

Erfassung und Bewertung von Dürren in Sachsen-Anhalt (1951 – 2015) mittels verschiedener Indikatoren bzw. Parameter bezogen auf ausgewählte Anwendungsbereiche

Judith-Maria MARUSCHKE

22 Abbildungen und 2 Tabellen

Abstract

MARUSCHKE, J.-M.: Analysis and assessment of drought in Saxony-Anhalt (1951 – 2015) by means of various indices or parameters respectively related to selected fields of applications. - *Hercynia N. F.* 51/1 (2018): 30 – 57.

The purpose of this paper is to analyse and assess the extent of drought, being of particular importance for plants. The area of study is applied to the region of Saxony-Anhalt between 1951 and 2015. The methods of analysis being implemented are various drought indices, especially the 'Klimafeuchtezahl' (KFZ). It can be broken down into three main results. In terms of annual levels, there is no distinct direction showing developing tendency of drought. Concerning the first vegetation period (April - June), there is a clear development in the increasing tendency of drought, whereas during the second vegetation period (July - September) there is often a decrease of meteorological drought and an increase of agricultural drought. The results notably show that the agricultural drought - having the most significance for plants - increased. As a closing remark, it is relevant for Saxony-Anhalt, and its strong connection to agriculture, to adapt the kinds of crops and trees to increasingly dry conditions as well as to diseases and insects of drought, and to control the type of irrigation and soil cultivation. Equally important is the ability to recognise the advantages of the shifting circumstances: e.g. the increasing tillable area of several crops (e.g. grapevines).

Key words: drought, Klimafeuchtezahl (KFZ), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), drought indices, agricultural drought, meteorological drought, vegetation period

1 Einleitung

Bereits 2003 ist allgemein als ein sehr heißes und trockenes Jahr in die Geschichte Deutschlands eingegangen. Auch die Klimaanalyse Sachsen-Anhalts von 1951 bis 2014 des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) bestätigt die Veränderung des Klimas in jüngster Zeit (SPEKAT 2016). Das betrifft vor allem Veränderungen von Extremen bei Temperatur, Feuchte und Niederschlag, zeigt sich aber auch bei der Zunahme der Frühjahrstrockenheit, längeren Hitzeperioden sowie der Zunahme der Waldbrandgefahr. Sachsen-Anhalt gehört aufgrund seiner geographischen Lage im Regenschatten des Harzes zu den trockensten Bundesländern Deutschlands. Hinzu kommt, dass das Bundesland deutschlandweit anteilig die drittgrößte Fläche an landwirtschaftlicher Fläche vorweist (2013: 61,5 %) (STALA 2015). Dabei besitzt es mit der Magdeburger Börde die Bestwertung für Ackerböden, die sogenannten „100er-Böden“. Den Ackerbau betreffend, liegt Sachsen-Anhalt flächenmäßig an erster Stelle in Deutschland, nach der Wertschöpfung jedoch lag es 2013 genau in der Mitte im Bundesländervergleich (KLÜTER 2015). Ebenso wird im Untersuchungsgebiet Weinanbau betrieben. Waldflächen bilden zudem ein weiteres Viertel der Landesfläche. Die daraus ersichtliche Bedeutung des Pflanzenbaus (bzw. Anbaus von Pflanzen) für Sachsen-Anhalt und die damit einhergehende Notwendigkeit, die Wertschöpfung zu verbessern sowie die Tatsache, dass die Land- und Forstwirtschaft die zeitlich zuerst von einer Dürre betroffenen Wirtschaftszweige sind, rechtfertigen auch die Konzentration auf diese Wirtschaftszweige. Die Herausforderung besteht nun darin, rechtzeitig die optimalen Anpassungen an Klimaänderungen zu finden. Dafür soll die

Dürreanalyse für Sachsen-Anhalt zur Informationsgrundlage beitragen und mögliche Anpassungen an das Klima bzw. die veränderte Trockenheitssituation unterstützt werden. Es geht dabei überwiegend um die landwirtschaftliche Dürre (bzw. Bodendürre), welche vor allem für jegliche Art von Anbau von Pflanzen Relevanz besitzt, sowie die Betrachtung der Vegetationsperioden (hier zweigeteilt).

Die These lautet: Die für den Anbau von Pflanzen relevante Dürre hat von 1951 bis 2015 im Untersuchungsgebiet (Kerngebiet Sachsen-Anhalt) zugenommen.

Zur Klärung dieser Behauptung wird folgendermaßen vorgegangen: Einerseits werden zwei zusätzliche Dürreindizes zu den bereits vom LAU bereitgestellten berechnet. Die Indizes beziehen sich auf den Zeitraum von 1951 bis 2015. Und andererseits werden ausgewählte Dürreindizes im Hinblick auf den Anwendungsbereich Anbau von Pflanzen ebenfalls im Zeitraum von 1951 bis 2015 statistisch analysiert und die Ergebnisse diskutiert. Dabei geht es generell darum, einen allgemeinen und nicht spezifischen Überblick im genannten Anwendungsbereich zu erreichen. Das bedeutet, dass auf einzelne Nutzpflanzen aus Zeit- und Kapazitätsgründen nicht eingegangen werden kann. Es werden die Situation sowie Tendenzen, die sich aus der Vergangenheit bis 2015 abzeichnen, betrachtet, um Schlüsse für die zukünftige Entwicklung zu ziehen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Forschungsstand

Als aktuelle relevante Studien mit regionalem Bezug sind folgende zwei zu nennen: Erstens die 2015 erschienene Publikation des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfULG) „Untersuchungen zur Erfassung und Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit“. Sie wertet verschiedenen Dürreindizes und ihre Relevanz auf unterschiedliche Zeitskalen aus, insbesondere mit regionalem Bezug (BERNHOFER et al. 2015). Zweitens die „Flächenhafte Trockenheitsanalyse und Konzepterstellung für die impaktororientierte Erfassung und Charakterisierung von Trockenheit für den Freistaat Sachsen“ des LfULG. Sie vergleicht die Indizes Standardized Precipitation Index (SPI) und Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) bezogen auf verschiedene Impaktgebiete und kommt so im Ergebnis zu verschiedenen Eignungen bezüglich der anzuwendenden Zeitskalen pro Impaktbereich – ebenso vergleicht sie beide Indizes qualitativ hinsichtlich der unterschiedlichen Impaktgebiete (HÄNSEL et al. im Druck). Dass das Untersuchungsgebiet dieser Studie Sachsen ist und somit der Regionalbezug zu Sachsen-Anhalt, das klimatisch vergleichbar mit Sachsen ist, sehr groß ist, vergrößert die Relevanz für diese Untersuchung. Eine sehr aktuelle Studie mit internationalem Bezug, zusammengefasst in dem Paper „Observed drought indices show increasing divergence across Europe“ von Stagge und anderen, am 25. Oktober 2017 veröffentlicht, bestätigt unter anderem einen zweigeteilten Trend bezüglich der meteorologischen Dürre (SPI, SPEI) bezogen auf Europa: Der Norden, inklusive Deutschland, ist demnach feuchter und der Süden trockener geworden (STAGGE et al. 2017).

2.2 Definition Dürre/Trockenheit

Es gibt keine universale Definition von Dürre bzw. Trockenheit, da diese immer stark von Zeit und Raum abhängt (WILHITE und GLANTZ 1985). STEINEMANN stellte zudem in ihrer Untersuchung fest, dass die Definition von Dürre abhängig von den sie gebrauchenden Menschen und ihrem Anwendungsbereich ist (STEINEMANN 2014). Im deutschen Sprachraum kommt die Herausforderung hinzu, dass mit „Dürre“ und „Trockenheit“ zwei Begrifflichkeiten existieren. Dabei sind die Abgrenzung und der Gebrauch weiterhin unklar. „Trockenheit“ oder „Trockenperiode“ werden wohl häufiger verwandt als „Dürre“. In der Landwirtschaft - vor allem Pflanzenbau ist es jedoch genau umgekehrt. Generell wird „Dürre“ eher als eine schwerwiegendere Trockenheit empfunden (HÄNSEL et al. im Druck). In dieser Arbeit werden beide Begriffe gebraucht. Der Begriff Dürre wird für besagtes Phänomen als Überbegriff in den Fachbegriffen (z.B. Bodendürre) angewandt. Während ansonsten weitestgehend von Trockenheit gesprochen wird, da sie den Aspekt des trockenen Zustandes (z.B. des Bodens) hervorhebt. Die meisten allgemeinen

Grundüberlegungen zu Dürre oder Trockenheit haben prinzipielle Gemeinsamkeiten. Dem Deutschen Wetterdienst (DWD) zufolge ist Dürre als ein „...Mangel an Wasser, der durch weniger Niederschlag und/oder eine höhere Verdunstung durch erhöhte Temperatur (oder Wind) als üblich verursacht wird...“ zu verstehen (DWD o.J.). Statistisch gesehen, ist Dürre ein Extremereignis und tritt so mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit immer wieder in fast allen Klimazonen der Erde auf (BENDER und SCHALLER 2014). Davon abzugrenzen ist die Aridität, bei der die Wasserverfügbarkeit aufgrund geringer Niederschlagsmengen und eine diese übersteigende Verdunstungsrate als normal gilt (BERNHOFER et al. 2015).

In vorliegender Arbeit sollen die meteorologische und die landwirtschaftliche Dürre bzw. Trockenheit näher untersucht werden. Die meteorologische Dürre ist die zeitlich gesehen zuerst wahrnehmbare Dürre. Aus diesem Grund wird sie auch in dieser Arbeit untersucht, da sie bereits als früher Indikator für weitere Dürretypen benutzt werden kann. Sie definiert sich dabei durch eine Abweichung zum langfristigen mittleren Zustand des Verhältnisses von Niederschlag und Evapotranspiration bezogen auf ein bestimmtes Gebiet (Abb. 1). Weitere Klimafaktoren, welche die meteorologische Dürre beeinflussen, können hohe Temperaturen, eine geringe relative Luftfeuchte und Wolkenbedeckung sowie starke Winde sein. Ebenso spielen die Geomorphologie, die Exposition und die Klimazone des betroffenen Gebietes eine wichtige Rolle. Schon aus diesen Gründen muss eine genaue Definition meteorologischer Dürre regionsspezifisch erfolgen. Für die humiden Klimate mittlerer Breiten, in denen das Untersuchungsgebiet liegt, können hierfür meteorologische Dürredefinitionen angewandt werden, welche Dürreperioden auf Basis der Anzahl der Tage mit Niederschlag unterhalb einer bestimmten Schwelle definieren, was häufig mit Hilfe von Indizes geschieht (BERNHOFER et al. 2015).

Die Wirtschaftssektoren, die zuerst von Dürre betroffen sind, sind zunächst die Landwirtschaft, gefolgt von der Forstwirtschaft aufgrund ihrer hohen Abhängigkeit von gespeichertem Bodenwasser (Abb. 1). Von einer land- bzw. forstwirtschaftlichen Dürre wird gesprochen, wenn der Bedarf am Bodenwassergehalt einer bestimmten Nutzpflanze (oder auch Baumart) zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht gedeckt ist. Das Hauptaugenmerk liegt demnach auf einem Bodenwasserdefizit für bestimmte Nutzpflanzen. Deswegen soll hier synonym für die landwirtschaftliche Dürre auch der Begriff der Bodendürre verwandt werden. Weitere wichtige Parameter sind Niederschlagsdefizite, Unterschiede in der aktuellen und potenziellen Evapotranspiration und reduzierte Grundwasser- oder Reservoirspegel. Der Wasserbedarf der Pflanze hängt ab von Wetterbedingungen, der Physiologie der speziellen Pflanze und der biologischen und physikalischen Beschaffung des Bodens sowie von den Wachstumsphasen der jeweiligen Pflanzenart. Demnach sollte eine gute Definition landwirtschaftlicher- bzw. forstwirtschaftlicher Dürre diese individuellen Begebenheiten der Nutzpflanzenart beachten (BERNHOFER et al. 2015). Die relevante Dauer von Dürre in der Landwirtschaft sind in der Regel Kurzzeitperioden (Tage bis Wochen) und sie sind immer von der Fruchtart abhängig (HÄNSEL et al. im Druck).

3 Methodik

Identifiziert wird die Dürre hier anhand verschiedener Dürreindizes bzw. Parameter. Sie definieren Dürre in einer operationellen und damit anwendungsbezogenen Weise und lassen somit eine genaue Bewertung von auftretender Trockenheit zu. Die Datenverfügbarkeit war für diese Untersuchung das wichtigste Auswahlkriterium. Weitere Kriterien waren die Komplexität des Berechnungsvorganges/Arbeitsaufwand, die Einfachheit der Interpretierbarkeit der Ergebnisse, die angemessene Zeitskala je nach Problemstellung und die regionale Anwendbarkeit (BERNHOFER et al. 2015, HÄNSEL et al. im Druck). Es liegen bereits berechnete Dürreindizes im Zusammenhang der „Klimaanalyse Sachsen-Anhalt für den Zeitraum 1951-2014 auf Basis von Beobachtungsdaten“ des LAU von 2016 vor (SPEKAT et al. 2016). Hierbei wurden überwiegend meteorologische Dürreindizes berechnet, die allein von der Datenverfügbarkeit her am leichtesten zu berechnen sind und zudem einen guten Indikator auch für zeitlich später auftretende Dürreereignisse, bezogen auf andere Anwendungsgebiete (z.B. Pflanzenbau), darstellen. Daraus ergaben sich folgender Index und Parameter: Die Klimatische Wasserbilanz (KWB), die Bodenfeuchte (BOF) und der

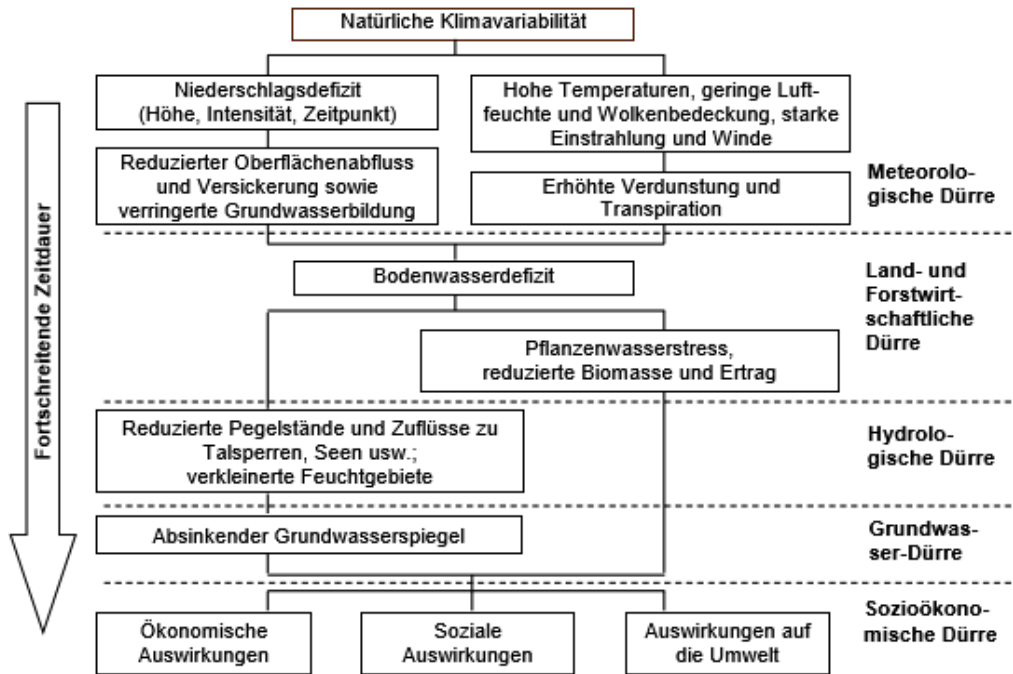


Abb. 1 Zeitliche Abfolge einer Dürre. Quelle: BERNHOFER et al. (2015: 18); verändert nach National Drought Mitigation Center, University of Nebraska.

