

Erfassung und Abschätzung von Trockenheitsmerkmalen in Sachsen

"Erarbeitung von Optionen zur Erfassung und Abschätzung der zeitlichen
Entwicklung von Trockenheitsmerkmalen für sich ändernde
Klimabedingungen im Freistaat Sachsen"

Kurzfassung

Pluntke, T., Matschullat, J., Bernhofer, C,

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	2
2	ANALYSEN.....	3
3	KONZEPT	5
4	DISCLAIMER	11
5	LITERATUR	11

1 Einleitung

Die zwei vergangenen Sommerhalbjahre (2018 und 2019) wiesen ein hohes Niederschlagsdefizit, sowie teilweise extrem hohe Temperaturen und hohe Verdunstungsraten auf. Das führte zu ausgedehnten Dürreperioden, die sich deutschland- und sachsenweit auf viele Bereiche der Gesellschaft ausgewirkt haben: Ernteeinbußen in der Landwirtschaft, Forstschäden durch Trockenheit, Waldbrände und Schädlinge, sinkende Oberflächen- und Grundwasserstände, ökologische Schäden, Einschränkungen beim Schiffsverkehr und industrieller Kühlung etc.

Auch schon in den Jahren 1963, 1976, 1983 und 1991 waren große Teile Sachsens von langanhaltenden, starken Trockenperioden betroffen. Somit kann sich das aktuelle Geschehen noch im Rahmen der natürlichen Variabilität des Klimas bewegen. Doch macht der aktuelle Klimawandel solche sommerlichen Dürren wahrscheinlicher. Dafür sprechen die steigenden Temperaturen der letzten Jahrzehnte, die über eine erhöhte Verdunstung Trockenheitsphasen begünstigen und die beobachtete Umverteilung der Niederschläge. Insbesondere die Vegetationsperiode I, die von April bis Juni reicht, ist durch abnehmende Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Hinzu kommt, dass die Klimaprojektionen für Sachsen (BERNHOFER et al. 2016) auf ansteigende Temperaturen, trockenere Sommer und feuchtere Winter und somit auf eine sommerliche Verschärfung der Trockenheitsproblematik hinweisen.

Um Auswirkungen von Trockenphasen abzumildern, sind Anpassungsmaßnahmen in vielen gesellschaftlichen Bereichen nötig. Dies betrifft nahezu alle Bereiche, doch besonders den Waldumbau in der Forstwirtschaft, das landwirtschaftliche Management und die Wasserbewirtschaftung, aber auch die Hitzevorsorge vor allem bei empfindlichen Menschen. Zur Planung solcher Maßnahmen sind regionalspezifische Kenntnisse der Charakteristika von Trockenphasen nötig. Das LfULG hat seit mehreren Jahren Untersuchungen durchführen lassen, um i) die sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen zu analysieren, ii) die Möglichkeiten der Beschreibung von Trockenphasen mittels meteorologischer, hydrologischer, fernerkundlicher und anderer Kennwerte zu recherchieren, iii) flächenhafte Trockenheitscharakteristika zu analysieren und iv) ein Konzept für ein operationelles Dürremonitoring zu erstellen.

Ziel dieses Projekts war es, die bisherigen Untersuchungen zusammenzufassen, durch stationsweise meteorologische Analysen zu ergänzen und mittels externer Daten zu verifizieren, die Öffentlichkeit für das Thema Trockenheit zu sensibilisieren und letztendlich ein umsetzungsfähiges Konzept zur Erfassung, Abschätzung und Darstellung von Trockenheitsmerkmalen unter sich ändernden Klimabedingungen zu erstellen. Hierbei geht es um einen rein klimatologischen Betrachtungsansatz, um Bedingungen zu analysieren, die eine Ausbildung von Trockenheitssituationen begünstigen. Erst im Zusammenspiel mit den lokalen Charakteristika eines Standorts, wie Boden, Landnutzung, Geologie etc. entscheidet sich, ob und in welcher Intensität sich die atmosphärische Trockenheit auf das Bodenwasser, Oberflächen- und Grundwasser auswirkt und somit relevant für die Gesellschaft oder die Umwelt ist. Dieser nicht-klimatologische Aspekt der Trockenheit wird hier nicht betrachtet.

Im Folgenden wird kurz auf die Ergebnisse der Trockenheitsanalysen eingegangen und anschließend das Konzept erläutert.

2 Analysen

In der für Wirkungszeitskalen von 1, 3, 6, 9, 12 und 24 Monaten vorgenommenen flächenhaften Analyse von Trockenheit für den Freistaat Sachsen zeigen sich starke Ähnlichkeiten in den räumlichen Auftretismustern von Trockenheit für die Trockenheitsindizes SPI (standardisierter Niederschlag) und SPEI (standardisierte Wasserbilanz). Ab den 1990er Jahren führen die stark ansteigenden Lufttemperaturen und somit höheren Verdunstungsraten zu einem Auseinanderdriften der Indexwerte; so werden Trockenphasen mittels SPEI als schwerwiegender und die Nassphasen als weniger intensiv bewertet als mittels SPI, was die Beobachtungen besser wiedergibt. Insbesondere ist ein Trend zu trockeneren Bedingungen im Frühjahr bzw. der ersten Vegetationsperiode sowie zu nasserem Bedingungen während des Sommers und der zweiten Vegetationsperiode (siehe Abbildung 1) zu beobachten. Dies bestätigt Ergebnisse vorangegangener regionaler Untersuchungen.

