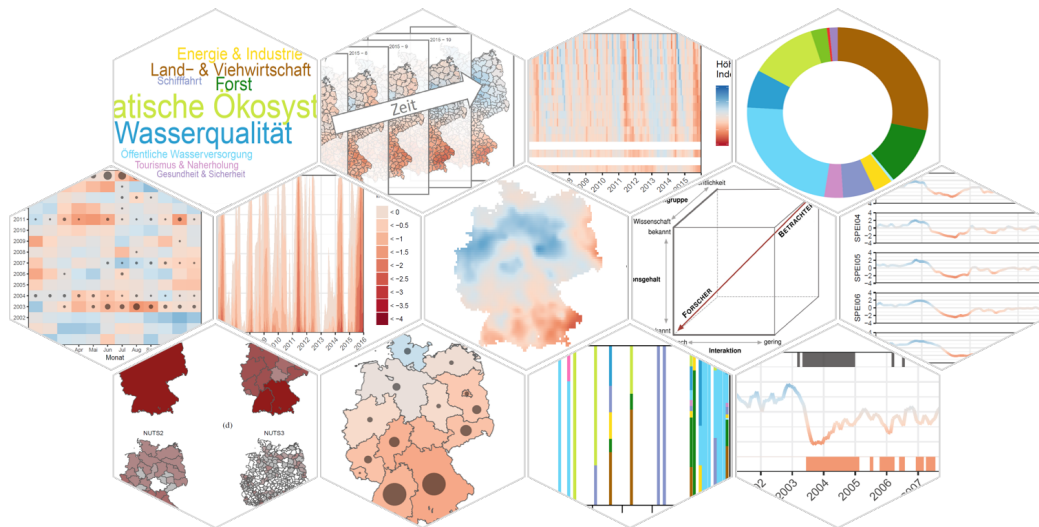


Entwicklung eines visualisierungsbasierten Analysetools zur Beschreibung von Trockenheit und ihren Auswirkungen



Kerstin Büche

Masterarbeit unter Leitung von Prof. Dr. Kerstin Stahl und Dr. Veit Blauhut
Freiburg i. Br., Oktober 2017

Professur für Umwelthydrosysteme
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Entwicklung eines visualisierungsbasierten Analysetools zur Beschreibung von Trockenheit und ihren Auswirkungen

Kerstin Büche

Referentin: Prof. Dr. Kerstin Stahl
Korreferent: Dr. Veit Blauhut

Freiburg i. Br., Oktober 2017

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Masterarbeit unterstützt und immer wieder motiviert haben.

Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Kerstin Stahl und Dr. Veit Blauhut, die meine Masterarbeit betreut haben. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Außerdem möchte ich allen TeilnehmerInnen des Fragebogens einen großen Dank aussprechen, ohne die ein wesentlicher Teil dieser Arbeit nicht hätte entstehen können. Mein Dank gilt ihrer Informationsbereitschaft und ihren interessanten Beiträgen und Antworten auf meine Fragen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Zusammenfassung	1
1 Einleitung	3
1.1 Definitionen von Dürre	3
1.2 Quantifizierung von Dürre	4
1.3 Möglichkeiten der Erfassung von Dürreauswirkungen	5
1.4 Monitoring und Vorhersage: Zusammenhang von Indikator und Auswirkung	6
2 Problemstellung und Zielsetzung	9
3 Methodik	11
3.1 Datengrundlage	11
3.1.1 Dürreindikatoren	11
3.1.2 Historische Dürreauswirkungen: Die <i>European Drought Impact Report Inventory</i>	15
3.2 Grenzwertoptimierungskurve	19
3.3 Visualisierungsprozess	22
3.4 Evaluation	25
3.4.1 Erstellung des Fragebogens und Durchführung der Befragung . .	25
3.4.2 Auswertung des Fragebogens	28
4 Ergebnisse	31
4.1 Dürreindikatoren	31
4.1.1 Räumliche Analyse	31
4.1.2 Zeitliche Analyse	33
4.1.3 Räumlich-zeitliche Analyse	35
4.2 Auswirkungsberichte	36
4.2.1 Räumliche Analyse	36
4.2.2 Zeitliche Analyse	37
4.2.3 Kategorielle Analyse einzelner Dürreereignisse	38
4.2.4 Kategorielle Analyse von Zeitreihen	40
4.3 Visualisierung des Zusammenhangs von Indikatoren und dokumentierten Dürreauswirkungen	43
4.3.1 Analyse durch die Grenzwertoptimierungskurve	43
4.3.2 Analyse durch kartografische Darstellungen	48
4.3.3 Analyse durch zeitliche Darstellungen	48
4.4 Evaluation anhand des Fragebogens	54

5	Diskussion	57
5.1	Bewertung der EDII	57
5.2	Räumliche Betrachtungsebene des Zusammenhangs von Indikator und Auswirkungen	58
5.3	Zusammenhang von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen	59
5.4	Ergebnisse der Evaluation	61
6	Fazit	65
	Literatur	67
	Software	73
	Anhang	i
A	Fragebogen	i
B	Tabellen	ix

Abbildungsverzeichnis

1	Schematische Übersicht der Dürreklassifikationen (verändert nach WMO, 2006; ZARGAR ET AL., 2011; NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER, 2017).	4
2	Beispielhafte Umwandlung einer kumulativen Wahrscheinlichkeitsverteilung von Niederschlag in einen standardisierten Index (hier SPI) (verändert nach LLOYD-HUGHES & SAUNDERS, 2002).	12
3	Die grafische Benutzeroberfläche der EDII als Access Datenbank.	15
4	Die deutschen Gebietseinheiten für Statistik: (a) die nationale Ebene, (b) die NUTS1-Ebene, (c) die NUTS2-Ebene und (d) die NUTS3-Ebene (Daten von BLAUHUT ET AL., 2016 verändert nach STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2007).	17
5	Verteilung der Indexwerte in Dürremonaten und Monaten ohne Dürre (a) als angepasste Normalverteilung mit <i>rugs</i> (Dürremonate sind dreifach überhöht) und (b) als Boxplot.	19
6	Möglichkeiten der Priorisierung von Sensitivität (b) oder Spezifität (c) gegenüber der Betrachtung ohne Priorisierung (a) bei der Suche nach einem Schwellenwertoptimum anhand der ROC-Kurve.	21
7	Vergleich zweier Indizes anhand der ROC-Kurven und der zugehörigen AUC als Entscheidungsgrundlage für die Wahl eines geeigneten Index.	21
8	Skizzierung des Ablaufschemas des Visualisierungsprozesses von vorliegenden Dürredaten (basierend auf LEITTE, 2013).	22
9	Dimensionen einer Visualisierung: Interaktion, Informationsgehalt und Zielgruppe nach dem <i>map-use cube</i> (verändert nach NESET ET AL., 2015; MAC EACHREN, 1994).	23
10	Geschlossene und offene Fragen zur Auswertung der Abbildungen im Fragebogen.	27
11	Räumliche Auflösung des SPI01 als Raster (a) und gemittelt auf NUTS3-Ebene (b), NUTS2-Ebene (c) und NUTS1-Ebene (d), sowie das Indexminimum auf NUTS3-Ebene (e), NUTS2-Ebene (f) und NUTS1-Ebene (g) am Beispiel des Monats August 2003.	32
12	Höhe des SPI und SPEI mit verschiedenen Aggregationszeiträumen von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 und 24 Monaten als Matrix über den Zeitraum 2000-2015.	33
13	Die Höhe der Indexwerte des ΔpF , des $\Delta fAPAR$ und des SPEI mit verschiedenen Aggregationszeiträumen von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 und 24 Monaten als Liniendiagramm über den Zeitraum 2002-2006.	34
14	Schema einer animierten GIF-Karte zur räumlich-zeitlichen Darstellung eines Dürreindex.	35
15	Prozentualer Anteil der Fläche Baden-Württembergs mit negativem Dürreindex (hier am Beispiel des SPI05) über den Zeitraum 2000-2015.	36
16	Anzahl der Einträge über Dürreauswirkungen in der EDII auf ihrer jeweils kleinsten räumlichen Zuordnung: nationale Ebene (a), NUTS3-Ebene (b), NUTS2-Ebene (c) und NUTS1-Ebene (d).	37

17	Anzahl der Auswirkungsberichte inklusive derer ohne Monatsangaben (gewertet für das ganze Jahr), dargestellt über den Zeitraum 2000-2015 in monatlicher Auflösung (Baden-Württemberg).	38
18	Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie im Jahr 2003 (a) und 2015 (b) in Baden-Württemberg als Donut.	39
19	Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie im Jahr 2003 (a) und 2015 (b) in Baden-Württemberg als Wortwolke. . .	39
20	Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie in Baden-Württemberg über den gesamten vorhandenen Zeitraum 1904-2015, dargestellt als Balkendiagramm.	40
21	(a) Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen und (b) prozentualer Anteil der Auswirkungskategorien der dokumentierten Dürreauswirkungen über den gesamten vorhandenen Zeitraum 1904-2015, dargestellt als Punkt- bzw. Balkendiagramm.	41
22	Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie in Baden-Württemberg über den gesamten vorhandenen Zeitraum 1904-2015, dargestellt als Matrix.	42
23	Vergleich der Grenzwertoptimierungskurven je Auswirkungskategorie (Anzahl der Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen > 5) für Baden-Württemberg.	45
24	Kartografische Darstellung der Indexwerte des SPEI09 und der Gesamtanzahl dokumentierten Dürreauswirkungen mit und ohne Monatsangaben im August 2003 (a) und 2015 (b), sowie eine Darstellung der Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen nur mit vorhandenen Monatsangaben ebenfalls im August 2003 (c) und 2015 (d).	49
25	Zeitreihen von Indexwerten über den Zeitraum 2000-2015 und jeweils markierte Zeitabschnitte der dokumentierten Dürreauswirkungen und der Dürreauswirkungen laut des optimalen Index und Schwellenwertes für die Auswirkungskategorien (a) Schifffahrt, (b) Wasserqualität, (c) Aquatische Ökosysteme und (d) gesamt.	51
26	Zeitreihe von Indexwerten (Farbskala) mit Jahresverlauf (horizontale Achse) über die Jahre 2000-2015 (vertikale Achse) und dokumentierter Dürreauswirkungen mit Monatsangaben je Monat (Kreise) und ohne Monatsangaben je Jahr (Balkendiagramm) für die Auswirkungskategorien (a) Schifffahrt (SPEI06), (b) Wasserqualität (SPEI04), (c) Aquatische Ökosysteme (SPEI02), (d) gesamt (SPEI09).	52
27	Zeitreihe von Dürreauswirkungen laut Schwellenwert (Farbkategorie) mit Jahresverlauf (horizontale Achse) über die Jahre 2000-2015 (vertikale Achse) und dokumentierten Dürreauswirkungen mit Monatsangaben je Monat (Kreise) und ohne Monatsangaben je Jahr (Balkendiagramm) für die Auswirkungskategorien (a) Schifffahrt (SPEI06), (b) Wasserqualität (SPEI04), (c) Aquatische Ökosysteme (SPEI02), (d) gesamt (SPEI09).	53
28	Mittelwert der Antworten auf die geschlossenen Fragen des Fragebogens zu Intuition (a), Komplexität (b) und investierten Zeit (c) sowie die Antwort auf die Frage nach einem Erkenntnisgewinn (d).	55

Tabellenverzeichnis

1	Übersicht über Eingangsvariablen, Zeitraum, zeitliche und räumliche Auflösung und Datenherkunft der verwendeten Dürreindikatoren (Rohdaten).	14
2	Übersicht über die Auswirkungskategorien der EDII und die Anzahl der Einträge in der jeweiligen Auswirkungskategorie für ganz Deutschland und Baden-Württemberg.	16
3	Beispielhafte Vervollständigung von fehlenden Zeitangaben der EDII Auswirkungsberichte.	18
4	Beispielhafter Auszug aus der Auswertung des Fragebogens nach dem Vorbild der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2008).	29
5	Die AUC verschiedener Indizes bezogen auf dokumentierte Dürreauswirkungen der einzelnen Auswirkungskategorien für Baden-Württemberg. .	44
6	Optimaler Index (gewählt nach größter AUC, Tabelle 5) und optimaler Schwellenwert sowie Angabe der Sensitivität, Spezifität und Unterschreitungswahrscheinlichkeit je Auswirkungskategorie für Baden-Württemberg.	47
7	Auswirkungskategorien und -typen der EDII und die Anzahl der Einträge je Auswirkungstyp für Deutschland und Baden-Württemberg (BW) (Übersetzung und Aktualisierung von HERBER und BLAUHUT nach STAHL ET AL., 2012).	ix
8	Übersicht der Evaluation des Fragebogens, geordnet nach dem induktiv entwickeltem Kategoriensystems: (a) Beurteilung der „Vorhersage“, (b) Vergleich vorhergesagte Dürreauswirkung und dokumentierte Dürreauswirkung, (c) Kritik, (d) Lob, (e) Klimawandel/Trend, (f) Verbesserungsvorschläge, (g) Verständnisfrage, (h) Zeitlicher Verlauf von Index und Auswirkungen erkannt/verstanden, (i) Beurteilung Dürrevorhersage.	xiv

Abkürzungsverzeichnis

AUC	<i>Area Under Curve</i>	
BW	<i>Baden-Württemberg</i>	
DEMS	<i>Drought Early Warning Systems</i>	
DIR	<i>United States Drought Impact Reporter</i>	
EDII	<i>European Drought Impact Report Inventory</i>	
ESA	<i>European Space Agency</i>	
fAPAR	<i>fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation</i>	[-]
Δ fAPAR	<i>fAPAR Anomalie</i>	[-]
GCOS	<i>UN Global Climate Observing System</i>	
GIF	<i>Graphics Interchange File Format</i>	
JRC	<i>Joint Research Center</i>	
MERIS	<i>Medium Resolution Imaging Spectrometer</i>	
NDMC	<i>National Drought Monitoring Center</i>	
NUTS	<i>Nomenclature of Territorial Units for Statistics</i>	
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>	
Δ pF	<i>pF Anomalie (Bodenfeuchteindex)</i>	[-]
SPI	<i>Standardized Precipitation Index</i>	[-]
SPEI	<i>Standardized Precipitation Evapotranspiration Index</i>	[-]
VITO	<i>Flemish Institute for Technological Research</i>	
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>	

Zusammenfassung

Für ein erfolgreiches Dürremanagement ist die Erforschung des Zusammenhangs von Indikatoren und negativen Auswirkungen durch Trockenheit von essentieller Bedeutung. Da Dürreauswirkungen nicht direkt quantifiziert werden können, wurde die *European Drought Impact Report Inventory* für die Dokumentation von negativen Folgen ins Leben gerufen. In der Vergangenheit sind zahlreiche Dürreindizes entwickelt worden um diese Naturgefahr abzubilden. Jedoch mangelt es an der Validierung der Indizes mit historischen Analogien von Dürreauswirkungen. Neben einer ausführlichen (visuellen) Analyse der Datengrundlage steht in dieser Arbeit deshalb die Überprüfung des Zusammenhangs von Indizes und Auswirkungen anhand der Grenzwertoptimierungskurve (Schwellenwertmethode) im Vordergrund, welche zur Charakterisierung von Dürre durch die *threshold level method* (Schwellenwertmethode) und zur Wahl eines geeigneten Index dienen soll. Im Vordergrund steht dabei nicht nur die Anwendung der Methodik, sondern vor allem die Visualisierung von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen. Anhand einer Befragung wurde die Eignung von Visualisierung allgemein und der entwickelten Grafiken im Speziellen für die Kommunikation mit Stakeholdern getestet. Die Evaluation des Fragebogens, welcher von sieben TeilnehmerInnen beantwortet wurde, ergab, dass die Grafiken als geeignetes Werkzeug für eine gelungene Kommunikation dienen und von den TeilnehmerInnen akzeptiert und größtenteils richtig verstanden worden sind. Das Verständnis der Grenzwertoptimierungskurve zeigte sich als eher mäßig, doch konnte die Problematik der Abbildung von Dürre anhand der Anwendung eines Schwellenwertes auf einen Index gelungen vermittelt werden sowie das Verständnis und Bewusstsein der TeilnehmerInnen anhand der Visualisierungen sensibilisiert werden.

Stichworte:

Dürre, *European Drought Impact Report Inventory*, Dürreindex, ROC, Visualisierung, Kommunikation, Anwenderfreundlichkeit, Fragebogen

1 Einleitung

1.1 Definitionen von Dürre

Viele Naturgefahren wie beispielsweise Überschwemmungen, Tornados oder Erdbeben können relativ leicht erfasst werden: Der Zeitpunkt des Auftretens und die Dauer ist bestimmbar und Auswirkungen sind dem Ereignis eindeutig zuzuordnen (DING ET AL., 2011). Dürre hingegen ist ein schleichender Prozess und wird häufig erst sichtbar, wenn die bereits schwerwiegenden Auswirkungen auf die Umwelt, Wirtschaftssektoren und Gesellschaft bemerkt werden (BACHMAIR ET AL., 2016b; DING ET AL., 2011). Das Phänomen Dürre kann jede Klimazone treffen und stellt eine Bedrohung für die gesamte Menschheit dar. Dürre ist keinen bestimmten Risikogebieten vorbehalten und kann somit mehr Menschen gefährden als andere Katastrophen (WMO & GWP, 2016; FLUIXÁ-SANMARTÍN ET AL., 2017). Doch wie ist Dürre eigentlich zu definieren?

Nach WILHITE & GLANTZ (1985) wird grundsätzlich zwischen konzeptuellen und operationellen Dürredefinitionen unterschieden. Operationelle Dürredefinitionen dienen in erster Linie der konkreten Quantifizierung von Dürre und werden in Kapitel 1.2 näher behandelt. Konzeptuelle Definitionen hingegen dienen dem ganzheitlichen Verständnis von Dürre (DING ET AL., 2011) und bedienen sich sehr allgemeinen Formulierungen, welche in der konkreten Anwendung nur bedingt brauchbar sind (WILHITE & GLANTZ, 1985). Es gibt zahlreiche dieser Definitionen, die genauso vielfältig sind wie mögliche direkte und indirekte Auswirkungen und Folgen von Dürre. Sehr generell gesprochen ist Dürre ein vermindertes Wasserdargebot über einen bestimmten Zeitraum in einer bestimmten Gegend (HISDAL & TALLAKSEN, 2000 nach BERAN & RODIER, 1985). Andere Quellen betiteln Dürre als eine komplexe Naturgefahr, meist hervorgerufen durch ein relatives Niederschlagsdefizit im Vergleich zu langjährigen Mitteln der Differenz von Niederschlag und Evapotranspiration (WILHITE & GLANTZ, 1985; WMO, 2012). BERNHOFER ET AL. (2015) weist außerdem darauf hin, dass im deutschen zwischen den Begrifflichkeiten von Trockenheit und Dürre unterschieden wird. Während Trockenheit eher auf „das bloße Auftreten eines im Vergleich zu Klimanormalen zu trockenen Zeitabschnittes“ wird im deutschen „der Dürrebegriff häufig eher auswirkungsbezogen (...) verwendet“ (BERNHOFER ET AL., 2015).

Ein weiterer Grund weshalb Definitionen zum Großteil erheblich voneinander abweichen ist, dass zwischen verschiedenen Dürretypen unterschieden wird, die sich auf Defizite unterschiedlicher Wasserressourcen beziehen (nach WILHITE & GLANTZ, 1985):

- Meteorologische Dürre
- Landwirtschaftliche Dürre
- Hydrologische Dürre
- Sozioökonomische Dürre.

Abbildung 1 zeigt diese Klassifizierung als Schema einer zeitlichen Abfolge: Ein Niederschlagsdefizit führt zu einer meteorologischen Dürre, die folglich die Bodenfeuchte verringert und so zu einer landwirtschaftlichen Dürre wird. Durch geringere Bodenfeuchte kommt es zu verringertem Zufluss in Fließ- und Binnengewässern, wodurch eine hydrologische Dürre entsteht (ZARGAR ET AL., 2011). Die landwirtschaftliche und hydrologische

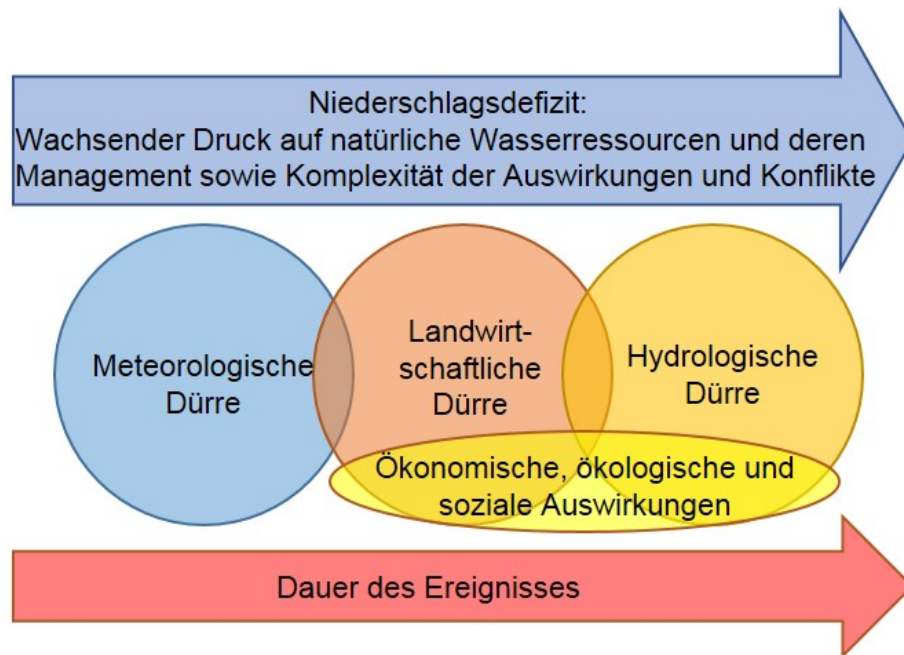


Abbildung 1: Schematische Übersicht der Dürreklassifikationen (verändert nach WMO, 2006; ZARGAR ET AL., 2011; NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER, 2017).

Dürre können außerdem Auswirkungen in Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt hervorrufen. Die zeitliche Abfolge erscheint logisch, in der Realität jedoch sind die Dürreotypen auch unabhängig voneinander oder in anderer Reihenfolge zu beobachten (VAN LOON, 2015b).

1.2 Quantifizierung von Dürre

Im Vergleich zu konzeptionellen Dürredefinitionen, die eher dazu dienen die generelle „Idee“ von Dürre zu vermitteln, zielen operationelle Dürredefinitionen darauf ab, Dürre durch Zahlen beschreiben zu können (BACHMAIR ET AL., 2016b). Dadurch können zum Beispiel Start- und Endzeitpunkt sowie Dauer und Schwere der Dürre für ein bestimmtes Anwendungsgebiet bestimmt werden. Besonders in der Praxis des Monitorings und der Vorhersage von Dürre sowie in der Umsetzung von Maßnahmen im Dürremanagement sind operationelle Definitionen essentiell. Umgesetzt werden operationelle Dürredefinitionen häufig anhand von Dürreindikatoren. Indikatoren sind dabei entweder Variablen, die direkt gemessen und quantifiziert werden können, wie zum Beispiel Klimaparameter (Niederschlag oder Lufttemperatur), Vegetationsgesundheit oder hydrologische Parameter (Abfluss, Grundwasserstand oder Wasserstand in Reservoirs, Bodenfeuchte, Schneedecke) (WMO & GWP, 2016). Aus Dürreindikatoren resultieren häufig Dürreindizes, welche durch Berechnung der Standardabweichung eine Kennzahl zur Beschreibung und Charakterisierung des Dürreereignisses ausgeben (BACHMAIR ET AL., 2015). Der Definition von BERNHOFER ET AL. (2015) folgend bilden Dürreindizes jedoch Trockenheit ab und nicht Dürre im Sinne von negativen Auswirkungen.

Viele Studien beschäftigen sich mit Dürreindikatoren und inzwischen gibt es über 150 verschiedene Indizes. Eine umfangreiche Übersicht über die Vielzahl existierender Indizes bieten u.a. ZARGAR ET AL. (2011) oder WMO & GWP (2016), ebenso wie SIVAKUMAR ET AL. (2011) im direkten Bezug auf landwirtschaftliche Dürre. BACHMAIR ET AL. (2016b) gibt eine Zusammenschau über die zahlreichen existierenden Reviews von Dürreindizes. Die WMO & GWP (2016) unterteilen Dürreindizes entsprechend der verschiedenen Dürreotypen und stellen eine Zusammenschau der einzelnen Indizes im Bezug auf ihre Handhabbarkeit bzw. ihre Benutzerfreundlichkeit bereit. Es wird darauf hingewiesen, dass der am einfachsten zu berechnende Index nicht gleich der geeignetste sei, sondern die Wahl und Performance des Index auch davon abhängt, für welche Region, Auswirkung oder Anwendung er genutzt werden soll (BACHMAIR ET AL., 2016b). Nicht berücksichtigt in dieser Kategorisierung sind Indizes, die sich auf sozioökonomische Auswirkungen beziehen. BACHMAIR ET AL. (2016b) bemängelt, dass solche Indikatoren bisher kaum Beachtung finden und begründet dies mit dem fehlenden Wissen von Zusammenhängen in diesem Bereich.

Zu den gängigsten Indizes zählen (1) niederschlags- und temperaturbasierte Indizes für die meteorologische Dürre, (2) Indizes der Bodenfeuchte und Trockenstress der Vegetation für landwirtschaftliche Dürre und (3) auf Abfluss oder Wasserspiegellagen basierende Indizes für hydrologische Dürre. Außerdem nennt die WMO & GWP (2016) in diesem Kontext auch zusätzlich die Kategorie der (4) fernerkundungsgestützten Indizes und (5) der zusammengesetzten bzw. modellierten Indizes, die sich auf alle drei Dürreotypen beziehen können.

1.3 Möglichkeiten der Erfassung von Dürreauswirkungen

Während Dürreindikatoren genutzt werden, um den Zustand eines Systems zu charakterisieren und quantifizieren, treffen sie leider noch keine Aussage darüber, ob es auch zu negativen Auswirkungen durch das Wasserdefizit kommt. Die WMO & GWP (2016) definiert Dürreauswirkungen als einen wahrnehmbaren Verlust oder eine Änderung zu einer bestimmten Zeit aufgrund eines Dürreereignisses. Die Erfassung der Auswirkungen ist herausfordernd, da sie oftmals nicht strukturell sind und daher schwer zu quantifizieren bzw. zu monetarisieren (BACHMAIR ET AL., 2016b).

Auswirkungen von Dürre können vielfältig sein und sich über nahezu alle Sektoren der Wirtschaft erstrecken, ebenso wie in Umwelt und Gesellschaft. BACHMAIR ET AL. (2016b) fassen mehrere Möglichkeiten zusammen, wie Daten von Dürreauswirkungen erfasst werden können. Dabei betonen sie, dass nur wenige, lediglich sektorbezogene Informationsquellen wie beispielsweise Statistiken der Landwirtschaft oder von Versicherungen annehmbare Standards haben, die zu einer brauchbaren Datengrundlage führen. Zahlreiche Studien fokussieren vor allem auf landwirtschaftliche Auswirkungen, aufgrund von guter Datenverfügbarkeit (DING ET AL., 2011). Hier kann jedoch kein ausschließlicher Zusammenhang mit Dürreereignissen garantiert werden, da zahlreiche andere Faktoren diese Werte beeinflussen und sie so nur bedingt als verlässlich angesehen werden können (DING ET AL., 2011).

In den USA ist im Jahr 2005 als erste Datenbank ihrer Art die US Drought Impact Reporter (DIR) ins Leben gerufen worden (NDMC, 2017). Diese Datenbank stützt sich auf textbasierte Informationsquellen von Dürreauswirkungen und bietet so die Möglichkeit, Auswirkungen in allen Bereichen zu erfassen. Mit der DIR als Vorbild ist schließlich im Jahr 2012 eine europäische Datenbank geschaffen worden: die *European Drought Impact Report Inventory* (EDII) als Teil des DROUGHT-R&SPI Projekts der Europäischen Union (STAHL ET AL., 2012).

Der EDII bietet die einmalige Möglichkeit der Erfassung von räumlichen, zeitlichen und sektorspezifischen Auswirkungen in Europa (STAHL ET AL., 2012). Die Datenbank erleichtert damit den Einsatz für verschiedene Anwendungsgebiete deutlich. Da Auswirkungen dynamisch sind, können sie in verschiedenen Regionen und Sektoren sehr unterschiedlich ausfallen und sollten daher möglichst separat dokumentiert und betrachtet werden (WILHITE & GLANTZ, 1985; WMO, 2006; BLAUHUT ET AL., 2015a, 2014).

Zahlreiche Kritiken beurteilen solche textbasierten Datenbanken als eingeschränkt repräsentativ, da sich die Datendichte und Berichtkultur in Anzahl, Qualität und Fokus räumlich und zeitlich gesehen stark unterscheiden können (BLAUHUT ET AL., 2015a). Nichtsdestotrotz bietet gerade diese Sammlung von Auswirkungsberichten die Chance, auch Auswirkungen, welche nicht ausschließlich den Agrarsektor betreffen, zu quantifizieren und so eine Vergleichbarkeit verschiedener Wirtschaftssektoren miteinander zuzulassen (BLAUHUT ET AL., 2015a; STAGGE ET AL., 2015).

1.4 Monitoring und Vorhersage: Zusammenhang von Indikator und Auswirkung

Da Dürreereignisse über eine große Fläche sehr hohe Schäden verursachen können, ist es für die Gesellschaft, besonders aber für EntscheidungsträgerInnen, von essentieller Fragestellung ob und wann sich Trockenheit zur Dürre mit bemerkbaren negativen Auswirkungen entwickelt (BACHMAIR ET AL., 2016b). Der Zusammenhang von Indikatoren und Auswirkungen spielt daher eine Schlüsselrolle in der Dürreforschung und ist die ausschlaggebende Voraussetzung für ein funktionierendes Dürremanagement (STAHL ET AL., 2016). Von diesem Verständnis hängt ab, ob Dürreauswirkungen vorhergesagt werden können und ob Aktion oder Reaktion zur Vermeidung und Abmilderung von Auswirkungen nötig bzw. rechtzeitig möglich sind.

Eine Studie von BACHMAIR ET AL. (2015) hat das Vorgehen von 33 *Drought Early Warning Systems* (DEMS) weltweit untersucht und ist zu dem Schluss gekommen, dass zwar viele DEMS Dürreauswirkungen dokumentieren, diese jedoch kaum genutzt werden um Dürreindikatoren zu validieren. Im Gegenteil, die Entscheidung, welcher Dürreindex in der Praxis genutzt wird, ist vielmehr von der Datenverfügbarkeit als von der Plausibilität und Eignung des jeweiligen Index abhängig.

Die meisten Indizes beschreiben Anomalien, meist von generellen meteorologischen Zuständen und wurden unabhängig von Vergleichen mit vergangenen Ereignissen entwickelt (BLAUHUT ET AL., 2015a). Eine Validierung dieser Indizes mit historischen Analogien

ist da eine logische Schlussfolgerung: Verschiedene Studien konnten bereits einen gewissen Zusammenhang von Dürreindizes und dokumentierten Dürreauswirkungen nachweisen (z.B. BACHMAIR ET AL., 2015; STAGGE ET AL., 2015). Man erhofft sich durch die Analyse von Dürreindikatoren und -auswirkungen weiterführende Erkenntnisse betreffend der Wahl eines geeigneten Indikators. Auch die anschließende Festlegung eines optimalen Schwellenwertes, der das Auftreten von Dürreauswirkungen bestmöglich widerspiegeln soll, ist von Interesse.

Nur wenige Studien haben sich bisher der Herausforderung bereits angenommen, Dürreindizes mit textbasierten Auswirkungsberichten gegenüberzustellen und diese zu untersuchen. Dabei werden verschiedene Methodikansätze verfolgt um zu prüfen, inwiefern ein Index zur betrachteten Auswirkung passt. STAHL ET AL. (2015b) und VAN LOON ET AL. (2016b) fassen diese wie folgt zusammen:

- (1) Häufigkeitsverteilungen von Dürreindexwerten in Monaten mit Dürreauswirkungen (z.B. BACHMAIR ET AL., 2015)
- (2) Korrelation der Anzahl von Dürreauswirkungen und Dürreindikatoren (z.B. BACHMAIR ET AL., 2015, 2016a; BARKER ET AL., 2016; YUAN ET AL., 2016)
- (3) Regressionsanalysen zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Auswirkungen (z.B. BLAUHUT ET AL., 2015a, 2014; STAGGE ET AL., 2015).

Häufiges Ziel solcher Untersuchungen ist außerdem das Erzielen eines Indexwertes als Schwellenwert, der als Unterschreitungswert eines Index Dürreauswirkungen anzeigen soll (STAHL ET AL., 2015b). Dies ist nicht nur essentiell für Dürrevorhersagen, sondern auch förderlich für das Bewusstsein von Stakeholdern im Dürremanagement. Man geht davon aus, dass sich das Vereinfachen oder „Übersetzen“ von statistisch basierten Indikatoren in leicht verständliche Kategorien förderlich auf die Kommunikation mit Stakeholdern und deren Risikowahrnehmung auswirkt (ANDREU ET AL., 2015). BACHMAIR ET AL. (wie z.B. 2015) empfiehlt außerdem räumlich differenzierte und sektorspezifische Betrachtungen des Zusammenhangs von Indikatoren und Auswirkungen.

2 Problemstellung und Zielsetzung

In den letzten Jahrzehnten konnte in Europa bereits eine vermehrte Häufigkeit von Dürreereignissen beobachtet werden und im Zuge des Klimawandels wird mit weiteren Verschärfungen gerechnet (SHEFFIELD ET AL., 2012; TALLAKSEN ET AL., 2014; TRNKA ET AL., 2016). Diese Entwicklungen machen es notwendig, Monitoring, Prognose und Vorhersage von Dürre weiter zu verbessern. Die weitere Erforschung des Zusammenhangs von Indikatoren und Dürreauswirkungen aus historischen Quellen rückt dabei immer mehr in den Fokus, mit der Fragestellung ob und inwiefern Indikatoren negative Dürreauswirkungen adäquat abbilden können. Besonders aus sozialen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten ist dies bisher nur unzureichend geschehen und bietet daher Raum für weitere Untersuchungen (BACHMAIR ET AL., 2016b). Besonders die EDII bietet hier eine einmalige Datengrundlage zu den breitgefächerten Auswirkungen von Dürre in verschiedenen Wirtschaftssektoren und Bereichen von Umwelt und Gesellschaft.

Eine anerkannte Methode zur Verbildlichung des Zusammenhangs von Dürreindikatoren und -auswirkungen ist dabei die Extraktion eines Schwellenwertes durch statistische Verfahren wie beispielsweise Korrelation oder Regression (STAHL ET AL., 2015b). Für viele Beteiligte im Dürremanagement sind diese Methoden aus der wissenschaftlichen Forschung jedoch schwer nachvollziehbar, wodurch die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Forschung und Stakeholdern (Personen oder Gruppen mit berechtigten Interesse und ggf. Entscheidungsgewalt) maßgeblich behindert wird (ANDREU ET AL., 2015). In dieser Arbeit soll daher anstatt eines rein statistischem Verfahrens die Schwellenwertmethodik (*threshold level method*) nach RICE (1945) zur Charakterisierung von Dürre genutzt werden. Für die Findung eines optimalen Schwellenwertes soll die Grenzwertoptimierungskurve genutzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll diese Methodik auf Funktionalität und Handhabbarkeit sowie Verständlichkeit in der Kommunikation mit Stakeholdern getestet werden.

