

Stadtklima Bielefeld

—

Klimareport für 2014 und 2015

**Änderung der Starkregenverteilung
aufgrund 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*)
Şenol Keser, M.A.
(*Universität Bielefeld, Bielefeld 2000plus*)

**Veröffentlichung Nr. 60
November 2016**

Stadtklima Bielefeld

—

Klimareport für 2014 und 2015

**Änderung der Starkregenverteilung
aufgrund 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*)
Şenol Keser, M.A.
(*Universität Bielefeld, Bielefeld 2000plus*)

**Veröffentlichung Nr. 60
November 2016**

Kontakt: Bielefeld 2000plus
Geschäftsstelle
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Universität Bielefeld
Universitätsstr. 25
33615 Bielefeld
Tel.: 106 - 48 74
Fax: 106 - 64 25
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, November 2016

Prof. Dr. R. Decker (Universität Bielefeld)

Ş. Keser (Bielefeld 2000plus)

STADTKLIMA BIELEFELD

Klimareport für 2014 und 2015



**Änderung der Starkregenverteilung
aufgrund des Klimawandels**

Gesellschaft zur Förderung des Forschungs-
und Technologietransfers in der
Universität Bielefeld e.V.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Einleitung mit den Jahresübersichten 2014 und 2015	1
B. Detaillierte meteorologische Jahresberichte 2014 und 2015	5
B.1 Region Bielefeld	5
B.2 Region Bielefeld im Vergleich mit Deutschland	10
C. Vergleichender Einfluss des Klimawandels auf regionale und deutschlandweite Parameter innerhalb der letzten 20 Jahre	19
C.1 Temperatur	19
C.1.1 Jahreswerte	19
C.1.2 Jahreszeiten	23
C.2 Niederschlag	31
C.2.1 Jahreswerte	32
C.2.2 Jahreszeiten	35
D. Gleitende 10-Jahres-Mittelwerte zur Entwicklung des Niederschlags in der Region Bielefeld im Vergleich mit Deutschland – ab 1995	45
D.1 Jahreswerte	46
D.2 Jahreszeiten	47
E. Starkregencharakteristik im Einflussgebiet des Teutoburger Waldes in einer zeitlich hochaufgelösten Analyse	52
E.1 Problembezogene Starkregenbeschreibungen	52
E.2 Starkregen und Wetterlagen	56
E.3 Starkregen und Orografie	60
F. Literaturangaben	68

Bearbeitet von:

Dr. R. Böttner

Dr. R. Fischer

Dipl.-Met. D. Kuhr

2016

Titelfoto: Neue Westfälische

A. Einleitung mit den Jahresübersichten 2014 und 2015

Neben der Fortsetzung der systematischen Analyse der stadtklimatischen Situation von Bielefeld widmet sich dieser Bericht in besonderem Maße dem Phänomen Starkregen, sowohl den definitorischen Rahmenbedingungen als auch Ansätzen zu statistisch gestützten lokalklimatischen Aussagen.

Der Bericht gliedert sich in vier Teile, wobei im ersten Teil (Kap. A) zunächst das Jahr in seiner Gesamtheit charakterisiert wird. Die Aussagen beziehen sich durchweg auf die Hauptmessgrößen Temperatur, Niederschlagshöhe und Sonnenscheindauer. Durch diese Messwerte wird der Klimawandel in der Region verdeutlicht, der sich in abgeschwächter Form in Zukunft wohl auch fortsetzen wird.

Bei einem weiteren ‚UN-Klimagipfel‘ in Paris im Dezember 2015 und der Unterzeichnung bei den Vereinten Nationen im April 2016 wurde nun als verbindliches Ziel formuliert, eine solche Reduktion des CO₂ Ausstoßes zu erreichen, dass die Erwärmung auf 2°C – und möglichst sogar auf 1,5°C – als langjähriger, globaler Wert begrenzt bleibt. Dabei ist der Anstieg der CO₂ Konzentration von 280 ppm schon um 140 % auf 400 ppm angestiegen. Um nach den Berechnungen des IPCC unter dem Anstieg von 2°C zu bleiben, dürfte die CO₂ Konzentration nicht weiter steigen – eine gewagte Annahme.

Im zweiten umfangreicheren Teil (Kap. B) werden zunächst die regionalen Monatswerte von 2014 und 2015 den langjährigen Mittelwerten gegenübergestellt. Danach wird zu den Witterungsverläufen der Monate Stellung genommen, sowie die Daten in einem Vergleich Deutschland – Region gegenübergestellt.

Die Ausprägung von Regionalklimaten erfährt vermehrtes Interesse in der Meteorologie, insbesondere nachdem die Regionalisierung von Klimaszenarien aus Modellierungen zunehmend an Glaubwürdigkeit einbüßt hat. H. Graßl: „Auf diesem Gebiet macht die Klimatologie erste Gehversuche“. Daher halten wir die Fortschreibung solcher Auswertungen von Messwerten zum regionalen Klimawandel in Kapitel C für unverzichtbar.

Zum Schwerpunkt Niederschlag wird im Kapitel D eine umfassende Analyse durch Bildung und Vergleiche von langjährigen Mittelwerten zu Jahres- und Jahreszeiten erstellt. Indem hier gleitende 10-Jahresmittel gebildet werden, führt ein methodisch neuer Zugang zur kritischen Überprüfung der Auswertung von Jahreszeit-Einzelwerten.

Dies setzt sich in Kapitel E fort, indem erstmals ein Ansatz vorgestellt wird, der eine zeitlich hochaufgelöste statistische Auswertung der Starkregenereignisse aus lokal verfügbaren Niederschlagsdaten vorschlägt mit dem Ziel, eine lokal differierende Niederschlagscharakteristik nachzuweisen, die in ihrer Anwendung auf stadtplanerische Entscheidungen zu einer erhöhten Resilienz gegenüber extremen Phänomenen führen kann.

Nun erlaubt das Titelfoto einer historischen Überflutungssituation vielfältige Anknüpfungen, indem sich solche Ereignisse recht spontan vollziehen, sie erhebliche Schäden verursachen, selten sind und sich oft räumlich eng begrenzt ereignen. Gegenstand vielfältiger Untersuchungen ist nun die Frage nach einer zunehmenden Häufigkeit des verursachenden Starkregens. Dabei ist vor allem der Zeitrahmen der zugrunde liegenden Auswertestatistik von entscheidender Bedeutung für die Zuordnung zu einer Trendaussage. Hier gehen die Anforderungen bis zu einem Zeitrahmen von 100 Jahren, wobei die Konsistenz von empirischen Erhebungen über so lange Zeiträume nicht immer klar ist.

So lässt sich nicht jedes Phänomen, wie Erdbeben, Hitzewellen, Infektionskrankheiten usw. durch den Klimawandel erklären.

Insgesamt zeigt sich in der aktuellen, sehr medienorientierten Zeit, dass Aussagen zu Klimaphänomenen nicht zu sehr dem schnellen subjektiven Eindruck folgen sollten, sondern auf der Grundlage von langjährigen, naturwissenschaftlich begründeten Messreihen zu erfolgen haben.

In diesem Sinne wird die Schriftenreihe zur Stadtklimatologie von Bielefeld fortgesetzt zuerst mit dem 2-jährigen Überblick über die gängigen Parameter und ersten Ansätzen zur Charakterisierung der Starkregenereignisse im lokalen Maßstab.

Messgröße	Region	Deutschland
Temperatur	+9,0°C	+8,2°C
Niederschlag	757 Liter /m ²	789 Liter /m ²
Sonnenscheindauer	1521 Stunden	1528 Stunden

Tabelle A-1: Langjährige Mittelwerte aus der klimatologischen Referenzperiode von 1961-1990 [30 Jahre, Clino-Wert] für Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer

Das Jahr 2014:

Messgröße	Region Bielefeld 2014		Deutschland 2014	
	Wert 2014	Abweichung vom langjährigen Mittel	Wert 2014	Abweichung vom langjährigen Mittel
Temperatur	+11,1°C	+2,1°C	+10,3°C	+2,1°C
Niederschlag	692 Liter / m ²	- 65 Liter / m ²	729 Liter / m ²	- 60 Liter / m ²
Sonnenschein	1502 Stunden	-19 Stunden	1600 Stunden	+72 Stunden

Tabelle A-2: Jahresmittelwerte für Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein im Jahr 2014 – Die regionalen Ergebnisse im Vergleich mit den Gebietsmittelwerten für Deutschland

Für das Jahr 2014 gelten bezüglich Region und Deutschland die Aussagen:

- [A] 2014 war erheblich zu warm – gleichwertig in der Region wie in Deutschland
In Deutschland war es sogar das wärmste Jahr seit 1881, dem Beginn regelmäßiger Temperaturmessungen
- [B] 2014 war etwas zu trocken – regional knapp -9 %, in Deutschland knapp -8 %
- [C] 2014 schien in der Region die Sonne geringfügig zu wenig (-1,2 %) in Deutschland hingegen gab es einen Überschuss von knapp +5 %

Das Jahr 2015:

	Region Bielefeld 2015		Deutschland 2015	
Messgröße	Wert 2015	Abweichung vom langjährigen Mittel	Wert 2015	Abweichung vom langjährigen Mittel
Temperatur	+10,5°C	+1,5°C	+ 9,9°C	+1,7°C
Niederschlag	781 Liter / m ²	+24 Liter / m ²	688 Liter / m ²	-101 Liter / m ²
Sonnenschein	1606 Stunden	+85 Stunden	1723 Stunden	+195 Stunden

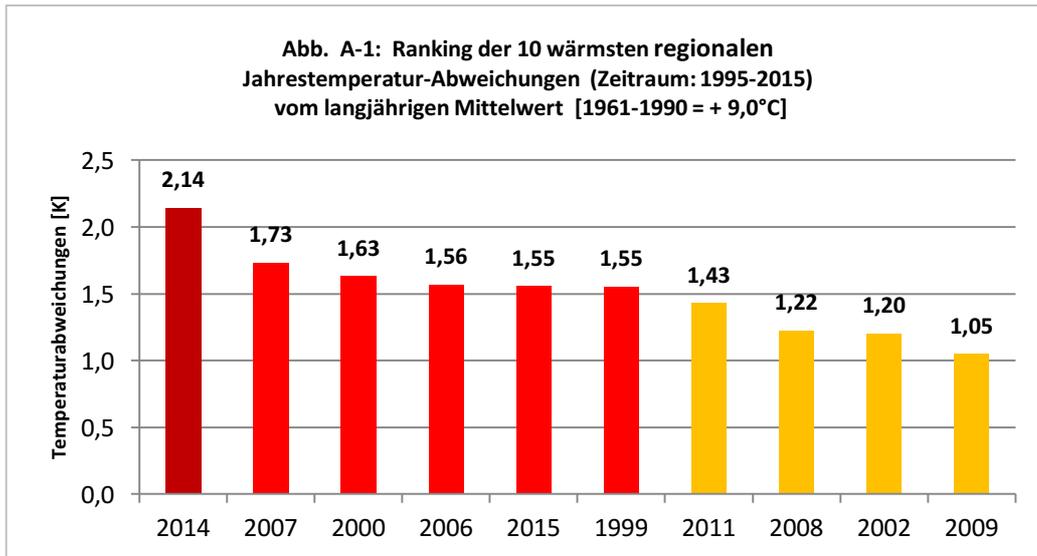
Tabelle A-3: Jahresmittelwerte für Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein im Jahr 2015 – Die regionalen Ergebnisse im Vergleich mit den Gebietsmittelwerten für Deutschland

Für das Jahr 2015 gelten bezüglich Region und Deutschland die Aussagen:

- [A] 2015 war zu warm – in der Region geringfügig weniger als in Deutschland
- [B] 2015 war regional mit +3 % etwas zu nass, in Deutschland hingegen war es deutlich zu trocken mit einem Defizit von rund -13 %
- [C] 2015 gab es beim Sonnenschein regional einen Überschuss von knapp +6 % und in Deutschland sogar einen Überschuss von knapp +13 %

Die Besonderheiten der Jahre 2014 und 2015 lassen sich aus dem Ranking der Abweichungen der Jahrestemperaturen entnehmen. Das Jahr 2014 ist in beiden Rankings an erster Stelle und 2015 an vorderer Stelle.

2015 lag Deutschland an zweiter Stelle, regional nur an fünfter Stelle. Das lag an einem ausgeprägten Temperaturgefälle von Norden nach Süden während der Sommermonate in Deutschland.



In Abbildung A-1 und A-2 sind die 10 größten positiven Jahrestemperatur-Abweichungen für die Region und für Deutschland eingetragen. Ein grundlegender Unterschied dieser beiden Darstellungen ist die Anzahl der berücksichtigten Jahre. So stehen regional zur Auswahl die Jahre von 1995 bis 2015. Für Deutschland kann auf einen deutlich größeren Zeitraum von 1881 bis 2015 zurückgegriffen werden, dem Beginn regelmäßiger Messungen. Trotz dieser stark differierenden Perioden gibt es in der DWD-Darstellung gegenüber der regionalen Darstellung nur zwei weitere Jahre in diesem Ranking, nämlich 1994 und 1934. Das zeigt an, dass es seit den 1990er Jahren tatsächlich im Durchschnitt wärmer geworden ist. Bei einer Konstanz der Temperaturen müsste ja in der DWD-Darstellung ungefähr ein Wert pro Jahrzehnt auftreten. Dies ist aber nicht der Fall.

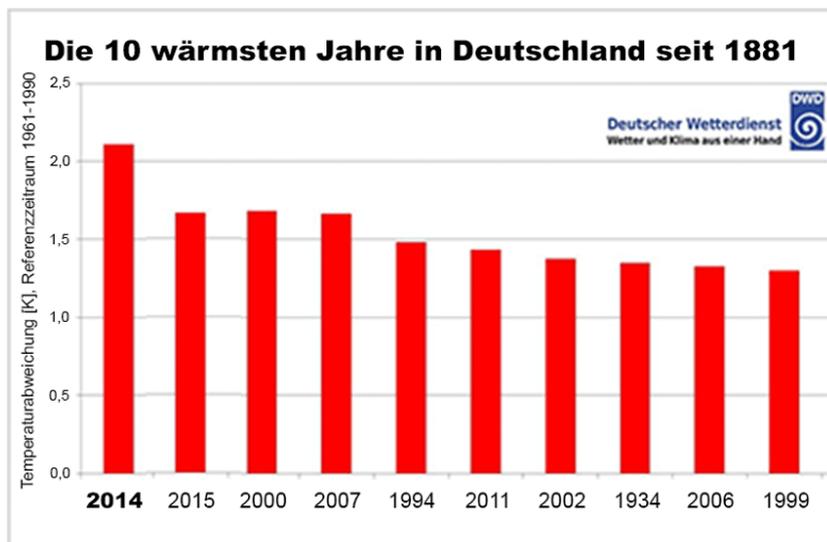


Abb. A-2: Ranking der 10 wärmsten Jahre in Deutschland.

Trotz der unterschiedlichen Zeiträume zeigen sich charakteristische regionale Besonderheiten.

B. Detaillierte meteorologische Jahresberichte 2014 und 2015

B.1 Region Bielefeld

Temperatur

	Werte Bielefeld – Region				
	Temperatur [°C]			Abweichungen [K]	
	Mittelwerte	2014	2015	2014	2015
Januar	1,0	3,5	3,2	2,5	2,2
Februar	1,5	5,8	2,3	4,3	0,8
März	4,3	7,7	5,8	3,4	1,5
April	7,9	11,7	8,6	3,8	0,7
Mai	12,5	12,8	12,1	0,2	-0,4
Juni	15,6	15,8	15,8	0,2	0,2
Juli	17,0	19,9	18,9	2,9	1,9
August	16,8	16,2	19,4	-0,6	2,6
Sept	13,7	15,6	13,3	1,9	-0,4
Okt	9,9	12,9	9,1	3,0	-0,8
Nov	5,2	7,6	8,9	2,5	3,7
Dez	2,3	3,8	8,8	1,5	6,5
Jahr	9,0	11,1	10,5	2,1	1,5

Tab. B.1-1: Monatsmittelwerte und Jahreswert der Temperatur vom Jahr 2014 und 2015 - Region Bielefeld

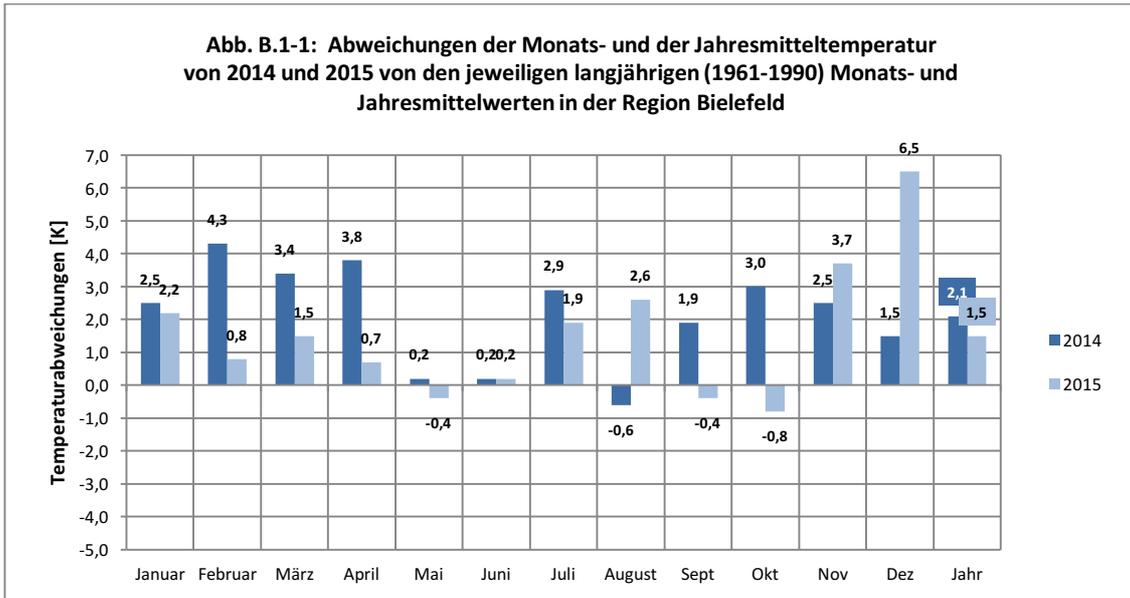
Wie Tabelle B.1-1 zeigt, verlief 2014 nur der August etwas zu kalt (-0,6 K). 2015 schlossen immerhin 3 Monate – Mai (-0,4 K), September (-0,4 K) und Oktober (-0,8 K) – mit negativer Temperaturbilanz ab.

2014 gab es 4 Monate, die mit mindestens +3 K erheblich zu warm verliefen, und zwar mit Februar (+4,3 K), März (+3,4 K) und April (+3,8 K) gleich 3 Monate hintereinander. Der Oktober erreichte gerade noch +3 K. 2015 traten hingegen nur zwei Monate über +3 K auf, die auch wieder hintereinander lagen mit November (+3,7 K) und Dezember mit der extremen Abweichung von +6,5 K.

Dieser Wert von +6,5 K in einem Monat stellt einen Temperaturrekord dar. In sämtlichen Bundesländern gab es seit Beginn flächendeckender Messungen keinen derart warmen Dezember. Fast pausenlos schaufelten von Südwest nach Nordost ziehende Tiefdruckgebiete subtropische Warmluft nach Mitteleuropa, so dass das Temperaturniveau (8,8°C) näher am Mittelwert von Lissabon (11,8°C) lag als an dem für die Region (2,3°C) gültigen.

In Abbildung B.1-1 sind die in Tabelle B.1-1 eingetragenen Temperaturabweichungen in Säulenform noch einmal dargestellt.

Hier fällt z.B. stärker auf, als es auf den ersten Blick die Tabelle erkennen lässt, dass es in beiden Jahren dieselben zwei Monate gab, bei denen die Temperatur nur unwesentlich von den langjährigen Mittelwerten abwich. Und zwar, auch hier wieder hintereinander, Mai und Juni. Der Mai 2014 mit +0,2 K und der Mai 2015 mit etwas zu kalten -0,4 K. Der Juni wies in beiden Jahren dieselbe unerhebliche Abweichung von +0,2 K auf.



Das Besondere der Temperaturwerte für 2014 und 2015 ist einerseits die Spitzenstellung im Ranking und andererseits der Rekordwert seit dem Beginn regelmäßiger Messungen für Dezember 2015 von +6,5 K.

Niederschlag

	Werte Bielefeld-Region				
	Niederschlag [mm]			Abweichungen [mm]	
	Mittelwerte	2014	2015	2014	2015
Januar	65	40	78	-25	13
Februar	45	31	31	-14	-14
März	58	16	61	-42	3
April	55	46	39	-9	-16
Mai	66	109	29	43	-37
Juni	77	69	34	-8	-43
Juli	71	103	91	32	20
August	69	66	149	-3	80
Sept	59	48	64	-11	5
Okt	52	63	51	11	-1
Nov	66	32	118	-34	52
Dez	74	69	36	-5	-38
Jahr	757	692	781	-65	24

Tab. B.1-2: Monatsmittelwerte und Jahreswert des Niederschlags vom Jahr 2014 und 2015 - Region Bielefeld

Wie aus Tabelle B.1-2 zu ersehen ist, war 2014 insgesamt zu trocken und 2015 geringfügig zu nass.

2014 startete mit 4 zu trockenen Monaten hintereinander (Januar bis April). Wie bei der Temperatur beschrieben, waren die Monate Februar bis April mit über 3 K auch erheblich zu mild verlaufen. Daraus lässt sich schließen, dass die Monate mehr von hohem Luftdruck (antizyklonal) beeinflusst waren als von tiefem Luftdruck (zyklonal). Der Mai 2014 sorgte mit einem Überschuss von +43 Liter/m² für den notwendigen Ausgleich und war der nasseste Monat des Jahres 2014. Am zweitnassesten zeigte sich der Juli, wobei die Niederschläge hier häufig in Form von Schauern und Gewittern auftraten. Nur noch der Oktober 2014 lieferte zu viel Regen, so dass folglich 9 zu trockenen Monaten drei zu feuchte Monate gegenüber standen.

Das Jahr 2015 zeigte sich von der Aufteilung von zu nassen und zu trockenen Monaten mit jeweils 6 ausgeglichen. Entscheidend für den, wenn auch nur leichten Überschuss, war wohl der Verlauf des Augustes, der mit einem Plus von 80 Liter/m² abschloss. Da der langjährige Mittelwert, wie aus der Tabelle B.1-2 ersichtlich ist, lediglich 69 Liter/m² beträgt, ist in diesem Monat folglich mehr als das Doppelte in der Region herniedergegangen (insgesamt 216 %). Als zweitnassester Monat erwies sich mit einem Plus von 52 Liter/m² der November.

Für den erheblich zu nassen August stellt sich die Frage, wie sonnenscheinarm dieser Monat wohl war. Ein Blick in die Tabelle B.1-3 verblüfft zunächst einmal, da dieser Monat mit +21 Stunden die 2-höchste positive Abweichung vom Jahr 2015 aufweist.

Aufschlussreich ist hier die Betrachtung des Witterungsverlaufes in diesem Monat. So überwog in der ersten Dekade (1.8.-10.8.2015) warmes Hochdruckwetter mit viel Sonnenschein. Die Niederschlagssummen einiger Regionalstationen belaufen sich wie folgt:

Bad Salzuflen: 14 Liter/m², Bückeburg: 10 Liter/m², Bad Lippspringe: 9 Liter/m², Belm (bei Osnabrück): 14 Liter/m², Flughafen Münster/Osnabrück: 21 Liter/m².

Der Mittelwert für die Region beträgt für den August 69 Liter/m².

Wird dieser Mittelwert gemäß der drei Monatsdekaden gedrittelt, so ergibt sich ein mittlerer Teilwert von 23 Liter/m² pro Dekade. Es ist hiernach leicht zu erkennen, dass die erste August-Dekade 2015 zu trocken verlaufen ist. Nur Münster/Osnabrück liegt nahe am Mittelwert.

Die Analyse der zweiten Monatsdekade (11.8.-20.8.2015) liefert markant andere Regensummen: Bad Salzuflen: 57 Liter/m², Bückeburg: 94 Liter/m², Bad Lippspringe: 68 Liter/m², Belm: 68 Liter/m², Flughafen Münster/Osnabrück: 121 Liter/m². Der meiste Regen kam hierbei allein im Zeitraum 15.8.-18.8.2015 zustande. Ursache hierfür war eine nahezu stationäre, von Südost nach Nordwest verlaufende Luftmassengrenze mit feuchter Warmluft nordöstlich der Region, die auf die vor Ort liegende kühlere Luft aufglitt und durch hierbei erzwungene Hebung mit einhergehender Auskondensierung intensiv ausregnete.