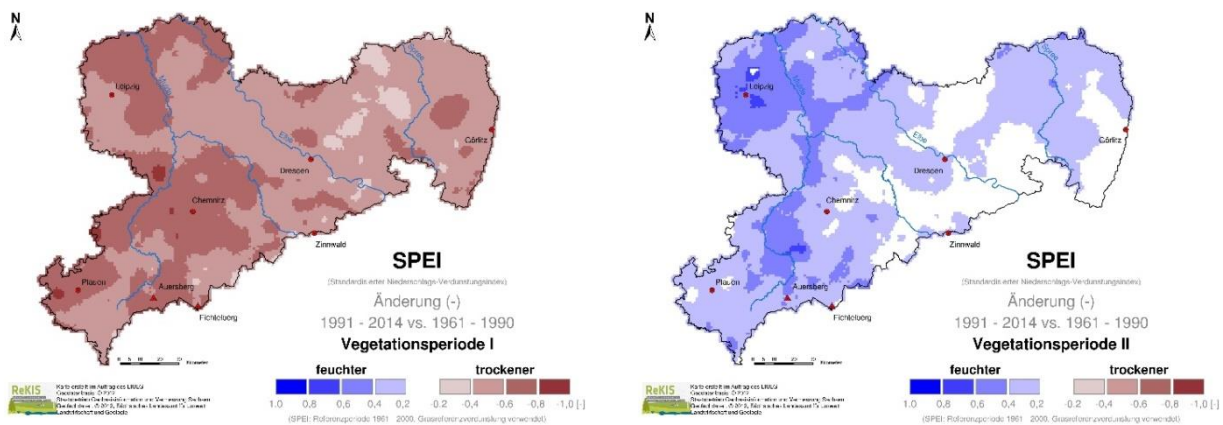


Abbildung 1: Zeitscheibenvergleich 1991–2014 vs. 1961–1990 für den SPEI für die VP I und II.

Die mittlere Dauer von Trockenperioden hat im Analysezeitraum 1961–2014 auf allen Wirkungszeitskalen abgenommen – insbesondere auf den langen. Starke Trockenphasen – vor allem auf den kurzen Zeitskalen – sind auch nach 1990 noch mehrfach aufgetreten. Dazu passt die Beobachtung eines deutlichen Rückgangs in Intensität und räumlicher Ausdehnung von Trockenperioden. Auch räumliche Verschiebungen sind von Bedeutung: in den letzten Jahren ist häufig der Nordosten Sachsens von Trockenheit betroffen. Lediglich in der Vegetationsperiode I kam es zu einer Verschärfung von Trockenperioden. Zur Einordnung in das aktuelle Geschehen, sei an dieser Stelle auf Abbildung 3 verweisen, die verdeutlicht, dass sich Dürreperioden seit 2015 wieder häufen.

Die Frage nach der Aussagekraft der meteorologischen Trockenkennwerte für Land-, Forst- und Wasserwirtschaft wurde mit bereitgestellten Impaktdaten untersucht. Für den SPI und SPEI wurden sensitive Wirkungszeitskalen bestimmt: So reagieren einige landwirtschaftliche Kulturen auf 1–3-monatige Trockenphasen in der VP I oder der VP II. Häufigkeit und betroffene Fläche von Waldbränden stehen in engem Zusammenhang mit dem SPI der Wirkungszeitskalen von einem bis 12 Monaten. Forstliche Trockenschäden korrelieren tendenziell mit kurzfristigen Wasserdefiziten im Oberboden. Eindeutige Zusammenhänge zwischen Trockenheit (Wirkungszeitskala sechs Monate) und den von Forstschädlingen befallenen Holzmengen sind bei Kupferstecher und Buchdrucker festzustellen. Die Wasserbilanz der letzten drei bis sechs Monate zeigt die stärksten Zusammenhänge zu Abflüssen. Das Grundwasser besitzt ein „längeres Gedächtnis“. Dies zeigt sich in engen Korrelationen zu den längeren Wirkungszeitskalen der Trockenkennwerte (6–24 Monate).

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Bodentrockenheit. Der Bodenfeuchteindex SMI steht für eine normierte Anomalie von mittleren Bodenfeuchten. Bei Unterschreiten bestimmter Schwellwerte gilt dies als ein Maß für die Bodentrockenheit. Der SMI ist Grundlage für den Dürremonitor Deutschland und ist von hoher praktischer Bedeutung für Anwender, z.B. für Land- und Forstwirte. Für Sachsen wurden statistische Untersuchungen der Zeitreihe 1951–2017 durchgeführt, um zeitliche und räumliche Trends in den Charakteristika der Bodentrockenheiten zu identifizieren und die meteorologischen Trockenkennwerte zu verifizieren. In der aktuellen Periode 1991–2017 fallen Regionen im Nordosten, Norden und Südwesten mit erhöhten Häufigkeiten von Bodentrockenheit im Gesamtboden (ca. 1,8 m) gegenüber 1961–1990 auf. Im Oberboden (0,25 m) kann eine starke Zunahme von Bodendürren im Frühling, und hier insbesondere in der VP I festgestellt werden, sowie eine Abnahme in den übrigen Jahreszeiten. Bei langanhaltenden Bodendürren (4–24 Monate) findet eine regionale Umverteilung von leichten und mittleren Dürren im Gesamtboden statt, mit einem neuen regionalen Dürreschwerpunkt im Osten bzw. Nordosten Sachsens. Stärkere Dürren sind in der jüngsten Periode rückläufig.

