

Stadtklima Bielefeld

—

Klimareport 2016 und 2017

**Trockenperioden und Starkregen in Zeiten
des Klimawandels**

**Dr. Rudolf Böttner
Dr. Reinhard Fischer
Dipl.-Met. Detlev Kuhr**

Bielefeld 2000plus – Forschungsprojekte zur Region

Herausgegeben von: Prof. Dr. Reinhold Decker
(Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften)
Florian Poppen, M.A.
(Universität Bielefeld, Bielefeld 2000plus)

**Veröffentlichung Nr. 61
Juni 2018**

Stadtklima Bielefeld

—

Klimareport 2016 und 2017

**Trockenperioden und Starkregen in Zeiten
des Klimawandels**

**Dr. Rudolf Böttner
Dr. Reinhard Fischer
Dipl.-Met. Detlev Kuhr**

Bielefeld 2000plus – Forschungsprojekte zur Region

Herausgegeben von: Prof. Dr. Reinhold Decker
(*Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften*)
Florian Poppen, M.A.
(*Universität Bielefeld, Bielefeld 2000plus*)

**Veröffentlichung Nr. 61
Juni 2018**

Kontakt: Bielefeld 2000plus
Geschäftsstelle
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Universität Bielefeld
Universitätsstr. 25
33615 Bielefeld
Tel.: 0521 106 - 48 74
Fax: 0521 106 - 154874
E-Mail: bi2000plus@uni-bielefeld.de
www.uni-bielefeld.de/bi2000plus

VORWORT

In dieser Reihe werden in zwangloser Folge Projektberichte publiziert, die entweder in einem engen regionalen Bezug zu Bielefeld stehen oder aber regionenübergreifende zukunftsweisende Themen ansprechen.

Diese Veröffentlichungen sind Teil der langfristig angelegten Initiative „Bielefeld 2000plus – Forschungsprojekte zur Region“, die sich mit den Zukunftsperspektiven der Region beschäftigt und gemeinsam von der Universität Bielefeld und von der Stadt Bielefeld getragen wird. Seit Herbst 1997 sind hierfür mehrere Arbeitskreise gebildet worden, die sich im Themenbereich Bildung, Gesundheit, Kultur, Medien, Stadtentwicklung, Umwelt und Wirtschaft bewegen. In diesen Arbeitskreisen bearbeiten VertreterInnen der Wissenschaft, BürgerInnen der Stadt und Personen unterschiedlichster Institutionen aus Wirtschaft, Umwelt, Kultur, Stadtentwicklung und Bildung Fragestellungen, die die Zukunftsfähigkeit der Region betreffen. Ein weiteres Ziel von Bielefeld 2000plus ist es, den Standortvorteil „Hochschule“ für Bielefeld und die Region in noch größerem Umfang zu nutzen.

Die Veröffentlichungen zeigen die Ergebnisse der Projekte und dienen des Weiteren als Impuls für weitere Forschungen, Projekte und Diskussionen.

Wir danken allen, die die Initiative unterstützt und die Herausgabe dieser Veröffentlichungsreihe finanziell gefördert haben.

Bielefeld, Juni 2018

Prof. Dr. R. Decker (Universität Bielefeld)

F. Poppen (Bielefeld 2000plus)

The background image shows a young green plant with several leaves growing out of a patch of dry, cracked, and sandy soil. The sky above is bright and filled with large, white, fluffy clouds, suggesting a sunny day. The overall scene conveys a message of resilience and growth despite harsh environmental conditions.

Stadtklima Bielefeld

Klimareport für 2016 und 2017

**Trockenperioden und Starkregen
in Zeiten des Klimawandels**

**Gesellschaft zur Förderung des Forschungstransfers und Technologietransfers
an der Universität Bielefeld**

Inhaltsverzeichnis

A.	Das Klima in der Region Bielefeld und in Deutschland in den Jahren 2016 und 2017	1
B.	Detaillierte tabellarische meteorologische Jahresübersichten	3
	<i>B. 1 Region Bielefeld</i>	<i>3</i>
	<i>B. 2 Die Region Bielefeld im Vergleich mit deutschlandweiten Werten</i>	<i>7</i>
C.	Trenduntersuchung der gleitenden 10-Jahres-Mittelwerte des Niederschlags in der Region im Vergleich zu Deutschland	10
	<i>C.1 Jahreswerte</i>	<i>10</i>
	<i>C.2 Jahreszeiten</i>	<i>11</i>
D.	Untersuchung von lokalen Effekten des Klimawandels bei Niederschlagstrends und Starkregen	14
	<i>D.1 Aktuelle Niederschlagstrends</i>	<i>15</i>
	<i>D.2 Starkregenverteilungen</i>	<i>22</i>
E.	Auswertung von älteren langjährigen Niederschlagsmessreihen	28
	<i>E.1 Auswertungen einer Messperiode 1891 – 1930</i>	<i>28</i>
	<i>E.2 Bielefelder Messprogramm (Periode 1971-1980)für das Stadtgebiet</i>	<i>29</i>
F.	Trenduntersuchung der Andauer von Trockentagen und –perioden in der Region	32
	<i>F.1 Großwetterlagen und Klimawandel</i>	<i>32</i>
	<i>F.2 Numerische Auswertungen</i>	<i>33</i>
G.	Kritische Diskussion der Niederschlagsmodellierung durch KOSTRA am Beispiel der Standorte Bad Salzuflen und Bielefeld-Sudbrack	40
	<i>G.1 Station Bad Salzuflen</i>	<i>40</i>
	<i>G.2 Station Bielefeld-Sudbrack</i>	<i>45</i>
H.	Literaturangaben	47

Bearbeitet von:

Dipl.Met.D.Kuhr

Dr.R.Böttner

Dr.R.Fischer

2018

A. Das Klima in der Region Bielefeld und in Deutschland in den Jahren 2016 und 2017

Der Klimareport für 2016 und 2017 setzt die Reihe der Veröffentlichungen zum Stadtklima von Bielefeld fort, indem neben den regelmäßigen statistischen Auswertungen der Klimaparameter des vergangenen Jahres als neuer Schwerpunkt untersucht wird, ob zeitliche oder regional unterscheidbare Besonderheiten der Niederschlagsverteilung festzustellen sind.

Starkregen und Trockenphasen scheinen aufgrund des sich ändernden Klimas signifikant zuzunehmen. Bei diesem hochkomplexen Problemfeld gilt es zu dokumentieren, wie aus den langjährigen Datenreihen Trendaussagen zu gewinnen sind, die auf einen Klimawandel hinweisen und sich auch lokale Überprägungen entdecken lassen.

Neben der nachgewiesenen Temperaturerhöhung ist auch belegbar, dass die Niederschlagsentwicklung in den letzten Jahren defizitär ist. Obwohl Trockenheiten Alltagsphänomene sind, gibt es dazu kaum einheitliche Definitionen und Auswertungen. Daher soll in einem neuen Ansatz versucht werden, sowohl die Anzahl als auch die Dauer von Trockenperioden zu kategorisieren, um mögliche Zusammenhänge mit sich verändernden Wetterlagenhäufigkeiten statistisch nachweisen zu können.

Weniger deutliche Ergebnisse liegen zum Phänomen Starkregen vor. Wenn auch die Schadenereignisse signifikant zunehmen, ist der Beleg für eine ursächlich meteorologische Veranlassung dazu schwer zu erhalten.

Insbesondere die kleinräumig stark differierenden Niederschläge erschweren flächenhaft gültige Aussagen, die aber von diversen Modellierungsansätzen für zukünftige Ereignisse erwartet werden. Diese noch mangelhafte Passung von Messreihen und Modellergebnissen wird an regionalen Beispielen untersucht.

Der folgende, kurze tabellarische Überblick beschreibt den Witterungsverlauf der Jahre 2016 und 2017. Gerade in dieser Gegenüberstellung der beiden Jahre wird die große Streuung möglicher Messwerte deutlich – hier beim Niederschlag und besonders aber bei der Sonnenscheindauer.

Messgröße	Region Bielefeld			Deutschland		
	Wert 2016	Mittelwert 1961-1990	Abweichung	Wert 2016	Mittelwert 1961-1990	Abweichung
Temperatur	10,3° C	9,0° C	+ 1,3° C	9,6° C	8,2° C	+ 1,4° C
Niederschlag	654 mm	757 mm	-103 mm	736 mm	789 mm	-53 mm
Sonnenschein	1574 Stunden	1521 Stunden	+53 Stunden	1585 Stunden	1528 Stunden	+41 Stunden

Tab. A-1: Jahresmittelwerte für Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein im Jahr 2016 regionale Werte im Vergleich mit Deutschland und den langjährigen Mittelwerten

Messgröße	Region Bielefeld			Deutschland		
	Wert 2017	Mittelwert 1961-1990	Abweichung	Wert 2017	Mittelwert 1961-1990	Abweichung
Temperatur	10,4° C	9,0° C	+ 1,4° C	9,6° C	8,2° C	+ 1,4° C
Niederschlag	858 mm	757 mm	+101 mm	850 mm	789 mm	+61 mm
Sonnenschein	1365 Stunden	1521 Stunden	-156 Stunden	1595 Stunden	1528 Stunden	+67 Stunden

Tab.A-2: Jahresmittelwerte für Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein im Jahr 2017 regionale Werte im Vergleich mit Deutschland und den langjährigen Mittelwerten

Fazit:

- [A] 2016 war erneut zu warm – gleichwertig in der Region wie in Deutschland
- [B] 2016 war in der Region mit -14 % deutlich zu trocken. In Deutschland war das Defizit mit - 7 % nur halb so hoch.
- [C] 2016 war sowohl in der Region als auch in Deutschland sonnenscheinreicher als normal

- [A] 2017 war erneut zu warm – gleichwertig in der Region wie in Deutschland
- [B] 2017 war in der Region mit +13 % deutlich zu nass. In Deutschland war der Überschuss mit 8 % nur halb so hoch.
- [C] 2017 war in der Region außerordentlich sonnenscheinarm. Hingegen gab es in Deutschland einen Überschuss an Sonnenschein

B. Detaillierte tabellarische meteorologische Jahresübersichten

B.1 Region Bielefeld

Temperatur

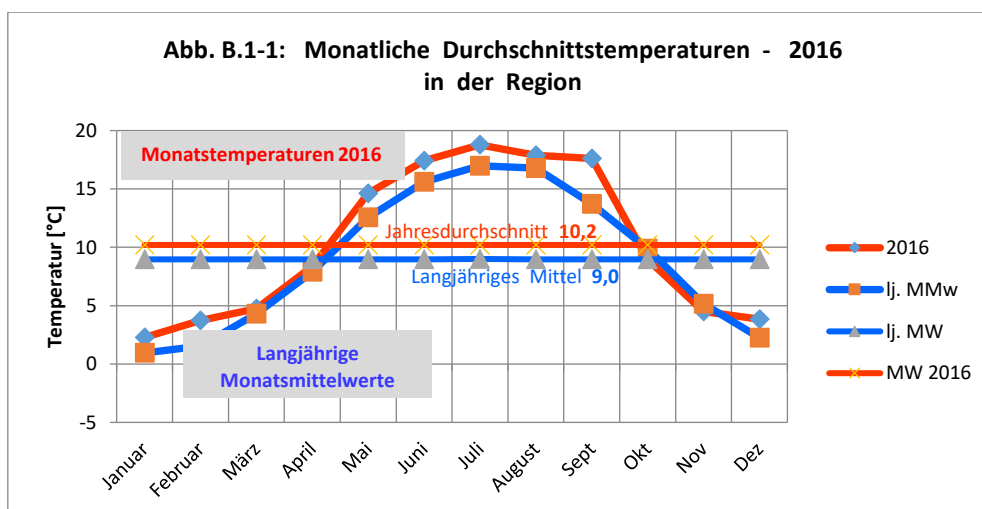
Durch die Jahresmitteltemperaturen von 10,3°C und 10,4°C setzt sich der Trend einer zunehmenden Erwärmung auch in der Region fort.

Wärmster Monat war 2016 der September und 2017 der März mit jeweils +3,9 K Abweichung von den entsprechenden langjährigen Monatsmittelwerten.

	BI-REG-Werte 2016				BI-REG-Werte 2017		
	Temperatur [°C]				Temperatur [°C]		
	BI-MW	2016	Abw. [K]		BI-MW	2017	Abw. [K]
Januar	1,0	2,3	1,3	Januar	1,0	0,0	-1,0
Februar	1,5	3,8	2,2	Februar	1,5	3,9	2,4
März	4,3	4,8	0,5	März	4,3	8,2	3,9
April	7,9	8,4	0,5	April	7,9	7,7	-0,2
Mai	12,5	14,7	2,1	Mai	12,5	14,9	2,4
Juni	15,6	17,4	1,8	Juni	15,6	17,9	2,3
Juli	17,0	18,8	1,8	Juli	17,0	18,1	1,2
August	16,8	17,9	1,1	August	16,8	17,6	0,8
Sept	13,7	17,6	3,9	Sept	13,7	13,5	-0,2
Okt	9,9	9,0	-0,9	Okt	9,9	12,3	2,4
Nov	5,2	4,5	-0,7	Nov	5,2	6,3	1,2
Dez	2,3	3,9	1,6	Dez	2,3	4,2	1,9
Jahr	9,0	10,3	1,3	Jahr	9,0	10,4	1,4

Tab. B.1-1: Monatsmittelwerte und Jahreswert der Temperatur von 2016 und 2017 – Region Bielefeld -

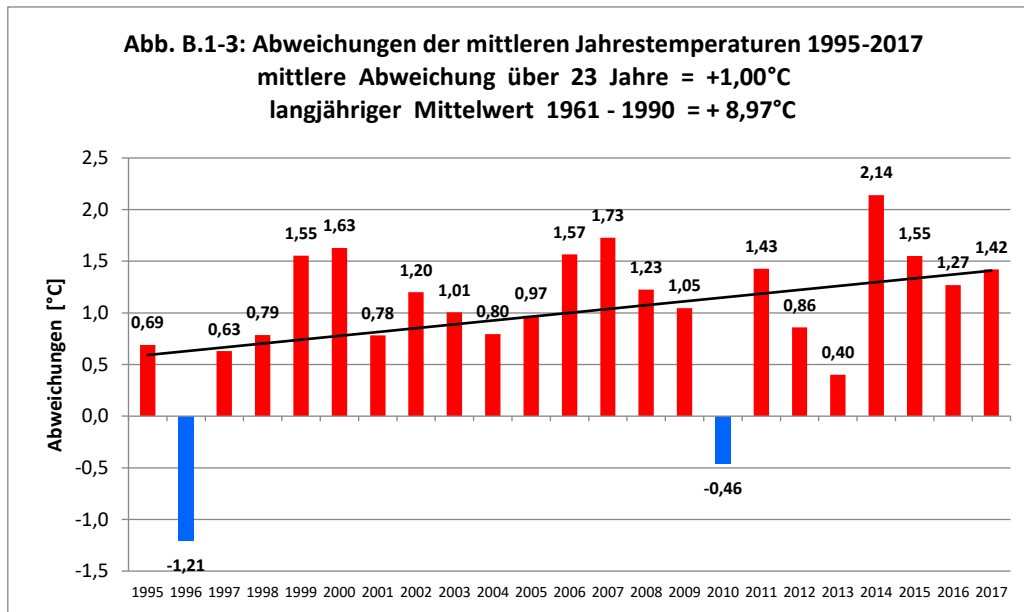
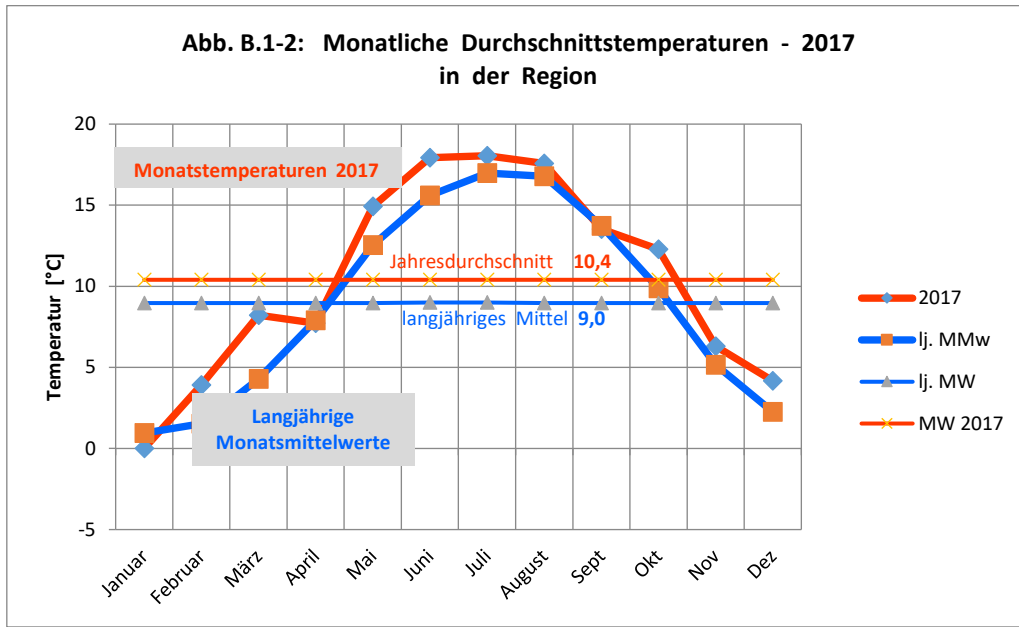
Zu kalte Monate waren 2016 hintereinander die Herbstmonate Oktober und November, 2017 der Januar, der April und der September. Bis auf den Januar 2017 liegen alle negativ temperierten Monate beider Jahre nur im Bereich zwischen -0,1 und -0,9 K.



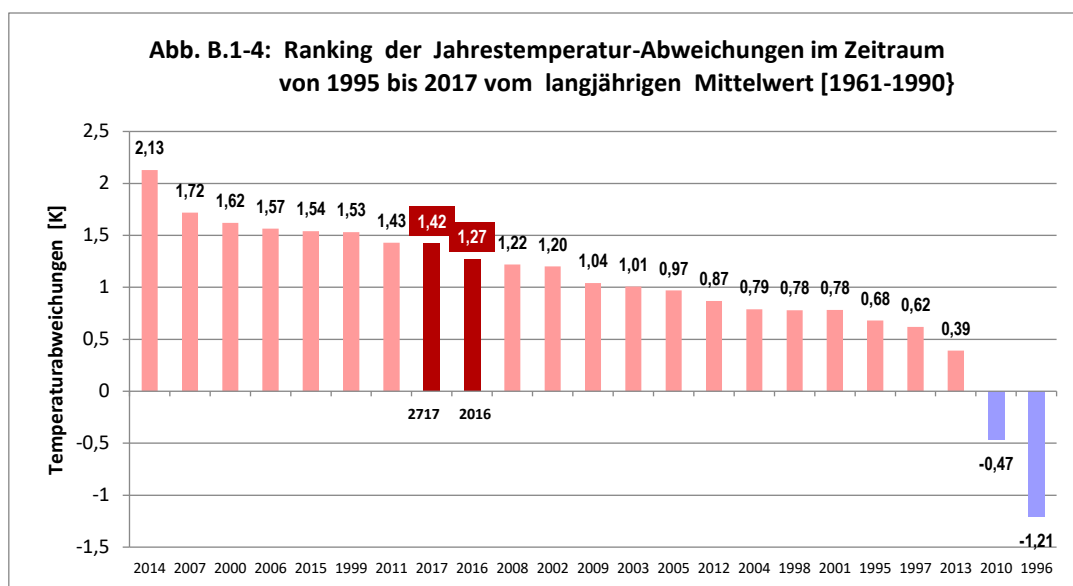
In den **Abbildungen B.1-1** und **B.1-2** sind die in **Tabelle B.1-1** enthaltenen Monatsmitteltemperaturen und die jeweiligen langjährigen Mittelwerte in einem Liniendiagramm wiedergegeben.

Der langjährige Jahresmittelwert und die Jahresmittelwerte von 2016 und 2017 sind zusätzlich als horizontale Linien an entsprechender Stelle eingetragen.

Auffallend sind die großen Zonen, in denen die Kurven für 2016 deutlich über den blauen Kurven (langjährige Werte) liegen.



Der langjährige Mittelwert der Temperaturabweichungen dieses 23-jährigen Zeitraumes von 1995-2017 beträgt genau +1,00°C [Abb. B1-3]. Das bedeutet, dass die Mitteltemperatur für diesen Zeitraum +9,97°C beträgt. Mit der deutlich positiven Trendgeraden bestätigt sich die zunehmende Erwärmung auch für diese Region.



Wie der **Abb. B.1-4** zu entnehmen ist, steht das Jahr 2016 in der Reihenfolge der wärmsten Jahre seit 1995 an 9. Stelle, das Jahr 2017 an 8. Stelle. 2016 und 2017 sind somit unter den 10 wärmsten Jahren seit 1995 in dem Ranking enthalten. In Deutschland sind sie sogar unter den 10 wärmsten Jahren seit dem Beginn regelmäßiger Temperaturmessungen (1881) enthalten.

Niederschlag

	BI-REG-Werte 2016		
	Niederschlag		
	BI-MW	2016	Abw. [mm]
Januar	65	71	6
Februar	45	77	32
März	58	41	-17
April	55	46	-9
Mai	66	33	-33
Juni	77	136	59
Juli	71	55	-16
August	69	37	-32
Sept	59	18	-41
Okt	52	52	0
Nov	66	55	-11
Dez	74	33	-41
Jahr	757	654	-103

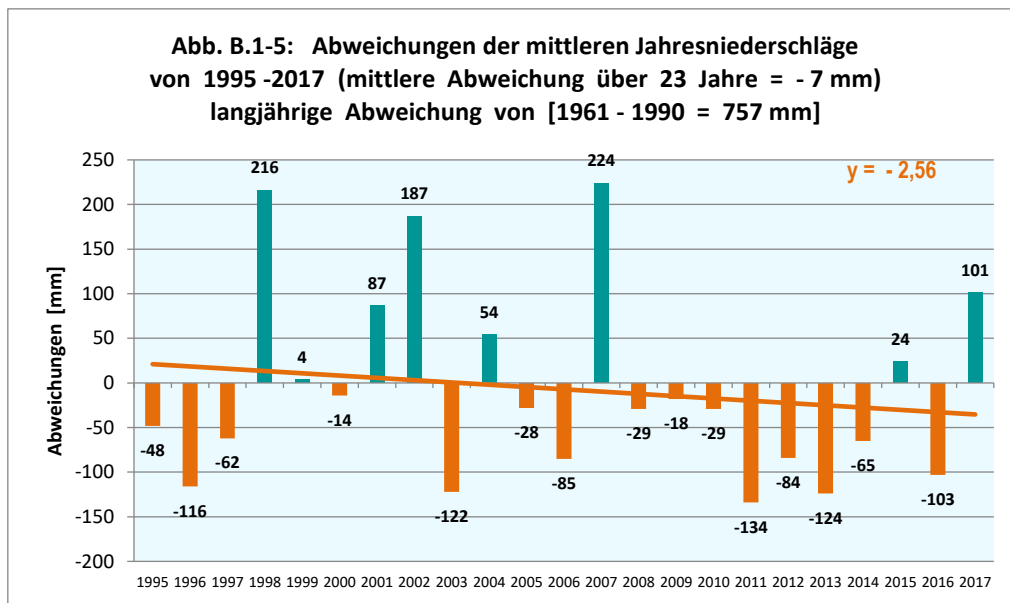
	BI-REG-Werte 2017		
	Niederschlag		
	BI-MW	2017	Abw. [mm]
Januar	65	60	-5
Februar	45	58	13
März	58	48	-10
April	55	25	-30
Mai	66	36	-30
Juni	77	77	0
Juli	71	147	76
August	69	76	7
Sept	59	84	25
Okt	52	78	26
Nov	66	78	12
Dez	74	91	17
Jahr	757	858	101

Tab. B.1-2: Monatsmittelwerte und Jahreswerte des Niederschlags 2016 und 2017 – Region Bielefeld

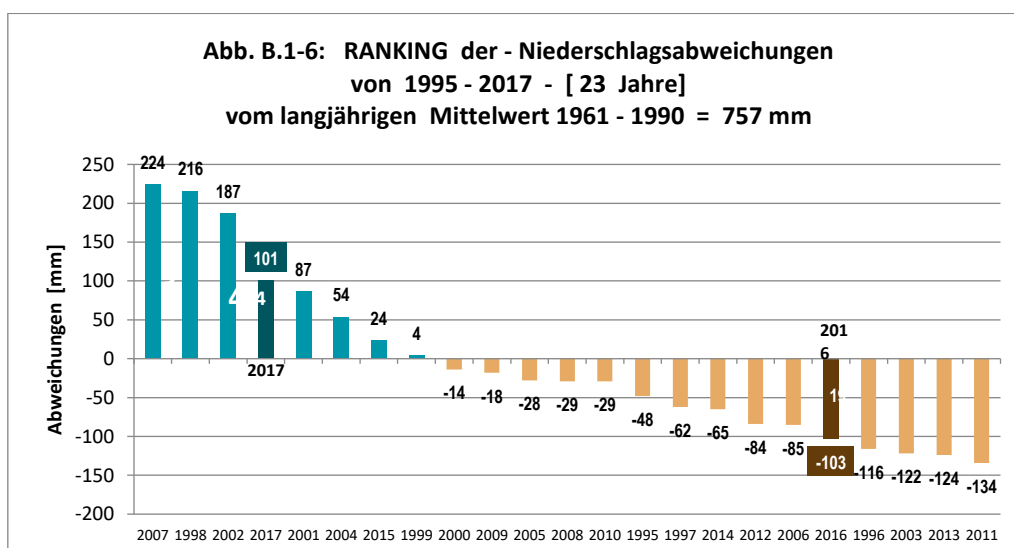
Auffällig für 2017 ist die Zweiteiligkeit beim Niederschlagsverlauf (vgl. **Tab. B.1-2**). Bis auf den Februar weisen in der ersten Jahreshälfte alle Monate keinen Überschuss auf, wohingegen in der zweiten Jahreshälfte sämtliche Monate zu nass verlaufen sind.