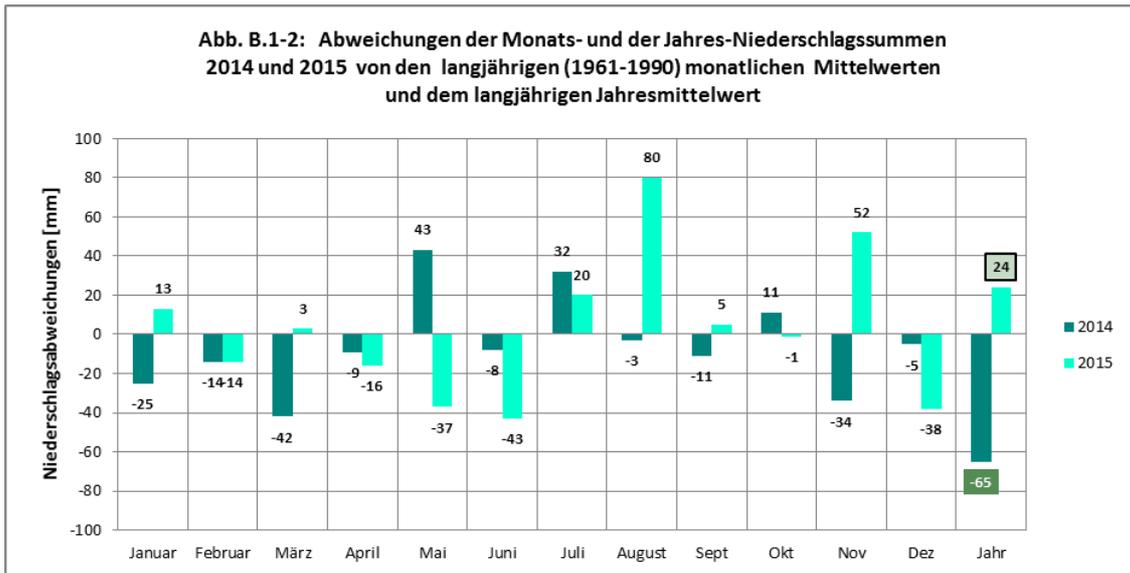
Nun werden noch die Niederschlagssummen der letzten August-Dekade (21.8.-31.8.2015) genannt:

Bad Salzuflen: 23 Liter/m², Bückeburg: 34 Liter/m², Bad Lippspringe: 24 Liter/m², Belm: 35 Liter/m², Flughafen Münster/Osnabrück: 58 Liter/m².

Auch hier fällt, wie bei der zweiten Dekade, der Flughafen Münster/Osnabrück mit einem besonders hohen Wert auf. Von diesen 58 Liter/m² sind allein im 12-stündigen Zeitraum vom

29.8.2015 ab 19 Uhr MEZ bis 30.8.2015 bis 7 Uhr MEZ 34 Liter/m² gefallen. Ursache hierfür war eine Gewitterlinie über den nordwestlichen Teilen der Region mit örtlich unwetterartigen Regenfällen. Beim Flughafen war hiervon neben Flugzeugen ein „Regenvolltreffer“ gelandet.

Außerhalb dieser intensiven Regenabschnitte hat die Sonne im August 2015 verbreitet häufig geschienen. Somit erklärt sich der scheinbare Widerspruch von positiver Sonnenscheinsumme und gleichzeitiger rekordverdächtigter Niederschlagssumme.



Wie bei der Temperatur sind die Niederschlagsabweichungen beider Jahre in der Abbildung B.1-2 noch einmal in einem Säulendiagramm wiedergegeben.

Hier lassen sich gut monatliche Gegenläufigkeiten in 2014 und 2015 identifizieren. So sind diese besonders ausgeprägt im Mai und im November. Im Mai 2014 steht ein Überschuss von +43 Liter/m² zu Buche, gegenüber einem Mankowert von -37 Liter/m² in 2015. Das bedeutet, dass die Differenz $D = 80$ Liter/m² beträgt, zufällig der Wert, den der nasseste Monat der zwei Jahre, der August 2014, als Abweichung aufweist. Aufgrund dieses hohen Wertes ist die Differenz hier mit $D = 83$ Liter/m² noch höher als im Mai, obwohl die Gegenläufigkeit mit -3 Liter/m² nur marginal ausgeprägt ist. Den Spitzenwert lieferte aber der November, der sich 2014 mit einem Mankowert von -34 Liter/m² zeigt und 2015 mit einem Überschuss von +52 Liter/m². In der Differenz ergibt dies $D = 86$ Liter/m². Identische Abweichungen ($D = 0$ Liter/m²) wies allein der Februar auf mit jeweils -14 Liter/m².

Als Ergebnis folgt, dass 2014 zu trocken und 2015 geringfügig zu nass war.

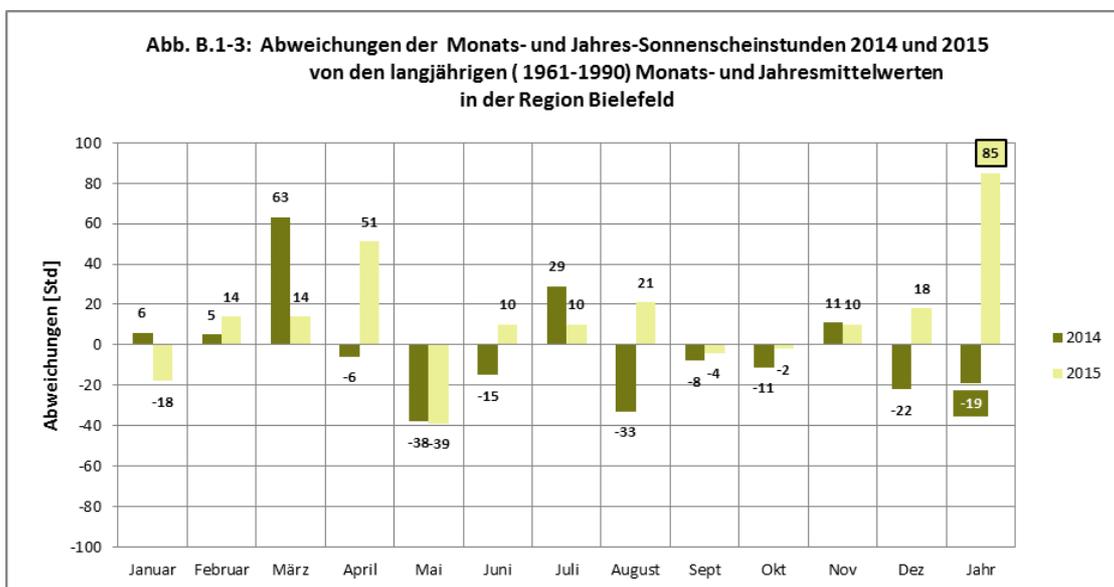
Sonnenschein

	Werte Bielefeld-Region				
	Sonnenschein [Stunden]			Abweichungen [Std]	
	Mittelwerte	2014	2015	2014	2015
Januar	45	51	27	6	-18
Februar	75	80	89	5	14
März	106	169	120	63	14
April	156	150	207	-6	51
Mai	209	171	170	-38	-39
Juni	197	182	207	-15	10
Juli	198	227	208	29	10
August	199	166	220	-33	21
Sept	136	128	132	-8	-4
Okt	107	96	105	-11	-2
Nov	56	67	66	11	10
Dez	37	15	55	-22	18
Jahr	1521	1502	1606	-19	85

Tab. B.1-3: Monatsmittelwerte und Jahreswert der Sonnenstundenzahl vom Jahr 2014 und 2015 - Region Bielefeld

2014 erwies sich, wie die Tabelle B.1-3 zeigt, als geringfügig zu trübe. Nach sonnigem Beginn der ersten 3 Monate, folgte die erste Triplette von Monaten (April – Juni) mit sonniger „Unterbelichtung“. Nach sonnigerem Juli geizten wiederum 3 Monate hintereinander (August – Oktober) mit Sonnenlicht.

Auch das Jahr 2015 ist mit gekennzeichnet durch zwei Tripletten, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen. So summierte sich in den 3 Monaten Februar – April die positive Abweichung auf +79 Stunden. Die zweite Triplette von Juni – August schloss mit einer Summe von +41 Stunden ab. Schließlich waren zusätzlich die grauen Monate November und Dezember im Jahr 2015 erfreulich sonnenscheinreich.



Abschließend noch ein Blick auf die Abbildung B.1-3. Gegenläufige Monate waren beim Sonnenschein der Januar, der April, der Juni, der August und Dezember. Die größten Differenzen wiesen der April mit $D = 57$ Stunden und der August mit $D = 54$ Stunden auf.

Positiv übereinstimmend in der Abweichung waren Februar, März, Juli und November.

Der März wies mit einer 2-Jahres-Summe von +76 Stunden den höchsten Betrag auf, gefolgt von Juli (+39 Stunden), November (+21 Stunden) und Februar (+19 Stunden).

Negativ übereinstimmend erwiesen sich an erster Stelle der Mai (-77 Stunden), der Oktober (-13 Stunden) und der September (-12 Stunden).

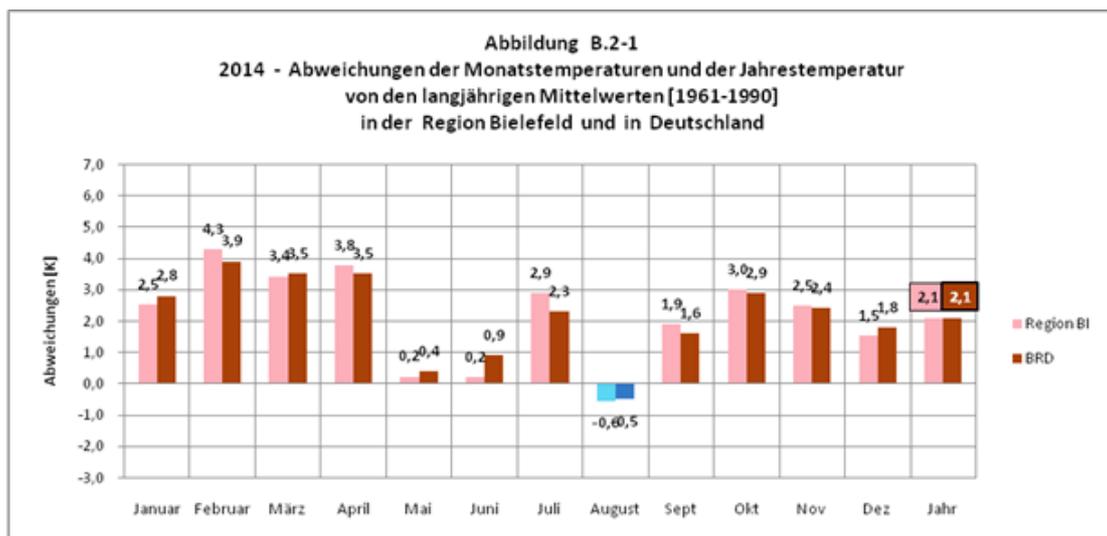
2014 schien die Sonne trotz der hohen Jahresmitteltemperatur geringfügig zu wenig.

2015 gab es einen Überschuss von 85 Stunden. Bei einem langjährigen Mittelwert von 1521 Stunden sind dies +5,6 % mehr als normal.

B.2 Region Bielefeld im Vergleich mit Deutschland

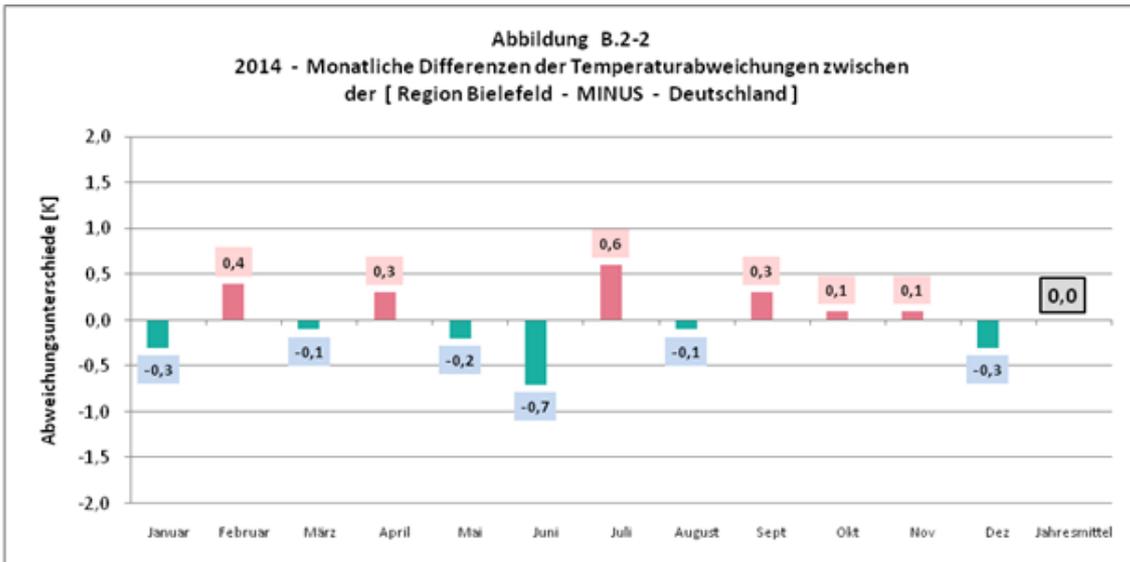
Temperatur

Das Jahr 2014

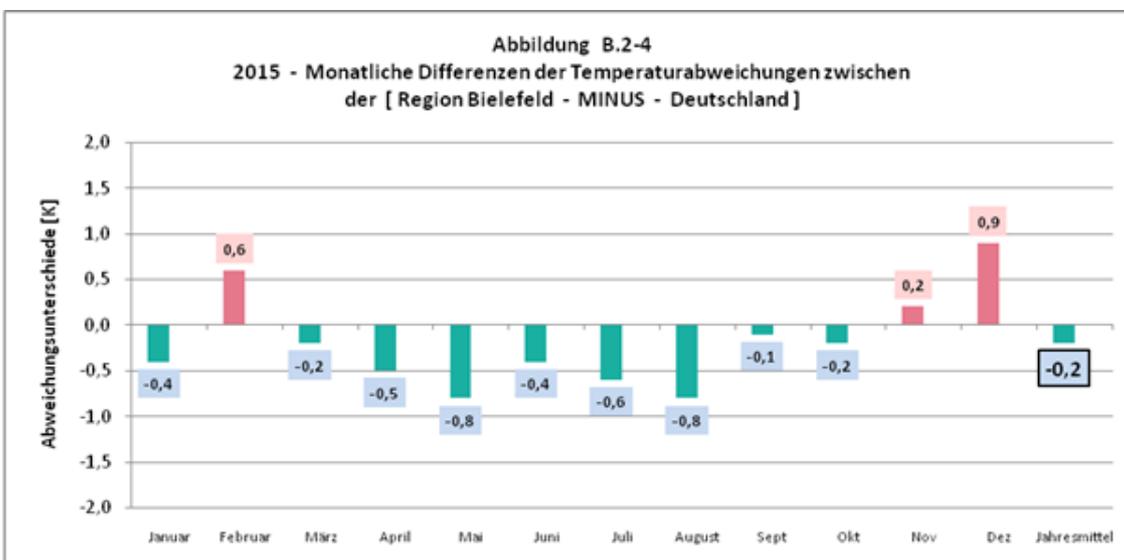
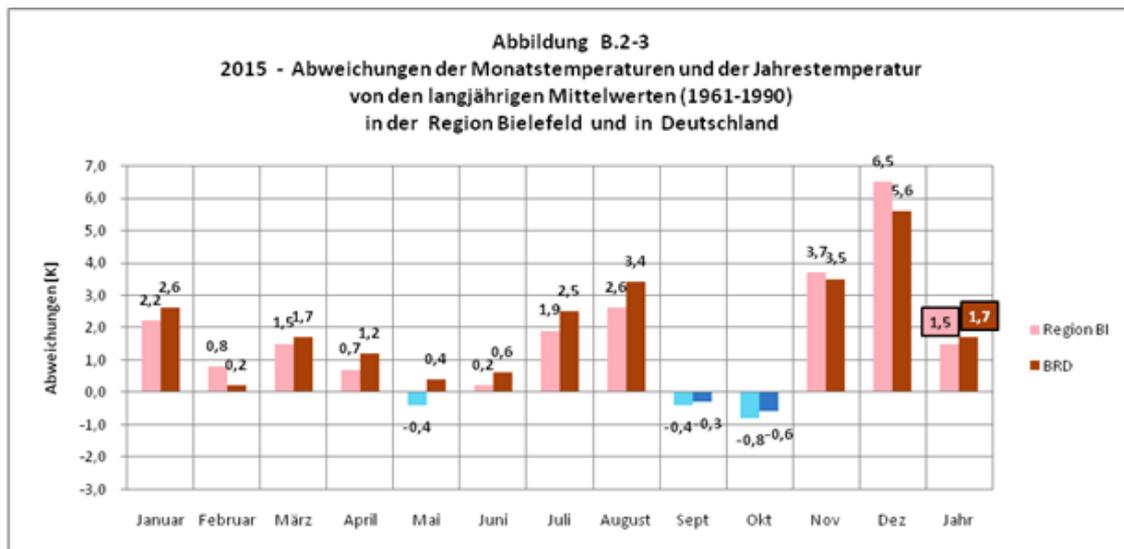


Ein Vergleich der regionalen monatlichen Abweichungen mit Deutschland liefert für 2014 ein ausgewogenes Bild (Abb. B.2-1). Es gibt keine Gegenläufigkeiten, d.h. sämtliche Monate, die regional zu warm oder zu kalt waren, waren dies auch für Deutschland. Wie aus Abb. B.2-2 gut zu erkennen ist, gab es die größten Unterschiede im Juni und im Juli, wobei regional der Juni -0,7 K kälter ausgefallen war und der Juli um +0,6 K wärmer. Alle anderen Monate zeigen nur kleine Unterschiede.

Der Jahreswert am Ende der graphischen Darstellung zeigt regional und deutschlandweit übereinstimmend eine positive Abweichung von +2,1 K. Dies ist sowohl regional als auch für Deutschland die größte positive Abweichung seit dem Beginn regelmäßiger Messungen am Ende des 19. Jahrhunderts.



Das Jahr 2015



Ein deutlich anderes Bild zeigt sich 2015. So gab es in diesem Jahr nur 3 Monate, in denen es in der Region wärmer war als in Deutschland. In 9 Monaten war es regional kälter. Hierbei ist auffallend die Serie von 8 Monaten hintereinander, die regional kühler als in Deutschland ausgefallen sind. Eklatant sind die Unterschiede während der warmen Jahreszeit.

Die monatlichen Deutschlandkarten mit den eingetragenen Stationsabweichungen von den langjährigen Mittelwerten zeigen dann auch von Monat zu Monat ein ähnliches Bild.

So gab es im April in Niedersachsen und im nördlichen NRW die geringsten positiven Abweichungen und in Bayern und Baden-Württemberg mit über +2 K die höchsten.

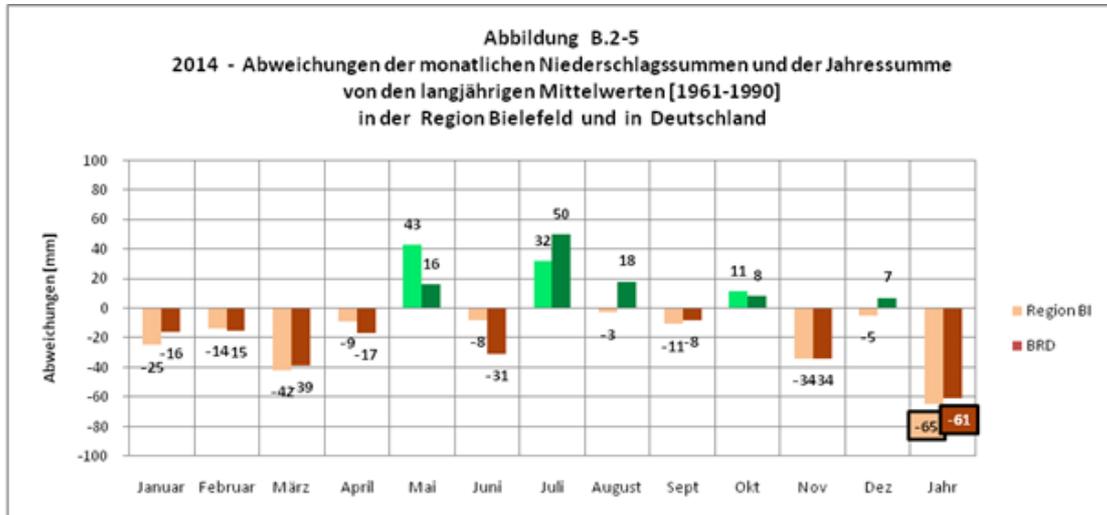
Im Mai waren in Norddeutschland fast sämtliche Temperaturwerte zwischen -0,1 K und -0,9 K negativ, in Süddeutschland aber zwischen +1 K und +2 K positiv. Ähnliche Bedingungen gab es im Juni.

Im Juli war das Nord-Süd-Gefälle besonders ausgeprägt. So lagen in Schleswig-Holstein die Abweichungen nur zwischen 0 K und +1 K, in Süddeutschland aber erreichten die Spitzenwerte beeindruckende +5 K.

Im August hatte das Temperaturgefälle keine Süd-Nord-Orientierung, sondern eine Südost-Nordwest-Orientierung. Die positiven Abweichungen steigerten sich in diesem Monat sogar auf mehr als +5 K im östlichen Bayern und in der Lausitz. In Ostfriesland und der Nordseeküste hingegen betrug der Wärmeüberschuss weniger als +2 K.

Sämtliche Temperaturverteilungen sind verbunden mit bestimmten Großwetterlagen, die sich in diesen Monaten häufig wiederholt hatten.

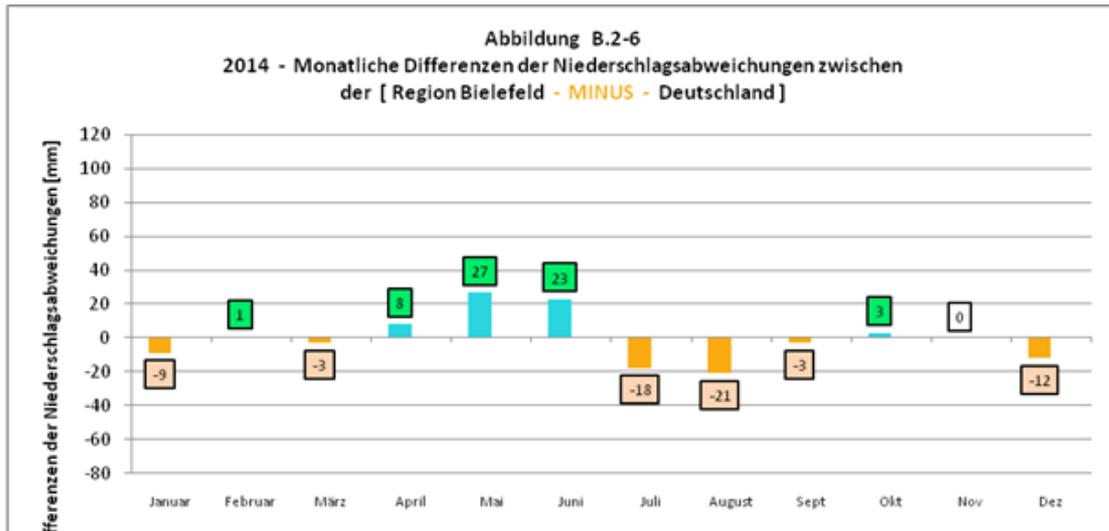
Niederschlag



Das Jahr 2014

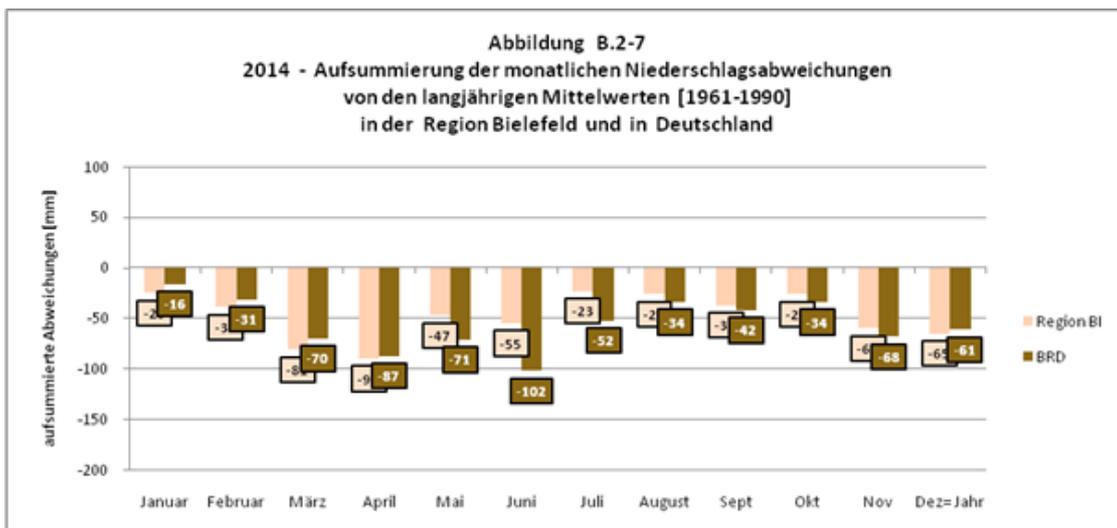
Wie die Abb. B.2-5 zeigt, verliefen die ersten 4 Monate von 2014 regional und in Deutschland übereinstimmend zu trocken. Der Mai war zu nass, der Juni wieder zu trocken und der Juli wieder zu nass. Im August waren die Abweichungen gegenläufig, wobei es in der Region geringfügig zu trocken war. Eine zweite Gegenläufigkeit trat im Dezember auf, auch hier war es regional etwas zu trocken. Der November wies für beide Landesräume mit -34 Liter/m² ein einheitliches Defizit auf.

