD 2015, ZIMMER 2004).

Im südlichen Untersuchungsgebiet gehört beispielsweise die Station Halle-Kröllwitz zu den trockeneren Orten. Diese besitzt mit 15,0 Vol.-% mittlere nFK-Werte (MÜLLER et al. 1995, ZIMMER 2004). Die Jahresniederschläge von Halle-Kröllwitz (451 mm) liegen unter 500 mm (1961-1990) und sind somit sehr niedrig, weshalb es hier häufiger und länger zu Trockenereignissen kommt (DWD 2015).

Da eine Berechnungsbedürftigkeit ab Bodenfeuchten < 50 % nFK vorliegt, können alle Gebiete und Dekaden mit mehreren Tagen und einer gewissen Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden unter diesem Grenzwert als berechnungsbedürftig angesehen werden. Daher wurden in dieser Arbeit folgende Bedingungen für eine Berechnungsbedürftigkeit festgelegt:

- Für Bodenfeuchten < 50 % nFK müssen im Durchschnitt mehr als 15 Trockentage vorhanden sein oder
- Eine Häufigkeit von Trockenperioden < 50 % nFK und > 15 Tage muss ein Auftreten von mindestens 3 von 10 Jahren besitzen

Zusätzlich wurde untersucht, ob diese Werte in mindestens 3 Dekaden vorkamen. Diese Grenzen wurden verwendet, da es sich hierbei um eine größere Anzahl an Trockentagen bzw. eine längere Dauer handelt. Diese sind für die Fruchtarten problematischer als wenige Trockentage bzw. eine kurze Länge von Trockenperioden (HERRMANN 2010). Bei erhöhten bzw. niedrigen Werten in der letzten Dekade wurde ebenfalls von einer gegenwärtigen Berechnungsbedürftigkeit bzw. keiner gegenwärtigen Berechnungsbedürftigkeit ausgegangen.

Tabelle 8 kann die Berechnungsbedürftigkeit der jeweiligen Orte nach Fruchtart und Vegetationsperiode entnommen werden. Da, wie oben erwähnt, bei Winterweizen die zweite Vegetationsperiode für die Berechnung kaum relevant ist, kann diese hier vernachlässigt werden und ist nicht in der Tabelle dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass für die Zuckerrübe in der ersten Vegetationsperiode alle Orte berechnungsbedürftig sind. Eine Berechnungsbedürftigkeit von nur einigen Orten weisen Winterweizen in der ersten (mehr als die Hälfte der Orte) und Zuckerrübe in der zweiten Vegetationsperiode (weniger als die Hälfte der Orte) auf. Für die Stationen Seehausen/Altmark, Lüchow und Gera-Leumnitz existiert für Winterweizen in der ersten Vegetationsperiode eine zunehmende Tendenz, sodass eine Bewässerung in Zukunft möglicherweise erforderlich wird. Die Verteilung ist dabei für das nördliche und das südliche Untersuchungsgebiet ähnlich.

Aus den Ergebnissen kann erkannt werden, dass die zunehmenden im Vergleich mit den abnehmenden Tendenzen dominieren. Dabei liegen die meisten zunehmenden Tendenzen für die Fruchtart Zuckerrübe und in der ersten Vegetationsperiode (ca. 90 %) vor (siehe dazu auch Tab. 7). Der Anteil der abnehmenden Tendenzen ist dagegen in der zweiten Vegetationsperiode im Vergleich zu den Zunahmen etwas größer und besitzt bei beiden Fruchtarten eine ähnliche Größenordnung. Allerdings zeigen sich in etwas mehr als der Hälfte der Einzelfälle keine Tendenzen.

Die Tendenzen im Untersuchungszeitraum können mit klimatischen Veränderungen begründet werden, da die übrigen Parameter wie bodenphysikalische und phänologische Daten bei den Modellierungen mit METVER konstant blieben. Es kann von einer Temperaturerhöhung an den Stationen im Untersuchungsgebiet ausgegangen werden (BERNHOFER et al. 2008, SPEKAT et al. 2016, WECHSUNG et al. 2008). Diese betrifft alle Stationen und jede Jahreszeit, wenn auch in unterschiedlichem Umfang. Durch die

Tab. 8 Beregnungsbedürftigkeit der untersuchten Stationen für Winterweizen und Zuckerrübe.