Fig. 1 Chronology of drought. Source: BERNHOFER et al. (2015: 18); a modification of National Drought Mitigation Center, University of Nebraska.

Niederschlag als jeweilige Vergleichsparameter für die meteorologische bzw. landwirtschaftliche Dürre. In dieser Untersuchung werden zwei zusätzliche Indizes geboten; ein landwirtschaftlicher Dürreindex, die Klimafeuchtezahl (KFZ) und ein weiterer meteorologischer, der jedoch auch in der Landwirtschaft angewandt wird, der Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (HÄNSEL et al. im Druck). Die *KWB* ist die Differenz zwischen Niederschlagshöhe und der Höhe der potentiellen Verdunstung für einen bestimmten Zeitraum an einem bestimmten Ort.

Die Formel lautet:

$$KWB = NS - ETp$$

NS = Summe des Niederschlags im Betrachtungszeitraum, unkorrigiert [mm]

ETp = Summe der potentiellen Evapotranspiration im Betrachtungszeitraum [mm]

Mit der *KWB* können u.a. feuchte und trockene Perioden identifiziert werden. Sie wird aufgrund ihrer meteorologischen Eingangsgrößen zu den komplexeren meteorologischen Dürreindizes gezählt (BERNHOFER et al. 2015). Die *KWB* ist in der Anwendung nicht regional beschränkt und zeichnet sich durch eine universale Anwendbarkeit aus (DÖRING, S. 2011). Gleichzeitig bietet sie durch ihre zwei Eingangsgrößen (Niederschlag und ETp) ein umfassenderes Bild von Dürre als Indizes, die sich nur auf Niederschlag oder Temperatur beziehen. Negative Werte werden als arid gewertet und positive als humid. Demnach gilt: Je kleiner der Wert, desto trockener.

Der *SPEI*, der 2010 von VICENTE-SERRANO vorgeschlagen wurde, zählt ebenfalls zu den komplexen meteorologischen Dürreindizes (BERNHOFER et al. 2015, HÄNSEL et al. im Druck). Seine Berechnungsmethodik beruht auf der des SPI (Standardized Precipitation Index), allerdings basiert er auf der Klimatischen Wasserbilanz (HÄNSEL et al. im Druck). Seiner Berechnung liegt hier die empfohlene generalisierte logistische Verteilungsfunktion zu Grunde (VICENTE-SERRANO et al. 2010). Beim SPEI beginnt eine Dürre, wenn der Index den Wert -1,0 unterschreitet. Sie endet, wenn wieder positive Werte erreicht werden (BERNHOFER et al. 2015). Die Eingangsgrößen des SPEI sind mit denen der KWB identisch: Niederschlag, ETp und durch diese indirekt auch die Temperatur. Er ist multiskalar und kann somit auf verschiedene Anwendungsbereiche angewendet werden: Für Regionen mit regenabhängiger Bewässerung zeigten sich die Auswirkungen meteorologischer Trockenheit schon auf Zeitskalen von zwei bis drei Monaten. Die größte Empfindlichkeit gegenüber dem Trockenheitsstress trat in den späten Frühjahrs- und Sommermonaten auf. Den besten Prediktor für das Auftreten landwirtschaftlicher Trockenheitsauswirkungen in Deutschland besitzt der SPEI auf einer Zeitskala von drei Monaten (STAGGE et al. 2015). Generell ist anzumerken, dass je nach Fruchtart und Fragestellung eine andere Zeitskala des SPEI die geeignetste ist. In dieser Arbeit soll es aber bei einer allgemeinen Betrachtung hinsichtlich des Pflanzenbaus bleiben. Dabei ist der SPEI etwas besser mit den beobachteten Auswirkungen von Dürre gekoppelt als der SPI (HÄNSEL et al. im Druck). Deshalb wird der SPEI für mehrere Stationen neu berechnet und nicht der SPI. Je nach Zeitskala kann er die anderen Indizes für die jeweiligen Anwendungsbereiche ergänzen.

2008 wurde die *KFZ* von JURIK MÜLLER et al. eingeführt, um neben den klimatischen Bedingungen auch die Bodenverhältnisse für die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Produktionsgebiete bezogen auf Trockenheit beurteilen zu können (MÜLLER, J. et al. 2008). Die *KFZ* wird zu den landwirtschaftlichen Dürreindizes gezählt (BERNHOFER et al. 2015).

Die Formel lautet:

$$KFZ = \log (NS * (nFK^{**}1/2) / (1 + \Delta e) + 1)$$

nFK = nutzbare Feldkapazität

NS = Niederschlagssumme im Betrachtungszeitraum [mm]

Δe = Mittel des Mittagswertes des Sättigungsdefizites der Luft im Betrachtungszeitraum [hPa]

Sie basiert sowohl auf meteorologischen Eingangsgrößen wie dem Niederschlag, der Temperatur und der Luftfeuchte als auch auf einer bodenabhängigen Größe, der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Mit der nFK wird die Abhängigkeit der Trockenheit von Veränderungen innerhalb des Wirkungskomplexes Boden-Pflanze-Atmosphäre besser dargestellt als mit rein meteorologischen Dürreindizes (MÜLLER, J. et al. 2008). Ein Hauptunterschied zu vielen anderen Dürreindizes besteht darin, dass die *KFZ* nicht die potentielle Evapotranspiration beinhaltet, stattdessen jedoch das Sättigungsdefizit (Δe). Generell ist sie manuell berechenbar, allerdings stellt die Datenverfügbarkeit von Stundendaten oft eine Schwierigkeit dar. Je kleiner der Wert ist, desto trockener ist der Zustand (vgl. Abb. 7 und 8). Alle Indexwerte, die kleiner als 2,25 sind, zeigen aride bzw. semiaride Verhältnisse an, alle Werte über 2,50 zeigen humide bzw. semihumide an. Aus S. DÖRINGS „Vergleich von Trockenheitsindizes zur Nutzung in der Landwirtschaft unter den klimatischen Bedingungen Mitteldeutschlands“ von 2011 ging die *KFZ* als Favorit hervor. Zudem ist sie genauso wie die KWB räumlich universal anwendbar (DÖRING, S. 2011).

Der Wassergehalt der oberen Bodenschicht wird als *Bodenfeuchte* (BOF) bezeichnet. Dabei handelt es sich um das Wasser, welches entgegen der Schwerkraft in den oberen Bodenschichten (0 bis 2 m) gehalten wird. Eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen ist vor allem für die Nährstoffzufuhr unabkömmlich. Die BOF wird hier eingeführt, um eine Referenzgröße für den Zustand der Trockenheit, bezogen auf die Landwirtschaft, zu erhalten (DÖRING, S. 2011). Die Messung von Bodenfeuchtwerten ist sehr aufwendig und fehlerbehaftet. Zudem existiert nur ein eingeschränktes Messnetz für diesen Parameter. Deswegen liegen hier berechnete Bodenfeuchtwerte vor. Wenn die BOF auf unter 30% der nFK sinkt, wird von Bodendürre gesprochen, welche für die Landwirtschaft (inkl. Weinbau) und Forstwirtschaft relevant ist (BERNHOFER et al. 2015).

Der *Niederschlag* wird hier ebenfalls als eine Referenzgröße herangezogen, da er die Haupteingangsgröße bei den meteorologischen Dürreindizes darstellt. So können die Wechselwirkungen und der Einfluss des Niederschlages mit bzw. auf die anderen Eingangsgrößen besser nachvollzogen werden. In der Literatur gibt es keine eindeutige Festlegung, ab welcher Niederschlagshöhe Trockenheit bzw. Dürre existiert. Zum Beispiel gibt es den Schwellenwert 0 mm/m^2 für einen „trockenen“ Tag, dann aber auch wieder 1 mm/m^2 als Grenze für die Bezeichnung als „trockenen“ Tag (BERNHOFER et al. 2015). Hier soll der Niederschlag nur als Vergleich und nicht im Einzelnen auf sein Feuchtigkeitsniveau hin untersucht werden.

Die vorliegende Auswahl stellt somit eine Kombination aus meteorologischen sowie landwirtschaftlichen Dürreindizes dar, um den Anwendungsbereich des Anbaus von Pflanzen hinsichtlich der Dürreereignisse in Sachsen-Anhalt bewerten zu können.

Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und Machbarkeit sind hier keine landwirtschaftlichen Dürreindizes enthalten, die auf Bodenwasserbilanzüberlegungen beruhen (BERNHOFER et al. 2015). Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Auswahl der Dürreindizes sind die relevanten Zeitskalen. Die meteorologische Dürre wird früher identifiziert als die landwirtschaftliche und kann somit ein Indikator für auftretende Bodendürre sein. Generell muss bei den Auswirkungen auf die Impaktgebiete zwischen den einzelnen Pflanzentypen, Klima- und Bodenverhältnissen differenziert werden. Daher besitzen auch sehr unterschiedliche Zeitskalen in diesen Bereichen Relevanz (HÄNSEL et al. im Druck). Hinzu kommt, dass für die Landwirtschaft Aussagen auf Monatsebene oft viel zu allgemein sind und deshalb Tageswerte bevorzugt werden sollten, um auf die sensitiven Entwicklungsphasen der Nutzpflanzen eingehen zu können (BERNHOFER et al. 2015). Demnach wären relevante Zeitskalen vor allem Tageswerte von allen Indizes. Aufgrund der Datenverfügbarkeit ist das kaum zu realisieren. Der Verzicht auf die Tages- bzw. einzelne Monatsbetrachtung wirkt sich auch dahingehend aus, dass die Dimension der Dauer einer Dürre nur noch sehr grob über die Jahresbetrachtung hinweg identifiziert werden kann. Andererseits sind gerade in einer Trendanalyse höhere Zeitskalen sinnvoll, um den Trend geglätteter und damit deutlicher erkennen zu können. Deswegen kommen hier die Index-Werte auf Monats (Vegetationsperioden I und II)- und Jahresbasis zum Einsatz (Tab. 1, im Anhang). Vegetationsperioden dauern mehrere Monate an und sind gerade für den Anbau von Pflanzen sehr wichtig. Diese Aspekte sollen in den beiden selbstberechneten Indizes (KFZ und SPEI) beachtet werden. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu den bereits vorliegenden Indizes herzustellen, wurden bei der KFZ und dem SPEI die in den anderen Indizes bereits ausgewählten Zeitbezüge berücksichtigt.

Wo es die Lückenlosigkeit der Daten und die Länge der vorhandenen Zeitreihen zuließ, wurden Trends durch die Graphiken gelegt und der Anstieg des linearen Trends berechnet. Korrekterweise müsste eigentlich eine nichtparametrische nichtlineare Funktion gefunden werden, die das Verhalten der Daten am besten wiedergibt (Funktion anpassen). Allerdings würde dann sehr wahrscheinlich ein Trend nicht klar ersichtlich werden. Deshalb wird von der Autorin einerseits das gleitende Mittel verwendet, das sehr nahe am realen Verhalten der Daten liegt. Andererseits wird ein linearer Trend durchgelegt, der nicht nahe am Verhalten der Daten liegt, jedoch optisch leicht eine Tendenz ausmachen lässt. Diese ist allerdings zumeist kaum gesichert: Das Bestimmtheitsmaß (R^2) erklärt bei den meisten der untersuchten Datenreihen nur einen sehr geringen Prozentanteil der Varianz, was wiederum nicht für eine lineare Trendgerade spricht. Da die lineare Regression somit nur als optische Vereinfachung hinzugenommen wird und real kaum eine sichere Aussage zulässt, ist die Autorin zu dem Schluss gekommen, dass ein Signifikanztest in dieser Situation wenig ertragreich wäre, da er lediglich über eine ohnehin extrem unsichere Aussage eine Aussage trafe. Zudem soll aus diesen Gründen hier nur von Tendenzen die Rede sein.

4 Datengrundlage

Zum einen bezieht sich dieses Kapitel auf Indizes, die bereits berechnet vorliegen, zum anderen auf die Eingangsdaten zur Berechnung der KFZ und des SPEI. Generell wurden möglichst lückenlose Datenreihen von 1951 bis 2015 bei allen Indizes und Klimagrößen angestrebt. Aufgrund der Datenlage ist das jedoch oft nicht möglich (z.B. durch Verlagerung von Wetterstationen z.B. Braunschweig verlagert

1961, Seehausen verlagert 1976 und in Halle-Kröllwitz wurde z.B. im März 2015 der Betrieb ganz eingestellt) (SPEKAT et al. 2016). Weitere Gründe für Datenlücken können sein: ein temporärer Ausfall der Messtechnik, fehlende Lochkarten bei der Überspielung auf Bänder in der MIRAKEL-Klimadatenbank oder Übertragungsfehler von Lochkarten auf das Magnetband. Generell sind die Grunddaten der vorliegenden Untersuchung, falls dies durch die Verwendung unterschiedlicher Technik nötig war (z.B. Wechsel zwischen Psychrometerthermometer, Thermograph, PT 100 (Luft) und Thermohygrograph), alle so weit homogenisiert, wie es je nach Zeitskala möglich ist. Zu beachten ist hierbei, dass je nach Zeitskala eine unterschiedliche Homogenisierungstiefe vorliegt, was im Gesamtbild zu Verzerrungen führen kann (BÖTTCHER 28.04.2017).