Die Bilanz für das Jahr 2014 ist auch nahezu identisch mit Abweichungen von -65 Liter/m² für die Region und -61 Liter/m² für Deutschland.



Diese Ausgewogenheit spiegelt sich auch in der Darstellung der monatlichen Differenzen (Abb. B.2-6) wieder. So stehen 5 positiven (d.h. regional nasser) 6 negative (d.h. regional trockener) Werte gegenüber und der Null-Wert im bereits erwähnten November.

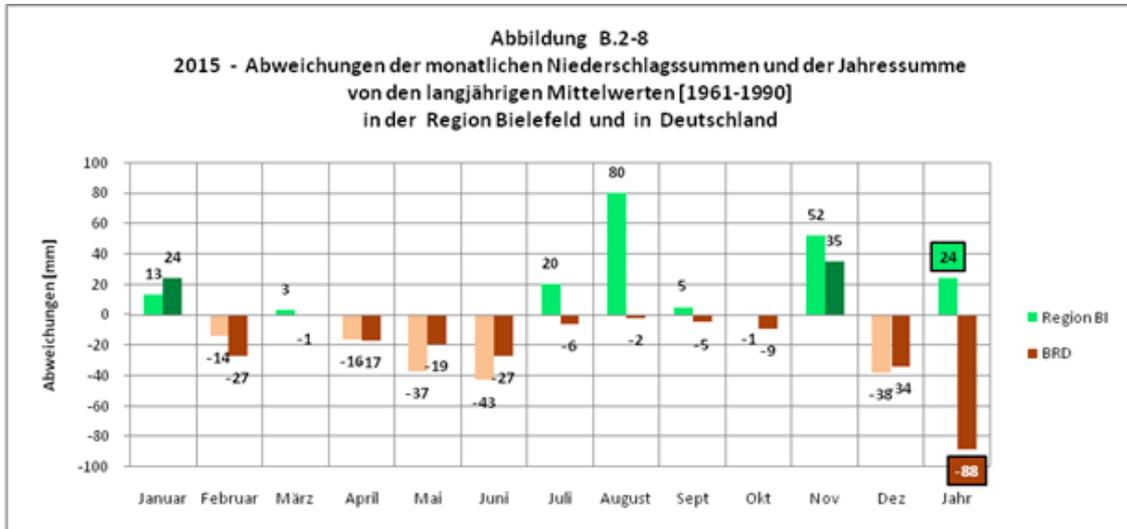
Erwähnenswert ist noch die offensichtliche Wellenbewegung in der Darstellung der monatlichen Differenzen (Abb. B.2-6). Am Anfang vollführen die Monate Januar, Februar und März eine Welle mit kleiner Amplitude. Es folgt eine längere Welle mit größerer Amplitude von April bis September, wobei April-Juni den Wellenberg mit Maximum im Mai darstellen und Juli-September das Wellental mit Minimum (=negativem Maximum) im August. Letztlich wiederholt sich von Oktober-Dezember die kleine Welle mit einer einzigen geringen Abweichung. Das Sekundärmaximum liegt nicht in der Mitte (=November) sondern bereits im Oktober.



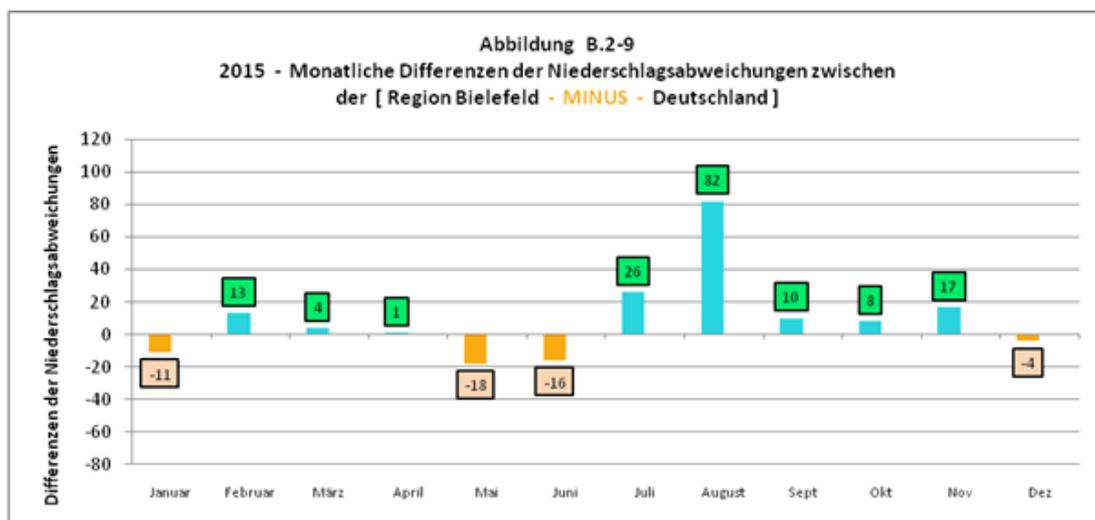
Auch die Darstellung der von Monat zu Monat vorgenommenen Aufsummierungen der monatlichen Abweichungen weist weder regional noch für Deutschland große Sprünge auf. Einheitlich baut sich in beiden Räumen ein Defizit auf. Diese Defizite werden nicht durch Überschüsse unterbrochen. Zum Mai und etwas stärker im Juli (vgl. hierzu auch Abb. B.2-5)

kommt es lediglich zu einer Abschwächung der aufgelaufenen Defizite, die sich im August für Deutschland noch fortsetzt. Darauf präsentieren sich die Defizite im September und Oktober quasi gleichbleibend. Im November und im Dezember nehmen sie wieder zu.

Das Jahr 2015



Einem zu feuchten Januar folgte 2015 ein zu trockener Februar, ein ausgewogener März und danach eine 3-monatige Serie zu niederschlagsarmer Monate. Mit Juli, August und September ereigneten sich 3 Monate mit gegenläufigem Verhalten, wobei es in der Region gegenüber Deutschland immer zu regenreich war. Die Gründe für die eklatante regionale Abweichung im August sind schon in Kapitel B.1 beschrieben worden. Der November schloss besonders in der Region mit einem deutlichen Überschuss ab und im Dezember gab es vom Betrag her ähnliche Defizite.

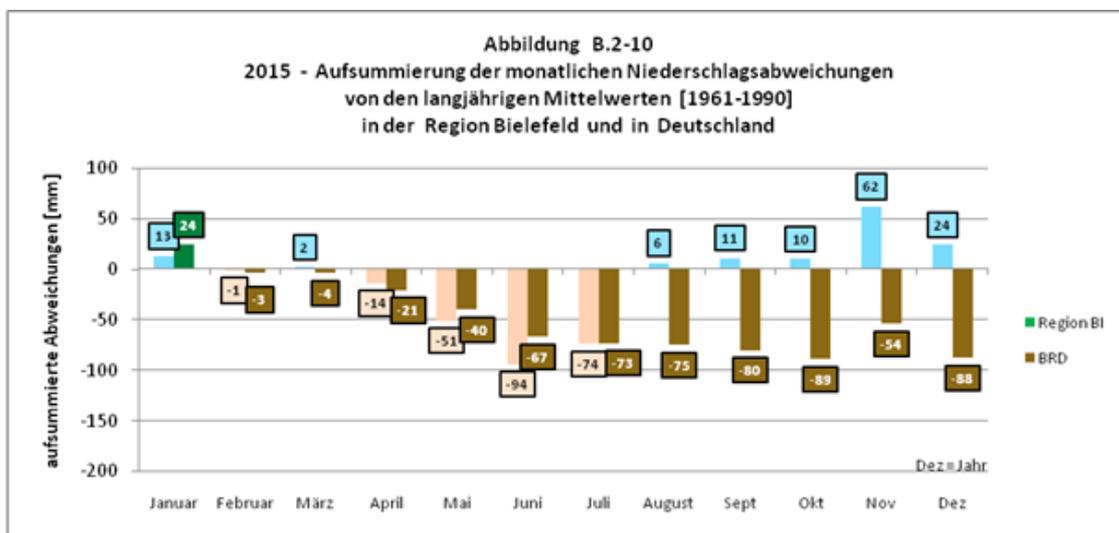


Werden die in Abb. B.2-9 zu sehenden Differenz-Werte von 2015 mit denen von 2014 verglichen (Abb. B.2-6), so ist die Spanne, vom August einmal abgesehen, vom kleinsten Wert bis zum größten (hier von $D = -18$ Liter/m² bis $D = +26$ Liter/m²) 2015 zwar etwas kleiner als 2014 ($D = -21$ Liter/m² bis $D = +27$ Liter/m²), aber von der Größenordnung als ähnlich zu bezeichnen.

Auch hier zeigt sich zumindest in Ansätzen erneut ein wellenähnliches Verhalten. Der Januar startet mit einem Minimum wie bei einer nach rechts verschobenen Sinusfunktion. Es folgt ein vom März in den Februar verschobenes Maximum. Bei der sich anschließenden Abwärtsbewegung wird das Wellental im Mai erreicht. Zum August hin türmt sich die Welle zu einem veritablen „Monsterwellenberg“ auf. Zum Jahresende geht der Differenz-Wert nach 5 positiven Werten (Juli-November) wieder knapp in den negativen Bereich (d.h. regional trockener als in Deutschland).

Zum erheblich zu niederschlagsreichen August 2015 in der Region ist noch folgendes anzumerken:

Für Deutschland resultierte im August mit -2 Liter/m² kaum eine Abweichung vom langjährigen Mittelwert (vgl. Abb. B.2-8). Solch eine Aussage lässt ausgeglichene Verhältnisse vermuten. Dies ist aber ein Beispiel dafür, wie ein diametral falscher Eindruck der wahren Verhältnisse entstehen kann. Denn es gab eine Spanne von 10 % (Oberbayern) bis 305 % (Münsterland) des mittleren Niederschlags.



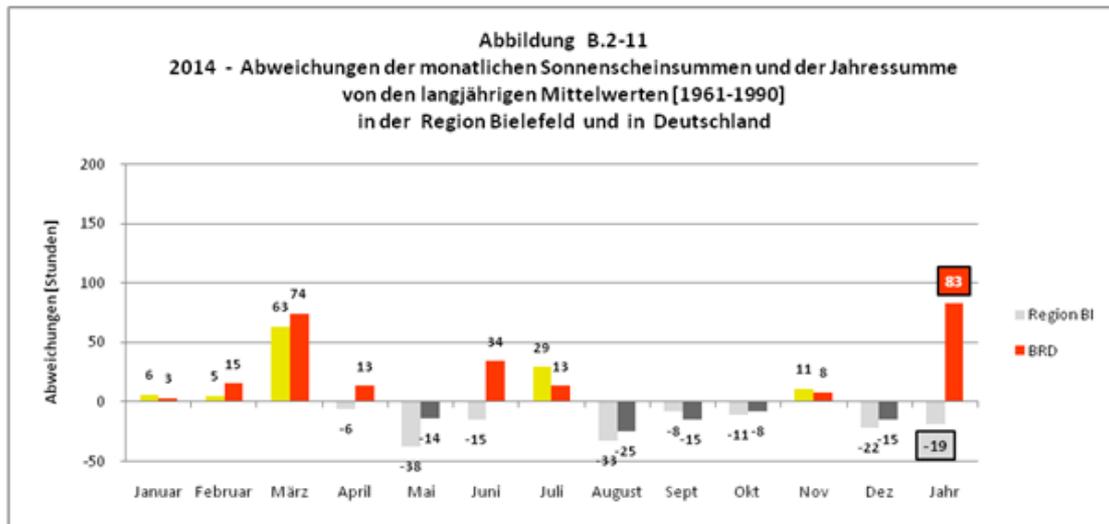
Bei der Aufsummierung zeigen sich anders als 2014 deutliche Unterschiede zwischen der Region und Deutschland. So weisen die Deutschlandwerte einen fortlaufenden Abgang bis Oktober auf (aufgelaufenes Defizit bis zu diesem Monat -89 Liter/m²). Im November erfolgt ein mäßiger Sprung nach oben auf -54 Liter/m², und der Dezember schließt sich mit einem fast identisch großen erneuten Rückgang auf einen Wert von -88 Liter/m² an.

Offenkundig anders repräsentieren sich die Regionalwerte. Bis Mai ähneln sie den Deutschlandwerten. Dann folgt im Juni zunächst eine starke Defizit-Zunahme von -51 Liter/m² auf -94 Liter/m². Im Juli dann wird das Defizit um $+20$ Liter/m² auf -74 Liter/m² verringert.

Und dann folgt der außerordentliche Sprung nach oben im August, von -74 Liter/m² um $+80$ Liter/m² auf $+6$ Liter/m². Diese Monatssumme reicht also aus, nicht nur für einen Überschuss in der fortlaufenden Bilanz (Summe Januar-August), sondern es erfolgt auch bis zum Jahresende keine erneute Rückkehr in den Defizitbereich. Da auch der November niederschlagsreich war, baut sich im zeitlichen Ablauf gar ein Wert von $+62$ Liter/m² auf (Januar-November), der sich dann allerdings im Dezember wieder abschwächt.

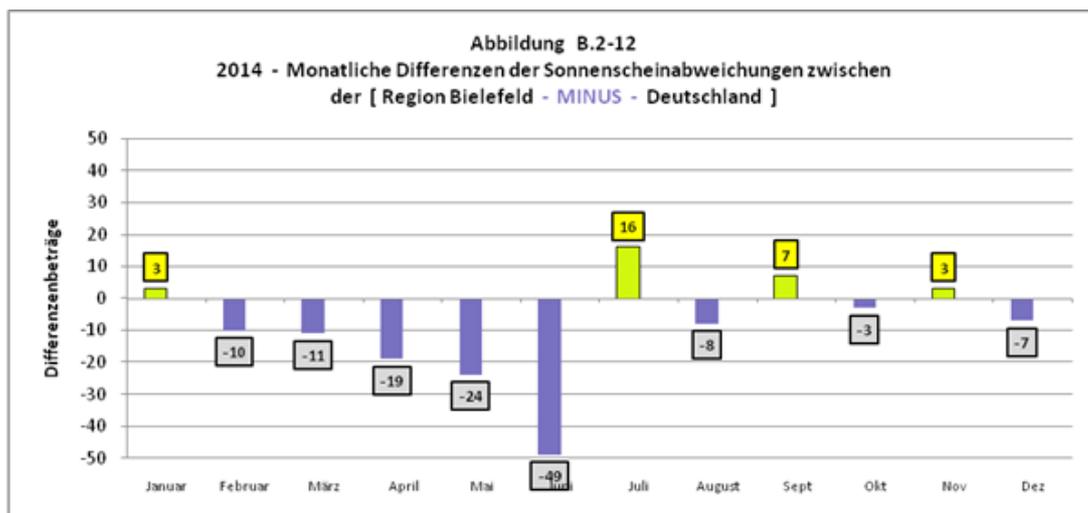
Der Hauptgrund, dass die Jahresendwerte von Region und Deutschland so stark differieren, liegt also eindeutig am August. Der November hilft noch ein wenig nach.

Sonnenschein

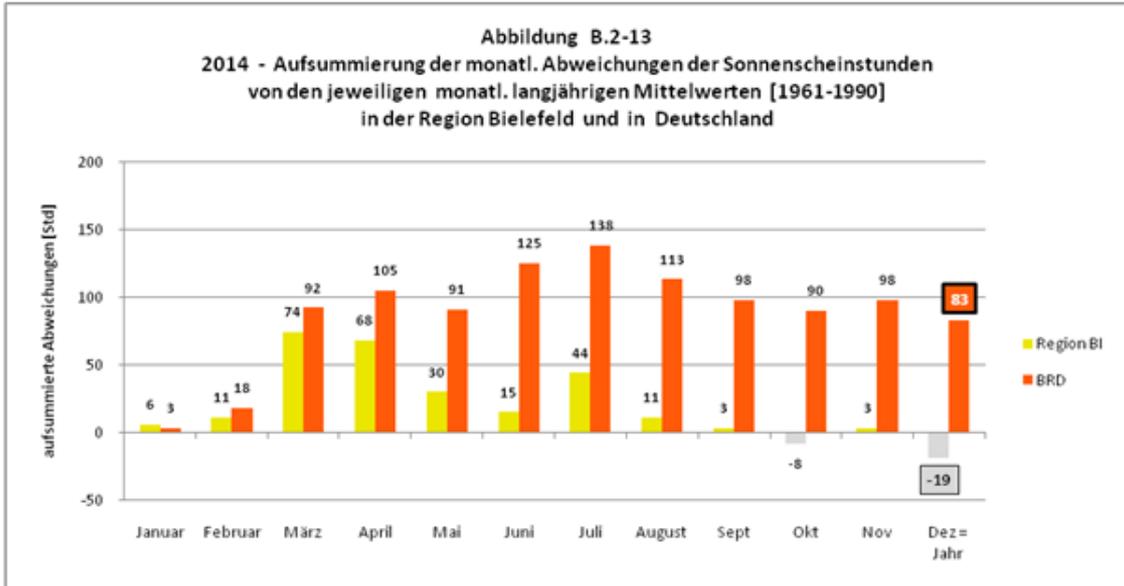


Das Jahr 2014

Die ersten 3 Monate von 2014 lieferten einen Überschuss an Sonnenschein, insbesondere der März. Gegenläufig zeigte sich der April, der regional ein leichtes Defizit aufwies. Der Mai präsentierte sich in Deutschland wie auch verstärkt in der Region als trüber Monat. Der Juni wies wieder wie der April eine Gegenläufigkeit auf, nur ausgeprägter. Einem relativ sonnenscheinreichen Juli folgten 3 relativ sonnenscheinarme Monate (August-Oktober). Der November brachte wieder ein leichtes Plus und der Dezember abermals ein Minus. Einheitlich sonnenscheinreich waren 5 Monate und einheitlich sonnenscheinarm waren ebenfalls 5 Monate.



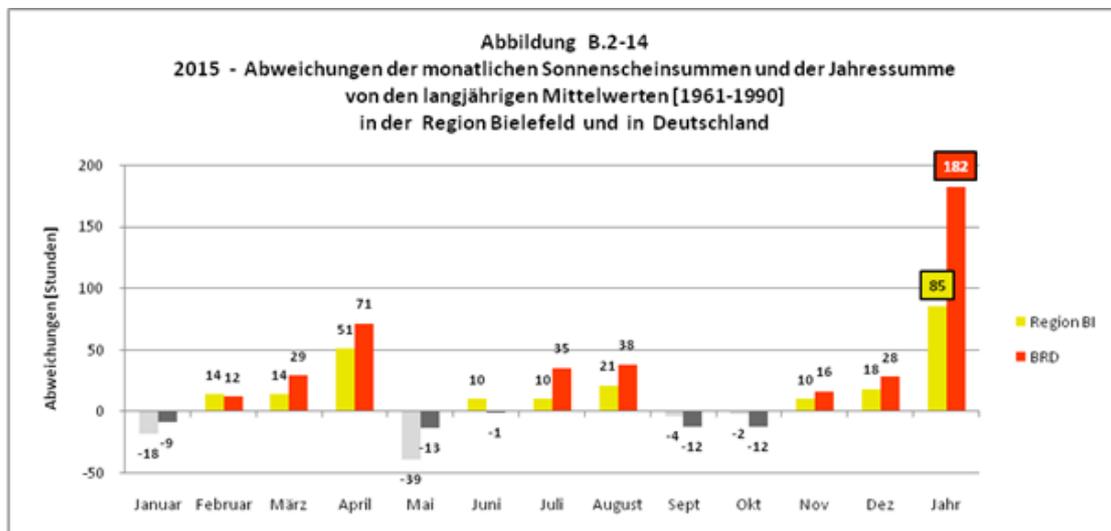
Regional fiel die Sonnenscheinbilanz deutlich trüber aus als in Deutschland (Abb. B.2-12). 8 Monate waren umwölchter als in Deutschland. Von Februar bis Juni gab es eine Abfolge von 5 defizitären Monaten, wobei die Abweichung vom Mittelwert von Monat zu Monat sich auch noch vergrößerte.



Die Aufsummierung der Monate von 2014 weist erkennbare Unterschiede zwischen der Region und Deutschland auf. Die Region bewegt sich zwar im Überschussbereich, aber schon im März wird der Gipfel erreicht mit +74 Stunden. Danach wird er bis Juni von Monat zu Monat abgebaut, erholt sich noch einmal im Juli, aber danach geht die Bilanzsumme immer weiter gegen Null. Im Oktober schließlich erreicht die Aufsummierung (Januar-Oktober) schließlich den Defizitbereich. Eine kleine Erholung gibt es im November, jedoch mit dem Dezember ist der Jahresendwert (Januar-Dezember) schließlich beim tiefsten Wert (-19 Stunden) der ganzen Reihe angekommen.

Anders sieht es für Deutschland aus. Hier baut sich ab Februar kräftiger als regional ein Überschuss auf, der nur im Mai etwas gedämpft wird. Er steigert sich bis zum Maximalwert im Juli mit +138 Stunden. Danach gehen die Werte wie für die Region zurück, aber auf deutlich höherem Niveau. Die Diskrepanz beim Jahresendwert zwischen Region und Deutschland beläuft sich auf D = -102 Stunden.