Um herauszufinden, welche der untersuchten meteorologischen Trockenheitskennwerte bzw. welche Kombination Trockenperioden am besten beschreibt, fand ein Abgleich mit unabhängigen Daten statt: dem Vegetationsindex NDVI und dem Bodenfeuchteindex SMI. Korrelationsanalysen auf Monatsbasis bzw. der Wachstumsperiode belegen, dass ein Großteil der Varianz von NDVI und SMI mit den Trockenindizes SPI und SPEI erklärt werden kann. Einfache Mittelungsmethoden der Trockenindizes führten zu keiner Verbesserung. Erst eine flächenhaft auf Sachsen angewendete multiple lineare Regression, die auf dem SPEI verschiedener Wirkungszeitskalen beruht, konnte die Bodenfeuchte des Gesamtbodens unter Trockenbedingungen zufriedenstellend simulieren. Die Güte dieser Regression für die höheren Lagen in Sachsen sowie generell für den Oberboden fällt geringer aus. Standardmäßig erhobene Klimabeobachtungen sowie Daten aus Klimaprojektionen können nun zum einen direkt zur Ableitung von Trockenheitskennwerten, wie z.B. Häufigkeit und Intensität von Trockenperioden, genutzt werden. Zum anderen werden durch Berechnung des Bodenfeuchteindex aus meteorologischen Trockenkennwerten noch stärker anwenderbezogene Aussagen ermöglicht (Beispiel Abbildung 2).

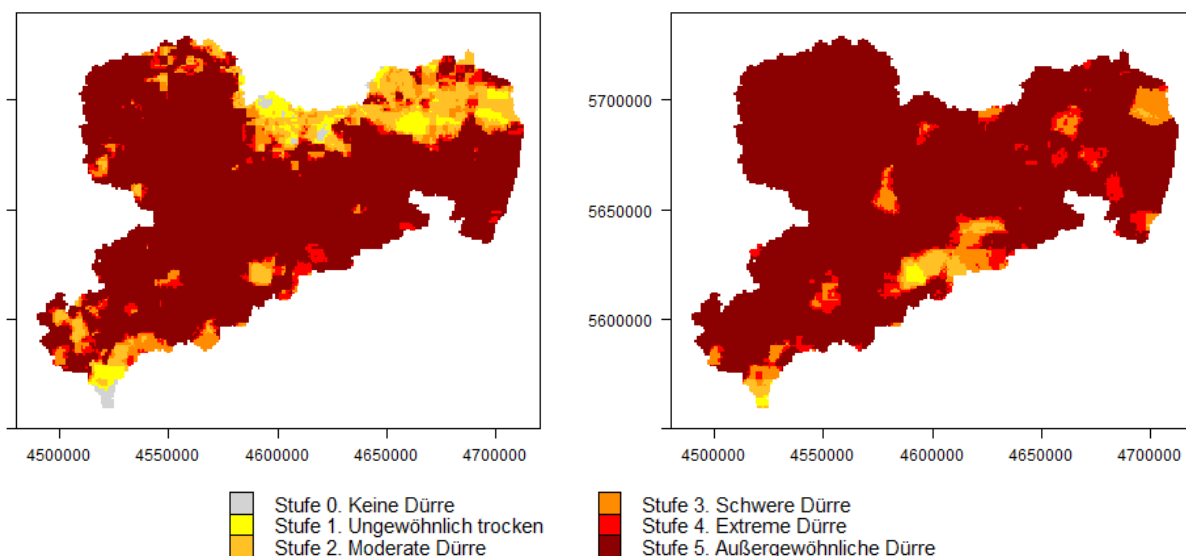


Abbildung 2: Bodenfeuchteindex SMI ermittelt mit einer multiplen linearen Regression beispielhaft für August 2018, getrennt für Gesamt- (links) und Oberboden (rechts)

3 Konzept

Aufbauend auf Erkenntnissen der Trockenheitsforschung der letzten Jahre in Sachsen wird im Folgenden ein umsetzungsfähiges Konzept zur Erfassung, Abschätzung und Darstellung von bisherigen und möglichen zukünftigen Änderungen im Auftreten von Trockenheitssituationen vorgestellt. Eine Anwendung dieses Konzepts auf eine neue klimatologische Datengrundlage ist vorgesehen. Das sind zum einen zwei beobachtete, unabhängige 30-jährige Klimanormalperioden (1961–1990 und 1991–2020) und zum anderen die aktuellen Klimaprojektionen für den Zeitraum 1961–2100.

Es geht um einen rein klimatologischen Betrachtungsansatz zur Analyse von Bedingungen, die eine Ausbildung von Trockenheitssituationen begünstigen. Auswirkungen für verschiedene sozioökonomische Lebensbereiche sowie die Umwelt entstehen erst im Zusammenwirken atmosphärischer Bedingungen mit natürlichen und anthropogen geprägten Bedingungen vor Ort (Geologie, Boden, Relief, Bebauung). Die Basis des Konzepts bilden Atmosphärenparameter, deren Verfügbarkeit sowohl in langfristigen Beobachtungen als auch in Klimaprojektionen gegeben ist. Um Aussagen für weniger gut meteorologisch beobachtete Regionen zu ermöglichen, sollte eine sachsenweite Berechnung von Trockenkennwerten mittels flächenhafter Daten erfolgen.