Table 8 The need of irrigation of the investigated stations for winter wheat and sugar beet.

Region	Station	Winterweizen	Zuckerrübe	
		VPI	VPI	VP II
Nord	Seehausen/Altmark	nein	ja	nein
Nord	Gardelegen	ja	ja	ja
Nord	Lüchow	nein	ja	nein
Nord	Braunschweig-Völkenrode	ja	ja	ja
Nord	Neuruppin	ja	ja	nein
Süd	Magdeburg	ja	ja	ja
Süd	Bernburg-Strenzfeld	ja	ja	nein
Süd	Halle-Kröllwitz	ja	ja	nein
Süd	Wittenberg	ja	ja	nein
Süd	Göttingen	ja	ja	nein
Süd	Flughafen Halle-Leipzig	ja	ja	ja
Süd	Artern	ja	ja	ja
Süd	Gera-Leumnitz	nein	ja	nein

Anmerkung: VP: Vegetationsperiode

Temperaturerhöhung kommt es zu einer höheren Verdunstung, woraus geringere Bodenfeuchten und damit höhere Trockenheit resultieren. Die Sonnenscheindauer nahm nach Untersuchungen von SPEKAT et al. (2016) in Sachsen-Anhalt in den meisten Regionen leicht zu (statistisch signifikant nicht gesichert). Auch dies führt zu einer erhöhten Verdunstung und zu potenziell höherer Trockenheit. Für den Niederschlag sind die Ergebnisse der Studie uneinheitlicher. Jedoch lassen sich für die erste Vegetationsperiode meist Rückgänge der Niederschläge und an einigen Orten Anzeichen von Frühjahrstrockenheit sowie in der zweiten Vegetationsperiode häufig Zunahmen oder gleichbleibende Niederschlagsmengen vorfinden (ebd.). Mit diesen drei Klimagrößen können die zunehmenden Tendenzen der Trockenheit begründet werden. Da Zunahmen vor allem in der ersten Vegetationsperiode auftreten, stimmt dies mit den Ergebnissen der häufigen Niederschlagsrückgänge in diesem Zeitraum überein, auch wenn es insgesamt in weniger als der Hälfte der Fälle zu einer Zunahme kam.

Die Einzelfälle ohne und mit abnehmenden Tendenzen der Trockenheit können vermutlich mit einer Abnahme der Sonnenscheindauer und/oder einer Zunahme der Niederschläge erklärt werden. Da die Temperaturerhöhung im ganzen Untersuchungsgebiet auftrat und damit zu einer zunehmenden Trockenheit führt, müssen Änderungen bei den beiden anderen Klimagrößen stattgefunden haben. Aufgrund der Uneinheitlichkeit der Niederschlagsentwicklung im Gegensatz zur Temperatur, sind hier Niederschlagszunahmen bei den entsprechenden Orten bzw. in der entsprechenden Vegetationsperiode anzunehmen.

Vergleiche der Ergebnisse mit anderen Studien zeigen häufig ähnliche Entwicklungen. Die Klimaanalyse Sachsen-Anhalt (SPEKAT et al. 2016) stimmt bei ihrer Bodenfeuchteuntersuchung (ebenfalls durch das Modell METVER modelliert) in der ersten Vegetationsperiode in sechs von sechs Stationen und in der zweiten Vegetationsperiode in zwei von sechs Stationen mit den hier vorgestellten Ergebnissen in Bezug auf das Vorhandensein von zunehmenden und abnehmenden Tendenzen überein (ebd.).

Die Unterschiede können damit erklärt werden, dass zum einen die Untersuchungszeiträume geringfügig verschieden waren (Klimaanalyse: 1951 bis 2014, diese Arbeit: 1961 bis 2015). Außerdem war die

modellierte „Fruchtart“ der Untersuchungen von SPEKAT et al. (2016) Gras, während es sich hier um Winterweizen und Zuckerrübe handelt. Des Weiteren fanden in der Studie allgemeine Betrachtungen der Entwicklung der Bodenfeuchte statt und nicht wie in der vorliegenden Arbeit die Untersuchung anhand konkreter Trockengrenzen (ebd.).