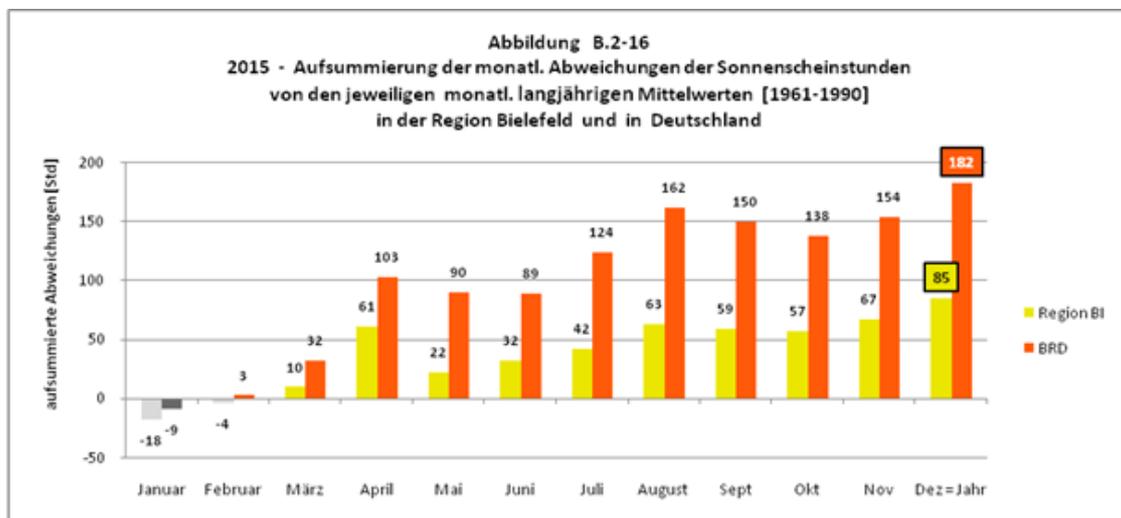
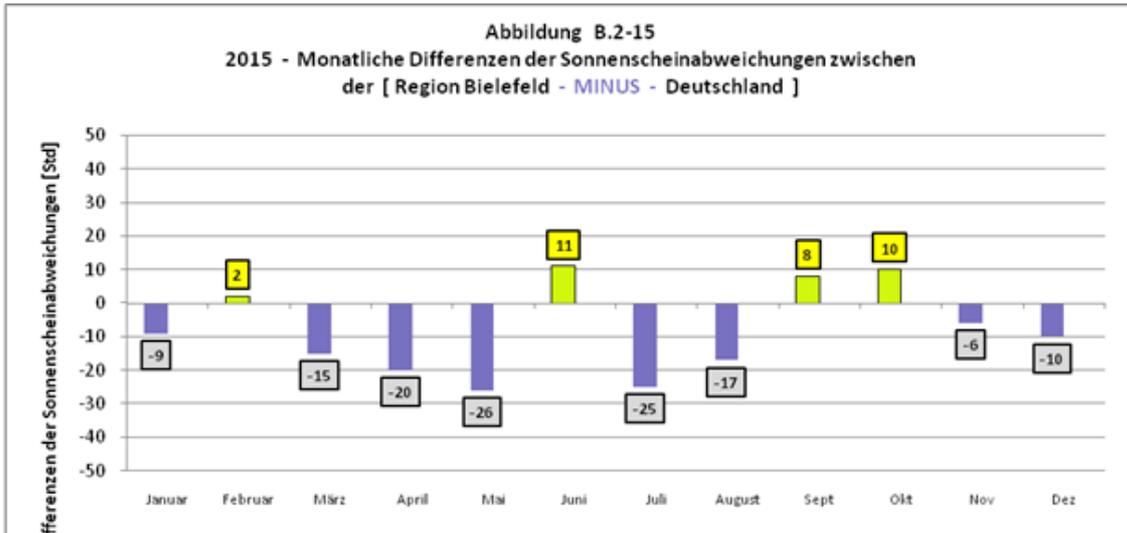
Das Jahr 2015



Sägezahnförmig zeigen sich die Monatssummen für 2015. So wachsen dreimal aus dem defizitären Bereich zunehmend positive Werte. Dieses Charakteristikum wiederholt sich schließlich zum dritten Mal von September bis Dezember.

So zeigen sich regional 8 Monate mit einem Überschuss und 3 Monate + Oktober mit einem Mangel an Sonnenschein. Allerdings sind fast alle Werte für Deutschland „heller“, sodass die Jahressumme mit +182 Stunden um +97 Stunden über den ebenfalls positiven Wert für die Region (+85 Stunden) liegt.

Das zeigt sich auch in Abb. B.2-15. Es gibt lediglich 4 Monate, in denen es regional mehr Sonnenschein gegeben hat, aber auf einem höheren Niveau als 2014.



Einheitlicher als 2014 präsentiert sich 2015 die Aufsummierung. So geht für beide Landesräume die Kurve mit kleinen Unterbrechungen nach oben. Der erste relative Rückgang ereignet sich im Mai. Nur der Juni danach läuft ganz schwach in die andere Richtung, wobei sich regional ein Anstieg ereignet und Deutschland einen minimalen Rückgang verzeichnet. Nach einem Sekundärmaximum im August geht die Zahl bis Oktober wieder leicht zurück, dann gibt es wieder einen Anstieg der in den Dezember mit den höchsten Werten (+85 Stunden regional und +182 Stunden deutschlandweit) am Jahresende abschließt.

C. Vergleichender Einfluss des Klimawandels auf regionale und deutschlandweite Parameter innerhalb der letzten 20 Jahre

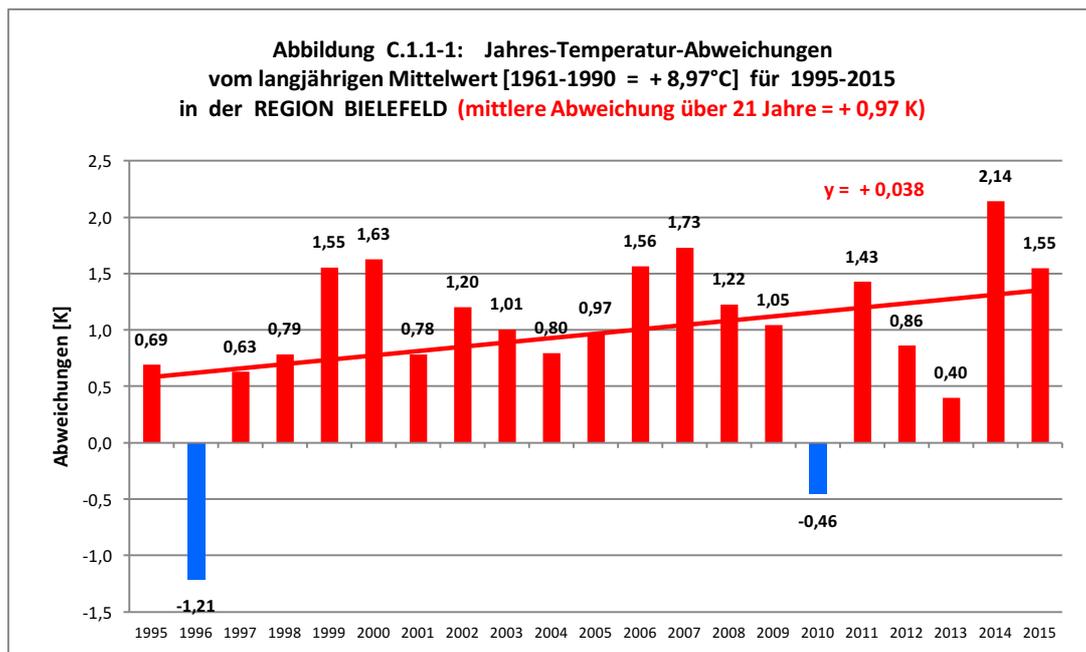
C.1 Temperatur

Zur Untersuchung der Ausprägung des Klimawandels und deren eventuellen Unterschiede zwischen Region und Deutschland wird in diesem Kapitel C.1 in einem ersten Schritt (Kapitel C.1.1) regional und deutschlandweit die Entwicklung der Temperatur untersucht, wobei zunächst die Jahreswerte von 1995-2015 recherchiert und miteinander verglichen werden.

In einem zweiten Schritt (Kapitel C.1.2) werden dann ausführlicher die Entwicklungen der jahreszeitlichen Abweichungen des Parameters Temperatur analysiert, wobei die regionalen Mittel- und Trendwerte mit denen von Deutschland ebenfalls miteinander verglichen und diskutiert werden.

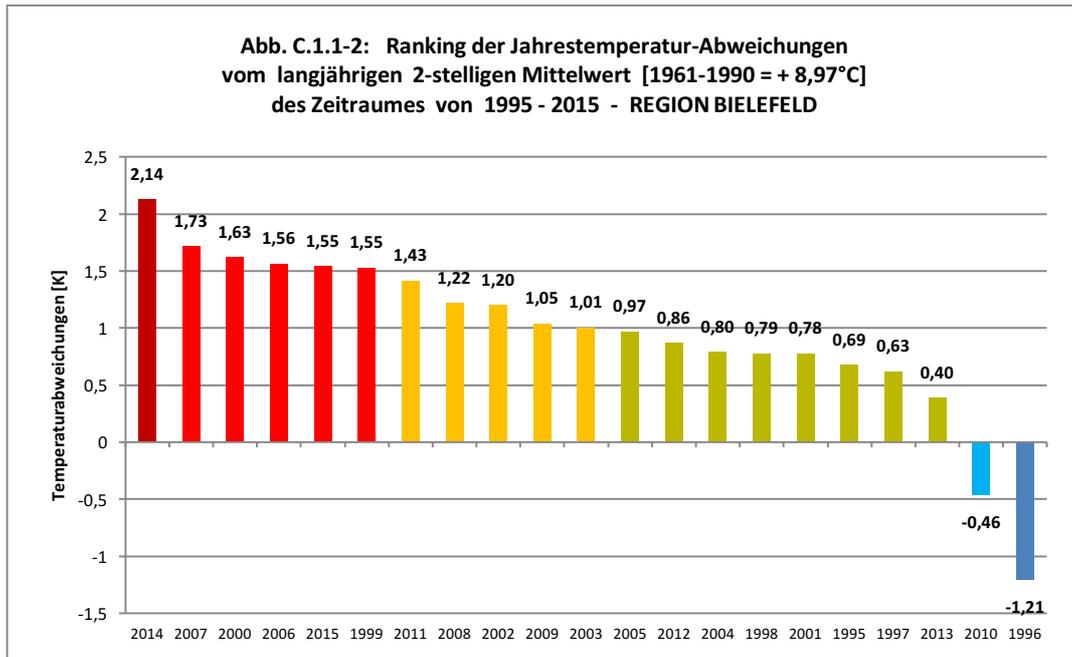
Neben der Sondierung des Zeitraums von 1995-2015 wird bei den Jahreszeiten zusätzlich die verkürzte Zeitspanne von 2000-2015 untersucht, um zeitliche Weiterentwicklungen der Temperaturabweichungen zu erkunden. Mögliche Unterschiede zwischen Region und Deutschland sollen beurteilt werden.

C.1.1 Jahreswerte



Die mittlere Temperaturabweichung dieser 21 Jahre (Abb. C.1.1-1) liegt bei knapp +1 K (+0,97 K). Die positive Trendrate pro Jahr liegt bei +0,038 K/Jahr, also knapp +0,04 K/Jahr. D.h. wenn sich dieser Temperaturtrend bis zum Jahr 2100 so unverändert fortsetzen würde, was aber unwahrscheinlich ist, da es viele Einfluß-Parameter gibt, läge die Jahrestemperatur dann rund +4 Grad höher als 1995.

Es gibt der Darstellung drei Bereiche, in denen sich die großen Beträge der positiven Abweichungen häufen. Der erste in diesem 21-jährigen Zeitraum sind die beiden Jahre 1999 und 2000, der zweite die Jahre 2006 und 2007 und abgeschwächt auch noch 2008 und der dritte 2014 mit der höchsten Abweichung und aktuell 2015. Das Jahr 1996 und auch 2010 spiegeln kräftige Temperatureinbrüche wieder, bedingt hauptsächlich durch kalte Winter.



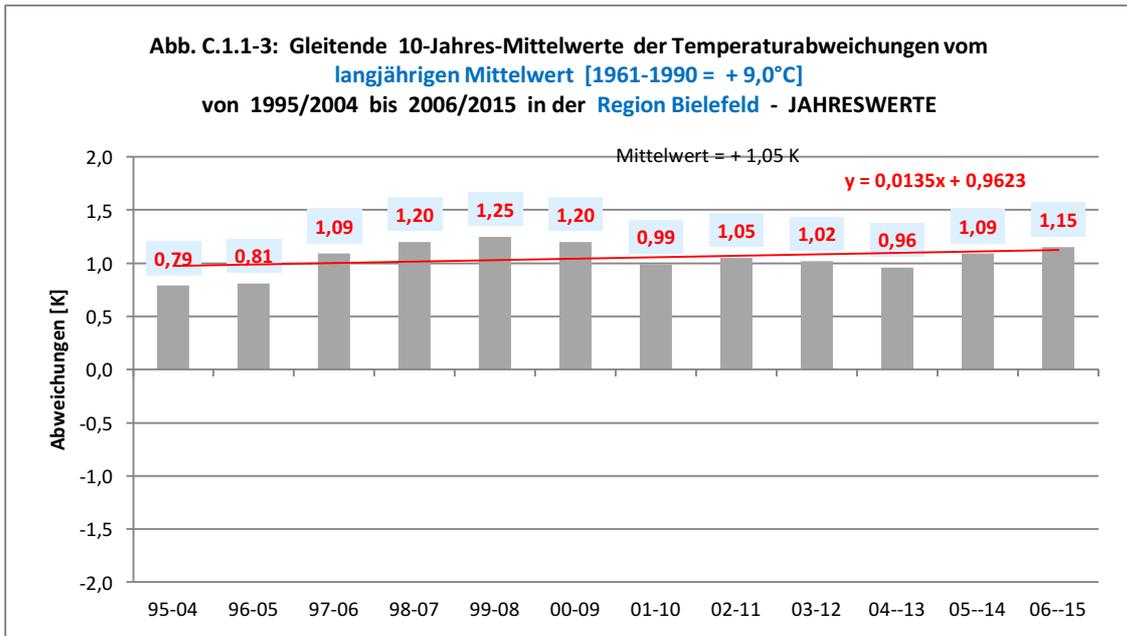
In dieser Abb. C.1.1-2 sind die Abweichungswerte aus der chronologischen Darstellung in Abb. C.1.1-1 nach Größe sortiert. Aus ihr ist ersichtlich, dass es im 21-jährigen Zeitraum von 1995 bis 2015 nur 2 Jahre gegeben hat, die zu kalt waren. 2010 mit knapp -0,5 K Abweichung und 1996 mit gut -1,2 K Abweichung.

In der Gesamtbetrachtung fällt auf, dass es an der Grenze von den zu warmen Jahren zum Bereich der zu kalten Jahre weniger Zwischenwerte gibt. So beträgt die Differenz zwischen dem kältesten Jahr (1996 mit -1,21 K) und dem zweit-kältesten Jahr (2010 mit -0,46 K) $D = 0,75$ K und die zwischen dem dritt-kältesten (2013 mit +0,40 K) und dem zweit-kältesten $D = 0,86$ K. Das viert-kälteste Jahr (1997 mit +0,63 K) unterscheidet sich vom dritt-kältesten dann nur noch um $D = 0,23$ K.

Zwischen allen anderen Jahren, bis auf eine Ausnahme, betragen die Differenzen höchstens 0,21 K.

Diese Ausnahme ist die Differenz zwischen dem wärmsten Jahr (2014 mit +2,14 K) und dem 2-wärmsten Jahr (2007 mit +1,72 K). Sie liegt bei $D = 0,42$ K.

Das Ausnahmejahr 2014 ist bedingt durch einen Winter, der keiner war. Mit März und April folgten zwei Monate mit überdurchschnittlich viel Sonnenschein, der die Temperaturen kräftig in die Höhe trieb. Ebenso der Juli. Allein der August verlief thermisch negativ. Oktober, November und Dezember wiesen wieder kräftige Südwest- und Westlagen auf, die viel milde ozeanische Luftmassen aus subtropischen Breiten herantransportierten.

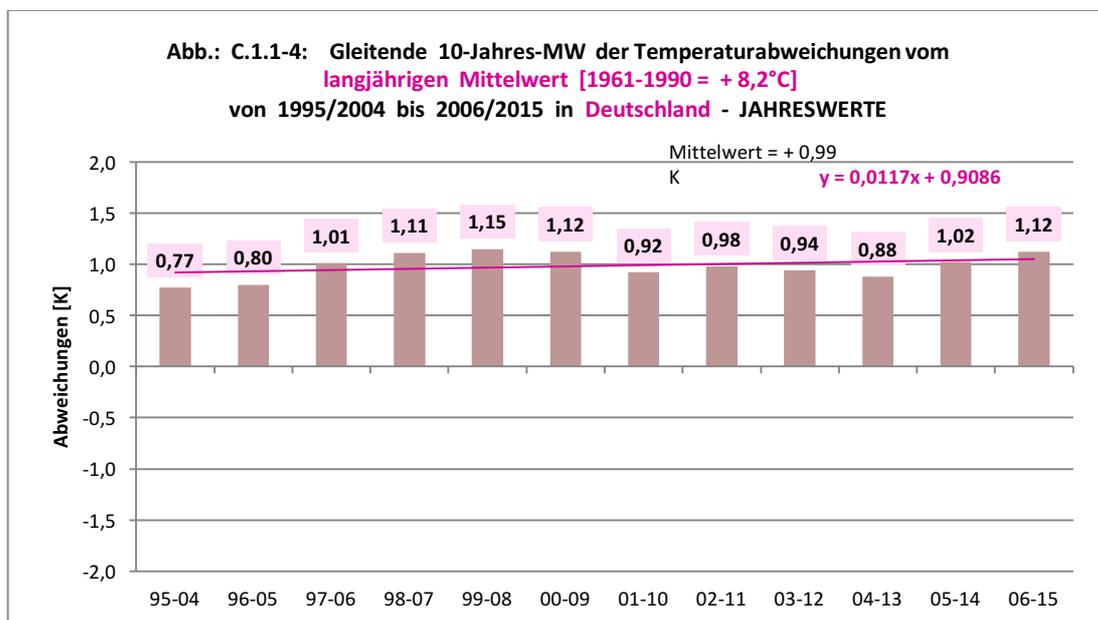


Werden diese Einzeljahres-Werte zu gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten zusammen-gerechnet, so ergibt sich das in Abb. C.1.1-3 zu sehende Bild.

Erkennbar ist hier eine Wellenbewegung. Die geringsten 10-Jahres-Mittelwerte liefern die Zeiträume 1995-2004 und 1996-2005 mit +0,79 K und +0,81 K. Im Folgezeitraum 1997-2006 macht der Mittelwert einen deutlichen Sprung nach oben auf +1,09 K. Das ist der Tatsache geschuldet, dass das kälteste Jahr 1996 (vgl. Abb. C.1.1-1) nicht mehr in die Berechnung einfließt.

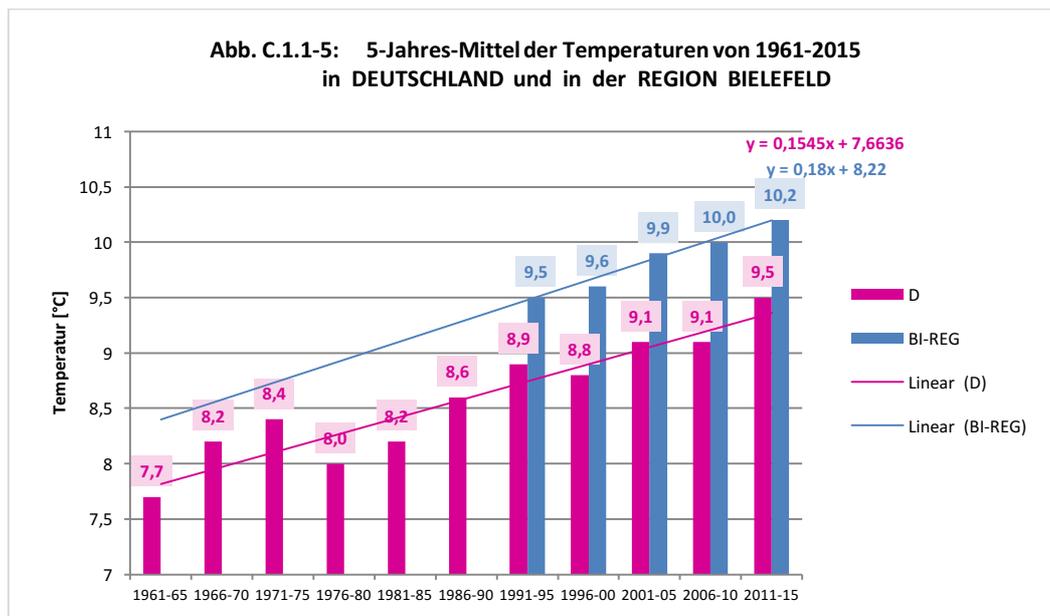
Den Wellenscheitelpunkt mit +1,25 K bildet die Dekade 1999-2008. Danach geht die Abweichung zu 2001-2010 auf ungefähr 1 K zurück. Die folgenden 3 Dekadenwerte liegen ebenfalls knapp unter oder knapp über 1 K. Die jüngsten Dekaden 2005-2014 und 2006-2015 lassen wieder einen Anstieg erkennen.

Generell lässt sich festhalten, dass ab der Dekade 1997-2006 alle 10-Jahres-Mittelwerte um oder etwas über +1 K liegen.



Auf einem leicht nach unten verschobenen Temperaturniveau zeigen sich auch die entsprechenden gleitenden 10-Jahres-Mittelwerte für Deutschland (Abb. C.1.1-4). Werden diese zusätzlich gemittelt, so ist unschwer abzulesen, dass der Betrag dieser Niveaushiftung $D = 0,06 \text{ K}$ beträgt. Für die Region liegt er bei $+1,05 \text{ K}$ und für Deutschland bei $+0,99 \text{ K}$.

Sowohl regional als auch deutschlandweit stagnieren die Jahreswerte auf einem Niveau von 1 K , trotz der permanenten Zunahme der CO_2 Konzentration.



In der Abb. C.1.1-5 sind die mittleren Temperaturen von jeweils fünf Jahren dargestellt. Es sind also nicht wie in den Abbildungen C.1.1-2 und C.1.1-3 gleitende Mittelwerte in überlappenden Jahresschritten sondern diskrete chronologische Werte. Neben den Temperaturwerten der Region Bielefeld sind auch die von Deutschland abgebildet und zwar ab der Pentade 1961-1965. Für die Region sind lediglich die Werte ab 1991 wiedergegeben, da ältere Daten zurzeit nicht vorliegen.

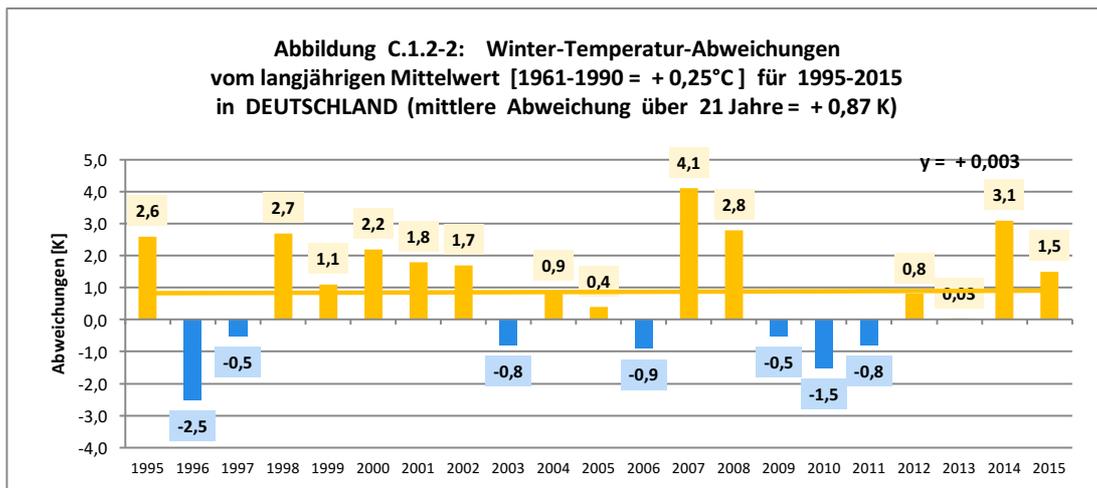
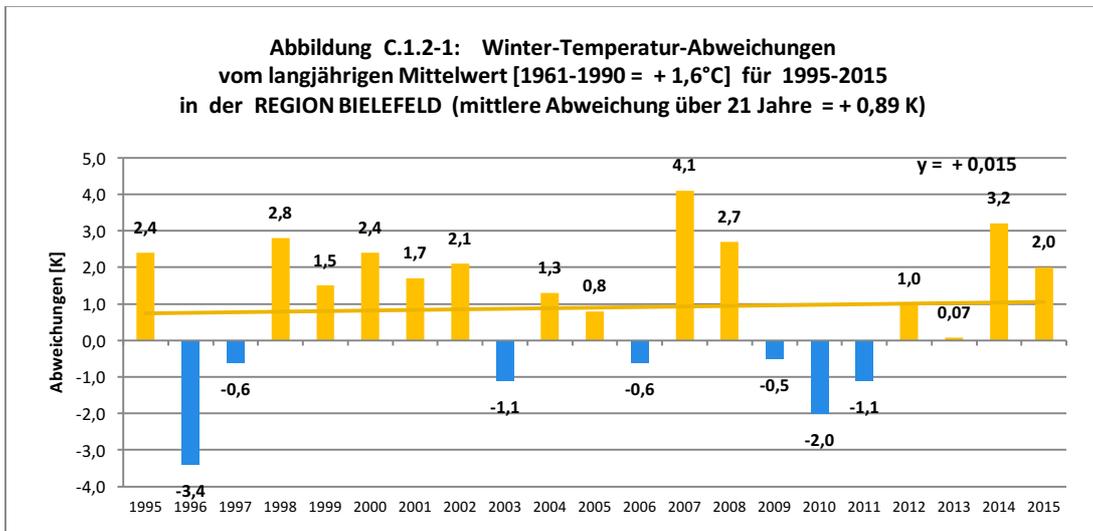
Mehreres lässt sich aus dieser Darstellung ablesen. So fällt u.a. auf, dass die Temperaturen von Deutschland durchweg niedriger sind als die in der Region. Dies erklärt sich daraus, dass das Mittel aller DWD-Stationen orographisch höher liegt als das Mittel der Regionalstationen. Und je höher eine Station liegt, umso niedriger ist bekanntlich in der Regel das mittlere Temperaturniveau.