Die Klimatische Wasserbilanz (KWB) und die Bodenfeuchte (BOF) wurden vom LAU bereitgestellt und im Rahmen der Klimaanalyse Sachsen-Anhalt für den Zeitraum 1951-2014 auf Basis von Beobachtungsdaten berechnet (Klimabüros: Climate und Environmental Consulting Potsdam GmbH, hydro und meteo GmbH Lübeck).

Die Datengrundlage für die bereits vorhandenen und selbstberechneten Indizes und Parameter sind der Climate Data Service des DWD (GDS-CDC Portal), agrarmeteorologische Daten des DWD in Leipzig, Stundendaten des DWD Leipzig, meteorologische Messdaten von Stationen des Luftüberwachungssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA), historische Klimadaten aus dem Projekt KLIDADIGI des DWDs und für lange Niederschlagsreihen mit hoher Auflösung aus dem Projekt KOSTRA und aus der Datenbank ReKIS.

Die Verdunstungsdaten aus der ReKIS-Datenbank, soweit sie vom DWD übernommen wurden, sind nach Penman/Wendling berechnet worden. Die Verdunstungsdaten vom LAU wurden nach dem Penman-Verfahren erhoben. Dadurch können die Ergebnisse verschieden ausfallen. Allerdings untersuchte RUMPF (LfULG) den Einfluss verschiedener Verdunstungsansätze auf den SPEI und kam zu dem Ergebnis, dass Unterschiede zwischen den benannten Verfahren kaum relevant seien, zumal der Penman/Wendling-Ansatz teilweise auf dem Penman-Ansatz basiert (RUMPF 05.10.2016).

5 Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum

Das Untersuchungsgebiet umfasst 14 Wetterstationen des DWD (hinter den Ortsnamen steht die jeweilige DWD-Identifikationsnummer der Wetterstation): Artern (00198), Braunlage (00656), Braunschweig (00662), Brocken (00722), Gardelegen (01544), Gera-Leumnitz (01612), Halle (01960), Halle-Kröllwitz (01957), Leipzig-Schkeuditz (02932), Lüchow (03093), Magdeburg (03126), Neuruppin (03552), Seehausen (04642) und Wittenberg (05629) (vgl. Abb. 2 u. Tab. 1, im Anhang). Die Wahl zweier Wetterstationen innerhalb einer Stadt (Halle (Stadt) und Halle-Kröllwitz) liegt in der unterschiedlichen Datenverfügbarkeit begründet, kann jedoch bei der Interpretation als ein Ort interpretiert werden (DÖRING, J. 15.8.2016). Es handelt sich somit zumeist nur um Punkte bzw. kleine Flächen, zu denen die genauen Daten vorliegen. Jedoch sind die Wetterstationen im Allgemeinen repräsentativ für ihren Naturraum nach der naturräumlichen Gliederung Deutschlands (nach Meynen und Schmithüsen), welche vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) überarbeitet wurde (zuletzt 2009) (BÖTTCHER 26.08.2016). Aus diesem Grund wird auch von einem Untersuchungsgebiet gesprochen und dieses auch als Fläche dargestellt (Abb. 1). Allerdings ist zu beachten, dass Niederschlagsdaten nur eine lokal sehr begrenzte Aussage zulassen, da Niederschlagsereignisse örtlich sehr verschieden auftreten.

Das wichtigste Ackerbaugebiet in Sachsen-Anhalt ist die Börde mit den „100-er Böden“. In Sachsen-Anhalt befinden sich Anteile der Weinbaugebiete Saale-Unstrut und Jessen (Elster). Die Auswahl der konkreten Wetterstationen erfolgte auf der Grundlage der Datenverfügbarkeit. Zugleich wurde versucht, möglichst viele Naturräume durch für sie repräsentative Wetterstationen in Sachsen-Anhalt abzudecken. Um ein möglichst umfassendes Bild zu erhalten, wurden auch einige Wetterstationen aus angrenzenden Bundesländern hinzugezogen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich im warmgemäßigten Klima (nach Köppen und Geiger) und in der gemäßigten Zone im Übergangsklima (nach Neef). Dabei liegt ein Großteil im Regenschatten des Harzes und bildet das sogenannte Mitteldeutsche Trockengebiet. Das östliche

und südöstliche Harzvorland sind dabei Kerngebiet einer der trockensten Regionen Deutschlands. Einige Orte haben hier einen Jahresniederschlag unter 500 mm/m^2 (MÜLLER, A. o.J.).

Der Untersuchungszeitraum beläuft sich von 1951 bis 2015. Viele Wetterstationen wurden nach dem Zweiten Weltkrieg, meist im Zeitraum von 1950 bis 1960, neugegründet oder wieder eingerichtet (BÖTTCHER 28.02.2017). Die frühest möglichen Daten liegen somit fast ausschließlich erst ab 1951 vor.

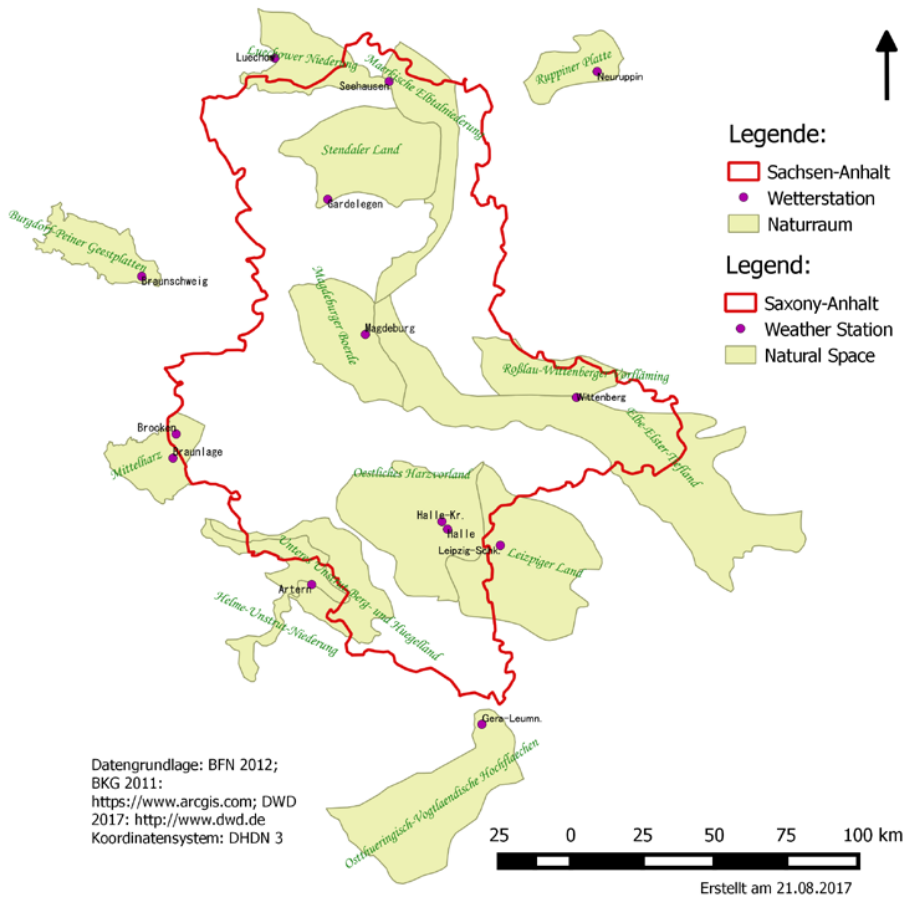


Abb. 2 Untersuchungsgebiet.

Fig. 2 Study area.

6 Auswertung der Dürreanalyse

6.1 Einzelauswertung der Indizes je Station

Es stehen bei jeder Station unterschiedlich viele Indizes und Parameter zur Verfügung. Es ist zu beachten, dass pro Index und Station unterschiedlich lange Datenreihen vorhanden waren. Damit sind die Ergebnisse nicht unbedingt vergleichbar. Es sollen hier nun zwei Stationen exemplarisch diskutiert werden: Zum Einen ist dies Artern, da für Artern alle untersuchten Indizes und Klimagrößen in langen Datenreihen vorliegen und es sich zudem im Mitteldeutschen Trockengebiet befindet. Des Weiteren wird auf Magdeburg genauer ein-

gegangen, da auch für diese Station viele Indizes vorliegen und sie zudem den Naturraum der Magdeburger Börde repräsentiert, die für den Ackerbau in Sachsen-Anhalt von besonderer Bedeutung ist.

6.1.1 Artern

Für die Station Artern liegen die KWB, der SPEI, die KFZ und die BOF sowie der Niederschlag vor. Laut der KWB (1962-2014) war es auf der *Jahresebene* 1982 in Artern am trockensten. Generell lagen fast alle Jahre im negativen und damit im ariden Bereich (Abb. 3). Für die *Vegetationsperiode I* war das trockenste Jahr 1988. Die Werte befanden sich hier ausschließlich im ariden Bereich. Auch bei der KWB fällt die Vegetationsperiode I durchschnittlich etwas trockener aus als die *Vegetationsperiode II* aus. Das trockenste Jahr der Vegetationsperiode II war 1991 (Abb. 4).

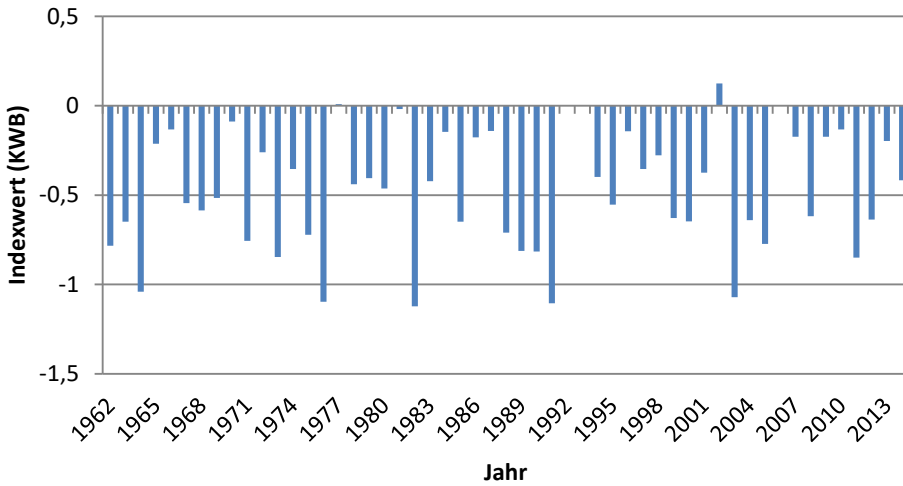


Abb. 3 Klimatische Wasserbilanz (KWB) (Jahr) von Artern.

Fig. 3 Climatic water balance (KWB) (annual) of Artern.

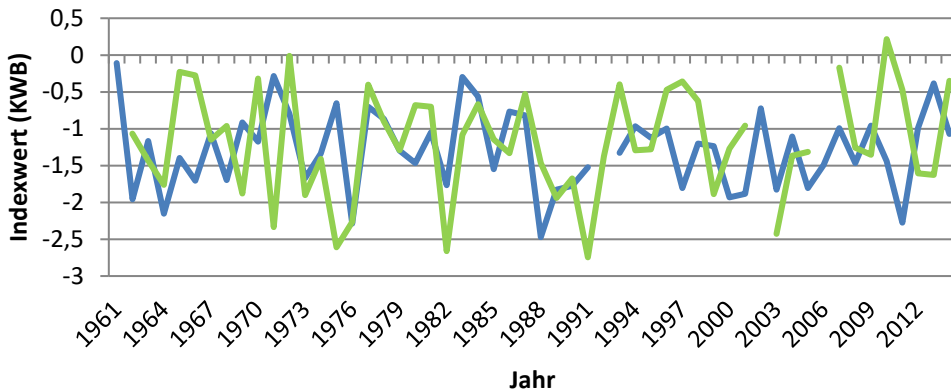


Abb. 4 Klimatische Wasserbilanz (KWB) von Artern (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II).

Fig. 4 Climatic water balance (KWB) of Artern (blue line: vegetation periode I; green line: vegetation periode II).

Nach dem *SPEI* (1959-2015) war auf *Jahresebene* 1982 am trockensten. Durch unvollständige Datenbasis ist keine Trendbetrachtung möglich (Abb. 5).

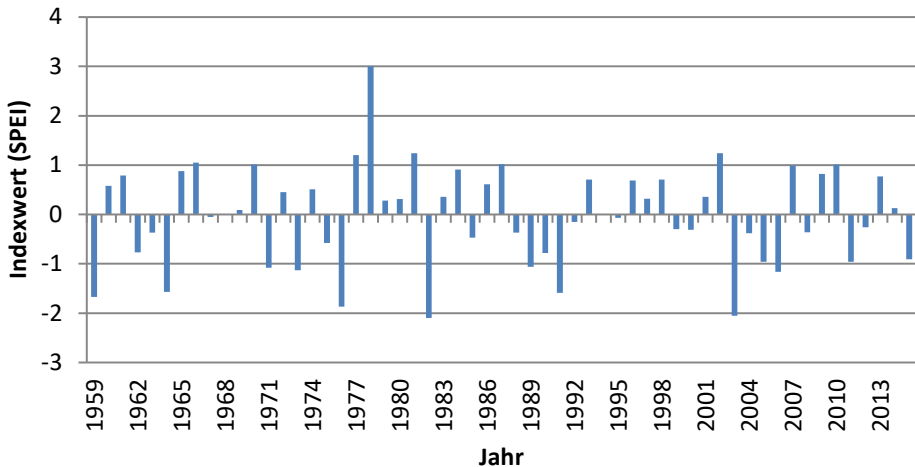


Abb. 5 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Jahr) von Artern.

Fig. 5 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (annual) of Artern).

Die *Vegetationsperiode I* weist 1988 als das trockenste Jahr aus. Seit den späten 1980er Jahren wird es in der *Vegetationsperiode I* laut *SPEI* trockener (Ausnahme 2013). Bis ca. 2000 verlief auch hier die *Vegetationsperiode II* konträr zur ersten. Seitdem verlaufen sie parallel, auf verschiedenen Niveaus: Die *Vegetationsperiode II* ist hierbei feuchter. Die trockensten Jahre sind bei ihr 1982 und 1991. Der Anstieg des linearen Trends ist gering positiv, was in eine eher feuchte Richtung weist. Die *Vegetationsperiode II* ist etwas nasser als die *Vegetationsperiode I* (Abb. 6).