Generell gesehen verkörpert die Kommunikation mit Stakeholdern und der Öffentlichkeit eine Schlüsselrolle für ein erfolgreiches Dürremanagement sowie für die Förderung des Bewusstseins und Verständnisses von Dürreprozessen (WOLTERS ET AL., 2015; ANDREU ET AL., 2015). Weitere Ansätze für eine Optimierung der Zusammenarbeit von Wissenschaft, Stakeholdern und Öffentlichkeit sind beispielsweise die Verbesserung der Verfügbarkeit und die Erweiterung der Datengrundlage sowie die Optimierung der Kommunikation und Partizipation aller beteiligten Gruppen (WOLTERS ET AL., 2015). ROSSI & CANCELLIERE (2013) zeigen auf, dass vor allem leicht begreifbare, anwendungsbezogene Analysetools als Informationsgrundlage und Entscheidungshilfe im Dürremanagement benötigt werden. Dabei wird vor allem die Visualisierung als Prozess, komplexe Daten und Zusammenhänge bildlich darzustellen, als geeignetes Instrument für den Wissenstransfer angesehen. Grafiken präsentieren nicht nur Informationen, sondern machen es für den Menschen einfacher, komplexe Sachverhalte in kurzer Zeit zu erfassen und zu verstehen.

Aus den aufgezeigten Wissenslücken können folgende Punkte als Ziele dieser Arbeit ausgemacht werden:

- (a) Analyse der Datengrundlage durch explorative Visualisierung zur Findung von geeigneten Darstellungsweisen und Betrachtungsebenen
- (b) Wahl des optimalen Index bzw. Schwellenwertes durch Anwendung der Grenzwert-optimierungskurve am Beispiel Baden-Württemberg
- (c) Entwicklung anwenderfreundlicher Visualisierungen zur Untersuchung des Zusammenhangs von Indikatoren und Auswirkungen
- (d) Evaluation der Visualisierungen anhand eines Fragebogens.

Als Datengrundlage für diese Arbeit dienen vier verschiedene Dürreindikatoren sowie die Auswirkungsberichte der EDII für Deutschland. Zu Beginn steht eine grundlegende Datenanalyse im Vordergrund, die Auskunft über die Datenverfügbarkeit, -qualität und angemessene Betrachtungsweisen geben soll. Ebenso werden in knapper Form die Vor- und Nachteile der verwendeten Darstellungsformen erläutert um Grenzen und Möglichkeiten der Visualisierung aufzuzeigen. Anschließend wird die Untersuchung des Zusammenhangs von Dürreindizes und Auswirkungen durchgeführt, welche Aufschluss darüber geben soll, wie eine sinnvolle Index- und Schwellenwertwahl möglich ist. Dabei wird eine nicht auf Statistik basierende Methodik anhand einer konkreten Region, Baden-Württemberg, angewandt. Hierbei soll auch untersucht werden, inwiefern sich diese Methodik eignet und Ergebnisse bringt. Im Vordergrund steht außerdem die Entwicklung von möglichst benutzerfreundlichen Visualisierungen, die die Zusammenhänge von Indikatoren und Auswirkungen darstellen und erklären. Diese Grafiken sollen als Informationsmedium im Hinblick auf die Kommunikation mit beteiligten Personengruppen dienen. Die Eignung und konkrete Anwendung dieser Visualisierungen wird dann anhand eines Fragebogens getestet und evaluiert.

3 Methodik

3.1 Datengrundlage

3.1.1 Dürreindikatoren

Für diese Arbeit wurden vier verschiedene standardisierte Indizes verwendet: der *Standardized Precipitation Index* (SPI), der *Standardized Precipitation and Evaporation Index* (SPEI), die $\Delta fAPAR$ (*fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) und der Bodenfeuchteindex ΔpF . Grund für die Wahl dieser Indizes war zum Einen die Verfügbarkeit und die hohe räumliche Auflösung, zum Anderen die gegebene Vergleichbarkeit durch die Normalisierung dieser. Normalisierung bedeutet, dass jeder dieser Indizes eine Anomalie als die Abweichung des Absolutwertes in Form von Standardabweichungen im Vergleich zum langjährigen Mittel ausdrückt (nach JOINT RESEARCH CENTRE (JRC), 2011):

$$Index_t = \frac{x_t \cdot \bar{x}}{\delta} \quad (1)$$

$Index_t$	: Anomalie des Zeitraums t [-]
x_t	: Wert des Zeitraums t [-]
$\bar{x}$	: langjähriges Mittel [-]
δ	: Standardabweichung des Wertes [-]

Dabei wird eine kumulative Wahrscheinlichkeitsfunktion an die Absolutwerte des jeweiligen Index angepasst und in eine Anomalie umgewandelt. Abbildung 2 zeigt hierbei die allgemeine Vorgehensweise bei der Transformation der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Absolutwerte zum standardisierten Index. Die 50 %ige Unterschreitungswahrscheinlichkeit eines Wertes und somit der Median des langjährigen Mittels wird zum Median 0 des Index. Vorteil ist die Vergleichbarkeit verschiedener Regionen und verschiedener Indizes untereinander.

Der SPI ist einer der weltweit meistgenutzten Dürreindizes, da er mit Niederschlag als einzigem Eingangsparameter leicht zu berechnen ist. Durch die Normalisierung ist er universell einsetzbar und eignet sich dadurch auch für den Vergleich verschiedener Klimate (WMO, 2012). Entwickelt wurde der Index von MCKEE ET AL. (1993). Der SPI bezieht sich auf die Abweichung des kumulierten Niederschlags über einen bestimmten Zeitraum und schwankt in der Regel zwischen +4 und -4, wobei positive Werte nasse Phasen und negative Werte trockene Phasen kennzeichnen. Der SPI kann für verschiedene Akkumulationszeiträume genutzt werden, häufig werden 1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 6-, 9-, 12- oder 24-monatige SPI-Werte berechnet. Dies bietet die Möglichkeit langfristige Dürreereignisse zu erfassen und auch unterschiedliche Wasserressourcen wie Grundwasser, Reservoirspeicher, Bodenfeuchte, Schnee und Abfluss abzudecken (MCKEE ET AL., 1993; WMO, 2012). Dabei werden der SPI1 und SPI2 für meteorologische Dürre, die bis zu sechsmonatigen SPI für landwirtschaftliche Dürre und die SPI mit Akkumulationszeiträumen > 6 Monate für hydrologische Dürren empfohlen (WMO, 2012).

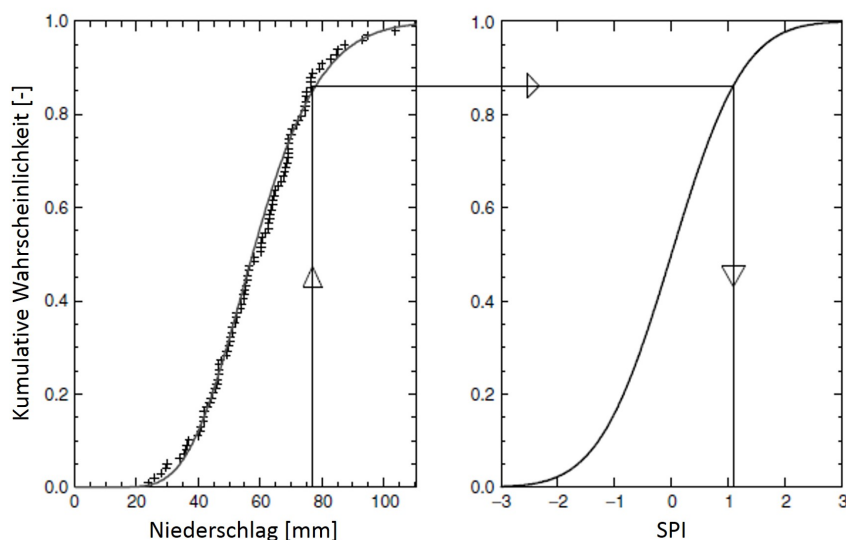


Abbildung 2: Beispielhafte Umwandlung einer kumulativen Wahrscheinlichkeitsverteilung von Niederschlag in einen standardisierten Index (hier SPI) (verändert nach LLOYD-HUGHES & SAUNDERS, 2002).

Da der SPI lediglich den Niederschlag berücksichtigt, wurde 2010 von VICENTE-SERRANO ET AL. der SPEI entwickelt. Der SPEI baut auf dem SPI auf und berechnet zusätzlich die Verdunstung mit ein, indem die Lufttemperatur als weiterer Eingangsparameter dient. Über die Lufttemperatur und die geografische Breite kann so die potentielle Verdunstung nach THORNTHWAITE (1948) berechnet und mit einbezogen werden. Besonders in trockenen Klimaten mit längeren niederschlagsfreien Perioden und hoher Evapotranspirationsrate bietet der SPEI dadurch Vorteile.

Der Index fAPAR ist der absorbierte Anteil der Sonnenstrahlung, welcher zur Photosynthese beiträgt (*fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) und korreliert direkt mit der Primärproduktion der Vegetation, welche wiederum durch Trockenheit stark beeinträchtigt werden kann (ROSSI & NIEMEYER, 2010; JRC, 2013). Dieser wird bis 2011 von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) bzw. seit 2012 vom *Flemish Institute for Technological Research* für Europa bereitgestellt. Als Grundlage dienen Aufnahmen der Vegetationsdecke durch Satelliten. Der fAPAR ist dimensionslos und bewegt sich zwischen 0 und 1, während 1 das Maximum und 0 das Minimum der Vegetationsaktivität repräsentiert (JRC, 2013). Als Dürreindex wird die Anomalie des fAPAR ($\Delta fAPAR$) genutzt. Die $\Delta fAPAR$ beschreibt die Abweichung des fAPAR in Form von Standardabweichungen im Vergleich zum langjährigen Mittel und bewegt sich meist zwischen -4 (maximale Vegetationsaktivität) und +4 (minimale Vegetationsaktivität). Diese Maßzahl wird vor allem als Dürreindex für Auswirkungen in der Landwirtschaft und allgemein der Vegetation genutzt. Das *UN Global Climate Observing System* (GCOS) betitelt den fAPAR als essentielle Variable zur Klimacharakterisierung, auch wegen der Chance die Kohlenstoffsenken lokalisieren und quantifizieren zu können (GCOS, 2016). Eine weitere Verwendung findet der $\Delta fAPAR$ auch im Dürremonitoring des European Drought Observatory während der Vegetationsperiode (BLAUHUT ET AL., 2016). Anderen Einflüsse wie beispielsweise Krank-

heiten oder Schädlingsbefall, welche ebenso die photosynthetischen Aktivität beeinflussen können, werden dabei nicht erkannt und differenziert. Das JOINT RESEARCH CENTRE (2013) empfiehlt daher eine parallele Betrachtung der $\Delta fAPAR$ mit anderen Dürreindizes, um den direkten Zusammenhang mit Trockenheit nachweisen zu können.

Die ΔpF ist ein Bodenfeuchteindex, basierend auf dem hydrologischen Niederschlags-Abfluss-Modells LISFLOOD des JRC. Die genaue Funktionsweise von LISFLOOD kann im Benutzerhandbuch nachgelesen werden (BUREK ET AL., 2013). Die Bodenfeuchte ist ein Output dieses Modells und wird als Anomalie umgewandelt und als Index genutzt (JRC, 2011). Die ΔpF schwankt gewöhnlich zwischen +4 und -4, wobei +4 Wassermangel und -4 Wasserüberschuss bedeuten.

Eine Übersicht über die verfügbare zeitliche und räumliche Auflösung, sowie die Datenherkunft der Rohdaten gibt Tabelle 1. Für diese Arbeit standen europaweite Rasterdatensätze der standardisierten Indizes zur Verfügung, die auf Deutschland zugeschnitten wurden. Die Indizes wurden sowohl räumlich als auch zeitlich aggregiert. Die räumliche Aggregation wurde mit der räumlichen Auflösung der Dürreauswirkungen abgestimmt und anhand dieser durchgeführt. Diese Aggregation, eine Mittelung der Zellwerte innerhalb einer bestimmten Region, ist in diesem Fall statistisch gesehen nicht gänzlich korrekt. Um verlässliche Werte zu erhalten, sollte die Standardisierung erst nach der Aggregation geschehen und nicht umgekehrt. Diese statistische Ungenauigkeit ist bekannt und wird zur Kenntnis genommen, da die Auswirkungen des Fehlers für den Zweck dieser Arbeit als vernachlässigbar angesehen werden. Zeitlich betrachtet lagen der SPI und SPEI bereits in Monatswerten vor. Die vorhandenen 10-Tagesperioden des $\Delta fAPAR$ und ΔpF hingegen wurden nach der Aggregation auf Monatswerte gemittelt, um eine leicht vergleichbare Basis mit SPI und SPEI zu schaffen. Alle verwendeten Indizes sind dimensionslos und bewegen sich im Bereich von vier Standardabweichungen. Der SPI, SPEI und $\Delta fAPAR$ zeigen durch den negativen Wertebereich trockene Phasen an, wohingegen der ΔpF invers reagiert und daher durch Ausschläge im positiven Wertebereich Trockenheit anzeigt.

Tabelle 1: Übersicht über Eingangsvariablen, Zeitraum, zeitliche und räumliche Auflösung und Datenherkunft der verwendeten Dürreindikatoren (Rohdaten); * SPI12 nur 1950-1999.

Index	Eingangsvariablen	Zeitraum	Räumliche Auflösung	Zeitliche Auflösung	Aggregations-zeiträume (in Monaten)	Quelle
SPI	Niederschlag	1950-2015*	11 km	monatlich	1/2/3/4/5/6/9/12*	E-OBS 9.0
SPEI	Niederschlag, Evapotranspiration	1950-2015	11 km	monatlich	1/2/3/4/5/6/9/12/24	E-OBS 9.0
ΔpF	Niederschlag, Evapotranspiration, Bodenwasserpotential, Bodenparameter, NDVI	2001-2014	5 km	10-täglich		National Meteo Office, Joint Research Centre
AtAPAR	<i>Fraction of the incoming solar radiation in the photosynthetically active radiation spectral region</i>	2001-2014	1 km	10-täglich		Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS), VEGETATION sensor onboard SPOT

3.1.2 Historische Dürreauswirkungen: Die *European Drought Impact Report Inventory*

Als Datengrundlage von Dürreauswirkungen dient die EDII. In diesem Kontext ist eine Dürreauswirkung definiert als ein ausschließlich negativer Effekt auf Umwelt, Wirtschaft oder Gesellschaft durch Trockenheit. Die EDII beinhaltet Einträge aus textbasierten historischen Quellen (Berichte, Bücher, Zeitungen, digitale Medien, Artikel etc.) mit direktem Bezug auf Trockenheit bzw. Dürre (STAHL ET AL., 2016). Abbildung 3 zeigt die Benutzeroberfläche der Access Datenbank, die Datenbank ist aber auch über die Homepage des European Drought Center (<http://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/>) erreichbar und bietet WissenschaftlerInnen und der breiten Bevölkerung Zugang zu Daten über historische Dürreauswirkungen. Benötigte Angaben bei der neuen Eingabe einer Dürreauswirkung sind vor allem Informationen zum zeitlichen und räumlichen Auftreten und die Art der Auswirkung (BACHMAIR ET AL., 2015). Jeder Eintrag beinhaltet außerdem Informationen über die Art der schriftlichen Quelle, Autor und Titel (sowie ggf. Weblink) und wird von bei der Übernahme in die Datenbank von einem Experten auf Richtigkeit geprüft (STAHL ET AL., 2012). Aktuell (Stand November 2016) sind 7964 Einträge vorhanden, davon 1635 Deutschland betreffend.

Jeder Auswirkungsbericht ist einer *impact category*, einer von 15 Auswirkungskategorien, zugeordnet (Tabelle 2). Jede Auswirkungskategorie ist weiter in mehrere *impact types* (Auswirkungstypen) unterteilt, die die Art der Auswirkung näher spezifizieren. In dieser Arbeit wird ausschließlich mit den Auswirkungskategorien gearbeitet. Eine vollständige Übersicht über die Auswirkungstypen sowie die jeweilige Anzahl von Einträgen je Auswirkungstyp zeigt Tabelle 7 im Anhang B. Die Einteilung der Auswirkungen in Kategorien bzw. Typen ermöglicht die separate Betrachtung von gleichartigen Dürreauswirkungen und lässt so differenzierte Analysen zu.

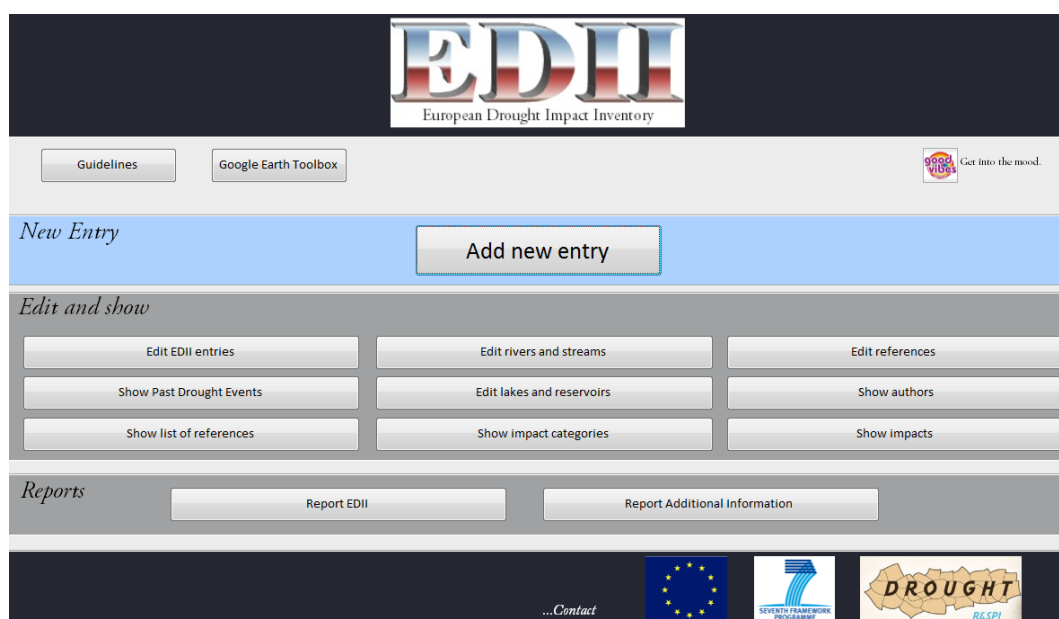


Abbildung 3: Die grafische Benutzeroberfläche der EDII als Access Datenbank.

Tabelle 2: Übersicht über die Auswirkungskategorien der EDII und die Anzahl der Einträge in der jeweiligen Auswirkungskategorie für ganz Deutschland und Baden-Württemberg.

Nr.	Auswirkungskategorie	Anzahl Einträge Deutschland	Anzahl Einträge Baden-Württemberg
1	Land- & Viehwirtschaft	411	200
2	Forst	220	58
3	Wasserkulturen & Fischerei	25	5
4	Energie & Industrie	92	37
5	Schifffahrt	163	65
6	Tourismus & Naherholung	34	13
7	Öffentliche Wasserversorgung	174	93
8	Wasserqualität	207	56
9	Aquatische Ökosysteme	187	64
10	Terrestrische Ökosysteme	19	11
11	Bodensystem	1	0
12	Waldbrände	55	14
13	Luftqualität	4	1
14	Gesundheit & Sicherheit	38	19
15	Konflikte	5	2

Die Einträge in der Datenbank sind räumlich gesehen anhand der Systematik der Gebietseinheiten für Statistik (*Nomenclature of Territorial Units for Statistic*, NUTS) zugeordnet. Diese Klassifikation wurde 2003 im Rahmen einer Verordnung der Europäischen Union (EG 1059/2003) erschaffen und unterteilt „das Gebiet der Europäischen Union (EU) in drei verschiedene Ebenen von Regionen (NUTS-Ebenen 1, 2 und 3, wobei die Ebene 1 die größte Gebietseinheit bezeichnet)“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2015). Die NUTS-Ebenen bieten so die Möglichkeit, Regionen in ganz Europa miteinander zu vergleichen. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, sind in Deutschland für die Einteilung nach NUTS-Regionen bereits existierende administrative Einheiten genutzt worden. Die NUTS1-Ebene entspricht den Bundesländer, die NUTS2-Ebene weitestgehend den Regierungsbezirken und die kleinste räumliche Einheit, die NUTS3-Ebene, gleicht den Landkreisen.

Für diese Arbeit wurden die Auswirkungsberichte der EDII nochmals auf Konsistenz überprüft, Duplikate entfernt sowie Ungereimtheiten, die während der Bearbeitung aufgetaucht sind, wenn möglich weitestgehend behoben. Dank klarer Regeln beim Eintragen der Dürreauswirkungen sind solche Fehler aber die Ausnahme.

Die zeitliche Auflösung ist nicht bei jedem Eintrag komplett. Tabelle 3 zeigt anhand weniger Beispiele, wie Zeitangaben ggf. ergänzt wurden. Einträge, die nur eine Jahreszahl als Start- oder Endzeit beinhalten, wurden für das ganze Jahr gewertet und als „dokumentierte Dürreauswirkungen ohne Monatsangabe“ weitergeführt und ggf. bei Analysen gesondert berücksichtigt. Grund dafür ist, dass im Nachhinein nicht nachvollzogen werden kann,

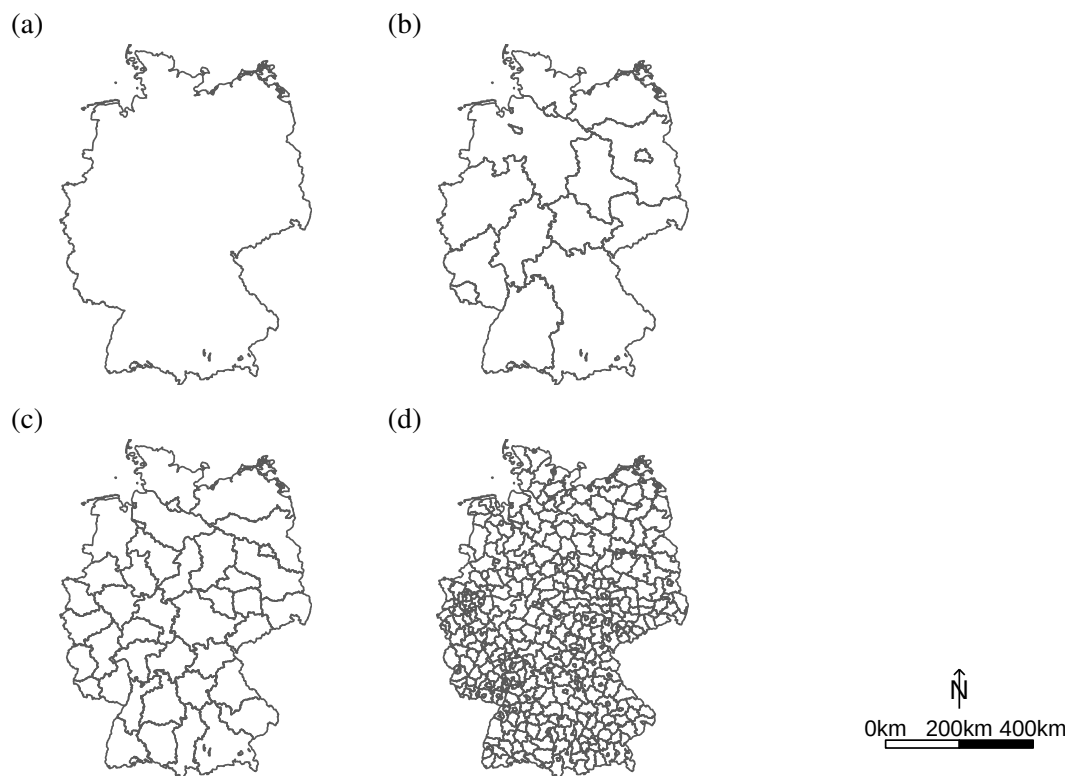


Abbildung 4: Die deutschen Gebietseinheiten für Statistik: (a) die nationale Ebene, (b) die NUTS1-Ebene, (c) die NUTS2-Ebene und (d) die NUTS3-Ebene (Daten von BLAUHUT ET AL., 2016 verändert nach STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2007).

welche dieser Auswirkungen tatsächlich über das ganze Jahr statt gefunden haben und bei welchen lediglich Zeitangaben fehlen oder beim Erstellen des Datenbankeintrages nicht näher eingegrenzt werden konnten. Einträge mit Jahreszeiten und ohne Monatsangaben wurden für die gesamten drei Monate der jeweiligen Jahreszeit(en) gewertet (Sommer: Juni - August, Herbst: September - November, Winter: Dezember - Februar, Frühling: März - Mai). Einträge mit Startmonat und ohne Endmonat wurden bei gleichem Endjahr nur für den gegebenen Monat gewertet. Diese Ergänzung der Datengrundlage wurde als nötig befunden, da nur 25 % aller Einträge für Deutschland eine eindeutige zeitliche Angabe mit Start- und Endmonat haben.

Tabelle 3: Beispielhafte Vervollständigung von fehlenden Zeitangaben der EDII Auswirkungsberichte. Ergänzungen sind in Rot gekennzeichnet. Einträge ohne Monats- oder Jahreszeitangabe werden außerdem als „Einträge ohne Monatsangabe“ weitergeführt.

ID	Start-monat	Start-jahreszeit	Start-jahr	End-monat	End-jahreszeit	End-jahr	Eintrag ohne Monatsangabe
13278	11		2015	11		2015	
13279	3	Frühling	2015	8	Sommer	2015	
4408	6		2003	2		2004	
4364	1		2003	12		2003	ja
4659	8		2003	8		2003	
13204	6	Sommer	2003	12		2004	ja (2004)

3.2 Grenzwertoptimierungskurve

Die Schwellenwertmethodik (*threshold level method*) wurde von RICE (1945) entwickelt und findet seit einigen Jahren vor allem bei der Definition hydrologischer Dürre Anwendung, meist als 20-%ige Unterschreitungswahrscheinlichkeit von Abfluss (HISDAL & TALLAKSEN, 2000; VAN LOON, 2015b). Schwellenwerte könne jedoch auch bei anderen Arten von Dürre hilfreich sein und die Interpretation von Dürreindikatoren vereinfachen. Im Idealfall basieren Schwellenwertanalysen auf statistischen Verfahren und sind mit Dürreauswirkungen aus der Vergangenheit validiert (STAHL ET AL., 2015b). Oftmals jedoch fehlt die konkrete Auswertung dieser Schwellenwerte: Ist der angenommene Wert plausibel? Gäbe es möglicherweise einen geeigneteren Schwellenwert? Um einen Schwellenwert validieren zu können, bietet sich die EDII an. Durch die Dokumentation vergangener Dürreauswirkungen ist es möglich Schwellenwerte anhand dieser zu überprüfen und daraus ggf. Konsequenzen für das praktische Dürremanagement abzuleiten.

Ein Zusammenhang von Dürreauswirkungen und Dürreindikatoren konnte bereits durch BACHMAIR ET AL. (2015) nachgewiesen werden, die die unterschiedlichen Verteilungen von Indikatorwerten in Dürremonaten (definiert als Monat mit belegten Dürreauswirkungen) und von Indikatorwerten in Monaten ohne Dürre (keine Dürreauswirkungen verzeichnet) ausgewertet haben. Auch Abbildung 5 zeigt deutliche Unterschiede von Indexwerten (hier als Beispiel der Index SPI03) in Monaten mit dokumentierten Dürreauswirkungen und Monaten ohne dokumentierten Dürreauswirkungen (aller Auswirkungskategorien). Die Abbildung zeigt jedoch auch, dass augenscheinlich keine eindeutige Separation der Werte möglich ist, da die Verteilungen der Indexwerte überlappen. Erstrebenswert ist daher die Suche nach dem optimalen Schwellenwert, der aufgrund der vorhandenen Datengrundlage erreicht werden kann.

Um den bestmöglichen Schwellenwert herausfinden zu können, ab welchem Dürreindexwert es zu Dürreauswirkungen kommt, kann eine ROC-Kurve (*Receiver Operating Characteristic Curve*) zur Hilfe genommen werden. Ursprünglich ist sie während des 2. Welt-

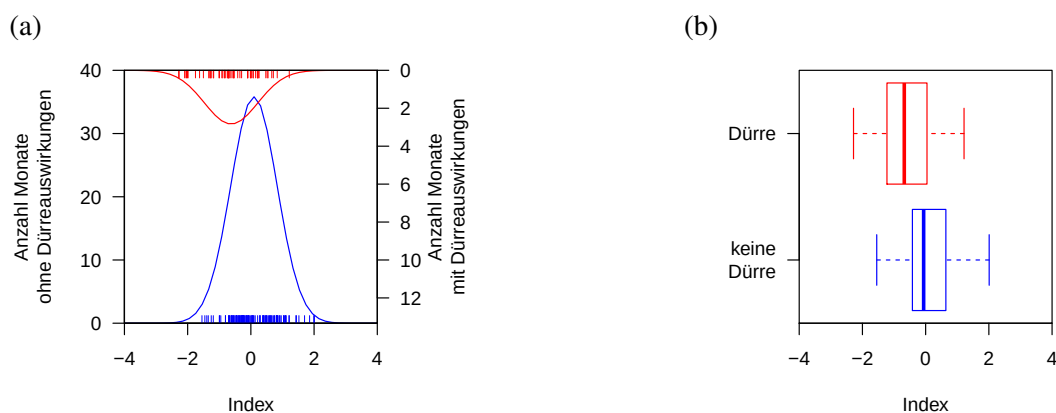


Abbildung 5: Verteilung der Indexwerte in Dürremonaten (rot) und Monaten ohne Dürre (blau) (a) als angepasste Normalverteilung mit *rugs* (Dürremonate sind dreifach überhöht) und (b) als Boxplot.

krieges entwickelt worden und findet heutzutage besonders in der medizinischen Diagnostik Verwendung (COLLINSON, 1998; RICE & HARRIS, 2005). Eine ROC-Kurve wie sie in Abbildung 6 (a) zu sehen ist, wird auch Grenzwertoptimierungskurve genannt und dient dazu den bestmöglichen Schwellenwert zwischen Indexwerten in Monaten mit dokumentierten Dürreauswirkungen und Indexwerten in Monaten ohne dokumentierte Dürreauswirkungen zu detektieren: Für jeden möglichen Schwellenwert wird der Prozentsatz richtig erfasster Monate mit Dürreauswirkungen (Richtig-Positiv-Rate, Sensitivität) auf der Ordinate und der Prozentsatz richtig erfasster Monate ohne Dürreauswirkungen (Falsch-Negativ-Rate, Spezifizität) auf der Abszisse aufgetragen und anschließend als Linie verbunden. Als Alternative zur Spezifizität wird auch die Falsch-Positiv-Rate genutzt, die sich als Differenz von 1 minus Spezifizität berechnet und somit den Anteil anzeigt, der fälschlicherweise als Ereignis erkannt wurde.

Die Grenzwertoptimierungskurve bildet also alle möglichen Schwellenwerte mit ihrer Spezifizität und Sensitivität ab und zeichnet sich durch eine charakteristische Kurve aus, mit einer idealerweise starken Krümmung Richtung maximaler Sensitivität und Spezifizität. Würde die Grenzwertoptimierungskurve eine diagonale Form nahe der 1:1-Gerade annehmen, wären alle möglichen Schwellenwerte gleich gut bzw. schlecht geeignet, ähnlich einer Zufallsvariablen.

Der Wert auf der Kurve mit der maximalen Summe von Sensitivität und Spezifizität entspricht dem „optimalsten“ Schwellenwert, der gewählt werden kann und kann leicht mit Hilfe eine 45° ansteigende Tangente gefunden werden. Der Kontaktpunkt der ROC-Kurve mit dieser Tangente bildet den maximalen Wert der Summe von Richtig-Positiv-Rate und Falsch-Negativ-Rate. Der Schwellenwert des Index selbst kann von den Achsen nicht abgelesen werden, sondern wird anhand der Sensitivität bzw. Spezifizität aus den Daten extrahiert. In besagtem Beispiel, Abbildung 6 (a), ist also der optimale Schwellenwert des Index -0.62, durch den 80 % der Monate mit Dürreauswirkungen und 83 % der Monate ohne Dürre korrekt erfasst werden können.

Anstatt von der Sensitivität und Spezifizität zu sprechen, die die korrekt erfassten Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen betrachten, kann auch von den Fehlern 1. und 2. Art sprechen. Der Fehler 1. Art drückt aus, wie viele Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen durch den Schwellenwert nicht richtig erfasst werden können. Der Fehler 2. Art hingegen gibt an wie viele Monate ohne dokumentierte Dürreauswirkungen fälschlicherweise als Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen erfasst werden. Abbildung 6 zeigt daher die Möglichkeit auf, neben der gleichen Gewichtung von Sensitivität und Spezifizität (a), dass man im gewünschten Falle fokussieren kann. Es besteht die Möglichkeit entweder den Fehler 1. Art (b) oder den Fehler 2. Art (c) verstärkt zu gewichten und einen Schwellenwert entsprechend wählen zu können, der den jeweiligen Anforderungen besser entspricht.

Eine weiterer Wert, der zeigt wie gut ein Index Dürreauswirkungen widerspiegeln kann, ist die Fläche unterhalb der Kurve (*Area Under Curve*, AUC). Diese Fläche zeigt bei guter Eignung einen Wert nahe 1 an. Bei einer sehr flachen ROC-Kurve nahe oder gar unter der 1:1-Diagonalen wäre der Wert 0.5 (oder niedriger) und somit der Index ungeeignet für die jeweilige Betrachtung. Anhand der ROC-Kurve und AUC-Fläche können so auch mehrere Indizes auf Funktionalität und die Eignung miteinander verglichen werden. Ab-

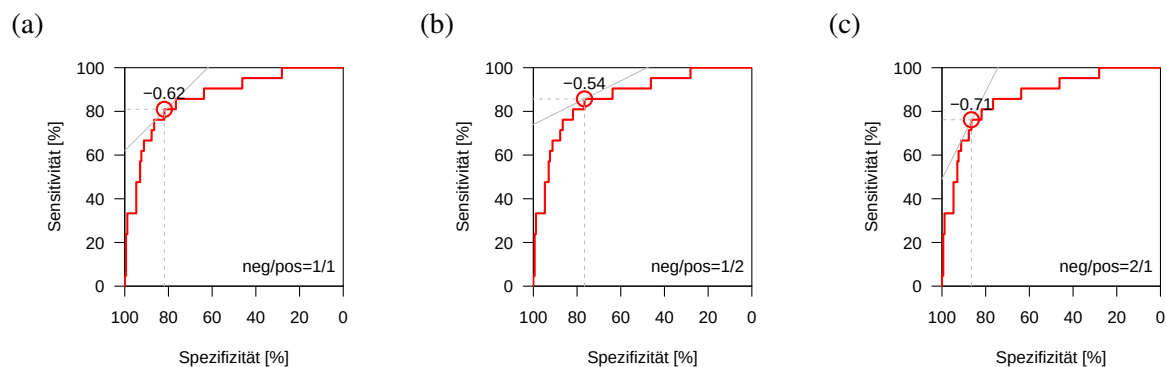


Abbildung 6: Möglichkeiten der Priorisierung von Sensitivität (b) oder Spezifität (c) gegenüber der Betrachtung ohne Priorisierung (a) bei der Suche nach einem Schwellenwertoptimum anhand der ROC-Kurve.