Weiter geht aus der Darstellung anhand der Trendgeraden hervor, dass die Temperatur trotz einer kurzen Unterbrechung in der zweiten Hälfte der 1970-iger Jahre und einer Stagnation in den 1990-iger Jahren seit mindestens 1961 in Deutschland durchweg höher gestiegen ist. Wird der Zeitraum ab 1991 mit der Region verglichen, so ist hier die Pentaden-Mitteltemperatur in beiden Fällen deutlich angestiegen. Regional nimmt die Temperatur von $+9,5^\circ\text{C}$ auf $+10,2^\circ\text{C}$ zu, das ist eine Differenz von $+0,7 \text{ K}$. Auf die einzelnen 5-Jahres-Zeitabschnitte angewendet entspricht dies einem Anstieg von $+0,18 \text{ K}$ pro Pentade. Für Deutschland beläuft sich die Differenz auf $+0,6 \text{ K}$, was einem Anstieg von $0,154 \text{ K}$ pro Pentade entspricht.

C.1.2 Jahreszeiten

Winter

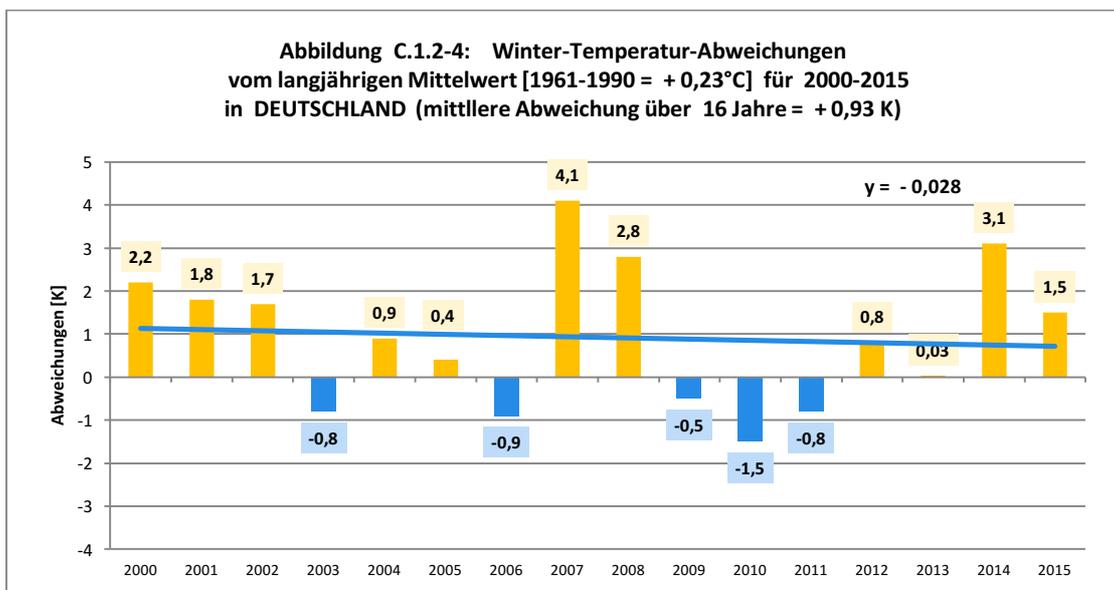
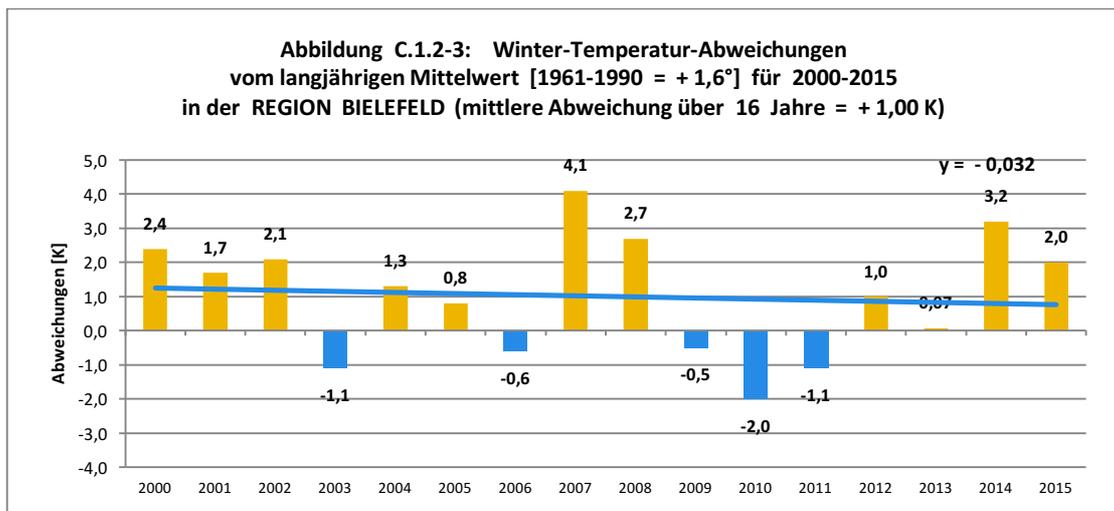
Die Jahreszeit-Abhängigkeiten der Temperatur werden zur genaueren Untersuchung der Trendentwicklung im Folgenden für die Region mit Deutschland verglichen. Entsprechend der Jahresdarstellung für die Region in Abb. C.1.1-1 wird hierfür der Zeitraum von 1995-2015 gewählt. Zusätzlich wird auch der um fünf Jahre verkürzte Zeitraum 2000-2015 wiedergegeben, um mögliche Entwicklungen anhand eines verschobenen Zeitscale aufzuspüren. Eine Gesamtzusammenstellung (Tabelle C.1.2-2) der diskutierten Trend- und Mittelwerte erfolgt am Ende dieses Kapitels C.1.2.



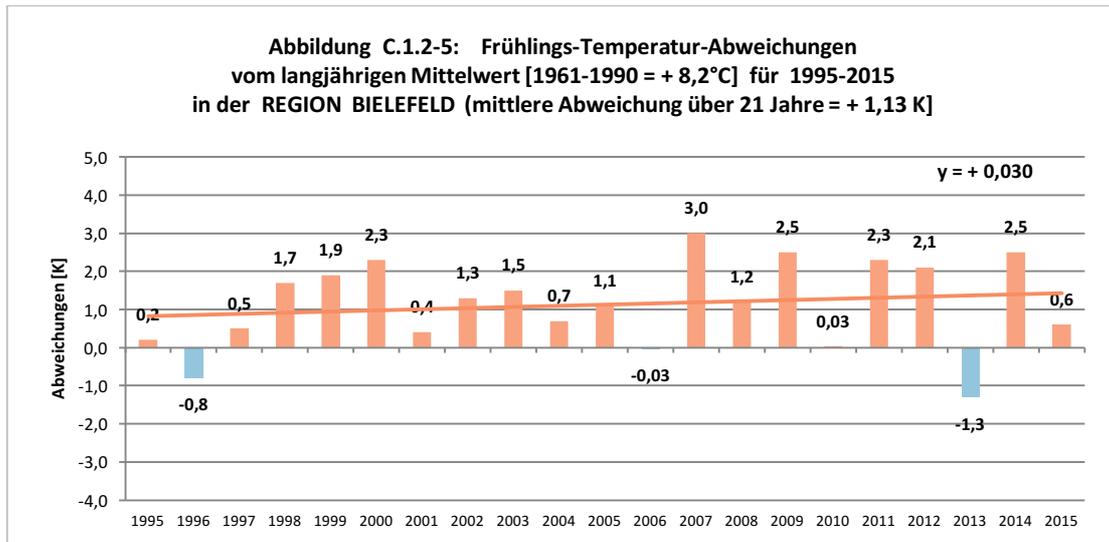
Die Trends der winterlichen Temperaturabweichungen sind gering positiv (regional +0,015 K/a). Für Deutschland liegt der Wert mit lediglich +0,003 K/a fast bei null (Abb. C.1.2-1 und C.1.2-2). Es entspricht bei unveränderten Verhältnissen einem Anstieg von +0,3 K in 100 Jahren. Dies gilt für den Zeitraum 1995-2015.

Wird hingegen der Zeitraum 2000-2015 betrachtet, so zeigt sich in beiden Diagrammen ein negativer Trend (Abb. C.1.2-3 und C.1.2-4), der vom Betrag her größer ist als der positive im Zeitraum 1995-2015. Für die Region beläuft sich der Wert in diesem Fall auf $-0,032$ K/Jahr, für Deutschland etwas kleiner auf $-0,028$ K/Jahr.

Die Mittelwerte der Temperaturabweichungen sind bei der kürzeren Periode etwas höher als im Zeitraum 1995-2015. Regional steigen sie von $+0,89$ K auf $+1,00$ K. Für Deutschland steigen sie von $+0,87$ K auf $+0,93$ K. Deutschland weist somit in beiden Zeiträumen einen etwas tieferen Mittelwert auf.



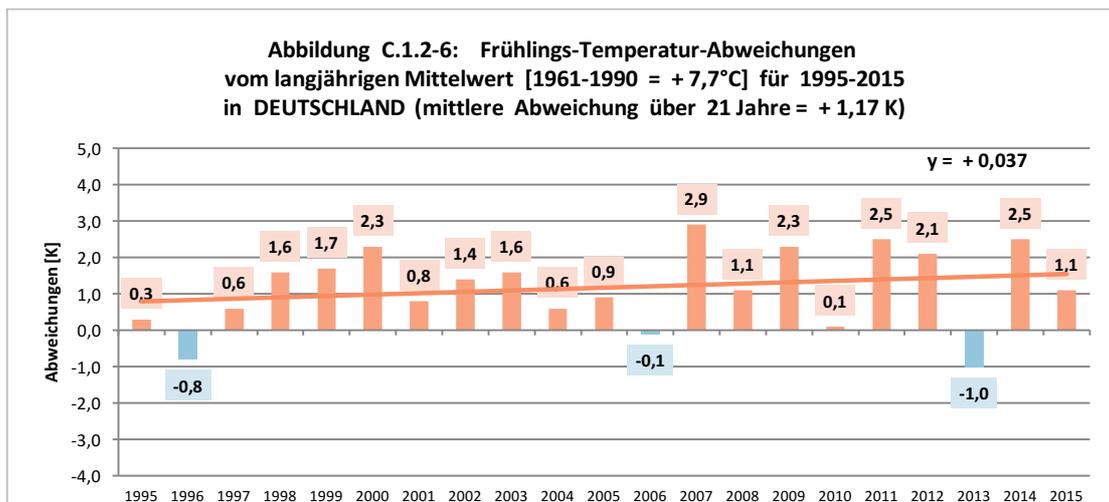
Frühling

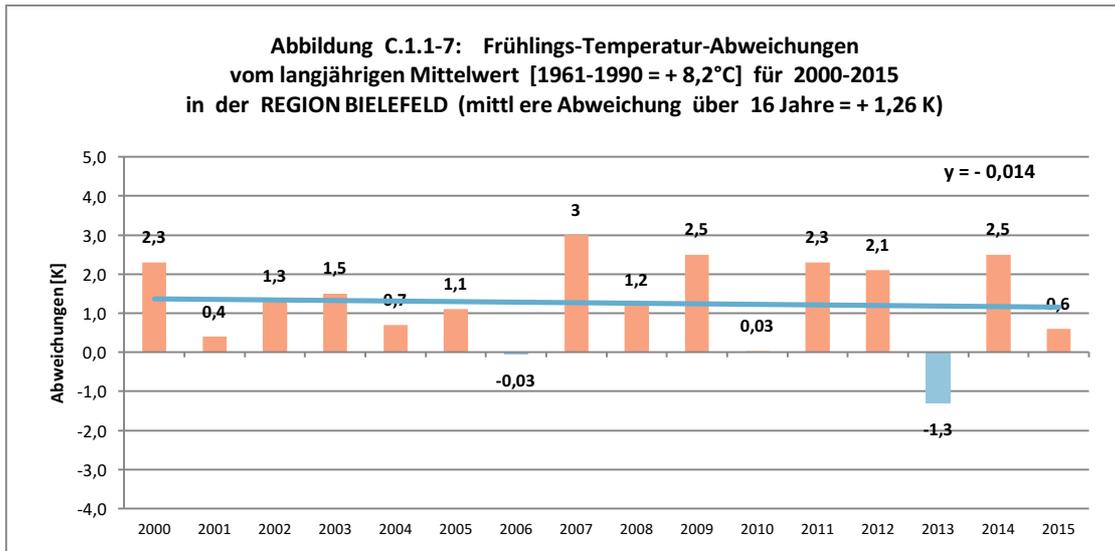


Im wiedergegebenen Zeitraum 1995-2015 gab es nur 2 zu kalte Frühjahre, bei den Wintern waren es mit 7 deutlich mehr. Auch weisen die zu kalten Frühjahre mit -0,8 K (1996) und -1,3 K (2013) nicht so große negative Abweichungen auf wie die kältesten Winter.

Die Trends für die Frühlingstemperaturen sind beim Zeitraum 1995-2015 sowohl in der Region als auch in Deutschland positiv. Regional liegt der Wert bei +0,03 K/Jahr, für Deutschland ergibt sich ein Betrag von +0,037 K/Jahr, also knapp +0,04 K/Jahr.

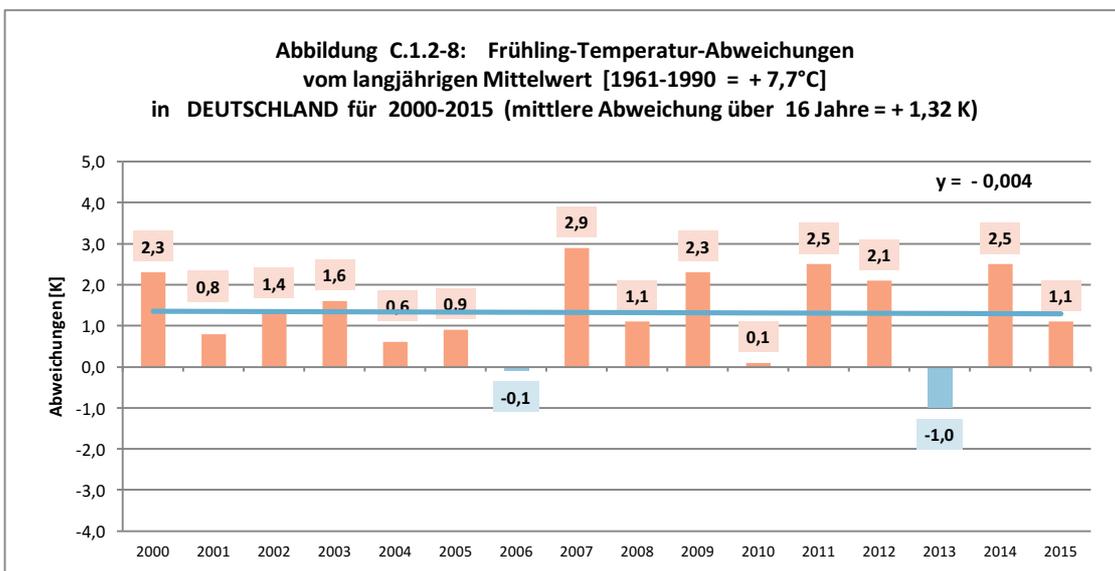
Die Mittelwerte liegen mit +1,13 K in der Region und +1,17 K in Deutschland höher als im Winter.



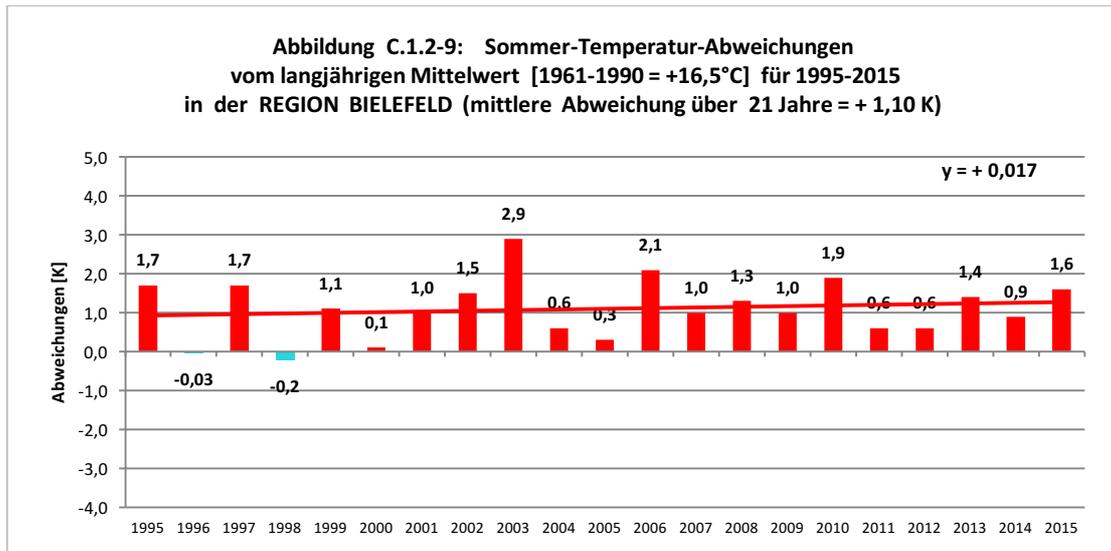


Bei der kürzeren Periode 2000-2015 sind die Trendwerte wieder wie beim Winter negativ, aber vom Betrag schwächer, insbesondere in Deutschland (-0,004 K/a).

Die Mittelwerte sind auch hier wie im Winter höher als im Zeitraum 1995-2015. So beläuft er sich regional auf +1,26 K und für Deutschland auf +1,32 K. Diesmal sind die Mittelwerte in Deutschland etwas höher als in der Region. Beim Winter war es umgekehrt.



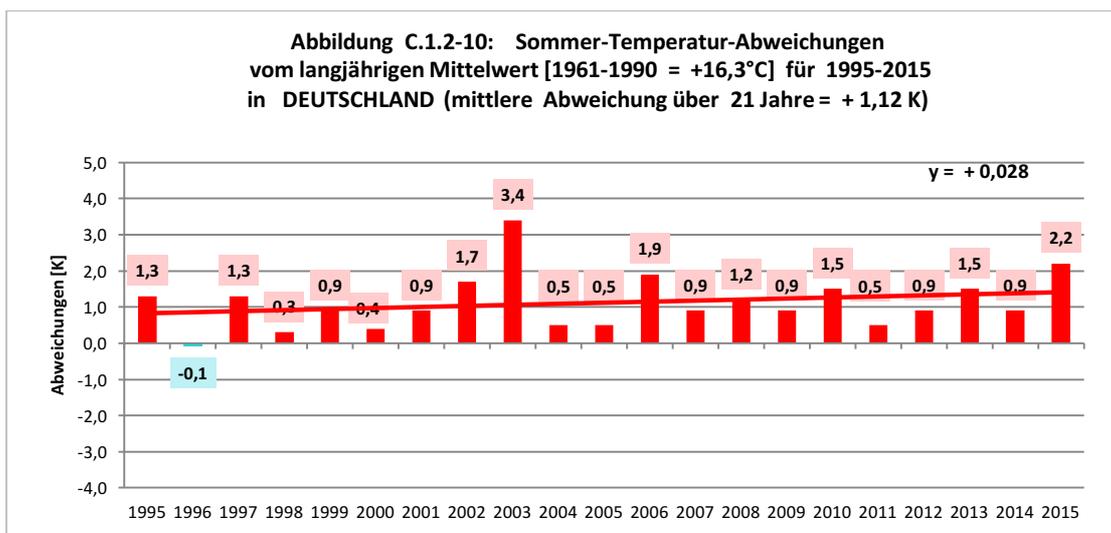
Sommer

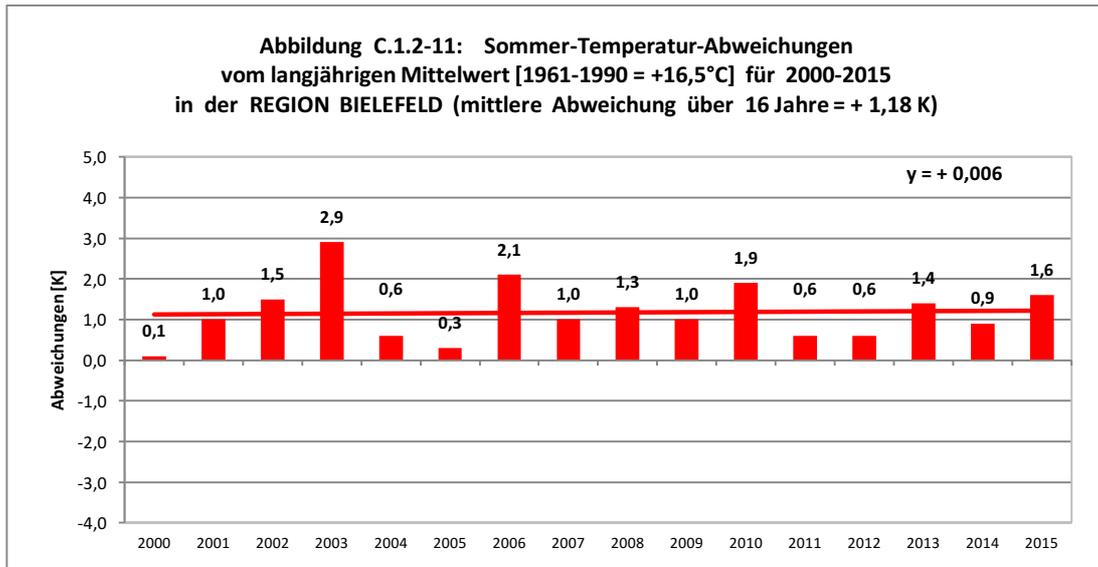


Bei den Sommern gab es so gut wie keinen zu kalten. Die zwei Sommer mit den negativen Abweichungen von -0,03 K (1996) und -0,2 K (1998) können durchaus als normal temperierte Sommer eingeordnet werden. In Deutschland trat sogar nur einer mit einer minimalen negativen Abweichung -0,1 K (1996) auf.

Für den Zeitraum 1995-2015 weisen die Temperaturen, wie bei den Wintern und Frühjahren ebenfalls einen positiven Trend auf, der regional bei +0,017 K/Jahr liegt und deutschlandweit etwas höher bei +0,028 K/Jahr. D.h. wenn der Trend sich unverändert 100 Jahre fortsetzen würde, gäbe es Temperaturanstiege von +1,7 K respektive +2,8 K.

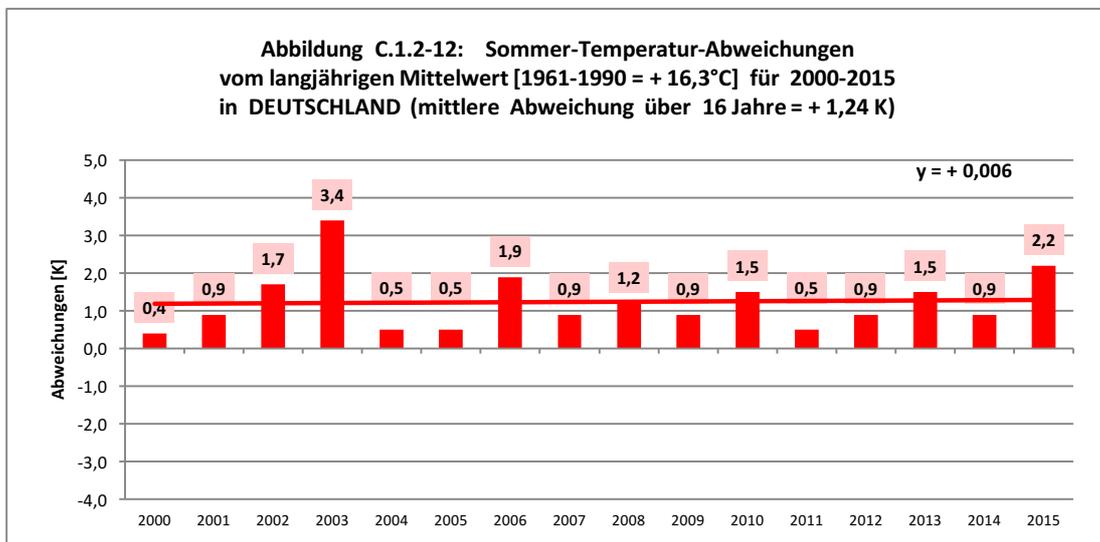
Die Mittelwerte der Abweichung liegen regional wie auch deutschlandweit bei rund +1,10 K, also etwas niedriger als bei den Frühjahren, aber höher als bei den Wintern.