Die *KFZ* (1961-2015) klassifiziert das *Jahr* 1976 als das trockenste. Nach 2003 trat kein trockenes Jahr mehr auf. Die Trendgerade weist einen minimal negativen Anstieg auf, der jedoch fast vernachlässigt werden kann, da kaum Werte mit dieser Regression erklärt werden. Generell fluktuieren die Werte um den Nullpunkt herum, sodass nahezu keine Tendenz zu erkennen ist (Abb. 7). Das trockenste Jahr der *Vegetationsperiode I* war 1988. Die Trendgerade weist leicht Richtung trockenere Verhältnisse, wird jedoch kaum durch die Verteilung der Werte erklärt. Das trockenste Jahr der *Vegetationsperiode II* war interessanterweise 1975. Bei der *KFZ* ist die *Vegetationsperiode II* im Durchschnitt trockener als die *Vegetationsperiode I*. gewesen, weist jedoch minimal in die feuchte Richtung (Abb. 8).

Die *BOF* (1961-2014) zeigt zum Vergleich das *Jahr* 1976 als das trockenste an. Von 1988 bis 1992 hält eine etwas trockenere Periode an. Die meisten Werte liegen jedoch im Bereich optimalen Wasserangebots. Der lineare Trend zeigt einen kleinen Anstieg an, der zwar nur wenige Werte der Varianz erklärt, aber in eine eher feuchtere Richtung der Entwicklung der Werte deutet (Abb. 9). Auch hier wird für die *Vegetationsperiode I* das Jahr 1988 als das trockenste angezeigt. Es ist ein leicht abnehmender Trend dargestellt, der jedoch wieder kaum die Varianz der Werte erklärt. Er zeigt eher in die Richtung Trockenheit. Hier ist die *Vegetationsperiode II* trockener als die *Vegetationsperiode I* gewesen, was sich bisher nur mit den Aussagen der *KFZ* deckt und demnach evt. am „Bodenfaktor“ liegt, der bei den anderen Indizes fehlt. Das trockenste Jahr war 1976. Für die *Vegetationsperiode II* liegt eine leicht zunehmende Tendenz vor, was in die feuchte Richtung weist (Abb. 10).

Die zweite Vergleichsgröße, der Niederschlag (1961-2015), weist ebenfalls 1976 als das trockenste *Jahr* aus. Auch hier zeigt die lineare Regression in Richtung der Zunahme von Niederschlag (Abb. 11). In der *Vegetationsperiode I* ist, wie bei den anderen Indizes, 1988 als das trockenste Jahr gekennzeichnet. Bei

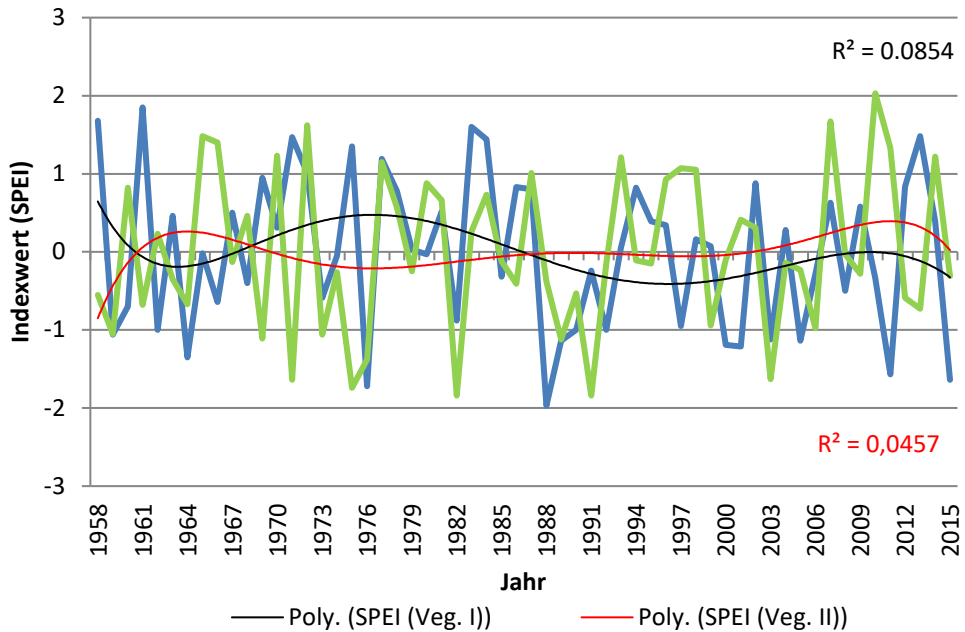


Abb. 6 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vegetationsperioden) von Artern (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Regressionen 6. Grades (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 6 Standardized Precipitation Index (SPEI) (Vegetation Periods) of Artern (blue line: vegetation period I; green line: vegetation period II) with regressions 6. grades (R^2 = coefficient of determination).

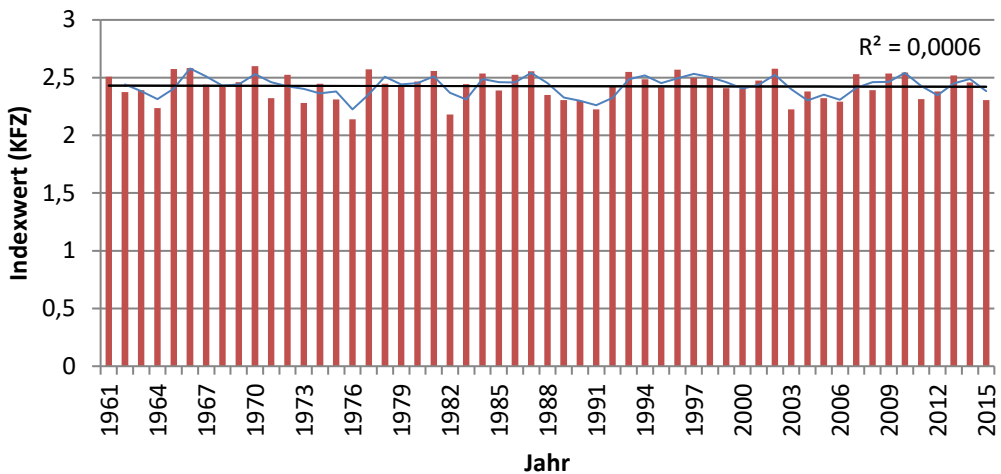


Abb. 7 Klimafeuchtezahl (KFZ) (Jahr) von Artern mit gleitendem Mittel und Trendgerade (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 7 'Klimafeuchtezahl' (KFZ) (annual) of Artern with running average and linear regression (R^2 = coefficient of determination).

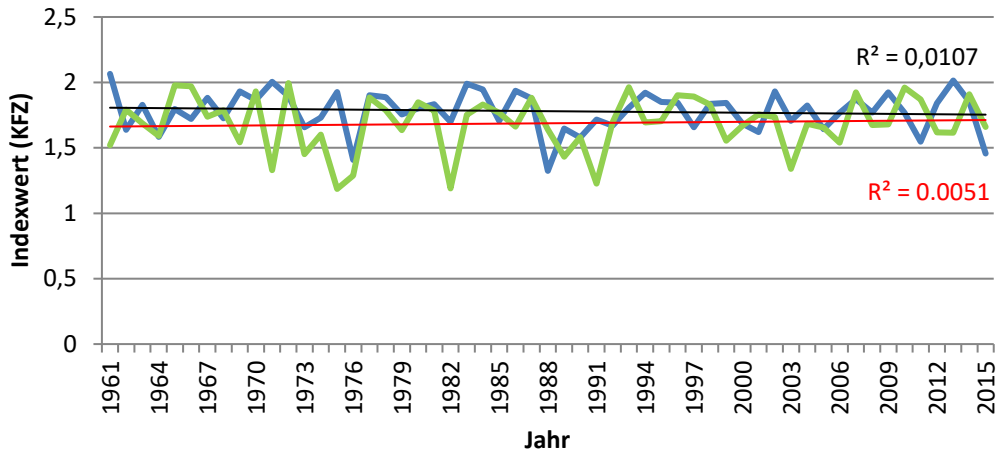


Abb. 8 Klimafeuchtezahl (KFZ) von Artern (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Trendgeraden (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 8 'Klimafeuchtezahl' (KFZ) of Artern (blue line: vegetation periode I; green line: vegetation periode II) with linear regressions (R^2 = coefficient of determination).

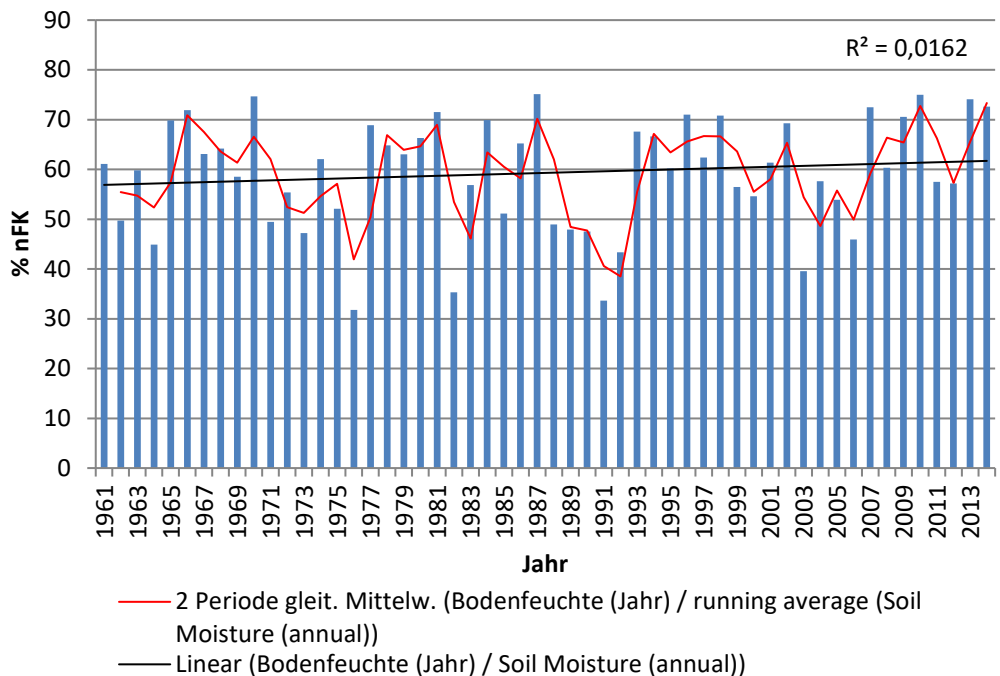


Abb. 9 Bodenfeuchte (Jahr) von Artern in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) mit gleitendem Mittel und Trendgerade (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 9 Soil Moisture (annual) of Artern in percentages of usable field capacity (% nFK) with running average and linear regression (R^2 = coefficient of determination).

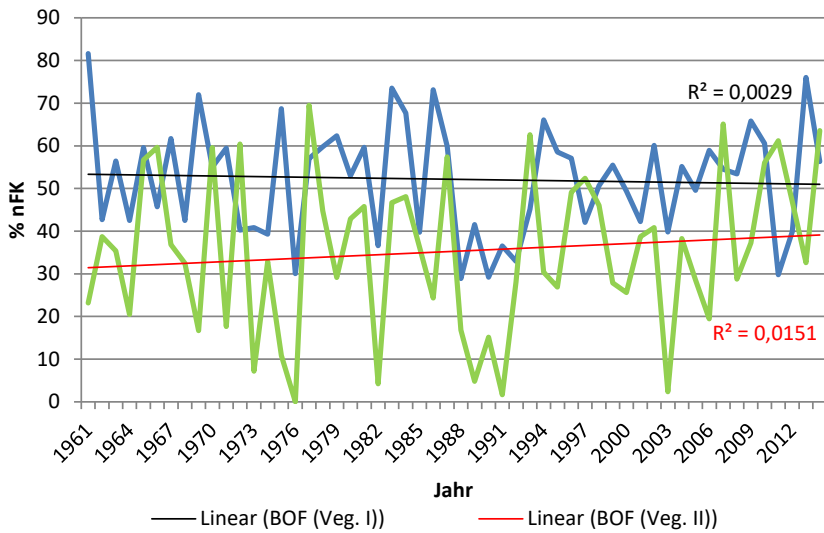


Abb. 10 Bodenfeuchte (Vegetationsperioden) von Artern in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Trendgeraden (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 10 Soil Moisture (annual) of Artern in percentages of usable field capacity (% nFK) (blue line: vegetation period I; green line: vegetation period II) with linear regressions (R^2 = coefficient of determination).

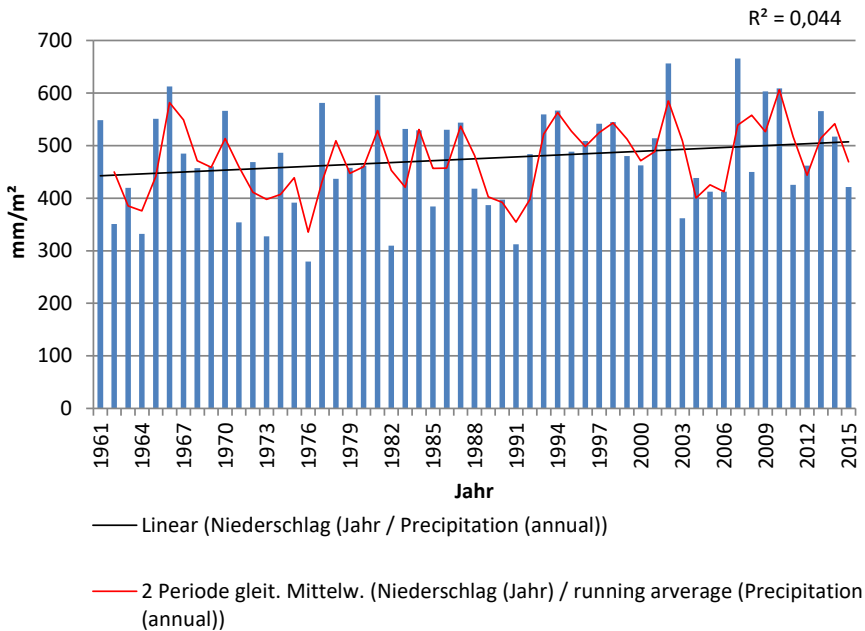


Abb. 11 Niederschlag (unkorrigiert) (Jahr) von Artern in mm/m² mit gleitendem Mittel und Trendgerade (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 11 Precipitation (uncorrected) (annual) of Artern in mm/m² with running average and linear regression (R^2 = coefficient of determination).

der linearen Regression liegt eine gering positive Steigung vor, was die Entwicklung in eine feuchtere Richtung darstellt. Die *Vegetationsperiode II* ist kaum feuchter als die Vegetationsperiode I. Hier war das trockenste Jahr 1975, was sich mit der Aussage der KFZ deckt. Die lineare Regression verzeichnet eine Niederschlagszunahme, was die Aussage der BOF, KFZ und des SPEI unterstützt (Abb. 12).