Abbildung 7 zeigt an einem Beispiel zwei ROC-Kurven: Die Kurve die näher ans Maximum kommt, scheint den geeigneteren Index abzubilden. Bestätigen kann dies die AUC, die dabei als Maßzahl für den Vergleich zweier Indizes dienen kann. Die ROC-Kurve und die AUC ermöglichen somit sowohl den Vergleich verschiedener Indizes miteinander als auch die Beurteilung der Eignung eines Index für die Betrachtung bestimmter Kategorien oder Regionen.

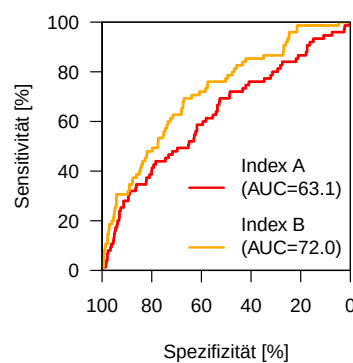


Abbildung 7: Vergleich zweier Indizes anhand der ROC-Kurven und der zugehörigen AUC als Entscheidungsgrundlage für die Wahl eines geeigneten Index.

3.3 Visualisierungsprozess

Visualisierung ist ein Prozess, Daten und Zusammenhänge visuell darzustellen. Dabei ist die visuelle Darstellung nicht auf ein bestimmtes Medium oder Vorgehen beschränkt. Visualisierung kann verschiedenen Verwendungszwecken dienen: Zur Exploration von Daten und Zusammenhängen oder zur Überprüfung bzw. Präsentation von Thesen. Da der Mensch seine Umgebung überwiegend visuell wahrnimmt, wird Visualisierung oftmals dann eingesetzt, wenn die zu übermittelnden Informationen komplex sind (ILIINSKY & STEELE, 2011).

In dieser Arbeit wird die Visualisierung eingesetzt um zweierlei Zielen zu erreichen: zum einen für eine Datenanalyse, um neue Erkenntnisse und neues Verständnis zu gewinnen, zum anderen um die Anwenderfreundlichkeit von Grafiken in der Dürrethematik zu testen und auszuwerten. Das Vorgehen dieser Arbeit wird in Abbildung 8 abgebildet. Das Thema Dürre beinhaltet komplexe Zusammenhänge und Erkenntnisse aus Praxis und Forschung, die es zu erkunden gilt. Zur Verfügung stehen Daten von Dürreindikatoren und Informationen aus der EDII Datenbank über Dürreauswirkungen in der Vergangenheit. Durch eine allererste explorative Visualisierung werden diese Daten analysiert. Unter Betrachtung verschiedener Dimensionen und Blickwinkel wird die Datengrundlage verbildlicht und analysiert. Ebenso wird anhand erster Erkenntnisse zu Eignung, Handhabbarkeit und Verständnis der Daten eine geeignete Betrachtungsebene ausgewählt.

Unter Berücksichtigung der gewählten Betrachtungsebene soll die These des Zusammenhangs von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen visuell untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden zuerst rein darstellende Grafiken entwickelt, anhand derer Indikator und Auswirkung verglichen werden können. Die Ergebnisse, die anhand der Anwendung der Methodik der optimalen Schwellenwertwahl erlangt wurden, sind anschließend als Visualisierungen umgesetzt worden. Dabei kann anhand der Grafiken analysiert werden, inwiefern die Wahl eines Schwellenwertes sinnvoll erscheint und wie die Wahl des passenden Index möglich ist. Je nach Darstellungsform wurde das gesamte Bundesgebiet Deutschlands dargestellt (kartografische Darstellungen) oder Baden-Württemberg als Beispiel herausgegriffen (zeitliche Betrachtungen).

Als Zielgruppe sollen vor allem Stakeholder im Dürremanagement angesprochen werden, also Personen mit berechtigtem Interesse und Beteiligung an Entscheidungsprozessen, aber auch interessierte Privatpersonen und WissenschaftlerInnen, die mit Dürre durch ihr Stu-

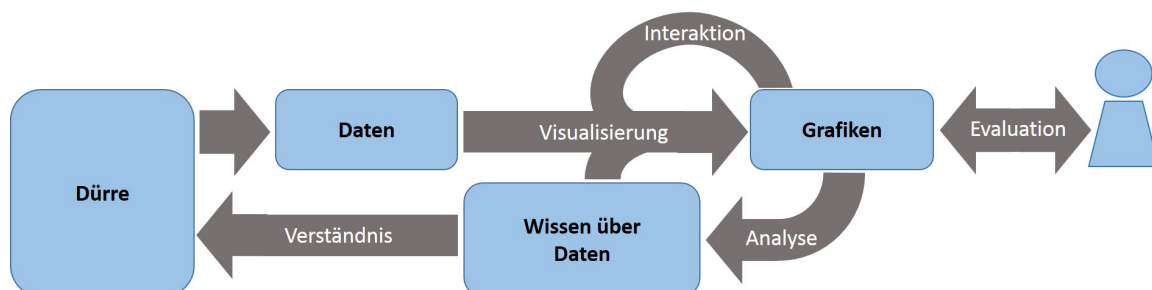


Abbildung 8: Skizzierung des Ablaufschemas des Visualisierungsprozesses von vorliegenden Dürredaten (basierend auf LEITTE, 2013).

dium oder ihre Arbeit in Berührung kommen. Es wird davon ausgegangen, dass Personen dieser Zielgruppe zwar ein fundamentales naturwissenschaftliches Verständnis mitbringen, jedoch grundsätzlich gesehen ein sehr unterschiedliches Hintergrundwissen und Prozessverständnis mitbringen. Wie Abbildung 9 am Beispiel von MACEACHREN's *map-use cube* zeigt, gibt es verschiedene Dimensionen, die bei der Visualisierung zu beachten sind. Entwickelt wurde der *map-use cube* in der Kartografie, doch sind die Dimensionen der Theorie auch auf andere Arten der Visualisierung übertragbar. Die Dimensionen spiegeln wieder, auf was bei der visuellen Darstellung von Informationen unbedingt zu beachten ist. Je nach Zielgruppe sollte der Informationsgehalt der Grafik angepasst werden, außerdem ist die Interaktion der Grafik und der betrachtenden Person nicht zu vernachlässigen. Je größer die Interaktion, desto mehr Interpretation wird gefordert. Je geringer die geforderte Interaktion, desto offensichtlicher und einfacher ist die Aussage der Grafik.

Ziel war es leicht interpretierbare und trotzdem informative Grafiken zu gestalten. Es wurde versucht das Verständnis durch eine besonders benutzerfreundliche Gestaltung des Layouts zu vereinfachen, um so ein möglichst breites Publikum ansprechen zu können. Daher wurde bei der Wahl von Symbolen und Farben vor allem darauf geachtet, möglichst auf die menschliche Intuition zu setzen, die die natürliche Ordnung der Dinge leicht erkennt. Beispielsweise können Positionen und Größen von Symbolen besser erfasst werden als ihre Form. Bei Farben ist die Helligkeit und Intensität grundsätzlich gut zu erfassen, Farben selbst jedoch haben keine festgelegte Ordnung in der menschlichen Wahrnehmung (ILIINSKY & STEELE, 2011). Zwar kann man beispielsweise durch Farbpaletten eine Vielzahl an Abstufungen sichtbar machen, jedoch führt dies oft zu Missverständnissen. In dieser Arbeit wurde sich entschieden für negative Indexwerte Rot zu verwenden.

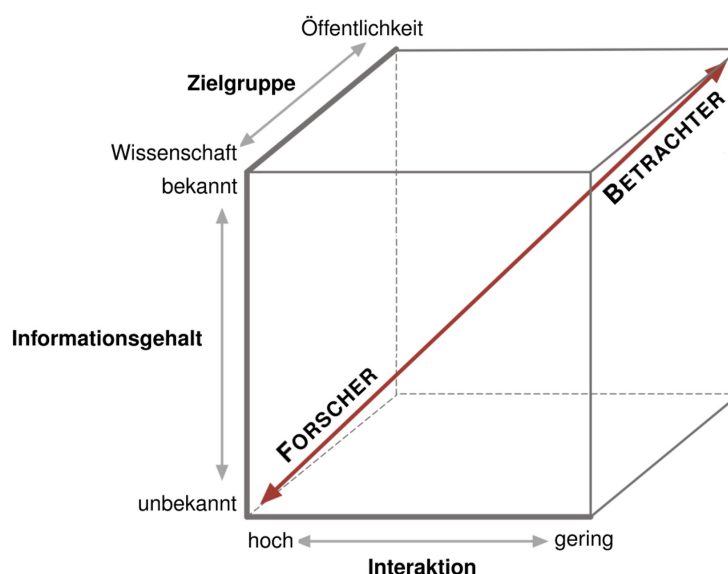


Abbildung 9: Dimensionen einer Visualisierung: Interaktion, Informationsgehalt und Zielgruppe nach dem *map-use cube* (verändert nach NESET ET AL., 2015; MACEACHREN, 1994).

Leicht negative Werte werden in einem blassen Rot dargestellt, je negativer der Wert desto kräftiger und intensiver das Rot. Blau hingegen wird verwendet für positive Indexwerte, welche Feuchtigkeit anzeigen. Auch hier wird die Farbe kräftiger und intensiver je höher der Wert. Da der ΔpF eine inverse Skala nutzt, ist hier auch die Farbgebung invers. Die Farbwahl stützt sich dabei auf die weit verbreitete soziale Konvention, dass Menschen mit Blau Wasser verbinden und Rot für Gefahr steht, um möglichst vielen BetrachterInnen das Verständnis der Grafiken zu erleichtern.

Die Darstellungen beziehen sich aus zeitlichem Gesichtspunkten häufig auf den Zeitraum 2000-2015. Dieser Zeitraum wurde als Beispiel gewählt, da er sowohl die Dürre in den Jahren 2003 und 2015 umfasst, als auch die meisten dokumentierten Dürreauswirkungen beinhaltet (wie die folgenden Analysen ergeben werden). Zudem kommen rein praktische Gründe, dass die Darstellung des gesamten Zeitraumes vorhandener Dokumentation von Dürreauswirkungen bzw. Indexwerten sehr lang und unhandlich in der Darstellung sind.

Im Laufe dieser Arbeit wurden viele Darstellungsformen ausprobiert und z.T. wieder verworfen. Aus den Grafiken, die den Zusammenhang von Indikator und Auswirkungen visualisieren und die Problematik des Schwellenwertes repräsentieren, wurden die vielversprechendsten Abbildungen ausgewählt um sie im Rahmen eines Fragebogens zu testen und evaluieren zu können. Das weitere Vorgehen der Evaluation ist in Kapitel 3.4 beschrieben.

Bei der Visualisierung wurde hauptsächlich mit RStudio gearbeitet. QGIS und Excel wurden anfangs zur Hilfe genommen, wenn es darum ging, Daten schnell zu sichten. Die Grafiken des Ergebnisteils dieser Arbeit wurden jedoch komplett mit RStudio erstellt. Eine Aufstellung der verwendeten Pakete ist ab Seite 75 zu finden.

3.4 Evaluation

3.4.1 Erstellung des Fragebogens und Durchführung der Befragung

Für die Evaluation soll die Thematik von Dürre und Trockenheit im Rahmen eines Fragebogens visuell präsentiert werden, um herauszufinden, ob die Grafiken benutzerfreundlich sind und wo bzw. inwiefern es Verbesserungspotential gibt. Durch die Analyse und Bewertung der Visualisierungen durch Testpersonen wird ein Erkenntnisgewinn angestrebt, der der Entwicklung von Dürrevisualisierung zu einem Fortschritt verhilft und gleichzeitig die Kommunikation mit verschiedenen Zielgruppen verbessert und erleichtert, im Fokus der Zusammenhang von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen. Das Verständnis dieses Zusammenhanges ist sowohl für die Dürreforschung als auch für die praktische Arbeit im Dürremanagement von essentieller Bedeutung (STAHL ET AL., 2016). Auch die Problematik der Charakterisierung von Dürre anhand eines Schwellenwertes wurde aufgegriffen. Aus den im Laufe des Visualisierungsprozesses erstellten Grafiken wurden die vielversprechendsten ausgewählt, um sie an Personen der Zielgruppe testen und evaluieren zu können.

Als Zielgruppe wurden im weitesten Sinne Stakeholder gewählt. Teilgenommen haben zwei Studierende und eine berufstätige Person mit umweltwissenschaftlicher Berufsausbildung, zwei MitarbeiterInnen von hydrologischen Verbänden, sowie zwei wissenschaftliche Mitarbeiter der Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen der Universität Freiburg. Diese sieben Testpersonen sollen dabei die Diversität von Beteiligten in der Thematik von Dürre widerspiegeln. Eine statistische Relevanz der Antworten ist in dieser Größenordnung nicht gegeben, dessen ist man sich bewusst. Jedoch ist diese Art der Befragung für die Bewertung der visuellen Kommunikation im Themenbereich Dürre die erste ihrer Art. Besonders durch den qualitativen Teil erhofft man sich, dass trotz geringer Teilnehmerzahlen die Interpretation der Antworten zu sinnvollen und konstruktiven Ergebnissen führt.

Für das Design des halbstrukturierten Fragebogens wurde zur thematischen Instruktion ein einführender Text formuliert, der den TeilnehmerInnen den Einstieg erleichtern soll. Gleichzeitig dient er zur Sensibilisierung der TeilnehmerInnen für das Thema und ein einheitlicher minimaler Wissensstand der Testpersonen wird gewährleistet. Der Fragebogen wurde möglichst kurz und prägnant gestaltet. Die Dauer der Befragung wurde auf einen maximalen Zeitrahmen von einer halben Stunde konzipiert um die Aufmerksamkeit und Konzentration der befragten Personen (im Folgenden TeilnehmerInnen genannt) nicht überzustrapazieren. Um eventuelle Verständnisschwierigkeiten im Nachhinein besser einschätzen zu können, wurde außerdem nach Ausbildung und Beruf sowie nach bisherigem Kontakt mit dem Thema Dürre gefragt.

Ziel der Evaluation ist es herauszufinden, welche Stärken und Schwächen die Visualisierungen aufweisen, um anschließend aufgrund dieser Erkenntnisse Rückschlüsse ziehen zu können. Diese Form vom Evaluation nennt man formative Evaluation, da sie als entwicklungsbegleitend angesehen wird (NIEGEMANN ET AL., 2008). Leitfragen sind hierbei:

- Sind die Grafiken verständlich und interpretierbar?
- Welche Stärken und Schwächen weisen die Grafiken auf?
- Gibt es Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich Inhalt, Umsetzung oder Wirkung?

Die nachfolgende Methodik der Evaluation stützt sich auf NIEGEMANN ET AL. (2008)

entwickelt, der sich intensiv mit der Evaluation von multimedialen Lernangeboten beschäftigt. Da die Visualisierungen dieser Arbeit sowohl als Informationsträger fungieren als auch dem Lernen und Verstehen dienen, können diese auch als ein „multimediales Lernangebot“ verstanden werden. Grundsätzlich gesehen wurden für die Erstellung des Fragebogens geschlossene Fragen und offene Fragen kombiniert. Die Kombination von quantitativer und qualitativer Methodiken bietet sich hier besonders an, da nicht nur vorgefertigte Hypothesen abgefragt werden können, sondern durch offene Fragen vielseitigere und leichter interpretierbare Antworten erlangt werden können (MAYRING, 2001).

Für eine gelungene Grafik spielt nicht nur der dargestellte Inhalt, sondern auch die Gestaltung der Visualisierung und die erklärende Abbildungsbeschriftung eine zentrale Rolle. Die Formulierungen der Evaluationsfragen stützen sich auf *usability*-Kriterien nach RUBIN & CHISNELL (2008). Durch die Abfrage der geschlossenen Fragen soll die Erlernbarkeit („Die Darstellung ist intuitiv zu verstehen“ und „Der Inhalt der Grafik ist sehr komplex“), Effizienz („Die Zeit, die ich investieren musste um die Grafik zu verstehen, hat sich für die gewonnene Erkenntnis gelohnt“) und Effektivität („Ich habe durch die Grafik etwas Neues dazugelernt“) der Grafiken überprüft werden. Die offenen Fragen beziehen sich auf die Hauptaussage und geben Raum für weiteren Anmerkungen der TeilnehmerInnen, aus denen man sich erhofft zu erfahren wie die Wirkung und das Verständnis der Grafiken auf die Teilnehmer war und somit Auskunft über die Brauchbarkeit der Grafiken zu erlangen. Das Design der Fragen, wie es im Fragebogen genutzt wird, ist in Abbildung 10 zu sehen.

Nach einem einmaligen Vortest (Pre-Test) des Fragebogens an einer Testperson wurde der Fragebogen noch einmal geringfügig abgeändert und Inkonsistenzen sowie unklare Formulierungen ausgebessert. Im Zeitraum des 18.-27. September 2017 wurden die Fragebogen von den TeilnehmerInnen ausgefüllt. Zur Identifizierung während der Auswertung wurden die TeilnehmerInnen mit Lettern gekennzeichnet (A-G). Aufgrund des Datenschutzes werden die Identitäten anonym gehalten. Die Befragung war bei allen TeilnehmerInnen identisch. Verbal kommunizierte Verständnis- und Zwischenfragen sind ggf. individuell beantwortet und gemeinsam mit einer Beschreibung der Rahmenbedingungen, möglichen Besonderheiten und Eindrücken anschließend in einem Postskriptum protokolliert worden. Um die Gleichheit der Befragung durch den Fragebogen zu gewährleisten wurden Zwischenfragen nur sehr knapp beantwortet und zu Beginn des Fragebogens keine mündliche Einführung gegeben, die das Ergebnis der Befragung beeinflussen könnte. Die Antworten des Pre-Tests (von TeilnehmerIn P) wurden in die Auswertung mit einbezogen, insofern sich Aussagen nicht auf einen nach dem Pre-Test veränderten Teil des Fragebogens bezogen.

Bitte bewerten Sie einige Aussagen zu der eben betrachteten Abbildung I. Die Antwortskala geht nach Schulnoten von 1 „Stimmt nicht“ bis 6 „Stimmt völlig“. Anschließend haben Sie die Möglichkeit anhand zweier offener Fragen ihre Eindrücke zu schildern.

	Stimmt nicht					Stimmt völlig	
	1	2	3	4	5	6	
Die Darstellung ist intuitiv zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Der Inhalt der Grafik ist sehr komplex.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Die Zeit, die ich investieren musste um die Grafik zu verstehen, hat sich für die gewonnene Erkenntnis gelohnt.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Ich habe durch diese Grafik etwas Neues dazugelernt.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Was ist Ihrer Meinung nach die Hauptaussage der Abbildung?							
Haben Sie Anmerkungen oder Kritik zur Abbildung?							

Abbildung 10: Geschlossene und offene Fragen zur Auswertung der Abbildungen im Fragebogen.

3.4.2 Auswertung des Fragebogens

Die ausgefüllten Fragebogen wurden in digitale Form überführt. Um die Auswertung zu ermöglichen wurden die Antworten der geschlossenen Fragen und die Abschrift der offenen Fragen mithilfe einer Excel-Tabelle erfasst. Da der Fokus auf den thematisch-inhaltlichen Aussagen liegt, wurden Rechtschreibfehler, Satzbaufehler o.ä. ggf. ausgebessert, um eine flüssigere Bearbeitung zu ermöglichen.

Die Auswertung der geschlossenen Fragen geschah durch Analyse der durchschnittlichen Antworten aller TeilnehmerInnen, dargestellt durch Säulendiagramme. Es folgte ein Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Abbildungen und allgemeine Aussagen wurden getroffen über Intuition, Komplexität, Angemessenheit der investierten Zeit, um die Grafik zu verstehen und die Information darüber, ob der/die TeilnehmerIn etwas Neues dazugelernt hat gesammelt. Generell gesehen sind die Ergebnisse der geschlossenen Fragen als Ergänzung zu Verstehen, die zur Auswertung der offenen Fragen zur Hauptaussage beitragen sollen.

Die offenen Fragen im Fragebogen wurden durch eine zusammenfassende Inhaltsanalyse nach MAYRING (2008) ausgewertet. Zuerst wurden bei der zusammenfassenden Analyse systematisch die Aussagen des Ausgangsmaterials schrittweise anhand eines induktiv entwickeltem Kategoriensystems eingestuft (MAYRING, 2008). Induktiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Kategorien nach und nach während dem durchgehen der Aussagen einer bereits vorhandenen oder einer zu erstellenden Kategorie zugeordnet wurden. Dabei wurden Passagen und bedeutungsgleiche Phrasen gestrichen (erste Reduktion) und ähnliche Aussagen gebündelt (zweite Reduktion) (FLICK, 2016). Dabei soll das Material so reduziert und paraphrasiert werden, dass es zu keinem Verlust vom Inhalt kommt und eine angemessene Widerspiegelung der Aussagen der TeilnehmerInnen geschieht (MAYRING, 2008). Jede Fundstelle, ein Satz oder eine Phrase zu einem bestimmten Sachverhalt, wurde paraphrasiert, anschließend generalisiert und zum Schluss auf die Kernaussage reduziert (MAYRING, 2008). Ein Beispiel für das Vorgehen bei der qualitativen Inhaltsanalyse bietet Abbildung 4. Diese Kernaussagen bilden das Kategoriensystem, welches zur Interpretation der Antworten dient. Eine Übersicht über die gebildeten Kategorien ist in Tabelle B zu finden.

Tabelle 4: Beispielhafter Auszug aus der Auswertung des Fragebogens nach dem Vorbild der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2008).

Abb.	Frage	Frage- bogen	Paraphrase	Generalisierung	Reduktion (Kernaussage)
2	a	E	negative Indexwerte stehen nicht in direktem Zusammenhang mit Dauer oder Anzahl der Auswirkungen (ggf. treten Auswirkungen mit zeitlicher Verzögerung auf?)	kein direkter Zusammenhang von Index und Auswirkung	
3	a	P	die Jahre 2015 und 2003 waren besonders trocken und hatten die höchste Anzahl an Auswirkungen, 2011 hatte trotz großer Trockenheit keine großen Auswirkungen	niedriger Index und hohe Anzahl an Auswirkungen stimmen nicht immer überein	ein Zusammenhang zwischen Index und Auswirkung besteht, ist aber nicht eindeutig
4	a	A	blaue Kurve überschneidet sich mit roter Kurve, daher scheint der Indexwert alleine nicht die Auswirkungen triggern zu können (evtl. weil nicht aufeinanderfolgende, extreme Werte dargestellt sind)	Indexwert alleine ist nicht verantwortlich für Auswirkungen	

4 Ergebnisse

4.1 Dürreindikatoren

4.1.1 Räumliche Analyse

Die unterschiedlichen räumlichen Betrachtungsebenen eines Index als Raster (a) und als aggregierte Werte der NUTS-Ebenen (b-d) am Beispiel des SPI01 zeigt Abbildung 11. Die Aggregation ist notwendig, um eine gleichartige Betrachtungsebene mit den Auswirkungsberichten zu schaffen, die auf den verschiedenen NUTS-Ebenen dokumentiert werden. Es wird ersichtlich, dass durch die Mittelung der Rasterdaten auf NUTS-Ebenen die räumliche Heterogenität verloren geht. Im gezeigten Beispiel gibt es deutschlandweit große Unterschiede: im Norden ist ein breites Band von positiven Indexwerten erkennbar, im Süden, Südosten und Osten hingegen niedrige Indexwerte. Die Aggregation auf NUTS3-Ebene spiegelt hierbei am Besten die kleinräumigen Unterschiede des Index wider. Je größer die Flächen der Regionen auf die gemittelt wird, desto mehr Information der beiden Extrema gehen verloren und dann nur noch in abgeschwächter Form zu erkennbar.

Eine mögliche Betrachtungsweise des Indexminimums je Region ist ebenso in Erwägung gezogen worden. Die Betrachtung der Indexminima bedeutet, dass anstatt einer Mittelung der Rasterzellen je Region der kleinste vorhandene Indexwert innerhalb der Region der gesamten Region zugeschrieben wird. Der kleinste vorhandene Indexwert deshalb, da dieser die Information der „stärksten Trockenheit“ laut Dürreindex beinhaltet und durch die Mittelung verloren gehen würde. Für den gleichen Index und den gleichen Monat wird daher in Abbildung 11 (e-g) das Indexminimum je Region gezeigt. Deutlich wird, dass die Karte auf den ersten Blick und auch im direkten Vergleich mit den gemittelten Regionen erheblich geringere Indexwerte zeigt.

Auf NUTS3-Ebene mag der Unterschied nur gering und nicht sehr deutlich sichtbar sein, doch auf NUTS2- und NUTS1-Ebene wird deutlich, wie schwerwiegend das Indexminimum Werte große Regionen beeinflusst. Am Beispiel Bayerns wird deutlich, dass sich die extrem niedrigen Indexwerte im Osten Bayerns auf eine kleine Fläche beschränken, durch das Übertragen des Indexminimum auf die ganze NUTS2- oder NUTS1-Region jedoch eine viel größere Fläche repräsentieren und die im Mittel viel höheren Werte überdecken. Die Übertragung der minimalen Werte, von oftmals sehr kleinräumiger Ausdehnung, auf die gesamte Region wird hierbei als nicht geeignet eingeschätzt. Die Aggregation durch den Mittelwert hingegen spiegelt die gesamte Verteilung von Indexwerten in der Region wider und bietet daher ein repräsentativeres Bild als das Indexminimum der Regionen. Aufgrund dessen wird in dieser Arbeit mit den Mittelwerten des Index je Region gearbeitet.

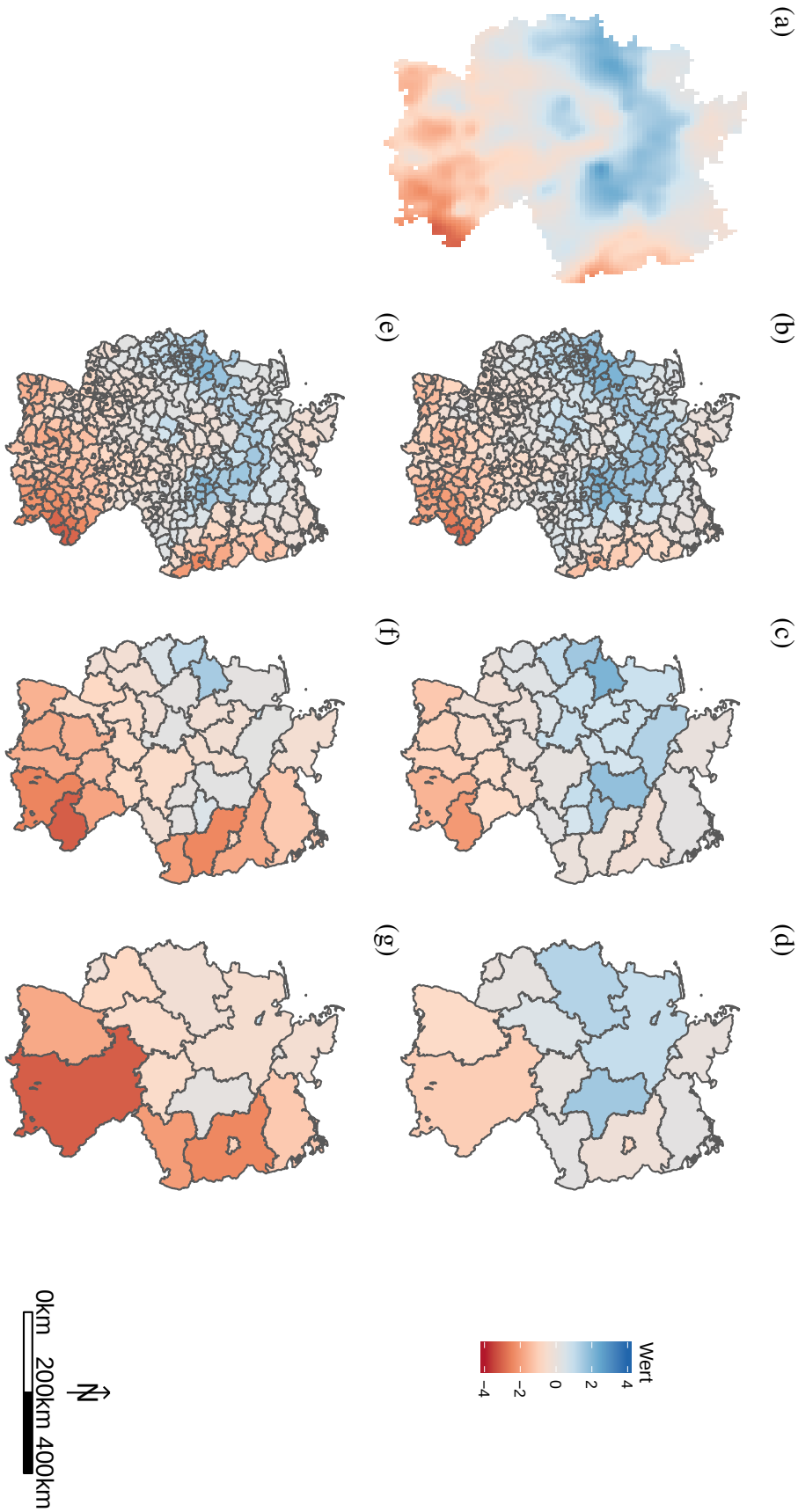


Abbildung 11: Räumliche Auflösung des SPI01 als Raster (a) und gemittelt auf NUTS3-Ebene (b), NUTS2-Ebene (c) und NUTS1-Ebene (d), sowie das Indexminimum auf NUTS3-Ebene (e), NUTS2-Ebene (f) und NUTS1-Ebene (g) am Beispiel des Monats August 2003.

4.1.2 Zeitliche Analyse

Eine der trivialsten Formen der Darstellung ist die Abbildung von Indikatoren anhand eines Liniendiagramms, wie es in Abbildung 13 zu sehen ist. Zu sehen ist der Zeitraum 2002-2007, in dem die teilweise sehr unterschiedlichen Reaktionen der Dürreindizes auf das Dürreereignis 2003 verglichen werden können. Die Einfärbung der Linien soll die Interpretation der Indexwerte vereinfachen, vor allem da die Skala des ΔpF im Vergleich zu den anderen Indizes invers Wassermangel anzeigt. Den SPEI gibt es mit verschiedenen Aggregationszeiträumen. Merklich ist, dass je größer der Aggregationszeitraum, desto weniger stark schwankt der SPEI im Jahresverlauf. Besonders im Jahre 2003 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Depression immer weiter verzögert, je länger der Aggregationszeitraum des jeweiligen Index. Der SPEI24 zeigt die negativsten Werte sogar erst im Jahr 2005.

Eine andere Darstellung von Indexwerten ist die Darstellungsform als Matrix in Abbildung 12. Die Zeitreihe der Jahre 2000-2015 ist hier auf die Farbgebung reduziert. Sie eignet sich daher weniger für das konkrete Ablesen von Werten und genauen Zeiten sondern vielmehr für eine leichte Interpretation und Erfassung von zeitlichen Mustern. Hier wird nicht nur die zeitliche Verschiebung der Anomalien bei größerem Aggregationszeitraum deutlich, sondern auch der relativ geringe, aber doch erkennbare Unterschied zwischen SPEI und SPI.

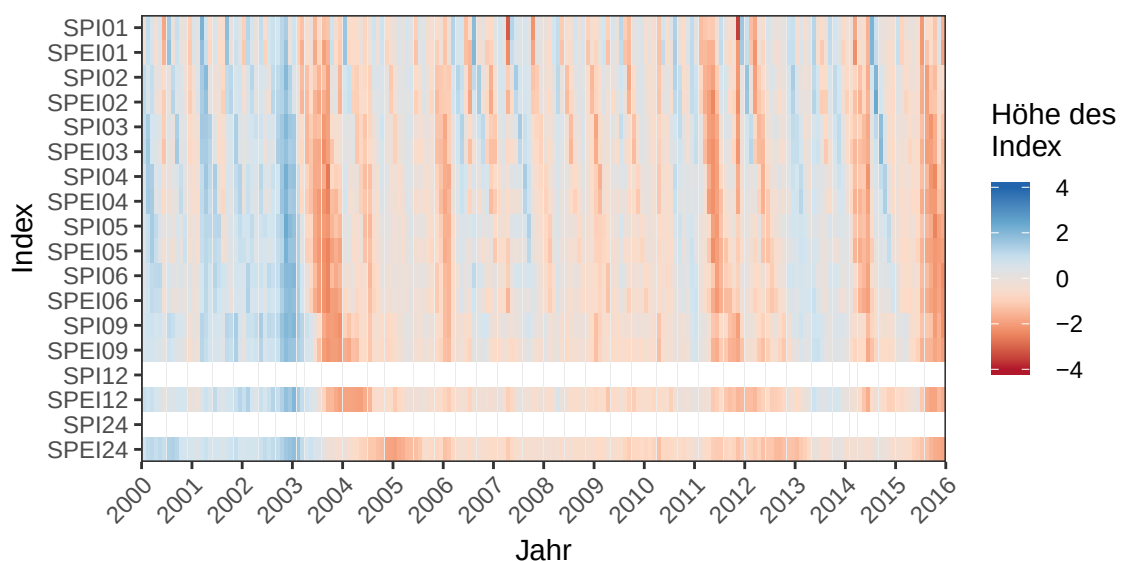


Abbildung 12: Höhe des SPI und SPEI mit verschiedenen Aggregationszeiträumen von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 und 24 Monaten als Matrix über den Zeitraum 2000-2015. Für den SPI12 und SPI24 liegen für diesen Zeitraum keine Daten vor.