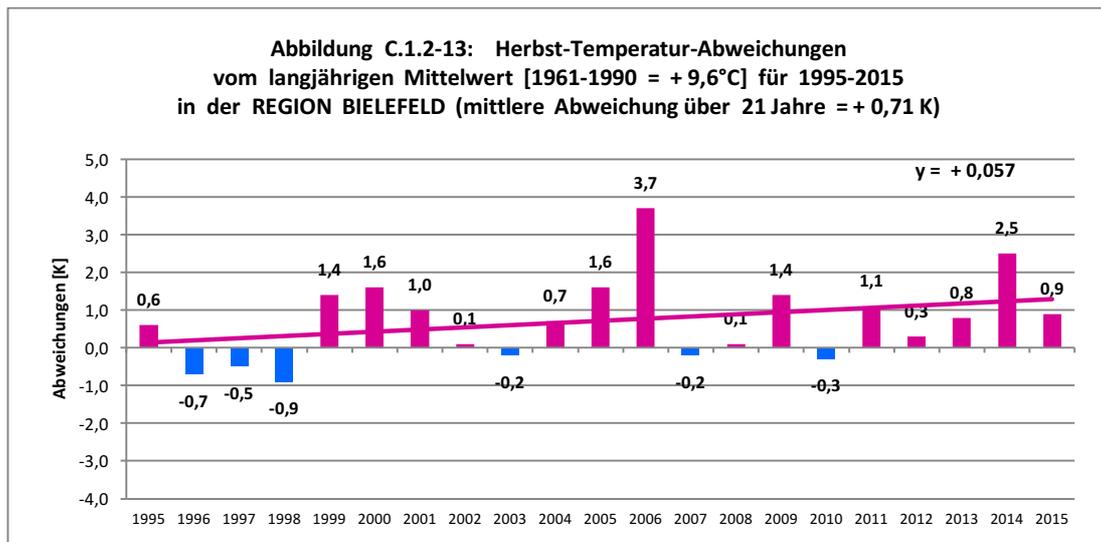


Wird der kürzere Zeitraum von 2000-2015 genommen, so geht der positive Trend nicht, wie bei Winter und Frühjahr, in den negativen Bereich über, sondern verbleibt im positiven. Allerdings sind die Beträge mit jeweils +0,006 K/Jahr geringer als bei der längeren Zeitspanne.

Anders herum sind die Mittelwerte auch hier wieder größer als im Zeitraum 1995-2015, mit +1,18 K für die Region und +1,24 K für Deutschland. Ebenfalls sind hier, wie im Frühjahr, die Werte in Deutschland etwas höher als in der Region. 1995-2015 regional +1,10 K, DE = +1,12 K, 2000-2015 regional +1,18 K, DE = +1,24 K.



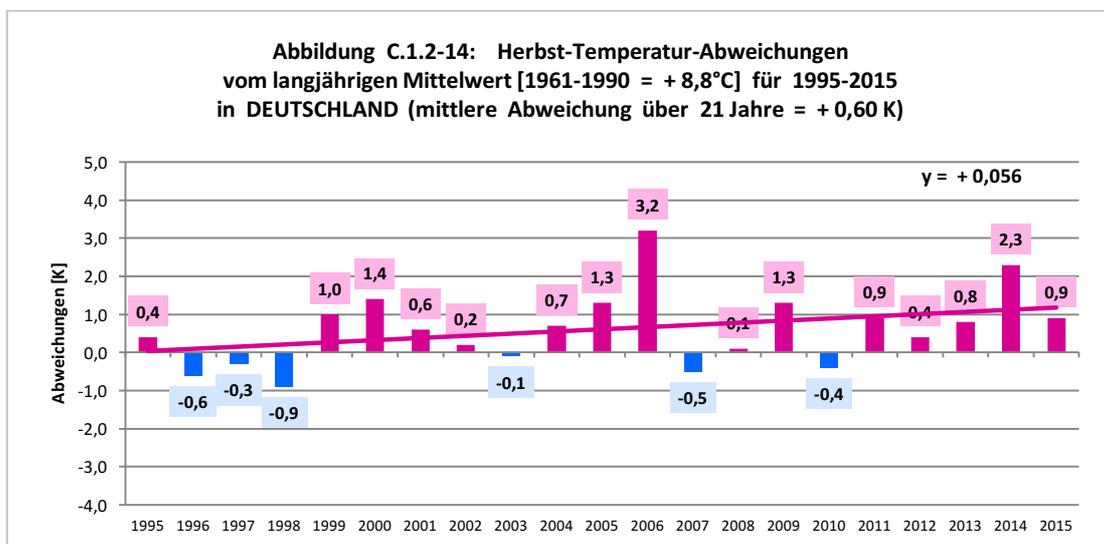
Herbst

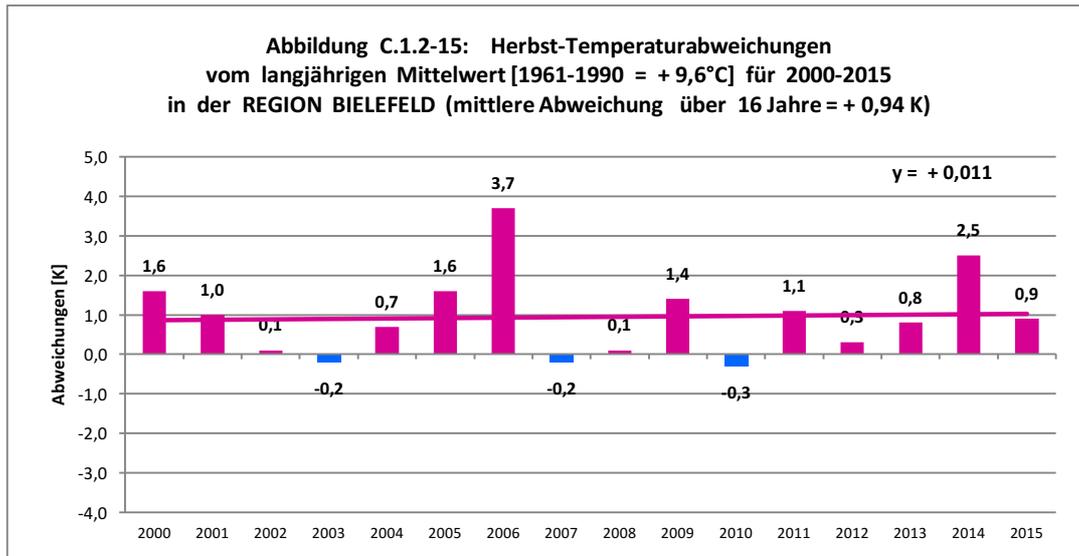


Das Bild für die Herbstmonate zeigt insgesamt ein ausgeprägteres Auf und Ab als Sommer und Frühjahr. Die Anzahl der zu kalten Herbste steigt wieder an auf 3 (1996, 1997 und 1998). Die 3 weiteren geringfügig zu kalten Herbste können als quasi normal temperiert eingeordnet werden (die Spanne von -0,3 K bis +0,3 K gilt offiziell so). Zu den quasi normal temperierten dürfen deswegen auch die geringfügig positiv temperierten wie 2002 (+0,1 K), 2008 (+0,1 K) und 2012 (+0,3 K) gezählt werden. So gibt es 6 normal temperierte Herbste. Dies ist eine Anzahl, die von den anderen Jahreszeiten nicht erreicht wird.

Da die 3 zu kalten Herbste am Beginn des Zeitraumes liegen, sind hier auch die positiven Trends am größten. Sie liegen dicht beieinander regional bei +0,057 K/Jahr und +0,056 K/Jahr in Deutschland.

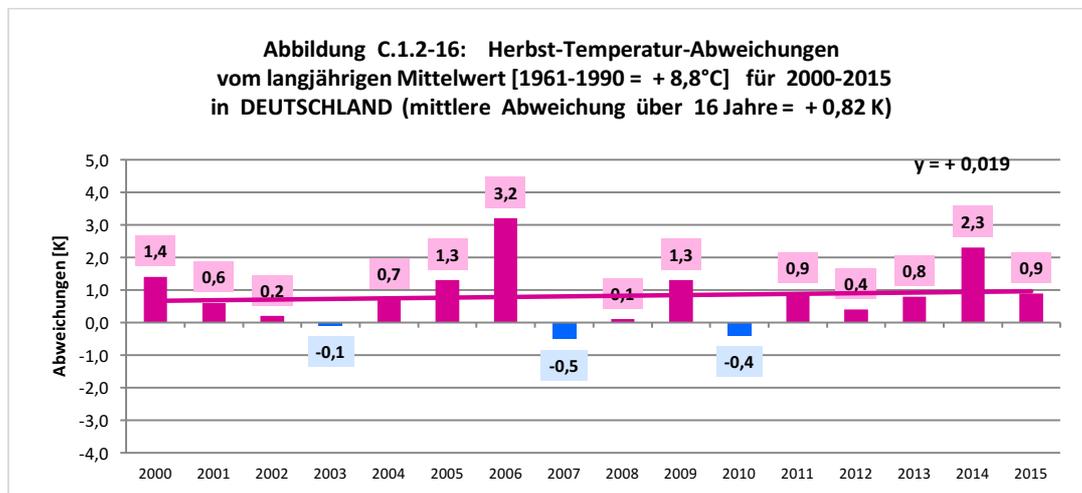
Die Mittelwerte allerdings weisen hier von allen Jahreszeiten die geringsten Beträge auf mit +0,71 K für die Region und nur +0,60 K für Deutschland. Wesentlich dazu beigetragen haben die 3 zu kalten Herbste und die 6 quasi normal temperierten.





Die erwähnten zu kalten Herbste in der zweiten Hälfte der 1990-iger Jahre sind im kürzeren Zeitraum 2000-2015 nicht mehr vorhanden. Erwartungsgemäß schwächt sich der Positiv-Trend deutlich ab. Er sinkt in der Region auf +0,011 K/Jahr und in Deutschland auf +0,019 K/Jahr.

Die Mittelwerte gehen deutlich nach oben, allerdings nicht über +1,0 K. Hier weisen, wie im Winter, die Werte für Deutschland gegenüber der Region die geringeren Beträge auf. 1995-2015 regional +0,71 K, DE = +0,60 K, 2000-2015 regional +0,94 K, DE = +0,82K.



Folgende Tabelle zeigt eine notwendige Zusammenstellung der Trend- und Mittelwerte in Abhängigkeit von den Jahreszeiten.

	Zeitraum	Trendwerte		Mittelwerte	
		Region	BRD		
Winter	1995-2015	0,015	0,003	0,89	0,87
	2000-2015	-0,032	-0,028	1,00	0,93
Frühjahr	1995-2015	0,030	0,037	1,13	1,17
	2000-2015	-0,014	-0,004	1,26	1,32
Sommer	1995-2015	0,017	0,028	1,10	1,12
	2000-2015	0,006	0,006	1,18	1,24
Herbst	1995-2015	0,057	0,056	0,71	0,60
	2000-2015	0,011	0,019	0,94	0,82

Tab. C.1.2-2: Gesamtzusammenstellung der Trend- und Mittelwerte

Auffallend ist bei den Trendwerten, dass ausnahmslos bei allen Jahreszeiten der positive Trend vom Zeitraum 1995-2015 zum Zeitraum 2000-2015 entweder sich abschwächt (Sommer und Herbst) oder sich in den negativen Bereich umkehrt (Winter und Frühjahr).

Die Mittelwerte der Temperatur hingegen steigen in allen Jahreszeiten an. Im Zusammenspiel mit den Trendwerten ist daraus zu schließen, dass es in diesem Zeitraum 1995-2015 einen Gipfelwert der Temperaturabweichung gegeben hat mit sich anschließendem leichten Sinken.

C.2 Niederschlag

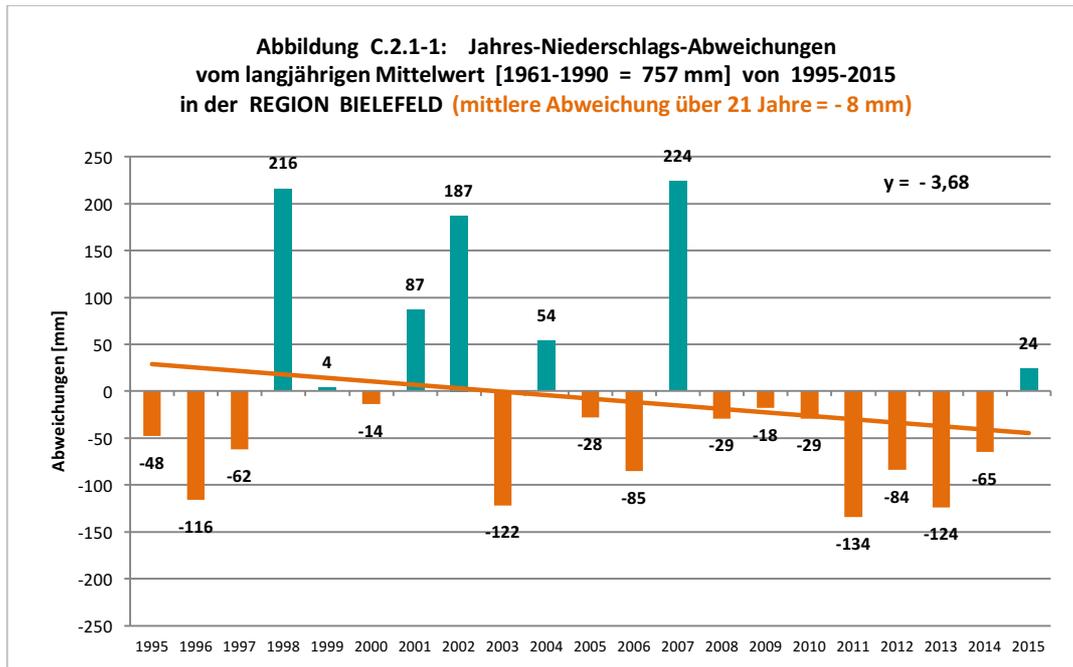
Wie in Kapitel C.1 der klimarelevante Parameter Temperatur untersucht worden ist, soll in diesem Kapitel C.2 der ebenfalls klimarelevante Parameter Niederschlag untersucht werden. Es werden wie in C.1 zunächst die Werte der Jahresabweichungen recherchiert (Kapitel C.2.1), wobei hier zusätzlich und im Unterschied zur Temperaturuntersuchung neben der Zeitspanne 1995-2015 auch die kürzere Periode von 2000-2015 einbezogen wird. Parallel hierzu werden die regionalen Entwicklungen mit den deutschlandweiten Entwicklungen verglichen. Im Vordergrund stehen bei den Recherchen zur Niederschlagsentwicklung die Trendwerte und nicht so sehr, im Gegensatz zur Temperaturanalyse, die Änderungen der Mittelwerte.

Außerdem werden, in Erweiterung zur Temperatursondierung, bei den beiden Zeiträumen 1995-2015 und 2000-2015 die Zeitraumenden in Jahresschritten variiert, indem das Ende in fünf Jahresschritten bis 2010 verkürzt wird.

Daraus resultieren weitere aussagekräftige Ergebnisse.

Diese intensiv analytische Vorgehensweise wird in derselben Linienführung auch bei der Nachforschung der jahreszeitlichen Entwicklungen (Kapitel C.2.2) angewendet.

C.2.1 Jahreswerte



In der Abb. C.2.1-1 sind die Abweichungen der Niederschlagssummen vom Klimadurchschnittswert der Reihe 1961-1990 aufgetragen. Der 20-jährige Zeitraum wird wie bei der Temperatur durch 21 Messwerte dokumentiert (1995 bis 2015 inklusive).

Hierbei sind 14 Jahre mit unterdurchschnittlichem Wert aufgetreten und lediglich 7 Jahre, d.h. die Hälfte, mit überdurchschnittlichen Jahressummen. Von den Beträgen her allerdings weisen die zu nassen Jahre die 3 größten Werte auf (1998 = +216 mm, 2002 = +187 mm, 2007 = +224 mm).

Den größten Betrag mit negativer Abweichung lieferte das Jahr 2011 mit -134 mm.

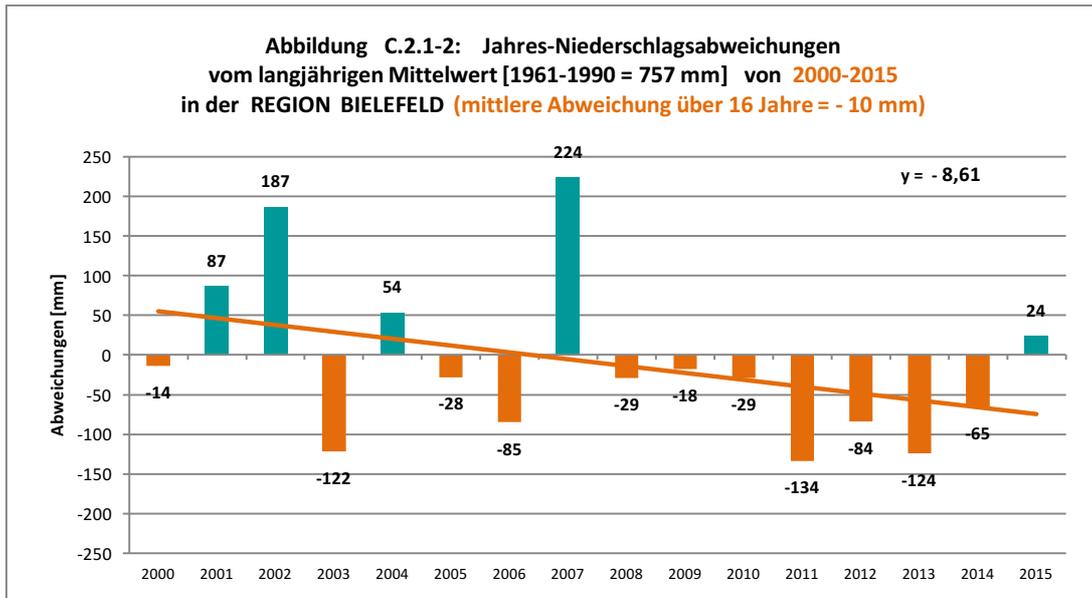
Zu erwähnen ist, dass es nach 2007 bis 2014 nur Jahre mit zu wenig Niederschlag gegeben hat. Erst das aktuellste Jahr 2015 weist einen Überschuss auf, der sich aber mit +24 Liter/m² (= mm Regenhöhe) bescheiden ausnimmt.

Wegen der großen positiven Abweichungen zeigt sich die mittlere Abweichung der 21 Abweichungswerte lediglich mit einem relativ kleinen Betrag von -8 Liter/m².

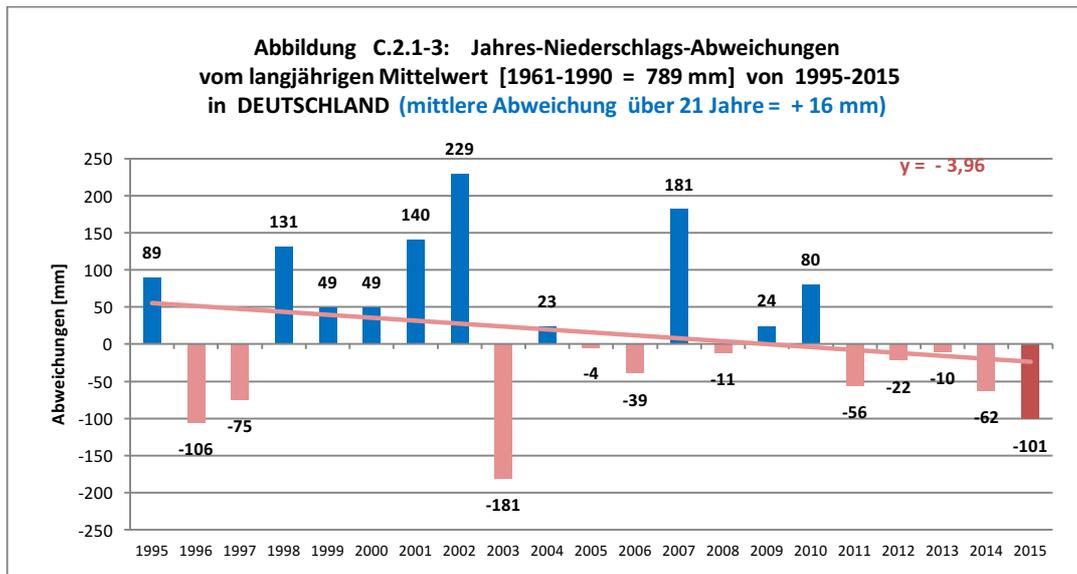
Der Gesamttrend über diesen Zeitraum ist aber erkennbar negativ, und zwar mit einer mittleren Abnahme pro Jahr von -3,68 Liter/m²*Jahr.

Werden die Abweichungen der letzten 15 Jahre von 2000 bis inklusive 2015 mit 16 Messwerten dargestellt (Abb. C.2.1-2), so ändert sich der mittlere Abweichungsbetrag nur geringfügig von -8 Liter/m² auf -10 Liter/m².

Aber der negative Trend über diesen Zeitraum wird mit -8,61 Liter/m²*Jahr augenfällig stärker.

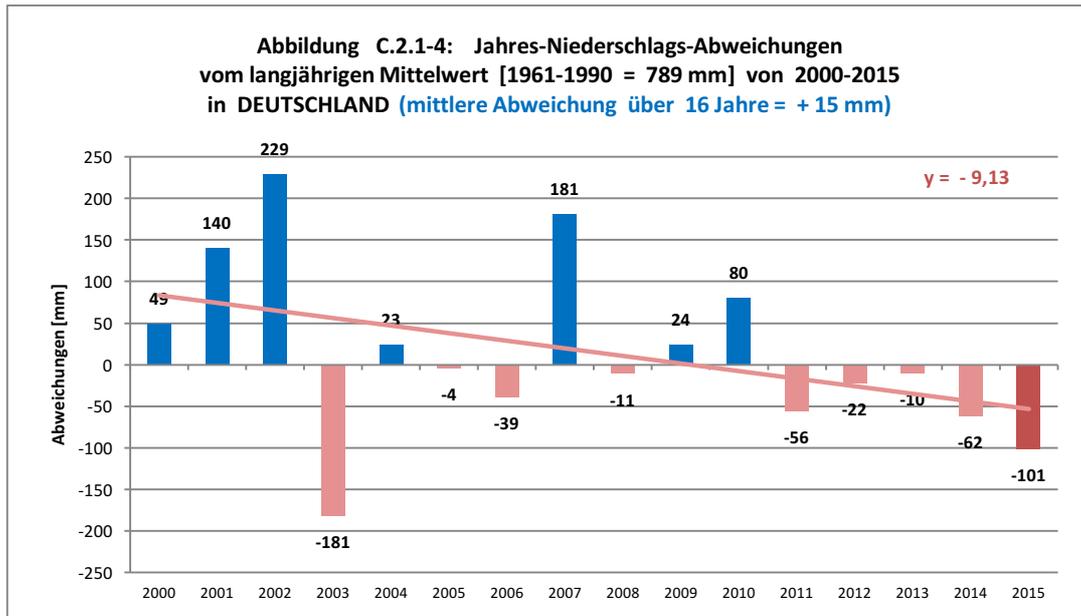


Ausgehend vom Jahr 2011 sieht es so aus, als wenn seitdem wieder ein Trend zu mehr Niederschlag eingesetzt hat, was aber vorläufig nur so aussieht. Es bleibt abzuwarten, inwieweit sich das Jahr 2016 in diese Richtung einfügt.