Andere klimatische Parameter der Studie weisen ähnliche Entwicklungen auf, welche sich an die gewonnenen Ergebnisse für die Zuckerrübe in der ersten Vegetationsperiode anpassen. Dazu gehören die Zunahme der Globalstrahlung sowie die Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode an den meisten Stationen (SPEKAT et al. 2016, KOŁODZIEJ & FRÜHAUF 2008). Dies gilt nicht für die klimatische Wasserbilanz, die keine einheitliche Tendenz aufzeigt (SPEKAT et al. 2016).

Ertragsrückgänge bei Winterweizen durch höhere Trockenheit können möglicherweise durch den CO₂-Düngungseffekt ausgeglichen werden, jedoch ist dafür eine ausreichende Stickstoffversorgung Voraussetzung (WECHSUNG et al. 2008). Für Ertragsentwicklungen bei der Zuckerrübe kommen die Studien zu unterschiedlichen Aussagen, ob eine Zu- oder Abnahme erwartet werden kann, jedoch ist auch hier eine optimale Stickstoffversorgung nötig (WECHSUNG et al. 2008, KROPP et al. 2009, EITZINGER et al. 2009). Zusätzlich steigt durch den CO₂-Düngungseffekt die Effizienz der Wasserausnutzung einiger Pflanzen, wie z.B. des Winterweizens (EITZINGER et al. 2009). Dadurch kann es zu Mehrerträgen kommen, die allerdings einen höheren absoluten Wasserverbrauch nach sich ziehen können (Böttcher, mündl. Mitt.). Es kann daher geschlussfolgert werden, dass Projektionen zu Veränderungen von landwirtschaftlichen Erträgen Unsicherheiten besitzen.

Des Weiteren sind durch Klimaänderungen auch Qualitätsveränderungen der Fruchtarten möglich. Dazu gehören beispielsweise für den Winterweizen ein Rückgang des Proteingehaltes infolge des CO₂-Düngungseffektes und für die Zuckerrübe eine Abnahme der Zuckerausbeute aufgrund von Trockenstress und höhere Nachttemperaturen in der Schlussphase (ERDA et al. 2005, EITZINGER et al. 2009).

6 Zusammenfassung

KÜHNEL, N., FRÜHAUF, M., BÖTTCHER, F.: Die Beregnungsbedürftigkeit von Winterweizen und Zuckerrübe in Sachsen-Anhalt vor dem Hintergrund des Klimawandels. - *Hercynia* N. F. 51 (2018): 94 – 112.

Die Beregnungsbedürftigkeit der Fruchtarten Winterweizen und Zuckerrübe wurde anhand von Bodenfeuchtedaten mithilfe des agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodells METVER im Zeitraum von 1961 bis 2015 (Seehausen/Altmark ab 1976) an 13 Messstationen in und um Sachsen-Anhalt, jeweils getrennt nach 2 Vegetationsperioden, analysiert. Dazu wurden die durchschnittliche Anzahl an Tagen mit Bodenfeuchten < 50 %, < 30 % und < 20 % nFK pro Dekade, die Anzahl der Jahre in einer Dekade mit einer Trockenperiode („Auftrittshäufigkeit“) von über 15 Tagen sowie die durchschnittliche Länge von Trockenperioden über 15 Tage in einer Dekade für alle drei Bodenfeuchtegrenzen auf Vorkommen und Tendenzen untersucht.

Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche Ausprägungen von Trockenereignissen zwischen den beiden Fruchtarten. Hierbei weist der Winterweizen meist höhere Werte in der zweiten und die Zuckerrübe meist höhere Werte in der ersten Vegetationsperiode auf. Begründet werden kann dies mit dem unterschiedlichen Wasserbedarf im Jahresverlauf. Außerdem sind Unterschiede zwischen den einzelnen Orten vorhanden, welche durch den jeweiligen Niederschlag und die bodenphysikalischen Parameter am Standort bedingt sind. Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind vor allem für Gardelegen sowie im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes vor allem für Magdeburg, Halle-Kröllwitz und Artern hohe Werte für die Anzahl an Trockentagen bzw. für die Häufigkeit und die Länge von Trockenperioden zu finden.