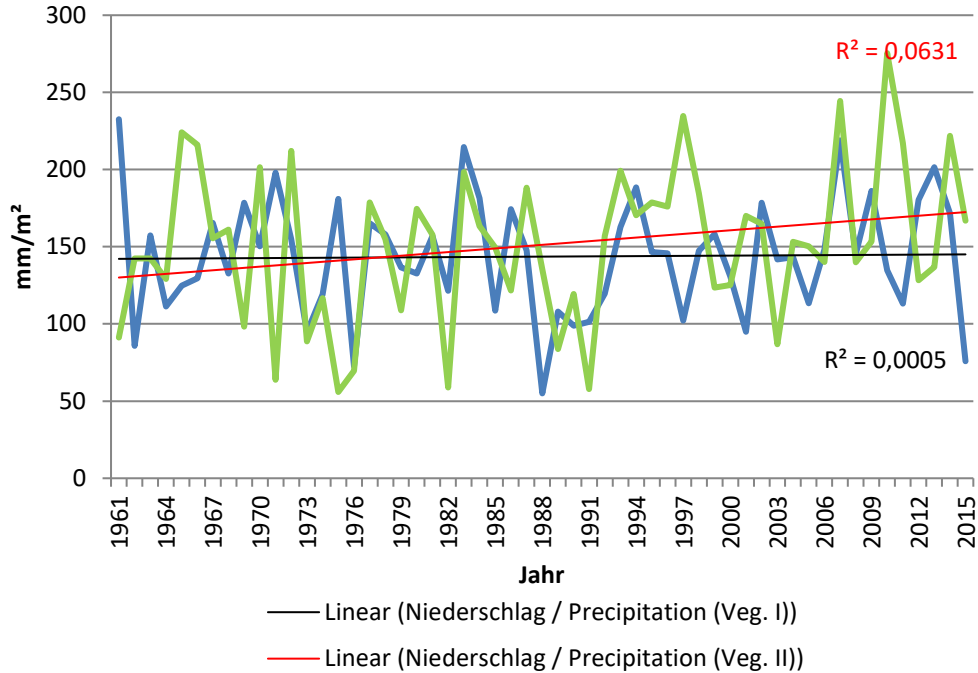


Abb. 12 Niederschlag (unkorrigiert) von Artern in mm/m². mit Trendgeraden (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 12 Precipitation (uncorrected) of Artern in mm/m² (blue line: vegetation period I; green line: vegetation period II) with linear regressions (R^2 = coefficient of determination).

Zusammengefasst wird für Artern auf *Jahresebene* am häufigsten das Jahr 1976 als das trockenste eingestuft. Überall, wo Daten vorlagen, wurden die späten 1980er und der Anfang der 1990er als eine Trockenperiode identifiziert. Laut der BOF und dem Niederschlag zeigt die Tendenz eher in die feuchte Richtung. Nach der KFZ weist die Entwicklung eher ins Trockenere. Die Ergebnisse sind also nicht eindeutig. In der *Vegetationsperiode I* wird von allen Indizes, bei denen sie berechnet wurde, durchgängig das Jahr 1988 als das trockenste bewertet. Bei allen Indizes war die Vegetationsperiode I im Durchschnitt trockener als die *Vegetationsperiode II*, außer bei der KFZ und der BOF. Letzteres liegt wahrscheinlich am Faktor des Bodenwassers. Im Boden ist noch Wasser verfügbar, welches in der Luft schon verdunstet ist. Das ist zumindest in der Vegetationsperiode I gut für das Pflanzenwachstum, was die Landwirtschaft und den Weinbau, sowie das Baumwachstum betrifft. Besonders die Zeiten nach der Anpflanzung und die letzten drei Wochen vor der Ernte sind trockenheitsanfällig (POTOP et al. 2012). So hängt es sehr von der Pflanzenart ab, wie sich der Bodenwasserhaushalt auf die Ernte auswirkt. Häufig liegt die Erntezeit im Monat August, der in die Vegetationsperiode II fällt. Wenn diese vom Bodenwasser her trockener wird, ist das wiederum schlechter für die Ernteerträge bestimmter Nutzpflanzen. Das trockenste Jahr der Vegetationsperiode II ist nicht eindeutig identifizierbar. Teilweise ist es 1991 (SPEI, KWB) oder 1975 (KFZ und Niederschlag) oder 1976 (BOF). Die Tendenzen der Entwicklung zeigen bei der Vegetationsperiode I, dass beim SPEI die Entwicklung eher in eine trockenere Richtung weist. Diese Aussage wird

ebenfalls gestützt von der KFZ und der BOF. Das bedeutet, dass gerade für die Landwirtschaft, den Weinbau und auch die Wälder bei Arten in den letzten Jahrzehnten die Bodentrockenheit, in besonders trockenheitsanfälligen Phasen des Pflanzenwachstums zugenommen hat. Der reine Niederschlag zeigt dagegen eine Tendenz in Richtung zunehmenden Niederschlag auf. Durch den Anstieg der Temperatur erhöht sich auch die Verdunstung und so kann es trotz erhöhtem Niederschlag zu größerer Trockenheit kommen. Die Vegetationsperiode II weist durch alle hierfür berechneten Indizes eine Entwicklungstendenz in Richtung höherer Feuchtigkeit auf.

6.1.2 Magdeburg

Für die Wetterstation Magdeburg liegen drei Indizes und die Parameter BOF und Niederschlag zur Auswertung vor. Nach der KWB (1961-2014) war 1989 das trockenste *Jahr*. Die Werte liegen insgesamt überwiegend im ariden Bereich (Abb. 13).

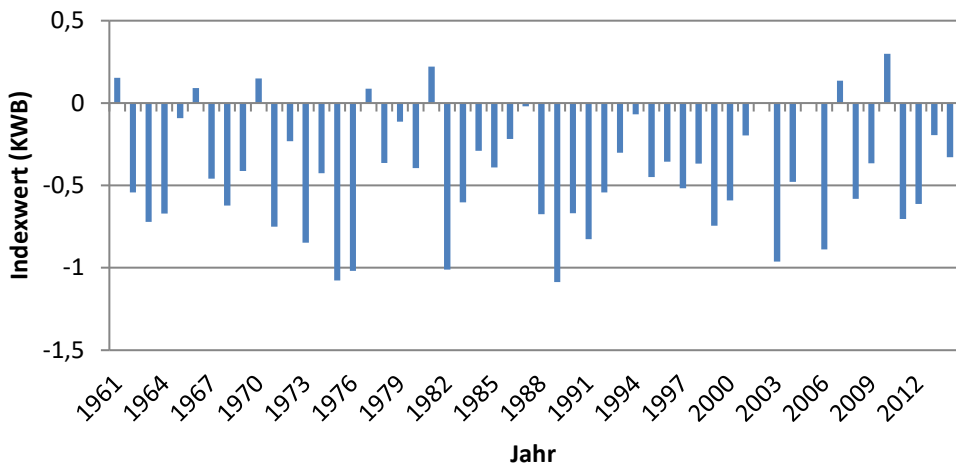


Abb. 13 Klimatische Wasserbilanz (KWB) (Jahr) von Magdeburg.

Fig. 13 Climatic water balance (KWB) (annual) of Magdeburg.

In der *Vegetationsperiode I* war 1976 das trockenste Jahr, in der *Vegetationsperiode II* 1975. Der lineare Trend der *Vegetationsperiode I* zeigt in die trockene, der der *Vegetationsperiode II* in die feuchte Richtung. Im Durchschnitt ist die *Vegetationsperiode I* etwas trockener als die *Vegetationsperiode II* (Abb. 14). Nach dem SPEI (1952-2015) war 1959 das trockenste *Jahr*. Der lineare Trend zeigt eine leichte Entwicklung Richtung zunehmender Trockenheit an. Als trockene Perioden können hier die erste Hälfte der 1970er Jahre und die auslaufenden 1980er Jahre ausgemacht werden. Die Regression 6. Grades zeigt ab 2011 ebenfalls eine Entwicklung zu mehr Trockenheit an. Jedoch war nach dieser von 2007 bis 2011 eher eine feuchtere Phase, welche davor seit 1966 im trockenen Bereich lag (Abb. 15).

Für die *Vegetationsperiode I* war 1976 das trockenste Jahr, für die *Vegetationsperiode II* war es 1975. Eventuell begann die trockene Periode um das Jahr 1976 bereits in der *Vegetationsperiode II* von 1975. Nach dem SPEI liegen beide *Vegetationsperioden* im Durchschnitt fast auf einem identischen Niveau der Trockenheit. Beide linearen Regressionen zeigen mit geringer Tendenz in die trockene Richtung. Nach der Regression 6. Grades weisen die *Vegetationsperioden* ab 1965 einen konträren Verlauf bezüglich ihrer Entwicklung bezogen auf die Trockenheit auf: Ab 2011 zeigt die Regression 6. Grades der *Vegetationsperiode I* in die trockene Richtung, die der *Vegetationsperiode II* in die feuchte (Abb. 16).

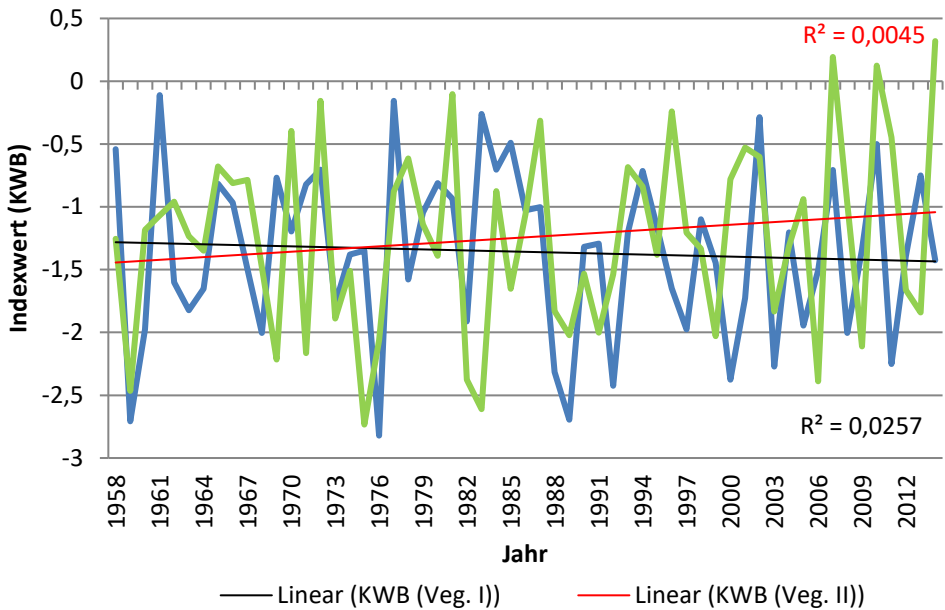


Abb. 14 Klimatische Wasserbilanz (KWB) (Vegetationsperioden) von Magdeburg (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Trendgeraden (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 14 Climatic water balance (KWB) (Vegetation Periods) of Magdeburg (blue line: vegetation period I; green line: vegetation period II) with linear regressions (R^2 = coefficient of determination).

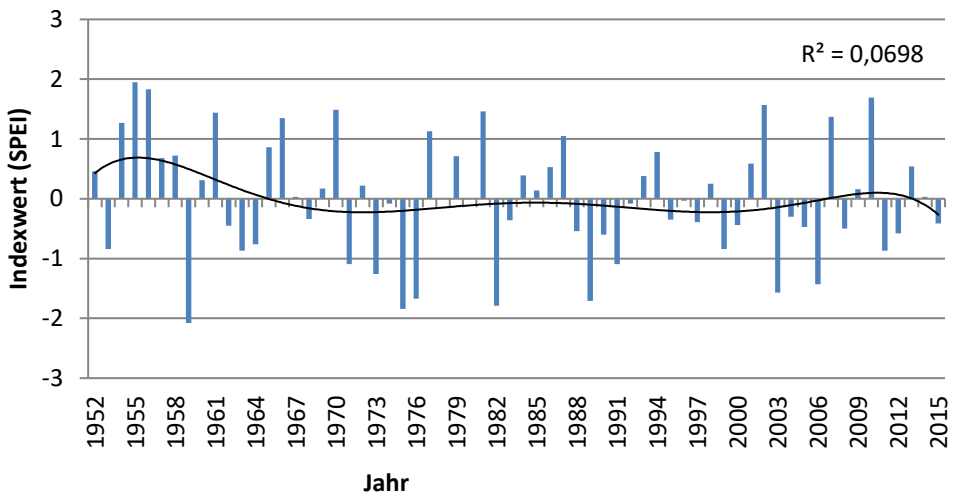


Abb. 15 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Jahr) von Magdeburg mit Regression 6. Grades (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 15 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (annual) of Magdeburg with regression 6. grades (R^2 = coefficient of determination).

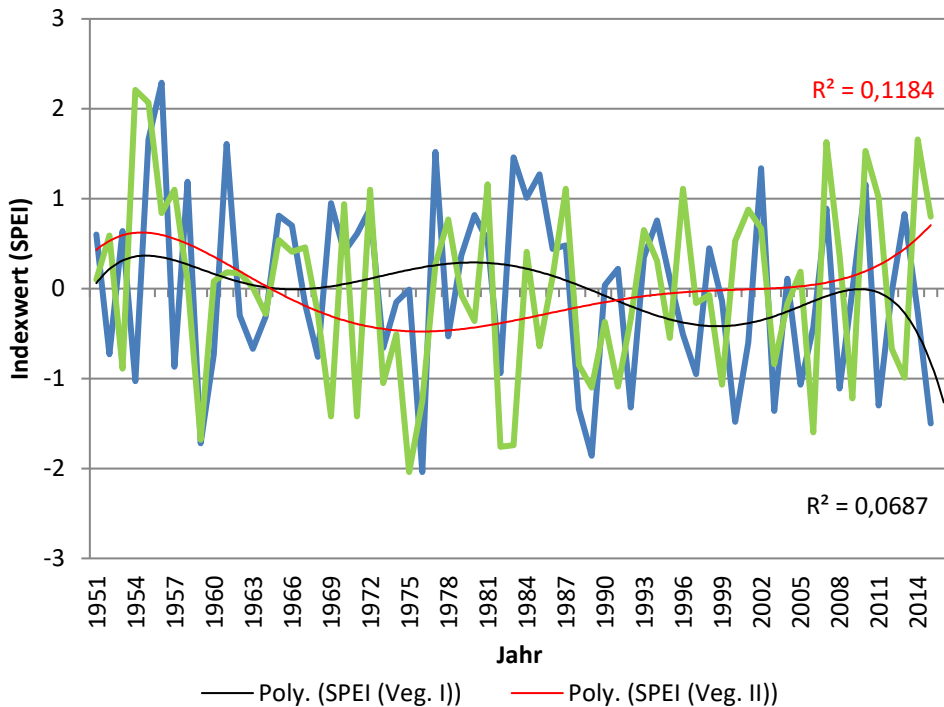


Abb. 16 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vegetationsperioden) von Magdeburg (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Regressionen 6. Grades (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 16 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vegetation Periods) Magdeburg Magdeburg (blue line: vegetation periode I; green line: vegetation periode II) with regressions 6. grades (R^2 = coefficient of determination).