Werden zu den Regionalwerten im Vergleich hierzu die entsprechenden Angaben für Deutschland herangezogen (21-Jahre-Zeitraum, Abb. C.2.1-3), so fällt auf, dass die Anzahl zu nasser Jahre gegenüber der Region (7 Jahre) auf 10 Jahre steigt, also auf knapp die Hälfte aller Jahre.

Der Mittelwert der Abweichungen über alle 21 Jahre ist im Gegensatz zur Region mit +16 Liter/m² positiv.



Einen geringfügig niedrigeren Mittelwert mit +15 Liter/m² erhält man für den 16-jährigen Zeitraum (Abb. C.2.1-4) von 2000-2015.

Werden hierzu die Trendwerte gesehen, so fällt auf, dass die Deutschland-Werte größere negative Beträge aufweisen als die Regionalwerte:

Zeitraum 1995-2015: Region: - 3,68 Liter/m²*Jahr, Deutschland: - 3,96 Liter/m²*Jahr

Zeitraum 2000-2015: Region: -8,61 Liter/m²*Jahr, Deutschland: - 9,13 Liter/m²*Jahr

Für die Region deutet sich, wie oben erwähnt, eventuell ab 2011 eine Trendwende zu nasser Jahren an. Vergleicht man hierzu aber die Deutschlandwerte, so ist dies nicht zu erkennen. Es sind zwar von 2011 bis 2013 Minderungen der negativen Abweichungen zu sehen, aber 2014 und besonders 2015 weisen wieder in die Richtung trockenerer Jahre, was sich ja auch im deutlich negativen Trendwert von -9,13 Liter/m² pro Jahr widerspiegelt.

Im Folgenden wird der Trendverlauf ab 2010 noch einmal umfassender analysiert, indem die längere und die kürzere Periode am Ende des Periodenzeitraumes variiert werden. Wie die Tabellen C.2.1-2 und C.2.1-3 zeigen, werden die Endjahreswerte von 2010 bis 2015 in Einzelschritten variiert. So werden nötige Trenddaten gewonnen, die die Entwicklung der Niederschlagsverhältnisse klarer erkennen lassen.

Zeitraum	Region	D	Differenz	Zeitraum	Region	D	Differenz
1995-2010	+1,31	+1,57	- 0,26	2000-2010	- 5,36	- 3,34	- 2,02
1995-2011	- 1,80	- 0,50	- 1,30	2000-2011	-10,07	- 6,44	- 3,63
1995-2012	- 3,08	- 1,35	- 1,73	2000-2012	-10,90	- 6,98	- 3,92
1995-2013	- 4,57	- 1,74	- 2,83	2000-2013	-12,29	- 6,78	- 5,51
1995-2014	- 4,75	- 2,75	- 2,00	2000-2014	-11,40	- 7,78	- 3,62
1995-2015	- 3,68	- 3,96	+0,28	2000-2015	- 8,61	- 9,13	+0,52

Tabelle: C.2.1-2: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im JAHR der angegebenen Zeiträume ab 1995 für die Region und für Deutschland

Tabelle: C.2.1-3: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im JAHR der angegebenen Zeiträume ab 2000 für die Region und für Deutschland

Nur für den Zeitraum 1995-2010 sind sowohl regional als auch deutschlandweit die Trendwerte positiv, ansonsten immer negativ.

In der 1995er Reihe verstärkt sich für Deutschland der Negativtrend kontinuierlich. Regional gibt es von 1995-2014 zu 1995-2015 eine leichte Minderung des Negativtrends.

Bei der Differenzbildung fällt auf, dass bis auf 1995-2015 regional die Negativtrends zum einen stärker ausgeprägt sind, zum anderen werden, ausgehend von 1995-2010, die Differenzbeträge bis 1995-2013 immer größer.

Die 2000er Reihe weist sowohl für die Region als auch für Deutschland größere Negativwerte auf als die 1995er Reihe.

Auch hier verstärkt sich für Deutschland der Negativtrend fast durchgehend kontinuierlich. Nur von 2000-2012 auf 2000-2013 gibt es eine sehr geringe Abnahme von - 6,98 Liter/m²*a auf - 6,78 Liter/m²*a.

Regional setzt bei der 2000er Reihe ab 2000-2014 eine Abschwächung des Negativtrends ein. Bei der 1995er Reihe ist dies erst beim letzten Zeitraum 2000-2015 zu beobachten.

Infolge dieser regionalen Minderung und der kontinuierlichen deutschlandweiten negativen Verstärkung sind im neuesten Zeitraum 2000-2015 die Differenzen sowohl für die 1995er als auch für die 2000er Reihe positiv.

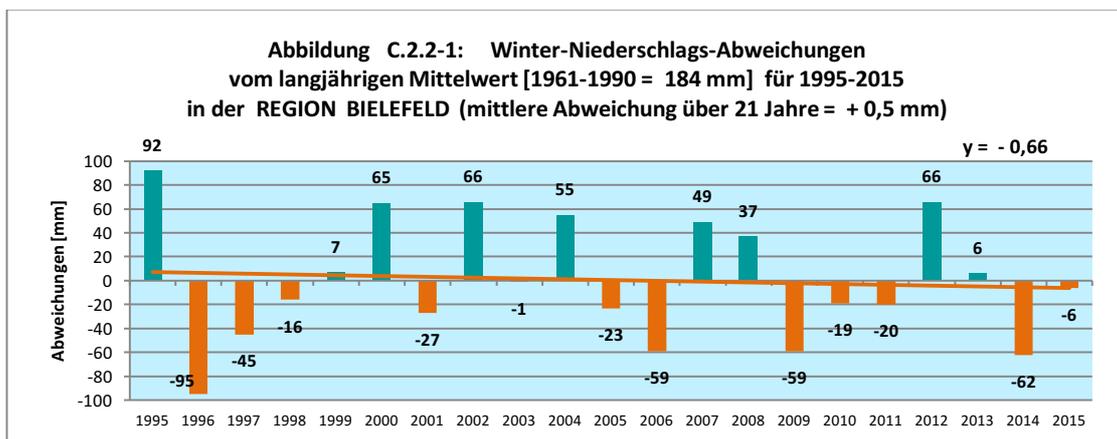
Mit anderen Worten: Deutschland weist immer schwächere Negativwerte auf als die Region bis auf die Zeiträume 1995-2015 und 2000-2015.

C.2.2 Jahreszeiten

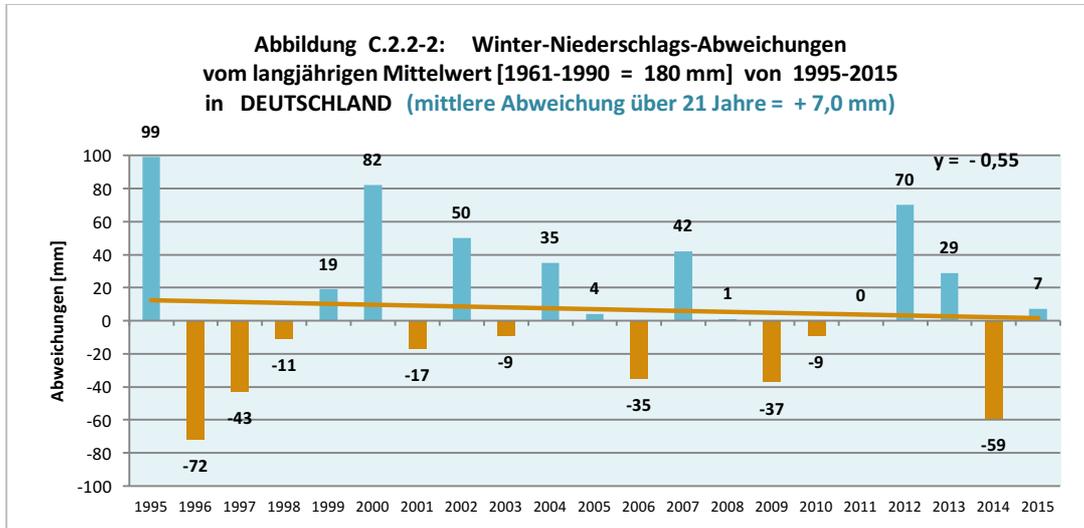
Winter

In den folgenden 4 Kapiteln werden die Niederschlagssummen der Jahreszeiten untersucht, wobei mit dem Winter begonnen wird. In Verbindung mit dem Klimawandel werden von den Klimamodellen auch Aussagen hierzu gemacht.

So sollen nach den Aussagen der meisten Modelle die Niederschläge im Winter zunehmen, wohingegen im Sommer eine Abnahme erfolgen soll. Im Herbst wiederum wird von einer Zunahme ausgegangen.

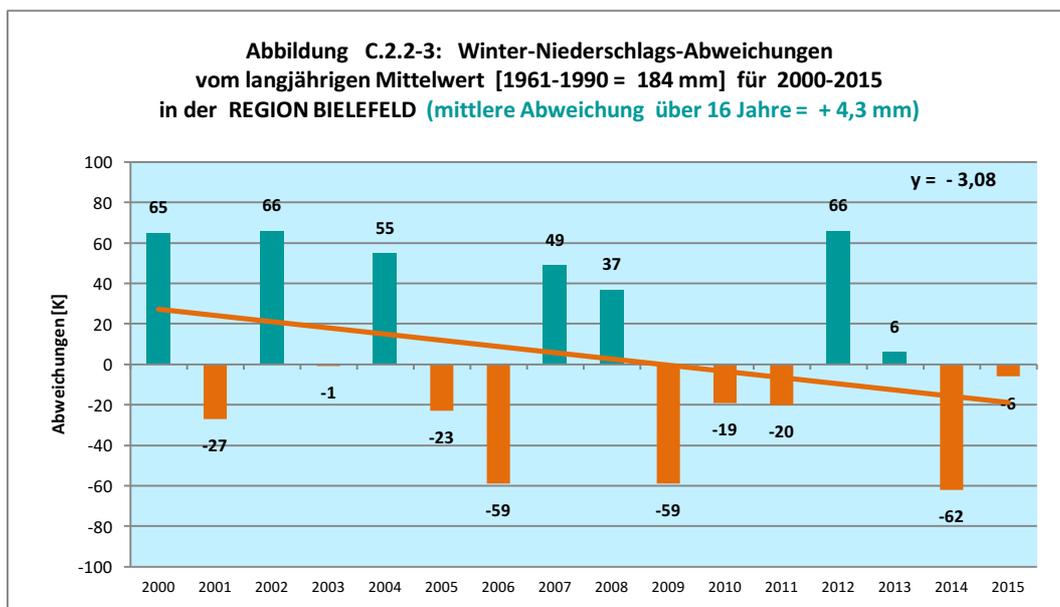


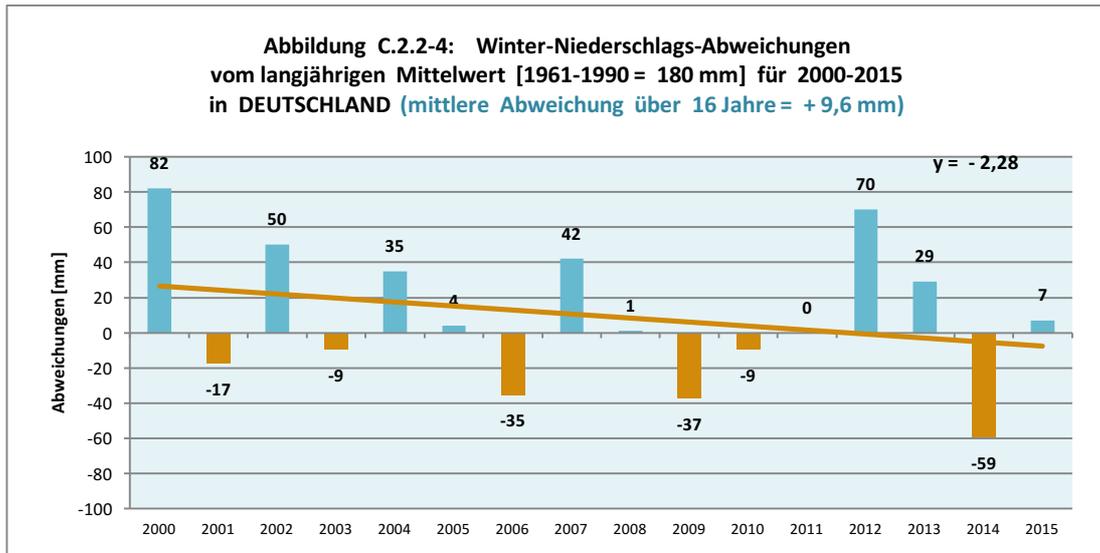
Wird nun wie bei der Jahresdarstellung der 21jährige Zeitraum von 1995 bis 2015 dargestellt, so ist aus der obigen Abbildung C.2.2-1 zu erkennen, dass der Trend der Niederschlagssummen für den Winter leicht negativ ist. Die prognostizierte Zunahme zeichnet sich noch nicht ab.



Ähnliches zeigt auch die entsprechende Darstellung für Deutschland (Abb. C.2.2-2), wobei der negative Betrag des Trendwertes etwas geringer ist (-0,55 Liter/m²*Jahr) gegenüber -0,66 Liter/m²*Jahr für die Region.

Die mittlere Abweichung vom Klimawert [1961-1990] liegt für die Region nahe Null und für Deutschland bei +7,0 Liter/m².





Wird nur der Zeitraum ab 2000 genommen, so zeigt sowohl für die Region als auch für Deutschland der Trend stärker nach unten (Abb. C.2.2-3 und C.2.2-4). Die Abnahme pro Jahr beläuft sich regional auf $-3,08 \text{ Liter/m}^2 \cdot \text{Jahr}$ und für Deutschland mit $-2,28 \text{ Liter/m}^2 \cdot \text{Jahr}$ wieder etwas geringer.

Die mittleren Abweichungen vom 30jährigen Klimamittel-Referenzwert [1961-1990] sind mit $+4,3 \text{ Liter/m}^2$ (regional) und $+9,6 \text{ Liter/m}^2$ (Deutschland) in beiden Fällen positiv.

Zeitraum	Region	D			
1995-2010	-0,64	-1,29	2000-2010	-5,90	-5,91
1995-2011	-0,96	-1,19	2000-2011	-5,60	-4,92
1995-2012	+0,35	+0,12	2000-2012	-2,40	-1,85
1995-2013	+0,32	+0,41	2000-2013	-2,04	-1,04
1995-2014	-0,67	-0,64	2000-2014	-3,45	-2,69
1995-2015	-0,66	-0,55	2000-2015	-3,08	-2,28

Tabelle: C.2.2-1: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im WINTER der angegebenen Zeiträume ab 1995 für die Region und für Deutschland

Tabelle: C.2.2-2: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im WINTER der angegebenen Zeiträume ab 2000 für die Region und für Deutschland

In der Tabelle C.2.2-1 sind zu den Trendwerten des aktuellen Zeitraumes 1995-2015 zusätzlich wie schon bei der Untersuchung der Jahre die Werte der fünf Zeiträume von 1995-2010 bis 1995-2014 eingetragen.

Anhand dieser Angaben lässt sich ablesen, dass es zwar vorübergehend eine Trendumkehr zu mehr Niederschlägen gegeben hat. Diese fällt vom Betrag her allerdings gering aus und hat somit bei weitem keine Signifikanz für die angenommene Erhöhung der Winterniederschläge.

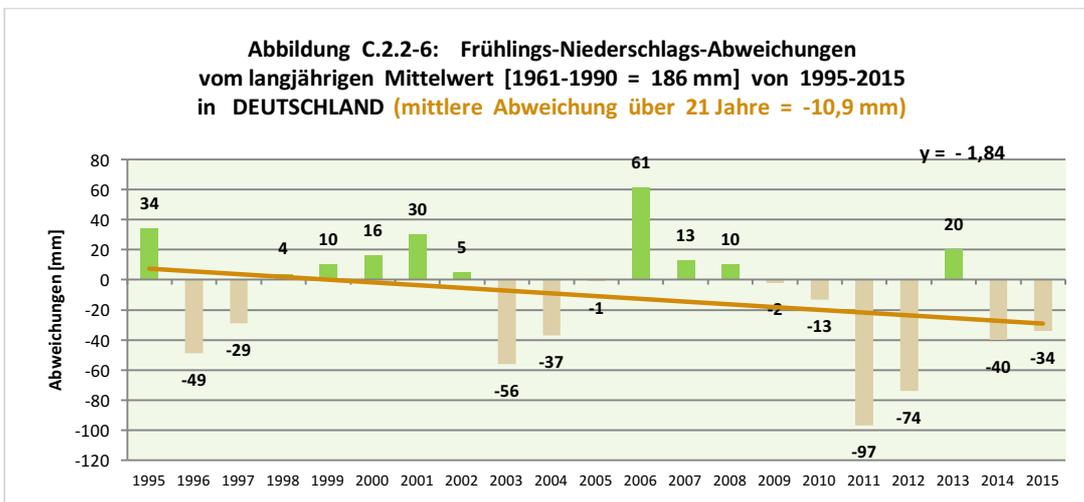
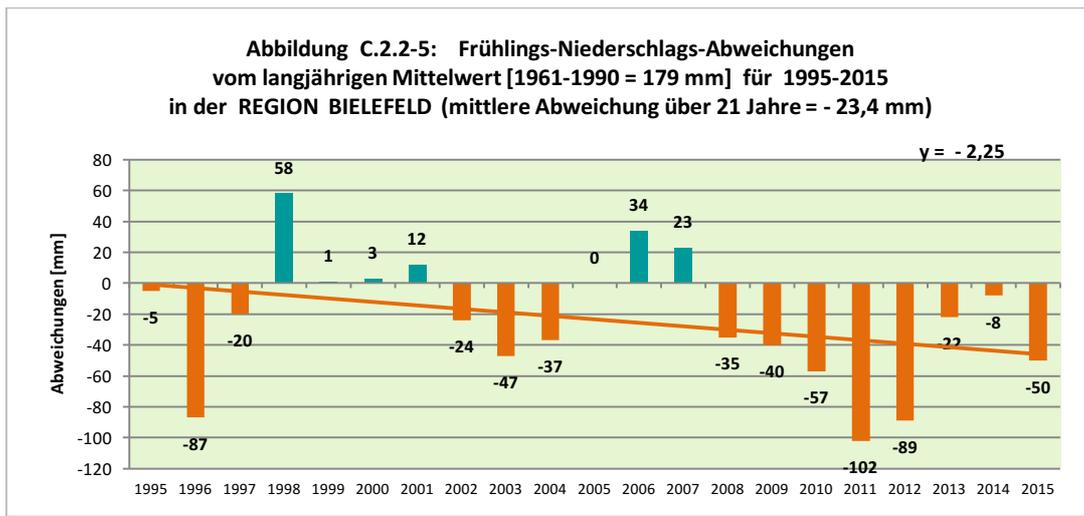
In Tabelle C.2.2-2 sind die Trendwerte für die von 1995 auf 2000 verkürzten Zeiträume angegeben.

Mehreres lässt sich hier erkennen. Zum einen ist die Negativität der Beträge deutlich größer als in der Tabelle C.2.2-1. Zum anderen lässt sich ablesen, dass die regionalen Werte deutlich einen größeren Abwärtstrend gegenüber Deutschland aufweisen.

Des Weiteren erfolgt nicht wie bei den 1995er Werten eine vorübergehende Trendumkehr, sondern in den entsprechenden Zeiträumen 2000-2012 und 2000-2013 nur eine vorübergehende Abschwächung des Negativtrends. Dies gilt für die Region und Deutschland gleichermaßen.

Somit lässt sich konstatieren, dass auch die verjüngten Zeiträume bislang keine Zunahme der Winterniederschläge zeigen.

Frühling



Stärker als im Winter haben die Niederschläge im Frühjahr abgenommen. Sowohl die Mittelwerte als auch die Trendwerte sind sämtlich im negativen Bereich (Abb. C.2.2-5) und C.2.2-6).

Regional liegt der Mittelwert der Abweichungen gegenüber dem langjährigen Klimawert von [1961-1990] mit -23,4 Liter/m² deutlich im Mankobereich. Der Wert für Deutschland ist mit -10,9 Liter/m² nicht derart ausgeprägt.

Zeitraum	Region	D	Zeitraum	Region	D
1995-2010	- 0,89	+0,63	2000-2010	- 3,00	- 0,20
1995-2011	- 2,47	- 1,38	2000-2011	- 5,64	- 3,98
1995-2012	- 3,31	- 2,35	2000-2012	- 6,63	- 5,37
1995-2013	- 2,80	- 1,53	2000-2013	- 5,14	- 3,40
1995-2014	- 2,19	- 1,77	2000-2014	- 3,70	- 3,54
1995-2015	- 2,25	- 1,84	2000-2015	- 3,58	- 3,43

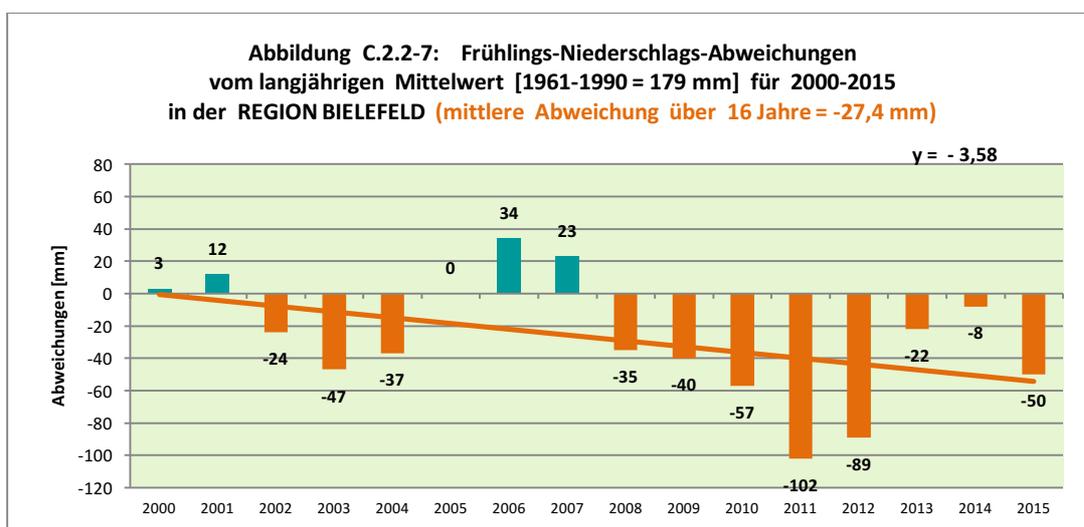
Tabelle: C.2.2-3: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im FRÜHJAHR der angegebenen Zeiträume ab 1995 für die Region und für Deutschland

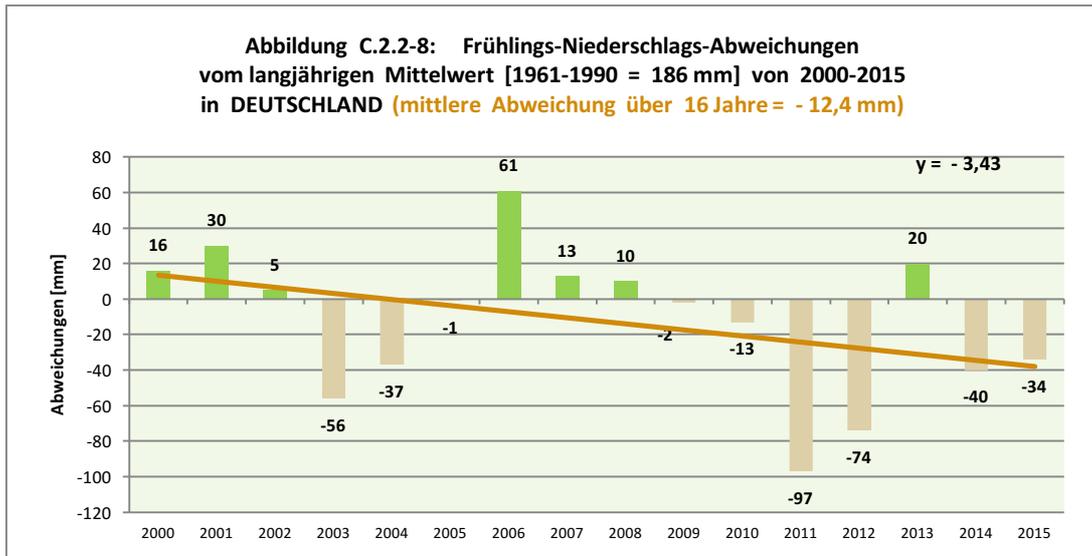
Tabelle: C.2.2-4: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im FRÜHJAHR der angegebenen Zeiträume ab 2000 für die Region und für Deutschland

Ungewöhnlich an diesen ab-1995er Trendwerten ist (Tab. C.2.2-3), dass sie trotz deutlich negativer Mittelwerte bei den Abweichungen ostinat nach unten weisen (Abb. C.2.2-5 und Abb. C.2.2-6). Über die Zeiträume 1995-2010, 1995-2011 und 1995-2012 steigern sie sich deutlich. Regional von -0,89 Liter/m²*a auf -3,31 Liter/m²*a, das ist eine negative Zunahme von -2,42 Liter/m²*a. Für Deutschland beträgt diese negative Zunahme ausgehend von dem einzigen positiven Trendwert in der Tabelle C.2.2-3 (+0,63) sogar -2,98 Liter/m²*a.