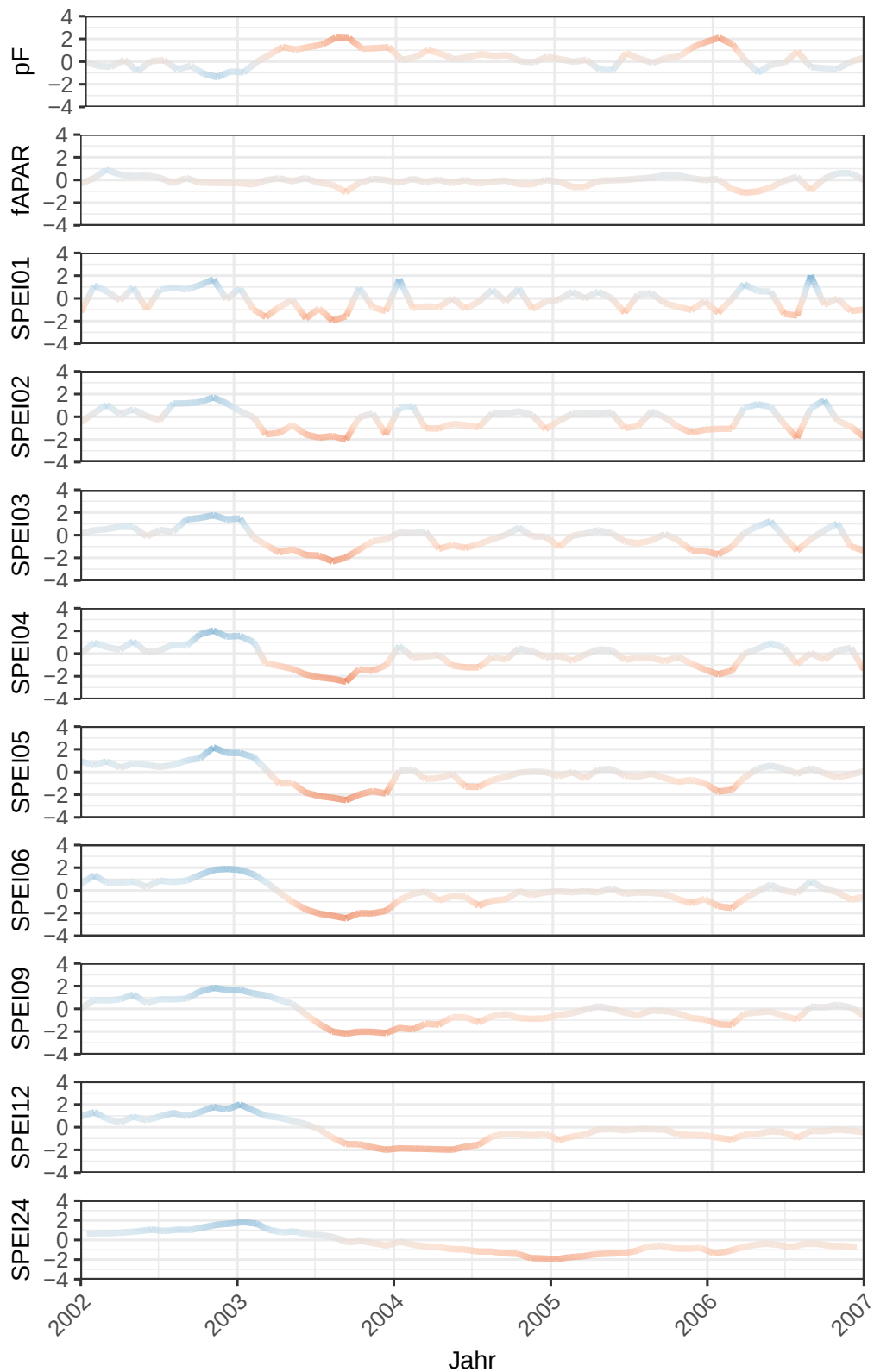


Abbildung 13: Die Höhe der Indexwerte des ΔpF , des $\Delta fAPAR$ und des SPEI mit verschiedenen Aggregationszeiträumen von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 und 24 Monaten als Liniendiagramm über den Zeitraum 2002-2006.

4.1.3 Räumlich-zeitliche Analyse

Räumlich-zeitliche Grafiken ermöglichen nicht nur die einfache Betrachtung einer Momentaufnahme über den Raum (Kapitel 4.1.1), sondern auch die gleichzeitige Darstellung der Veränderung über die Zeit (Kapitel 4.1.2). Eine Möglichkeit hierfür ist die Animation von kartografischen Bildern z.B. durch die Umwandlung von zeitlich aufeinanderfolgender Karten in das GIF Format (*Grafics Interchange File*). Dadurch kann die Abfolge von Zuständen betrachtet werden. Besonders für Web-Anwendungen ist diese Form der Darstellung durchaus geeignet. Allerdings birgt diese Darstellung den Nachteil, dass keine genauen Werte abgelesen werden können. Andererseits kann die Schnelligkeit der Abfolge bei der Erstellung individuell bestimmt und verändert werden, sodass in Kombination mit der Anzeige des Datums durchaus eine informative Sequenz entstehen kann. Abbildung 14 zeigt eine schematische Darstellung der Funktionsweise eines GIF, ähnlich wie die eines Films.

Eine weitere Möglichkeit, Dürre anhand eines Dürreindex über die Zeit darzustellen, ohne dass räumliche Informationen gänzlich verloren geht, ist die Darstellung des prozentualen Anteils der betroffenen Fläche über die Zeit. Dabei empfiehlt es sich für das konkrete Ablesen von Werten, den Dürreindex in Klassen einzuteilen (z.B. in 0.5er Schritten) und die von jeder Klasse betroffene Fläche als Anteil einer Region einzufärben. Am Beispiel der Abbildung 15 kann anhand des Flächenanteils von Baden-Württemberg abgelesen werden, wie hoch der Flächenanteil mit negativen SPI05 Werten ist. Anhand dieser Grafik können Zeiträume identifiziert werden, in denen ganz Baden-Württemberg laut des Index SPI05 unter einem Wasserddefizit leidet (z.B. 2003 und 2015) und Zeiträume, in denen nur sehr wenig Flächen einen negativen Dürreindex anzeigen (z.B. 2000-2002 und 2013).

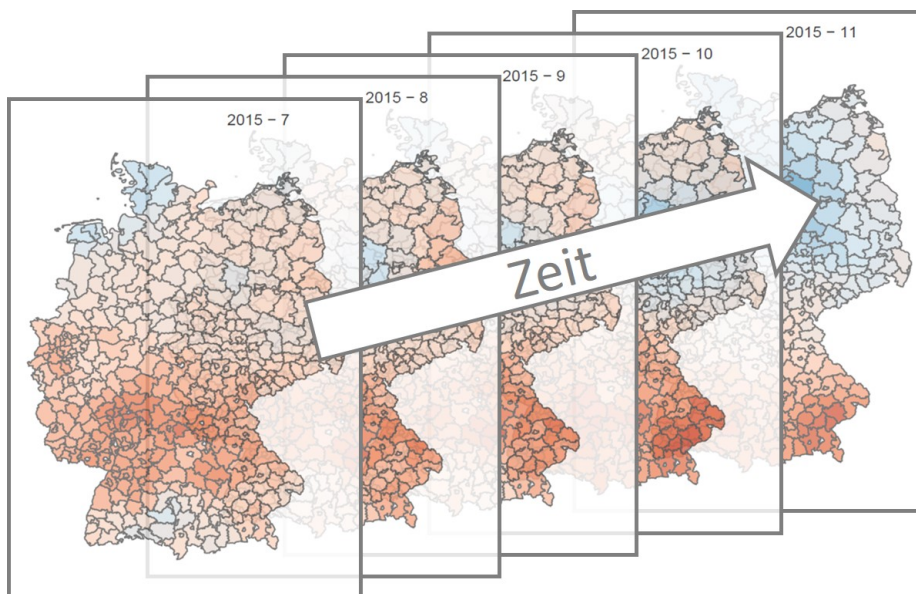


Abbildung 14: Schema einer animierten GIF-Karte zur räumlich-zeitlichen Darstellung eines Dürreindex.

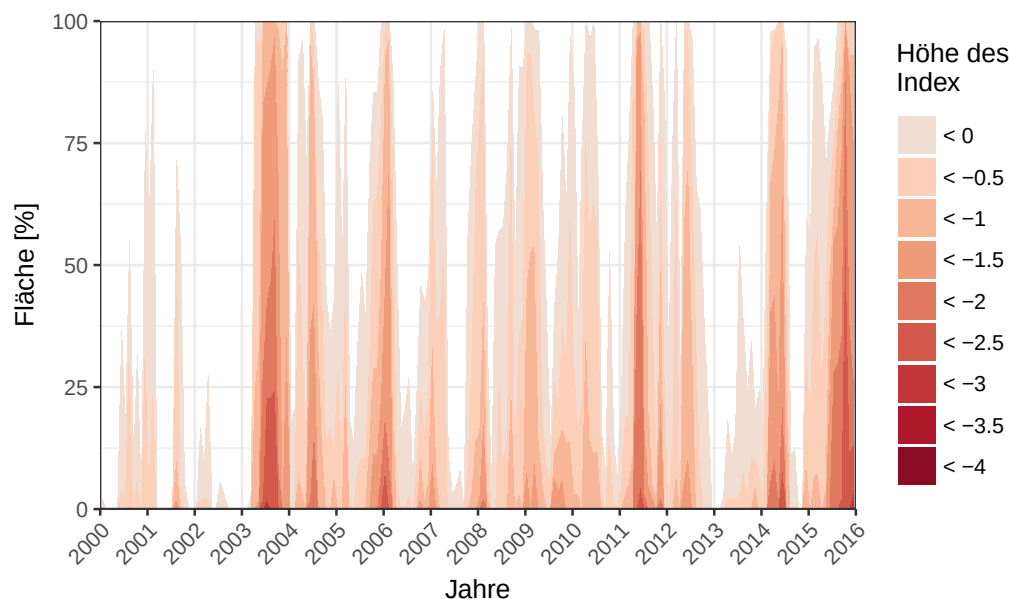


Abbildung 15: Prozentualer Anteil der Fläche Baden-Württembergs mit negativem Dürreindex (hier am Beispiel des SPI05) über den Zeitraum 2000-2015.

4.2 Auswirkungsberichte

4.2.1 Räumliche Analyse

Eine Analyse der räumlichen Auflösung der EDII Einträge ist durch die Begutachtung der kleinsten räumlichen Zuordnung geschehen. Die EDII hat insgesamt 1635 Einträge (Stand November 2016). Jeder Eintrag in der Datenbank bezieht sich auf eine Dürreauswirkung (einer bestimmten Auswirkungskategorie bzw. eines bestimmten Auswirkungstyp) und kann sich dabei auf mehrere Regionen einer Ebene erstrecken. Die großräumigste Angabe ist die nationale Ebene, auf der 244 Einträge (15 %) vermerkt sind. 519 Einträge (32 %) haben als kleinste räumliche Auflösung die NUTS1-Ebene, wohingegen lediglich 134 Einträge (8 %) sich auf NUTS2-Ebene beziehen. Auf der kleinsten NUTS-Ebene, der NUTS3-Ebene, sind 738 und somit die meisten Einträge (45 %) vermerkt.

Da die Anzahl der Einträge je Ebene alleine keine Aussage über die regionale Verteilung der dokumentierten Dürreauswirkungen trifft, ist diese in Abbildung 16 dargestellt. Deutlich wird bei der näheren kartografischen Begutachtung, dass vor allem auf NUTS1- und NUTS2-Ebene ein deutlich sichtbares Nord-Süd-Gefälle existiert. Vor allem in den Regionen Baden-Württemberg und Bayern sind deutlich mehr Einträge vorhanden als im Norden Deutschlands. Ebenso auffällig ist, dass auf NUTS3-Ebene auf 47 % aller NUTS3-Regionen gar keine Einträge verzeichnet sind. In vielen der Regionen mit Einträgen (53 %) sind nur sehr wenige Dürreauswirkungen vermerkt, weswegen die NUTS3-Ebene für diese Studie als Betrachtungsebene für nicht geeignet befunden wird. Aufgrund der geringen Anzahl von Einträgen auf NUTS2-Ebene und der sehr großen Anzahl von Einträgen auf NUTS1-Ebene ist die NUTS1-Ebene für weitere Analysen genutzt worden.

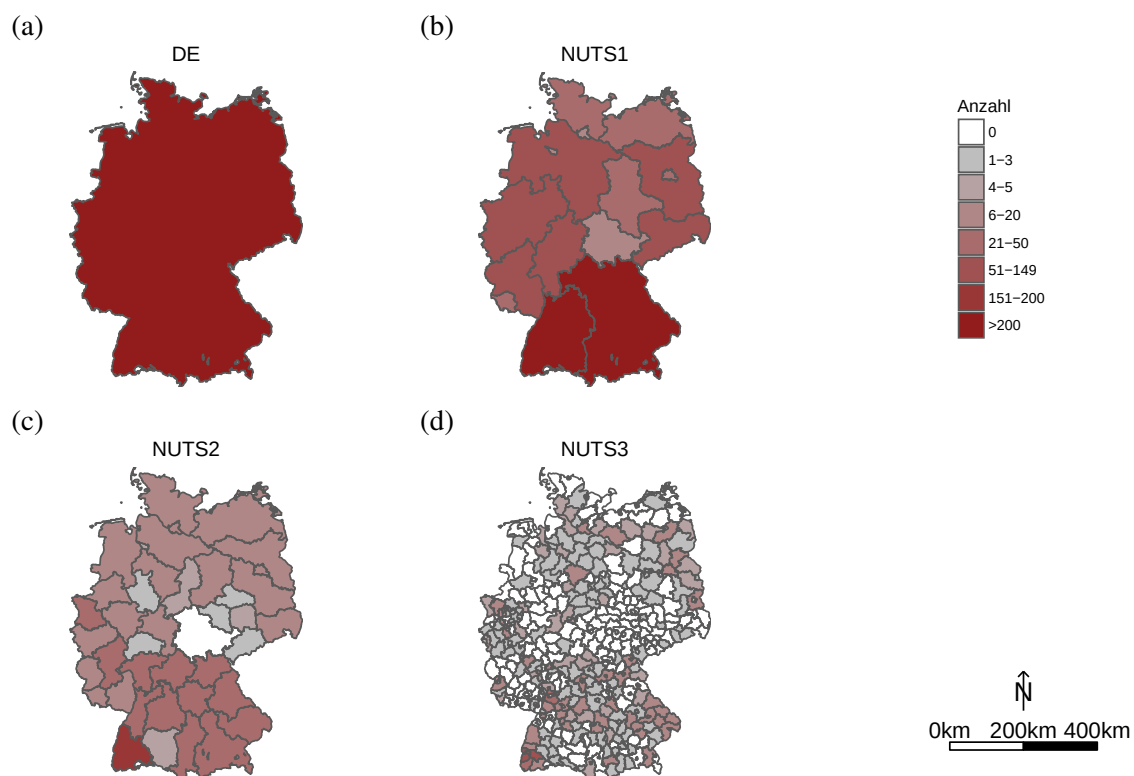


Abbildung 16: Anzahl der Einträge über Dürreauswirkungen in der EDII auf ihrer jeweils kleinsten räumlichen Zuordnung: nationale Ebene (a), NUTS3-Ebene (b), NUTS2-Ebene (c) und NUTS1-Ebene (d).

4.2.2 Zeitliche Analyse

Das Resultat der Vervollständigung fehlender Monatsangaben bei Einträgen der EDII zeigt, dass nun 55 % der Dürreauswirkungen von Baden-Württemberg (51 % von ganz Deutschland) Anfangs- und Endmonate zugeordnet werden konnten. Vielen Einträgen jedoch kann aufgrund fehlender Informationen keine Monatsangabe zugeordnet werden, sodass als Zeitangabe nur das Jahr bleibt. Abbildung 17 zeigt die dokumentierten Dürreauswirkungen mit und ohne Monatsangaben im Zeitraum 2000-2015. Deutlich wird, dass vor allem in den Jahren 2003 und 2015 eine große Anzahl an Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben aufgezeichnet worden sind, die dann wie eine Dürreauswirkung für ein ganzes Jahr gewertet wurden. Es ist jedoch nicht sicher, ob sich diese beinahe 55 % der gesamten Dürreauswirkungen (in Baden-Württemberg) tatsächlich über das ganze Jahr erstrecken. Möglich ist dies durch fehlende Informationen zu begründen und es bedeutet nicht, dass sie über das ganze Jahr stattgefunden haben müssen. Um die Informationen nicht zu verlieren, wurde beschlossen die Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben im Folgenden gesondert zu betrachten.

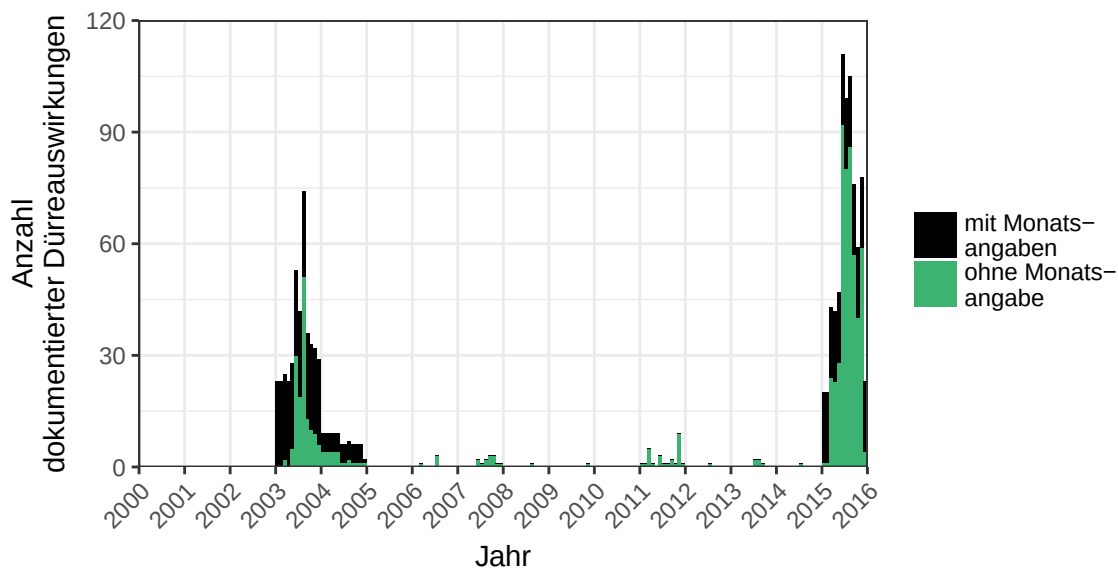


Abbildung 17: Anzahl der Auswirkungsberichte inklusive derer ohne Monatsangaben (gewertet für das ganze Jahr), dargestellt über den Zeitraum 2000-2015 in monatlicher Auflösung (Baden-Württemberg).

4.2.3 Kategorielle Analyse einzelner Dürreereignisse

Neben einer räumlichen und zeitlichen Auflösung sind die Auswirkungsberichte aus der EDII auch in sogenannte Auswirkungskategorien unterteilt, die eine weitere Differenzierung der Daten zulässt. Untersucht man einzelne „Dürreereignisse“ im Sinne aufeinanderfolgender Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen, können diese auf verschiedene Arten dargestellt werden. Zwei Parameter spielen dabei eine entscheidende Rolle: die Gesamtanzahl an dokumentierten Dürreauswirkungen und die Anzahl an dokumentierten Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie. Abbildung 18 zeigt jeweils eine Darstellung des Jahres 2003 (a) und des Jahres 2015 (b) als Donut. Donuts sind eine Alternative zu klassischen Kreisdiagrammen und werden diesen oftmals bevorzugt, da Längen für das menschliche Gehirn leichter zu erkennen sind als Flächen (ILIINSKY & STEELE, 2011). Gezeigt wird hierbei der prozentuale Anteil an Auswirkungskategorien eines Dürreereignisses.

Eine zweite Grafik, Abbildung 19, zeigt Wortwolken für das Jahr 2003 (a) und das Jahr 2015 (b). Das Prinzip einer Wortwolke ist, dass die Schriftgröße der Wörter die Häufigkeit des Vorkommens je Wort repräsentiert. Hier sind die Auswirkungskategorien anhand der Anzahl der Auswirkungsberichte je Kategorie dargestellt. So kann auf einen Blick erkannt werden, welches Wort und somit welche Kategorie im jeweiligen Jahr am stärksten vertreten war. Ersichtlich wird aus beiden Grafiken, dass im Jahr 2003 die meisten Auswirkungsberichte in den Auswirkungskategorien Aquatische Ökosysteme und Wasserqualität zu verzeichnen waren. Im Jahr 2015 sind die meisten Auswirkungsberichte in den Kategorien Land- & Viehwirtschaft und Öffentliche Wasserversorgung zu verzeichnen, dicht gefolgt von Auswirkungsberichten von Aquatischer Ökosysteme und Forstwirtschaft.

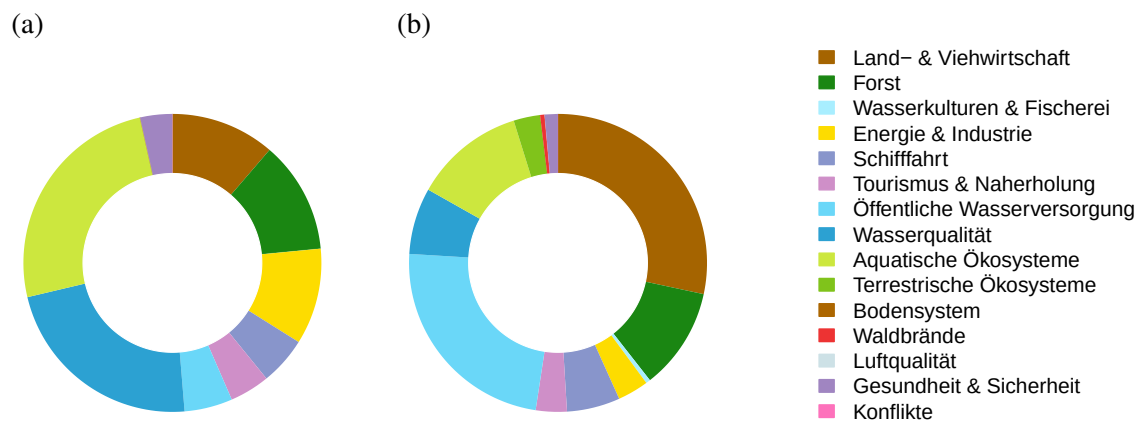


Abbildung 18: Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie im Jahr 2003 (a) und 2015 (b) in Baden-Württemberg als Donut.

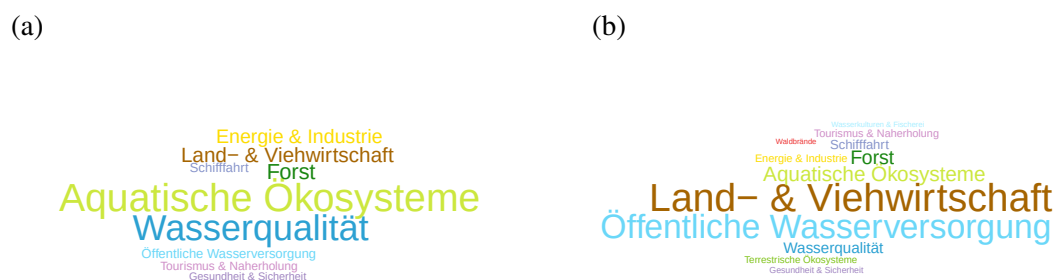


Abbildung 19: Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie im Jahr 2003 (a) und 2015 (b) in Baden-Württemberg als Wortwolke.

4.2.4 Kategorielle Analyse von Zeitreihen

Auch eine Zeitreihe kann prinzipiell nach der Idee von Kreisdiagrammen bzw. Donuts abgebildet werden. Möglich ist hierbei, nicht nur die unterschiedlichen kategoriellen Unterschiede abzubilden, sondern auch den Radius anhand der Anzahl der berichteten Dürreauswirkungen einfließen zu lassen. Da jedoch eine sinnvolle Darstellung einer durchgehenden Zeitreihe auch Jahre mit keinen oder im direkten Vergleich mit sehr wenigen Einträgen zu Dürreauswirkungen beinhaltet, kommt es entweder zur Entstehung leerer oder sehr kleiner Donuts, welche aufgrund ihres geringen Radius schwer erkennbar sind. Daher ist an dieser Stelle auf diese Form der Darstellung verzichtet worden. Stattdessen ist die kategorielle Betrachtung über die Zeit anhand eines Balkendiagramms und einer Matrix vorgenommen worden.

Ein Balkendiagramm zur Darstellung der Anzahl der Dürreauswirkungen und der dazugehörigen Auswirkungskategorien zeigt Abbildung 20. Aufgrund der sehr hohen Anzahl von dokumentierten Dürreauswirkungen in den Jahren 2003 und 2015 sind die anderen Jahren mit deutlich geringerer Anzahl schlecht erkenntlich, weder die gesamte Zahl noch die Anzahl der Auswirkungsberichten je Auswirkungskategorie ist ablesbar. Zur Veranschaulichung wurde in Abbildung 21 die Gesamtanzahl an dokumentierten Dürreauswirkungen (a) und der prozentuale Anteil an Auswirkungskategorien (b) ausgedrückt. Hier kann die Aufteilung der Dürreauswirkungen auf die verschiedenen Kategorien im Vergleich deutlich besser abgelesen werden, doch ist der prozentuale Anteil alleine nur bedingt aussagekräftig und die parallele Betrachtung der beiden Teilgrafiken nicht optimal.

Eine Alternative zum Balkendiagramm ist eine Matrix wie sie in Abbildung 22 zu sehen ist. Die Matrix zeigt anhand eines eingefärbten Gitters die dokumentierten Dürreauswirkungen aller Auswirkungskategorien in Baden-Württemberg über einen bestimmten Zeitraum. Im direkten Vergleich mit den Barplots sind hier die einzelnen Kategorien leichter zu erkennen

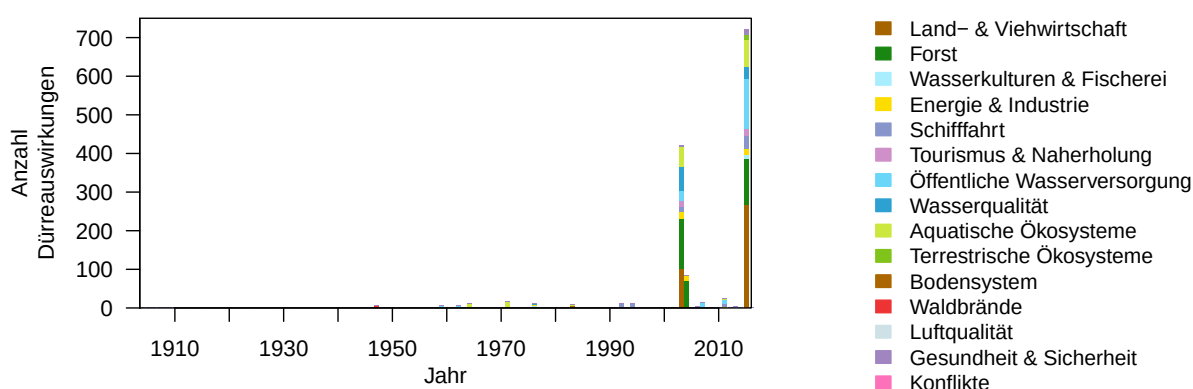


Abbildung 20: Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie in Baden-Württemberg über den gesamten vorhandenen Zeitraum 1904-2015, dargestellt als Balkendiagramm.

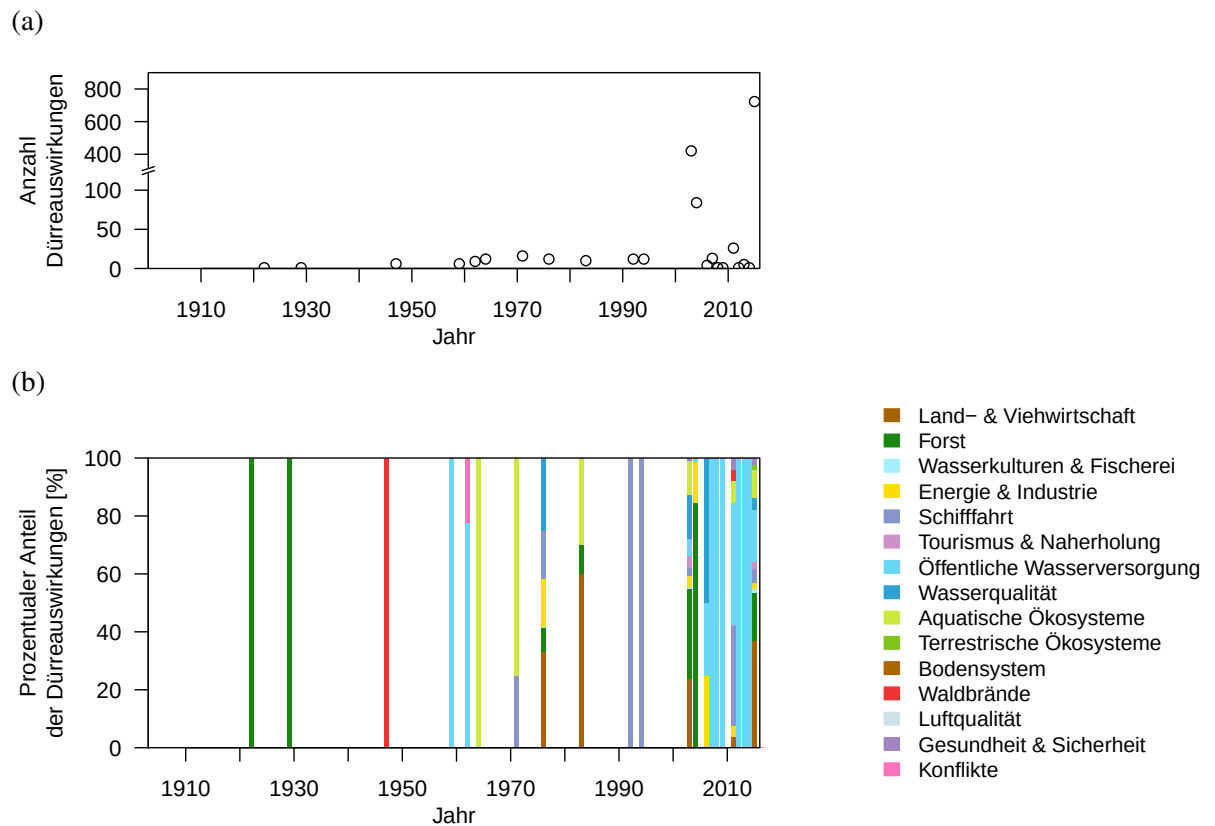


Abbildung 21: (a) Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen und (b) prozentualer Anteil der Auswirkungskategorien an den dokumentierten Dürreauswirkungen über den gesamten vorhandenen Zeitraum 1904-2015, dargestellt als Punkt- bzw. Balkendiagramm.

und zu unterscheiden. Dies bietet den Vorteil einer leichteren Analyse und der Möglichkeit eines Vergleichs von Auswirkungskategorien untereinander. Auch für die Untersuchung von einzelnen Jahren oder von Zeitreihen eignet sich die Grafik. So sticht beispielsweise das Jahr 2003 und 2015 besonders hervor, da sich optisch ein Band von eingefärbten Kästchen erkennen lässt. Das deutet nicht nur auf eine hohe Anzahl an Auswirkungsberichten hin, sondern auch darauf, dass viele Auswirkungskategorien in diesen Jahren betroffen gewesen sind.

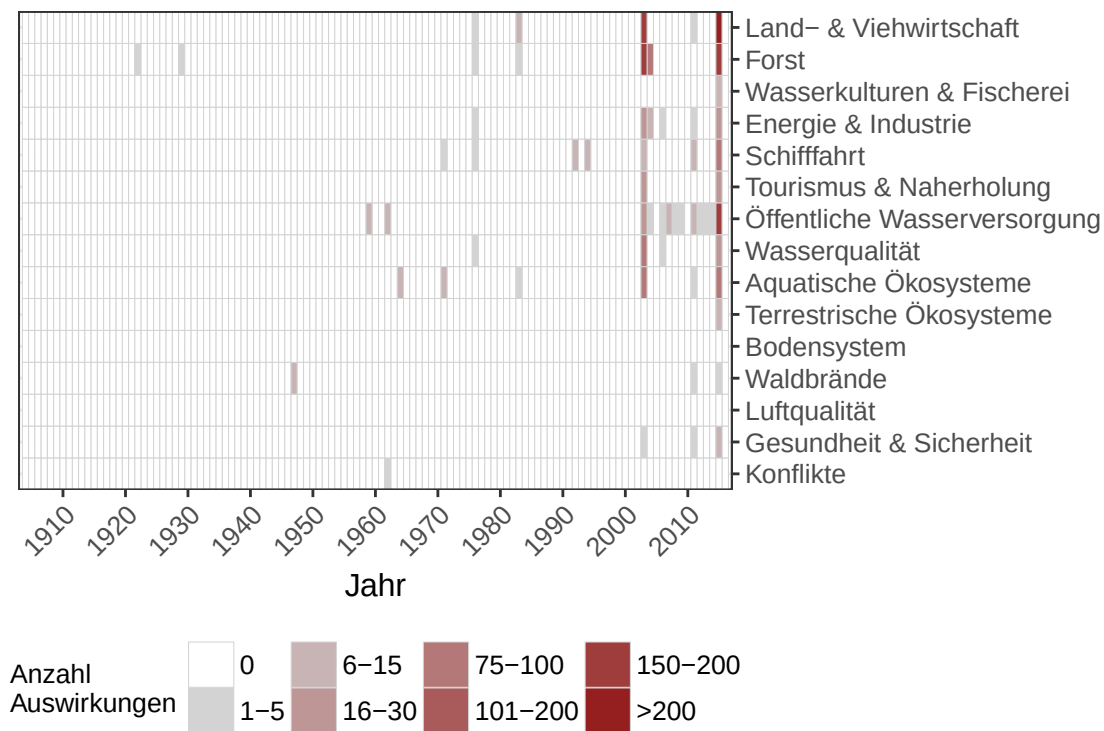


Abbildung 22: Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie in Baden-Württemberg über den gesamten vorhandenen Zeitraum 1904-2015, dargestellt als Matrix.

4.3 Visualisierung des Zusammenhangs von Indikatoren und dokumentierten Dürreauswirkungen

4.3.1 Analyse durch die Grenzwertoptimierungskurve

Der erste Schritt der Analyse von Dürreindikatoren und sektorspezifische Dürreauswirkungen in Baden-Württemberg durch die Grenzwertoptimierung beinhaltet der Vergleich der AUC der verschiedenen Dürreindikatoren je Auswirkungskategorie (Tabelle 5). Die AUC trifft eine Aussage darüber, wie gut der Index die jeweiligen Dürreauswirkungen widerspiegelt. Da die Auswirkungskategorien Bodensystem und Luftqualität keinen und Waldbrände und Konflikte nur einen bzw. zwei Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen in Baden-Württemberg vorweisen können, sind diese aufgrund zu geringer Fallzahlen im Folgenden nicht weiter berücksichtigt worden.

Eine weitere Darbringung dieser Ergebnisse kann visuell durch die Darstellung der Grenzwertoptimierungskurve geschehen, wie sie in Abbildung 23 (a-l) zu sehen ist. Durch die Grenzwertoptimierungskurven wird die Charakteristik der Zeitreihe und der Anteil der Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen ersichtlich. Je mehr Ereignisse (im Sinne von Monaten mit dokumentierten Dürreauswirkungen, siehe auch Tabelle 6) vorhanden sind, desto weniger eckig erscheinen die Kurven. So sind beispielsweise die ROC-Kurven der Auswirkungskategorien Forst (b), Energie & Industrie (d), Öffentliche Wasserversorgung (g) sowie die der gesamten Auswirkungen (l) sehr viel runder und weisen weniger starke Sprünge in den Kurven auf. Besonders auffallend ist in diesen drei Auswirkungskategorien außerdem der SPI12. Die ROC-Kurven dieses Index erscheinen eckiger und reagieren bemerkenswert anders als die restlichen Indizes. Dies liegt daran, dass für den SPI12 nur eine kürzere Zeitreihe (1950-1999) zur Verfügung stand als für die restlichen SPI und SPEI-Indizes. Ebenso verhält es sich für den $\Delta fAPAR$ und ΔpF , der nur für die Zeitreihe 2001-2014 vorhanden war. Dadurch konnten viele Ereignisse nicht in die Grenzwertoptimierungskurve mit einbezogen werden, da sie außerhalb dieses Zeitraumes stattgefunden haben. Ein unterschiedlicher Bezugszeitraum kann dazu führen, dass die Ereignisse in einem kürzeren Zeitraum durch den jeweiligen Index besser oder schlechter abgebildet werden können. Daher wurden für weitere Analysen Indizes mit kleinerem Zeitraum als 1950-2015 ausgeschlossen.

Für jede Auswirkungskategorie wurde der Index anhand der größten AUC identifiziert und in Tabelle 6 mit optimalem Schwellenwert sowie der dazugehörigen Spezifität und Sensitivität aufgeführt. Grundsätzlich wird ersichtlich, dass der SPEI durchgehend bessere Ergebnisse liefert als der SPI.