Die Daten des Deutschen Wetterdienstes sollten in einem ersten Schritt zusammen mit Daten der tschechischen und polnischen Wetterdienste plausibilitätsgeprüft, korrigiert und lückengefüllt werden. Nach Abschluss des Messjahres 2020 sollte eine aktuelle Version des Klima-Referenzdatensatzes (BERNHOFER et al. 2019) erstellt werden. Gegebenenfalls können die Daten durch Messungen aus den Sächsischen Landesmessnetzen ergänzt werden. In einem zweiten Schritt werden die stationsbasierten Klimainformationen mittels RaKliDa auf ein 1 x 1 km² Gitter interpoliert. Jede Gitterzelle kann nun als Pseudostation interpretiert und deren Zeitreihe analysiert werden.

Aus den Projekten EURO-CORDEX und ReKliEs-De liegen Klimaprojektionen mit einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km vor. Diese wurden vom DWD in Zusammenarbeit mit weiteren Institutionen (u.a. dem LfULG) hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit geprüft und ein Kernensemble für Mitteldeutschland erstellt, das einheitlich für Klima- und Impaktanalysen genutzt werden sollte. Es besteht aus jeweils sieben Kombinationen aus Global- und Regionalmodellen für die Klimaszenarien RCP2.6, 4.5 und 8.5. Weiterhin wird empfohlen, die Daten eines neuen statistischen Downscalings des DWD namens EPISODES sowie speziell für Sachsen erstellte statistische Klimaprojektionen namens WMSax2.0 zu nutzen. Letztere beinhalten 130 WEREX VI Projektionen, die auf fünf Globalmodellen und den oben genannten RCP-Klimaszenarien beruhen.

In den sächsischen Trockenheitsstudien der vergangenen Jahre wurden international weit verbreitete und für das Dürremonitoring verwendete Trockenindizes auf deren Eignung für Sachsen untersucht. Der Standardisierte Niederschlagsindex (SPI) wird aufgrund seiner geringen Datenanforderungen (monatlicher Niederschlag), seiner einfachen Berechnung und seiner guten Relationen zu vielen sozioökonomischen Bereichen unseres Lebens am häufigsten verwendet. Die sich global und regional ändernden Klimabedingungen, insbesondere die steigenden Temperaturen, bewirken, dass die Verdunstung bei der Entstehung von Trockenperioden und deren Intensität zunehmend eine größere Rolle spielt. Der – dem SPI sehr ähnliche – Standardisierte Niederschlags-Verdunstungsindex (SPEI) wird in vielen Regionen der Erde bevorzugt eingesetzt, da häufig noch engere Zusammenhänge zu Impaktgrößen zu finden sind. Es wird empfohlen, beide Trockenkennwerte SPI und SPEI zu verwenden, um aus einer vergleichenden Analyse die Anteile von Niederschlag und Verdunstung an den Trockenperioden ableiten zu können.

Innerhalb der Berechnungsprozedur müssen theoretische Verteilungsfunktionen an die Daten angepasst werden. Nach umfangreichen Tests wurden für den SPEI die Normalverteilung und für den SPI die Gammaverteilung festgelegt. Zu beachten ist, dass bei der Analyse von Projektionen, die Daten des modellierten Kontrolllaufs (meist 1961–2005) zur Ermittlung der Verteilungsparameter genutzt werden müssen. Die Auswirkungen unterschiedlicher Referenzperioden sowie unterschiedlicher Ansätze der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration auf die Ermittlung von Trockenphasen wurde untersucht. Es wurden der Referenzzeitraum 1961–2000 sowie der Turc-Wendling-Ansatz (DVWK 2002) ausgewählt.

Es wird definiert, dass eine Trockenperiode beginnt sobald der SPI (analog SPEI) den Wert 0 unterschreitet und bei erneutem Überschreiten des Wertes 0 endet. Mindestens einmal muss der SPI den Wert -1 in einer Trockenperiode unterschreiten. Zur spezifischen Betrachtung von starken bzw. extremen Trockenperioden wird der Zeitraum abgegrenzt, der dauerhaft Werte von -1,5 bzw. -2,0 unterschreitet. Zu einer umfassenden Charakterisierung von Trockenperioden sollten folgende Größen aus den Trockenkennwerten berechnet werden:

- Auftretenshäufigkeit (Abbildung 4),
- Andauer,
- Ausmaß (positive Summe der SPI-Werte aller Monate innerhalb der Trockenperiode) und
- Intensität (Quotient aus Ausmaß und Andauer).

Die Anwendung sollte auf typische Aggregierungszeiträume von SPI und SPEI von 1, 3, 6, 12 und 24 Monaten erfolgen, um Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft, Hydrologie und Grundwasser zu berücksichtigen. Um innerjährliche Veränderungen zu identifizieren und Aussagen für die relevanten Zeiträume der verschiedenen Bereiche zu generieren, sollten neben jährlichen Analysen die meteorologischen und hydrologischen Halbjahre (SHJ_M: Apr.–Sept. und SHJ_H: Mai–Okt.), die Jahreszeiten und die Vegetationsperioden I und II (VP I: April–Juni und VP II: Juli–September) betrachtet werden. Analysen von klimatologischen bzw. aktuellen Anomalien sollten stets auf die Referenzperiode 1961–1990 bezogen werden, z.B. 1991–2018 oder 2018 vs. 1961–1990.