Die KFZ (1955-2015) weist 1982 (neutral) als das trockenste *Jahr* aus. Das bedeutet, dass nach der KFZ auf Jahresebene gesehen, in keinem Jahr des Untersuchungszeitraumes Dürre herrschte. Die Jahre 1958 und 1959 fehlen hier. Die lineare Regression zeigt leicht in die trockene Richtung (Abb. 17). In der *Vegetationsperiode I* war ebenfalls 1976 das trockenste Jahr, in der *Vegetationsperiode II* wiederum 1975. Die Vegetationsperiode I wurde im Durchschnitt als feuchter eingeschätzt. Beide linearen Regressionen weisen in die trockene Richtung, wobei der der Vegetationsperiode I etwas stärker ausgeprägt ist. Beide Trends haben nur einen sehr geringen Wert des Bestimmtheitsmaßes (Abb. 18).

Die BOF (1961-2014) bestimmte 1976 als das trockenste *Jahr*. In den 1980ern bis Anfang der 1990er Jahre treten die trockeneren Kategorien gehäuft auf. Die lineare Regression deutet sehr leicht in die feuchte Richtung (Abb. 19). Das trockenste Jahr der *Vegetationsperiode I* war nach der BOF 2011, 1976 das der *Vegetationsperiode II*. Die Vegetationsperioden sind im Vergleich zur Jahresebene deutlich häufiger und überhaupt von Trockenstress betroffen. Im Durchschnitt ist hier die Vegetationsperiode II deutlich trockener als die erste. Der lineare Trend der Vegetationsperiode I zeigt in die trockene, der der zweiten in die feuchte Richtung (Abb. 20).

1975 war von 1955 bis 2015 das niederschlagsärmste *Jahr*. Die lineare Regression deutet leicht in die trockene Richtung, allerdings erklärt die Regression die Streuung der Werte hier wiederum nur in geringem Maße (vgl. Abb. 21). In der *Vegetationsperiode I* war 1976 und in der *Vegetationsperiode II* 1975 das tro-

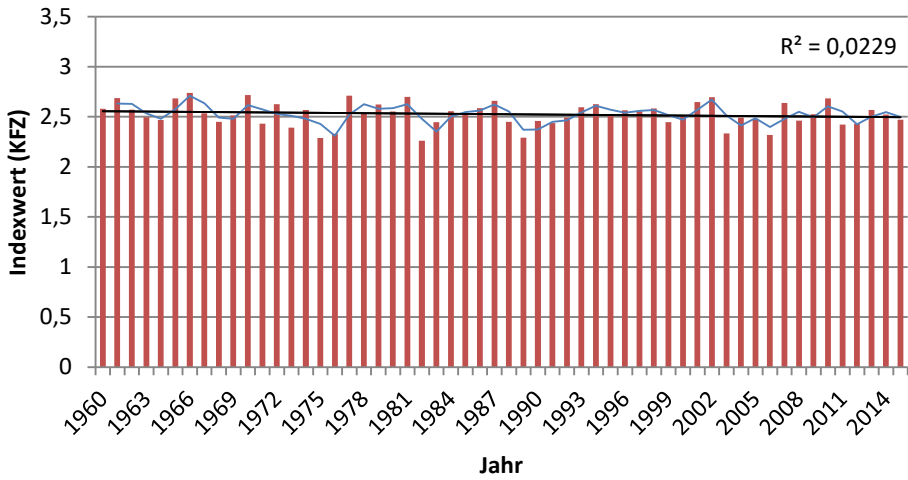


Abb. 17 Klimafeuchtezahl (KFZ) (Jahr) von Magdeburg mit gleitendem Mittel und Trendgerade ($R^2 =$ Bestimmtheitsmaß).

Fig. 17 ‘Klimafeuchtezahl’ (KFZ) (annual) of Magdeburg with running average and linear regression ($R^2 =$ coefficient of determination).

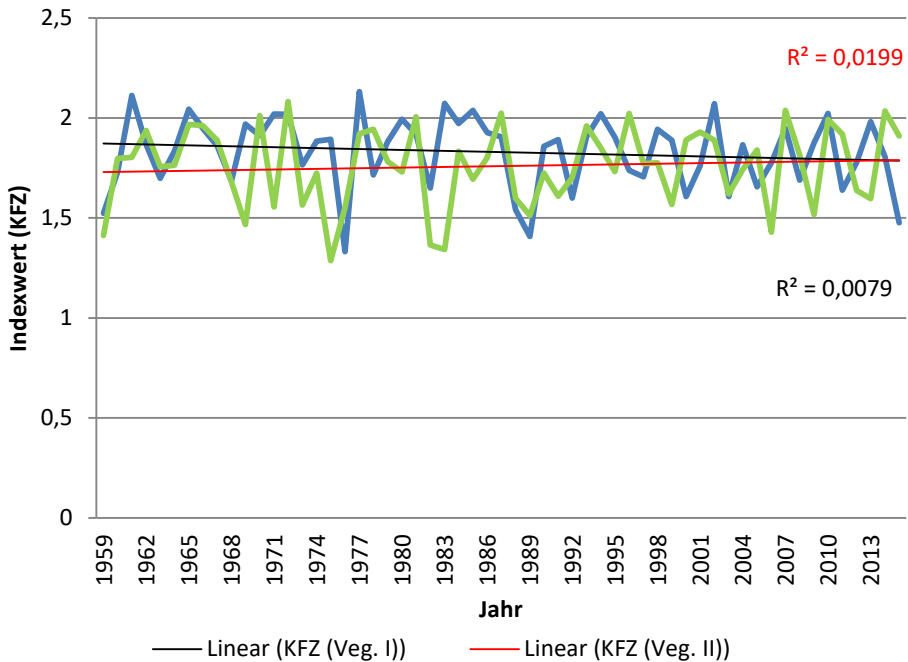


Abb. 18 Klimafeuchtezahl (KFZ) von Magdeburg (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Trendgeraden ($R^2 =$ Bestimmtheitsmaß).

Fig. 18 ‘Klimafeuchtezahl’ (KFZ) of Magdeburg (blue line: vegetation periode I; green line: vegetation periode II) with linear regressions ($R^2 =$ coefficient of determination).

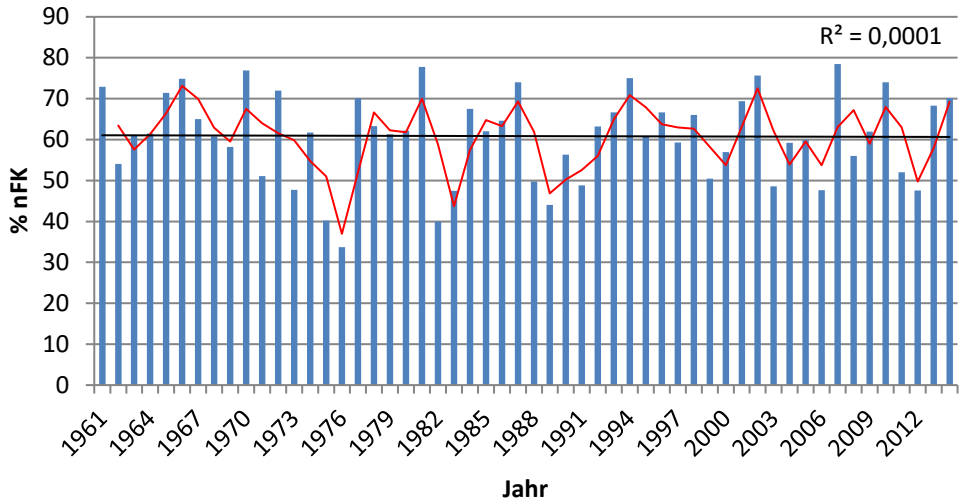


Abb. 19 Bodenfeuchte (Jahr) von Magdeburg in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) mit gleitendem Mittel und Trendgerade ($R^2 =$ Bestimmtheitsmaß).

Fig. 19 Soil Moisture (annual) of Magdeburg in percentages of usable field capacity (% nFK) with running average and linear regression ($R^2 =$ coefficient of determination).

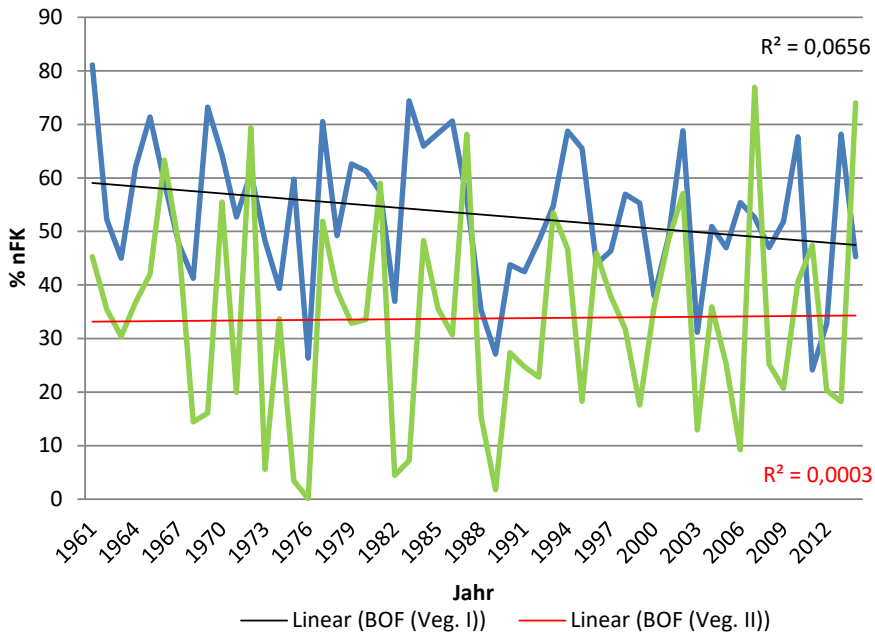


Abb. 20 Bodenfeuchte (Vegetationsperioden) von Magdeburg in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Trendgeraden ($R^2 =$ Bestimmtheitsmaß).

Fig. 20 Soil Moisture (annual) Magdeburg in percentage of usable field capacity (% nFK) (blue line: vegetation period I; green line: vegetation period II) with linear regressions ($R^2 =$ coefficient of determination).

ckenste Jahr. Im Durchschnitt war die Vegetationsperiode I niederschlagsärmer als die Vegetationsperiode II. Die linearen Regressionen verlaufen entgegengesetzt. Während die Vegetationsperiode I eine Tendenz zur Trockenheit aufweist, ist dies bei der Vegetationsperiode II genau umgekehrt (Abb. 22).

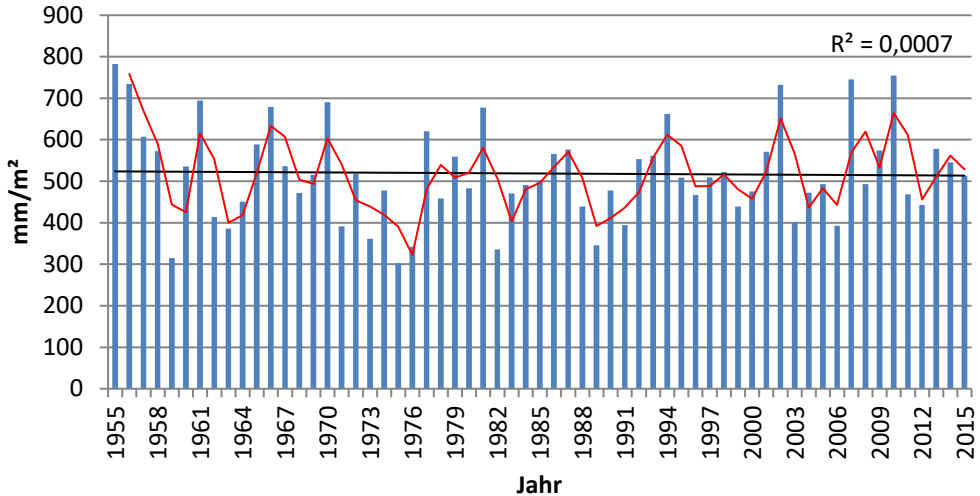


Abb. 21 Niederschlag (unkorrigiert) (Jahr) von Magdeburg in mm/m² mit gleitendem Mittel und Trendgerade ($R^2 =$ Bestimmtheitsmaß).

Fig. 21 Precipitation (uncorrected) (annual) Magdeburg in mm/m² with running average and linear regression ($R^2 =$ coefficient of determination).