Der regenreichste Monat war 2017 der Juli mit einem Plus von 76 mm. Alle anderen zu nassen Monate weisen eher moderate Überschüsse auf. Die aber hiermit dennoch fortlaufend zu nasse Witterung führte zu Klagen bei den Landwirten, die mit ihren Fahrzeugen aufgrund der aufgeweichten Böden nicht auf ihre Felder fahren konnten.

Im Jahr 2016 sticht als zu nasser Monat der Juni heraus mit einem Plus von 59 mm. Hierbei lag ein Tief mehrere Tage über Mitteleuropa, das für verbreitet gewittrige Regenfälle sorgte, die mancherorts in Deutschland hohes Unwetterpotential besaßen. Ansonsten fielen bis auf die Wintermonate Januar und Februar alle Monate mehr oder weniger zu trocken aus, insbesondere September und Dezember (beide -41 mm). Allein der Oktober erreichte den Normalwert.



Wie der **Abb. B.1-5** entnommen werden kann, hat es 2017 nach einer langen Serie zu trockener Jahre regional einen deutlichen Niederschlagsüberschuss gegeben. Nach dem ebenfalls zu trockenen Jahr 2016 mit -103 mm folgt ein Sprung zu +101 mm. Das ist seit 2007 die höchste Differenz mit +13,3 %.



In **Abb. B.1-6** ist wie für die Temperatur ein entsprechendes Ranking der Niederschlags-Jahressummen ab 1995 eingetragen. Dort kommt die Gegenläufigkeit beider Jahre sehr deutlich zum Ausdruck. 2016 findet sich auf Platz 19 wieder. Das entspricht dem fünft-trockensten Jahr. 2017 hingegen ist das viert-feuchteste Jahr im Zeitraum von 1995-2017.

B.2 Die Region Bielefeld im Vergleich mit deutschlandweiten Werten

Temperatur

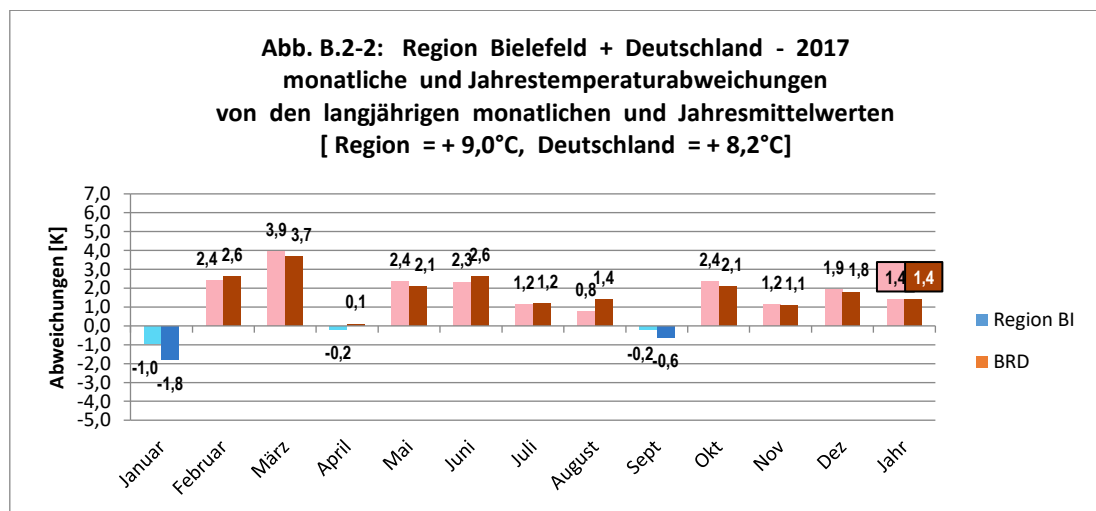
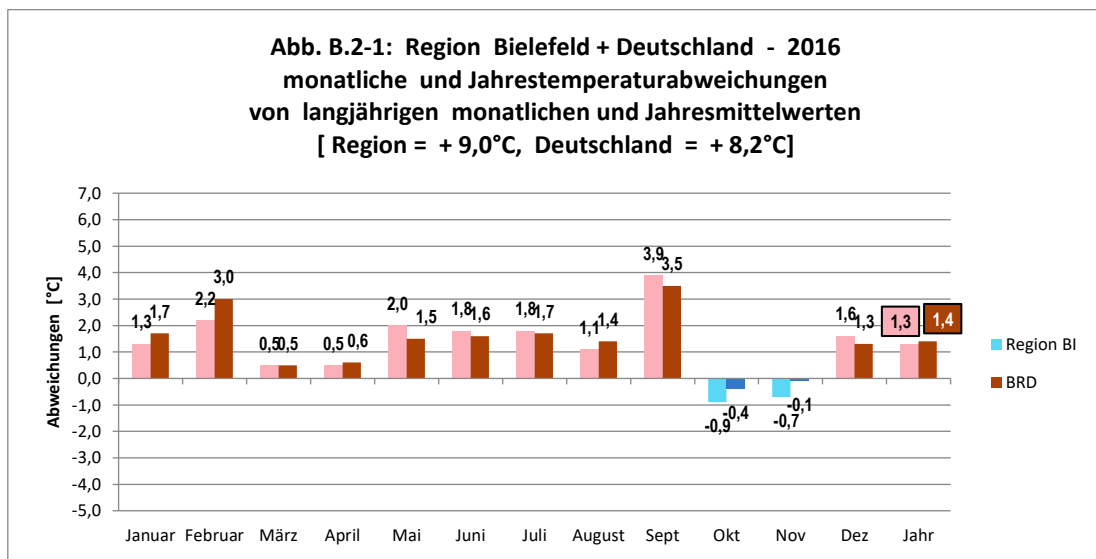
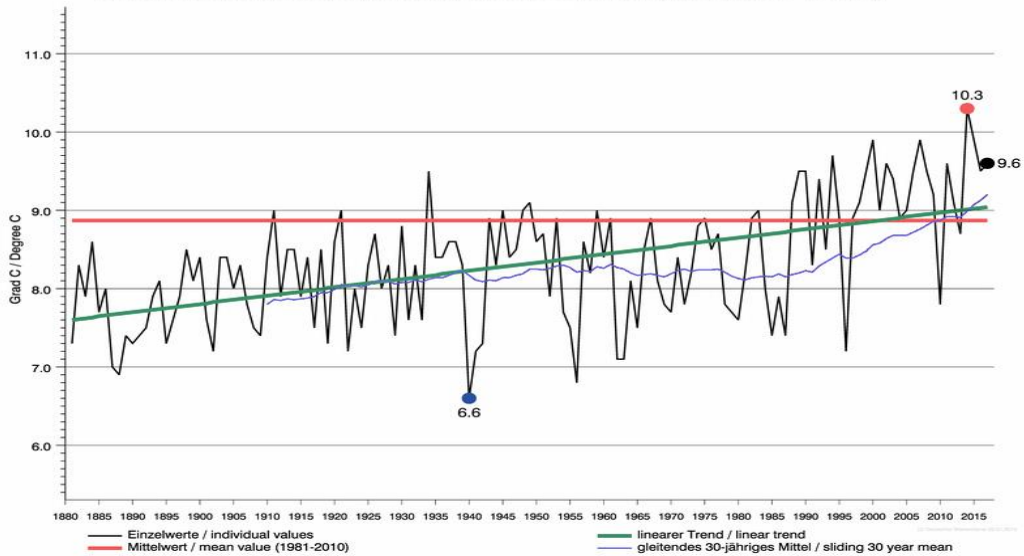


Abb.B.2-3: Mittlere Temperaturen in Deutschland, 1881-2017 (DWD)



Wie vielfach dargestellt, weist **Abb.B.2-3** auf eine kontinuierliche Temperaturzunahme hin, wenn auch der Mittelwert der letzten ca. 15 Jahre ungefähr konstant bei 1°C über dem langjährigen Wert liegt.

Niederschlag

Abb. B.2-4: Abweichung des monatlichen und jährlichen Niederschlags vom langjährigen [1961-1990] monatlichen und jährlichen Mittelwert Region Bielefeld [757 mm] + Deutschland [789 mm]

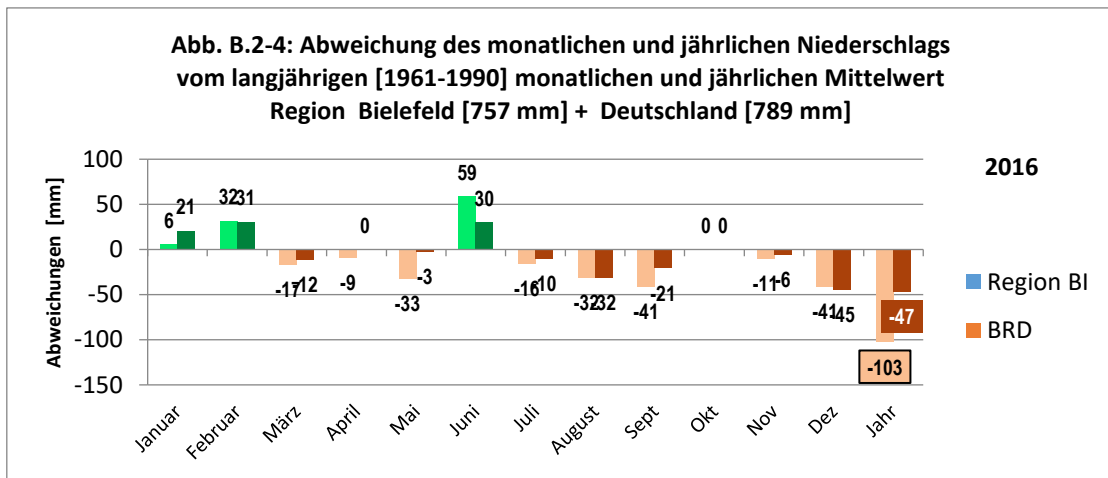
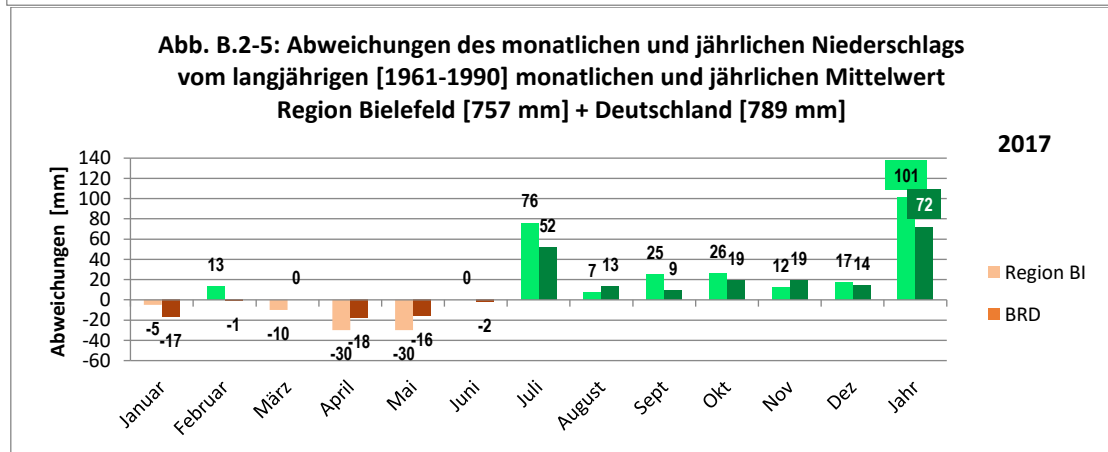
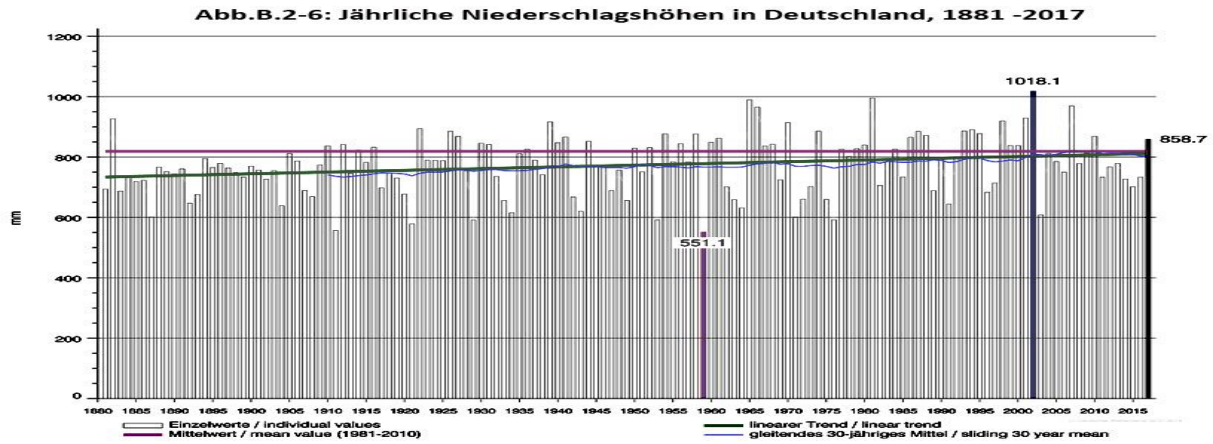


Abb. B.2-5: Abweichungen des monatlichen und jährlichen Niederschlags vom langjährigen [1961-1990] monatlichen und jährlichen Mittelwert Region Bielefeld [757 mm] + Deutschland [789 mm]

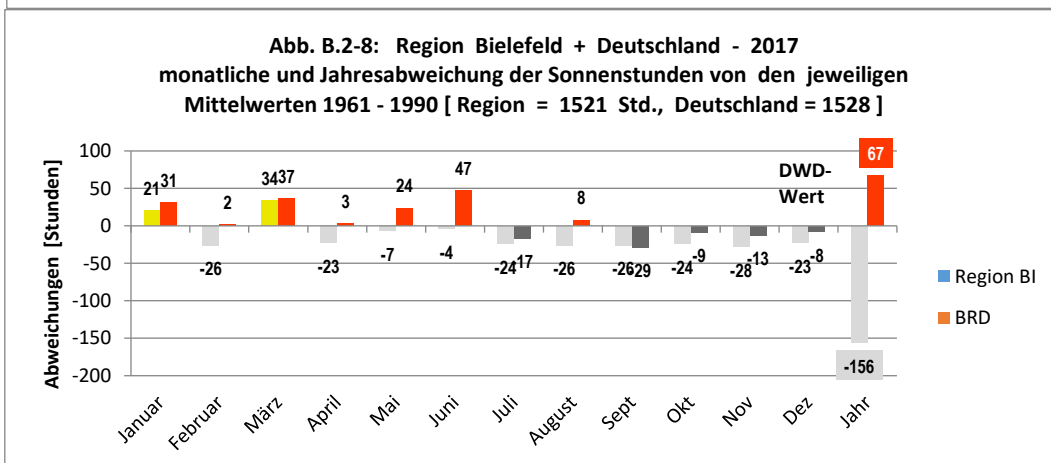
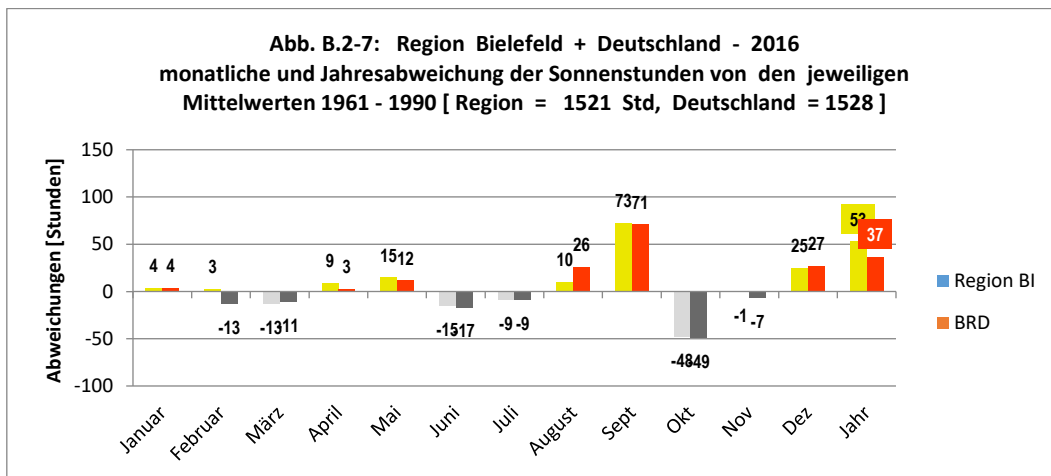


Nicht nur in der Region gab es ab Juli zu nasse Monate, sondern auch deutschlandweit. Die Ausprägung von regenreichen Wetterlagen war aber regional deutlicher. So weisen ab Juli nur der August und der November etwas geringere Monatsniederschlagssummen auf. Am stärksten hingegen war der Unterschied im Juli mit einem um 24 mm höheren Wert.



Anders als bei der Temperatur weist der deutschlandweite Niederschlag im Gegensatz zur Region einen leicht positiven - aber nicht signifikanten - Trend auf. Die Mittelung nur der letzten 15 Jahre würde zu negativen Ergebnissen führen.

Sonnenschein



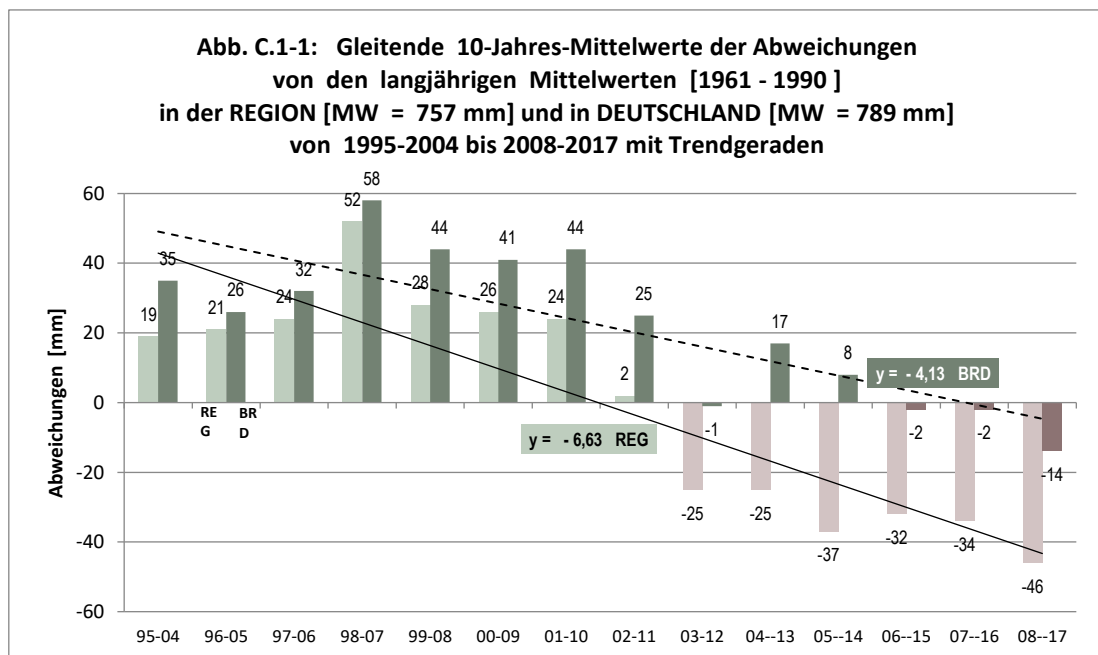
Die von Juli bis zum Jahresende durchgehend zu feuchte Witterung spiegelt sich auch bei den Sonnenstunden wider. Bis auf eine geringfügige Ausnahme im August für Deutschland traten sowohl regional als auch deutschlandweit negative Sonnenschein-Monatsbilanzen auf. Die Negativbeträge waren in der Region bis auf den September ständig größer. Eine Erklärung hierfür ist, dass die Region von der Landesmitte aus betrachtet nordwestlich angesiedelt ist, bei den häufig aufgetretenen zyklonal geprägten West- und Südwestlagen immer wieder stärker in deren Einflussbereich geraten war, als die südlicher und östlicher gelegenen Landesbereiche.

Bei der Sonnenscheindauer werden die klimatischen Differenzen der Region besonders deutlich. Während die Sonne in Deutschland recht oft schien, sah es in der Region ungewöhnlich dunkel aus.

C. Trenduntersuchung der gleitenden 10-Jahres-Mittelwerte des Niederschlags in der Region im Vergleich zu Deutschland

Eine in der Meteorologie gängige Praxis ist die Bildung von gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten. Diese Methode führt zu einer größeren Erkennbarkeit von zeitlichen Veränderungen meteorologischer Parameter. Bei den Darstellungen von Jahres- bzw. Jahreszeit-Einzelwertreihen sind infolge der größeren Streuung der Werte von Jahr zu Jahr Veränderungsprozesse nur schlecht zu erkennen. Der Vergleich der **Abb. C.1-1** mit der **Abb. B.1-4** zeigt, dass solch eine gleitende 10-Jahres-Mittelwert Auswertung sinnvoll ist. In diesem Kapitel wird die Niederschlagsentwicklung anhand von gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten in 1-Jahres-Schritten dargestellt.

C.1 Jahreswerte



Wie der **Abbildung C.1-1** entnommen werden kann, ist eine sehr deutliche Abnahme der jährlichen Niederschlagssummen seit 1995 zu erkennen. Die 10-jährigen mittleren

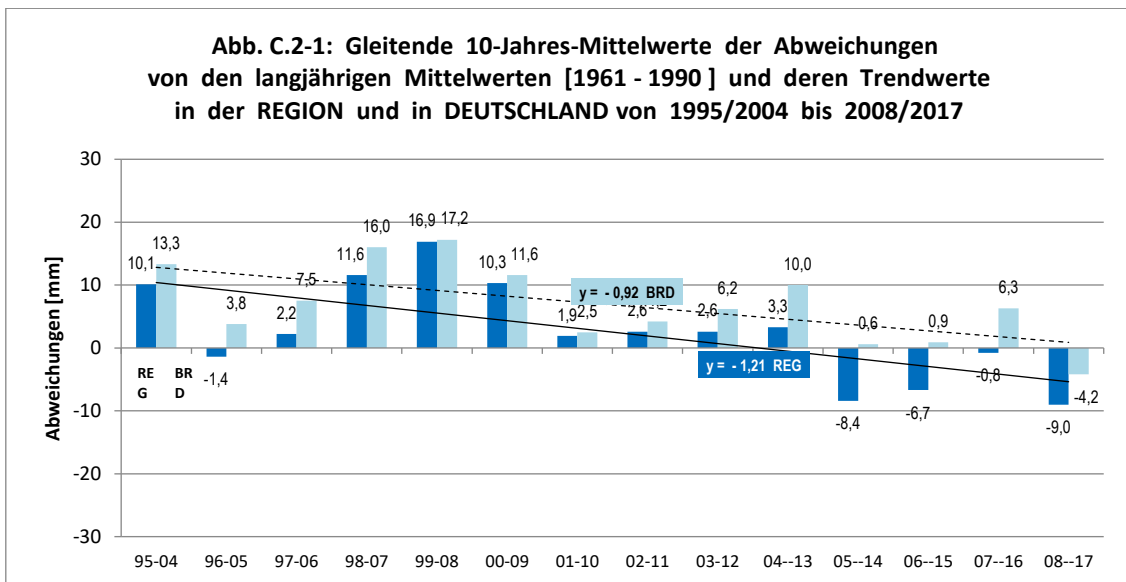
Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten erreichen im Zeitraum von 1998–2007 sowohl in der Region mit +52 mm als auch in Deutschland mit +58 mm Abweichung die höchsten positiven Werte.