Als noch stärker anwendungsorientiertes Maß für die Trockenheit wurde aus einer Kombination von atmosphärischen Trockenkennwerten mittels multipler linearer Regression der Bodenfeuchteindex für Ober- und Gesamtboden abgeleitet. Exemplarisch wird in Abbildung 3 die Intensität der aufgetretenen Bodendürren für Sachsen bis zum Jahr 2018 visualisiert, berechnet aus meteorologischen Beobachtungen. Die Ermittlung der Intensität erfolgt dabei analog zu den SPI-Berechnungen, wobei als Schwellwert für Beginn und Ende der Trockenperiode ein SMI-Wert von 0,3 verwendet wird. Diese Art der Abbildung ermöglicht eine Einordnung aktueller meteorologischer Bedingungen hinsichtlich Häufigkeit, Andauer und Intensität von Trockenperioden. Auch Aussagen zu zukünftigen Veränderungen meteorologischer und ansatzweise land- und forstwirtschaftlicher Trockenperioden sind somit unter Nutzung von Klimaprojektionen mit geringem Aufwand möglich.

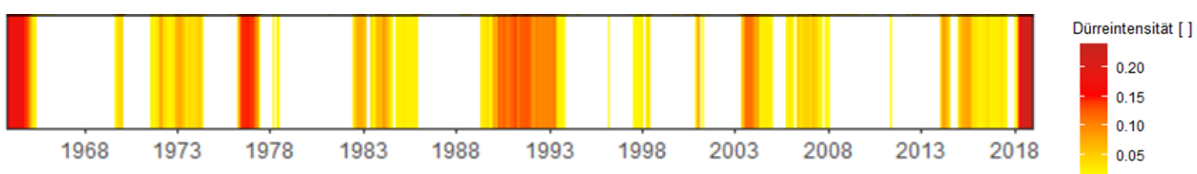


Abbildung 3: Dürreintensität des Bodenfeuchteindex für den Gesamtboden, ermittelt mit einer Multiplen Linearen Regression aus atmosphärischen Trockenkennwerten

Verschiedene Arten von Darstellungen bieten sich zur Analyse der Trockenkennwerte an:

1. Karten: räumliche Verteilung der Charakteristika von Trockenheiten z.B. zur Gegenüberstellung aktueller Klimazeiträume mit der Referenzperiode (Beispiel: Abbildung 4)
2. Zeitreihendarstellung des SPI und SPEI verschiedener Wirkzeiträume (Beispiel: Abbildung 6) oder der flächenhaften Betroffenheit in Sachsen, z.B. zur Einordnung aktueller Witterungsverhältnisse
3. Zeitreihendarstellung des Auftretens von Trockenperioden zur Analyse von Häufigkeit, Andauer und Intensität, basierend auf SPI und SPEI verschiedener Wirkzeiträume sowie des SMI (Beispiel: Abbildung 3)
4. Zeitliche Abfolge von Subzeiträumen (z.B. Jahreszeiten) von 2. und 3. (Beispiel: Abbildung 5)
5. Berechnung mittlerer Trockencharakteristika (Häufigkeit, Andauer, Ausmaß und Intensität) basierend auf SPI bzw. SPEI und tabellarische Gegenüberstellung der Referenzperiode und aktueller Perioden

Im Folgenden werden für typische Analysegegenstände sinnvolle Indikatoren und Darstellungsformen empfohlen, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben:

■ Landwirtschaft:

- SPEI 3 und $SMI_{\text{Oberboden}}$ als Zeitreihendarstellung und als Karten für VP I, VP II oder das SHJ_M

■ Forstwirtschaft:

- Generell forstliche Wachstumsperiode relevant: Karten für den Augustwert des SPI 3 und für den Septemberwert des SPI 6
- Für Waldbrandanalysen: SPEI 3+6+12 als Zeitreihendarstellung und als Karten für den Frühling, Sommer und SHJ_M
- Für Schäden durch Trockenheit und Schädlingsbefall (Buchdrucker, Kupferstecher): Zeitreihendarstellung $SMI_{\text{Oberboden}}$ und SPEI 3+6 und Karten für SPI 3 für Frühling, Sommer und SHJ_M

■ Durchflüsse:

- Zeitreihendarstellungen SPEI 3+6 und Karten für alle Jahreszeiten und Halbjahre

■ Grundwasserstände:

- Zeitreihendarstellung SPEI 12+24 und Karten für alle Jahreszeiten, Halbjahre

■ Operationelle Aufgaben (z.B. Soforthilfen):

- Zeitreihendarstellungen von SPI und SPEI verschiedener Wirkzeiträume sowie des SMI für Ober- und Gesamtboden
- Karten aktueller Anomalien

■ Planungsaufgaben (z.B. Anpassung), Ökonomische Analysen:

- Zeitreihen des Auftretens von Trockenperioden
- Karten klimatologischer Anomalien
- Identifizierung des Anteils von Niederschlagsdefizit und erhöhter Verdunstung: mittels Differenzenplot (Beispiel Abbildung 7) oder tabellarische Gegenüberstellung mittlerer Häufigkeiten, Andauern und Intensitäten von Trockenperioden basierend auf SPI bzw. SPEI