Es ist empfehlenswert, die Zuckerrübe in der ersten Vegetationsperiode an allen sowie den Winterweizen in der ersten und die Zuckerrübe in der zweiten Vegetationsperiode an einigen der untersuchten Stationen zu bewässern, um Qualitäts- und Ertragsrückgänge zu vermeiden. Außerdem muss in Zukunft teilweise

(vor allem für die Zuckerrübe in der ersten Vegetationsperiode) mit einem weiteren Anstieg von Trockenheit gerechnet werden.

Neben der Bewässerung besitzen weitere Maßnahmen zur Verringerung der Bodenaustrocknung einen wichtigen Stellenwert. Dazu gehören beispielsweise eine veränderte Sortenwahl und Fruchtfolge, wobei hier vor allem Sorten mit größerer Trocken- und Hitzetoleranz sowie niedrigem Wasserbedarf von Bedeutung sind. Hiermit verbunden ist auch eine weiterführende Pflanzenzüchtung in Bezug auf diese Merkmale. Außerdem sollte die Anbautechnik (vor allem Bodenbearbeitung) auf eine maximale Schonung bzw. Nutzung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers ausgerichtet sein und unproduktive Wasserverluste verringert werden, wozu u.a. die konservierende Bodenbearbeitung einen Beitrag leisten kann (MICHEL & SOURELL 2014).

7 Literaturverzeichnis

- ALBRECHT, W., RÖPER, C., STRUVE, S., UNGLAUBE, M. (2017): Beobachteter Klimawandel in Sachsen-Anhalt. - Ministerium f. Umwelt, Landwirtschaft u. Energie Land Sachsen-Anh. (MULE).
- BACH, S. (2011): Anpassung des agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodells METVER an aktuelle Erfordernisse vor dem Hintergrund sich wandelnder klimatischer Randbedingungen und pflanzenbaulicher Gegebenheiten. - Masterarb., Univ. Leipzig.
- BERNHOFER, C., GOLDBERG, V., FRANKE, J., SURKE, M., ADAM, J. (Hrsg.) (2008): Regionale Klimadiagnose Sachsen-Anhalt. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt REKLI - Sachsen-Anhalt II. - Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anh., Sonderheft 5: 1 – 67.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) (Hrsg.) (o.J.): Karte Ackerbauliches Ertragspotential der Böden in Deutschland.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) (Hrsg.) (2013): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland. M. 1 : 1 000 000. Hannover.
- BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (BKG) (2016): Verwaltungsgebiete 1:1.000 000 - Stand 31.12.2016.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Hrsg.) (2015): Niederschlag: langjährige Mittelwerte 1961 – 1990. - https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2016): Daten des Bodenwasserhaushaltsmodells METVER. - Generierung und Bereitstellung durch Falk Böttcher, unveröff. Daten.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Hrsg.) (2017): Stationslexikon. - <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadaten-deutschland/stationsliste.html>
- DIEPENBROCK, W., ELLMER, F., LÉON, J. (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Grundwissen Bachelor. - 3. Aufl. UTB, Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- DÖRING, J., CHUDY, T., KAINZ, W. (2003): Die klimatische Gliederung Sachsen-Anhalts - eine neue Informationsebene im Boden-Landschafts-Modell. - Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellsch. 102/2: 445 – 446.
- EITZINGER, J., KERSEBAUM, K. C., FORMAYER, H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. - Agrimedia, Dumme.
- ERDA, L., WIE, X., HUI, J., YINLONG, X., YUE, L., LIPING, B., LIYONG, X. (2005): Climate change impacts on crop yield and quality with CO₂ fertilization in China. - Philosophical transactions of the royal society B 360/1463: 2149 – 2154.
- FELDDHAUS, D., HARTMANN, K.-J. (Hrsg.) (2006): Bodenbericht Sachsen-Anhalt 2006. Böden und Bodeninformationen in Sachsen-Anhalt. - Mitt. zu Geol. u. Bergwesen in Sachsen-Anh. 11: 1 – 197.
- HAGE, B. (2011): Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Fruchtarten vor dem Hintergrund des manifesten und erwarteten Klimawandels in Thüringen. - Bachelorarb. Univ. Leipzig.
- HERRMANN, W. A. (Hrsg.) (2010): Pflanzen im Stress. In: Faszination Forschung. - Das Wissenschaftsmagazin der TU München 7/2010: 6 – 15.
- INFORMATION.MEDIEN.AGRAR e.V. (Hrsg.) (2005): Landwirtschaft in Deutschland. - <https://information-medien-agrar.de/>
- KAYSER, M. (2002): Aspekte zum Wasserhaushalt von Sandlössen im Mitteldeutschen Trockengebiet. - Diss. Univ. Leipzig.
- KOLODZIEJ, A., FRÜHAUF, M. (2008): Phänologische Veränderungen wild wachsender Pflanzen in Sachsen-Anhalt 1962 – 2005. - Hercynia N. F. 41: 23 – 37.