Danach erfolgt ein nahezu kontinuierlicher Rückgang der Werte. Insbesondere in der Region gibt es seit dem Dezennium 2003-2012 ausschließlich negative Werte. In Deutschland gehen die 10-jährigen Mittelwerte nach einem Anstieg in 2004-2013 bis 2007-2016 in etwa auf den langjährigen Mittelwert zurück. Das jüngste Dezennium 2008-2017 weist allerdings auch einen weiteren Rückgang unter den Mittelwert (-14 mm) auf.

Diese sehr starke regionale Abweichung unterstreicht die Bedeutung einer differenzierenden klimatologischen Untersuchung.

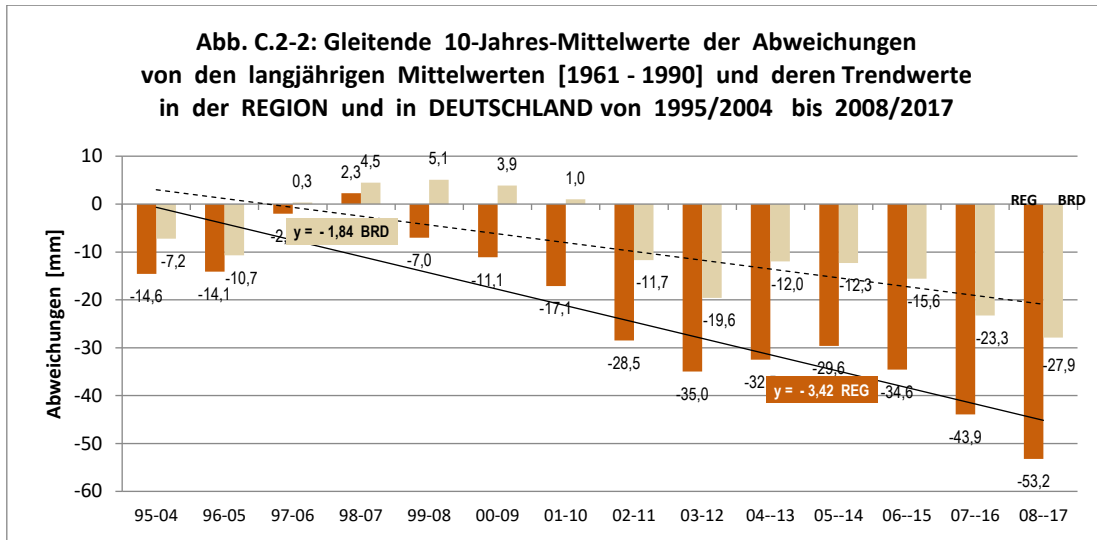
C.2 Jahreszeiten

Wintermonate



Werden jetzt die einzelnen Jahreszeiten untersucht, ergeben sich unterschiedliche Bilder. So ist bei den Winterwerten (**Abbildung C.2-1**) regional und deutschlandweit auch ein Maximum in etwa demselben Dezennium zu erkennen wie bei den Jahreswerten (hier der 10-Jahres-Zeitraum von 1999-2008, statt 1998-2007). Aber der restliche Verlauf zeigt dann doch erkennbare Abweichungen von den Jahreswerten. Nach dem Maximum gehen die Werte in 2000-2009 und 2001-2010 zunächst zurück. Danach erfolgt über 2002-2011 bis 2004-2013 ein moderater Anstieg, deutschlandweit stärker als regional. Mit dem Dezennium 2005-2014 gibt es für beide Werte kräftige Rückgänge. Danach erfolgen erneut moderate Zunahmen. Die jüngste Dekade 2008-2017 weist jedoch ähnlich wie 2005-2014 wieder eine deutliche Abnahme auf. Sowohl regional wie auch deutschlandweit werden hier die niedrigsten mittleren Abweichungen erreicht. Für Deutschland ist es in dieser Reihe der einzige negative (-4,2 mm) 10-Jahres-Mittelwert.

Frühlingsmonate



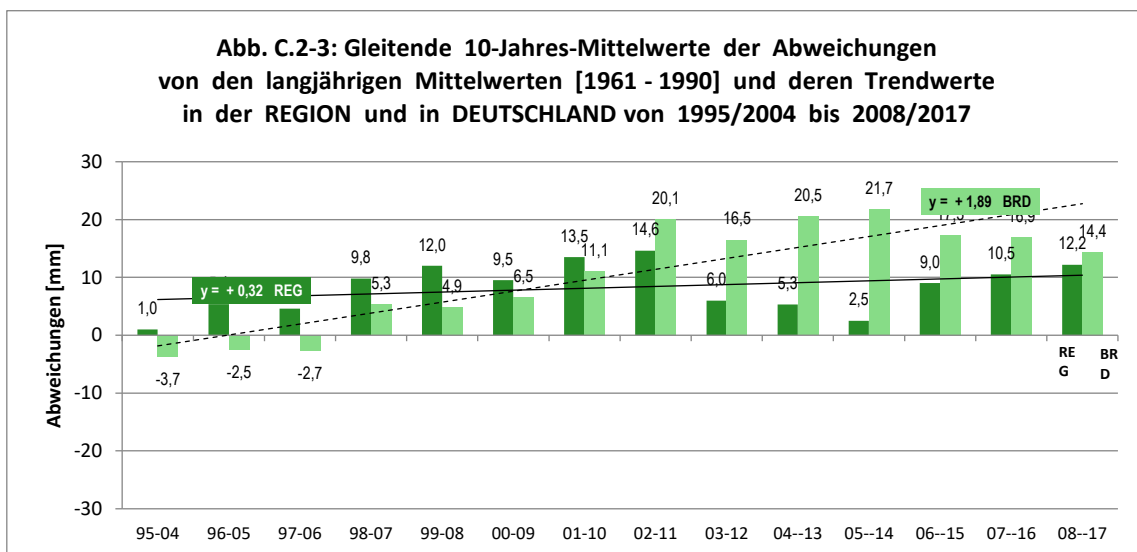
Die Werte für die Frühlingsmonate (**Abbildung C.2-2**) zeigen gegenüber den Wintermonaten einen harmonischeren Verlauf. Auch hier sind die Maxima 1998-2007 (regional) bzw. 1999-2008 (für Deutschland) vorhanden, danach erfolgt ein mehr oder weniger kontinuierlicher Rückgang der über 10 Jahre gemittelten Abweichungen.

Besonders deutlich zeigt sich der Abstieg der mittleren Abweichungen in der Region. Das Dezennium 2003-2012 schien mit -35,0 mm einen Tiefpunkt in der Entwicklung zu liefern, da in den folgenden zwei Dezennien 2004-2013 und 2005-2014 die Mittelwerte langsam wieder nach oben stiegen. Aber mit 2006-2015, 2007-2016 und aktuell 2008-2017 wird verdeutlicht, dass die Entwicklung noch nicht nachhaltig an einer Kehrtwende angelangt ist.

Auf etwas höherem Niveau, aber ebenfalls im negativen Wertebereich, zeigen auch die Deutschland-Werte diesen Verlauf der letzten Dezennien.

Sollte sich dieses Verhalten verstetigen, dürfte dies zunehmend negative Einflüsse auf die Vegetationsperiode im Frühling haben.

Sommermonate

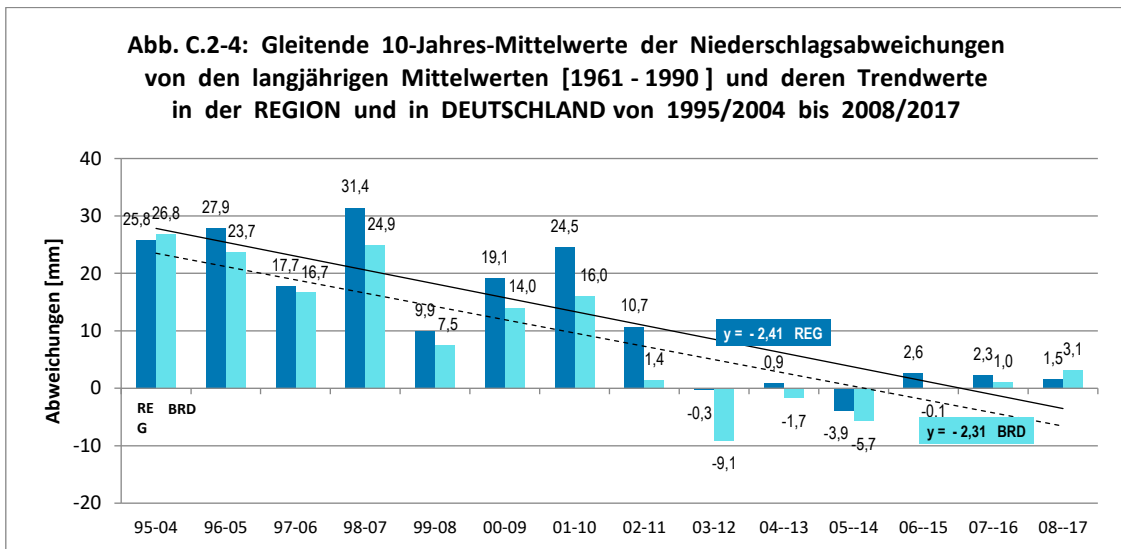


Ein völlig anderes Bild liefern die Sommermonate. Insbesondere für Deutschland sind die Entwicklungen nahezu gegenläufig zu den Frühlingsmonaten.

Regional gibt es nur positive mittlere Abweichungen, aber die Bandbreite zwischen kleinstem und größtem Wert ist geringer (+1,0 mm bis 14,6 mm) als deutschlandweit (-3,4 mm bis +21,7 mm). Auch der zeitliche Verlauf unterscheidet sich. So erreichen beide Datenreihen 2002-2011 ein Maximum (für Deutschland das sekundäre Maximum). Danach gehen aber regional gegenläufig zu Deutschland über 2003-2012, 2004-2013 und 2005-2014 die Werte der mittleren Abweichungen auf +2,5 mm zurück. Hier wird auch der größte Unterschied zwischen Deutschland und Region erzielt.

Regional steigen danach die mittleren Werte bis zum aktuellsten Dezennium wieder auf +12,2 mm wieder an. Auch weist Deutschland hier wiederum eine Gegenläufigkeit auf, indem die mittleren Abweichungen vom Maximalwert +21,7 mm auf +14,4 mm moderat abnehmen. Erwähnenswert ist noch, dass mit diesem jüngsten Dezennium die niedrigste Differenz zwischen beiden Wertereihen erreicht wird.

Herbstmonate



Die Herbstmonate liefern im Vergleich zu den Sommermonaten ein umgekehrtes Bild. Erst sind die mittleren Abweichungen positiv, um mit fortschreitender Zeit abzunehmen. Offensichtlich ist es hier zu einer Verschiebung der Niederschläge gekommen. Früher standen trockenere Sommermonate feuchteren Herbstmonaten gegenüber. In letzter Zeit ist es im Sommer feuchter geworden und im Herbst trockener. Im Zeitraum 1998-2007 weist die Region entsprechend den Jahreswerten den höchsten Wert mit +31,4 mm auf. Für Deutschland liefert gleich das erste Dezennium von 1995-2004 das Maximum mit +26,8 mm.

In Wellenbewegungen nehmen sowohl regional wie auch deutschlandweit die 10-Jahres-Mittelwerte bis zum Dezennium 2003-2012 ab. Danach stagnieren die Mittelwerte eher. Für Deutschland erfolgt nach einem sekundären Minimum von -5,7 mm im Dezennium 2005-2014 bis zur jüngsten Dekade 2008-2017 ein geringfügiger Anstieg auf +3,1 mm, also nahe dem langjährigen Mittel.

In der Region wird der tiefste Wert erst 2005-2014 erreicht mit -3,9 mm. Danach zeigt sich ein schwacher Anstieg auf +2,6 mm, der sich aber nicht fortsetzt, sondern leicht nachgibt (+1,5 mm für 2008-2017).

Festzuhalten ist außerdem, dass regional die Dezennium-Werte bis auf den Anfangswert (1995-2004) und den Endwert (2008-2017) ständig über den Deutschland-Werten liegen. Verglichen mit den Frühlingsmonaten ist bei diesem Charakteristikum in den Herbstmonaten eine komplette Gegenläufigkeit zu beobachten, d.h. im Frühjahr liegen sämtliche Abweichungen unter denen von Deutschland.

D. Untersuchung von lokalen Effekten des Klimawandels bei Niederschlagstrends und Starkregen

Der Klimawandel mit seiner dokumentierbaren Zunahme der Lufttemperatur (Kap. B) wird immer wieder auch für eine signifikante Änderung der Niederschlagsverteilung bis hin zur Häufung von Starkregenereignissen verantwortlich gemacht. Diese Fragestellung soll mit den zur Verfügung stehenden Datensätzen aufgegriffen und – wenn möglich – beantwortet werden.

Im Allgemeinen bedingt eine höhere Lufttemperatur eine Verstärkung der Verdunstung und damit eine Erhöhung der atmosphärischen Wasserdampfaufnahmekapazität. Für letzteres gilt die Physik mit der Clausius-Clapeyron Beziehung: je 1 Grad Temperaturzunahme nimmt Luft von ca. 2% bis zu 7% mehr Wasserdampf auf:

$$[\ln(P1/P2) = (\Delta H_{\text{vap}}/R)((1/T2) - (1/T1))].$$

Eine Änderung der relativen Feuchtigkeit erfolgt kaum, es steht aber pro Niederschlagsereignis dennoch mehr Wasserdampf zur Verfügung, so dass eine Abkühlung zu extremen Niederschlägen in einem definierten Orts- und Zeitfenster erfolgen kann. Der Niederschlag hängt allerdings auch noch von der Keimbildung durch Treibhausgase, Aerosolkonzentrationen und anderem ab.

Ob eine solche Zunahme von extremen Niederschlägen auch in Bielefeld und lokaler Umgebung stattfindet, wird im Bericht untersucht. Um allerdings Trends in der Häufigkeit und in der Intensität zu bewerten, muss eine viele Jahrzehnte umfassende Auswertung erfolgen, um kurz- und mittelfristige Variationen zu eliminieren. Ein Hauptproblem für Trendaussagen sind jedoch die intensiven und kleinräumigen Starkregenereignisse.

Zitate: DWD - Starkniederschläge in Deutschland 25.8.2016

G.Lenderink, American Meteorological Society, 2017

Zum möglichen Nachweis einer sich verstärkenden Niederschlagstätigkeit werden nun in einer vertiefenden Untersuchung die aktuellen Jahreswerte dieses Parameters verknüpft mit den Ergebnissen langjähriger Messreihen. Zur Bestimmung einer im Mittel zu erwartenden örtlich begrenzten Niederschlagsmenge innerhalb eines definierten Zeitraumes werden allgemein 30-jährige Messzeiträume verwendet, um die Effekte kurzfristiger Witterungsvariationen zu nivellieren. So lässt sich mit recht hoher Wahrscheinlichkeit voraussagen, mit

welcher mittleren Niederschlagsmenge am Messort im Jahr oder Monat zu rechnen ist. Bei kürzeren Prognosen einer zu erwartenden zeitlichen Niederschlagssumme ist neben dem registrierten Mittelwert stets auch die beobachtete Variationsbreite von sehr niederschlagsintensiven Zeiträumen zu sehr niederschlagsarmen und deren Häufigkeiten am jeweiligen Messort zu beachten. Verändern sich allerdings nun auch die 30-jährigen Mittelwerte im Laufe der Zeit, so kann mit einer höheren Wahrscheinlichkeit von einer länger dauernden Veränderung gesprochen werden.

Die mittleren Niederschlagssummen werden auch deutlich vom Relief der Bodenoberfläche beeinflusst. Luv- und Leewirkungen (Stauregen, föhnähnliche Effekte) in bergigen Regionen führen zu starken Schwankungen auf engem Raum. In weiten Ebenen sind die räumlichen Unterschiede deutlich geringer. Für die Messpraxis bedeutet dies, dass für die Gewinnung orts- und raumspezifischer Angaben zum Niederschlag im stark reliefierten Gelände mehr Niederschlagsmessstandorte pro Flächeneinheit notwendig sind als in ebenen Bereichen. Da Deutschland innerhalb der nordhemisphärischen Westwindzone liegt, sind die intensivsten Luv- und Leeeffekte an Reliefzügen zu erwarten, deren Orientierung hierzu quer liegt und, wie der Teutoburger Wald, eine Nordwest – Südost Ausrichtung haben.

In den letzten Jahren haben sich die Zugbahnen von Tiefdruckgebieten und atmosphärischen Zirkulationssystemen, die flächenhafte Starkniederschläge hervorrufen, kaum verändert. Nur die Westwetterlagen im Herbst, die vor allem an der Westseite von Mittelgebirgen zu Starkniederschlägen führen können, sind bereits tendenziell häufiger geworden. Im Sommer werden infolge vermehrter Hochdruck-Wetterlagen über Mitteleuropa dagegen weniger häufig großflächige Starkniederschlagsereignisse zu beobachten sein. (siehe Kap.F.1,S32.)

D.1 Aktuelle Niederschlagstrends

Der Datenbestand an lokalen Niederschlagsmesswerten ist auf unterschiedliche Betreiber aufgeteilt, so dass die Zusammenstellung recht aufwendig ist. Im Wesentlichen sind die Daten – neben einer eigenen Messreihe OSK/UniBi – übernommen vom DWD über die System WESTE und CDC, vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, NRW, von der Gewässerkunde Senne und dem Umweltbetrieb der Stadt Bielefeld bei unterschiedlichen Messwertgebern, Dateiformaten und zeitlicher Auflösung. Daher unterliegen die Auswertungen einer gewissen Unschärfe.

Die von uns ausgewählten Stationen liegen nördlich (1,2,3,6) und südlich (5,7) in der Nähe des Kamms des Teutoburger Waldes, sowie außerhalb dieses Einflusses im Luv- (7) und Lee- (8,9) Bereich. Daher können sowohl höhenparallele als auch senkrechte Achsen gezogen werden. Dies entspricht den Festlegungen, die auch in unserer gesamtstädtischen Klimanalyse getroffen wurden.

Der untersuchte Zeitraum erstreckt sich von 2000 bis 2016, mit der Ausnahme der Station Bielefeld-Deppendorf, die erst seit September 2006 eingerichtet wurde.

In der Folge werden nun für alle Stationen die jeweils ca. 17 Jahreswerte, sowie der entsprechende Trend in den Abb. D.1-2 bis D.2-9 dokumentiert.

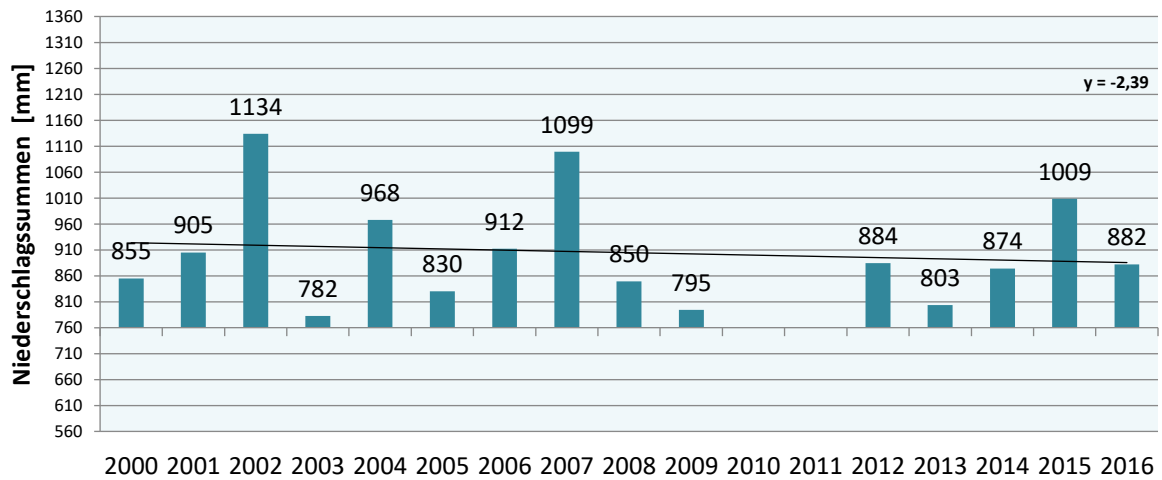


Abb. D.1-1: Lage der ausgewählten Niederschlagsstationen und Niederschlagsjahressummen

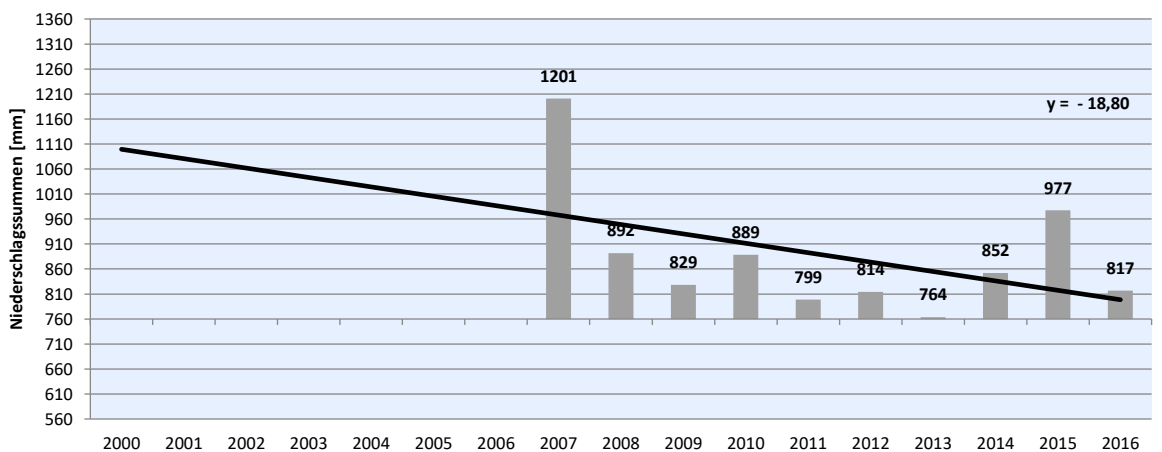
Liste und Lage der Stationen:					
1	Stadtwerke Bielefeld	52,035/8,542			
2	Deppendorf	52,071/8,456	6	Oerlingsn-Nord	51,965/8,659
3	Werther	52,077/8,430	7	Bad Salzuflen	52,104/8,752
4	Sennestadt	51,939/8,593	8	Herford	52,126/8,686
5	Brockhagen	52,003/8,345	9	Enger	52,15/8,523

Tab. D.1-1: Daten der Stationen

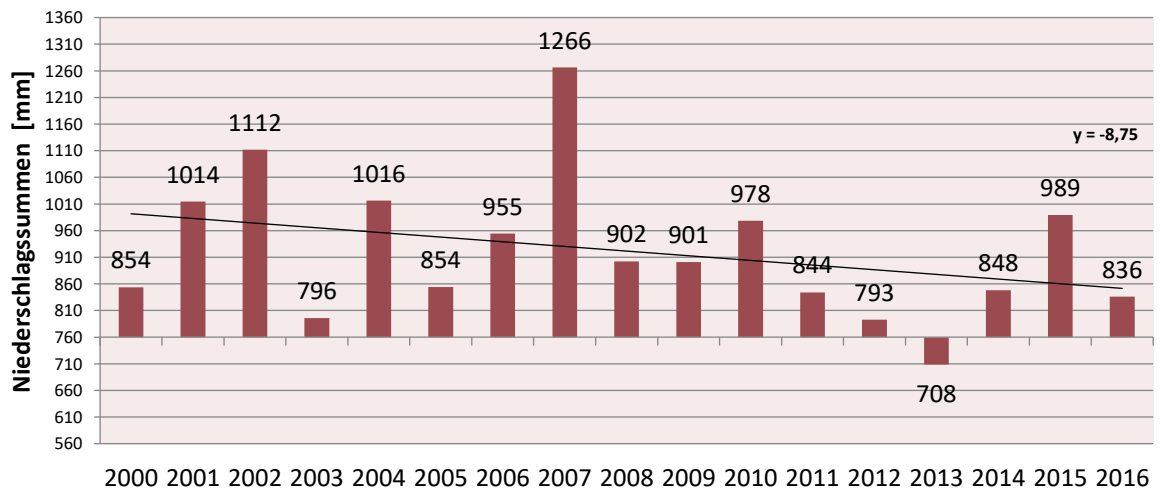
**Abb. D1.-2: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station BI-Stadtwerke [1]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 [Mittelwert = 905mm]**