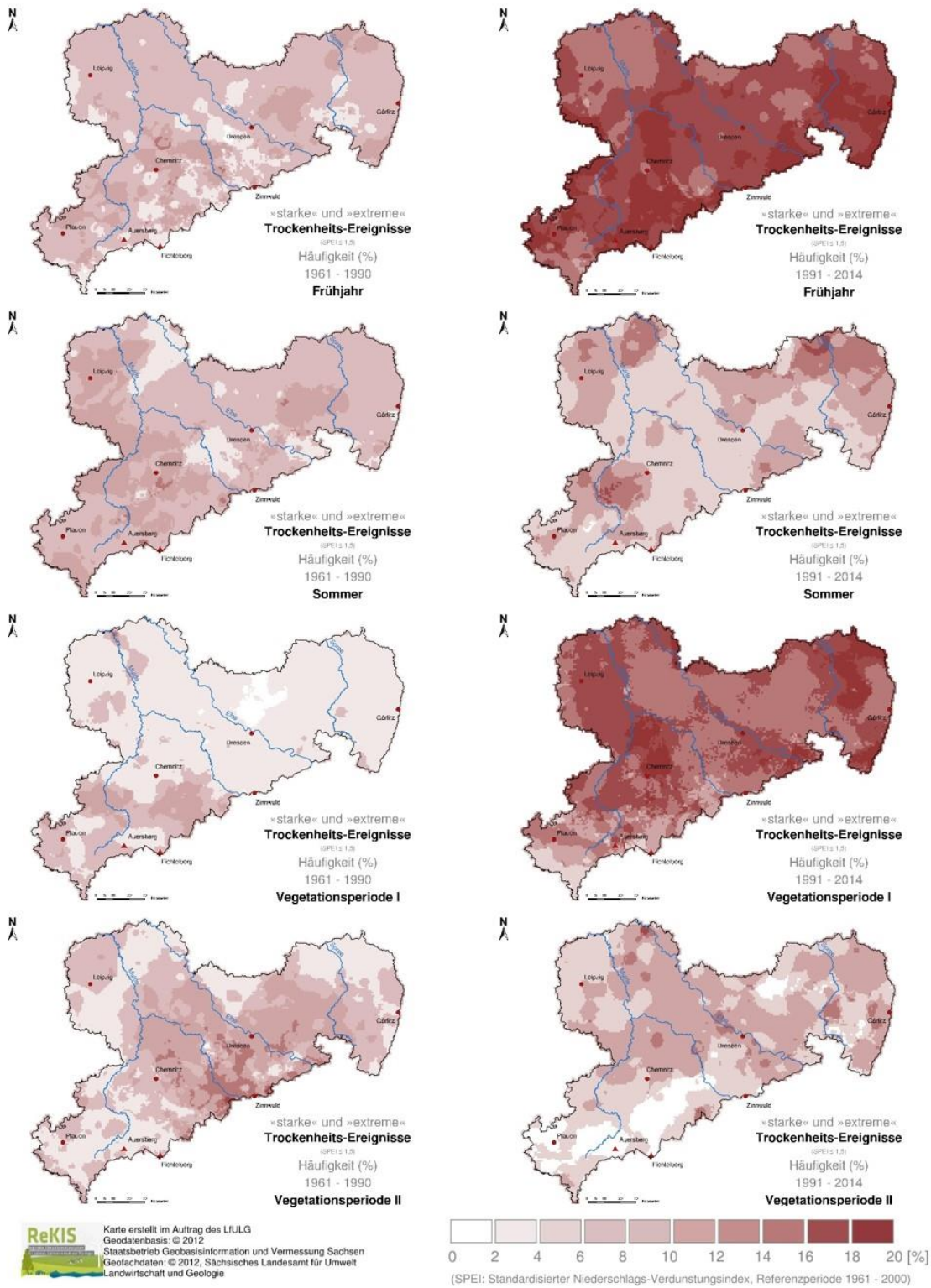


Abbildung 4: Karten der Häufigkeit von starker bis extremer Trockenheit (SPI-Werte < -1,5) für Frühling (SPEI 3 für Mai) und Sommer (SPEI 3 für August) sowie die Vegetationsperioden (VP I: SPEI 3 für Juni; VP II: SPEI 3 für September) für die Zeitscheiben 1961–1990 (links) und 1991–2014 (rechts).