Insgesamt erscheint für die Station Magdeburg auf Jahresebene ein vergleichsweise uneindeutiges Bild, was das trockenste *Jahr* betrifft: 1989 (KWB), 1959 (SPEI), 1975 (Niederschlag), 1976 (BOF) und 1982 (KFZ) traten als die trockensten Jahre auf. Ein Grund für die unterschiedlichen Identifikationen können die unterschiedlichen Längen der Datenreihen sein, sodass es oft gar nicht möglich war, evt. 1959 als das trockenste Jahr zu identifizieren. Interessant ist, dass der Niederschlag 1975 und die BOF 1976 als das trockenste Jahr anzeigt. Das spiegelt die Verzögerung, mit der die landwirtschaftliche Dürre einsetzt, wider. Allerdings weichen auch die KFZ und BOF, welche beide einen Bodenbezug aufweisen, voneinander ab. Bei den linearen Regressionen zeigen fast alle in Richtung zunehmender Trockenheit. Eine Ausnahme bildet, allerdings auch nur mit einer sehr schwach ausgeprägten Tendenz, die BOF. Als eine trockene Periode konnte der SPEI die erste Hälfte der 1970er Jahre sowie die auslaufenden 1980er identifizieren. Als trockenstes Jahr der *Vegetationsperiode I* wurde relativ einheitlich das Jahr 1976 (SPEI, KWB, KFZ, Niederschlag) ausgemacht. Nur die BOF weicht hiervon ab und zeigt 2011 an. Auch die linearen Regressionen zeigen in die trockene Richtung, was große Bedeutung für den Ackerbau, gerade in der Magdeburger Börde besitzt. Welche der beiden Vegetationsperioden durchschnittlich im Vergleich als trockener eingeschätzt wird, ist zwiespalten: Die KWB und der Niederschlag zeigen die Vegetationsperiode I an, die KFZ und die BOF dagegen die *Vegetationsperiode II*. Somit kann klar zwischen meteorologischer und landwirtschaftlicher Dürre unterschieden werden. Ebenso wird auch das zeitlich verzögerte Einsetzen der landwirtschaftlichen Dürre im Vergleich zur meteorologischen sichtbar. Für die Vegetationsperiode II wurde überwiegend 1975 als das trockenste Jahr identifiziert. Nur die BOF weicht auch hier mit 1976 davon ab. Daran können zwei Dinge festgestellt werden: Zum einen nochmals, dass landwirtschaftliche Dürre später einsetzt als meteorologische, und zum anderen, dass die Dürreperiode um 1976 in Magdeburg scheinbar bereits in der Vegetationsperiode II 1975 begann. Die Ergebnisse der Trendbetrachtung in der Vegetationsperiode II fallen nicht eindeutig aus. Beim SPEI zeigen sie, je nach Art der Regression, in

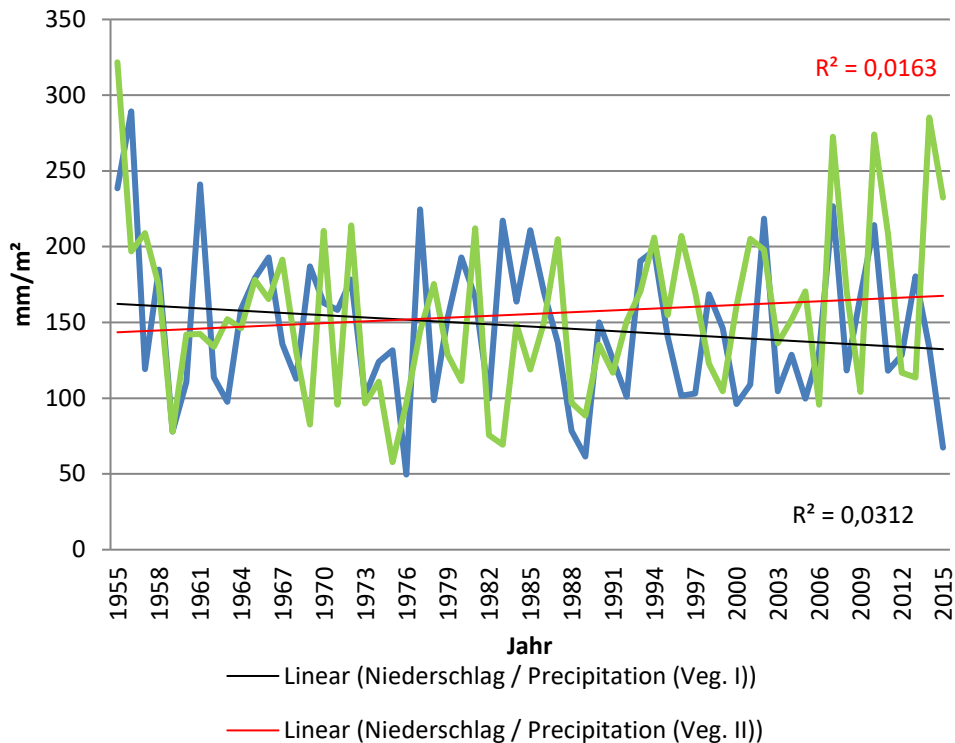


Abb. 22 Niederschlag (unkorrigiert) (Vegetationsperioden) von Magdeburg in mm/m² (blaue Linie: Vegetationsperiode I; grüne Linie: Vegetationsperiode II) mit Trendgeraden (R^2 = Bestimmtheitsmaß).

Fig. 22 Precipitation (uncorrected) (Vegetation Periods) of Magdeburg in mm/m² (blue line: vegetation period I; green line: vegetation period II) with linear regressions (R^2 = coefficient of determination).

verschiedene Richtungen. Daran wird deutlich, wie abhängig der Verlauf und die Richtung eines Trends von der gewählten Regression ist. Die KFZ und die BOF zeigen beide in die trockene Richtung, während der Niederschlag tendenziell zunimmt und auch die KWB in die feuchte Richtung weist. Daraus kann abgeleitet werden, dass die landwirtschaftliche Dürre tendenziell in der Vegetationsperiode II zugenommen hat. Währenddessen zeigt eine sehr leichte Tendenz den Rückgang meteorologischer Dürre auf. Zusammengefasst kann für den Ackerbau um Magdeburg festgehalten werden, dass die Tendenz im untersuchten Zeitraum sowohl in der ersten als auch in der Vegetationsperiode II sowie auf Jahresebene die Zunahme von Bodendürre anzeigt. Diese Erkenntnis ist gerade für die naheliegende Magdeburger Börde in ackerbaulicher Hinsicht von größter Bedeutung. Auf die meteorologische Dürre bezogen, kann keine eindeutige Zunahme von Dürre festgestellt werden und einige Tendenzen deuten sogar eine Entwicklung in die feuchte Richtung an.

6.2 Vergleich der Indizes und Parameter

In dem folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der einzelnen Indizes und Parameter, bezogen auf das gesamte Untersuchungsgebiet, miteinander verglichen. Zu beachten ist, dass der Vergleich unvollständig ist, da für jeden Index bzw. Parameter unterschiedlich viele Stationen und je Station verschieden lange Datenreihen vorliegen.

Als die durchschnittlich trockenste Station im Untersuchungsgebiet ist Artern zu nennen. Das liegt sicher auch daran, dass sie im Mitteldeutschen Trockengebiet liegt. Auch Leipzig-Schkeuditz wird vermehrt genannt. Hier lagen jedoch die Datenreihen häufig erst ab Anfang der 1970er Jahre vor (Ausnahme BOF ab 1961), sodass vor allem die jüngere Entwicklung zum Tragen kommt, was wiederum ein Hinweis auf die Zunahme von Trockenheit sein könnte. In Sachsen-Anhalt, dem Kernbereich des Untersuchungsgebietes, war Magdeburg die durchschnittlich trockenste Station. Das gilt überwiegend für die meteorologische Dürre, aber auch für die BOF, besitzt also große Relevanz für den Pflanzenbau.

Alle Indizes zeigen 2003 als ein trockenes Jahr an. Die Vergleichsgrößen BOF und Niederschlag weichen davon ab. Weitere sehr häufig als das trockenste Jahr klassifizierte Jahre waren 1959, 1976, 1982 und 1991. Es ergibt also ein ähnliches, aber durch die verschiedenen Indizes und Parameter wiederum verschieden gewichtetes Bild bezüglich der trockenen Jahre.

Wenn Trockenperioden ausgemacht werden könnten (hier auf Jahresebene), dann wird deutlich, dass der SPEI im Vergleich zur BOF mehr trockene Phasen identifiziert. Längere trockene Phasen, die bei vielen Indizes oder auch der BOF deutlich werden, gab es 1975 und 1976, Anfang der 1980er Jahre sowie von 1989 bis 1991 und sofern die Daten vorlagen 1959. Auffallend ist, dass von den meisten Indizes ab 2000 keine mehrjährigen trockenen Phasen mehr ausgemacht werden.

Der Niederschlag lässt auf Jahresebene kein eindeutiges Bild der Entwicklungstendenzen zu. Bei den Vegetationsperioden hat er in der ersten tendenziell abgenommen, in der zweiten zugenommen. Auf der Jahresebene zeigt sich hinsichtlich der Entwicklungstendenzen ein differenziertes Bild (Tab. 2, im Anhang). Die Bodendürre wird von der KFZ als zunehmend, von der BOF durchwachsen, bzw. mit einer leichten Tendenz zur Feuchtigkeit dargestellt. Bei den Indizes für die meteorologische Dürre und dem Niederschlag können über alle Stationen hinweg keine eindeutigen Richtungen der Tendenzen ausgemacht werden, es sind beide Richtungen mit ungefähr gleich vielen Stationen vorhanden.

Das Trockenheitsniveau der Vegetationsperioden wird unterschiedlich charakterisiert. So zeigen Indizes bzw. Parameter mit einem Bodenbezug an, dass die Vegetationsperiode II durchschnittlich trockener als die Vegetationsperiode I war. Die meteorologische Trockenheit war hingegen in der Vegetationsperiode I größer als in der Vegetationsperiode II. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Tatsache, dass die landwirtschaftliche Dürre zeitlich versetzt zur meteorologischen einsetzt. Generell scheint eine Verschiebung der bisherigen Trockenniveaus zwischen den Vegetationsperioden stattzufinden: Die Vegetationsperiode I war häufig durchschnittlich feuchter als die Vegetationsperiode II und wird nun trockener, während es sich bei der Vegetationsperiode II, wenn auch nicht ganz so eindeutig, andersherum verhält. Ausnahme bildet die KFZ. Diese zeigt ein uneindeutiges Bild in den Tendenzen der Stationen auf.

Auch wenn aus Kapazitätsgründen auf eine Transformation (Normalisierung der Indexwerte) der Indizes verzichtet wurde, durch die die Indizes eine gemeinsame Wertebasis erhalten hätten, können dennoch ein paar Aussagen zur unterschiedlichen Intensität der identifizierten Trockenheiten getroffen werden. Die KWB unterscheidet nur in arid und humid. So zeigt sie z. B. häufiger aride Zustände im untersuchten Zeitraum auf als humide. Nach der KFZ hingegen liegen die meisten Stationen durchschnittlich im neutralen bis semihumiden Bereich und es gibt nach ihr kaum Veränderungen im Untersuchungszeitraum hinsichtlich des Trockenheitsniveaus! Dadurch ergeben sich qualitativ verschiedene Aussagen. Ein Effekt durch die unterschiedliche Verwendung des Niederschlags (korrigiert und unkorrigiert) scheint in dieser Untersuchung vernachlässigbar zu sein. Ein solcher würde unter Umständen sichtbar werden, wenn die Indizes und Parameter normalisiert und somit qualitativ vergleichbarer würden.

7 Diskussion

Da aus verschiedenen Gründen keine Signifikanztests bei den Trends durchgeführt wurden (vgl. Kap. 3) und zudem die Trends eher einen geringen Anstieg oder Abfall aufweisen, wird hier noch einmal darauf hingewiesen, dass hier von Tendenzen und nicht von Trends die Rede ist.

Die Gesamtergebnisse zeigen, dass es an der Wetterstation Artern am trockensten, am Brocken am feuchtesten war. An den untersuchten Stationen in Sachsen-Anhalt war es im Vergleich zu den außerhalb dieses Bundeslandes untersuchten weniger trocken (Tab. 2, im Anhang). Trotzdem ist der Effekt der Lage im Mitteldeutschen Trockengebiet erkennbar (Artern, Halle, Magdeburg). Häufig identifizierte trockene Perioden (länger als ein Jahr) sind die 1950er Jahre (sofern die Daten hierfür vorlagen), 1975 und 1976, Anfang und Ende der 1980er, sowie Anfang der 1990er, seltener 2003 bis 2008. Sehr trockene Jahre waren 1959, 1976 und 2003. Auf Jahresebene gibt es keine eindeutige Richtung einer Entwicklungstendenz bezüglich der Trockenheit.

In den Vegetationsperioden gibt es in der ersten eine klare Tendenz zur zunehmenden Trockenheit, während es bei der zweiten nicht ganz so eindeutig ist und hier häufig der Effekt beobachtet werden kann, dass die landwirtschaftliche Dürre zunimmt und die meteorologische Dürre abnimmt. Die zunehmende landwirtschaftliche Dürre in der Vegetationsperiode II ist wahrscheinlich auf die Gesamtzunahme der Trockenheit in der Vegetationsperiode I zurückzuführen. Die Vegetationsperioden sind im Durchschnitt trockener als der Jahresdurchschnitt und zeigen vor allem eine deutliche Entwicklung hin zur zunehmenden Trockenheit (Tab. 2, im Anhang). Das bedeutet, gerade in der Wachstumszeit und Erntezeit vieler Kulturpflanzen bestehen trockenere Verhältnisse und sie scheinen zuzunehmen. Eine Dürrebetrachtung auf Jahresebene hinsichtlich dieser Ergebnisse erscheint nicht sehr sinnvoll. Die landwirtschaftliche Dürre setzt verzögert zur meteorologischen Dürre ein, was Auswirkungen auf die identifizierten Trockenphasen aber auch die Einschätzung des Trockenheitsniveaus der Vegetationsperioden untereinander hat und je nach Anwendungsbereich beachtet werden sollte. Tendenziell hat die landwirtschaftliche Dürre im Untersuchungsgebiet stärker zugenommen als die meteorologische. Beim Niederschlag ist die Entwicklung nicht eindeutig. Räumlich betrachtet, hat sich auf den ersten Blick nur das Mitteldeutsche Trockengebiet abgezeichnet. Um differenziertere Aussagen treffen zu können, müssten noch mehr Faktoren hinzugezogen werden, z.B. sollte eine höhere Stationsdichte erreicht werden.

Diese Ergebnisse sind vor allem für den Anbau von Pflanzen relevant. Natürlich sind das nur punktuelle Untersuchungen, jedoch weisen diese auf Tendenzen hin und können je nach Kulturart und individuellem Standort und Bodentyp weitere Maßnahmen (z.B. Sortenanpassung, Fruchtfolge (hohe Wassernutzungseffizienz, wärmeliebende Kulturen, dauerhafte Nutzungssysteme mit trockenstresstoleranten Gräsern oder tiefwurzeln, schnellwachsende Baumarten), Aussaatzeitpunkt, Bewässerung (z.B. Pflanzenbedarfsbewässerung (z.B. Tröpfchenbewässerung), Ausbau von Linear- oder Kreisberegnungssystemen bei großen Betriebsflächen (ab 25 ha), Änderung der Bodenbearbeitungsform (z.B. dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung (Erosionsschutz) bis zur Direktsaat), Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten etc.) nach sich ziehen. Durch die punktuelle Zunahme von Dürre (vor allem landwirtschaftlicher Dürre) kann auch vermehrt Bodenerosion auftreten, was wiederum weitere Folgen für den Anbau von Kulturpflanzen mit sich bringt. Ebenso können vermehrt Feldbrände auftreten. Es können aber auch positive Folgen auftreten, sodass sich z.B. das Anbaugbiet bestimmter Kulturpflanzen (z.B. Reben) Richtung Norden verschiebt und sich somit potenziell erweitert. Ebenso steigt durch die Veränderungen hinsichtlich der Trockenheit unter Umständen die Anbaueignung zusätzlicher Nutzpflanzen (z.B. Reben) im Untersuchungsgebiet an und es können auch Ertragssteigerungen stattfinden. Auch das Waldökosystem ist von den Veränderungen hinsichtlich der Trockenheit betroffen. Negative Auswirkungen können hier z.B. mit der Wahl der Nutzbäume in Wäldern bzw. gezielter Schädlingsbekämpfung (z.B. Borkenkäfer, Kiefernspinner, Nonnenfraß) positiv beeinflusst werden. Entsprechende Vorsorge kann Waldbränden vorbeugen.