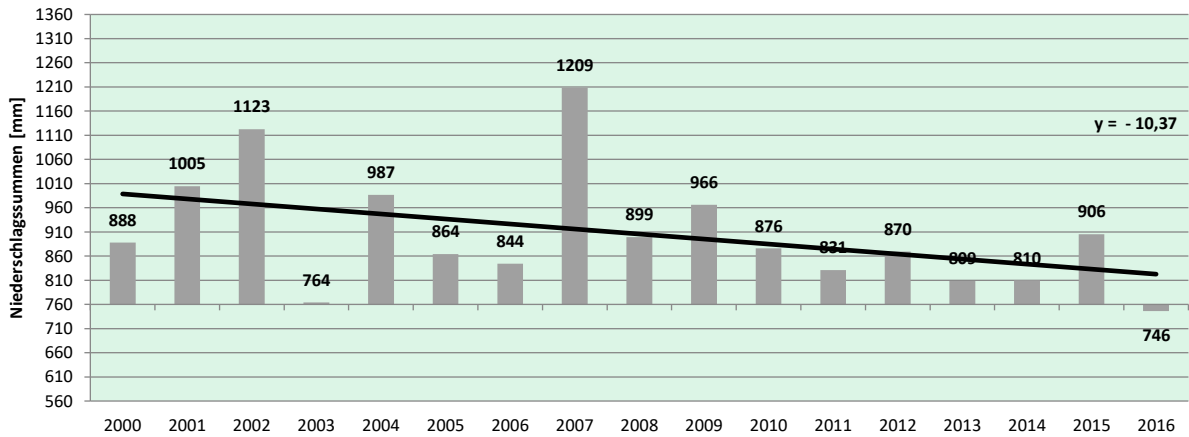
**Abb. D.1-3: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station DEPENDORF [2]
für den Zeitraum von 2007 - 2016 = 10 Jahre [Mittelwert = 883 mm]**



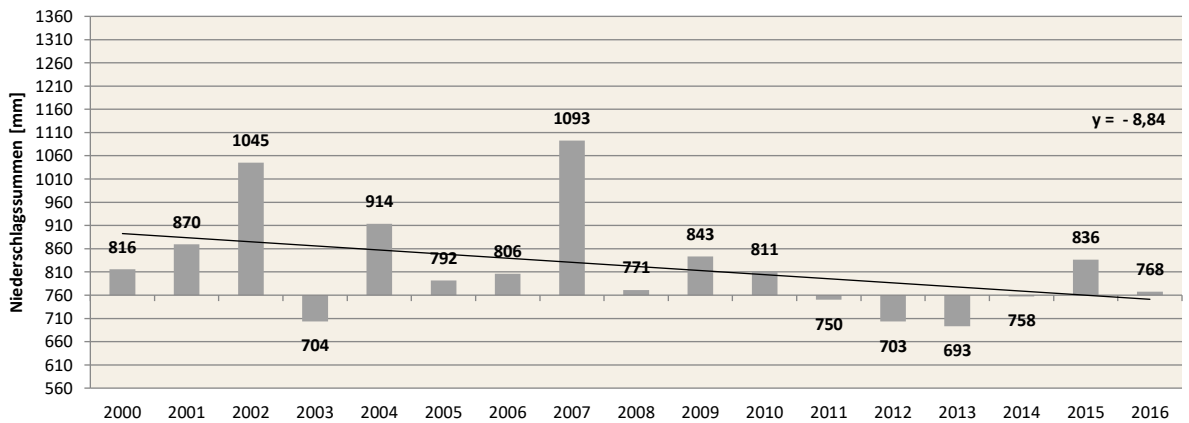
**Abb. D.1-4: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station WERTHER [3]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 [Mittelwert = 922 mm]**



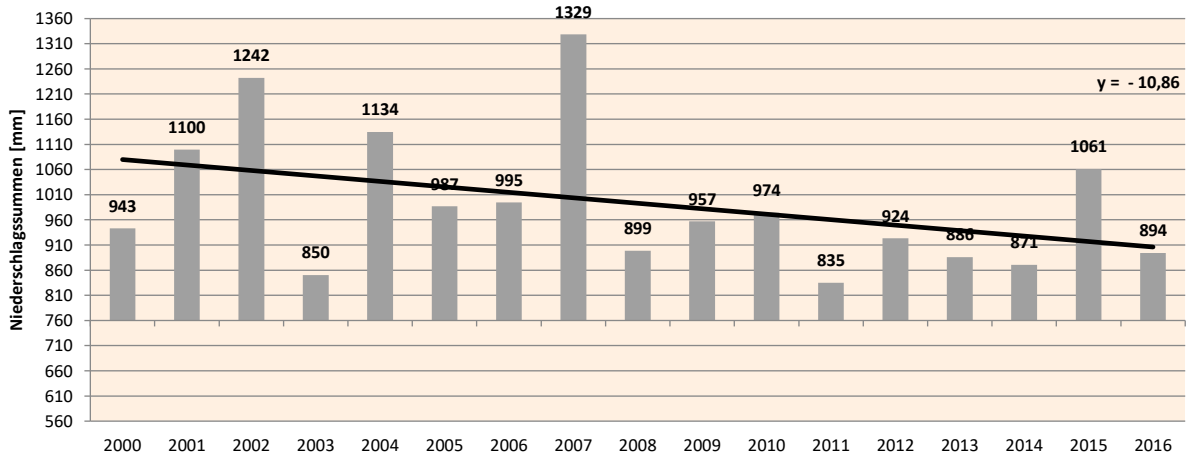
**Abb. D.1-5: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station SENNESTADT [4]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 = 17 Jahre [Mittelwert = 906 mm]**



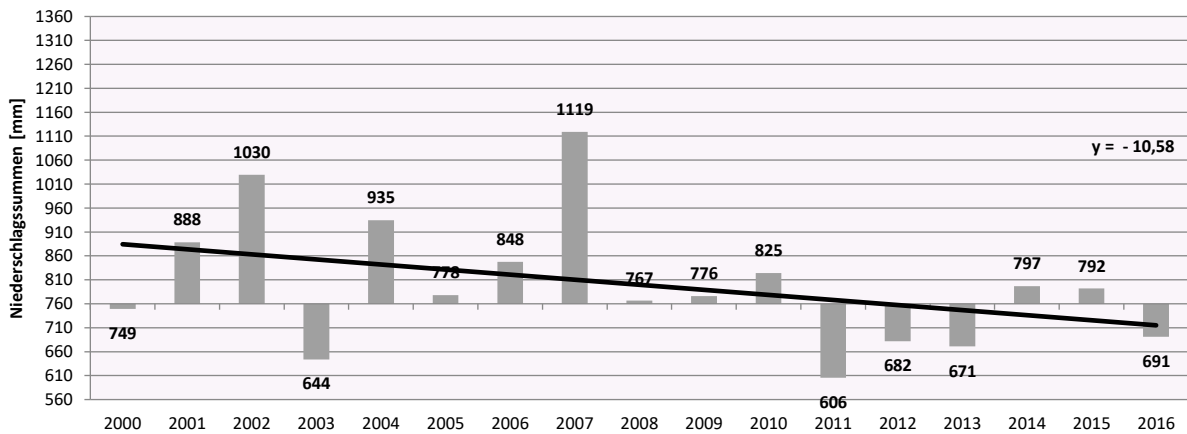
**Abb. D.1-6: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station BROCKHAGEN [5]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 = 17 Jahre [Mittelwert = 822 mm]**



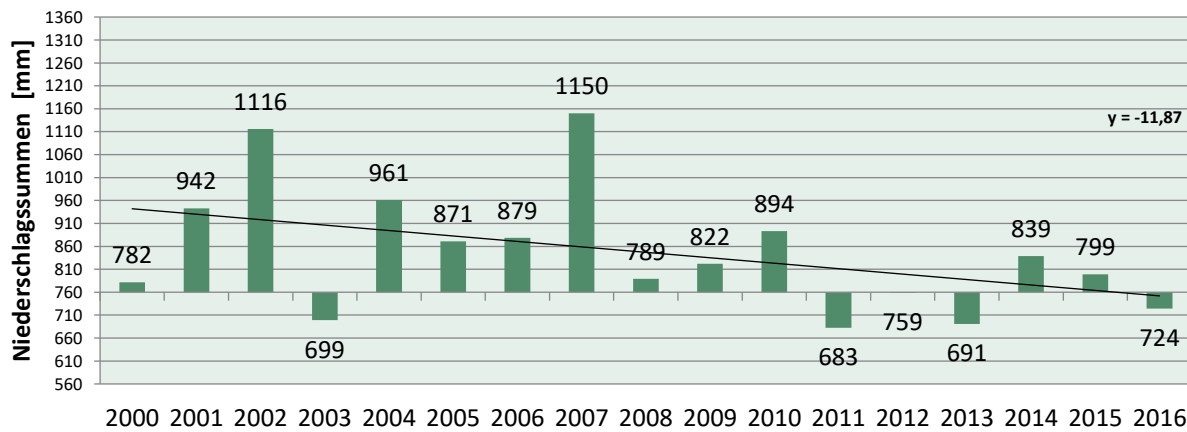
**Abb. D.1-7: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station OERLINGHAUSEN [6]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 = 17 Jahre [Mittelwert = 993 mm]**



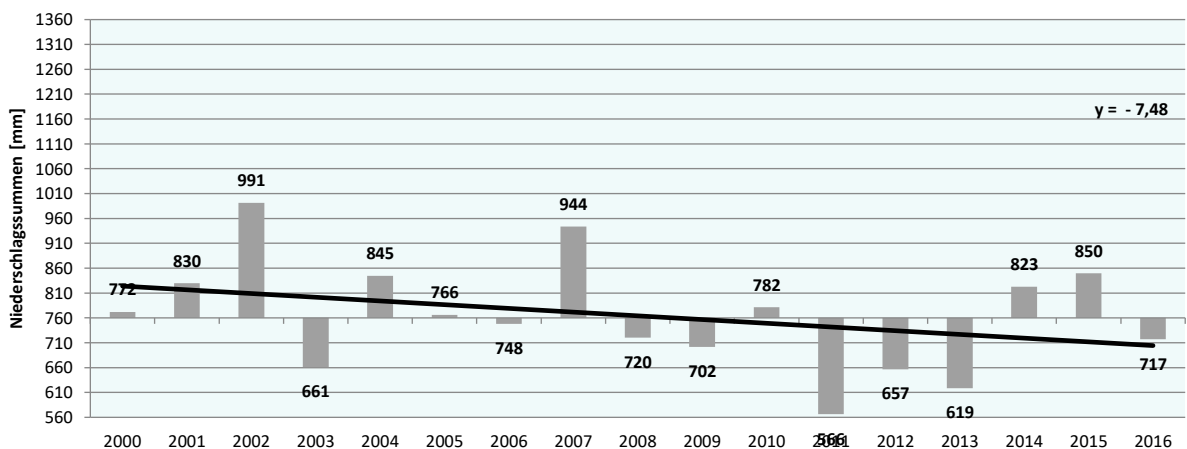
**Abb. D.1-8: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station BAD SALZUFLEN [7]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 = 17 Jahre [Mittelwert = 800 mm]**



**Abb. D.1-9: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station HERFORD [8]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 [Mittelwert = 847 mm]**



**Abb. D.1-10: JAHRESWERTE - Niederschlagssummen - Station ENGER [9]
für den Zeitraum von 2000 - 2016 = 17 Jahre [Mittelwert = 764 mm]**



Als erstes Ergebnis ist festzustellen, dass im Zeitraum von 2000-2016 generell an allen Stationen eine Abnahme der Jahresniederschläge zu beobachten ist. **[Tab.D1-3]** Das deckt sich auch mit den regionalen Ergebnissen im vorherigen Kapitel.

Mittelwerte der Jahressummen	
[mm / Jahr]	
Messtation	Jahr
Oerlingsn Nord (6)	993
Werther (3)	922
BI-Sennestadt (4)	906
BI-Stadtwerke (1)	905
BI-Deppendorf (2)	[883]
Herford (8)	847
Brockhagen (5)	822
Bad Salzuflen (7)	800
Enger (9)	764

Tab. D.1-2: Mittelwerte der Jahressummen der untersuchten Stationen (2000-2016)

Trendwerte der Jahressummen	
[mm / Jahr]	
Messtation	Jahr
BI-Stadtwerke (1)	[-2,39]
Enger (9)	-7,48
Werther (3)	-8,75
Brockhagen (5)	-8,84
BI-Sennestadt (4)	-10,37
Bad Salzuflen (7)	-10,58
Oerlingsn Nord (6)	-10,86
Herford (8)	-11,87
BI-Deppendorf (2)	[-18,80]

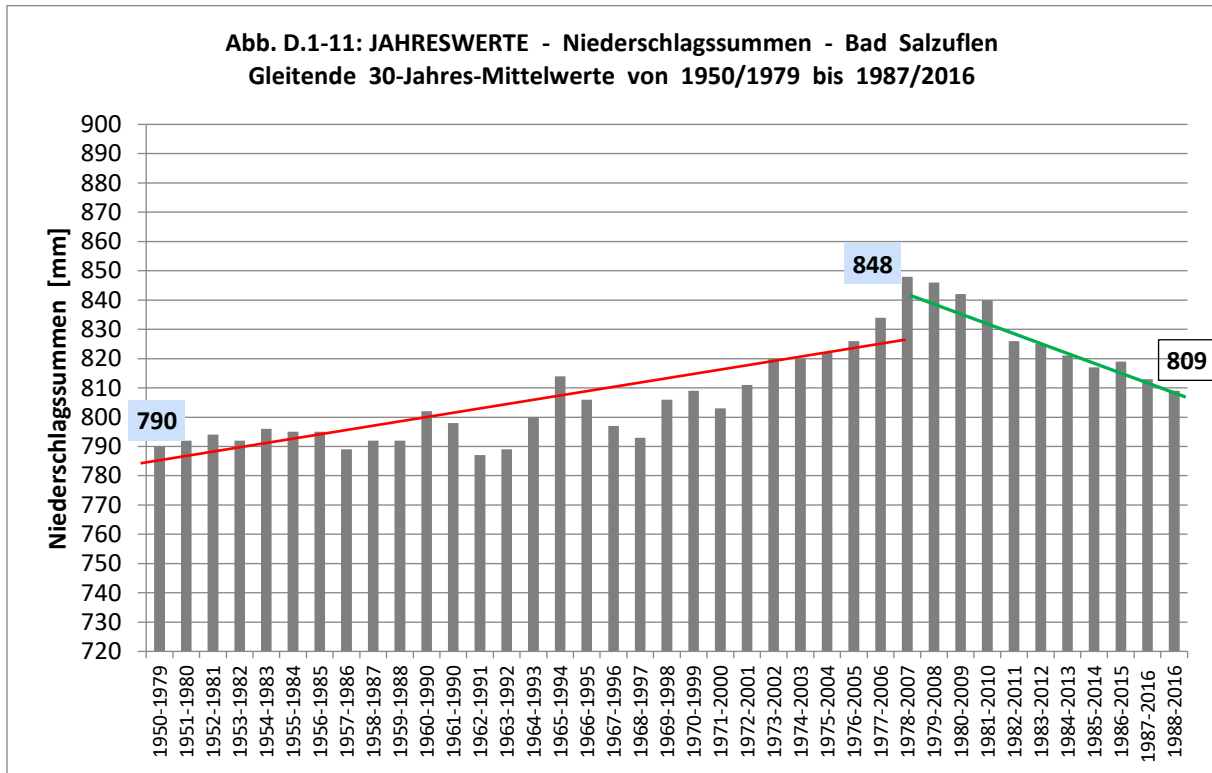
Tab. D.1-3: Werte der Trendgeraden aus Abb.D.1-2 bis Abb.D.1-10

Die Abnahmewerte spreizen pro Jahr zwischen -2,39 mm/Jahr (Station Bi-Stadtwerke) und bis zu -11,87 mm/Jahr (Station Herford). Die DWD-Station in Bielefeld-Deppendorf stellt mit -18,80 mm/Jahr eine Ausnahme dar, da für diese Station erst Jahreswerte ab 2007 vorliegen. Der Abnahmewert ist nicht repräsentativ für diese Station, da das Startjahr 2007 ausgerechnet das regenreichste des Zeitraumes ist. Die Datenreihe der Stadtwerke weist einen mehrjährigen Datenausfall auf.

Bei den Mittelwerten spiegelt sich gut die Nähe zum Teutoburger Wald wieder. So weisen die entfernter vom Höhenzug liegenden Stationen Enger und Bad Salzuflen die niedrigsten mittleren Jahressummen auf (764 mm bzw. 800 mm). Sennestadt am Südwest-Rand des Teutoburger Waldes kommt auf 906 mm und Oerlinghausen, das direkt im Kammbereich liegt, schafft den Spitzenwert von 993 mm.

FAZIT

Im Zeitraum von 2000 bis 2016 ist an allen 9 lokalen Stationen in Bielefeld und Umgebung eine Abnahme der Jahressummen – Niederschläge zu beobachten [Tab. D.1-3]. Das deckt sich auch mit den regionalen Ergebnissen im vorherigen Kapitel. Zudem wurden auch an den Grundwassermessstellen in der Region historische Tiefststände festgestellt (siehe Biermann / Wittig).



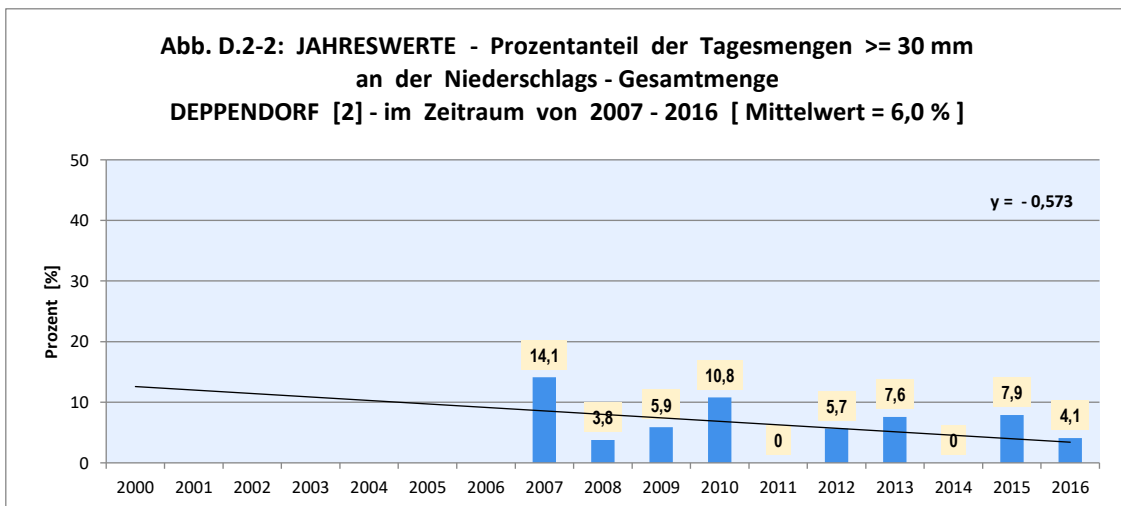
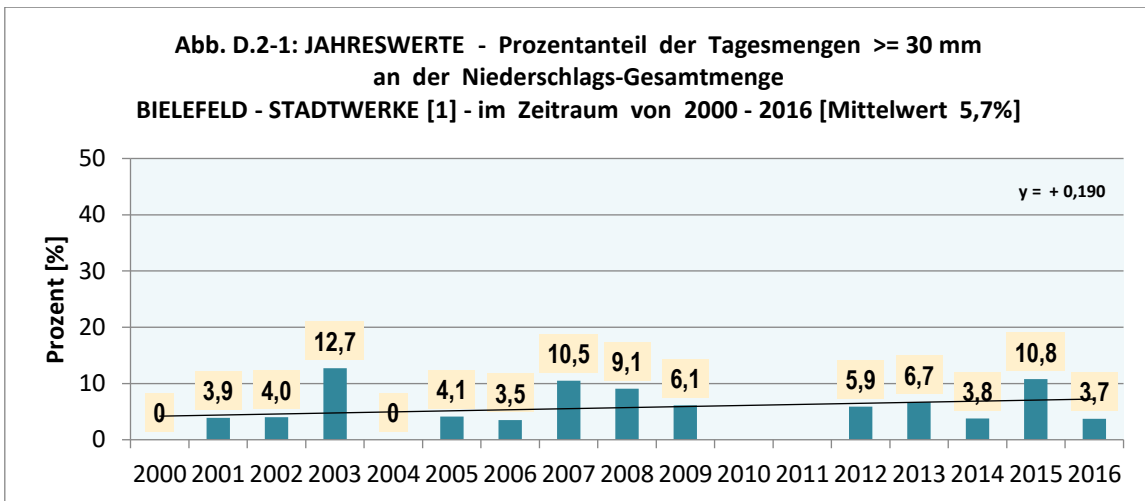
Beispielhaft für die Trendwende der Niederschlagsentwicklung sind die langjährigen Daten der Station Bad Salzuflen (790 - 848 = +7,3%). Erst die 30-Jahresmittelwerte ab 1978 weisen eine kontinuierliche Abnahme (848 – 809 = -4,1%) auf [Abb.D.1-11]. Diese deutliche Umkehr beschreibt trotz der Kurzfristigkeit einen Klimawandel, dessen regionale Differenziertheit noch nicht offenkundig ist.

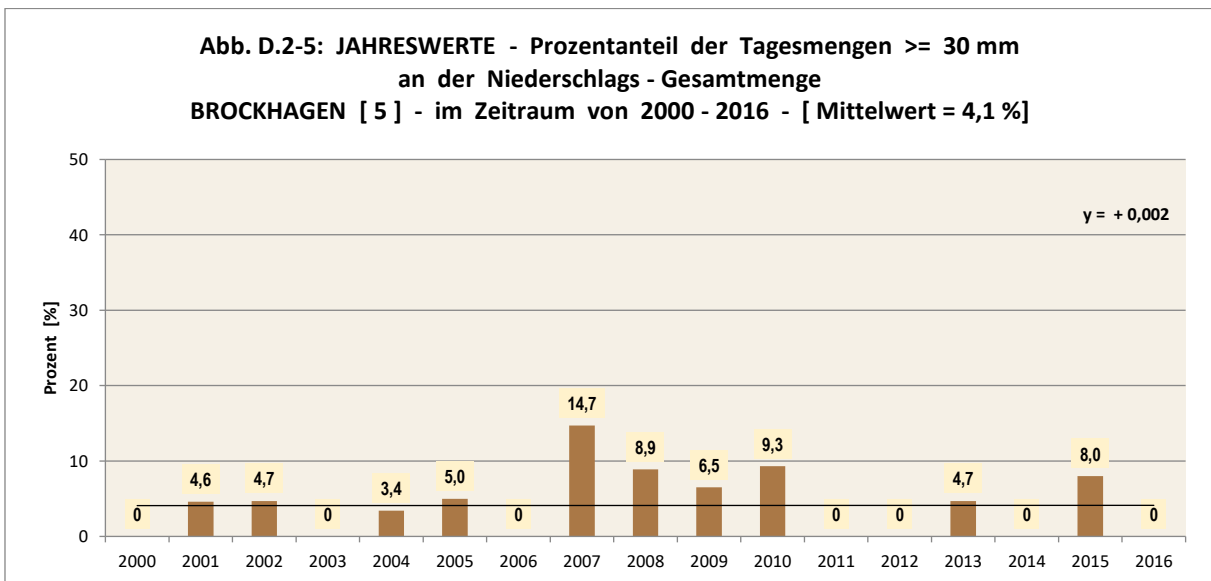
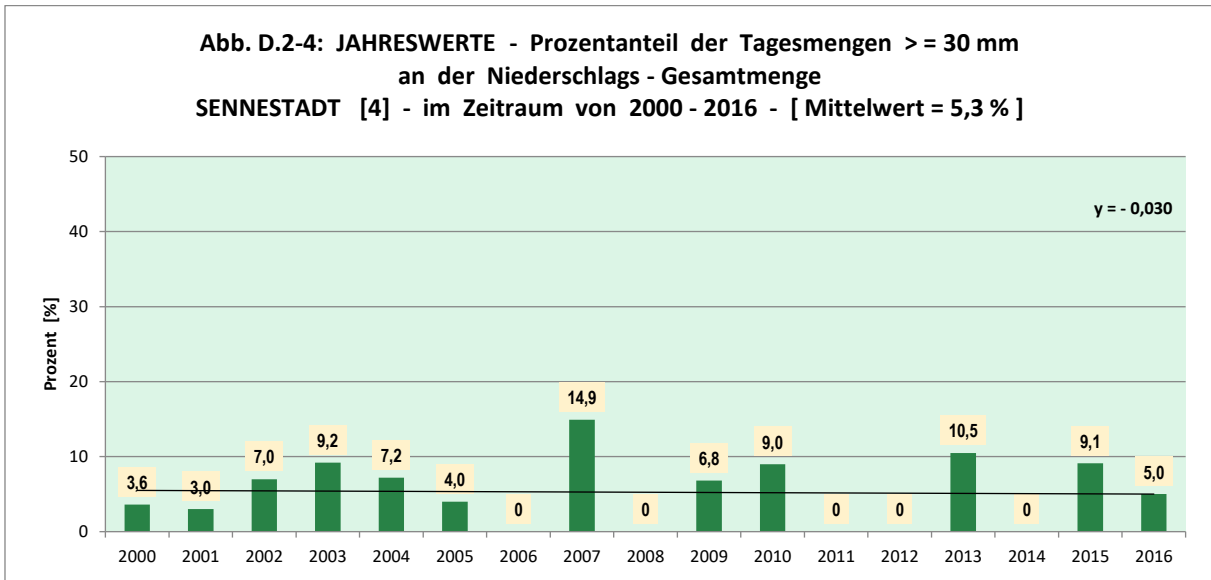
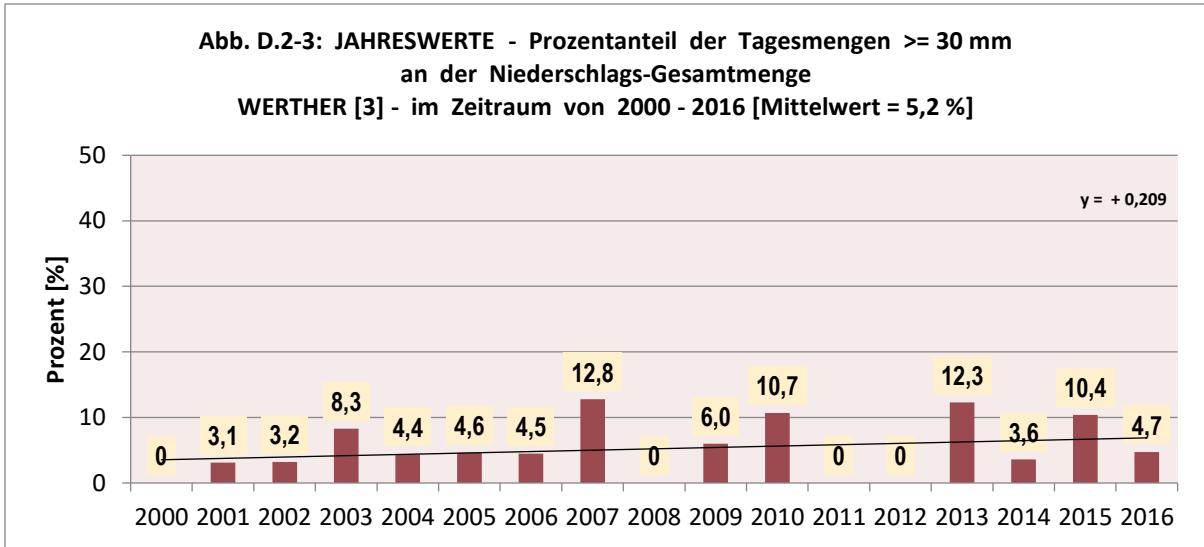
D.2. Starkregenverteilung