- KROPP, J., ROITHMEIER, O., HATTERMANN, F., RACHIMOW, C., LÜTTGER, A., WECHSUNG, F., LASCH, P., CHRISTIANSEN, E. S., REYER, C., SUCKOW, F., GUTSCH, M., HOLSTEN, A., KARTSCHALL, T., WODINSKI, M., HAUF, Y., CONRADT, T., ÖSTERLE, H., WALTHER, C., LISSNER, T., LUX, N., TEKKE, V., RITCHIE, S., KOSSAK, J., KLAUS, M., COSTA, L., VETTER, T., KLOSE, M. (2009): Klimawandel in Sachsen-Anhalt - Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels. - Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK e. V.) Endbericht. Potsdam.
- LILIENTHAL, F. (2011): Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Fruchtarten vor dem Hintergrund des manifesten und erwarteten Klimawandels in Sachsen. - Bachelorarb. Univ. Leipzig.
- LILIENTHAL, F., BÖTTCHER, F. (2012): Beregnungsbedürftigkeit von Mais und Winterweizen in Sachsen vor dem Hintergrund des Klimawandels. - *Hercynia N. F.* 45: 161 – 171.
- MICHEL, R., SOURELL, H. (Hrsg.) (2014): Bewässerung in der Landwirtschaft. - Erling-Verlag, Clenze.
- MÜLLER, J., JÖRN, P., THIÈRE, J. (1995): Erarbeitung einer Karte der pflanzennutzbaren Feldkapazität für die neuen Bundesländer. - *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* 76: 1149 – 1152.
- MÜLLER, J., MÜLLER, G. (1988): Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 2. Mitteilung: Überprüfung des Modells von J. u. G. Müller am Beispiel Kartoffel auf lehmigem Sand. - *Zeitschr. f. Meteorologie* 38/6: 361 – 365.
- OELKE, E. (Hrsg.) (1997): Sachsen-Anhalt. Klett-Perthes. - Perthes Länderprofile, Gotha.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. - *Ber. Dt. Wetterd.*, 194. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- SPEKAT, A., EINFALT, T., JACKISCH, A. (Hrsg.) (2016): Klimaanalyse Sachsen-Anhalt für den Zeitraum 1951 – 2014 auf Basis von Beobachtungsdaten. - *Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anh.* 1/2016. Halle (Saale).
- STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (2012): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Landwirtschaftszählung Teil 1. Ausgewählte Zahlen der Kreistabellen Landwirtschaftszählung, 2010. - *Statist. Ber. C IV 3j/10.* Halle (Saale).
- STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (2015): 25 Jahre Sachsen-Anhalt. Landwirtschaft. - https://www.stala.sachsen-anhalt.de/Internet/Home/Auf_einen_Blick/25JahredeutscheEinheit/Aussenhandel-in-Sachsen-Anhalt.html.
- WECHSUNG, F., GERSTENGARBE, F.-W., LASCH, P., LÜTTGER, A. (Hrsg.) (2008): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. - Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK e. V.) PIK Report Nr. 112: 1 – 98.
- ZIMMER, T. (2004): Die Karte der nutzbaren Feldkapazität. - In: Löhnertz, O.; Hoppmann, D., Emde, K., Friedrich, K., Schmanke, M., Zimmer, T. (Hrsg.): Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. 2., neubearb. Aufl. - *Geol. Abhandl. Hessen* 11: 71 – 76.

Manuskript angenommen: 7. Dezember 2018

Anschrift der Autoren:

M. Sc. Geogr. Nils Kühnel
Leipziger Str. 79, D-06108 Halle (Saale)
E-Mail: nils.kuehnel@t-online.de

Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Frühauf
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie,
Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle (Saale)
E-Mail: manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de

MBA Falk Böttcher
Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie, Kärnerstraße 68, D-04288 Leipzig
E-Mail: falk.boettcher@dwd.de