Tabelle 5: Übersicht über die AUC verschiedener Indizes bezogen auf dokumentierte Dürreauswirkungen je Auswirkungskategorie für Baden-Württemberg. Die größte(n) AUC je Auswirkungskategorie sind hervorgehoben.

* nur Zeitraum 2001-2014 vorhanden; ** nur Zeitraum 1950-1999 vorhanden

Kategorie	SPI01	SPEI01	SPI02	SPEI02	SPI03	SPEI03	SPI04	SPEI04	SPI05	SPEI05	SPI06	SPEI06	SPI09	SPEI09	SPI12	SPEI12*	SPEI24	ΔpF^{**}	$\Delta fAPAR^{**}$
Land- & Viehwirtschaft	71.1	74.2	78.6	81.4	79.1	82.0	81.0	83.5	79.9	82.0	78.1	80.9	70.7	74.9	62.5	69.8	69.4	86.5	54.9
Forst	69.9	72.3	72.4	74.0	73.8	76.3	77.0	80.0	79.2	81.8	81.5	84.8	80.7	85.2	59.7	80.7	66.1	87.7	60.4
Wasserkulturen & Fischerei	73.7	75.3	80.5	82.8	85.3	88.5	88.8	91.4	89.5	92.2	88.8	91.6	89.7	93.1	-	84.8	94.0	-	-
Energie & Industrie	65.8	68.4	72.6	73.8	75.0	77.0	76.9	79.8	78.2	81.0	81.7	84.8	85.9	89.8	93.1	88.0	74.3	83.0	57.5
Schifffahrt	75.3	78.4	83.3	85.8	87.5	89.9	87.5	91.0	89.6	92.3	91.1	93.6	88.7	91.5	94.8	86.2	63.0	92.3	58.1
Tourismus & Naherholung	67.6	70.3	83.4	84.5	88.3	89.6	91.9	94.0	92.0	94.4	92.9	94.5	77.6	80.8	-	76.5	65.6	94.6	79.9
Öffentliche Wasserversorgung	58.1	61.1	64.4	68.2	68.9	73.7	71.9	77.1	74.4	79.5	74.5	79.4	71.0	77.5	81.0	74.5	71.8	62.2	54.7
Wasserqualität	77.2	81.7	87.7	90.4	90.5	93.6	91.1	94.4	90.8	93.8	90.2	93.2	88.4	93.2	93.1	82.4	73.8	94.4	49.5
Aquatische Ökosysteme	80.5	82.4	85.5	86.9	84.3	86.4	80.2	82.9	75.8	78.5	74.9	77.7	62.7	67.9	92.4	59.9	54.0	92.5	61.4
Terrestrische Ökosysteme	73.5	75.5	84.7	85.3	88.4	90.1	90.4	93.0	93.0	95.2	91.0	93.6	90.7	94.2	87.0	-	94.5	-	-
Bodensystem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Waldbrände	95.8	93.3	95.6	94.6	97.0	97.3	97.1	97.2	91.9	93.0	92.3	93.1	97.6	97.9	-	96.4	95.6	97.0	85.9
Luftqualität	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesundheit & Sicherheit	71.2	73.8	76.5	79.1	80.6	83.3	83.2	86.0	83.7	86.7	82.4	85.4	74.0	79.3	-	78.2	77.4	97.6	58.4
Konflikte	98.5	98.9	91.4	92.5	92.1	92.5	94.3	92.6	99.0	95.8	96.8	92.5	87.9	83.3	85.2	78.9	74.1	-	-
gesamt	63.1	65.5	67.4	70.1	70.0	73.7	71.1	75.7	71.3	75.9	72.0	76.6	71.7	77.1	72.1	76.4	69.2	68.4	54.8

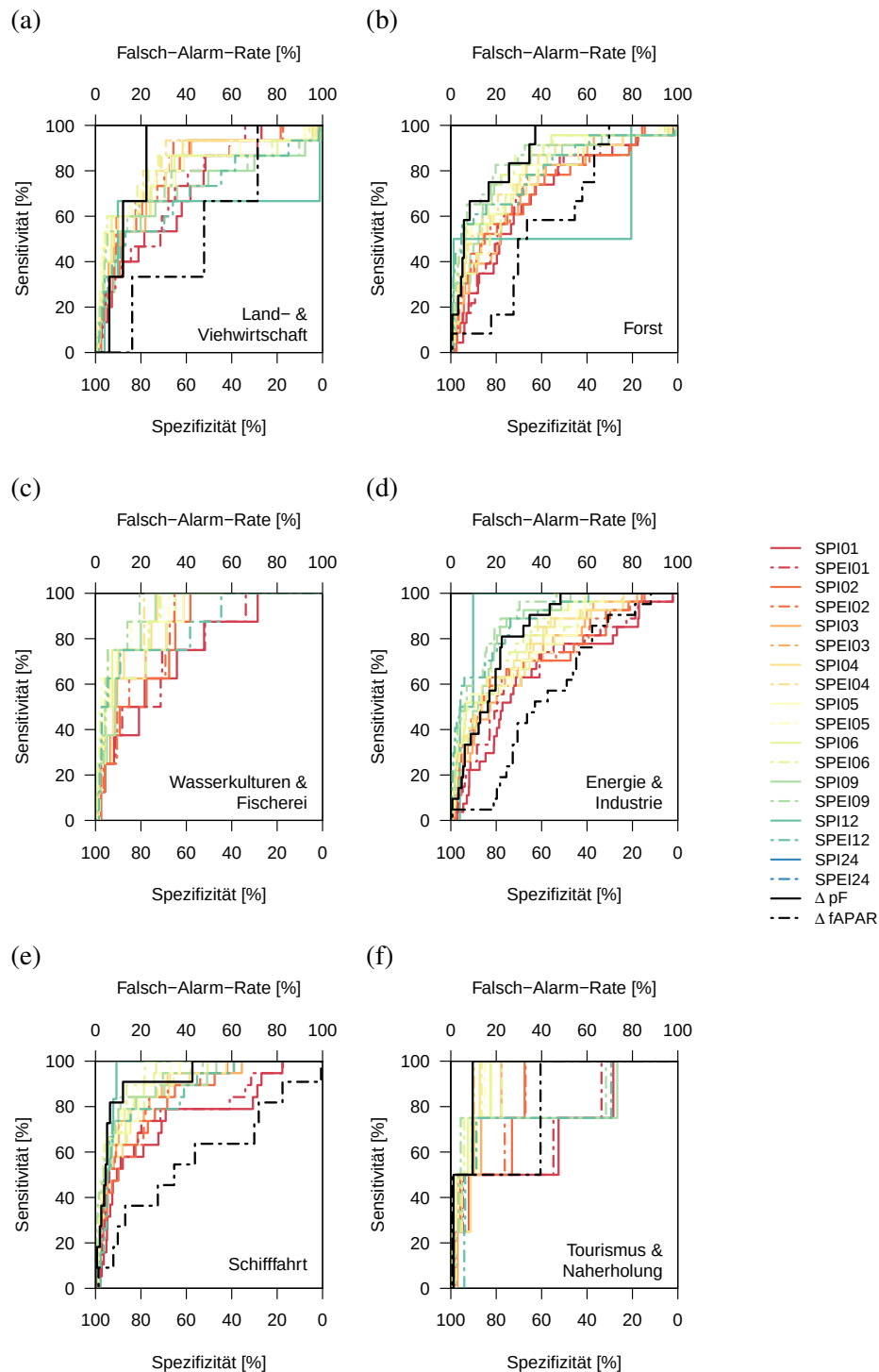


Abbildung 23: (a-f) Vergleich der Grenzwertoptimierungskurven je Auswirkungskategorie (Anzahl der Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen > 5) für Baden-Württemberg.

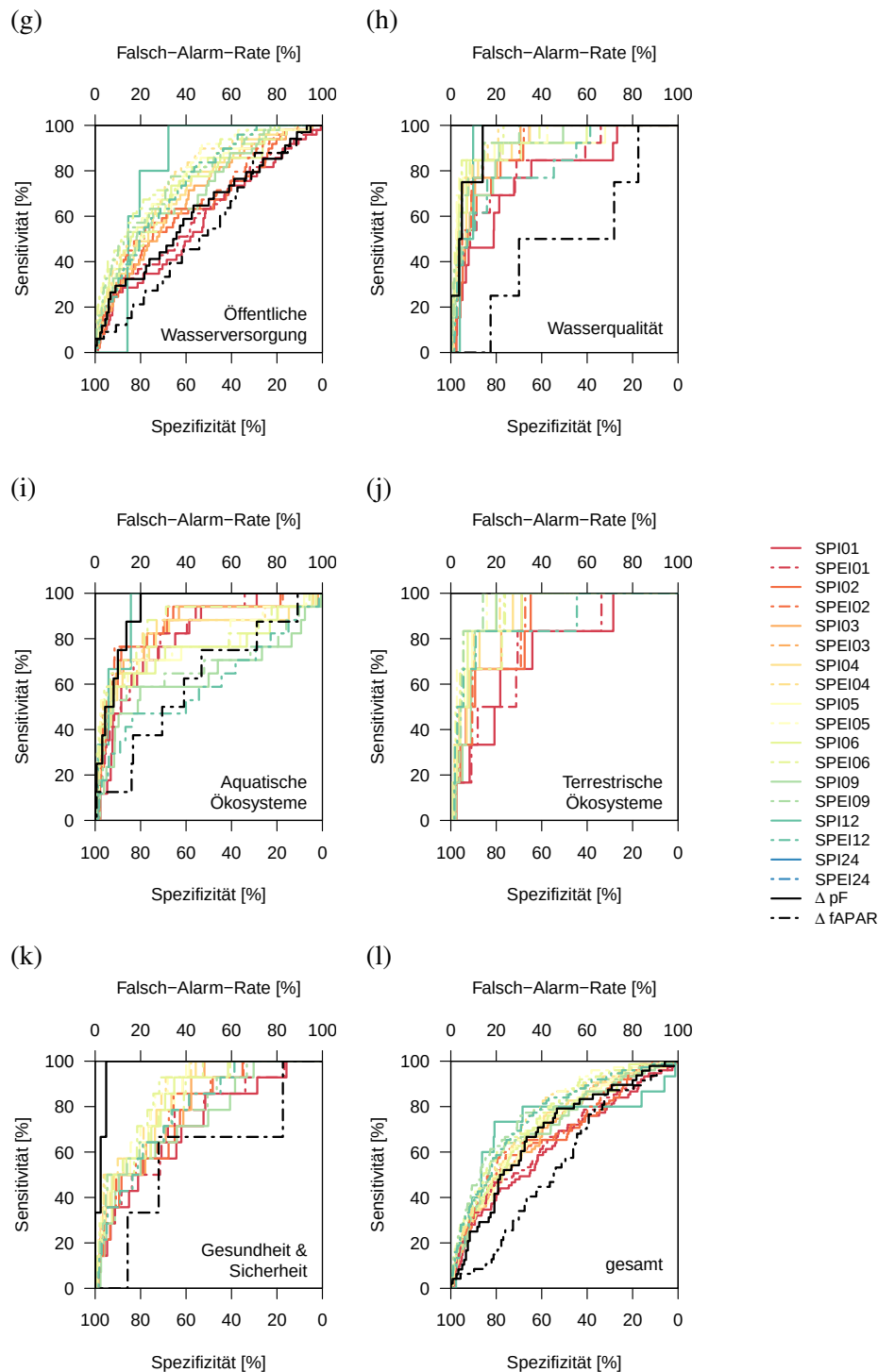


Abbildung 23: (g-l) Vergleich der Grenzwertoptimierungskurven je Auswirkungskategorie (Anzahl der Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen > 5) für Baden-Württemberg.

Tabelle 6: Optimaler Index (gewählt nach größter AUC, Tabelle 5) und optimaler Schwellenwert sowie Angabe der Sensitivität und Spezifität je Auswirkungskategorie für Baden-Württemberg.

Kategorie	Index	Schwellenwert [-]	Sensitivität [%]	Spezifität [%]	Anzahl Monate mit Dürreauswirkungen
Land- & Viehwirtschaft	SPEI04	-0.44	93.33	68.99	15
Forst	SPEI09	-0.74	82.61	80.29	23
Wasserkulturen & Fischerei	SPEI24	-1.15	100.00	84.23	8
Energie & Industrie	SPEI09	-0.65	88.89	78.07	27
Schifffahrt	SPEI06	-0.66	100.00	78.26	19
Tourismus & Naherholung	SPEI06	-1.02	100.00	86.46	4
Öffentliche Wasserversorgung	SPEI05	-0.01	91.84	53.04	49
Wasserqualität	SPEI04	-0.77	100.00	79.12	13
Aquatische Ökosysteme	SPEI02	-1.24	76.47	91.47	17
Terrestrische Ökosysteme	SPEI05	-0.95	100.00	84.14	6
Bodensystem	-	-	-	-	-
Luftqualität	-	-	-	-	-
Gesundheit & Sicherheit	SPEI05	-0.43	92.86	68.09	14
gesamt	SPEI09	-0.37	77.33	68.27	75

4.3.2 Analyse durch kartografische Darstellungen

Die Visualisierung von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen anhand von Karten ist beispielhaft in Abbildung 24 durchgeführt worden. Sichtbar sind hier zum einen die Indexwerte des SPI09 (als geeignetster Index laut AUC für die gesamten Auswirkungsberichte in Baden-Württemberg) als Einfärbung der NUTS1-Regionen Deutschland. Außerdem ist die Anzahl aller dokumentierten Dürreauswirkungen mit und ohne Monatsangaben repräsentiert durch den Radius der Kreise im Monat August 2003 (a) und August 2015 (b). In (c) und (d) sind ebenfalls die Indexwerte zu sehen, sowie die Anzahl nur der dokumentierten Dürreauswirkungen mit Monatsangaben repräsentiert durch den Radius der Kreise.

Diese Monate August 2003 und August 2015 wurden herausgegriffen, da sie die meisten Dürreauswirkungen im gesamten dokumentierten Zeitraum besitzen. Unabhängig von ihrer Auswirkungskategorie werden hier alle dokumentierten Dürreauswirkungen dargestellt, mit dem optimalen Index für die gesamten Auswirkungsberichte laut AUC (siehe Kapitel 4.3.1), dem SPEI09. Im August 2003 zeigt der Index in ganz Deutschland negative Werte an, wohingegen im August 2015 ein deutliches Nord-Süd-Gefälle zu erkennen ist, mit besonders niedrigen Werten im Süden Deutschlands. Die Betrachtung der Anzahl von Auswirkungen zeigt in beiden Jahren eine Betroffenheit aller Bundesländer, wobei im Süden Deutschlands größere Zahlen vertreten sind. Außerdem ist zu erkennen, dass in (a) und (b) aufgrund der Berücksichtigung der dokumentierten Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben mehr Dürreauswirkungen vermerkt sind. Im August 2003 sind in zwei Bundesländern (Thüringen und Sachsen-Anhalt) sogar nur Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben dokumentiert. Diese Grafik suggeriert auf den ersten Blick, dass ein Zusammenhang zwischen Höhe des Dürreindex und Anzahl der Dürreauswirkungen existiert (negative Indexwerte indizieren Dürreauswirkungen). Jedoch ist dieser Zusammenhang nicht eindeutig, da im August 2015 trotz positiver Indexwerte Dürreauswirkungen verzeichnet sind.

4.3.3 Analyse durch zeitliche Darstellungen

Die Analyse durch die Grenzwertoptimierungskurve (Kapitel 4.3.1) ergab, dass durch die Betrachtung einzelner Auswirkungskategorien bessere Ergebnisse bezüglich der Zuordnung des optimalen Index und Schwellenwertes erzielt werden konnten, als bei der Betrachtung der gesamten Auswirkungsberichte. In diesem Kapitel soll daher anhand von drei Auswirkungskategorien vorgestellt werden, wie eine visuelle Darstellung von Dürreindex und Dürreauswirkung und Überprüfung des optimalen Schwellenwertes anhand von Zeitreihen geschehen kann. Dafür wurden drei Auswirkungskategorien gewählt, die jeweils eine besonders hohe Sensitivität, Spezifität und AUC vorweisen. Die Auswirkungskategorie Schifffahrt in Kombination mit dem SPEI06 zeichnet sich durch eine besonders hohe Sensitivität von 100 % aus (19 Monate mit dokumentierten Auswirkungen). Die Auswirkungskategorie Aquatische Ökosysteme mit dem SPEI02 hat eine besonders hohe Spezifität von 91 % (17 Monate mit dokumentierten Auswirkungen). Die Auswirkungskategorie Wasserqualität mit dem SPEI04 hat ein besonders hohen AUC von 94,8 (13 Monate mit dokumentierten Auswirkungen). Außerdem wird der SPEI09 mit den gesamten Auswirkungsberichten weiterhin verglichen und beurteilt (insgesamt 75 Monate mit dokumentierten Auswirkungen).

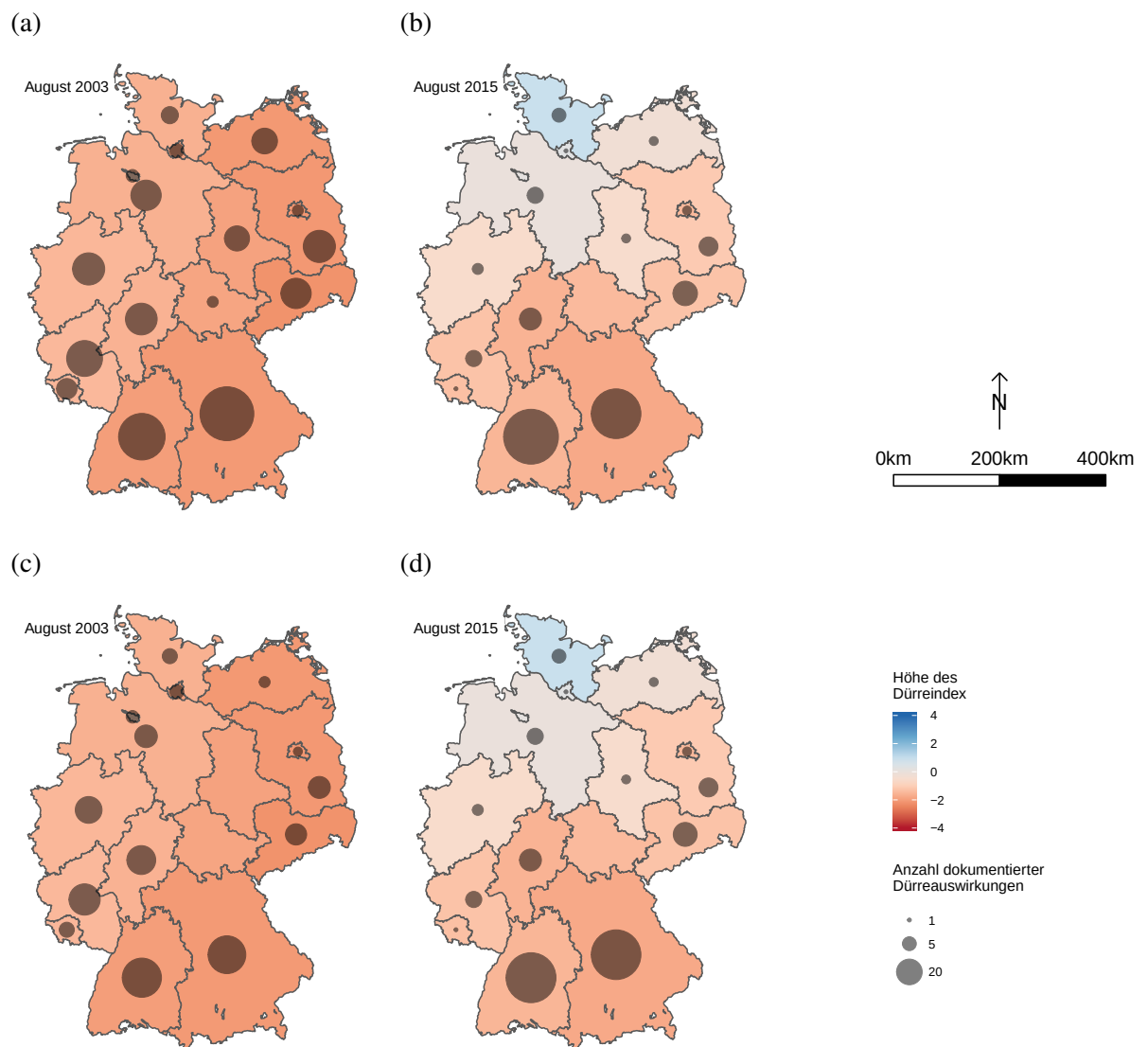


Abbildung 24: Kartografische Darstellung der Indexwerte des SPEI09 und der Gesamtanzahl dokumentierten Dürreauswirkungen mit und ohne Monatsangaben im August 2003 (a) und 2015 (b), sowie eine Darstellung der Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen nur mit vorhandenen Monatsangaben ebenfalls im August 2003 (c) und 2015 (d).

Die erste für geeignet befundene Darstellungsform ist die Zeitreihe der Indexwerte und dem Vergleich der markierten Zeiträume mit dokumentierten Dürreauswirkungen und mit den Zeiträumen mit Unterschreitung des optimalen Schwellenwertes. Abbildung 25 zeigt hier in bereits bekannter Darstellungsform die Zeitreihe von Indexwerten über den Zeitraum 2000-2015 und den Vergleich von dokumentierten Auswirkungen (mit Monatsangaben) und Auswirkungen laut Schwellenwert. Ersichtlich ist, dass die Dürreauswirkungen 2003 und 2015 in den betrachteten Auswirkungskategorien durch den Schwellenwert weitestgehend erfasst werden. Jedoch wird der Schwellenwert auch in Zeiträumen ohne dokumentierte Dürreauswirkungen unterschritten, womit keine vollständige Übereinstimmung zu beobachten ist.

Um einen detaillierteren Einblick in den Jahresverlauf zu erlangen, wird als weitere Darstellungsform die Matrix, wie in Abbildung 26, vorgeschlagen. Bei dieser Grafik ist die Zeitachse vertikal und der Jahresverlauf horizontal. Dies ermöglicht eine konkretere Anzeige von Indexwerten pro Monat, wenn auch das Ablesen der Indexwerte schwerfälliger ausfällt, da in dieser Grafik lediglich die Farbskala zur Verfügung steht. Die dokumentierten Dürreauswirkungen hingegen sind als Kreise dargestellt, der Radius spiegelt dabei die Anzahl wieder. Um die Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben mit einzubeziehen, sind diese in einer zusätzlichen Grafik neben der eigentlichen Matrix aufgeführt.

Indexwerte in „Dürreauswirkungen laut Schwellenwert“ und „keine Dürreauswirkungen laut Schwellenwert“ zu unterteilen, liefert ein eindeutigeres Abbild, ob Index und dazugehöriger Schwellenwert ein stimmiges Bild abgeben. Diese Einteilung ist in Abbildung 27 ersichtlich und ermöglicht eine eindeutigere Vergleichbarkeit von Dürreindex und Dürreauswirkungen.

Die Matrix zeigt die Höhe des Dürreindex und die Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen im Jahresverlauf (horizontale Achse) über den Zeitraum 2000-2015 (vertikale Achse). Die Farbskala geht von Blau (feuchter Monat) bis hin zu Rot (trockener Monat), je kräftiger die Farbe, desto stärker die Ausprägung. Die dunkelgrauen kreisrunden Flächen stellen proportional zur ihrem Radius die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen dar. Da einige Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben dokumentiert wurden, sind rechts Balken dargestellt, die durch ihre Länge die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben zeigen (horizontale Achse).

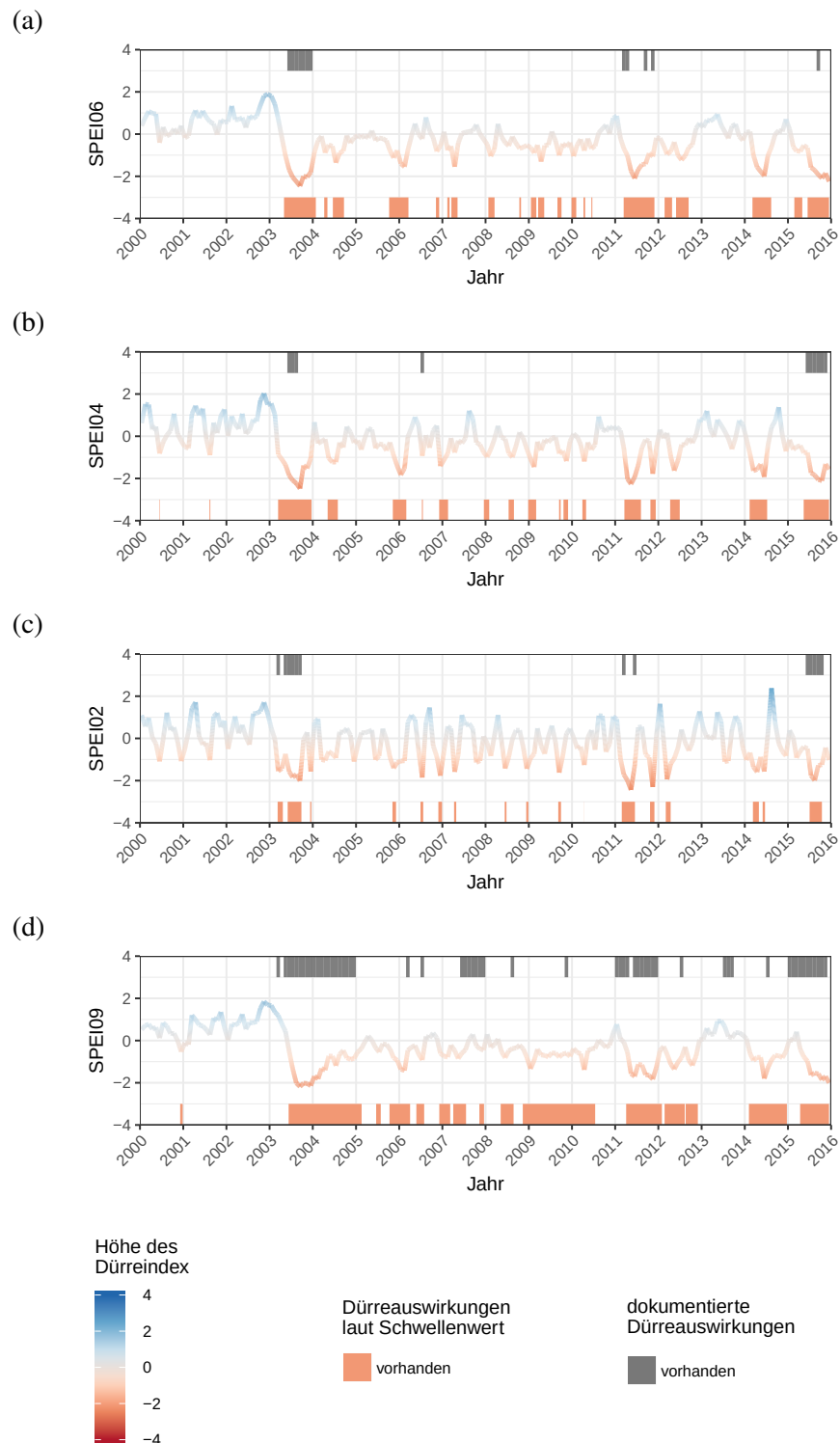


Abbildung 25: Zeitreihen von Indexwerten über den Zeitraum 2000-2015 und jeweils markierte Zeitabschnitte der dokumentierten Dürreauswirkungen und der Dürreauswirkungen laut des optimalen Index und Schwellenwertes für die Auswirkungskategorien (a) Schifffahrt, (b) Wasserqualität, (c) Aquatische Ökosysteme und (d) gesamt.

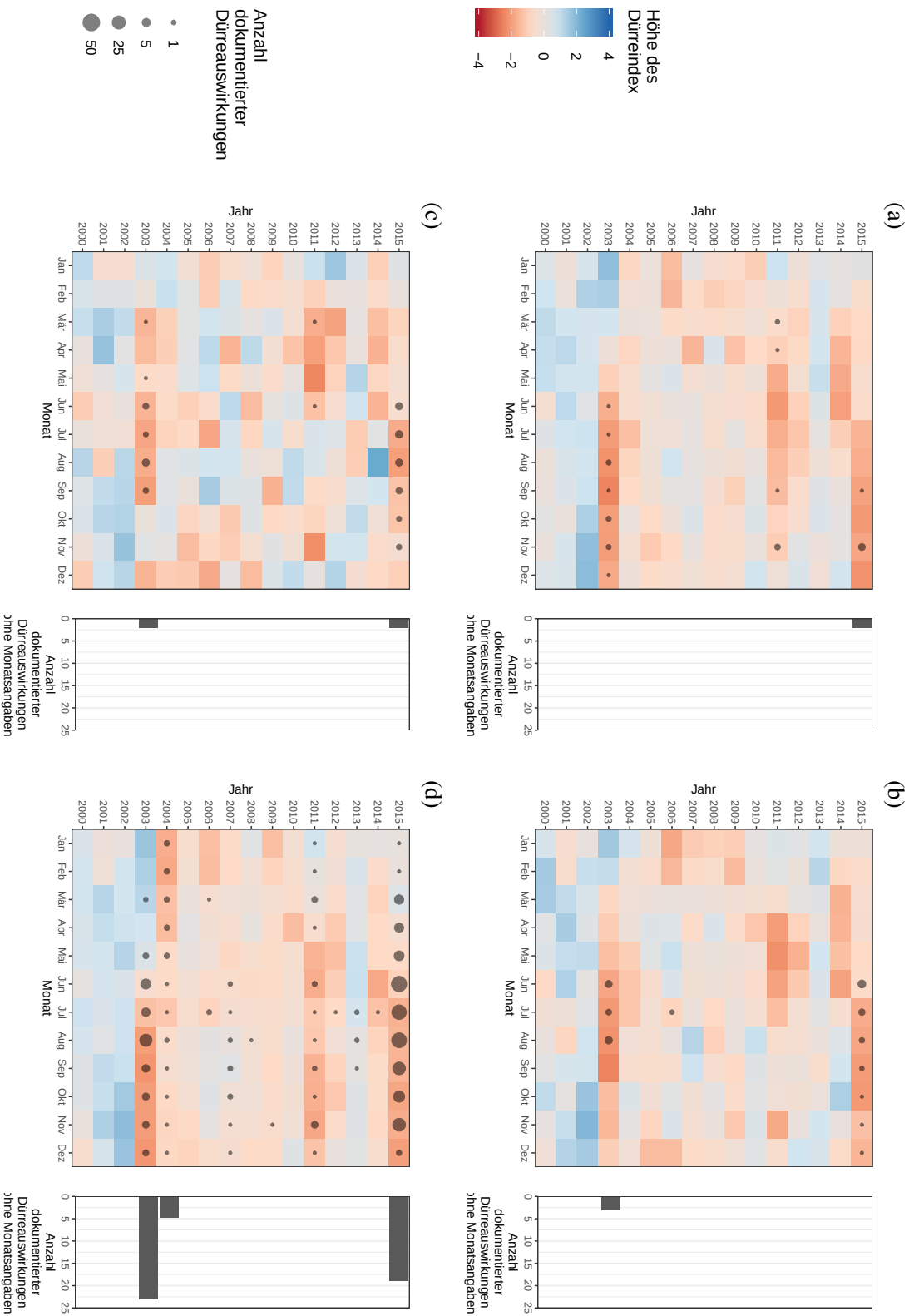


Abbildung 26: Zeitreihe von Indexwerten (Farbskala) mit Jahresverlauf (horizontale Achse) über die Jahre 2000-2015 (vertikale Achse) und dokumentierter Durreauswirkungen mit Monatsangaben je Monat (Kreise) und ohne Monatsangaben je Jahr (Balkendiagramm) für die Auswirkungskategorien (a) Schifffahrt (SPEI06), (b) Wasserqualität (SPEI04), (c) Aquatische Ökosysteme (SPEI02), (d) gesamt (SPEI09).

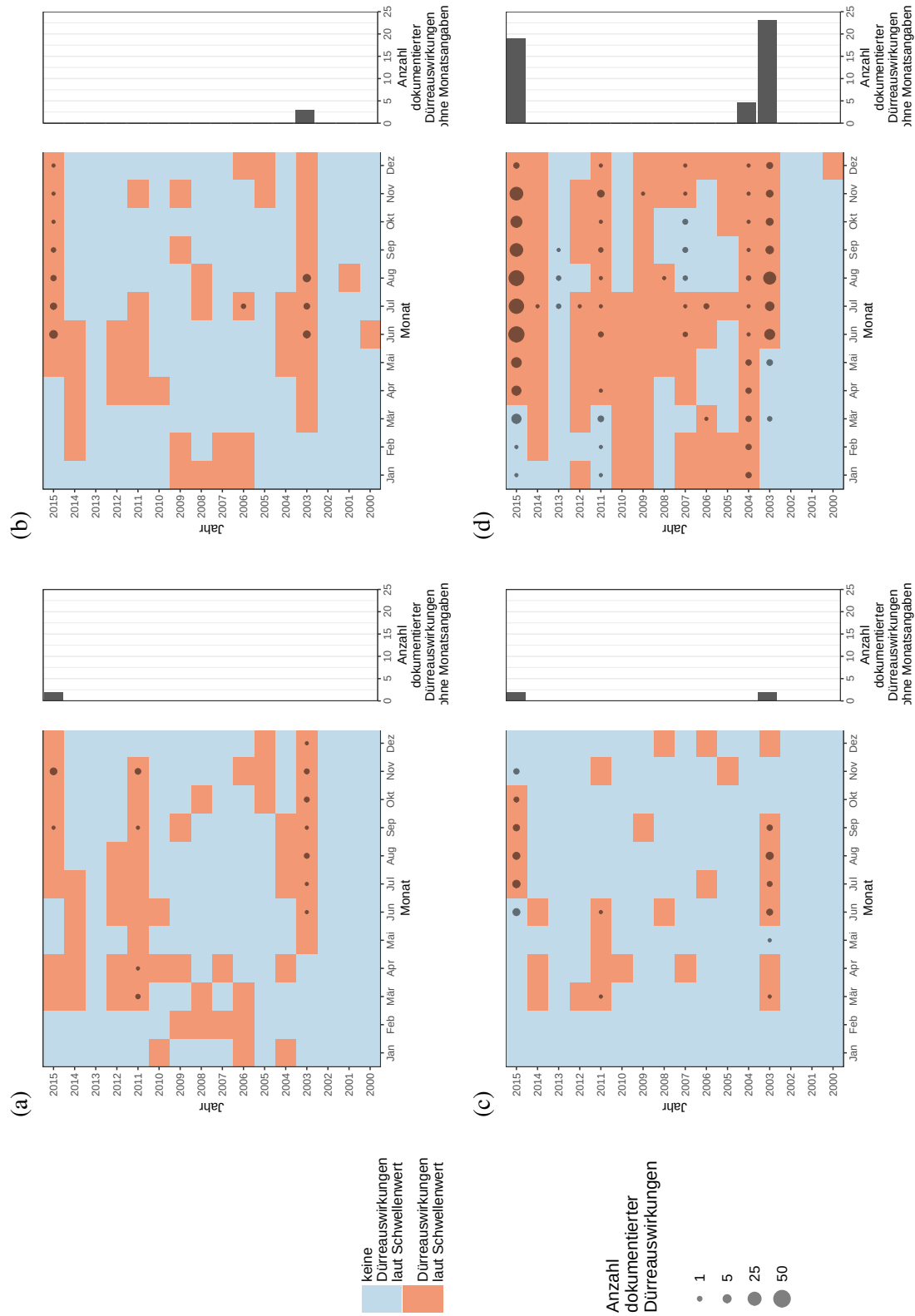


Abbildung 27: Zeitreihe von Dürreauswirkungen laut Schwellenwert (Farbkategorie) mit Jahresverlauf (horizontale Achse) über die Jahre 2000–2015 (vertikale Achse) und dokumentierten Dürreauswirkungen mit Monatsangaben je Monat (Kreise) und ohne Monatsangaben je Jahr (Balkendiagramm) für die Auswirkungskategorien (a) Schifffahrt (SPEI06), (b) Wasserqualität (SPEI04), (c) Aquatische Ökosysteme (SPEI02), (d) gesamt (SPEI09).