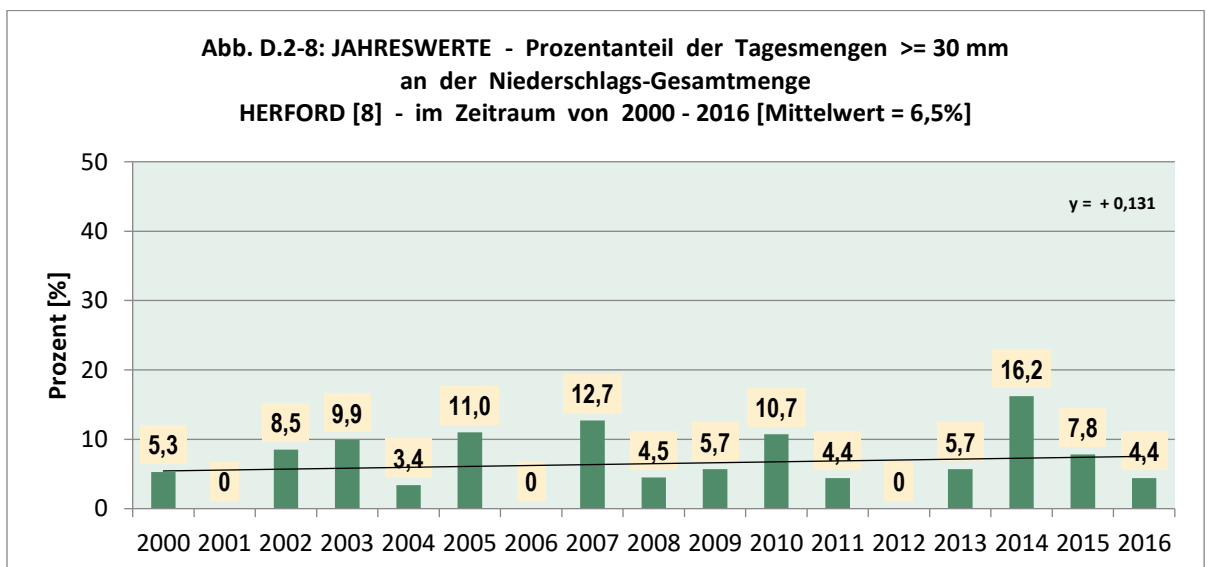
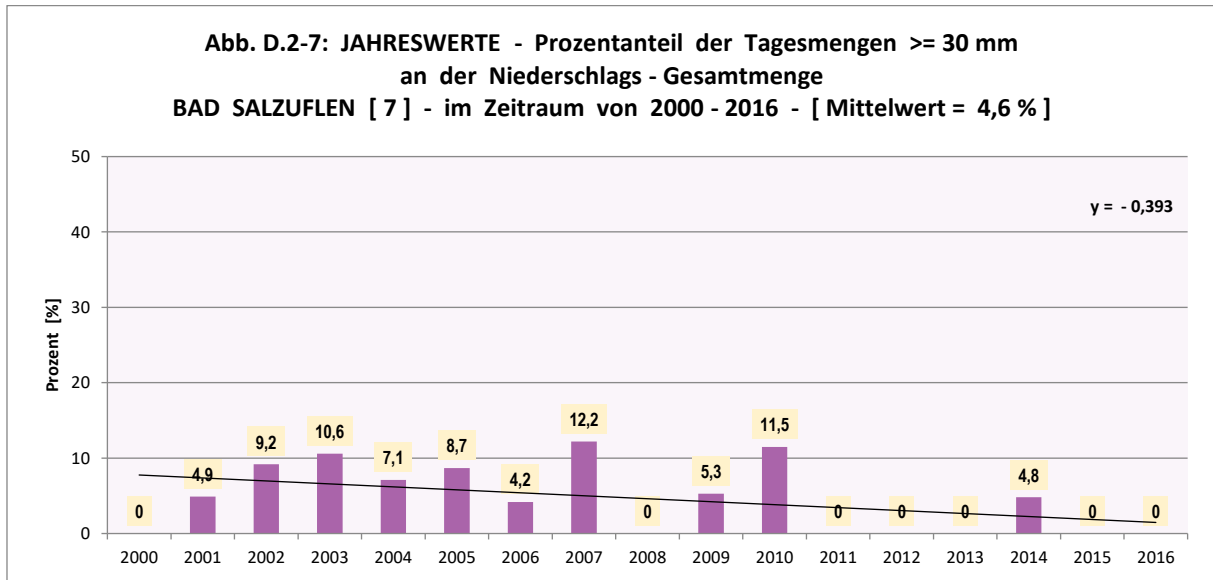
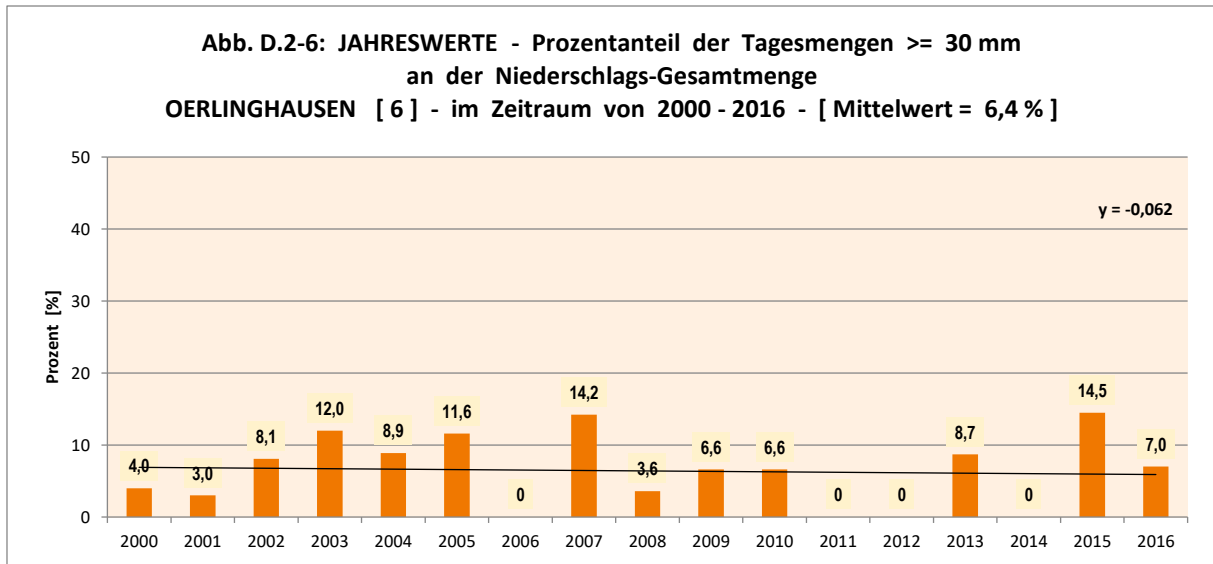
Die Niederschlagshöhe bei der Wetterlage: SWZZF (SüdWestZyklonal₉₅₀Zyklonal₅₀₀Feucht – siehe Kap.F.) ist gegenüber dem Mittel über alle Wetterlagen im Sommer relativ hoch, da zu dieser Jahreszeit bei dieser Wetterlage mit einer SW-Strömung feuchtwarme Meeresluft vom Atlantik nach Mitteleuropa transportiert und unter hochreichend zyklonalen Einfluss gehoben wird, so dass Wolkenbildung und Niederschlag einsetzen können. Darüber hinaus ergeben sich bedingt durch die Orographie Gebiete mit besonders hohen Niederschlagsmengen.

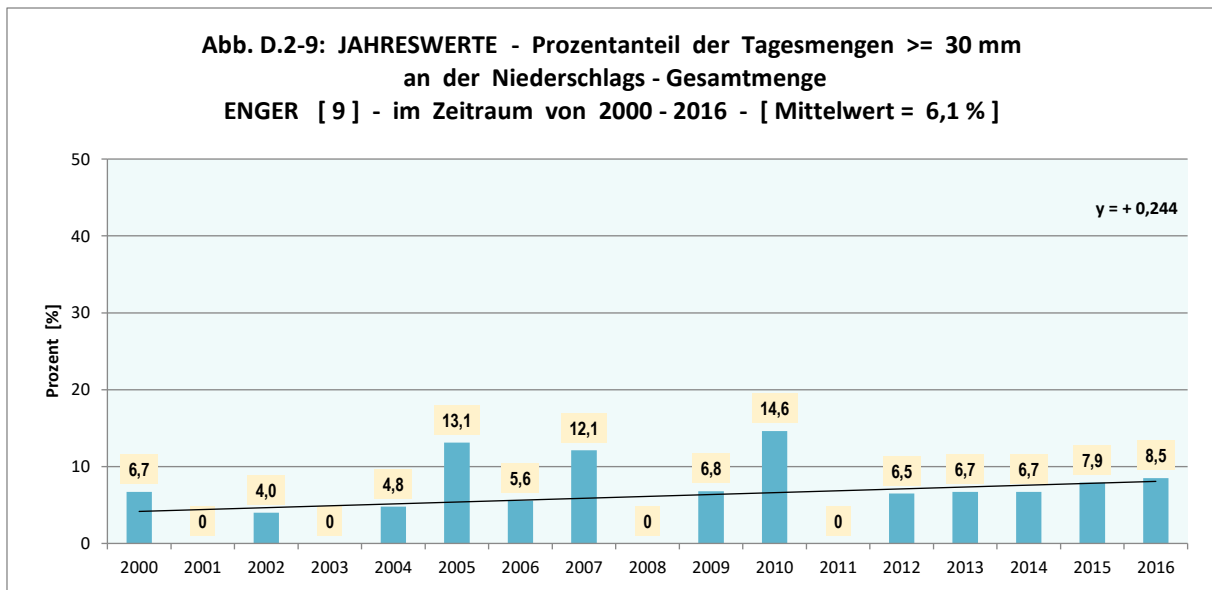
In einem weiteren Schritt wird nun untersucht, inwieweit sich im Zeitraum von 2000-2016 die Anteile an Starkregenereignissen geändert haben. Als Untergrenze für ein Starkregenereignis soll hier der häufig genannte Wert von 30 mm und mehr innerhalb von 24 Stunden gesetzt werden. Im Unterschied hierzu gibt es andere Definitionen, wie z.B. die Warnwerte des DWD oder Werte aus wasserwirtschaftlicher Sicht (siehe Klimareport 2015).

In einem neuartigen Ansatz werden nun die Volumen von Tagen mit ≥ 30 mm Niederschlag in Relation zum Gesamtniederschlag als Prozentwert gesetzt. Damit soll ein gut vergleichbarer Kennwert für die Charakteristik der Niederschlagsintensität geschaffen werden.









Mittelwerte der % - Anteile mit ≥ 30 mm / 24 Stunden	
Messstation	Jahr
Herford	6,5 %
Oerlinghsn Nord	6,4 %
Enger	6,1 %
BI-Deppendorf	[6,0] %
BI-Stadtwerke	5,7 %
BI-Sennestadt	5,3 %
Werther	5,2 %
Bad Salzuflen	4,6 %
Brockhagen	4,1 %

Tab. D.2-1: Mittelwerte des Volumenanteils von Starkregen

Anders als bei den Jahresvolumen ist die räumliche Verteilung der prozentualen Anteile des Starkregens mit diesem Auswertungsansatz nicht deutlich allein der orografischen Struktur zuzuordnen. Die meist kleinräumigen Ereignisse können durch vielfältige Auslöser verursacht werden.

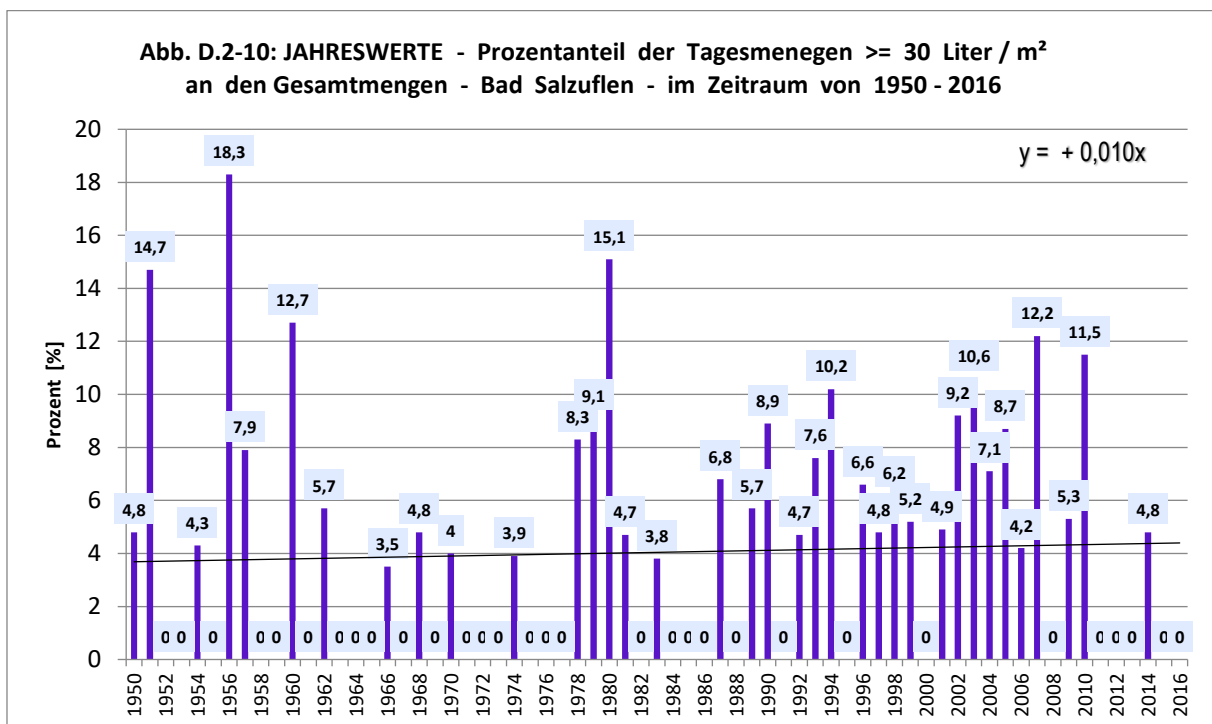
Die Mittelwerte lassen zumindest für Oerlinghausen mit dem höchsten Betrag von 6,4 % einen Einfluss des Teutoburger Waldes als möglich erscheinen. Widersprüchlich hierzu allerdings sind die Werte von Enger und Herford und dem näher am Teutoburger Wald gelegenen Sennestadt mit lediglich einem Mittelwert von 5,3 %.

Trendwerte der % - Anteile mit >= 30 mm / 24 Stunden	
Messtation	Jahr
Enger	0,244
Werther	0,209
BI-Stadwerke	0,190
Herford	0,131
Brockhagen	0,002
BI-Sennestadt	-0,030
Oerlingsn Nord	-0,062
Bad Salzuflen	-0,393
BI-Deppendorf	[-0,573]

Tab. D.2-2: Trendwerte des Volumenanteils von Starkregen

Die Trendwerte sind insgesamt nicht signifikant und zeigen ein geteiltes Bild für diesen 17-jährigen Zeitraum. So gibt es in Brockhagen keine Änderung. In Enger zeigt sich eine Zunahme der Anteile von 0,244 % pro Jahr. Oerlinghausen und Sennestadt weisen schwache Abnahmen aus, stärkere Abnahmen hingegen Bad Salzuflen mit knapp -0,4 % pro Jahr und Deppendorf mit -0,573 % pro Jahr. Wahrscheinlich ist aber der Zeitraum von 17 Jahren zu kurz um zu relevanteren Ergebnissen zu gelangen. Auch hier müssen durch erweiterte Untersuchungen die direkten meteorologischen Ursachen erforscht werden.

Anders als für den bisher gewählten 17-jährigen Zeitraum wird das Verfahren beispielhaft auf die Daten der Station Bad Salzuflen und den 67-jährigen Zeitraum 1950 -2016 angewandt. Auch hierbei ist keine deutliche Änderung erkennbar.



Referenzperiode	Tage pro Jahr > 10mm	Tage pro Jahr >20mm	Tage pro Jahr >30mm
1981-2010	23,0	4,7	1,1
1951-1980	18,5	3,7	0,8
Differenz	4,5	1,0	0,3

Tab. D.2-3: Anzahl der Tage mit Niederschlag über 10/20/30 mm pro Jahr innerhalb der Referenzperioden an der DWD-Station Bad Salzuflen

Bei den langjährigen Mittelwerten ist eine deutliche Erhöhung nur bei den geringeren Volumina festzustellen, die Anzahl von Tagen mit Starkregen bleibt etwa konstant.

FAZIT

Der experimentelle Ansatz mit Hilfe der Daten der 9 Stationen in Bielefeld und der Umgebung, räumlich abhängige Unterschiede bei den Starkregenenwicklungen feststellen zu können, führt bisher zu keinen signifikanten Unterschieden.

Es gibt beidseitig des Teutoburger Waldes negative wie positive Werte. Hinzu kommen die geringen Unterschiede der Trendwerte der einzelnen Stationen.

Dazu wurde von uns beispielhaft das Verfahren auf die 67 – jährige Datenreihe der Station Bad Salzuflen [Abb. D.2-10] angewandt. Im Ergebnis sieht man, dass der Niederschlagsanteil für Episoden ≥ 30 mm nahezu konstant bleibt.

Dies wird auch durch eine Anmerkung des DWD bestätigt, der ebenfalls darauf hinweist, dass keine Änderung (siehe Klimareport 2014/2015) bei den Starkregenereignissen gemessen wurden. Auch hier müssen durch erweiterte Untersuchungen die direkten meteorologischen Ursachen noch erforscht werden.

E. Auswertung von älteren langjährigen Niederschlagsmessreihen

E.1. Auswertungen einer Messperiode 1891 – 1930

Zur Stabilisierung von Trendaussagen sind möglichst langjährige Datenreihen heranzuziehen. Die kartografische Darstellung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen für Nordrhein-Westfalen in **Abb. E.1-1** basiert auf einer alten 40jährigen Messperiode von 1891 bis 1930. Die reliefabhängige Höhe der Niederschlagssummen ist gut erkennbar. Kommt es in den bergigen Regionen wie Rheinischem Schiefergebirge oder Weserbergland zu starken Schwankungen auf kleinem Raum, so finden sich in den ebenen Regionen wie Münsterland, Niederrhein oder Jülicher Börde nur geringe räumliche Unterschiede. Zusätzlich fällt auf, dass generell in den höheren und in der Regel auch bewaldeten Regionen mehr Niederschlag fällt. Großräumige erzwungene Hebungsprozesse tragen hierzu bei. Und auch die vorwiegend vorhandene Nutzungsform Wald trägt durch ihr hohes Wasserspeichervermögen zusätzlich zur Verstärkung von niederschlagsbildenden Prozessen bei.

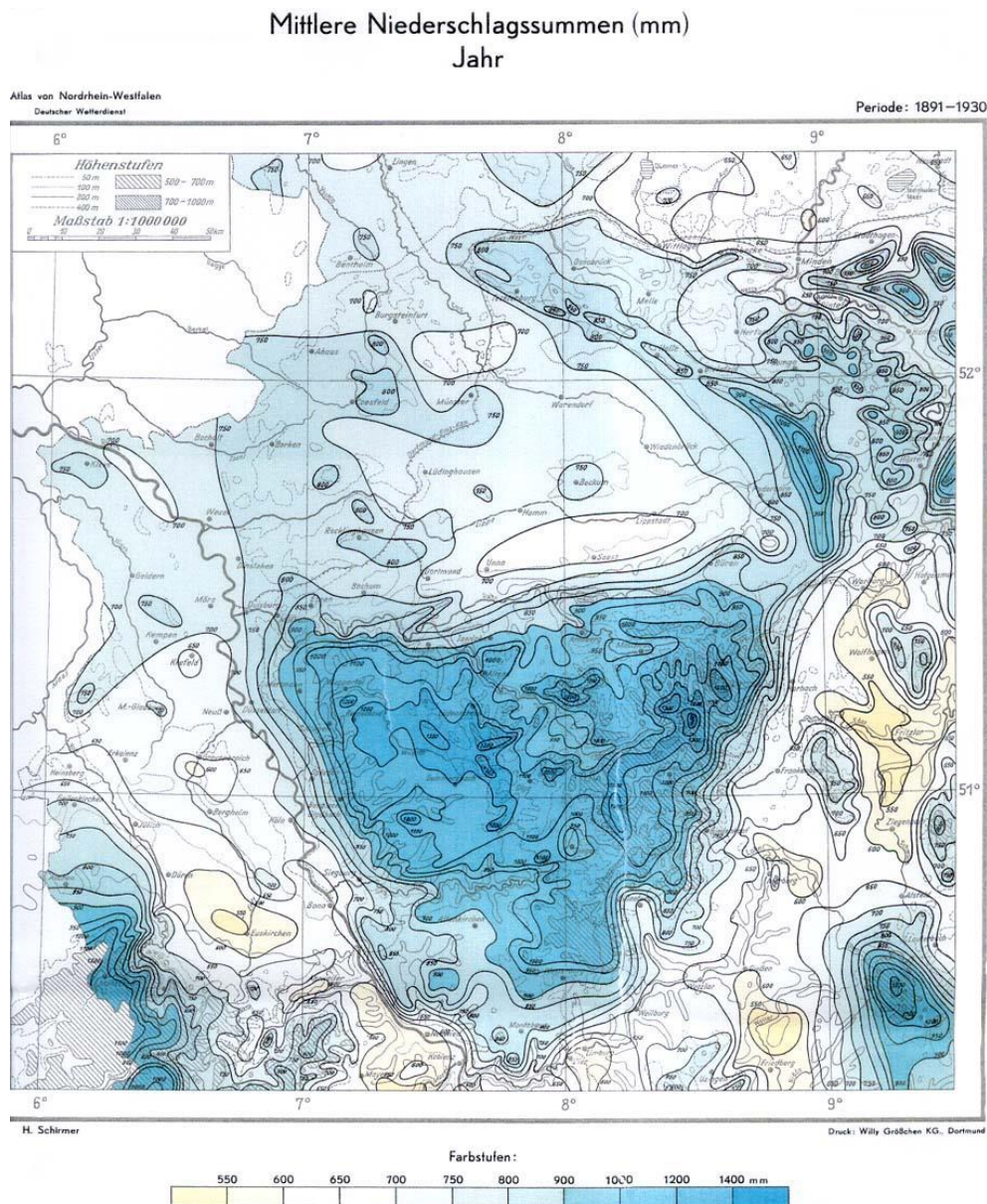


Abb. E.1-1: mittlere Niederschlagssummen (mm) pro Jahr in NRW, Messperiode 1891-1930, DWD

Es ist nur ungefähr zu entnehmen, dass in diesem Zeitraum im zentralen Bereich von Bielefeld jährlich im Mittel zwischen 800 mm und 850 mm Höhe Niederschlag registriert wurde. Durch die kommunale Gebietsreform in den 70iger Jahren hat sich das Stadtgebiet von Bielefeld vergrößert, so dass Bielefeld zum einen Anteile im Teutoburger Wald hinzubekommen hat, innerhalb derer die mittleren Jahressummen von 1891-1930 zwischen 850 mm und 900 mm lagen, zum anderen solche nach Nordosten, die innerhalb der Zone mit Mengen zwischen 800 mm und 750 mm liegen. An der nordöstlichen Stadtgrenze gibt es auch Bereiche zwischen 750 mm und 700 mm, jeweils im jährlich im Mittel gemessen zwischen 1891 und 1930.