8 Fazit und Ausblick

Die Richtung der Entwicklung bezüglich der Dürre im Allgemeinen auf Jahresebene ist nicht eindeutig. Dagegen hat die Trockenheit im Untersuchungsgebiet in der Vegetationsperiode I zugenommen, während die meteorologische Trockenheit in der Vegetationsperiode II häufig zurückgegangen und die landwirtschaftliche Dürre angestiegen ist. Das ist besonders für den Pflanzenbau von Bedeutung. Somit kann die eingangs gestellte These verifiziert werden, dass besonders die Trockenheit, die für den Anbau von jegli-

chen Pflanzen (auch Bäumen und Reben) relevant ist, zugenommen hat. Die Eignung von Kulturpflanzen bezogen auf den jeweiligen Standort sowie eventuell zusätzliche Bewässerungen oder die Art der Bodenbearbeitung muss überprüft werden. Bestimmte Schädlings- bzw. Krankheitsbekämpfungsmaßnahmen sollten gegebenenfalls ausgebaut werden.

Ebenso sind wichtige Ergebnisse dieser Untersuchung, dass nicht nur der SPEI nun auf verschiedenen Zeitskalen für das Untersuchungsgebiet vorliegt, sondern auch die KFZ auf Jahres-, Tages- und Vegetationsperiodenbasis für teilweise über 60 Jahre für das Untersuchungsgebiet erstmalig zur Verfügung steht.

Aus dieser Untersuchung haben sich für die Autorin folgende weitere Forschungsfragen bzw. sinnvoll erscheinende Ansätze oder Details für weitere Forschungsarbeiten und praktische Untersuchungen ergeben: Zum einen könnte eine Transformation der Indizes auf eine gemeinsame Wertebasis die Vergleichbarkeit hinsichtlich ihrer qualitativen Aussagen erhöhen (Intensität der Dürren). Zum anderen ist eine erweiterte Betrachtung von Zeitskalen (Tage, Monate) denkbar, um bessere Aussagen über die Dauer von Dürren treffen zu können. Weiterhin können die Verteilungsfunktionen der jeweiligen Indizes noch optimaler angepasst werden, um deren genauen Verlauf noch besser erfassen zu können. Auch die Durchführung von Signifikanztests bei diesen neuen Funktionen wäre sinnvoll. Damit könnten genauere Aussagen über zwei der Dimensionen (Intensität, Dauer) von Dürre getroffen werden.

Eine feinere Auswertung und damit speziellere Aussagen wären auch durch eine stufenweise Auswertung der Indizes möglich.

Ebenso wäre die Verwendung der jeweiligen phänologischen Vegetationsperioden anstatt der hier verwandten generalisierten festgelegten Zeitabschnitten eine Optimierung.

Bezogen auf die KFZ liegt durch diese Untersuchung nun eine sehr gute Datengrundlage vor, welche weiter genutzt werden kann: Da die KFZ relativ lückenlos sowohl auf Tages- und Vegetationsperioden-, als auch Jahresebene vorliegt, wäre die Schaffung von Bewertungsklassen auf eben diesen genannten Zeitebenen sehr sinnvoll. Des Weiteren erscheint eine Berechnung der KFZ mit sämtlichen vorherrschenden nFK-Werten einer Region sehr vielversprechend zu sein, da dadurch zumindest eine teilweise flächenhafte Aussage zur landwirtschaftlichen Dürre möglich wäre.

Eine wichtige Frage ist, inwieweit die jeweiligen Dürreindizes die Auswirkungen der Dürre vor allem hinsichtlich des Pflanzenbaus tatsächlich erfassen. Dazu wäre ein Vergleich der Aussagen der Dürreindizes mit Ernteerträgen sowie mit den Aussagen zur Verfassung der Vegetation beispielsweise durch den fernerkundlichen Vegetationsindex NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sinnvoll. Es könnten auch die Verdunstungsansätze auf eine andere Vegetationsart bezogen werden, was genauere Aussagen zu den angebauten Kulturpflanzen zuließe.

Weiterhin wäre ein größeres Untersuchungszeitfenster interessant, um Trendentwicklungen langzeitlicher, und auch mit den eher trockenen 1950er Jahren in Bezug gesetzt, betrachten zu können. Dies kann für bestimmte Stationen (z.B. Halle) mit zusätzlichen Daten, durchgeführt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass das Thema der Bewertung von Dürre und damit die Bereitstellung verwertbarer Informationen für adäquate Anpassungsstrategien bezogen auf viele Anwendungsgebiete nicht nur sehr aktuell ist, sondern nach aller Voraussicht zunehmend relevanter werden wird.

9 Zusammenfassung

MARUSCHKE, J. -M.: Erfassung und Bewertung von Dürren in Sachsen-Anhalt (1951-2015) mittels verschiedener Indikatoren bzw. Parameter bezogen auf ausgewählte Anwendungsbereiche. - *Hercynia N. F.* 51/1 (2018): 30 – 57.

Für den Anbau jeglicher Pflanzenarten besitzt eine Dürreanalyse große Wichtigkeit. Im Untersuchungsgebiet von Sachsen-Anhalt wurden im Zeitraum von 1951 bis 2015 Dürren analysiert. Eine Art, Dürren zu

erfassen und auszuwerten, erfolgt mittels Dürreindizes, hier unter anderem durch die Klimafeuchtezahl (KFZ). Die Untersuchung kann auf drei Hauptergebnisse heruntergebrochen werden: Auf der Jahresebene ist keine eindeutige Richtung der Entwicklung von Dürre auszumachen. Dagegen ist in der Vegetationsperiode I (April bis Juni) eine eindeutige Tendenz zur Zunahme von Trockenheit zu erkennen, während sich die Tendenz in der Vegetationsperiode II (Juli bis September) zweiseitig darstellt: Es zeigt sich oft ein Rückgang der meteorologischen Dürre, aber ein Anstieg der Bodendürre.

Diese Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die landwirtschaftliche Dürre, welche für den Anbau von Pflanzen inkl. Bäumen relevant ist, ansteigt.

Daraus ergibt sich gerade für Sachsen-Anhalt mit seiner starken Verbindung zum Ackerbau die Relevanz der Anpassung der Pflanzen an zunehmend trockenere Situationen sowie die Bekämpfung von Trockenheitsschädlingen und -krankheiten und die Überprüfung von Bodenbearbeitungsarten und Bewässerungssystemen. Andererseits erwachsen aus der veränderten Trockenheitssituation auch Vorteile wie z.B. die Vergrößerung von potentiellen Anbaugebieten und die Ertrags- und Anbaufähigkeit von (zusätzlichen) Pflanzensorten (z.B. Reben).

10 Danksagung

Ganz besonders möchte ich Professor Manfred Frühauf vom Institut für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die wegweisende Idee zu dieser Arbeit, für seine Unterstützung durch Hinweise und das Bereitstellen wichtiger Kontakte sowie der Hilfe bei konzeptionellen Fragen danken. Mein Dank gilt weiterhin allen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und Systemadministratoren von Instituten oder Ämtern sowie Freundinnen und Freunden und der Familie für persönliche Unterstützung, das Bereitstellen von Daten und die fachlichen Informationen.

11 Literatur

- BERNHOFER, C.; HÄNSEL, S.; SCHALLER, A.; PLUNTKE, T. (2015): Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit Untersuchungen zur Erfassung und Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit. - Schr.R. Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie Sachsen (LfULG), 7/2015. - Dresden.
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/24200>.
- BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2012): Naturräumliche Gliederung nach Meynen/Schmithüsen, Maßstab: 1: 1.000.000, (Shape-File). - Bonn.
- BKG - BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2011): Verwaltungsgrenzen Deutschland (De, Länder, Rgbz, Kreise), Maßstab: 1: 2500 (Shape-File). Frankfurt am Main.
<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=ae25571c60d94ce5b7fcbf74e27c00e0>.
- BÖTTCHER, F. (2016/2017): E-Mails vom 26.08.2016, 28.02.2017, 28.04.2017. - Abteilung Agrarmeteorologie, Deutscher Wetterdienst (DWD) Leipzig..
- DÖRING, J. (2016): E-Mail vom 24.11.2016. - Inst. f. Agrar- u. Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg (MLU).
- DÖRING, S. (2011): Vergleich von Trockenheitsindizes zur Nutzung in der Landwirtschaft unter den klimatischen Bedingungen Mitteldeutschlands. - Dipl.arb., Univ. Halle-Wittenberg.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2017): Leistungen - Klimadatendeutschland - Stationslexikon.
http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/statliste/statlex_html.html?view=nasPublication&nn=16102.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (o.J.): Wetterlexikon - Dürre.
<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100578&lv3=603288>.
- HÄNSEL, S., RUMPF, D., MEISSNER, S., MATSCHULLAT, J. (im Druck): Flächenhafte Trockenheit und Monitoringkonzept - Flächenhafte Trockenheitsanalyse und Konzepterstellung für die impaktororientierte Erfassung und Charakterisierung von Trockenheit für den Freistaat Sachsen. - Schr.R. Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie Sachsen (LfULG), Heft XX/XXXX.

- HELBIG, H. (2016): E-Mail vom 07.11.2016. - Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB).
- KLÜTER, H. (2015): Die Landwirtschaft in Sachsen im Vergleich mit anderen Bundesländern. - Endbericht.
https://www.gruene-fraktion_sachsen.de/fileadmin/user_upload/Studien/Landwirtschaftsstudie_web_2015-01.pdf.
- KÜHN, D. (2016): E-Mail vom 28.11.2016. - Landesamt für Bergbau, Energie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR).
- LAGB - LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESEN SACHSEN-ANHALT (2016): Thematische Bodenkarten 1:50.000 von Sachsen-Anhalt, Maßstab: 1:50.000, (Shape-File).
- LBGR BRANDENBURG – LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG (o.J): Boden Ableitungen, Maßstab: 1:50.000. <http://www.geo.brandenburg.de/boden>.
- MÜLLER, A. (o.J.): Geologie & Natur in Mitteldeutschland - Mitteldeutsches Trockengebiet.
<http://www.geologie-natur-mitteldeutschland.de/naturraum-mitteldeutschland/trockengebiet>.
- MÜLLER, J., BÖTTCHER, F., SCHMIDT, M. (2008): Bestimmung bodenabhängiger Klimfeuchtezahlen für verschiedene Standorte in den mittleren und nordöstlichen Regionen Deutschlands. - *Hercynia N. F.* 41: 189–200.
- POTOP, V., MONÝ, M., SOUKUP, J. (2012): Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. - *Agricultural and forest meteorology* 156: 121–133
- RUMPF, D. (2016): E-Mail vom 05.10.2016. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (LfULG).
- SMUL - SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (o.J): Auswertekarten Bodenschutz 1:50.000, Maßstab 1:50.000.
<https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/26192.htm>.
- SPEKAT, A., EINFALT, T., JACKISCH, A. (2016): Klimaaanalyse Sachsen-Anhalt für den Zeitraum 1951 – 2014 auf Basis von Beobachtungsdaten. - Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anh., 1/2016, Halle.
- STAGGE, J. H., KINGSTON, D. G., TALLAKSEN, L. M., HANNAH, D. M. (2017): Observed drought indices show increasing divergence across Europe. - *Sci. Reports* 7: 140–145.
- STAGGE, J. H., KOHN, I., TALLAKSEN, L. M., STAHL, K. (2015): Modelling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. - *J. Hydrology* 530: 37–50.
- STALA - STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (2015): 25 Jahre Sachsen-Anhalt Landwirtschaft. https://www.statistik.sachsen-anhalt.de/Internet/Home/Veroeffentlichungen/Faltblaetter/25-Jahre-Sachsen-Anhalt_Landwirtschaft/Landwirtschaft.pdf.
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERIA, S., LOPEZ-MORENO, J. I. (2010): A multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. - *J. Climate* 23: 1696–1718.
- WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H. [Hg.](1985): Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. - Elsevier Sequoia: *Water International* 103: 111–120.

Manuskript angenommen: 19. Juni 2018

Anschrift der Autorin:

MSc Geographie Judith-Maria Maruschke
Gützkower Landstraße 8H, 17489 Greifswald
E-Mail: judith.maruschke@gmx.de

Tab. 2 Stationsweise Zusammenfassung der Ergebnisse.

Table 2 Summary of results per weather station.

Station	Artern	Braunlage	Braunschweig	Brocken	Gardelogen	Gera-Leumnitz	Halle	Leipzig-Schkeuditz	Lüchow	Magdeburg	Neuruppin	Seehausen	Wittenberg
Jahresebene	keine eindeutige Tendenz		trockene Tendenz (meteorolog)	feuchte Tendenz	trockene Tendenz	keine eindeutige Tendenz (meteorolog)	feuchte Tendenz	feuchte Tendenz (landwirtschaftl.)	feuchte Tendenz (meteorolog)	trockene Tendenz (außer BOF)	keine eindeutige Tendenz		trockene Tendenz
Vegetationsperiode I	trockene Tendenz, v. a. Bodentürr		trockene Tendenz (meteorolog)	trockene Tendenz	trockene Tendenz	trockene Tendenz (meteorolog)	trockene Tendenz	feuchte Tendenz, außer BOF!	trockene Tendenz (meteorolog)	trockene Tendenz	trockene Tendenz		trockene Tendenz
Vegetationsperiode II	feuchte Tendenz	trockene Tendenz (meteorolog)	feuchte Tendenz (meteorolog)	zweigeteilt: feuchte Tendenz (meteorolog), trockene Tendenz (landwirtschaftl.)	zweigeteilt: feuchte Tendenz (meteorolog), trockene Tendenz (landwirtschaftl.)	feuchte Tendenz (meteorolog)	feuchte Tendenz	feuchte Tendenz (landwirtschaftl.)	feuchte Tendenz (meteorolog)	zweigeteilt: feuchte Tendenz (meteorolog), trockene Tendenz (landwirtschaftl.)	feuchte Tendenz		keine eindeutige Tendenz, auch nicht zwischen den Dürrarten
Impakgebiete	Pflanzenbau, Wald	Wald	Pflanzenbau, Wald	Wald	Pflanzenbau, Wald	Pflanzenbau, Wald	Pflanzenbau, Wald	Pflanzenbau	Pflanzenbau, Wald	Pflanzenbau	Pflanzenbau, Wald	Pflanzenbau, Wald	Pflanzenbau, Weinbau, Wald