4.4 Evaluation anhand des Fragebogens

Der Fragebogen, wie er für die Evaluation verwendet wurde, ist in Anhang A zu finden. Die jeweiligen Abbildungen sind mit römischen Ziffern durchnummeriert. Die Dokumentation der Evaluation ist im Anhang B Tabelle 8 festgehalten.

Die Evaluation der offenen Fragen im Fragebogen beinhaltete die Schaffung von neun Kategorien, die die Antworten in hauptsächlich thematische Antwortkategorien unterteilt. Dadurch konnten ein Überblick über die inhaltliche Aussagen der TeilnehmerInnen gewonnen werden. In Kombination mit der Betrachtung der geschlossenen Fragen (Abbildung 28), lässt sich das Stimmungsbild wie folgt beschreiben:

Die räumliche Verteilung und zeitliche Abfolge von Dürreindex und Dürreauswirkung wurde von der Mehrheit der TeilnehmerInnen gut verstanden. Die unterschiedliche Ausprägung über Raum und Zeit konnte durch Abbildung I, II und III des Fragebogens erfolgreich vermittelt werden. Besonders Abbildung I und II wurden als intuitiv und wenig komplex empfunden und die investierte Zeit für die gewonnene Erkenntnis wird als angemessen eingestuft. Abbildung III hingegen wird im direkten Vergleich als deutlich weniger intuitiv und dafür als komplexer empfunden. Allerdings wird sie von einigen TeilnehmerInnen auch als „hoch informativ“ betitelt, was sich darin widerspiegelt, dass die TeilnehmerInnen durch diese Abbildung am meisten dazugelernt haben. Zwei Personen haben außerdem kommentiert, dass durch diese Grafik ein klimaändernder Trend erkennbar wird. Zudem wird die monatliche Auflösung von einer Person gelobt, was ihr verdeutlicht hat, dass Dürre kein Sommerphänomen ist, obwohl dieselbe Person bei Abbildung I einen jahreszeitlichen Zusammenhang von Dürre vermutete. Ca. die Hälfte der TeilnehmerInnen meint außerdem bereits an Abbildung I und II einen Zusammenhang bzw. eine Korrelation von Dürreindex und Dürreauswirkungen erkannt zu haben. Bei Abbildung II und III werden jedoch bei einigen Antworten Zweifel ausgedrückt, ob der Zusammenhang tatsächlich so eindeutig existiert. Vermutet wird, dass ein zeitlicher Versatz von Dürreauswirkungen oder die Dauer des Dürreereignisses eine Rolle spielt. Bei Abbildung III wird von zwei TeilnehmerInnen außerdem die Häufigkeitsverteilung der Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben kritisiert und als irritierend aufgefasst.

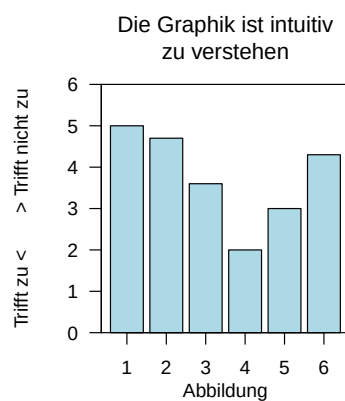
Das Verständnis der Grenzwertoptimierungskurve als „Optimierungstool für Schwellenwerte“ (TeilnehmerIn G) scheint bei allen TeilnehmerInnen sehr begrenzt. Die Abbildungen IV (a) und (d) dieser wurden als sehr komplex und wenig intuitiv bewertet. Außerdem wurden sie zweimal als „zu wissenschaftlich“ (TeilnehmerIn C und G) beurteilt und weitere zwei TeilnehmerInnen gaben an, überhaupt keine Aussage entnehmen zu können. Zudem wurde die erklärende Bildunterschrift dieser Grafik wichtiger bewertet als die Abbildung selbst. Wenigstens zwei TeilnehmerInnen trafen jedoch die Aussage, dass es einen Zusammenhang zwischen niedrigen Indexwerten und Dürreauswirkungen zu geben scheint.

Abbildung V und VI, beide auf der Grenzwertoptimierungskurve aufbauend, wurden von den meisten TeilnehmerInnen verstanden und als wenig komplex eingestuft. Positiv aufgenommen wurden hierbei, dass der Aufbau der Grafik dem von Abbildung II und III entspricht. Die Treffsicherheit und das Maß der Übereinstimmung von Dürreauswirkungen laut Schwellenwert und der tatsächlich dokumentierten Dürreauswirkungen wurde durchwegs verstanden. Nur zwei TeilnehmerInnen gaben an, durch das fehlende Verständnis

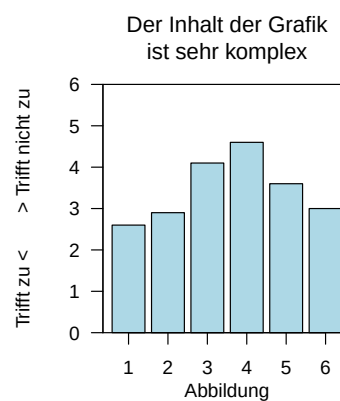
von Abbildung IV die Aussage von Abbildung V und VI überhaupt nicht nachvollziehen zu können.

Die durchgängige Farbgebung der Skala von Blau zu Rot hat sich bezüglich der Akzeptanz der entwickelten Grafiken als durchwegs positiv erwiesen. Die Farbwahl wurde als selbstverständlich angesehen und es gab keine Kritik zu dieser. Als hilfreich haben sich neben dem Einführungstext grundsätzlich auch die ausführlichen Abbildungsunterschriften erwiesen, die laut TeilnehmerInnen einen wesentlichen Anteil am Verständnis der Visualisierungen beigetragen haben.

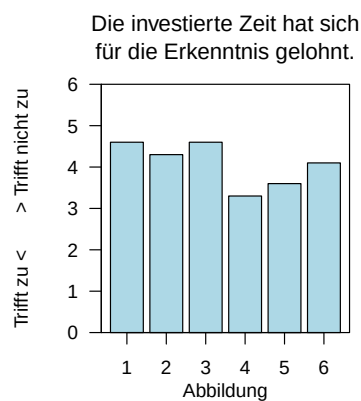
(a)



(b)



(c)



(d)

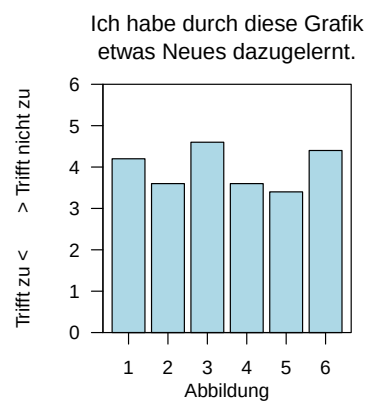


Abbildung 28: Mittelwert der Antworten auf die geschlossenen Fragen des Fragebogens zu Intuition (a), Komplexität (b) und investierten Zeit (c) sowie die Antwort auf die Frage nach einem Erkenntnisgewinn (d).

5 Diskussion

5.1 Bewertung der EDII

Die Analyse der Auswirkungsberichte zeigt eine erkennbare Voreingenommenheit und Unausgewogenheit der EDII in räumlicher, zeitlicher als auch kategoriemäßiger Hinsicht. Die räumliche Ungleichheit kann dadurch erklärt werden, dass die Suche nach Dürreauswirkungen in der Vergangenheit häufig im Rahmen von Studien zu bestimmten Regionen und/oder Dürreereignissen durchgeführt wurde und so ein Ungleichgewicht in der Datengrundlage entstanden ist (BLAUHUT ET AL., 2015a). BACHMAIR ET AL. (2015) sehen einen weiteren Grund in der Problematik, dass nicht alle Auswirkungen schriftlich festgehalten und mit ausreichend Informationen publiziert werden. Somit können sie nicht in die EDII aufgenommen werden. Außerdem wird angemerkt, dass Dürreauswirkungen als Eintrag in der EDII einander gleichgestellt werden, unabhängig der Schwere oder des Ausmaßes. Trotzdem wird bei einer hohen Anzahl von Einträgen eine besondere Schwere unterstellt, die jedoch nicht zwangsläufig gegeben ist (BACHMAIR ET AL., 2015).

Sichtbar wird die ungleiche Datendichte im Raum vor allem durch die größere Anzahl an Einträgen in Süddeutschland (vor allem Baden-Württemberg und Bayern). Die besonders geringe Datendichte in Bremen, Hamburg und Sachsen-Anhalt hat sogar bereits dazu geführt, dass diese Bundesländer von manchen Studien von vornherein ausgeschlossen werden, da die Fehlerquelle durch sehr kleine Fallzahlen allgemein als zu groß eingeschätzt wird (BACHMAIR ET AL., 2015). Diese ungleiche Verteilung an Auswirkungsberichten zieht sich durch alle NUTS-Ebenen, wie Abbildung 16 zeigt.

Zeitlich gesehen ist auffallend, dass häufig zeitliche Angaben zu Beginn und Abklingen der Dürreauswirkungen fehlen, wodurch die Daten den Anfangs- und Endmonaten oder der Jahreszeiten nicht eindeutig zuzuordnen sind. Genauere und vollständige zeitliche Informationen wären vorteilhaft für die Handhabbarkeit und Durchführung zeitlicher Analysen. Dürre als schleichender Prozess erschwert jedoch die genaue Angabe von Anfangs- und Endzeitpunkten bei der Erfassung von Dürreauswirkungen oftmals. Das Ergänzen von Anfangs- und Enddaten wird in dieser Arbeit als nötig erachtet, allerdings als nicht sicher und nur bedingt verlässlich eingestuft, da die getroffenen Annahmen nicht verifiziert werden können. Eine zeitliche Angabe auf Monatsbasis sollte jedoch in der EDII unbedingt angestrebt werden, da die hohe zeitliche Variabilität von Dürreereignissen nur so widergespiegelt werden kann.

Gleichermaßen ist auch ein Ungleichgewicht zwischen den Auswirkungskategorien und zu beobachten (Tabelle 2), wie auch BLAUHUT ET AL. (2015a) anmerkt. Dies zieht sich auch bis in die Wirkungstypen: Wohingegen nur manche der Kategorien sich aufgrund geringer Fallzahlen nicht für eine separate Analyse eignen, ist dies bei den Wirkungstypen sehr häufig der Fall (BACHMAIR ET AL., 2015) und daher auch der Grund, warum diese im Rahmen dieser Arbeit nicht genutzt und weiter untersucht wurden.

Der weitere Ausbau der EDII, um diese Unausgewogenheiten auszugleichen, wird bereits von vielen Seiten gefordert (WOLTERS ET AL., 2015; BLAUHUT ET AL., 2015a). Allerdings gestaltet sich die Suche nach dokumentierten Dürreauswirkungen vor allem für die prä-digitalisierte Zeit schwerer als in Zeiten mit Internetquellen, was durch den Trend zu

höheren Anzahlen von Einträgen für Dürreereignissen in den letzten Jahren (siehe Abbildung 20) erklärt (BLAUHUT ET AL., 2015a). Auch fehlt nach wie vor eine einheitliche Standardisierung für die Vorgehensweise bei der Sammlung und Archivierung nach Dürreauswirkungen (BACHMAIR ET AL., 2015), die zur Verringerung der Unausgewogenheit der EDII beitragen kann.

Trotz der erwähnten Herausforderungen bietet die EDII einen wertvollen Überblick über Dürreauswirkungen und ihre räumlichen und zeitlichen Ausmaße. Die Datenbank mag noch einige Defizite beinhalten, doch wird sie vielerseits als „proxy“ für Dürreauswirkungen (BACHMAIR ET AL., 2015) anerkannt und gelobt. Die EDII birgt großes Potential für die Dürreforschung (u.a. STAHL ET AL., 2016).

5.2 Räumliche Betrachtungsebene des Zusammenhangs von Indikator und Auswirkungen

Die räumliche Betrachtungsebene von Indikatoren verändert und entscheidet maßgeblich die Höhe des jeweiligen Index. Kleinräumige Heterogenitäten werden durch die Aggregation stark abgeschwächt, sodass sie keinerlei Beachtung mehr finden. Regionale Trockenheitsperioden können daher durch Aggregation auf größerer Betrachtungsebene nur unzureichend abgebildet werden. Die in den Ergebnissen vorgestellte Alternative das Indexminimum auf die jeweilige Regionen zu übertragen birgt jedoch die Gefahr, dass der extreme Indexwert so deutlich überrepräsentiert wird. Bei der Mittelung werden zwar regionale Heterogenitäten vernachlässigt, doch liefert sie dafür einen für die Gesamtregion repräsentativeren Indexwert als das Indexminimum. Da Dürre außerdem grundsätzlich als eher großräumige Naturgefahr eingeschätzt wird, wird an der Mittelung grundsätzlich festgehalten. Um die starke Vereinheitlichung großer Regionen zu vermeiden, ist eine möglichst kleine Betrachtungsebene ratsam.

Mit Hinblick auf die dokumentierten Dürreauswirkungen in der EDII sind kleinräumige Betrachtungen auf NUTS3- und NUTS2-Ebene jedoch aufgrund mangelnder Datengrundlage kaum möglich. Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen fehlt den Auswirkungsberichten oftmals eine kleinräumige Zuordnung, die aufgrund vager Informationen aus historischen Quellen nicht identifiziert werden konnte und daher die Dürreauswirkung der nächst höheren NUTS-Eben zugeordnet werden musste (BLAUHUT ET AL., 2015a). Zum anderen ist häufig die räumliche Ausdehnung von Dürreauswirkungen tatsächlich weitläufig, weswegen völlig zurecht keine niedrigere NUTS-Ebene zugeordnet werden konnte. Von STAHL ET AL. (2016) wird aufgrund dessen die NUTS1- oder NUTS2-Ebene als Untersuchungsebene empfohlen.

Aufgrund der vorhandenen Datengrundlage hat man sich in dieser Arbeit für die Betrachtung der Auswirkungsberichte auf NUTS1-Ebene entschieden. Um Daten auf der gleichen Ebene miteinander vergleichen zu können, hat man auch bei der Gegenüberstellung mit Dürreindikatoren für die Dürreindexwerte die (gemittelten) NUTS1-Regionen gewählt. Gegen ein Herunterskalieren (*downscaling*) der Auswirkungsberichte wurde sich ausgesprochen, da man sonst sehr heterogene Indexwerte mit einer relativ einheitlichen Anzahl von Auswirkungsberichten vergleichen würde.

5.3 Zusammenhang von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen

Die Untersuchungen der Verteilung von Indexwerten in Monaten mit dokumentierten Dürreauswirkungen und von Indexwerten in Monaten ohne dokumentierte Dürreauswirkungen zeigen eine deutliche Verschiebung der Verteilung der Indexwerte in die Richtung des jeweiligen dürreanzeigenden Wertes und suggerieren einen Zusammenhang. Da die beiden Verteilungen sich jedoch überlappen, ist eine eindeutige Einteilung von Indexwerten in Dürreauswirkungen und keine Dürreauswirkungen ohne weitere Analyse nicht möglich.

Die Nutzung der Grenzwertoptimierungskurve mit den baden-württembergischen Dürreauswirkungen aus der EDII und verschiedener Dürreindizes zeigt, dass diese als wirksames Werkzeug für die Wahl des optimalen Index und eines dazugehörigen Schwellenwertes geeignet ist. Die Ergebnisse der verschiedenen AUC zeigen, dass die separate Betrachtung von Auswirkungskategorien als durchaus sinnvoll zu erachten ist, da sich unterschiedliche Indizes als „bester“ Index für die verschiedenen Auswirkungskategorien ergeben. Die Empfehlung, dass die Betrachtung verschiedener Auswirkungskategorien unabhängig voneinander geschehen sollte (BLAUHUT ET AL., 2015a), lässt sich also bestätigen.

Die Ergebnisse der AUC (Tabelle 5) zeigen, dass der SPEI verschiedener Aggregationszeiträume grundsätzlich größere AUC aufweisen als der SPI. Dies lässt sich damit begründen, dass der SPI sich auf die Annahme stützt, dass die Lufttemperatur und somit die Evapotranspiration eine zu vernachlässigende Rolle spielt (VICENTE-SERRANO ET AL., 2010). Während der SPI die Abweichungen des Niederschlags im langjährigen Mittel unterschätzt, spiegelt der SPEI auch den Einfluss der Evapotranspiration wider, welcher in Deutschland vor allem im Sommer durchaus eine Rolle spielt (BARKER ET AL., 2016). Besondere Dürreereignisse, die durch Hitzewellen (und somit erhöhter Evapotranspiration) verstärkt oder gar hervorgerufen werden, wie beispielsweise das Dürreereignis im Jahr 2003 (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012), können durch den SPI nicht ausreichend abgebildet werden. Vor allem in Zuge des prognostizierten Klimawandels mit häufigeren Trocken- und Hitzeperioden in Deutschland eignet sich der SPI deutlich weniger als der SPEI (VICENTE-SERRANO ET AL., 2010; DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012; STAGGE ET AL., 2015).

Die Grenzwertoptimierungskurve liefert außerdem einen „optimalen“ Schwellenwert mit, der den „bestmöglichen“ Grenzwert darstellt, um anhand eines Index Dürre zu definieren. Im direkten Vergleich der Dürreereignisse laut Schwellenwert und der tatsächlich dokumentierten Dürreauswirkungen wird sowohl durch die Zahlen der Sensitivität und Spezifität als auch durch die visuelle Analyse durch Zeitreihen und Matrizen (Kapitel 4.3) deutlich, dass die Übereinstimmung nur bedingt gewährleistet werden kann. Mögliche Einflussfaktoren der Datengrundlage wie ungenügende zeitliche Angaben oder unvollständige Dokumentationen von Dürreauswirkungen können in dieser Analyse nicht miteinbezogen werden.

Die Grenzwertoptimierungskurve wird bei der Wahl des „optimalen“ Schwellenwertes vom Verhältnis der Monate mit Dürreauswirkungen und der Monate ohne Dürreauswirkungen beeinflusst. Je länger die betrachtete Zeitreihe und je mehr Monate mit dokumentierten Dürreauswirkungen, welche maßgeblich für die Schwellenwertwahl sind, desto „runder“

erscheint die ROC-Kurve. Die Entscheidung, nur die Indizes mit gleich langem Betrachtungszeitraum zu vergleichen und die Indizes $\Delta fAPAR$, ΔpF und SPI12 in der Wahl des „optimalen“ Index und Schwellenwert auszuschließen, basiert darauf, dass für diese Indizes eine kürzere Zeitreihe zur Verfügung stand als für die SPI- und SPEI-Werte. Dabei zeigten die beiden Indizes $\Delta fAPAR$ und ΔpF sogar teilweise höhere AUC und scheinen somit besser zu bestimmten Auswirkungskategorien zu passen. Lange Zeitreihen sind jedoch zu bevorzugen, da jeder weitere verfügbare Monat das Ergebnis der ROC-Kurve beeinflussen kann. Um den Einfluss von eventuell fehlenden Dürreauswirkungen zu minimieren, werden daher in anderen Studien teilweise nur Jahre mit Dürreauswirkungen betrachtet und Jahre ohne Dürreauswirkungen in den Analysen außen vor gelassen (z.B. BACHMAIR ET AL., 2015). Dies wird mit Unsicherheiten in der Datengrundlage begründet sowie der Annahme, dass die EDII unvollständig ist. Doch sowohl das Nichtbeachten von Jahren ohne Dürreauswirkungen als auch das Miteinbeziehen aller Jahre trotz möglicher fehlender Einträge birgt ein gewisses Risiko. Beide Varianten verändern das Ergebnis in eine unbekannte Richtung.

Weitere plausible Erklärungen für eher mäßige Ergebnisse bei Sensitivität und Spezifität sind, neben dem Einfluss der Vollständigkeit der Datengrundlage, die multikausalen Zusammenhänge, die zu einer Dürre führen. Der Versuch Dürre durch Dürreindizes zu beschreiben kommt somit an seine Grenzen. Dürreindizes beschränken sich meist auf eine oder zwei Variablen, jedoch spielen oftmals mehrere Faktoren eine Rolle. Als mögliche Lösung hierfür ist die (Weiter-)Entwicklung kombinierter Dürreindizes zu nennen, die besonders für das operationelle Dürremanagement von großem Nutzen sein können (NIEMEYER, 2008). Als limitierender Faktor wird von NIEMEYER (2008) die Datenverfügbarkeit von Eingangsvariablen genannt, die für die erfolgreiche Kalkulation und Entwicklung von kombinierter Dürreindizes immer wieder im Wege steht. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Schaffung eines kombinierten Dürreindizes ist der CDI (*Combined Drought Index*) von SEPULCRE-CANTO ET AL. (2012), welcher versucht der Multikausalität von Dürre gerecht zu werden.

Eine weitere Möglichkeit der Schwellenwert-Methodik, den Zusammenhang von Dürreindizes und Dürreauswirkungen zu quantifizieren, ist anstatt eines einzigen Schwellenwertes die Unterteilung von Indexwerten in Kategorien. Doch die Werte, anhand derer die Kategorien eingeteilt werden, sind meist willkürlich gewählt und resultieren in Risikokategorien von „mäßiger Dürre“ bis hin zu „extremer Dürre“ (MCKEE ET AL., 1993; BLAUHUT ET AL., 2016). Nähere Beschreibungen bezüglich der Bedeutung für möglicher Dürreauswirkungen finden hierbei nicht statt und geben keine konkrete oder verwertbare Auskunft über das Ausmaß dieser, die für das konkrete Management dieser nötig wären.

Die Grenzwertoptimierungskurve ist alles in allem eine vielversprechende Weise um Indizes miteinander zu vergleichen und so einen Einblick über die Eignung und die Größenordnung eines möglichen sinnvollen Schwellenwertes zu bekommen. Besonders vielversprechend für das operationelle Dürremanagement ist außerdem die Möglichkeit anhand der Sensitivität oder Spezifität zu Priorisieren. Bei der Anwendung der Grenzwertoptimierungskurve sollte man jedoch im Hinterkopf behalten, dass eine Schwellenwertfindung keine statistischen Methoden ersetzen kann. Ziel der Schwellenwertfindung ist lediglich die Charakterisierung von Dürre durch Bestimmung von Beginn, Ende und Dauer eines

Dürreereignisses anhand eines Index (VICENTE-SERRANO ET AL., 2010; WMO, 2012; VAN LOON, 2015b). Eine Alternative zum Schwellenwert stellt die Möglichkeit Dürre anhand ihrer Auftretungswahrscheinlichkeit zu quantifizieren dar (BLAUHUT ET AL., 2016). Für eine ganzheitliche und weiterführende Untersuchung des Zusammenhangs von Dürreindizes und Dürreauswirkungen sollte auch eine Regressionsanalyse und/oder eine Korrelationsanalyse in Betracht gezogen werden (STAHL ET AL., 2015b).

Grundsätzlich und zusammenfassend bleibt zu sagen, dass Dürre als komplexer Prozess nicht gänzlich korrekt durch einen Dürreindex oder eine (statistische) Analyse abgebildet werden kann. Neben der bereits erwähnten Multikausalität spielt auch die Vulnerabilität eine entscheidende Rolle, ob Dürreauswirkungen überhaupt auftreten oder bemerkbar werden (DE STEFANO ET AL., 2015; BLAUHUT ET AL., 2014, 2016). Zudem macht auch die Tatsache Schwierigkeiten, dass Auswirkungen nicht immer direkt mit Trockenheit in Verbindung gebracht werden können und teilweise auch aufgrund hoher zeitlicher Verzögerung und räumlicher Entfernung nicht als solche wahrgenommen und erfasst werden können (LOGAR & VAN DEN BERGH, 2013; BACHMAIR ET AL., 2016b). Ebenso nicht zu vernachlässigen ist das menschliche Eingreifen in den Wasserhaushalt, das beispielsweise durch Bewässerung oder Regulierung von Fließgewässern Dürreauswirkungen sowohl verschlimmern als auch abmildern vermag (STAHL ET AL., 2015b).

5.4 Ergebnisse der Evaluation

In den letzten Abschnitten wurden bereits Erfahrungen diskutiert, die bei der Entwicklung und Auswertung der Visualisierungen gemacht wurden. Im Kontext dieses Entwicklungsprozesses wurden ausgewählte Grafiken und deren Anwendung anhand eines Fragebogens auf Nutzbarkeit und Performance getestet (Kapitel 3.4). Antworten hat man sich vor allem im Bezug auf die Wissensvermittlung und eine erfolgreiche Kommunikation durch visuelle Darstellungen von Dürre erhofft. Das Verständnis der Erklärung und Anwendung der Grenzwertoptimierungskurve sollte außerdem an den TeilnehmerInnen getestet und evaluiert werden.

Da die Befragung anhand des Fragebogens nur an sieben TeilnehmerInnen durchgeführt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass dies keine valide Anzahl an Befragten für eine vollwertige statistische Analyse darstellt. Man geht in dieser Arbeit zwar davon aus, dass die Antworten der TeilnehmerInnen aufgrund der stichprobenartigen Auswahl der Befragten durchaus repräsentativ sind, trotzdem ist von einer gewissen Beeinflussung und Voreingenommenheit durch die kleine Gruppe an TeilnehmerInnen auszugehen. Es kann nicht angenommen werden, dass Aussagen der TeilnehmerInnen eine Allgemeingültigkeit beinhalten.

Bezüglich der Methodik der Auswertung von den geschlossenen Fragen (Abbildung 28) kann angemerkt werden, dass diese Säulendiagramme nur die Mittelwerte der Antworten nach dem Schulnotenprinzip von 1 (Trifft nicht zu) bis 6 (Trifft zu) der geschlossenen Fragen wiedergeben. Die Betrachtung der Noten der einzelnen TeilnehmerInnen zeigt jedoch, dass die Einschätzungen bezüglich Intuition, Komplexität, investierter Zeit und der Frage, ob Neues dazugelernt wurde, zum Teil sehr individuell ausgefallen sind und der Mittelwert aufgrund der Streuung der Antworten nur bedingt aussagekräftig ist.

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse der Evaluation (Kapitel 4.4), dass die genutzten Grafiken sich für die Darstellung von Dürreprozessen eignen. Einige Abbildungen sind aufgrund ihrer geläufigen Darstellungsform leichter zu verstehen als andere. Besonders hervorzuheben ist dabei die Matrix in Abbildung III, die (ohne Berücksichtigung der Grenzwertoptimierungskurve in Abbildung IV) als komplexeste und am wenigsten intuitive Grafik einordnet wurde. Gleichzeitig wurde der Informationsgehalt von allen TeilnehmerInnen gelobt und die TeilnehmerInnen gaben an, etwas Neues dazugelernt zu haben. Es zeigt sich also, dass diese Darstellungsform als sehr geeignet eingeschätzt werden kann.

In dieser Studie wurde sich für die Anwendung und Präsentation der Grenzwertoptimierungskurve im Fragebogen entschieden, weil sie für Menschen außerhalb der Wissenschaft als relativ leicht verständlich und nachvollziehbar eingeschätzt wird (RICE & HARRIS, 2005). Der Großteil der TeilnehmerInnen gibt an, anhand der eben genannten Abbildungen, eine Art von Zusammenhang zwischen Dürreindex und Dürreauswirkungen erkannt zu haben. Abbildung IV dient als Erklärung der Grenzwertoptimierungskurve und zeigt die Schwierigkeiten bei der Festlegung eines Schwellenwert. Für die TeilnehmerInnen stellte sich diese Erklärung jedoch als verwirrend heraus und die Grafik war die am wenigsten akzeptierteste Grafik des Fragebogens. Gründe dafür sind möglicherweise, dass die meisten TeilnehmerInnen in ihrer Arbeit oder in ihrer Ausbildung bzw. in ihrem Studium kaum Berührungspunkte mit Häufigkeitsverteilungen und Statistik im Allgemeinen haben. Trotz des fehlenden Verständnisses der Grenzwertoptimierungskurve verstanden mehr als die Hälfte der TeilnehmerInnen bei Betrachtung von Abbildung V und VI zu dem Schluss, dass ein einfacher Schwellenwert einen Dürreindex nicht gänzlich abbilden kann.

Die Realisierung von Visualisierungen im Themenbereich Dürre und der Einsatz dieser in den Fragebögen zeigt, dass die Darstellungsformen geeignet sind, um sowohl Dürreprozesse und -verläufe in der Vergangenheit darzustellen, sowie um Unklarheiten beim Zusammenhang von Indizes und Dürreauswirkungen aufzuzeigen. Die Nützlichkeit dieser Darstellungen wird allerdings dadurch abgeschwächt, dass Erkenntnisse und Kernaussagen, die aus den Abbildungen abgeleitet werden, sich teilweise grundlegend unterscheiden und sich auf unterschiedliche Teilaspekte von möglichen Aussagen beziehen können. Soll eine Grafik eine bestimmte Aussage übermitteln, wird daher geraten gezielt auf die zu übermittelnde Kernaussage hinzuweisen, beispielsweise durch einen entsprechenden Hinweis in der Abbildungsbeschreibung oder anhand von Pfeilen oder Hinweisen in der Grafik selbst.

Für die Weiterentwicklung von Visualisierungen für die Kommunikation mit Stakeholdern im Themenbereich Dürre können abschließend folgende Empfehlungen und Schlussfolgerungen ausgesprochen werden:

Die Eignung von Visualisierungen im Allgemeinen und von denen im Fragebogen dieser Arbeit genutzten Grafiken im Speziellen kann für die Vermittlung von Informationen über Dürreprozesse und einen möglichen Zusammenhang von Indizes und tatsächlichen Dürreauswirkungen bestätigt werden. Visualisierungen lassen dem Betrachtenden einen gewissen Interpretationsspielraum und regen zum Nachdenken an, eignen sich aber weniger dafür, konkrete Aussagen zu übermitteln, da sie individuell sehr unterschiedlich aufgefasst werden können. Um ein ganzheitlicheres Bild über die Eignung und Wirkung von Grafiken und das Verständnis von Dürre zu erlangen, empfiehlt sich eine größere Zahl an Befragun-

gen, um unterschiedliche Auffassungen und Interpretationen von Kernaussagen durch den Einfluss individueller Vorbildung, Auffassungsgabe und Motivation relativieren zu können. Außerdem sollte auch die Befragungsform qualitativer Interviews in Betracht gezogen werden, da es in dieser Raum für Rückfragen gibt, die durch die schriftliche Befragung leider nicht möglich sind. Außerdem wird die engere Zusammenarbeit in Form von Gesprächen oder Workshops mit Stakeholdern vorgeschlagen, wodurch konkretere Verständnislücken und Unklarheiten in der Kommunikation zwischen Wissenschaft, Stakeholdern und Öffentlichkeit diskutiert und eruiert werden können. Hilfreich wäre hier eine gezielte Aufarbeitung und Anhörung von Wünschen und Anregungen der Stakeholder.

6 Fazit

Die Untersuchung der dokumentierten Dürreauswirkungen in Deutschland, und Baden-Württemberg im Besonderen, zeigt, dass die EDII eine einzigartige und vielversprechende Datengrundlage liefert. Die nähere Analyse verdeutlicht, dass sie zur Verbesserung des Verständnisses von Dürreindikatoren und Auswirkungen maßgeblich beiträgt. Als Betrachtungsebene der dokumentierten Dürreauswirkungen und ausgewählter Dürreindizes ist die NUTS1-Ebene gewählt worden, begründet durch die geringe Anzahl und zeitliche Auflösung von Dürreindikatoren auf NUTS2- und NUTS3-Ebene. Ein weiterer Ausbau und eine Vervollständigung der Datengrundlage wird unbedingt empfohlen, um in Zukunft eine Analyse längerer und verlässlicheren Zeitreihen, ggf. auch auf kleinerer räumlicher und genauerer zeitlicher Ebene, vornehmen zu können. Die Betrachtung einzelner Auswirkungskategorien bewährt sich vor allem in der Anwendung der Grenzwertoptimierungskurve, welche einen optimalen Schwellenwert liefert, um Dürre zu definieren und charakterisieren. Diese Methodik ersetzt keine weiterführende Statistik.

Die Visualisierung von Dürreindizes und Dürreauswirkungen hat sich als vielversprechendes Tool für die Analyse der Grundlagendaten erwiesen, ebenso wie als geeignetes Kommunikationswerkzeug für die Verdeutlichung des Zusammenhangs von Dürreindikatoren und Dürreauswirkungen. Die Durchführung eines Fragebogens, um ausgewählte Grafiken zu evaluieren, zeigt eine grundsätzliche Eignung und Akzeptanz durch die TeilnehmerInnen, jedoch auch, dass Kernaussagen der Grafiken sehr individuell interpretierbar sind. Für eine konkrete Vermittlung von Inhalten werden spezifischere Darstellungsformen empfohlen. Die Performance und Verständlichkeit der Grenzwertoptimierungskurve erweist sich bei den TeilnehmerInnen des Fragebogens als eher mäßig. Die Visualisierungen von Dürreindikatoren und Auswirkungen als kartografische Darstellung, Zeitreihe und Matrix können grundlegende Informationen und Zusammenhänge erfolgreich vermittelt werden.

Literatur

- ANDREU, J.; HARO, D.; SOLERA, A.; PAREDES, J.; ASSIMACOPOULOS, D.; WOLTERS, W.; VAN LANEN, H. A. J.; KAMPRAGOU, E.; BIFULCO, C.; DE CARLI, A.; DIAS, S.; TÁNAGO, I.; MASSARUTTO, A.; MUSOLINO, D.; REGO F. C.; SEIDL, I.; DE STEFANO, L. & URQUIJO, J. (2015): Drought indicators: Monitoring forecasting and early warning at the case study scale, DROUGHT-R&SPI Technical Report No. 33.
- ANDREU, J.; SOLERA, A.; PAREDES-ARQUIOLA, J.; HARO-MONTEAGUDO, D. & VAN LANEN, H. (Hg.) (2014): Drought - Research and Science-Policy Interfacing: Proceedings of the International Conference on Drought: Research and Science-Policy Interfacing, Valencia, Spain, 10-13 March 2015, Balkema Book (CRC Press, Hoboken), ISBN 978-1-138-02779-4.
- BACHMAIR, S.; KOHN, I. & STAHL, K. (2015): Exploring the link between drought indicators and impacts, *Natural Hazards and Earth System Science*, 15(6):1381–1397.
- BACHMAIR, S.; STAHL, K.; COLLINS, K.; HANNAFORD, J.; ACREMAN, M.; SVOBODA, M.; KNUTSON, C.; SMITH, K.H.; WALL, N.; FUCHS, B.; CROSSMAN, N.D. & OVERTON, I.C. (2016b): Drought indicators revisited: The need for a wider consideration of environment and society, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(4):516–536.
- BACHMAIR, S.; SVENSSON, C.; HANNAFORD, J.; BARKER, L.J. & STAHL, K. (2016a): A quantitative analysis to objectively appraise drought indicators and model drought impacts, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7):2589–2609.
- BARKER, L.J.; HANNAFORD, J.; CHIVERTON, A. & SVENSSON, C. (2016): From meteorological to hydrological drought using standardised indicators, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6):2483–2505.
- BERNHOFER, C.; HÄNSEL, S.; SCHALLER, A. & PLUNTKE, T. (2015): Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit: Untersuchungen zur Erfassung und Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit, *Schriftenreihe des LfULG*, (7).
- BLAUHUT, V.; GUDMUNDSSON, L. & STAHL, K. (2015a): Towards pan-European drought risk maps: Quantifying the link between drought indices and reported drought impacts, *Environmental Research Letters*, 10(1):2–10.
- BLAUHUT, V.; STAHL, K. & KOHN, I. (2014): The dynamics of vulnerability to drought from an impact perspective, J. ANDREU; A. SOLERA; J. PAREDES-ARQUIOLA; D. HARO-MONTEAGUDO & H. VAN LANEN (Hg.), *Drought - Research and Science-Policy Interfacing*, Balkema Book, 349–354 (CRC Press, Hoboken), ISBN 978-1-138-02779-4.
- BLAUHUT, V.; STAHL, K.; STAGGE, J.H.; TALLAKSEN, L.M.; DE STEFANO, L. & VOGT, J. (2016): Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7):2779–2800.