E.2 Bielefelder Messprogramms (Periode 1971-1980) für das Stadtgebiet

Später entstand der Bedarf an einer höher auflösenden Untersuchung für das Stadtgebiet mit der Fragestellung, ob und in welchem Umfang sich die mittleren Niederschlagsverhältnisse verändert haben.

Für das Bielefelder Stadtgebiet gibt es noch an verschiedenen Messorten kürzere Messperioden als 30 Jahre. So ist für die Station Uni BI / OSK für die jüngste Periode von 1991-2005 ein jährlicher Mittelwert vorhanden.

Für sieben dieser Messorte sind die mittleren Jahresbeträge eingetragen, wobei zusätzlich jeweils ein Niederschlagsdiagramm beigefügt ist, aus dem der mittlere Jahresgang zu entnehmen ist.

In den Kammregionen des Teutoburger Waldes innerhalb Bielefelder Gebietes wurde in den 1970iger Jahren der 900 mm-Mittelwert geringfügig überschritten (z. B. Ebberg: 901 mm). Dies ist eine Tatsache, die noch keinen relevanten Unterschied zu der Darstellung der Werte von 1891-1930 darstellt, da aufgrund des großzügigeren Maßstabes im Klima-Atlas die geringfügigen Überschreitungen wohl nicht wiederzugeben waren. Allenfalls eine leichte Erhöhung im Bereich des Teutoburger Waldes während der 1970iger Jahre ließe sich so unter Vorbehalt konstatieren.

Schon auffallender ist das gegenläufige Ergebnis im Bielefelder Nordosten. So wurde als Jahresmittelwert hier an der Station Altenhagen zwischen 1971 und 1980 eine Niederschlagshöhe von nur 669 mm ermittelt, also deutlich unter 700 mm.

Interpretiert werden kann dieses Gesamtergebnis in der Art, dass es in den 1970igern zum einen vermehrt milde Winter mit verstärkter Westwindzirkulation gegeben hat. Hierbei sind es wohl insbesondere die Winter 1971 / 1972 (+ 1,2 K), 1973 / 1974 (+ 2,4 K), 1974 / 1975 (+ 4,1 K), 1975 / 1976 (+ 1,3 K) und 1976 / 1977 (+ 1,0 K) gewesen, die die Luv- Leeeffekte verstärkt haben, d.h. zu einer deutlicheren Ausprägung von räumlichen Mengenunterschieden an Niederschlag geführt haben. Zum anderen hat es während dieses Dezenniums auch längere Abschnitte mit zu geringem Niederschlag gegeben (z.B. 1971, Winter 72/73, Sommer 1973, Sommer + Herbst 1975, Sommer + Herbst 1976).

In der **Abb.E.2-1** ist für Bielefeld und das nähere Umfeld die Abhängigkeit der jährlichen Niederschlagssumme von der Geländehöhe bestimmt worden.

Die Ergebnisse entsprechen den Resultaten der anderen Messreihen. In recht deutlicher Weise wird hier zusätzlich der Effekt des Steigungsregens für das Gebiet des Teutoburger Waldes trotz der geringen Höhendifferenzen von ca. 200 m nachgewiesen.

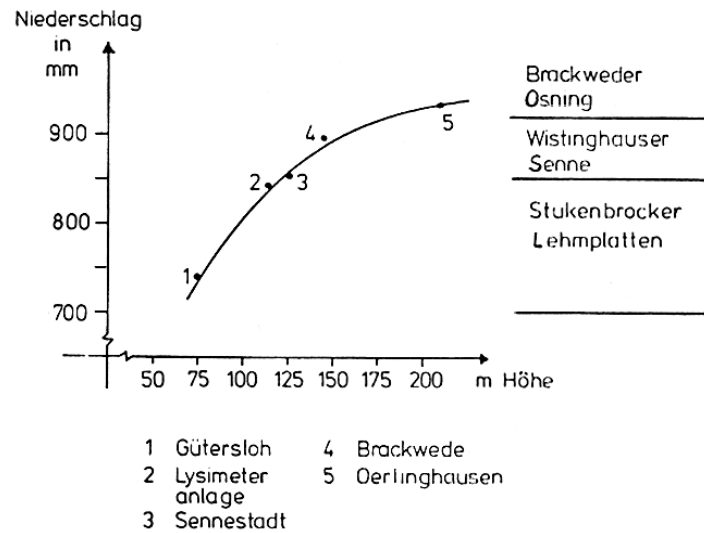
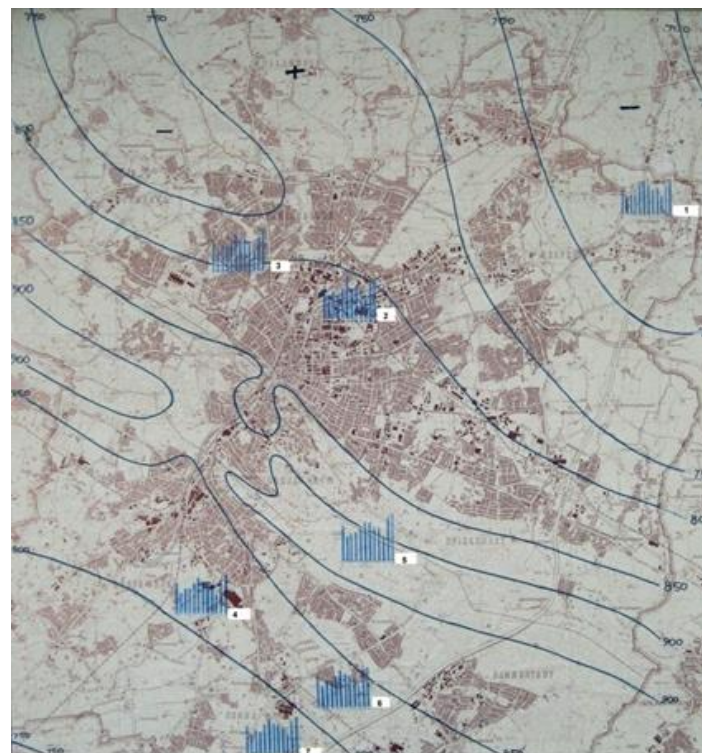


Abb.E.2-1: Verhältnis Niederschlag – Geländehöhe (LANUV: Ökol. Beitrag zum Landschaftsplan „Sennelandschaft“ der Stadt Bielefeld, Analyse des Naturhaushaltes, Recklinghausen, 1980)



Niederschlagsverteilung im Stadtgebiet von Bielefeld

Mittlerer jährlicher Niederschlag und Jahresgang

Station Allenhagen 1: 669 mm	Station Ebbberg 5: 901 mm
Station Stadtmitte 2: 829 mm	Station Buschkamp 6: 832 mm
Station Gellershagen 3: 805 mm	Station Windelsbleiche 7: 777 mm
Station Brackwede 4: 804 mm	

Abb. E.2-2: 10-jährig gemittelte jährliche Niederschlagssummen (mm) eines Bielefelder Messprogramms von 1971-1980

Ein Vergleich der an der DWD-Station Bad Salzuflen in den 1970igern ermittelten Jahressummen mit dem damals zugrunde gelegten gültigen mittleren Bezugswert des 30-jährigen Mittels von 1931-1960 (785 mm) zeigt, in welchem Umfang die 1970iger Jahre zu trocken waren. Würde man sich auf die Werte der neueren Perioden von 1951-1980 (790 mm) und 1961-1990 (798 mm) beziehen, in denen ja die 1970iger eingebettet und bei der

Mittelwertbildung berücksichtigt sind, so würde das Niederschlagsmanko dieses Dezenniums noch offenkundiger werden.

Jahr	Prozent
1971	83
1972	96,5
1973	80
1974	110
1975	90
1976	75
1977	92,5
1978	106
1979	113
1980	111
Perioden-Durchschnitt	95,7

Tab. E.2-2: Jährliche Prozentwerte der Niederschlagssummen aus den Jahren 1971-1980 an der Station Bad Salzuflen - Bezugswert ist die 30-jährige Periode von 1931-1960

Aus der **Tab.E.2-2** geht hervor, dass von 1971 bis 1977 mit Ausnahme von 1974 in jedem Jahr der Durchschnittswert von 1931-1960 unterschritten wurde. Eine Häufung niederschlagsreicher Jahre ist im letzten Drittel des Dezenniums erkennbar. Diese Werte stützen die Annahme, dass durch die gesteigerte Westwindzirkulation in den Winterhalbjahren der 1970iger Jahre bei gleichzeitig reduzierten Niederschlagssummen ($100\% - 4,3\% = 95,7\%$), innerhalb des Teutoburger Waldes durch Staueffekte allenfalls eine unbedeutende leichte Erhöhung der mittleren Jahressumme im Vergleich zu 1891-1930 aufgetreten ist. Das bedeutet, dass die Effekte Niederschlagsverstärkung durch Stau versus geringere durchschnittliche Niederschlagsmengen sich weitgehend aufgehoben haben. Diesem Ergebnis steht die evidente Abnahme in den Lee-Bereichen (BI-Altenhagen) gegenüber, da hier beide Ursachen in dieselbe Richtung zielen (700-750 mm in Periode 1891-1930 gegenüber 669 mm in Periode 1971-1980)

F. Trenduntersuchung der Andauer von Trockentagen und –perioden in der Region

F.1. Großwetterlagen und Klimawandel

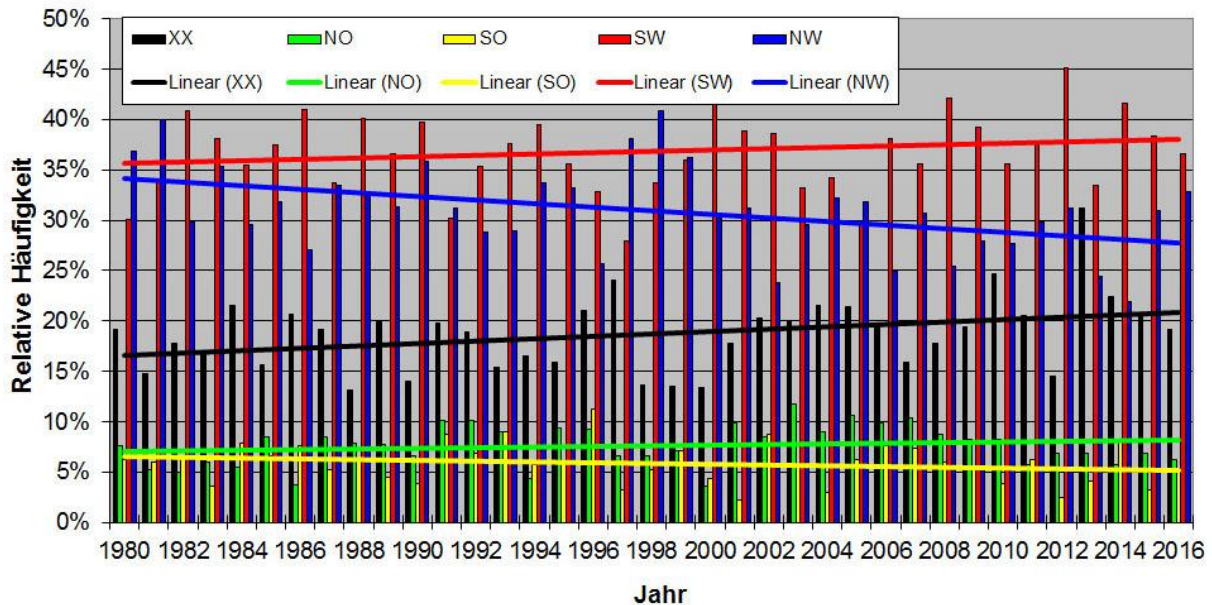
Hintergrund dieser Untersuchung ist die Überlegung, dass sich aufgrund des Klimawandels nicht nur die Niederschlagsereignisse (Stichwort: Starkregen) verändert haben, sondern auch die dazwischen liegenden Trockenperioden an Häufigkeit und Dauer zugenommen haben. Die Trockendauern sind an Hochdruckwetterlagen und damit auch an durch den Klimawandel veränderte Zugbahnen von Hoch- und Tiefdruckgebiete gekoppelt. Diese Koppelung gilt insbesondere für länger anhaltende Perioden.

Hochdruckgebiete überdecken große Räume mit konstanten trockenen Bedingungen, ein entscheidender Vorteil gegenüber der Auswertung von Niederschlagsereignissen als Starkregen, die von Messstation zu Messstation sehr verschieden ausfallen können.

WLK/Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
XX	5	9	10	3	5	5	3	10	3	16	3	3	75
NO	0	5	4	6	0	0	0	1	6	3	0	0	25
SO	0	2	3	0	0	0	0	2	1	3	0	1	12
SW	11	10	4	11	16	11	20	18	14	6	6	14	141
NW	15	3	10	10	10	14	8	0	6	3	21	13	113
A 950 hPa	24	19	20	24	26	25	20	14	20	17	23	30	262
Z 950 hPa	7	10	11	6	5	5	11	17	10	14	7	1	104
A 500 hPa	16	17	19	20	21	20	23	21	10	15	20	27	229
Z 500 hPa	15	12	12	10	10	10	8	10	20	16	10	4	137
trocken	19	26	23	24	22	16	11	11	22	20	14	13	221
feucht	12	3	8	6	9	14	20	20	8	11	16	18	145
Temperatur	1,5	2,9	0,5	0,5	1,6	1,6	1,7	1,2	3,6	-0,5	-0,2	1,4	1,3
Niederschlag	127	158	81	92	95	137	90	59	64	102	86	38	93

Tab.F.1-1: Monatliche Häufigkeiten (in Tagen) für die Anströmrichtungen (XX, NO, SO, SW, NW), die Zyklonalität (A=antizyklonal, Z=zyklonal) in 950 und 500 hPa und die Feuchteklassen (feucht und trocken) im Jahr 2016. Zum Vergleich die Deutschlandflächenmittel-Anomalien der Monatsmitteltemperatur (positive Zahlen: warm, negative: kalt) und die monatliche Niederschlagssumme (in %) als Prozentsatz des Klimamittels 1961-1990 (Quelle:DWD).

Abb.F.1-1: Trends der Häufigkeit der Anströmrichtung der obj. Wetterlagenklassifikation 1980-2016



Einen erkennbar ansteigenden Trend gibt es vorwiegend bei der Anströmrichtung Südwest. Jedoch ist ein klarer Zusammenhang zwischen diesen Witterungsanomalien und den vorherrschenden Wetterlagen nicht immer festzustellen, da Zyklonalität, Anströmrichtung und Feuchte oft gegensätzliche Tendenzen hervorbringen. Ein Klimawandel ist in dieser Funktionalität kaum erkennbar.

Im Weiteren wird nun komplementär zur Untersuchung der Starkregenentwicklung in Kap D.2 die Häufigkeit niederschlagsfreier Zeiträume untersucht.

F.2. Numerische Auswertungen

Es werden die regionalen Tagesdaten eines 67-jährigen Zeitraumes von 1950 – 2016 der Station Bad Salzuflen genutzt. Wegen der relativ großräumigeren Homogenität von Hochdruckgebieten sehen wir diese Daten der Station als repräsentativ für unsere Region an. Untersuchungen über Trockenzeiten sind nicht sehr verbreitet, so dass auch dieser Auswertungsteil experimentellen Charakter trägt.

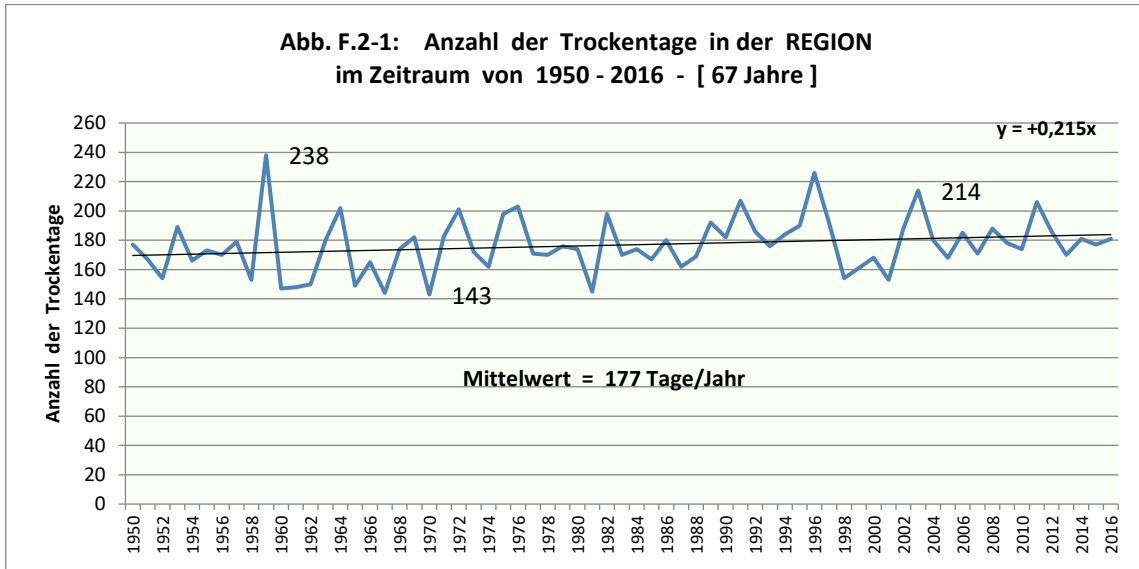
DEFINITION

Alle Tageswerte mit der Angabe „0 mm“ werden hier als Trockentage bezeichnet, obwohl Niederschlag weniger 0,1 mm gefallen sein kann.

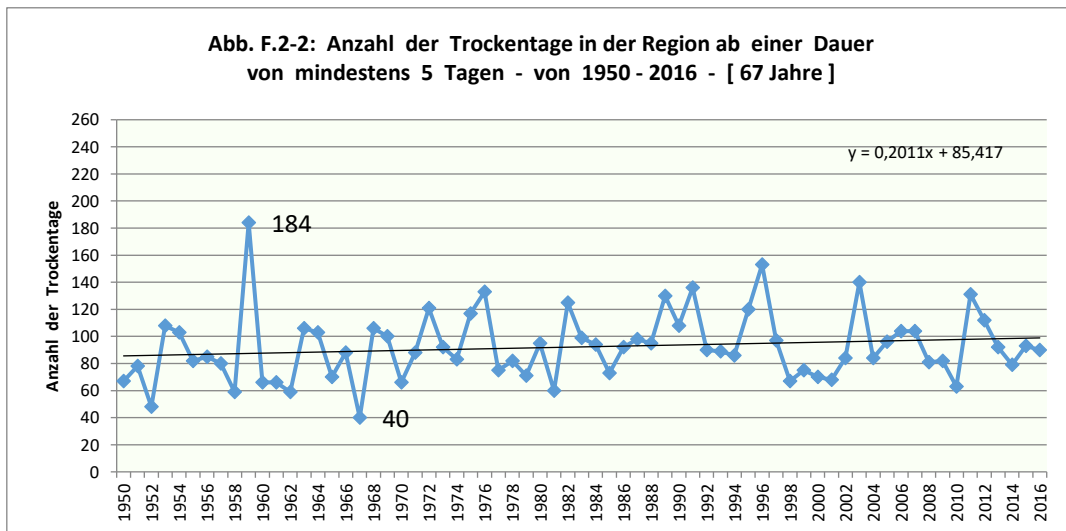
Die Auswertung von Trockentagen kann nach mehreren Kriterien erfolgen. So lassen sich zunächst einmal die Anzahl aller Trockentage für bestimmte Zeiträume auswerten, wie z.B. nach Wasserwirtschaftsjahren, die standardisiert in Winterhalbjahr (November – April) und Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) gegliedert sind. Neben der Erfassung aller Trockentage liegt es nahe, zusammenhängende Zeiträume von Trockentagen nach ihren Dauern und deren jeweiligen Häufigkeiten auszuwerten.

Klimavariationen können sich sowohl durch eine Veränderung der Anzahl an Trockentagen zeigen, als auch durch Veränderungen in den Häufigkeiten unterschiedlicher Dauern. Hierbei muss nicht unbedingt ein kausaler Zusammenhang bestehen. So könnte beispielsweise die Anzahl der einzelnen Trockentage zunehmen, aber die Häufigkeit bestimmter Dauern

konstant bleiben. Diese und weitere unterschiedlichen Möglichkeiten sollen im Folgenden für einen gemessenen 67-jährigen Zeitraum von 1950 – 2016 untersucht werden. Auch der Begriff „Trockenperiode“ ist nicht einheitlich mit einer bestimmten Anzahl von „Trockentagen“ festgelegt, da er u.a. vom Wasserbedarf in einzelnen Bereichen abhängt. Die Trockenperiode wird beeinflusst von den Grundwasser- und Flusspegeln, sowie der unterschiedlich starken Verdunstung im Sommer und Winter. Trockentage sind üblicherweise als Tage mit weniger als 0,1 mm Niederschlag definiert. Episoden mit mehr als 10 Trockentagen kann man einem Trockenheitsindex zuordnen. Im Folgenden werden Trockendauern mit ≥ 5 Tagen ausgewertet.



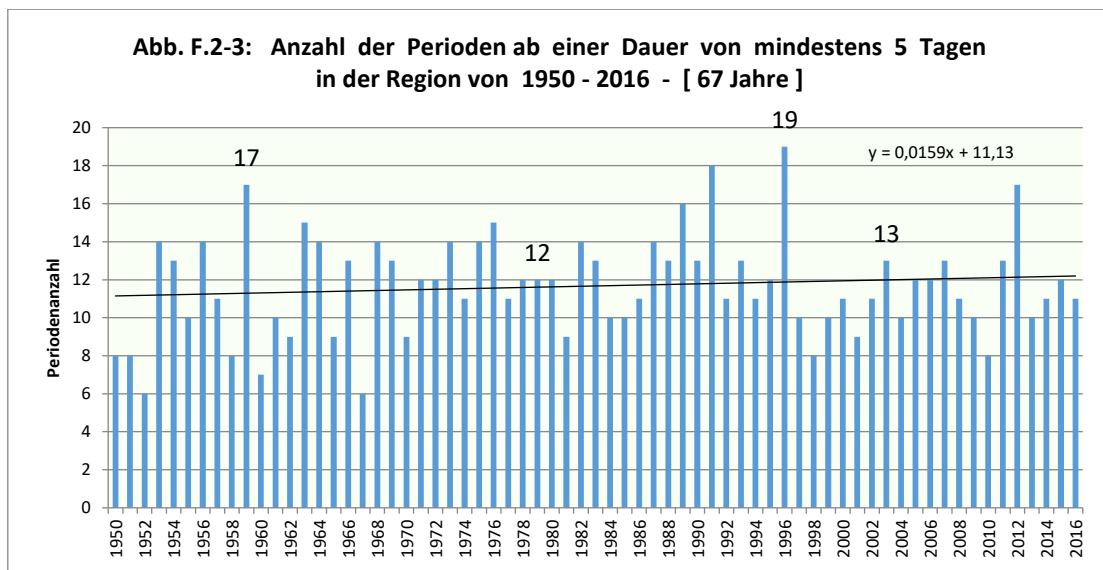
Werden diese 67 Einzeljahreswerte gemittelt, ergibt sich ein Mittelwert von 177 Tagen/Jahr. Das entspricht einem Anteil von rund 49 % in einem Jahr. (D.h. aber nicht, dass die andere Hälfte komplette Regentage von 0-24 Uhr sind, sondern dass es an diesen Tagen irgendwann geregnet hat und sei es nur ein 1-minütiger kräftiger Schauer mit mehr als 0,1 mm.) In **Abb. F.2-1** sind von 1950 – 2016 die Jahressummen der Trockentage dargestellt. Mit 238 solcher Tage gab es 1959 das Maximum und 1970 mit 143 Tagen das Minimum. Die Trendgerade weist einen geringen positiven Wert auf. Auf 10 Jahre umgerechnet zeigen die Messwerte für diesen Zeitraum eine Zunahme von +2,15 Tagen.



In Abb. F.2-2 sind die Trockentage mit Trockenperioden ≥ 5 Tagen aufsummiert worden. D.h. alle Trockendauern mit weniger Trockentagen sind fortgelassen worden. Auch hier weist das Jahr 1959 das Maximum mit 184 Tagen auf. Die geringste Zahl lieferte 1967 mit lediglich 40 Tagen. Zwischen Maximalwert und Minimalwert liegen hiermit bei einem immerhin 67-jährigen Gesamtzeitraum nur 8 Jahre.