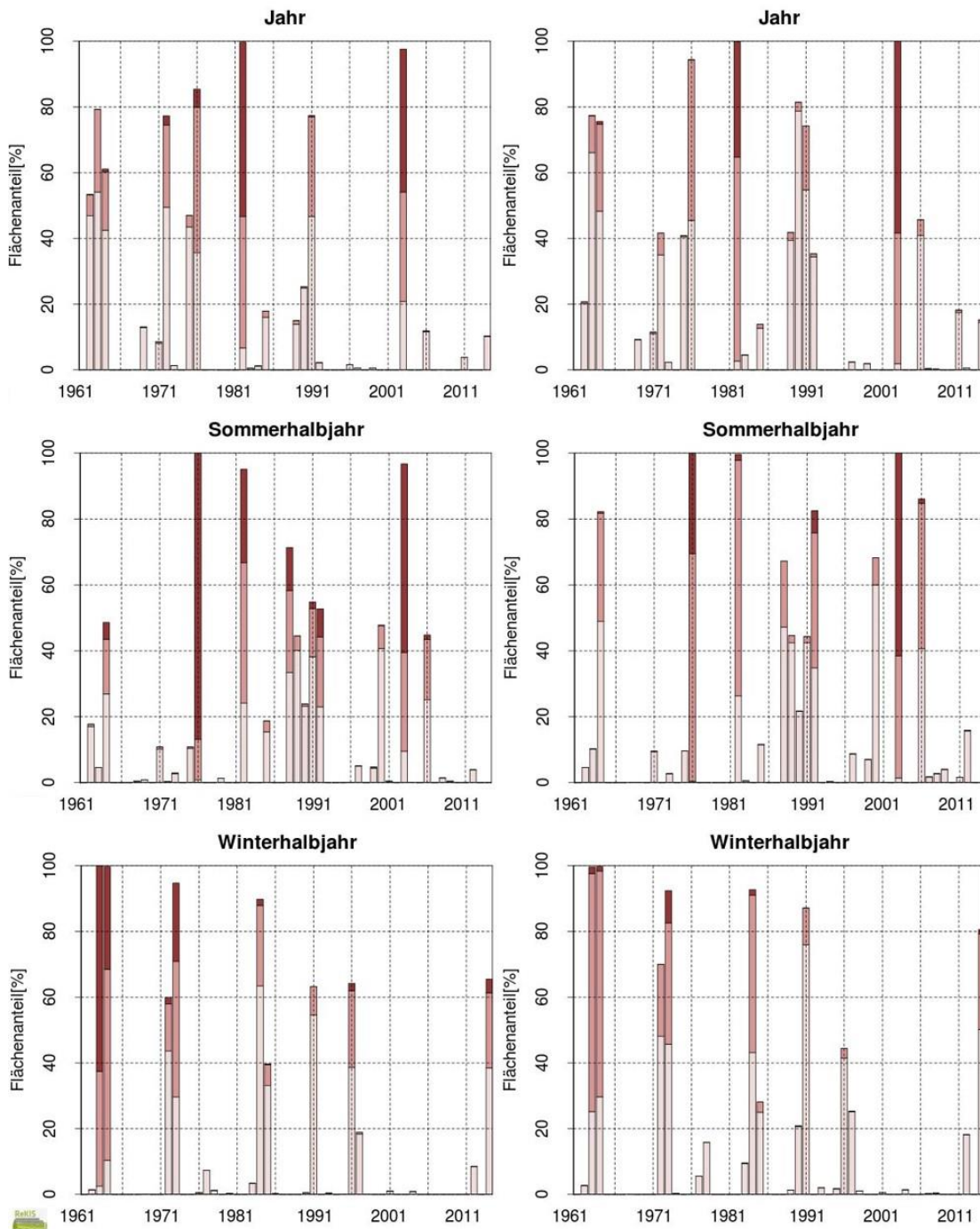


Abbildung 5: Zeitreihen des als moderat (Index < 1,0; hellrosa), stark (Index < 1,5; rosa) und extrem trocken (Index < 2,0; dunkelrot) trocken klassifizierten Flächenanteils von Sachsen mittels SPI (links) und SPEI (rechts) für das Jahr (Wirkungszeitskala von 12 Monaten) und die Halbjahre (jeweils Wirkungszeitskala von 6 Monaten); Referenzperiode: 1961–2000.