- BUREK, P.; VAN KNIJFF DER, J. & ROO DE, A. (2013): LISFLOOD, distributed water balance and flood simulation model: Revised user manual 2013, Bd. 26162 von EUR, Scientific and technical research series (Publications Office, Luxembourg), ISBN 978-92-79-33190-9.
- COLLINSON, P. (1998): Of bombers, radiologists, and cardiologists: Time to ROC, *Heart*, 80(3):215–217.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Hg.) (2012): Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit: Abschlussbericht (Offenbach am Main).
- DING, Y.; HAYES, M.J. & WIDHALM, M. (2011): Measuring economic impacts of drought: A review and discussion, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 20(4):434–446.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2015): Regions in the European Union: Nomenclature of territorial units for statistics: NUTS 2013/EU-28, Eurostat Theme Collection (Publ. of the Europ. Union, Luxembourg), ISBN 978-92-79-38657-2.
- FLICK, U. (2016): Sozialforschung: Methoden und Anwendungen : ein Überblick für die BA-Studiengänge, Bd. 55702 von Rororo Rowohlts Enzyklopädie (Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg), 3. Aufl., ISBN 9783499557026.
- FLUIXÁ-SANMARTÍN, J.; PAN, D.; FISCHER, L.; ORLOWSKY, B.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.; JORDAN, F.; HAEMMIG, C.; ZHANG, F. & XU, J. (2017): Searching for the optimal drought index and time scale combination to detect drought: A case study from the lower Jinsha River Basin, China, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–30.
- GCOS (2016): The Global Observing System for Climate: Implementation Needs: GCOS 2016 Implementation Plan.
- HISDAL, H. & TALLAKSEN, L.M. (2000): Drought Event Definition, DROUGHT-R&SPI Technical Report No. 6.
- ILIINSKY, N. & STEELE, J. (2011): Designing Data Visualizations: Representing Informational Relationships (O'Reilly Media Inc, Sebastopol), ISBN 978-1-449-31228-2.
- JOINT RESEARCH CENTRE (2011): SOIL MOISTURE: Daily, Anomaly and Forecasted values, Fact Sheet.
- JOINT RESEARCH CENTRE (2013): FAPAR anomaly: Anomaly of Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation: Fact Sheet, Fact Sheet.
- LEITTE, H. (2013): Grundlagen der wissenschaftlichen Visualisierung: Vertiefung Computergraphik und Visualisierung.
- LLOYD-HUGHES, B. & SAUNDERS, M.A. (2002): A drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology*, 22(13):1571–1592.

- LOGAR, I. & VAN DEN BERGH, J.C.J.M. (2013): Methods to Assess Costs of Drought Damages and Policies for Drought Mitigation and Adaptation: Review and Recommendations, *Water Resources Management*, 27(6):1707–1720.
- MACEACHREN, A.M. (1994): Some truth with maps: A primer on symbolization and design, *Resource publications in geography* (Association of American Geographers, Washington, D.C), ISBN 0892912146.
- MAYRING, P. (2001): Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse, *Forum Qualitative Sozialforschung*, 2(1), doi:10.17169/fqs-2.1.967.
- MAYRING, P. (2008): Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken, *Beltz Studium* (Beltz, Weinheim and Basel), 5. Aufl., ISBN 9783407252524.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J. & KLEIST, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17-22 Januar 1993, Anaheim, California.
- NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER (2017): Drought Impact Reporter.
URL <http://droughtreporter.unl.edu/map/>
- NESET, T.S.; OPACH, T.; LION, P.; LILJA, A. & JOHANSSON, J. (2015): Map-Based Web Tools Supporting Climate Change Adaptation, *The Professional Geographer*, 68(1):103–114.
- NIEGEMANN, H.; DOMAGK, S.; HESSEL, S.; HEIN, A.; HUPFER, M. & ZOBEL, A. (2008): *Kompodium multimediales Lernen* (Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg), doi:10.1007/978-3-540-37226-4.
- NIEMEYER, S. (2008): New drought indices, A. LÓPEZ-FRANCOS (Hg.), *Drought management: Scientific and technological innovations* (CIHEAM, 2008. S. 267-274 (Options Méditerranéennes : Série A., Zaragoza).
URL <http://om.ciheam.org/om/pdf/a80/00800451.pdf>
- RICE, M.E. & HARRIS, G.T. (2005): Comparing effect sizes in follow-up studies: ROC Area, Cohen's d, and r, *Law and human behavior*, 29(5):615–620.
- RICE, S.O. (1945): Mathematical Analysis of Random Noise, *Bell System Technical Journal*, 24(1):46–156.
- ROSSI, G. & CANCELLIERE, A. (2013): Managing drought risk in water supply systems in Europe: A review, *International Journal of Water Resources Development*, 29(2):272–289.
- ROSSI, S. & NIEMEYER, S. (2010): Monitoring droughts and impacts on the agricultural production: Examples from Spain, *Ecohydrology*.

- RUBIN, J. & CHISNELL, D. (2008): Handbook of usability testing: How to plan, design, and conduct effective tests (Wiley Pub, Indianapolis, IN), 2. Aufl., ISBN 978-0-470-18548-3.
- SEPULCRE-CANTO, G.; HORION, S.; SINGLETON, A.; CARRAO, H. & VOGT, J. (2012): Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe, *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(11):3519–3531.
- SHEFFIELD, J.; WOOD, E.F. & RODERICK, M.L. (2012): Little change in global drought over the past 60 years, *Nature*, 491(7424):435–438.
- SIVAKUMAR, M.V.K.; MOTHARAJ, R.P.; WILHITE D. A. & WOOD, D.A.H. (2011): Agricultural Drought Indices. Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spanien: Genf, Schweiz, World Meteorological Organization. AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011. 197 pp.
- STAGGE, J.H.; KOHN, I.; TALLAKSEN, L.M. & STAHL, K. (2015): Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe, *Journal of Hydrology*, 530:37–50.
- STAHL, K.; BLAUHUT, V.; KOHN, I.; ACÁCIO, V.; ASSIMACOPOULOS, D.; BIFULCO, C.; DE STEFANO, L.; DIAS, S.; EILERTZ, D.; FRIELINGS DORF, B.; HEGDAHL, R.J.; KAMPRAGOU, E.; KOURENTZIS, V.; MELSEN, L.A.; VAN LANEN, H. A. J.; VAN LOON, A.F.; MASSARUTTO, A.; MUSOLINO, D.; DE PAOLI, L.; SENN, L.; STAGGE, J.H.; TALLAKSEN, L.M. & URQUIJO, J. (2012): A European Drought Impact Report Inventory (EDII): Design and Test for Selected Recent Droughts in Europe, DROUGHT-R&SPI Technical Report No. 3.
- STAHL, K.; KOHN, I.; BLAUHUT, V.; URQUIJO, J.; DE STEFANO, L.; ACÁCIO, V.; DIAS, S.; STAGGE, J.H.; TALLAKSEN, L.M.; KAMPRAGOU, E.; VAN LOON, A.F.; BARKER, L.J.; MELSEN, L.A.; BIFULCO, C.; MUSOLINO, D.; DE CARLI, A.; MASSARUTTO, A.; ASSIMACOPOULOS, D. & VAN LANEN, HENNY A. J. (2016): Impacts of European drought events: Insights from an international database of text-based reports, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3):801–819.
- STAHL, K.; STAGGE, J.H.; BACHMAIR, S.; BLAUHUT, V.; REGO F. C.; DE STEFANO, L.; DIAS, S.; GUDMUNDSSON, L.; GUNST, L.; KOHN, I.; VAN LANEN, H. A. J.; REGUERA, J.U. & TALLAKSEN, L.M. (2015b): Recommendations for indicators for monitoring and early-warning considering different sensitivities: pan-european scale, DROUGHT-R&SPI Technical Report No. 28.
- STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN UNION (2007): Verwaltungseinheiten: NUTS.
URL <http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units>
- DE STEFANO, L.; TÁNAGO, I.; BALLESTEROS, M.; URQUIJO, J.; BLAUHUT, V.; STAGGE, J.H. & STAHL, K. (2015): Methodological approach considering different factors

- influencing vulnerability - pan-European scale, DROUGHT-R&SPI Technical Report No. 26.
- TALLAKSEN, L.M.; STAGGE, J.H.; STAHL, K.; GUDMUNDSSON, L.; ORTH, R.; SENEVIRATNE, S.I.; VAN LOON, A.F. & VAN LANEN, H. A. J. (2014): Characteristics and drivers of drought in Europe - a summary of the DROUGHT-R&SPI project, J. ANDREU; A. SOLERA; J. PAREDES-ARQUIOLA; D. HARO-MONTEAGUDO & H. VAN LANEN (Hg.), Drought - Research and Science-Policy Interfacing, Balkema Book (CRC Press, Hoboken), ISBN 978-1-138-02779-4.
- TRNKA, M.; BALEK, J.; ŠTĚPÁNEK, P.; ZAHRADNÍČEK, P.; MOŽNÝ, M.; EITZINGER, J.; ŽALUD, Z.; FORMAYER, H.; TURŇA, M.; NEJEDLÍK, P.; SEMERÁDOVÁ, D.; HLAVINKA, P. & BRÁZDIL, R. (2016): Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014, *Climate Research*, 70(2):143–160.
- VAN LOON, A.F. (2015b): Hydrological drought explained, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4):359–392.
- VAN LOON, A.F.; STAHL, K.; DI BALDASSARRE, G.; CLARK, J.; RANGE-CROFT, S.; WANDERS, N.; GLEESON, T.; VAN DIJK, ALBERT I. J. M.; TALLAKSEN, L.M.; HANNAFORD, J.; UIJLENHOET, R.; TEULING, A.J.; HANNAH, D.M.; SHEFFIELD, J.; SVOBODA, M.; VERBEIREN, B.; WAGENER, T. & VAN LANEN, HENNY A. J. (2016b): Drought in a human-modified world: Reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9):3631–3650.
- VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S. & LÓPEZ-MORENO, J.I. (2010): A Multiscale Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *Journal of Climate*, 23(7):1696–1718.
- WILHITE, D.A. & GLANTZ, M.H. (1985): Understanding: The Drought Phenomenon: The Role of Definitions, *Water International*, 10(3):111–120.
- WMO (2006): Drought monitoring and early warning: Concepts, progress and future challenges ; weather and climate information for sustainable agricultural development, Bd. 1006 von WMO (WMO, Geneva), ISBN 92-63-11006-9.
- WMO (2012): Standardized precipitation index user guide, Bd. No. 1090 von WMO (World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland), ISBN 978-92-63-11091-6.
- WMO & GWP (2016): Handbook of drought indicators and indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs): Integrated Drought Management Programme (IDMP), Bd. 2 von Integrated drought management tools and guidelines series (World Meteorological Organization, Geneva), ISBN 978-92-63-11173-9.
- WOLTERS, W.; STAHL, K.; TÁNAGO, I.; ANDREU, J.; VAN LANEN, H. A. J.; KAMP-PRAGOU, E. & DAVY, T. (2015): Discussing Drought at the pan-European level: results from the 3rd pan-European drought dialogue forum, DROUGHT-R&SPI Technical Report No. 31.

- YUAN, X.; ZHANG, M. & WANG, L. (2016): Understanding and seasonal forecasting of hydrological drought in the anthropocene, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–19.
- ZARGAR, A.; SADIQ, R.; NASER, B. & KHAN, F.I. (2011): A review of drought indices, *Environmental Reviews*, 19(NA):333–349.

Software und R *packages*

ARNOLD, J.B. (2017): ggthemes: Extra Themes, Scales and Geoms for 'ggplot2', R package version 3.4.0.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=ggthemes>

AUGUIE, B. (2016): gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid"Graphics, R package version 2.2.1.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>

BACHE, S.M. & WICKHAM, H. (2014): magrittr: A Forward-Pipe Operator for R, R package version 1.5.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=magrittr>

BECKER, R.A.; WILKS, A.R.; BROWNRIGG, R.; MINKA, T.P. & DECKMYN, A. (2017): maps: Draw Geographical Maps, R package version 3.2.0.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=maps>

BENGTTSSON, H. (2017): matrixStats: Functions that Apply to Rows and Columns of Matrices (and to Vectors), R package version 0.52.2.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=matrixStats>

BIVAND, R.; KEITT, T. & ROWLINGSON, B. (2017): rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library, R package version 1.2-7.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>

BIVAND, R. & LEWIN-KOH, N. (2017): maptools: Tools for Reading and Handling Spatial Objects, R package version 0.9-2.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=maptools>

BOUCHET-VALAT, M. (2014): SnowballC: Snowball stemmers based on the C libstemmer UTF-8 library, R package version 0.5.1.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=SnowballC>

DOWLE, M. & SRINIVASAN, A. (2017): data.table: Extension of 'data.frame', R package version 1.10.4.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>

EDWARDS, S.M. (2017): lemon: Freshing Up your 'ggplot2' Plots, R package version 0.3.0.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=lemon>

EDZER J. PEBESMA AND ROGER S. BIVAND (2005): Classes and methods for spatial data in R, R News, 5(2):9–13.

URL <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

FEINERER, I. & HORNIK, K. (2017): tm: Text Mining Package, R package version 0.7-1.

URL <https://CRAN.R-project.org/package=tm>

- FEINERER, I.; HORNIK, K. & MEYER, D. (2008): Text Mining Infrastructure in R, *Journal of Statistical Software*, 25(5):1–54.
URL <http://www.jstatsoft.org/v25/i05/>
- FELLOWS, I. (2014): wordcloud: Word Clouds, R package version 2.5.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=wordcloud>
- FRANCOIS, R. (2017): bibtex: Bibtex Parser, R package version 0.4.2.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=bibtex>
- GERRITSEN, H. (2014): mapplots: Data Visualisation on Maps, R package version 1.5.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=mapplots>
- GRAFFELMAN, J. (2013): calibrate: Calibration of Scatterplot and Biplot Axes, R package version 1.7.2.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=calibrate>
- HENRY, L. & WICKHAM, H. (2017): purrr: Functional Programming Tools, R package version 0.2.3.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=purrr>
- HIJMANS, R.J. (2016a): geosphere: Spherical Trigonometry, R package version 1.5-5.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=geosphere>
- HIJMANS, R.J. (2016b): raster: Geographic Data Analysis and Modeling, R package version 2.5-8.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- HORNIK, K. (2017): NLP: Natural Language Processing Infrastructure, R package version 0.1-10.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=NLP>
- KASSAMBARA, A. (2017): ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots, R package version 0.1.4.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>
- LEMON, J. (2006): Plotrix: a package in the red light district of R, *R-News*, 6(4):8–12.
- MAHTO, A. (2014): splitstackshape: Stack and Reshape Datasets After Splitting Concatenated Values, R package version 1.4.2.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=splitstackshape>
- MÜLLER, K. & WICKHAM, H. (2017): tibble: Simple Data Frames, R package version 1.3.3.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=tibble>
- MURPHY, D. (2013): mondate: Keep track of dates in terms of months, R package version 0.10.01.02.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=mondate>

- NEUWIRTH, E. (2014): RColorBrewer: ColorBrewer Palettes, R package version 1.1-2.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>
- PEBESMA, E. (2017): sf: Simple Features for R, R package version 0.5-3.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=sf>
- PERPIÑÁN, O. & HIJMANS, R. (2016): rasterVis, R package version 0.41.
URL <http://oscarperpinan.github.io/rastervis/>
- R CORE TEAM (2016): R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL <https://www.R-project.org/>
- ROBIN, X.; TURCK, N.; HAINARD, A.; TIBERTI, N.; LISACEK, F.; SANCHEZ, J.C. & MÜLLER, M. (2011): pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves, BMC Bioinformatics, 12:77.
- ROGER S. BIVAND AND EDZER PEBESMA AND VIRGILIO GOMEZ-RUBIO (2013): Applied spatial data analysis with R, Second edition (Springer, NY).
URL <http://www.asdar-book.org/>
- SARKAR, D. (2008): Lattice: Multivariate Data Visualization with R (Springer, New York), ISBN 978-0-387-75968-5.
URL <http://lmdvr.r-forge.r-project.org>
- SARKAR, D. & ANDREWS, F. (2016): latticeExtra: Extra Graphical Utilities Based on Lattice, R package version 0.6-28.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=latticeExtra>
- VENABLES, W.N. & RIPLEY, B.D. (2002): Modern Applied Statistics with S (Springer, New York), 4. Aufl., ISBN 0-387-95457-0.
URL <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4>
- WICKHAM, H. (2007): Reshaping Data with the reshape Package, Journal of Statistical Software, 21(12):1–20.
URL <http://www.jstatsoft.org/v21/i12/>
- WICKHAM, H. (2011): The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis, Journal of Statistical Software, 40(1):1–29.
URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>
- WICKHAM, H. (2016): ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis (Springer-Verlag New York), ISBN 978-3-319-24277-4.
URL <http://ggplot2.org>
- WICKHAM, H. (2017a): forcats: Tools for Working with Categorical Variables (Factors), R package version 0.2.0.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=forcats>

- WICKHAM, H. (2017b): tidyr: Easily Tidy Data with 'spread()' and 'gather()' Functions, R package version 0.6.3.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr>
- WICKHAM, H. (2017c): tidyverse: Easily Install and Load 'Tidyverse' Packages, R package version 1.1.1.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>
- WICKHAM, H. (o.J.): scales: Scale Functions for Visualization.
- WICKHAM, H. & CHANG, W. (2017): devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier, R package version 1.13.3.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>
- WICKHAM, H.; FRANCOIS, R.; HENRY, L. & MÜLLER, K. (2017a): dplyr: A Grammar of Data Manipulation, R package version 0.7.2.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- WICKHAM, H.; HESTER, J. & FRANCOIS, R. (2017b): readr: Read Rectangular Text Data, R package version 1.1.0.
URL <https://CRAN.R-project.org/package=readr>
- ZEILEIS, A. & GROTHENDIECK, G. (2005): zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series, Journal of Statistical Software, 14(6):1–27, doi:10.18637/jss.v014.i06.

Anhang

A Fragebogen

September 2017

Sehr geehrte Damen und Herren,

als Studierende des Fachbereichs Hydrologie an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg im Breisgau verfasse ich meine Masterarbeit unter Leitung von Prof. Dr. Kerstin Stahl. Thema der Arbeit ist die Visualisierung von Dürreindizes und Dürreauswirkungen:

Neben der Entwicklung eines visualisierungsbasierten Analysetools für Dürredaten steht auch die Evaluierung von Grafiken im Fokus meiner wissenschaftlichen Arbeit. Hier soll vor allem untersucht werden, inwiefern die Grafiken die Thematik in verständlicher Weise widerspiegeln und sich für die Kommunikation mit der Öffentlichkeit und Stakeholdern eignen.

Die Umfrage dauert ca. 20-25 Minuten. Ich würde mich über eine Teilnahme Ihrerseits sehr freuen und bedanke mich für Ihre Mithilfe!

Kerstin Büche

Bitte ausfüllen*:

Ausbildung und Beruf: _____

Bisherige Erfahrung mit dem Thema Dürre: _____

**Angaben, die Rückschlüsse auf die Identität Ihrer Person zulassen, werden anonymisiert*

Einführung in die Thematik

Um den Einstieg in das Thema Dürre zu erleichtern, möchte ich zu Beginn anhand eines kurzen einleitenden Textes einige Zusammenhänge und Begriffe erläutern. Ich möchte Sie bitten, sich diese Erläuterungen durchzulesen und sich bei Fragen ggf. an mich zu wenden.

Anschließend möchte ich Sie bitten, die Grafiken auf den folgenden Seiten zu betrachten und sie anhand der Fragen zu bewerten. Bitte nutzen Sie gerne auch die offenen Fragen oder teilen mir Ihre Gedanken mündlich mit. Die Abbildungen sind jeweils mit einer kurzen Beschreibung versehen, die das Verständnis der Grafiken erleichtern soll.

*Dürre ist ein **komplexes Umweltphänomen** und eine oftmals unterschätzte Gefahr, welche im Vergleich zu anderen Naturkatastrophen die meisten Opfer fordert und die höchsten Kosten verursacht. Dürre kann definiert werden als ein vermindertes Wasserdargebot über einen bestimmten Zeitraum in einer bestimmten Gegend oder als ein relatives Niederschlagsdefizit im Vergleich zum langjährigen Mittel. Negative Folgen durch Dürre (**Dürreauswirkungen**) werden in einer europaweiten Datenbank namens EDII (European Drought Impact Report Inventory) dokumentiert. Insgesamt sind für Deutschland mehr als 1635 Einträge vorhanden. Kategorisiert werden die Dürreauswirkungen anhand der betroffenen Sektoren, z.B. Landwirtschaft, Forstwirtschaft oder Wasserversorgung.*

*Um Dürre quantifizieren und vorhersagen zu können, werden Dürreindizes zur Hilfe genommen. Ein **Dürreindex** ist eine Kennzahl zur Beschreibung von Dürre anhand eines Parameters, z.B. Niederschlag, Wasserstand, Abfluss, Bodenfeuchte oder Wasserstress in der Vegetation. Der hier verwendete Dürreindex variiert in der Regel zwischen +4 (feucht) und -4 (trocken). Ab welchem Wert eines Dürreindex auch Dürreauswirkungen zu erwarten sind, wird oftmals anhand eines Schwellenwertes festgelegt. Da dieser Schwellenwert aber bisher selten mit Dürreauswirkungen von vergangenen Dürreereignissen verglichen und somit validiert wurde, wird im Rahmen dieser Masterarbeit der **Zusammenhang zwischen Dürreindizes und Dürreauswirkungen** sowie die **Wahl des Schwellenwerts** näher betrachtet.*

*Die folgenden **Visualisierungen** dienen dazu, sowohl Dürreindizes als auch Dürreauswirkungen in verschiedenen Regionen abzubilden und deren Zusammenhang näher zu beleuchten. Ein besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, die Grafiken möglichst **verständlich** und **benutzerfreundlich** zu gestalten, mit dem Ziel die Eignung der Grafiken für die Kommunikation mit verschiedenen Nutzergruppen bewerten und verbessern zu können.*

Abbildung I

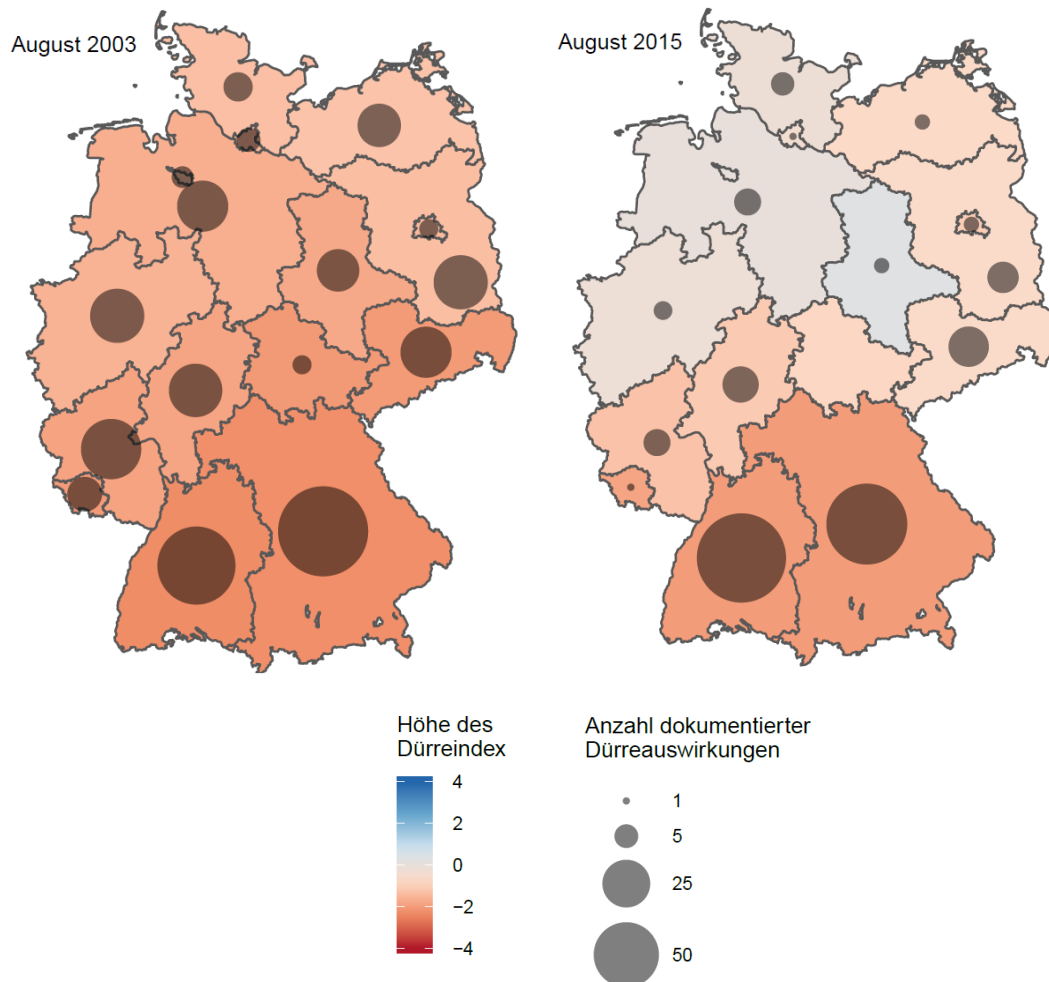


Abbildung I: Kartographische Darstellung der Höhe des Dürreindex und der Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen in Deutschland. Die Bundesländer sind anhand der Höhe des Dürreindex gefärbt, die Farbskala geht von Blau (feuchter Monat) bis hin zu Rot (trockener Monat), je kräftiger die Farbe, desto stärker die Ausprägung. Die dunkelgrauen kreisrunden Flächen stellen proportional zur ihrem Radius die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen dar.

Abbildung II

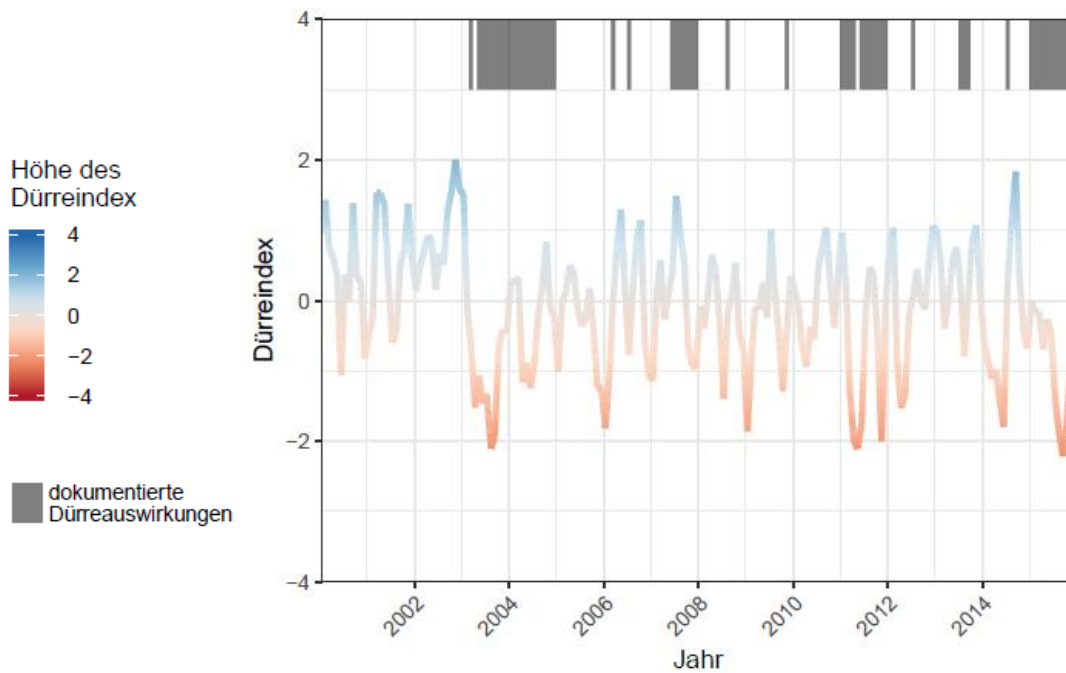


Abbildung II: Diese Zeitreihe zeigt die Höhe des Dürreindex sowie dokumentierte Dürreauswirkungen von Baden-Württemberg über den Zeitraum 2000-2015 (horizontale Achse). Die vertikale Achse stellt die Höhe des Dürreindex dar, die Farbskala geht von Blau (feuchter Monat) bis hin zu Rot (trockener Monat), je kräftiger die Farbe, desto stärker die Ausprägung. Zeiträume mit dokumentierten Dürreauswirkungen sind mit dunkelgrauen Balken markiert.

Abbildung III

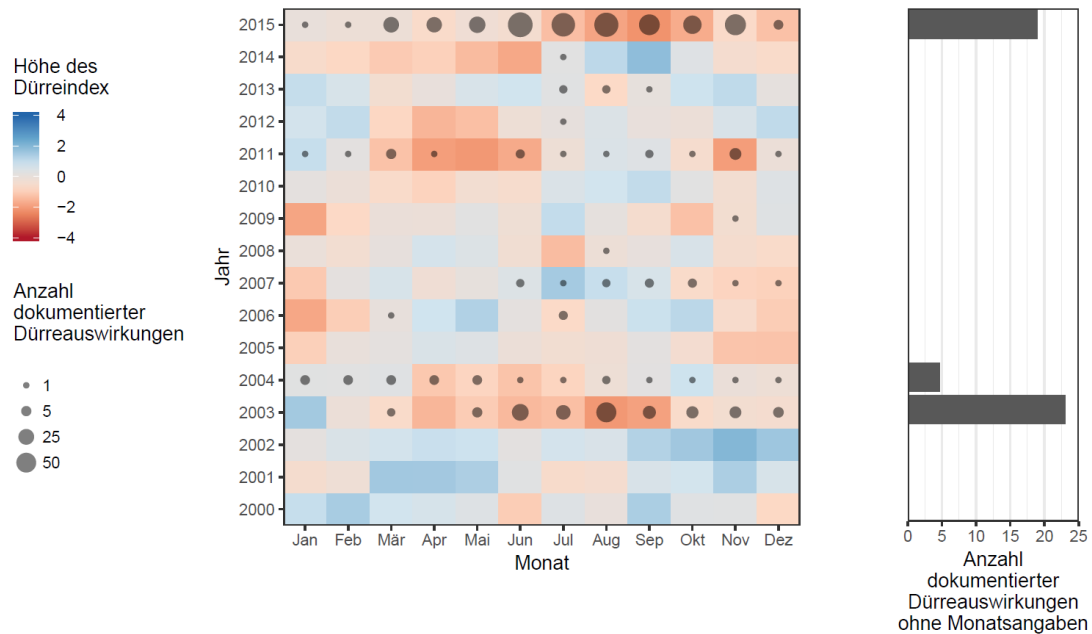


Abbildung III: Die Matrix zeigt die Höhe des Dürreindex und die Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen im Jahresverlauf (horizontale Achse) über den Zeitraum 2000-2015 (vertikale Achse). Die Farbskala geht von Blau (feuchter Monat) bis hin zu Rot (trockener Monat), je kräftiger die Farbe, desto stärker die Ausprägung. Die dunkelgrauen kreisrunden Flächen stellen proportional zur ihrem Radius die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen dar. Da einige Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben dokumentiert wurden, sind rechts Balken dargestellt, die durch ihre Länge die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben zeigen (horizontale Achse).

Abbildung IV

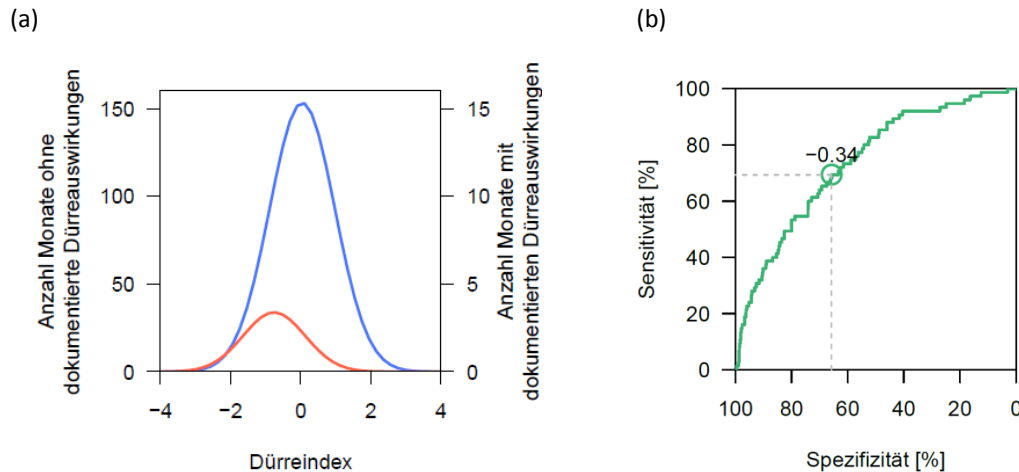


Abbildung IV (a): Gegenüberstellung der Verteilung von Dürreindexwerten in Monaten ohne dokumentierte Dürreauswirkungen (blau) und in Monaten mit dokumentierten Dürreauswirkungen (rot) über den Betrachtungszeitraum von 2000-2015. Dabei bezieht sich die blaue Kurve auf die Anzahl von Monaten ohne dokumentierte Dürreauswirkungen (linke vertikale Achse) und den entsprechenden Dürreindexwerten (horizontale Achse). Die rote Kurve hingegen bezieht sich auf die Anzahl von Monaten mit dokumentierten Dürreauswirkungen (rechte vertikale Achse) und den entsprechenden Indexwerten (horizontale Achse).