Die Trendgerade weist einen ähnlichen positiven Wert auf wie bei allen Trockentagen. Für 10 Jahre gerechnet liegt hier die Zunahme bei rund +2 Tagen, also nur unwesentlich geringer.

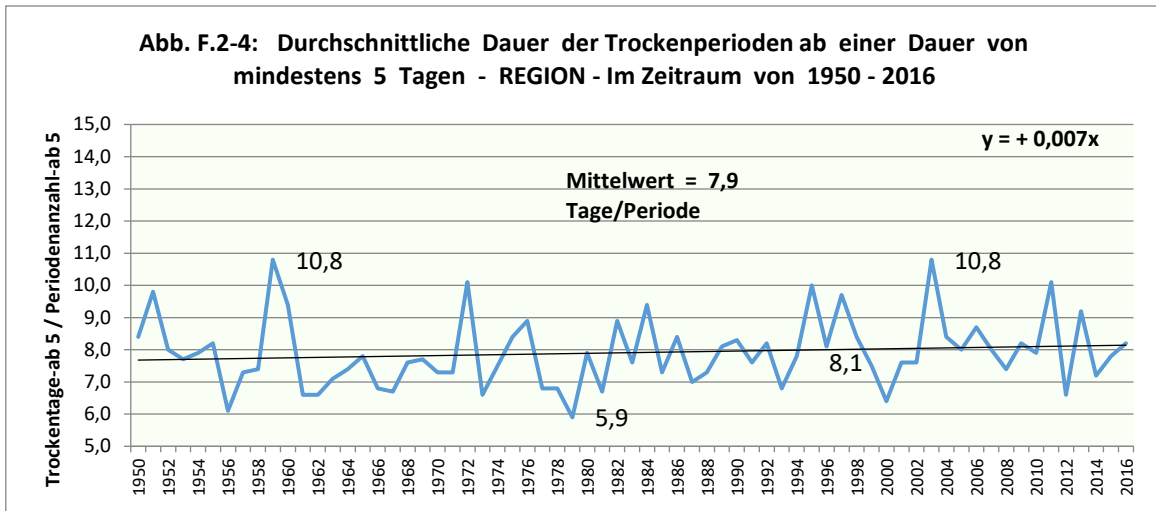
Werden diese 67 Einzeljahreswerte, die den Dauern von mindestens 5 Tagen zugeordnet sind, gemittelt, so ergibt sich ein mittlerer Wert von 92 Tagen/Jahr. Das entspricht einem Anteil von immerhin rund 25 % in einem Jahr.



In Abb.F.2-3 ist im Unterschied zu Abb.F.2-2 nicht die Anzahl der Trockentage angeführt, sondern gezählt sind hier die Trockenheiten mit mindestens 5 Tagen Dauer selbst. Hier nimmt 1959 mit 17 Episoden nicht den ersten Platz ein, sondern das Jahr 1996 mit 19 Episoden. 18 solcher Ereignisse kamen 1991 vor. Für 1959 heißt dies jedoch aufgrund der größeren Zahl an einzelnen Trockentagen, dass die dort aufgetretenen Trockendauern zwangsläufig länger waren als in den Jahren 1991 und 1996.

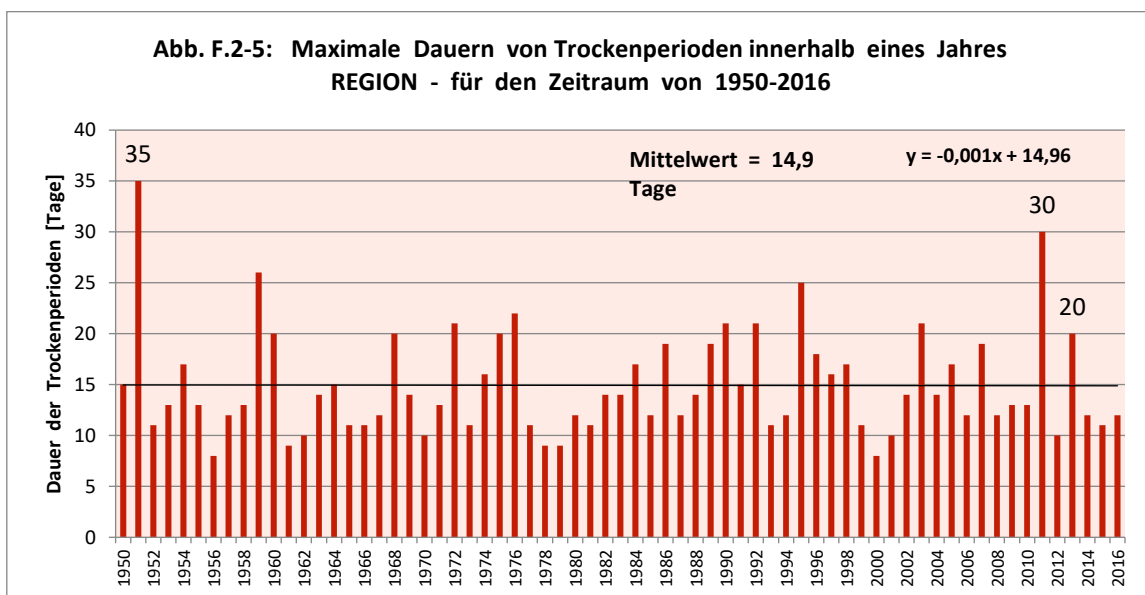
Die Steigungsrelation der Trendgerade in Abb. F.2-3 entspricht den Anstiegen in Abb. F.2-1 und in Abb. F.2-2. In Abb. F.2-3 ist der X-Wert geringer als in Abb. F.2-1 und Abb. F.2-2, da wir es in Abb. F.2-3 lediglich mit einem Wertespielraum von 6 bis 19 zu tun haben. In Abb. F.2-1 beläuft sich hingegen der Wertespielraum von 143 bis 238 (95 Werte) und in Abb.F.2-2 von 40 bis 184 (144 Werte).

Entsprechend ähnlich wie in Abb. F.2-3 verhält es sich in der folgenden Abb. F.2-4 mit einem Wertespielraum von 5,9 bis 10,8 (s.u.).



In **Abb. F.2-4** sind die Durchschnittsdauern pro Periode dargestellt. Hier liegt 1959 wieder vorn mit 10,8 Tagen /Episode, aber zusammen mit dem Jahr 2003. In diesem Jahr 2003 gab es mit 13 Episoden zwar eine geringere Zahl (vgl. Eintrag in **Abb. F.2-3**), aber ihre jeweiligen Dauern erreichten gemeinsam mit 1959 die höchsten Durchschnittswerte. 1996, das Jahr mit der höchsten Periodenzahl von 19 (vgl. **Abb. F.2-3**) zeigt nur eine durchschnittliche Dauer von 8,1 Tagen pro Episode. Das Jahr 1979 mit der kleinsten Dauer von 5,9 Tagen weist im Vergleich mit 2003 mit 12 Episoden nur eine weniger auf.

Für 1979 lässt sich dies meteorologisch dergestalt interpretieren, dass es zwar häufiger niederschlagsfreie Hochdrucklagen gegeben hat, diese aber in größerer Anzahl durch feuchte Phasen unterbrochen wurden. In 2003 hingegen hat es zwar nicht mehr Hochdrucklagen gehabt, aber diese müssen deutlich länger Bestand gehabt haben. Der Gesamtmittelwert dieses Zeitraumes von 1950 – 2016 beläuft sich bei den Dauern auf 7,9 Tage /Periode im Jahr.



In **Abb. F.2-5** ist für jedes Jahr die Anzahl der Tage der längsten Trockenperioden aufgetragen. Gerade solch lange Perioden ohne messbaren Niederschlag sind so gut wie ausschließlich an Hochdruckwetterlagen gekoppelt. Die jüngste Periode mit mindestens 20 Tagen ereignete sich 2013. Zwei Jahre davor im Jahr 2011 gab es mit 30 Tagen, also der

Länge eines vollen Monats entsprechend, den zweithöchsten Wert des gesamten Zeitraumes von 1950-2016. Den Spitzenwert belegt in diesem Zeitraum von 1950-2016 aber das Jahr 1951 mit 35 Tagen.

Der Trend dieser Maximalwerte ist im Gegensatz zu den Ergebnissen in den **Abb.F.2-1 bis F.2-4** weder positiv noch negativ. Der Mittelwert aller dieser jährlichen Spitzenwerte liegt bei de facto 15 Tagen.

2013 dauerte die Periode vom 4.7. bis 23.7. lag also in einem Sommermonat. 2011 ereignete sich die Trockenperiode vom 24.9. bis 24.11., d.h. im Herbst. Auch 1951 trat sie vom 24.9. bis 28.10. im Herbst ein (vgl. auch **Tab. F-1**).

Im Folgenden sollen alle Perioden ab einer Dauer von 20 Tagen daraufhin untersucht werden, in welchen Monaten bzw. Jahreszeiten sie stattfanden und ob sich ein bevorzugter Zeitraum feststellen lässt.

Trockenperioden mit mindestens 20 Tagen Dauer			Anzahl der Tage bei Perioden mit mindestens 20 Tagen Dauer Monatliche Summen 1951-2013	
Jahr	1. Periode	2. Periode		
1951	24.9.-28.10. [35]		Januar	0
1959	23.9.-18.10. [26]	30.8.-20.9. [22]	Februar	0
1960	5.3.-24.3. [20]		März	20
1968	30.11.-19.12.		April	0
1972	28.9.-18.10. [21]		Mai	20
1975	25.7.-13.8. [20]		Juni	11
1976	21.6.-12.7. [22]		Juli	48
1990	6.10.-26.10. [21]		August	52
1992	12.5.-1.6. [21]		September	38
1995	28.7.-21.8. [25]	20.11.-10.12.	Oktober	91
2003	27.7.-16.8. [21]		November	36
2011	26.10.-24.11.[30]		Dezember	29
2013	4.7.-23.7. [20]			

Tab. F-1: Trockenperioden mit mindestens 20 Tagen Dauer und ihre monatliche Verteilung

Wie der **Tab. F-1** zu entnehmen ist, gab es insgesamt 15 Perioden mit mindestens 20 Tagen Dauer. 1959 und 1995 gab es sogar zwei Perioden. Bemerkenswert ist, dass es in den 1980iger Jahren überhaupt keine Periode dieser Länge gab. In den 1990iger Jahren hingegen kam mit 4 Perioden dieser Art die höchste Anzahl vor. Außerdem ist noch festzuhalten, dass 1959 und 1960 und in den 1970iger Jahren in jeweils zwei aufeinander folgenden Jahren (1975,1976) diese langen Perioden auftraten.

Beispielhaft wurden für die Jahre 2011 und 2013 detaillierte Untersuchungen anhand von täglichen Wetterkarten zu der Geschichte der Hochdruckgebiete angestellt, die diese langen Trockenzeiten bewirkten.

Im Oktober 2011 lag zu Beginn dieser Trockenzeit ein kräftiges Hoch namens „Ulla“ über Skandinavien und blockierte vom Atlantik heranziehende Tiefausläufer über Frankreich am Weiterzug nach Deutschland. Hoch „Ulla“ erfuhr zum Oktoberende den Anbau eines neuen Hochs „Viola“.

Vom Eismeer erfolgte am 5.11.2011 ein erneuter Anbau von Hoch „Walli“. Gleichzeitig stieg über dem Ostatlantik der Luftdruck und es entstand die Antizyklone „Xenia“. Diese bildete mit „Walli“ einen ausgedehnten Hochdruckkomplex nördlich von Mitteleuropa. „Xenia“ erwies sich als langlebig und erst am 14.11.2011 übernahm ohne Unterbrechung Folgehoch „Yana“ die niederschlagsfreie Einflussnahme. Ab dem 22.11. vereinigte sich „Yana“ mit dem neuen Hoch „Zoey“. In den nächsten zwei Tagen aber entfernten sie sich beschleunigt nach Osteuropa und machten den Weg frei für die regenbringenden Tiefausläufer des Orkantiefs „Xaver“.

2013 begann das stabile Hochdruckwetter am 4.7. ebenfalls mit einem Hoch „Xena“. (2011 hieß es „Xenia“, wobei nebenbei betrachtet, sich die geringe zur Vergabe stehende Menge an geeigneten Namen mit dem Anfangsbuchstaben „X“ zeigt). Diese Antizyklone etablierte sich mit ihrem Zentrum zunächst über der nördlichen Nordsee. Am 10.7.2013 überquerte von Norden kommend zwar eine Kaltfront des Tiefs „Uz“ die Region, aber ohne messbaren Niederschlag. Vom Atlantik heranziehend erhielt „Xena“ einen Anbau namens „Yasmine“, die sich in der Folgezeit „Xena“ einverleibte.

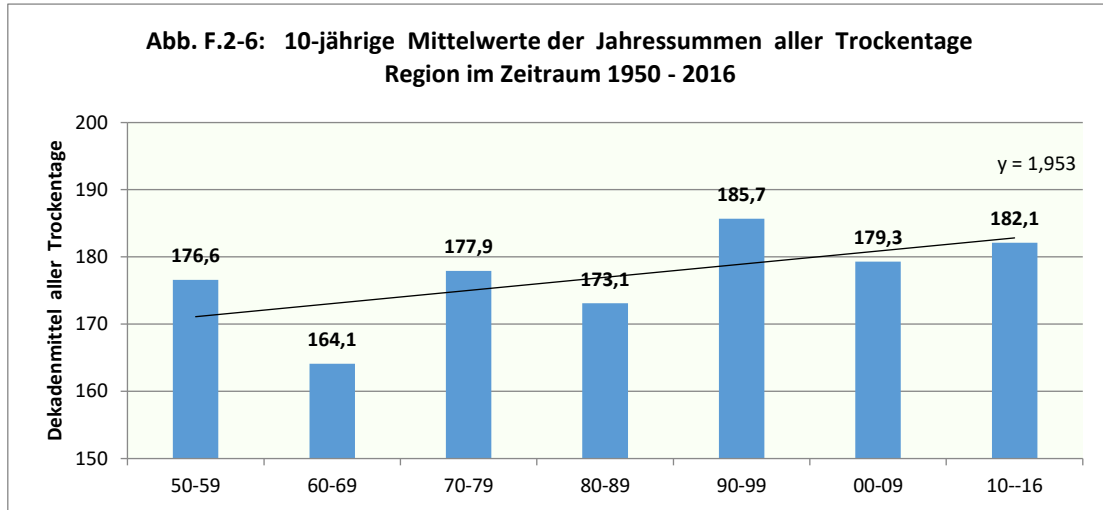
2011 lag der Hochschwerpunkt häufig über Skandinavien, bei diesen beiden Hochs jedoch lagen die Kernbereiche zunächst mehrere Tage über dem östlichen Atlantik, also westlich von uns und nicht wie 2013 nordöstlich. Der typische von „Yasmine“ nach Mitteleuropa gerichtete, auch häufig in der Literatur und Presse erwähnte „Azorenhochkeil“ sorgte hier für niederschlagsfreie Witterung. Die Luftmassen kamen aufgrund dieser Druckverteilung häufig aus nordwestlichen und nördlichen Richtungen, so dass trotz Julimonat die Temperaturen angenehm temperiert waren.

Nach dem 20.7.2013 verlagerte sich „Yasmine“ nach Nordosten zum Europäischen Nordmeer, wobei von Osten nun sehr warme Festlandsluft herantransportiert wurde. „Yasmine“ wurde aber nicht stationär, sondern wanderte unter allmählicher Abschwächung weiter Richtung Nordkap und verlor schließlich ab 24.7. ihren niederschlagsfreien Einfluss auf Mitteleuropa. Dafür machte sich nun von Südwesten Gewittertief „Yohannes“ breit und sorgte für lokale Unwetter.

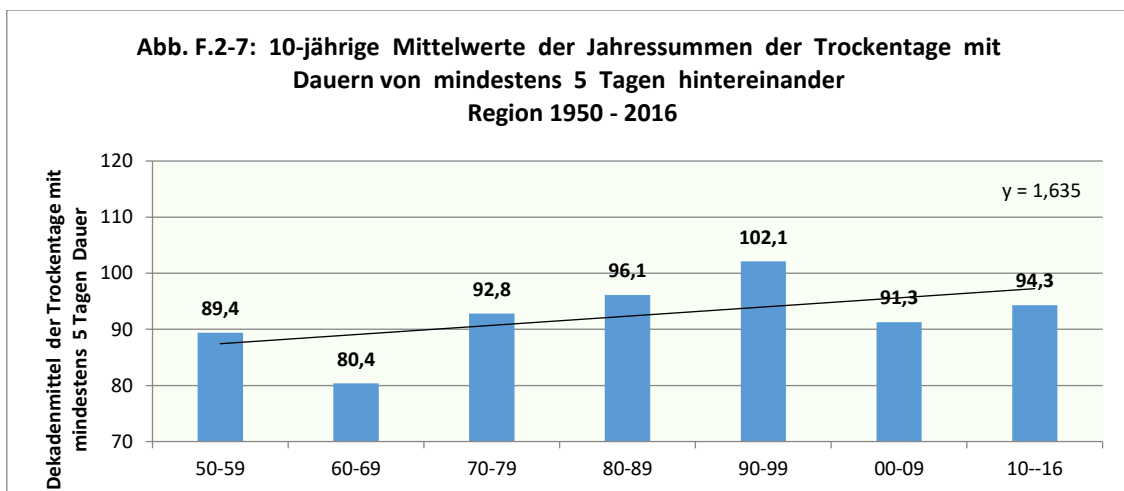
2011 waren es fünf Hochdruckgebiete hintereinander, 2013 hingegen brauchte es nur zwei Hochdruckgebiete, die für eine regenfreie Zeit sorgten.

Werden die einzelnen Tage der Perioden mit mindestens 20 Tagen Dauer aus **Tab. F-1** monatlich aufgezählt, so fällt auf, dass es im Herbst die meisten Tage gibt, die in Verbindung mit solch langen Perioden stehen. Der Oktober nimmt mit 91 Tagen den Spitzenplatz ein. September, Oktober und November zusammen ergeben 165 Tage. An zweiter Stelle folgt der Sommer mit dem höchsten Wert im August (52 Tage). In der Summe ergibt sich für den Sommer eine Anzahl von 111 Tagen.

Zusätzlich lässt sich auch eine Zweiteilung bei den Jahreshälften feststellen. So geschehen lange Trockenperioden wesentlich häufiger in der zweiten Jahreshälfte (Juli - Dezember). Bemerkenswert ist, dass der höchste Wert in der ersten Jahreshälfte (Mai und März jeweils 20 Tage) noch unterhalb des geringsten Wertes in der zweiten Jahreshälfte liegt (Dezember = 29 Tage).



In Abb. F.2-6 sind die 10-jährigen Mittel aller Trockentage eingetragen. Im letzten Mittelwert sind nur 7 Einzelwerte enthalten (2010 – 2016), so dass diese Angabe nur unter Vorbehalt zu betrachten ist. Den höchsten Mittelwert liefern die 1990-iger Jahre und den geringsten Wert die 1960-iger Jahre. Nach der Trendgeraden erfolgte pro Dezennium eine Zunahme von +1,953 Tage, also de facto rund +2 Tage von Dezennium zu Dezennium.



In **Abb. F.2-7** sind im Gegensatz zu **Abb. F.2-6** nur die Tage berücksichtigt worden, die zu Dauern von mindestens 5 Tagen hintereinander gehören. Das ist vor allem der Bereich, der in jedem Fall mit Hochdruckwetterlagen eng gekoppelt ist. Auch hier weisen die 1990-iger Jahre mit 102,1 Trockentagen den höchsten Mittelwert auf und die 1960-iger Jahre den kleinsten Wert mit lediglich 80,4 Trockentagen. Der einzige deutlichere Unterschied zu **Abb. F.2-6** besteht darin, dass es in den 1980-iger Jahren keinen Rückgang des Mittelwertes gegeben hat. Dennoch zeigt die Trendgerade in **Abb. F.2-7** mit +1,636 einen signifikanten Zuwachs an.

FAZIT

In einem neuen Ansatz wurde untersucht, sowohl die Anzahl als auch die Dauer von Trockenperioden zu kategorisieren, um mögliche Zusammenhänge mit sich verändernden Wetterlagenhäufigkeiten statistisch nachweisen zu können.

Eine Mittelung über die 67 Jahre ergibt einen Wert von 177 Trockentagen/Jahr. Das entspricht einem Anteil von rund 49 %. D.h. aber nicht, dass die andere Hälfte komplette Regentage von 0-24 Uhr sind, sondern es kann an diesen Tagen irgendwann geregnet haben und sei es nur in Form eines 1-minütigen kräftigen Schauers mit mehr als 0,1 mm.

Werden diese 67 Jahreswerte, die den Dauern von mindestens 5 Tagen zugeordnet sind, gemittelt, so ergibt sich ein Wert von 92 Tagen/Jahr. Das entspricht einem Anteil von immerhin rund 25 % in einem Jahr. Es wurden regenfreie Dauern bis zu 35 Tagen ermittelt.

Die Untersuchungen lassen erkennen, dass es insbesondere ab den 1970-iger Jahren eine Zunahme einzelner Trockentage gegeben hat. Ebenso ist es zu einem Anstieg an Trockentagen mit mindestens 5 Tagen Dauer gekommen. Dies zeigt sich auch im Vergleich mit den 1980-iger Jahren, während der diese längeren Perioden im Gegensatz zu den Einzeltagen einen weiteren kontinuierlichen Anstieg aufweisen.

Insbesondere die Darstellung der Trockenperioden mit den 5 und mehr Tagen lassen auf eine Zunahme von Hochdruckwetterlagen schließen. Dies wiederum ist ein Nachweis für die Veränderung durch den Klimawandel.

G. Kritische Diskussion der Niederschlagsmodellierung durch KOSTRA am Beispiel der Standorte Bad Salzuflen und Bielefeld-Sudbrack

Als zentralem Element gilt dem Niederschlag bei der Beurteilung des Klimawandels eine besondere Aufmerksamkeit. Auf der Basis von möglichst langjährigen Messreihen müssen Trenduntersuchungen deutliche Hinweise liefern auf eine Zunahme des Regenvolumens oder Änderungen der Niederschlagscharakteristik, wie Starkregenereignisse; Trockenperioden oder Regenandauern. Ein direkter Anwendungsbezug besteht in der Notwendigkeit, angenommene Veränderungen zu antizipieren und sich auch mit technischen Maßnahmen darauf einzustellen. Aus diesem Grund müssen z.B. die Dimensionierungen bei der Stadtentwässerung auf der Grundlage der zu erwartenden Niederschläge berechnet werden. Dies ist in der Praxis nicht unproblematisch, wenn z.B. keine ortsnahe Messreihe vorliegt und trotz erheblicher orografischer Differenzierung auf weiter entfernte Daten zurückgegriffen werden muss.

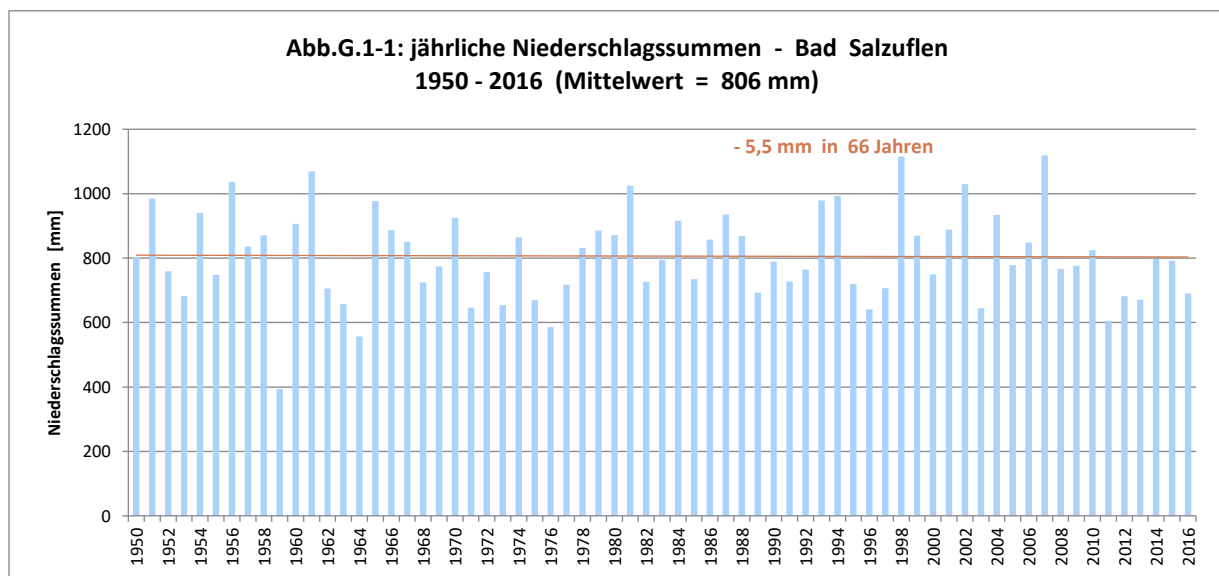
Das vorgeschriebene „KOSTRA“ – Verfahren (**Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen**) ist Grundlage für die Bemessung von wasserwirtschaftlichen Anlagen, bei dem aus den langjährigen Messreihen mit statistischen Methoden die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Starkregenereignissen berechnet werden.