Verlauf der über den Freistaat Sachsen hinweg gemittelter SPI

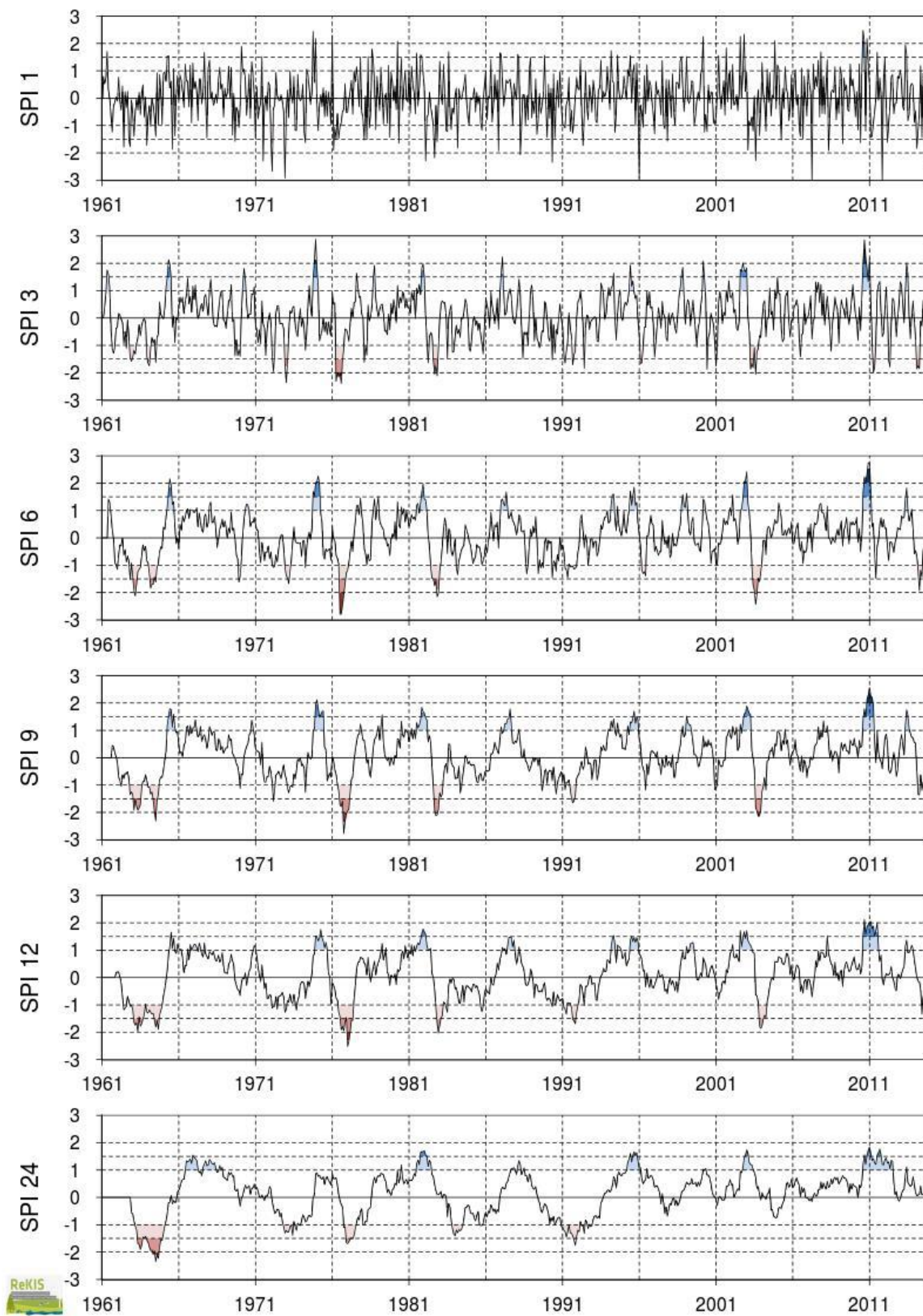


Abbildung 6: Zeitreihen des SPI-Flächenmittels für Sachsen für unterschiedliche Wirkzeiträume.

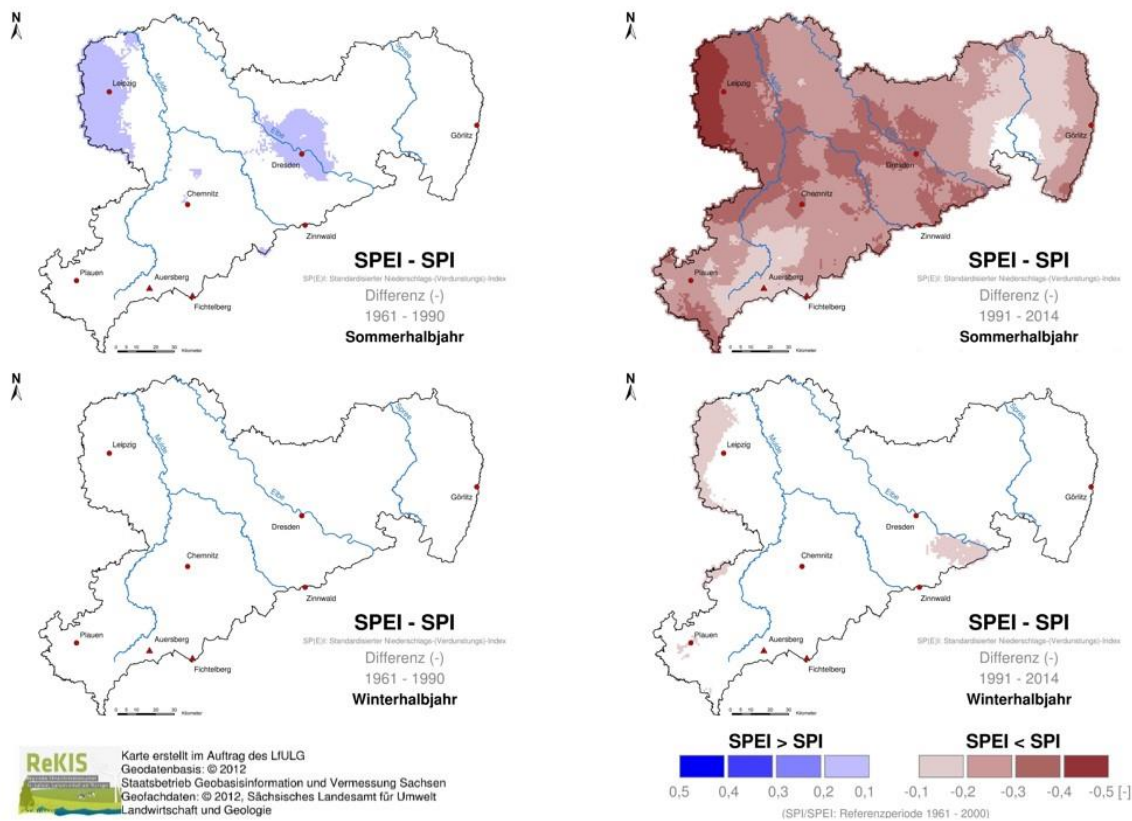


Abbildung 7: Karten der Differenz von SPEI 6 und SPI 6 für die Halbjahre im Vergleich der Zeitscheiben 1961–1990 (links) und 1991–2014 (rechts).

4 Disclaimer

Die meteorologischen Indizes stehen für die atmosphärischen Randbedingungen, welche Voraussetzung sind für die Entstehung von Dürren. Aus ihnen ist keine direkte Ableitung der Auswirkungen (z.B. Errechnung landwirtschaftlicher Erträge) möglich, da sich erst im Zusammenwirken mit Standortfaktoren (Landnutzung, Boden, Relief, etc.), Management (Düngung, Bodenbearbeitung, etc.) sowie teilweise weiterer meteorologischer Phänomene (Sturm, Hagel, etc.) eine reale Dürre mit entsprechenden Auswirkungen entwickelt. Bei den vorgeschlagenen Indizes, Analyse- und Darstellungsmethoden wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Bereichsspezifisch können weitere oder detailliertere Analysen, weitere Wirkzeiträume oder spezifische Zeitpunkte sinnvoll sein.

5 Literatur

- BERNHOFER C, PLUNTKE T, SCHALLER A: Witterungsextreme im WEREX-V-Ensemble, Schriftenreihe des LfULG, Heft 9/2016 (2016)
- BERNHOFER C, PLUNTKE T et al.: Klima-Referenzdatensatz 1961-2015, Schriftenreihe des LfULG, Heft 7/2019 (2019)
- DVWK (Hrsg.): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Merkblatt M 504 (2002)