Abbildung IV (b): Um den bestmöglichen Schwellenwert herausfinden zu können, ab welchem Dürreindexwert es zu Dürreauswirkungen kommt, kann eine Grenzwertoptimierungskurve wie sie in Abbildung IV (b) dargestellt ist, zur Hilfe genommen werden. Eine Grenzwertoptimierungskurve dient dazu, den bestmöglichen Schwellenwert zu detektieren: Für jeden möglichen Schwellenwert wird der Prozentsatz richtig vorhergesagter Monate mit Dürreauswirkungen (vertikale Achse, Sensitivität) und der Prozentsatz richtig vorhergesagter Monate ohne Dürreauswirkungen (horizontale Achse, Spezifität) aufgetragen und als Linie verbunden. Der Wert auf der Kurve mit der maximalen Summe von Sensitivität und Spezifität entspricht dem „optimalsten“ Schwellenwert der gewählt werden kann, in diesem Fall liegt dieser bei -0.34.

Abbildung V

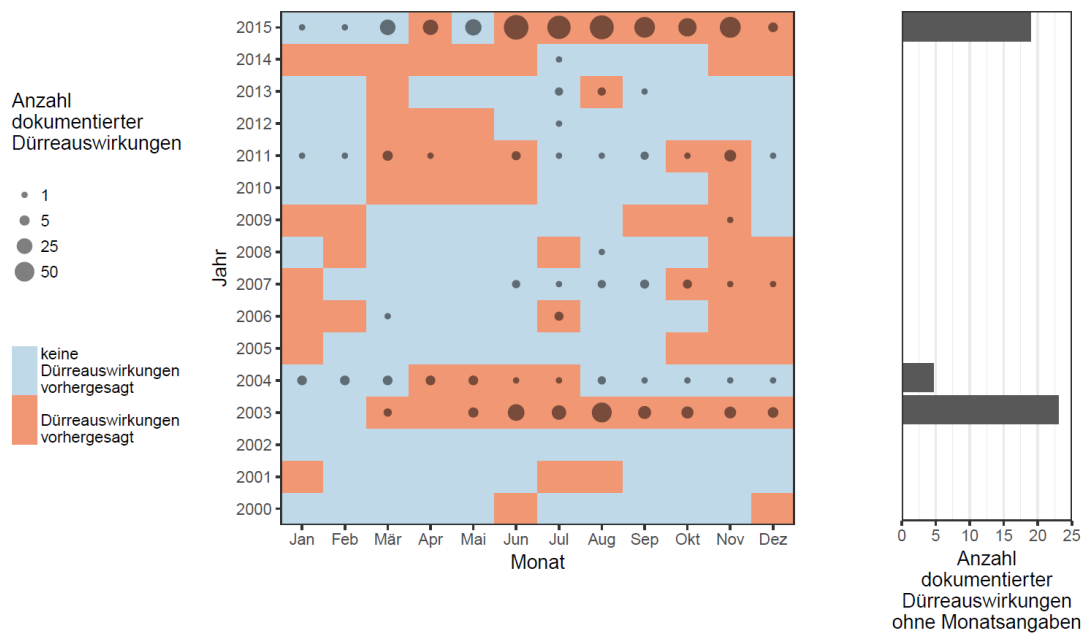


Abbildung V: Die Matrix zeigt die Vorhersage von Dürreauswirkungen anhand des in Abbildung IV (b) gewählten Schwellenwertes und die Anzahl dokumentierter Dürreauswirkungen im Jahresverlauf (horizontale Achse) über den Zeitraum 2000-2015 (vertikale Achse). Durch die rote und blaue Farbe wird angezeigt an, ob für den jeweiligen Monat Dürreauswirkungen anhand des optimalen Schwellenwertes vorhergesagt werden oder nicht. Die dunkelgrauen kreisrunden Flächen stellen proportional zur ihrem Radius die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen dar. Da einige Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben dokumentiert wurden, sind rechts Balken dargestellt, die durch ihre Länge die Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen ohne Monatsangaben zeigen (horizontale Achse).

Abbildung VI

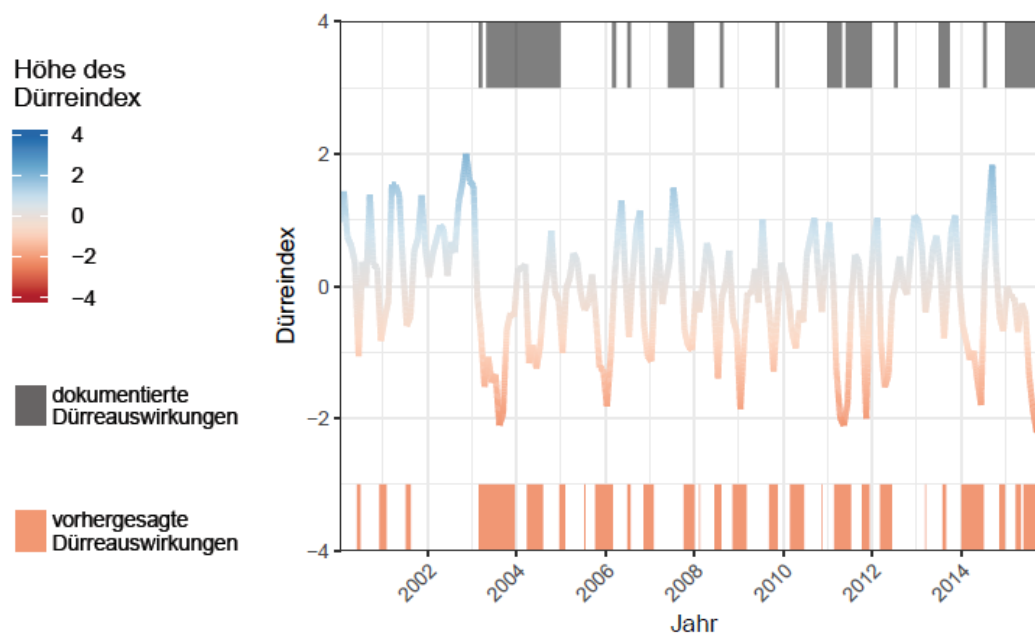


Abbildung VI: Diese Zeitreihe zeigt die Höhe des Dürreindex sowie dokumentierte und vorhergesagte Dürreauswirkungen (anhand des in Abbildung IV (b) gewählten Schwellenwerts) von Baden-Württemberg über den Zeitraum 2000-2015 (horizontale Achse). Die vertikale Achse stellt die Höhe des Dürreindex dar, die Farbskala geht von Blau (feuchter Monat) bis hin zu Rot (trockener Monat), je kräftiger die Farbe, desto stärker die Ausprägung. Zeiträume mit dokumentierten Dürreauswirkungen sind mit dunkelgrauen Balken markiert, Zeiträume mit vorhergesagten Dürreauswirkungen sind mit roten Balken markiert.

B Tabellen

Tabelle 7: Auswirkungskategorien und -typen der EDII und die Anzahl der Einträge je Auswirkungstyp für Deutschland und Baden-Württemberg (BW) (Übersetzung und Aktualisierung von HERBER und BLAUHUT nach STAHL ET AL., 2012).

Auswirkungs- kategorie	Auswirkungs- -typ	Beschreibung	Anzahl Einträge gesamt	Anzahl Einträge BW
1 Land- & Vieh- wirtschaft	1.1	Reduzierte Produktivität der Anbaufläche jährlicher Fruchtkulturen: Ernteverluste, Schäden an der Erntequalität oder Ernteausfall durch Absterben der Pflanzen, vorzeitige Reifung, Dürre-induzierte Schädlingsbefall oder Krankheiten etc.	178	29
	1.2	Reduzierte Produktivität von Dauerfruchtkulturen	37	4
	1.3	Landwirtschaftliche Ertragsverluste > = 30% der Normalproduktion (Grenzwert für EU-Schadensausgleich)	43	7
	1.4	Verringerte Wasserverfügbarkeit zur Bewässerung	1	1
	1.5	Reduzierte Produktivität der Viehzucht (z. B. reduzierte Milcherträge oder Qualität der Milch, reduzierte Mast- / Produktionsraten[kg])	14	0
	1.6	Verringerung der Viehbestände : vorzeitiger Verkauf/Schlachtung (z.B. aufgrund von Futtermangel)	7	2
	1.7	Regionale Wasser und Futtermittelknappheit für die Viehzucht	56	18
	1.8	Sonstiges	21	4
	1.9	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	59	17
2 Forst	2.1	Reduziertes Baumwachstum und Vitalität	40	8
	2.2	Abnahme der jährlichen Erträge von „Nicht-Holzprodukte“ aus Wäldern (z. B. Kork, Pinienkernen, Pilze, Beeren usw.)	4	1
	2.3	Erhöhtes Auftreten von Wassermangelindikatoren und Symptomen von Trockenheitsschäden (z. B. vorzeitige Reifung, vorzeitige Entlaubung, verschlechterte Kronenverhältnisse etc.)	72	10
	2.4	Erhöhung der Schädlings- und Krankheitsbefälle auf Bäume (Wenn möglich Baumart spezifizieren)	46	8
	2.5	Erhöhtes Baumsterben (Wenn möglich Baumart spezifizieren)	23	4
	2.6	Erhöhtes Absterben gepflanzter Baumsetzlinge (in Baumschulen sowie aufgeforsteten Gebieten)	12	3
	2.7	Schäden an forstlichen Kurzumtriebsplantagen (Energie Forstwirtschaft)	0	0
	2.8	Sonstiges	14	3
	2.9	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	7	2

Auswirkungs- kategorie	Auswirkungs- -typ	Beschreibung	Anzahl Einträge gesamt	Anzahl Einträge BW
3 Wasser- kulturen & Fischerei	3.1	Reduzierte (Süßwasser-) Fischereiproduktion (Wenn möglich bitte Arten spezifizieren)	3	0
	3.2	Reduzierte Produktion in Aquakulturen (Wenn möglich bitte die Kulturen spezifizieren)	8	0
	3.3	Sonstiges	5	1
	3.4	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	7	0
4 Energie & Industrie	4.1	Reduzierte Wasserkraftproduktion	21	7
	4.2	Beeinträchtigte Produktion / Stilllegung von thermischen / nuklearen Kraftwerken (aufgrund fehlender Kühlwasser- und / oder Umweltgesetzgebung für Einleitungen in Gewässer)	40	9
	4.3	Beschränkung / Störung des industriellen Produktionsprozesses (wegen mangelnder Prozesswasser- und / oder Umweltgesetzgebung / Einschränkungen für Einleitungen in Gewässer)	5	1
	4.4	Sonstiges	5	2
	4.5	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	20	3
5 Schifffahrt	5.1	Beeinträchtigungen für die Schifffahrt auf Fließgewässern (Verringerung der Lasten, erhöhter Bedarf an Zwischenlagerung von Gütern in Häfen)	96	24
	5.2	Gewässer für die Navigation geschlossen	24	0
	5.3	Sonstiges	19	4
	5.4	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	22	3
6 Tourismus & Erholung	6.1	Reduzierte Anzahl von Kurzaufenthaltstouristen	0	0
	6.2	Reduzierte Anzahl von Langzeittouristen	0	0
	6.3	Sport- / Erholungseinrichtungen von einem Mangel an Wasser betroffen	2	1
	6.4	Beeinträchtigte Nutzung / Navigierbarkeit von Oberflächengewässern für Wassersportaktivitäten (einschließlich Verbote)	8	2
	6.5	Sonstiges	18	5
	6.6	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	8	4
7 Öffentliche Wasser- versorgung	7.1	Lokale Engpässe/Probleme in der Wasserversorgung (Austrocknung von Quellen / Brunnen, Stauseen, Bächen)	100	60
	7.2	Regionale / Überregionale Engpässe/Probleme in der Wasserversorgung (Austrocknung von Quellen / Brunnen, Stauseen, Bächen)	19	1
	7.3	Verbot der privaten sowie öffentlichen Wassernutzung (z. B. Autowaschen, Bewässerung des Rasens / Gartens, Bewässerung von Sportfeldern, Befüllung von Schwimmbädern)	16	7

Auswirkungs- kategorie	Auswirkungs- -typ	Beschreibung	Anzahl Einträge gesamt	Anzahl Einträge BW
8 Wasser- qualität	7.4	Einschränkungen der Wasserversorgung von Haushalten in ländlichen Gebieten (Verringerte Wasserversorgung, Sicherstellung der Wasserversorgung durch Notfallmaßnahmen)	9	0
	7.5	Einschränkungen der Wasserversorgung von Haushalten in städtischen Gebieten (Verringerte Wasserversorgung, Sicherstellung der Wasserversorgung durch Notfallmaßnahmen)	8	2
	7.6	Sonstiges	11	3
	7.7	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	9	5
	8.1	Erhöhte Temperatur in Oberflächengewässern (nahe bzw. überschreiten kritischer Grenzwerte)	89	20
	8.2	(Vorübergehende) Wasserqualitätsverschlechterung / Probleme der Oberflächengewässer (natürlich & künstlich); z.B. signifikante Veränderung der physiochemischen Indikatoren, erhöhte Konzentrationen von Schadstoffen, verminderte Sauerstoffsättigungswerte, Eutrophierung, Algenblüte)	65	15
	8.3	(Vorübergehende) Beeinträchtigung des ökologischen Zustands von Oberflächengewässern (nach EU-Wasserrahmenrichtlinie)	35	6
	8.4	(Vorübergehende) Beeinträchtigung des chemischen Zustands von Oberflächengewässern (nach EU-Wasserrahmenrichtlinie)	2	1
	8.5	Erhöhter Salzgehalt von Oberflächengewässern (Salzwasserintrusion und Auswirkungen auf Mündungszonen)	1	1
	8.6	Probleme mit der Grundwasserqualität	0	0
	8.7	Erhöhter Salzgehalt des Grundwassers	0	0
	8.8	Probleme mit der Trinkwasserqualität (z. B. erhöhte Aufbereitungsaufwand, Verletzung von festgelegten Richtwerten)	3	1
	8.9	Probleme mit der Badegewässerqualität	7	0
	8.10	Probleme mit der Bewässerungswasserqualität	89	20
	8.11	Probleme mit der Wasserqualität für die Verwendung in industriellen Produktionsprozessen	2	0
	8.12	Sonstiges	3	3
	8.13	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	2	1

Auswirkungs- kategorie	Auswirkungs- -typ	Beschreibung	Anzahl Einträge gesamt	Anzahl Einträge BW
9 Aquatische Ökosysteme	9.1	Erhöhte Sterblichkeit aquatischer Spezies (Wenn möglich bitte Spezies spezifizieren)	52	20
	9.2	Erhöhte Artenkonzentration in der Nähe von Gewässern (Wenn möglich bitte Spezies spezifizieren)	1	1
	9.3	Migration und Konzentration (Verlust von Wildtieren in einigen Gebieten und zu viele in anderen)	0	0
	9.4	Erhöhte Populationen von invasiven (exotischen) aquatischen Arten	2	0
	9.5	Beobachtung von nachteiligen Auswirkungen auf Populationen von gefährdeten/ geschützten Arten der Uferzonen	4	3
	9.6	Beobachtung von nachteiligen Auswirkungen auf Populationen von gefährdeten/ geschützten Arten von Feuchtgebieten/ Sümpfen	0	0
	9.7	Verlust der Biodiversität (Abnahme der Artenvielfalt)	1	1
	9.8	Gefahr oder tatsächliche Verletzung der Mindestrestwassermenge / ökologischen Restwassermenge	27	8
	9.9	Austrocknen von flachen Wasserflächen, Unkrautwachstum oder Algenblüte	27	5
	9.10	Austrocknen von perennierenden Fließgewässerabschnitten	52	20
	9.11	Austrocknen von Seen und Stauseen (die eine Lebensraumfunktion haben)	9	3
	9.12	(Mittel- / langfristige) Verschlechterung/ Verfall von Feuchtgebiete / Sümpfen	0	0
	9.13	Irreversible Verschlechterung / Verlust von Feuchtgebieten/ Sümpfen	0	0
	9.14	Sonstiges	25	4
	9.15	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	1	0
10 Terres- trische Ökosysteme	10.1	Erhöhte Artenmortalität (Wenn möglich bitte Spezies spezifizieren)	3	0
	10.2	Wandel der Artenbiologie / Ökologie	0	0
	10.3	Verlust der Biodiversität (Abnahme der Artenvielfalt)	0	0
	10.4	Verschiebung der Artenzusammensetzung	0	0
	10.5	Reduziertes Pflanzenwachstum	3	2
	10.6	(Mittel- / langfristige) Verschlechterung der Lebensräume	0	0
	10.7	Irreversible Verschlechterung / Verlust von Lebensräumen	0	0
	10.8	Mangel an Futter / Wasser für terrestrische Wildtiere	5	1
	10.9	Erhöhte Befall durch Schädlinge und Krankheiten	3	1

Auswirkungs- kategorie	Auswirkungs- -typ	Beschreibung	Anzahl Einträge gesamt	Anzahl Einträge BW
	10.10	Erhöhter Kontakt von Wildtieren unter Stress (Knappheit / Mangel an Futter und Wasser) mit Menschen / menschlichen Siedlungen	3	0
	10.11	Sonstiges	5	2
	10.12	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	0	0
	11.1	Dürre-bedingte Erosionsprozesse (Verlust der Bodenfruchtbarkeit)	0	0
	11.2	Strukturelle Schäden an Privateigentum durch Bodenabsenkung / Schrumpfung	0	0
11 Bodensystem	11.3	Strukturelle Schäden an Infrastrukturen durch Bodenabsenkung / Schrumpfung	0	0
	11.4	Sonstiges	1	0
	11.5	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	0	0
12 Wald- brände	12.1	Zunahme verbrannter Flächen	15	2
	12.2	Anstieg der Anzahl von Flächenbränden	25	1
	12.3	Zunahme der Intensität von Flächenbränden	5	1
	12.4	-	0	0
	12.5	Sonstiges	9	0
	12.6	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	1	0
13 Luft- qualität	13.1	Luftverschmutzung/ Luftqualitätsprobleme (Staubstürme, Waldbrände, Ersatz der Wasserkraft Produktion durch fossile Energie)	3	0
	13.2	Sonstiges	1	0
	13.3	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	0	0
14 Gesund- heit & Sicherheit	14.1	Hitze-Stress-Probleme (wenn Dürre mit einer Hitzewelle verbunden ist)	5	0
	14.2	Erhöhte Atemwegserkrankungen (Hitzewelle und Luftqualität)	1	0
	14.3	Höhere Sterblichkeitsraten bei Hitzewellen	12	3
	14.4	Dürre induzierte Probleme der öffentlichen Sicherheit (z. B. erhöhtes Risiko für strukturelle Schäden)	5	1
	14.5	Sonstiges	10	4
	14.6	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	3	0
15 Konflikte	15.1	Wasserverteilungskonflikte - international	0	0
	15.2	Regionale / lokale Konflikte zwischen Wassernutzern	5	2
	15.3	Sonstiges	0	0
	15.4	Steigende Kosten/ ökonomische Verluste	0	0

Tabelle 8: Übersicht der Evaluation des Fragebogens, geordnet nach dem induktiv entwickelten Kategoriensystems: (a) Beurteilung der „Vorhersage“, (b) Vergleich vorhergesagte Dürreauswirkung und dokumentierte Dürreauswirkung, (c) Kritik, (d) Lob, (e) Klimawandel/Trend, (f) Verbesserungsvorschläge, (g) Verständnisfrage, (h) Zeitlicher Verlauf von Index und Auswirkungen erkannt/verstanden, (i) Beurteilung Dürrevorhersage.

a) Beurteilung der „Vorhersage“

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
IV	b	P	Dass bis auf die Jahre 2003 und 2015 oft Dürreauswirkungen vorausgesagt wurde, die dann jedoch nicht eingetreten sind.	keine gute Vorhersage
V	a	E	Die Treffsicherheit des gewählten Schwellenwertes scheint ganz gut zu sein, wird aber durch die Auswirkungen ohne Monatsangabe relativiert.	keine perfekte, aber passable Vorhersage
V	a	G	Schwellenwert ermöglicht keine perfekt, aber passable (optimale) Vorhersage;	keine perfekte, aber passable Vorhersage
V	a	A	Vorhersage trifft v.a. auf lange Ereignisse (2003 und 2015) zu und deckt sich mit Vorhersagen. Kleinere/kürzere Ereignisse unterscheiden sich bzgl. Vorhersage und Auswirkungen.	Vorhersage bei langen Ereignissen gut, bei kürzeren nicht gut

b) Vergleich vorhergesagte Dürreauswirkung und dokumentierte Dürreauswirkung

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
VI	a	C	Maß der Übereinstimmung zwischen Vorhersage und tatsächlich eingetretenen Dürreauswirkungen	Maß der Übereinstimmung
VI	a	E	Die vorhergesagten Dürreauswirkungen stimmen nur bedingt mit den dokumentierten überein.	Übereinstimmung bedingt
VI	a	G	Wie vorne Haupt-Events werden getroffen, oft Vorhersage Warnung ohne Impacts	Übereinstimmung bedingt
VI	a	P	Dass vorhergesagte Dürreauswirkungen und dokumentierte Auswirkungen sich nicht immer überschneiden und somit auch Dürreauswirkungen eingetreten sind, in denen es trotz Vorhersage zu keinen Auswirkungen kam.	Übereinstimmung bedingt
VI	a	B	Vergleich vorhergesagte Dürreauswirkung und dokumentierte Dürreauswirkung	Vergleich Vorhersage vs. Wirklichkeit
VI	b	C	Wie viele Wochen/Monate vor Eintreten der tatsächlichen Dürreauswirkungen wurden die Vorhersagen getroffen?	Vergleich Vorhersage vs. Wirklichkeit
VI	b	E	Der optische Abgleich vorhergesagter und dokumentierter Dürreauswirkungen ...	Vergleich Vorhersage vs. Wirklichkeit

c) Kritik (komplex, nicht intuitiv)

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
V	b	C	Wenn man die Abb. 4a und 4b nicht verstanden hat, bekommt man auch Schwierigkeiten bei Abb. 5	Folgeverständnisfehler
V	b	F	Die Definition des Schwellenwertes ist Voraussetzung zum Verstehen, wodurch die Grafik nicht schnell verständlich ist.; Siehe Abb.3; Diese Häufigkeitsverteilung am Rand macht das ganze unübersichtlich	Folgeverständnisfehler
III	b	F	Sehr komplexe Grafik insbesondere die zusätzliche Häufigkeitsverteilung macht sie unüberschaubar.	Häufigkeitsverteilung irritiert
III	b	B	sehr komplex, schwer zu filtern was relevant ist	komplex
II	b	P	Die Angabe feuchter Monat verwirren, weil die Grafik ja auf den Jahreszeitraum gesehen wird und man den einzelnen Monat nicht gut erkennt.	Monate nicht ablesbar
IV	b	A	Abbildung nicht sehr intuitiv. Die Botschaft würde ich hier anders rüberbringen... Wie kann ich grade auch nicht sagen.	nicht intuitiv
VI	b	A	Finde Abb. 5 besser, da intuitiver.	nicht intuitiv
II	a	D	Verstehe Aussage der Grafik nicht wirklich	schwer verständlich
II	b	P	Ich verstehe die Angabe der Auswirkungen nicht wirklich.	schwer verständlich
IV	a	C	?	schwer verständlich
IV	a	P	Verstehe ich leider nicht.	schwer verständlich
IV	b	B	schwer verständlich	schwer verständlich
IV	b	C	beispielsweise Landwirte, die wenig statistik-affin sind, werden mit den beiden Grafiken nicht viel anfangen können - zu akademisch!	schwer verständlich
IV	b	E	a) ist ohne Erläuterung kaum verständlich b) ist ohne Erläuterung nicht verständlich	schwer verständlich
IV	b	G	Hätte man bei b) Range der Indikatoren (Kurve) nicht irgendwie deutlicher machen können?! jeder mögliche Schwellenwert wurde getestet > Verteilung; Link zwischen beiden Abb. deutlicher machen!; -0.34 wo ist das links?; Abbildung ist zentral: Bindeglied zwischen vorderem und hinterem Teil. Alle anderen Abb. sind so gut verständlich, die hier ist still too scientific.	schwer verständlich
V	a	C	Wo ist der Unterschied zu Abb. 3?	schwer verständlich
V	a	F	Keine Hauptaussage abzulesen	schwer verständlich
VI	a	A	Ähnlich wie Abb. 5, jetzt aber im Jahresverlauf nur Baden-Württemberg.	schwer verständlich

d) Lob (verstanden)

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
I	a	A	Abb. zeigt Auswirkungen der Dürren 2003 und 2015 in den Bundesländern.	Darstellung Dürreauswirkungen
V	a	B	Dürrezeit und Dürreauswirkung	Darstellung von Index und Auswirkung über die Zeit erkannt
VI	a	F	Gute Darstellung von zeitlicher Dynamik von Dokumentationen, Auftreten und Vorhersage	Darstellung von Index und Auswirkung über die Zeit erkannt
III	a	A	Dürre ist kein Sommerphänomen!	Dürre nicht Jahreszeitenabhängig
III	a	C	Wenn man sich reindenkt, ist die Grafik hochinformativ.	informativ
III	b	A	Von der Aussage her m.E. besser als Abb. 2	intuitiv
VI	b	E	...fällt bei dieser Darstellung leichter.	intuitiv
VI		B	Abbildung 5 und 6 erscheinen familiär durch Abb. 2 und 3, beeinflusst Gefühl von intuitivem Verständnis	intuitiv, da Wdh.
I	b	G	Blau-Rot Skala ist schön - ist mir als Hydrologin vertraut; Eine andere Möglichkeit wäre eine Ampel-Codierung - so wie in DMEWS (Drought Monitoring and Early Warning Systeme) also Grün-Gelborange-Rot mit diskreten Klassen UND mit Auflösung im Bereich Index -0.5 bis -2 (evtl. näher bei Frage "funktionieren DMEWS" reflektieren Dürreklassifikationen-Impacts abhängig von Frage-/Zielstellung)	Lob Farbskala
III	b	G	auch schön; hier würde ich bei rot-blau bleiben, evtl. oben zusätzlich zu Monaten Frühjahr/Sommer/...	Lob Farbskala
I	a	A	U.a. 2015 besteht Nord-Süd-Gefälle.	Regionale Unterschiede
I	a	G	Bayern und Baden-Württemberg waren in beiden Jahren innerhalb Deutschlands am stärksten betroffen	Regionale Unterschiede

e) Klimawandel/Trend

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
III	a	E	Die Abbildung widerspricht Prognosen, dass die Sommer trockener und die Winter feuchter werden (in BW).	Widerspruch zu Klimaszenarien
III	a	D	Tendenziell Zunahme der Dürre	Zunahme von Trockenheit
VI	a	D	Dürreindex nimmt über die Jahre zu	Zunahme von Trockenheit

f) Verbesserungsvorschläge

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
II	b	B	Dürreauswirkung unscheinbar am oberen Rand.	Dürreauswirkung hervorheben
III	b	E	Die Abbildung der dokumentierten Dürreauswirkungen ohne Monatsangabe bringt keinen Erkenntnisgewinn, sondern irritiert eher, besser: weglassen	Dürreauswirkungen ohne Monatsangabe verwirren
IV	b	F	Kein großer Unterschied in 4a, nicht zwei Grafiken zusammen betrachten lassen; a) ist klarer wie b)	Grafiken einzeln betrachten
II	b	E	Ich würde spontan die umgekehrte Reihenfolge beim Dürreindex erwarten: hoher Index = viel Dürre. Den Negativwert finde ich verwirrend.	Skala drehen
II	b	G	Schön auch hier wäre Anwendung der Ampel-Alarmstufen-Farbklassen möglich; wo? Baden-Württemberg?	Vorschlag Index zu klassifizieren
I	b	A	Guter Überblick. Bezug auf administrative Einheiten methodologisch sicherlich sinnvoll zu begründen. Interpolation würde evtl. bessere/sinnvollere Ergebnisse liefern (in Abhängigkeit von Datengrundlage).	Vorschlag: Interpolation anstatt Bundeslandebene

g) Verständnisfrage

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
V	a	E	Interessanterweise ist die Trockenheit im Juli (auch August/September) am geringsten. Der Grund sollte näher untersucht werden.	Verständnisfrage Dürreauswirkung
I	b	E	Was heißt „dokumentierte Dürreauswirkung“?	Verständnisfrage Dürreauswirkung
I	b	E	Welche Kennzahl wird dem Dürreindex zugrunde gelegt?	Verständnisfrage Index
I	b	F	Es fehlt die Definition des Dürreindex: Welcher wird verwendet? Sagen, dass es in monatlicher Auflösung berechnet wird	Verständnisfrage Index
II	b	F	Definition des Dürreindex, siehe vorne.	Verständnisfrage Index
Zu-satz		A	Wäre interessant, wie der Index berechnet wird (SPI, PDSI,...). Treten Unterschiede auf? Weitere Aufschlüsselung der Auswirkungen in Bezug auf Indizes auch spannend. Stichwort unterschiedliche Dürredefinitionen (klimatisch, hydrologisch, landwirtschaftliche Dürre).	Verständnisfrage Index
III	b	C	Warum gibt es einen „Dürrepunkt“ auch im feuchten Juli 2007?	Verständnisfrage Zusammenhang

h) Zeitlicher Verlauf von Index und Auswirkungen erkannt/verstanden

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
II	a	A	Jahresverlauf des Index zeigt die jahreszeitliche Schwankungen. Besondere „Dürre-Jahre/Monate“ sowie Feuchtphasen werden gezeigt	Darstellung von Index erkannt
II	a	B	Dürreentwicklung über gegebenen Zeitraum und Auswirkung (Zeitraum)	Darstellung von Index und Auswirkung über die Zeit erkannt
II	a	F	Darstellung des zeitlichen Zusammenhanges zwischen Dürreeintritt und Dokumentation	Darstellung von Index und Auswirkung über die Zeit erkannt
III	a	A	Aufschlüsselung feuchte/trockene Monate mit Höhe dokumentierter Auswirkungen/Monat und Gesamtjahr ohne Monate. V.a. 2003 und 2015 treten wieder besonders hervor. Andere Jahre mit Abstrichen auch.	Darstellung von Index und Auswirkung über die Zeit erkannt
III	a	E	Sehr spannende Darstellung! Weil man a) den Verlauf der Dürrephasen pro Jahr und b) die Dürre pro Monat über den Zeitraum sehen kann.	Darstellung von Index und Auswirkung über die Zeit erkannt
I	a	B	Zwei Aussagen: Höhe der Dürre und Auswirkungen	Dürreauswirkungen und Dürreindex werden dargestellt
I	a	C	Ich bekomme einen Überblick, wo die Dürre am kräftigsten zugeschlagen hat.	Dürreauswirkungen und Dürreindex werden dargestellt
II	a	C	guter Überblick über den Zeitverlauf und die Ausprägung der Dürre	Entwicklung der Dürre über die Zeit
III	a	G	Auswirkungen wenn längere Zeit Entwicklung zu rot (2003, 2015)	Länge des Dürreereignisses wichtig
I	a	D	August 2015 ist feuchter als August 2003	Unterschiedliche Ausprägung von Dürre in den Jahren
III	a	C	Die Dürren fallen von Jahr zu Jahr (erwartungsgemäß) völlig unterschiedlich aus.	Unterschiedliche Ausprägung von Dürre in den Jahren
I	a	A	Sowohl Index aus auch dokumentierte Auswirkungen sind 2003 höher als 2015.	Unterschiedliche Ausprägung von Index und Auswirkungen in den Jahren
III	a	F	Darstellung des zeitlichen Dynamik der Dürre und der Dokumentation in einer Grafik	Unterschiedliche Ausprägung von Index und Auswirkungen in den Jahren
I	a	P	Die Hauptaussage ist, dass die Anzahl der Dürreauswirkungen für die Bundesländer für den Monat August in den Jahren 2003 und 2015 verglichen werden sollen. Dabei ist auch noch der Dürreindex für die jeweiligen Bundesländer abgebildet.	Vergleich von Index und Auswirkungen in Deutschland

i) Beurteilung Dürrevorhersage

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
II	a	P	Dass die Jahre 2003, 2006, 2007, 2011, 2012 und 2016 besonders trocken waren und die Dürreauswirkungen in Monaten mit weniger Trockenheit ausgeprägter zu sein scheinen.	Zeitlicher Verlauf Index erkannt
IV	a	A	Da blaue Kurve auch an die extremen negativen Indexwerte der roten Kurve rankommt scheint der Indexwert alleine nicht die Auswirkungen triggern zu können (evtl. weil nicht aufeinanderfolgende extreme Werte dargestellt sind). Das scheint den geringen Schwellenwert zu bestimmen.	andere Einflussfaktoren
I	a	E	Es gibt keinen direkten Zusammenhang zwischen der Höhe des Dürreindex und der Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen	kein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe des Dürreindex und der Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen
IV	a	F	Verteilung von Indexwerten	Verteilung von Indexwerten in Monaten mit/ohne Dürreauswirkungen erkannt
IV	a	G	a) Index-Verteilung für Impacts vs. no Impacts unterscheidet sich, macht Sinn, no Impacts dominiert;	Verteilung von Indexwerten in Monaten mit/ohne Dürreauswirkungen erkannt
V	a	G	häufig Vorhersage Impacts-no Impacts > besser als umgekehrt; alles dominiert von größten/schlimmsten Ereignissen > ok so??	Verteilung von Indexwerten in Monaten mit/ohne Dürreauswirkungen erkannt
II	a	E	Die Stärke des (Negativ-)Auschlags steht nicht in direktem Zusammenhang mit der Dauer der Dürreauswirkungen bzw. der Zahl der Auswirkungen (ggf. treten Auswirkungen mit zeitlicher Verzögerung auf?)	verzögertes Eintreten von Auswirkungen
IV	a	E	a) in trockeneren Monaten wurden eher Dürreauswirkungen dokumentiert als in feuchteren Monaten (über die Zeitspanne 2000-2015) b) der optimale Schwellenwert liegt bei -0.34	Zusammenhang nicht eindeutig
II	a	A	Auswirkungen treten mit Verzögerung auf und Ausmaß der Auswirkungen und Unterschreitung des Schwellenwertes stimmen nicht ganz überein	Zusammenhang nicht eindeutig
II	b	A	Abb. zeigt was sie zeigen soll. Wie die Unterschiede zwischen den Auswirkungen in Bezug auf den Index zustande kommt bleibt offen. Das wäre aber auch Gegenstand früherer Analysen.	Zusammenhang nicht eindeutig
III	a	E	Hier scheint eher ein Zusammenhang zwischen Index und Auswirkungen sichtbar zu werden, was durch die doch große Zahl an Meldungen ohne Monatsangabe in Frage gestellt wird.	Zusammenhang nicht eindeutig

zu i) Beurteilung Dürrevorhersage

Abb.	Frage	T.	Zitate	Generalisierung
			Dass die Jahre 2015 und 2003 besonders trocken waren und auch die höchste Anzahl an Auswirkungen hatten, wobei es auch 2011 trotz großer Trockenheit nicht zu großen Auswirkungen gekommen ist.	Zusammenhang nicht eindeutig
III	a	P		
IV	a	A	Dokumentierte Auswirkungen in Monaten mit negativem Index.	Zusammenhang nicht eindeutig
I	a	G	Index und Auswirkungen sind korreliert, aber nicht linear	Zusammenhang vorhanden
			Viele bzw. anhaltende Auswirkungen sind primär Resultat von Unterschreitung "eines" Thresholds und Dauer	Zusammenhang vorhanden
II	a	G		
III	a	G	Wie vorher Index und Auswirkungen sind korreliert wie Abb.2	Zusammenhang vorhanden
			Zusammenhang zwischen dokumentierten Ereignissen und Stärke der Dürre	Zusammenhang zwischen der Höhe des Dürreindex und der Anzahl der dokumentierten Dürreauswirkungen
I	a	F		

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde.

Freiburg, 30.10.2017

Unterschrift