Für die Auswertung werden in der Regel nur die Niederschläge der hydrologischen Sommerhalbjahre, also von Mai bis September herangezogen, weil nur in dieser Zeit Starkregenereignisse zu erwarten sind.

Gleichwohl sollten diese Modellierungsergebnisse immer mit realen Messungen abgeglichen werden, da die Fülle der Einflussparameter nicht immer korrekt abgebildet werden können. Dieser Versuch wird im Folgenden für zwei Standorte unternommen.

G.1 Standort Bad Salzuflen

G.1.1 Niederschlagsdaten



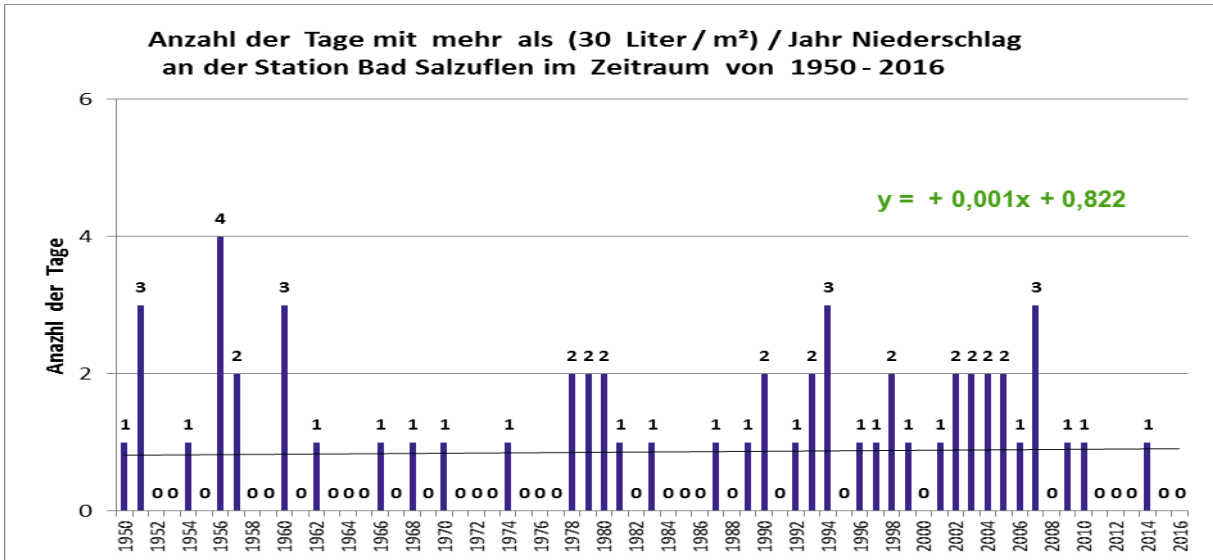


Abb.G.1-2: Tage mit mehr als 30 l / m² / Jahr, 1950-2016

Entsprechend Kap. D.2 wird auch hier eine Grenze von 30 mm als Beschreibung von Starkregen angenommen. Aus der linearen Regression ergibt ein sehr kontantes Verhalten über diesen langen Zeitraum.

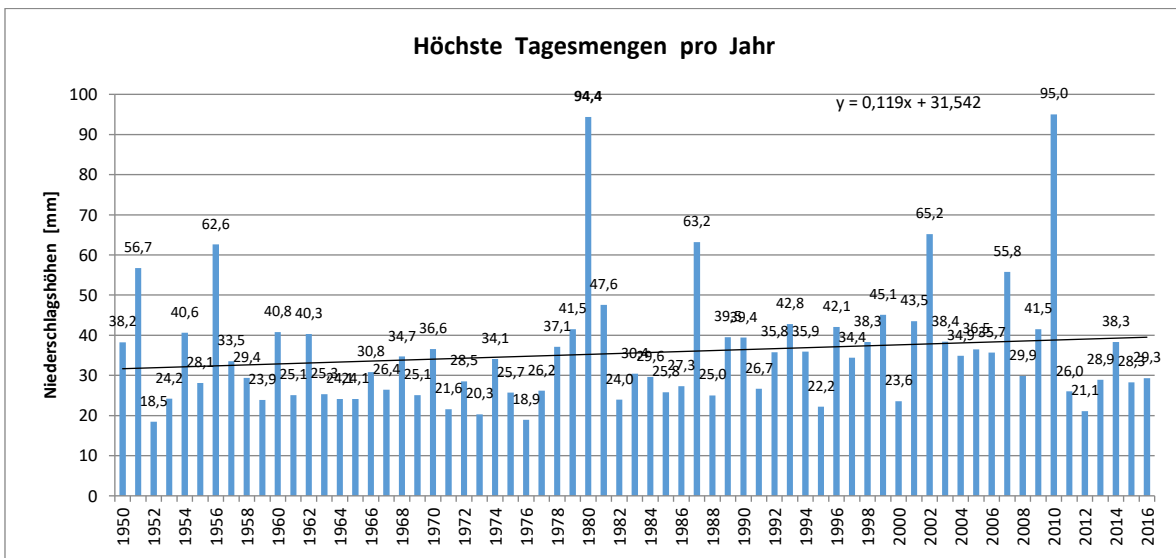


Abb. G.1-3: Größte tägliche Niederschlagshöhe im Jahr (1950-2016)

Wenn auch die Jahresgesamtvolumina und die Anzahl der Tage mit heftigem Regen recht konstant sind, zeigt das jeweils höchste Tagesvolumen pro Jahr einen positiven Trend auf. Bemerkenswert ist auch die starke Spreizung der Einzelwerte zwischen 95,0 und 18,5 mm pro Tag.

G.1.2 Ergebnisse einer KOSTRA-Modellierung

Im Folgenden sind KOSTRA-Modellierungsberechnungen für diesen Messort zwei Zeitabschnitte von 1951 bis 1980 und von 1981 bis 2010 gewählt worden, um Aussagen über die Veränderungen der Starkregenereignissen in diesen Zeitabschnitten treffen zu können. In der Tabelle G.1.2-1 Spalte 1 wird der zu erwartende Schwellenwert von 31,1 mm genannt, der als Tageswert in jedem Jahr auftreten kann. Entsprechend Spalte 6 wird der Wert von 84,9 mm alle 100 Jahre überschritten.

	1	2	3	4	5	6
D [h]; T [a]	24:1	24:2	24:10	24:30	24:50	24: 100
hN [mm]	31,1	39,2	58,0	70,8	76,8	84,9

Tabelle G.1.2-1 : Starkniederschlagshöhen laut KOSTRA-DWD in Abhängigkeit von Dauerstufe D und Wiederkehrintervallen T für den Standort Bad Salzuflen (Mai bis September 1951 - 1980)

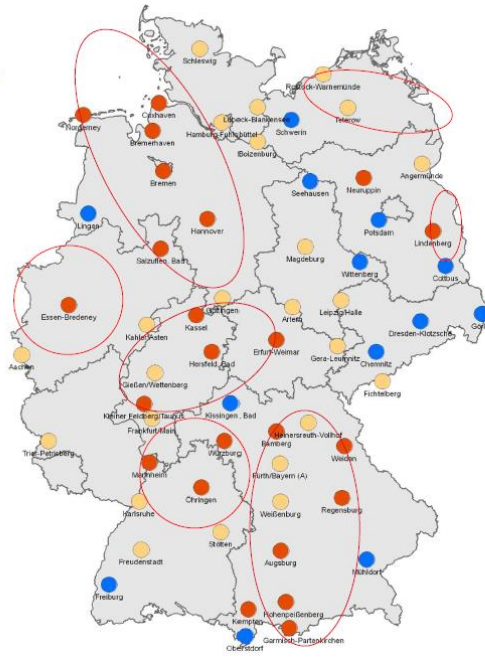
	1	2	3	4	5	6
D [min]; T [a]	24:1	24:2	24:10	24:30	24:50	24: 100
hN [mm]	32,4	40,0	57,7	69,7	75,3	82,9

Tabelle G.1.2-2: Starkniederschlagshöhen laut KOSTRA-DWD in Abhängigkeit von Dauerstufe D und Wiederkehrintervallen T für den Standort Bad Salzuflen (Mai bis September 1981 - 2010)

	1	2	3	4	5	6
D [min]; T [a]	24:1	24:2	24:10	24:30	24:50	24: 100
hN [mm](51-80)	31,1	39,2	58,0	70,8	76,8	84,9
hN [mm] (81-10)	32,4	40,0	57,7	69,7	75,3	82,9
Differenz absolut	1,3	0,8	-0,3	-1,0	-1,5	-2,0
Differenz prozentual	4,2	2,0	-0,5	-1,4	-2,0	-2,4

Tabelle G.1.2-3: Differenz der berechneten Starkniederschlagshöhen 1951 bis 1980 und 1981 bis 2010

Im Ergebnis weisen die Modellrechnungen eine Zunahme der Niederschlagshöhe bei Starkregen in den kurzen Wiederkehrzeiten – insbesondere bei einjähriger Wiederkehrzeit - und eine deutliche Abnahme bei den höheren Wiederkehrzeiten auf. Daraus lässt sich kein einheitlicher Trend ermitteln.



Starkniederschlagshöhen
D = 15 min, T = 100 a

1951-1980 vs. 1981-2010

Abnahme

Leichte Zunahme

Zunahme (> 20 %)

Abb.G.1-4: Veränderung der Starkniederschlagshöhen von 1951-1980 zu 1981-2010

Im Gegensatz dazu wird in einer älteren DWD-Veröffentlichung von KOSTRA-Daten zu einem Vergleich derselben Zeitabschnitte für das Gebiet Bad Salzufflen eine Zunahme von >20 % bei einer Dauerstufe von 15 min und Wiederkehrzeit von 100 Jahren beschrieben (siehe Klimareport 2015). Wenn auch diese Aussage sich nicht auf Tageswerte sondern auf 15 min Werte bezieht, wird doch ein deutlicher Widerspruch unübersehbar, so dass die Beurteilung von Trends von Starkregenereignissen nur vorsichtig zu erfolgen hat und weitere methodische Verbesserungen dringend erforderlich sind. Die Notwendigkeit eines Rückgriffs auf Messdaten als Korrektiv für Modellrechnungen zeigt sich auch an diesem Beispiel.

Auch aus der neuen Starkregenänderungskarte des Climate Service Center mit Darstellung der Veränderungen bis ca. 2050 kann man eine deutliche Zunahme der Tage mit Starkregen ablesen. Problematisch ist die immer noch geringe räumliche Auflösung.

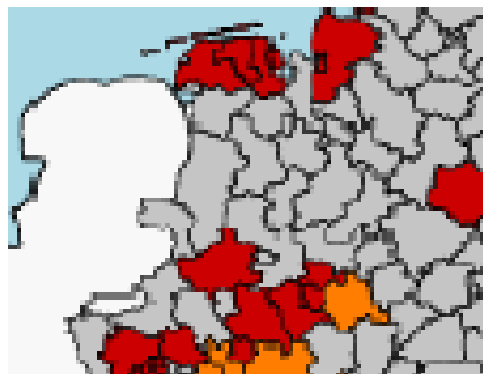


Abb.G.1-5: Zunahme der Tage mit Starkregen (>25mm/Tag) von 2036 bis 2065.
(rot: >30%, grau: keine Änderung)

G.1.3 Vergleich der KOSTRA –Modellierung mit den Messdaten

Aus **Abb.G.1-3** wird deutlich, dass die Betrachtung kurzer Zeiträume zu unvollständigen Ergebnissen führen muss. So finden wir in den Messdaten von 1950 bis 2016 einen Tagesniederschlag im Jahr 1980 von **94,4 mm/d** und im Jahr 2010 von **95,0 mm/d**. Solche Niederschlagshöhen tauchen in den KOSTRA-Berechnungen nicht einmal für die Wiederkehrzeit 100 Jahre auf. **Die Modellierung nach KOSTRA-DWD gibt hier nicht die real möglichen und auch erfolgten Niederschlagsmaxima wieder !**

G.2 Standort Bielefeld-Sudbrack

Eine sehr lange Messreihe ist am Standort Bielefeld-Sudbrack erhoben worden. Eine aus drei Messperioden zusammengefügte, anerkannte Reihe umfasst Daten vom 1.1.1960 bis 1.1.2012.

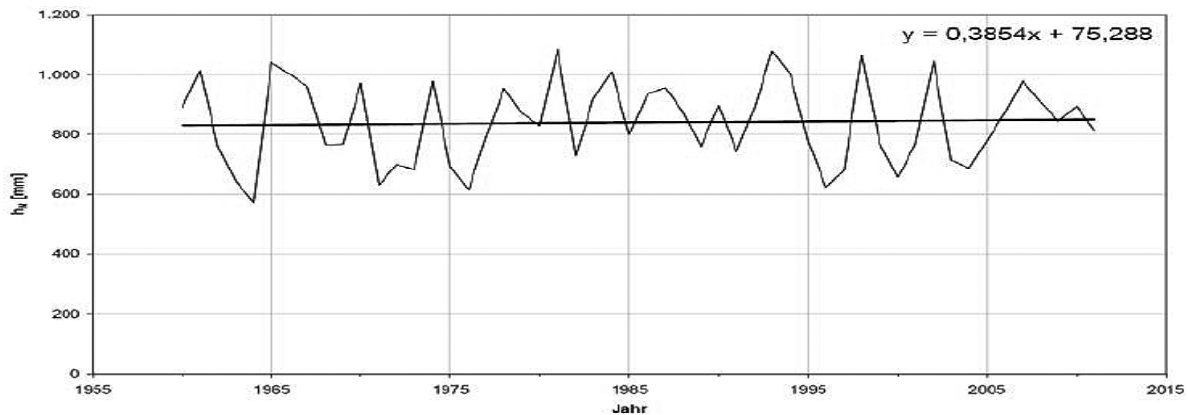


Abb.G.2-1 : Jahressummen des Niederschlags an der Station Bielefeld-Sudbrack (1960-2011)

Im Unterschied zu **Abb.G.1-1** wird am Messort Bielefeld-Sudbrack ein leichter positiver Trend festgestellt. Bei einer ausführlicheren Darstellung werden im Folgenden unterschiedliche Trendrichtungen dokumentiert.

Niederschlagssummen	Veränderung von h_N [mm/a]	Durchschnitt [mm]	Veränderung von h_N [%/a]
Jahr	0,39	840,4	0,05
Winterhalbjahr	1,12	427,2	0,26
Sommerhalbjahr	-0,74	412,9	-0,18
Februar	0,49	56,7	0,86
März	0,31	67,7	0,46
April	-0,60	53,3	-1,13
Mai	-0,11	66,9	-0,16
Juni	-0,45	67,5	-0,67
Juli	-0,26	73,5	-0,35
August	0,37	77,4	0,48
September	0,31	74,2	0,42
Oktober	0,38	66,8	0,57
November	-0,17	73,7	-0,23

Tab. G.2-1: aus Trendgeraden ermittelter jährlicher Anstieg des Niederschlags h_N
 Aufgrund von Datenlücken wurden die Monate Dezember und Januar nicht ausgewertet.

Dauerstufe	1960-1971 [mm]	Zunahme [%]	1972-2003 [mm]	Zunahme [%]	2004-2011 [mm]
5 Minuten	5,8	0,8	5,8	28,8	7,5
1 Tag	34,7	15,3	40,0	-5,4%	37,9

Tab.G.2-2: Mittelwerte der Niederschlagshöhen für die Dauerstufen 5 min und 1 d für drei Messperioden und ihre relative Zunahme

Die **Tab.G.2-2** zeigt eine hochaufgelöste Analyse, die die drei Messreihen weiter auflöst in 5 min Werte und Tageswerte. Wenn auch die durchschnittlichen Tagesmengen von der ersten zur zweiten Reihe zunehmen, dreht sich der Trend zu einer leichten Abnahme. Anders verhalten sich dagegen die 5 min Werte; hier gibt es eine deutliche Zunahme von der zweiten zur dritten Messreihe. Leider stehen bisher keine aktuelleren Daten zur Verfügung.

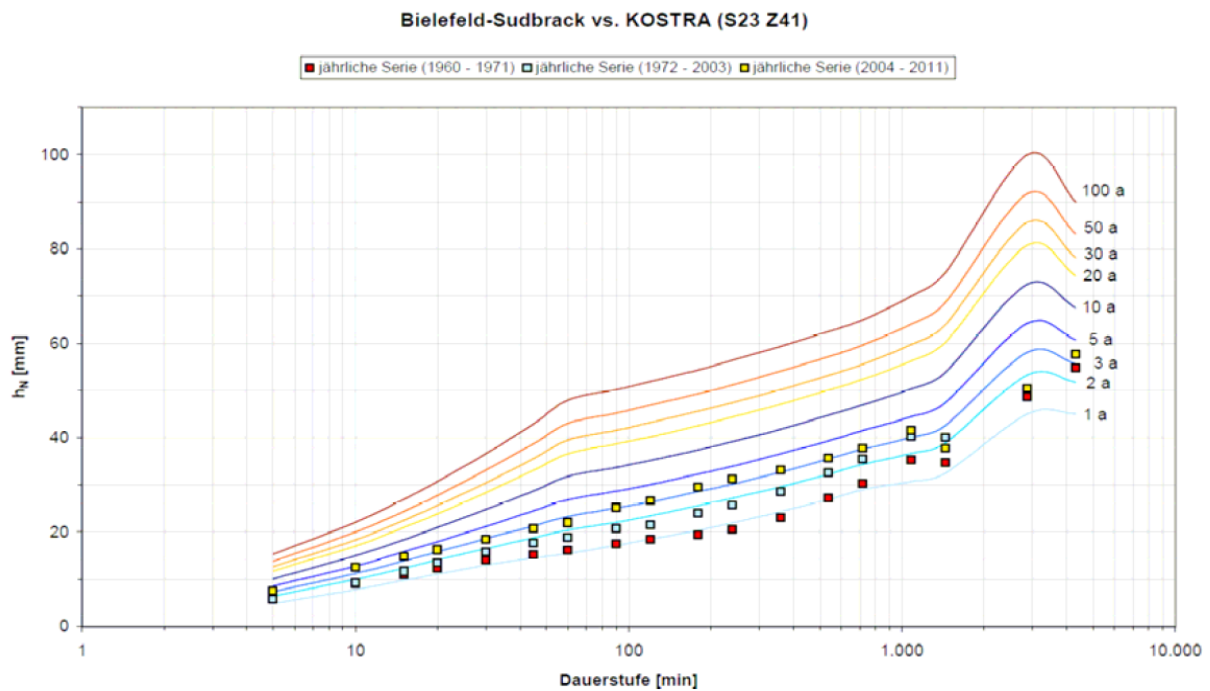


Abb.G.2-2 : Niederschlagshöhen gegen Dauerstufen nach KOSTRA-DWD 2000 für die Station Bielefeld-Sudbrack, getrennt für die Zeiträume 1960-1971(rot), 1972-2003 (blau) und 2004-2011 (orange), für Wiederkehrintervalle 1a bis 100a Messerien (Dr.Pecher AG)

In der komplexen **Abb.G.2-2** werden die in den drei Zeiträumen gemessenen Mittelwerte verglichen mit den aus dem KOSTRA-Starkregenkatalog - Rasterfeld Spalte 23, Zeile 41 – erhaltenen Niederschlägen. Die gemessenen Werte liegen insgesamt in den Wiederkehrwahrscheinlichkeiten von 2 bis 3 Jahre. Damit ergibt die KOSTRA-Modellierung in allen Dauerstufen im Vergleich zu den Messwerten stark überhöhte Niederschlagswerte. Aufgrund der Widersprüchlichkeit bleibt die Frage offen, ob „belastbare Aussagen zur zukünftigen Entwicklung grundsätzlich mit Hilfe des KOSTRA Modells möglich sind“ (Pecher AG).

H. Literaturangaben

- Bartels, H.et al. KOSTRA-DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000), Offenbach, 2005
- Becker, Paul et.al. Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung, DWD, 2016
- Becker, A. et al. Erste hydro-klimatologische Einordnung der Starkregen und Dauerregen in Deutschland zum Ende eines sehr nassen Juli 2017, DWD, Offenbach, 2017
- Böhm, Uwe Starkniederschlagshöhen hN und –spende RN KOSTRA-DWD... für den Standort Bad Salzuflen, Berlin, 2017
- Biermann,K. Wittig,R. Gewässerkunde Senne, Jahresbericht 2016, Detmold, 2017
- Brauch, J. et al. Klimavorhersagen und Klimaprojektionen DWD, Zentrales Klimabüro, Offenbach 2017
- Climate Service Center Machbarkeitsstudie „Starkregenrisiko 2050“ Geesthacht, 2018
- Friedrich,K. et al Klimastatusbericht 2016, DWD Offenbach 2017
- Imbery,F. et al Klimatologischer Rückblick 2017, DWD Offenbach 2018
- Ihringer, J.et al. KOSTRA_DWD-2010, Bewertung im Hinblick auf die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis, KIT Karlsruhe, 2016
- Langstädler,G. Einstieg in das Messdatenmanagementsystem AuqaZIS, Aachen, 2017
- LANUV Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW, Abschlussbericht, Recklinghausen, 2010
- LANUV Fachbeitrag Klima für die Planungsregion Detmold Recklinghausen, 2018
- Lenderink,G. et al Super-Clausius-Clapeyron Scaling of Extremely Huorly Convective Precipitation, AMS 2017
- Malitz, G.et al. KOSTRA-DWD-2010 Starkniederschlagshöhen für Deutschland Abschlussbericht, Offenbach, 2015
- Malitz, G.et al. KOSTRA-DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland Offenbach, 2014
- Malitz, G. Veränderung der Starkniederschläge in Deutschland, DWD Berlin 2013
- Murawski, A.et.al. High spatial and temporal organization of changes in precipitation over Germany for 1951 – 2008 International Journal of Climatoölogy, 2016
- Murawski, A.et.al. Can local climate variability be explained by weather patterns ? A multi-station evaluation für the Rhine basin, Hydrol.Earth Syst.Sci., 2016
- Dr.Pecher AG Statistische Auswertung von Niederschlagsdaten der Regen-Station Bielefeld-Sudbrack vor dem Hintergrund des Klimawandels Stadt Bielefeld, 2012
- Rauthe, M.et al. Starkniederschlag, Offenbach 2013

- Schmitt, T. Ortsbezogene Regenhöhen im Starkregenindexkonzept SRI12 zum Anwendungskontext Risikokommunikation in DWA-M 119 Korr. Abwasser, 2016
- Stemplewski, J.et.al. Das Projekt „Stark gegen Starkregen“ Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2015
- Stockhausen,B. et al Statistische Modellierung von Niederschlagsdaten und ihre Anwendung auf die Extremwertstatistik in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen. DKT 2015
- Weisswange, T. Kritische Konnotationen zur Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland, Bielefeld, 2017
- WETRAX Auswirkungen des Klimawandels auf großflächige Niederschlags-Ereignisse, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016
- Ziese,M.et al. Andauernde Großwetterlage Tief Mitteleuropa entfaltet ihr Unwetterpotential, DWD, Offenbach 2016
- Zimmermann,K. Objektive Wetterlagenklassen, Klimastatusbericht 2016, Offenbach 2016
-

Auswahl von Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe „Stadtklima Bielefeld“

- Langjähriges Niederschlagsmittel – Trendermittlung für ein über das Stadtgebiet von Bielefeld summierendes Niederschlagsmittel, Bielefeld Gesellschaft zur Förderung des Forschungs- und Technologietransfers in der Universität Bielefeld, Bielefeld 2006
- Witterungsbericht 2007 für die Region Bielefeld und Berechnung eines Niederschlags-trends, Bielefeld 2008
- Witterungsbericht 2008 für die Region Bielefeld und Entwicklung einer Klima-projektion, Bielefeld 2009
- Witterungsbericht 2009 für die Region Bielefeld und stadtklimatische Anpassungs-strategien, Bielefeld 2010
- Witterungsbericht 2011 für die Region Bielefeld, Perspektiven der Klimaentwicklung aus langjährigen Messreihen, Bi-2000Plus, Bielefeld 2012
- Innerstädtische Wärmeinseln: Zustand und Perspektiven, Infrarot-Satellitenauf-nahmen und Extrapolationen bis 2100, Bi-2000Plus, Bielefeld 2012
- Klimareport 2012 für die Region Bielefeld, Die regionalen Klimate unter dem Einfluss des Klimawandels und die Auswirkungen auf die Jahreszeiten, Bielefeld 2013
- Klimareport 2014–2015 für die Region Bielefeld, Änderung der Starkregenverteilung aufgrund des Klimawandels, Bielefeld 2016