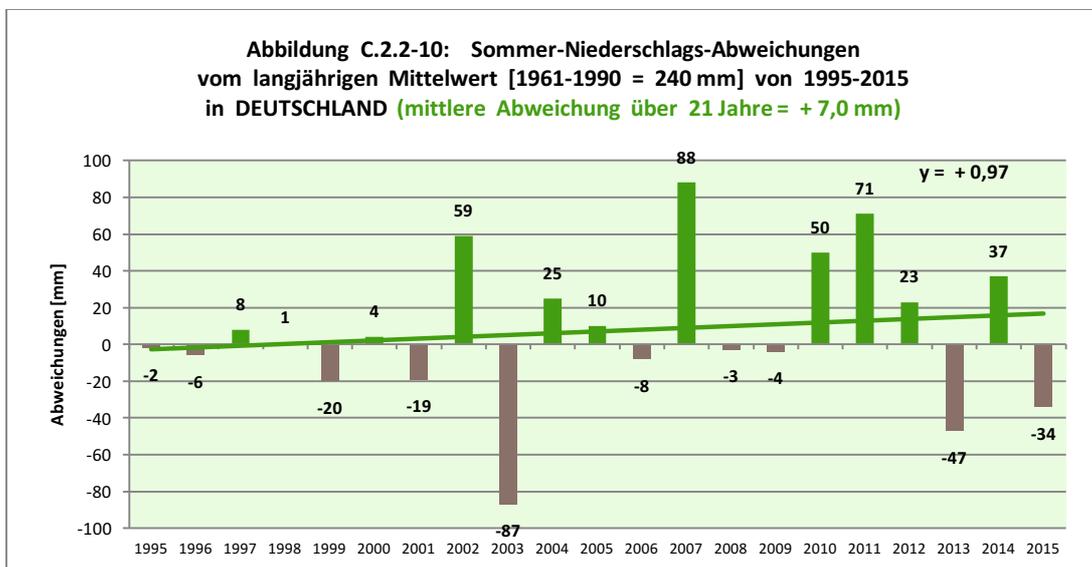
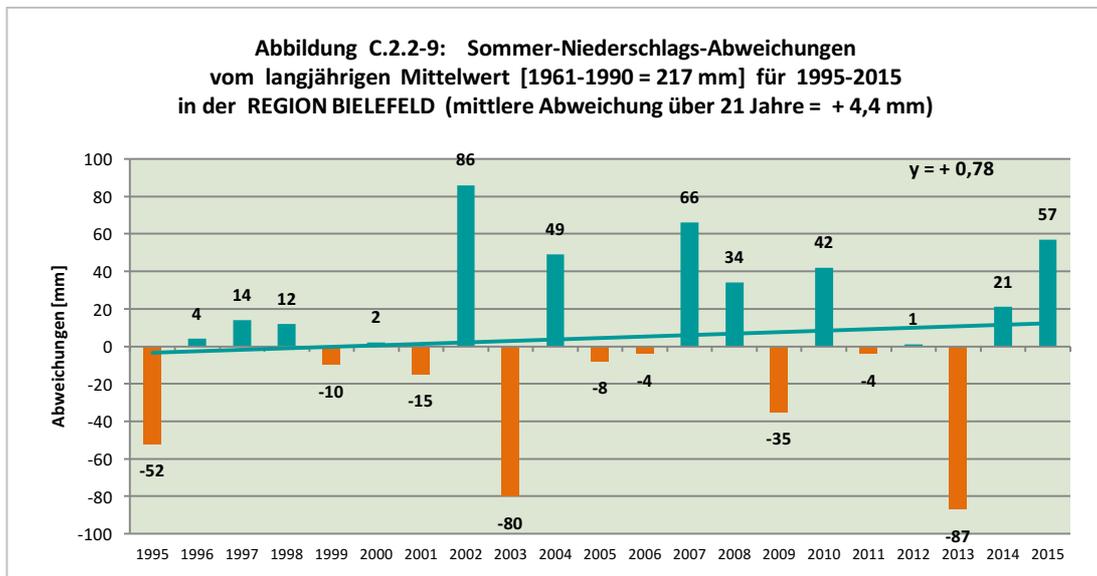
Noch deutlichere Werte werden erhalten, wenn die Zeiträume mit ihrem Beginn wieder auf 2000 verkürzt werden. Auch hier erfolgt von 2000-2010 über 2000-2011 zu 2000-2012 eine noch drastischere negative Zunahme. Regional beläuft sie sich auf -3,63 Liter /m²*a, für Deutschland auf -5,37-(-0,20) = -5,17 Liter/m²*a.

Danach erfolgt sowohl regional als auch für Deutschland eine Minderung der Werte, aber eine Trendumkehr tritt in keinem Fall ein.





Sommer



Der Sommer weist gegenüber dem Frühjahr augenscheinliche Unterschiede auf. So sind sowohl bei der längeren Periode von 1995-2015 als auch bei der verkürzten von 2000-2015 die Mittelwerte der Niederschlagsabweichungen vom langjährigen Klimawert [1961-1990] positiv. Im Zeitraum 1995-2015 liegt dieser Mittelwert regional bei + 4,4 Liter/m² und in Deutschland bei +7,0 Liter/m² (Abb. C.2.2-9 und C.2.2-10). Die Mittelwerte des verkürzten Zeitraumes 2000-2015 liegen noch weiter im positiven Bereich, und zwar ist ein Betrag von 7,8 Liter/m² für die Region zu verzeichnen. Für Deutschland beläuft er sich auf +10,3 Liter/m² (Abb. C.2.2-11 und C.2.2-12).

Die Trendwerte für den Zeitraum 1995-2015 sind für beide Raumkategorien positiv, regional liegt die mittlere jährliche Zuwachsrate bei +0,78 Liter/m²*a, deutschlandweit etwas höher bei + 0,97 Liter/m²*a.

Für den kürzeren Zeitraum 2000-2015 sind die Raten geringer und in der Region mit -0,19 Liter/m²*a sogar leicht negativ. Für Deutschland mit +0,63 Liter/m²*a immer noch positiv.

Zeitraum	Region	D	Zeitraum	Region	D
1995-2010	+2,39	+2,31	2000-2010	+1,85	+3,83
1995-2011	+1,79	+3,20	2000-2011	+0,79	+5,27
1995-2012	+1,40	+2,92	2000-2012	+0,29	+4,39
1995-2013	- 0,26	+1,58	2000-2013	- 2,55	+1,71
1995-2014	+0,07	+1,77	2000-2014	- 1,63	+2,03
1995-2015	+0,78	+0,97	2000-2015	- 0,19	+0,63

Tabelle: C.2.2-5: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im SOMMER der angegebenen Zeiträume ab 1995 für die Region und für Deutschland

Tabelle: C.2.2-6: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im SOMMER der angegebenen Zeiträume ab 2000 für die Region und für Deutschland

Zum Verlauf der Trendwerte ab 1995-2010 bis 1995-2015 ist zu sagen, dass die Anfangswerte erkennbar höher liegen als die Endwerte (Tab. C.2.2-5). So liegen sie für die Region wie auch für Deutschland zwischen +2,3 und +2,4. Regional sinken sie kontinuierlich bis zum Zeitraum 1995-2013 knapp in den negativen Bereich ab (-0,26 Liter/m²*a) um dann wieder bis auf +0,78 Liter/m²*a anzuwachsen. Für Deutschland zeigt sich zunächst von 1995-2010 zu 1995-2011 eine Zunahme auf +3,20 Liter/m²*a. Nach diesem Gipfel geht der Wert dann nach unten, aber ohne Trendumkehr vom Positiven ins Negative.

Ein ähnliches Bild zeigt sich für Deutschland bei den Trendwerten für die kürzeren Zeiträume ab 2000 (Tab. C.2.2-6). Nur sind die Werte etwas mehr gespreizt, insbesondere der Gipfelbereich.

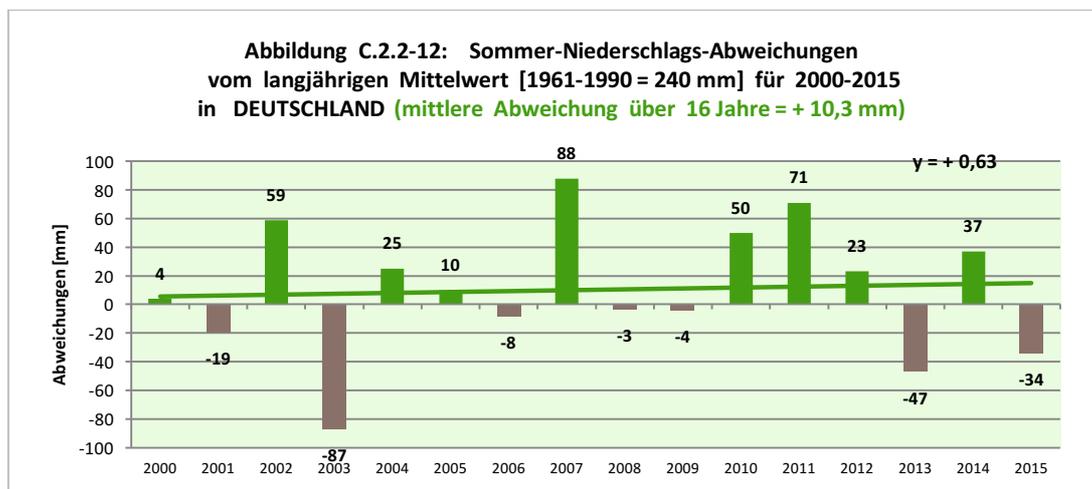
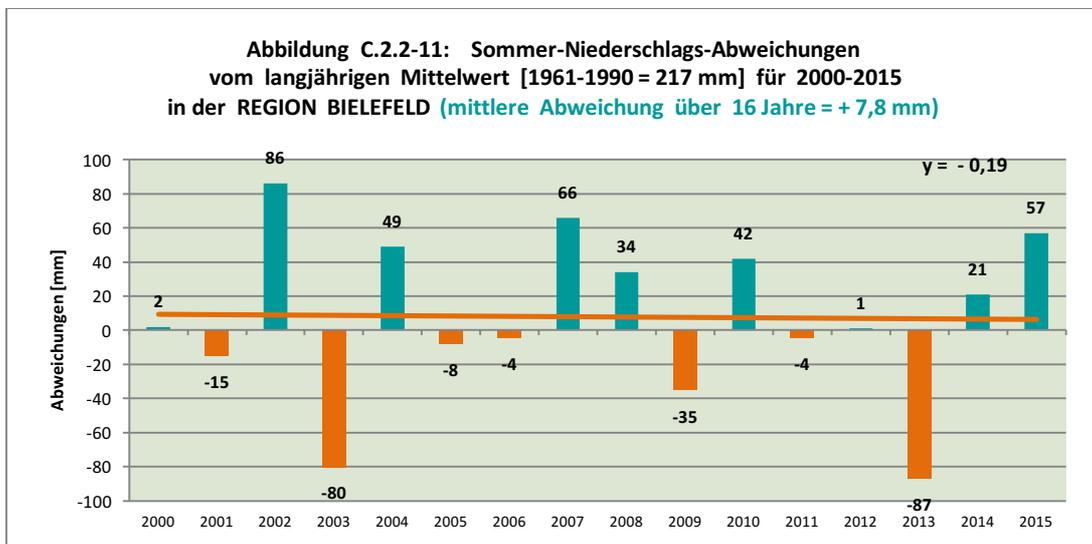
Regional sieht es anders aus. Im Gegensatz zu den 1995er Werten sind die Trendwerte deutlich niedriger und tauchen bis 2000-2013 recht tief ins Negative (-2,55 Liter/m²*a) ab. Bis 2015 steigen sie wieder an, aber ohne vom Negativen ins Positive zu wechseln.

Nach den Modellberechnungen sollen zukünftig die Niederschlagssummen für den Sommer kleiner werden. So wird vermutet, dass sie im Jahr 2050 bis zu 40 % geringer ausfallen könnten.

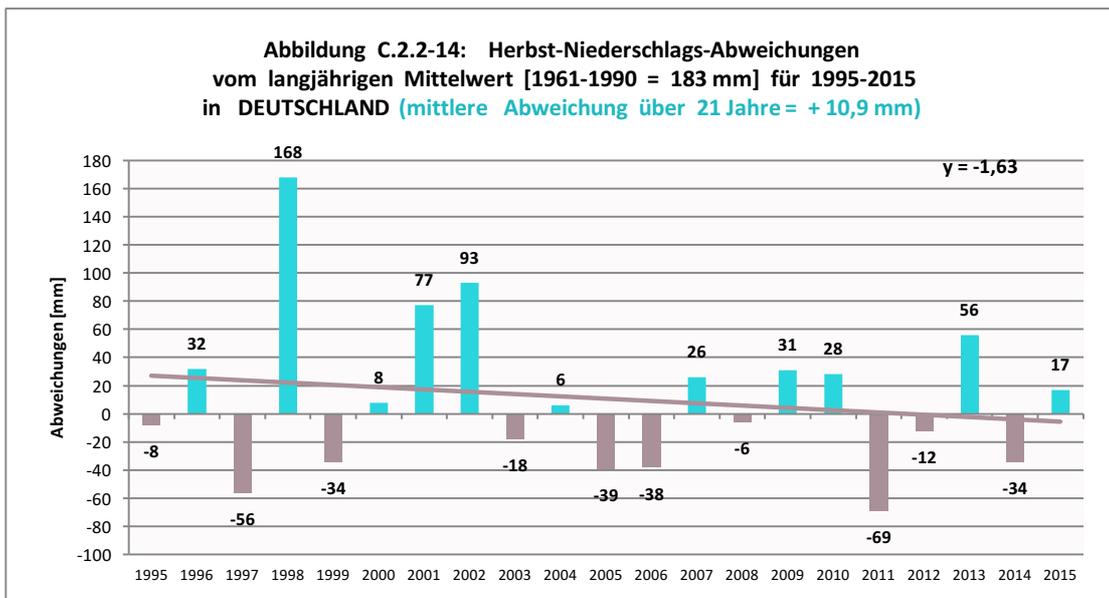
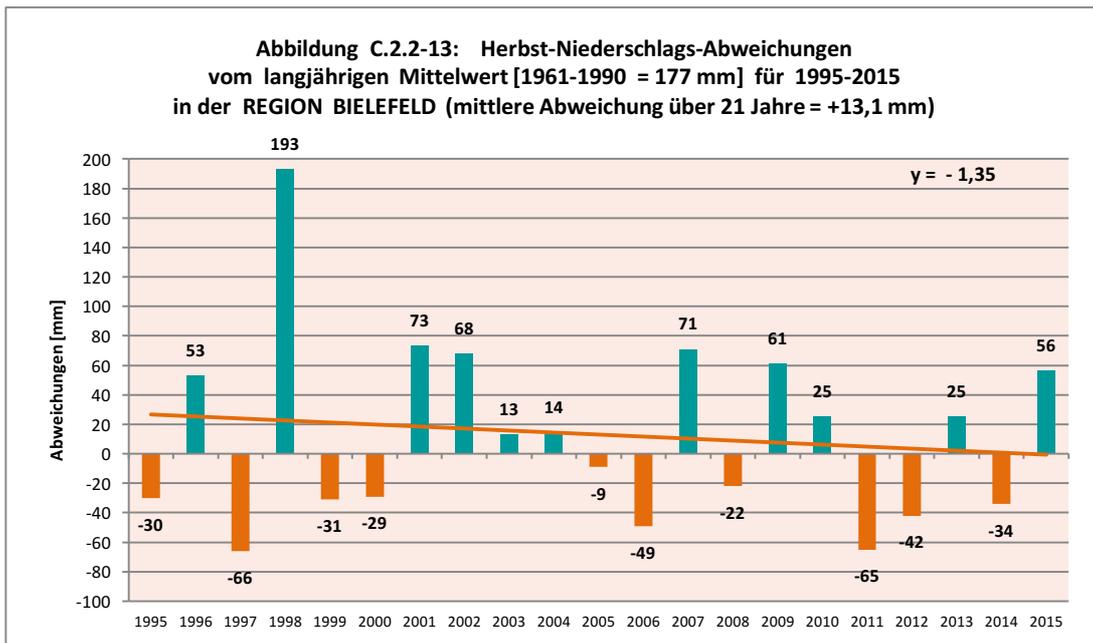
In den Jahren von 1995-2015 sind im Mittel die Niederschläge überdurchschnittlich gewesen mit +4.4 Liter/m² in der Region (Abb. C.2.2-9) und +7,0 Liter/m² in Deutschland (Abb. C.2.2-10) und im Zeitraum 2000-2015 sogar noch etwas höher als 1995-2015 mit +7,8 Liter/m² in der Region (Abb. C.2.2-11) und +10,3 Liter/m² in Deutschland (Abb. C.2.2-11), so dass schon allein aufgrund dieser Gegebenheit ein Rückgang wahrscheinlich ist.

Inwieweit sich aber darüber hinaus eine langfristige Abwärtsbewegung entwickelt, ist aus diesen Zahlen nicht zu ersehen.

Zurzeit jedenfalls (bis 2015) sind die Trendwerte bis auf einen (2000-2015 – Region -- -0,19 Liter/m²*a) noch positiv, was soviel heißt, dass die sommerlichen Niederschlagssummen immer noch zunehmen, wenn auch in abgeschwächter Form.



Herbst



Die mittleren jährlichen Abweichungen vom langjährigen Mittelwert [1961-1990] sind beim 21-jährigen Zeitraum von 1995-2015 recht hoch. Für die Region liegt der Wert bei +13,1 Liter/m² (Abb. C.2.2-13) und für Deutschland bei +10,9 Liter/m² (Abb. C.2.2-14). Jedoch fällt der Herbst 1998 auf mit einem veritabel großen Wert von +168 Liter/m² in Deutschland und einem noch mächtigeren von +193 Liter/m² in der Region.

Wird das Mittel ohne diese Werte vorgenommen, erhält man regional lediglich +4,1 Liter/m² und deutschlandweit +3,0 Liter/m².

Zumindest für die 1995er Zeiträume sind wohl auch die Trendwerte von -1,35 (regional) und -1,63 (deutschlandweit) etwas weniger negativ anzusetzen.

Allerdings verstärken sich bei den auf 2000 verkürzten Zeiträumen, in denen der hohe Wert von 1998 nicht mehr enthalten ist, die Werte auf -1,81 (regional) und auf -2,46 (deutschlandweit) (Abb. C.2.2-15 und C.2.2-16).

Zeitraum	Region	D	Zeitraum	Region	D
1995-2010	+0,08	- 1,16	2000-2010	+0,05	- 3,06
1995-2011	- 1,62	- 2,65	2000-2011	- 3,22	- 5,60
1995-2012	- 2,38	- 2,65	2000-2012	- 4,33	- 5,07
1995-2013	- 1,82	- 1,53	2000-2013	- 2,99	- 2,64
1995-2014	- 2,24	- 1,98	2000-2014	- 3,52	- 3,25
1995-2015	- 1,35	- 1,63	2000-2015	- 1,81	- 2,46

Tabelle: C.2.2-7 Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im HEBRST der angegebenen Zeiträume ab 1995 für die Region und für Deutschland

Tabelle: C.2.2-8: Trendwerte der Niederschlagsabweichungen im HERBST der angegebenen Zeiträume ab 2000 für die Region und für Deutschland

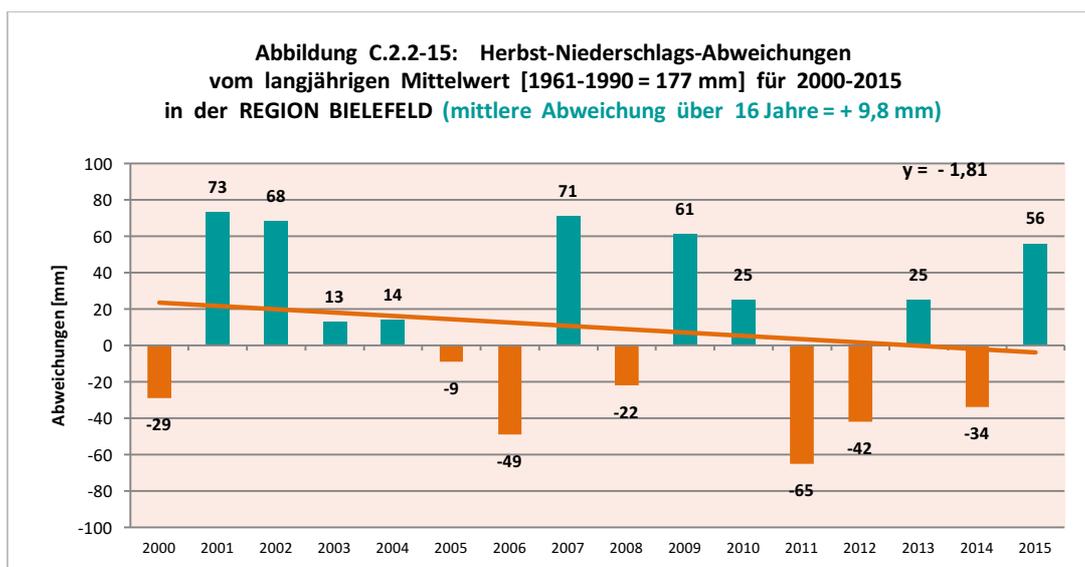
Für den Verlauf der Zeiträume von 1995-2010 bis 1995-2015 ist regional bis 2012 eine deutliche Abnahme zu verzeichnen auf -2,38 Liter/m²*a. Danach gehen die Werte hin und her, aber im negativen Bereich.

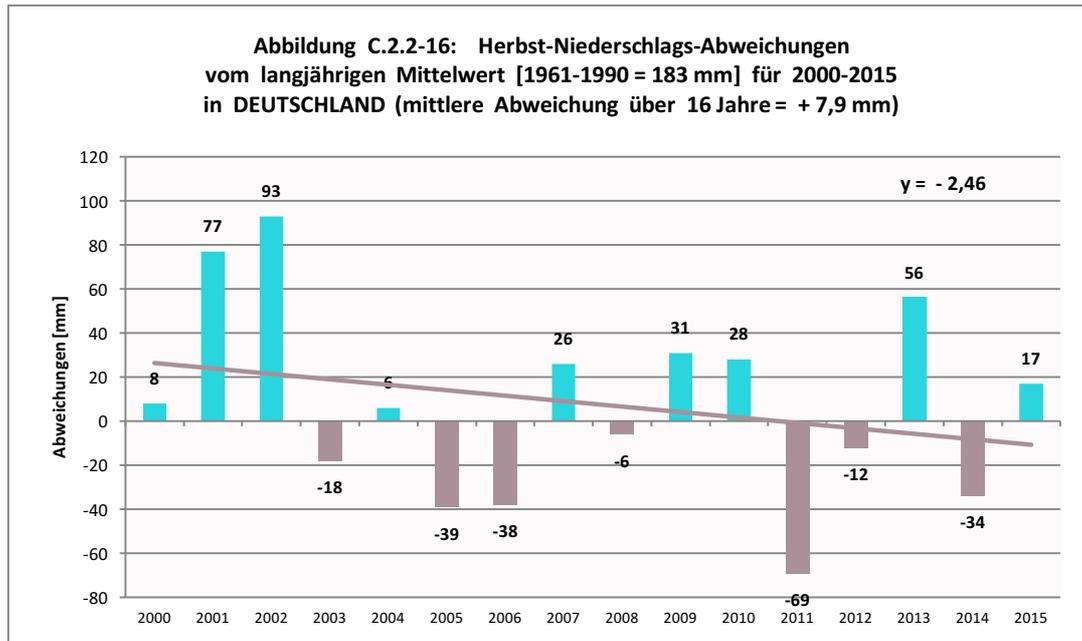
Deutschland fängt gleich 2010 mit einem negativen Trendwert von -1,16 Liter/m²*a an. Danach geht er weiter als regional zurück auf -2,65 Liter/m²*a, gleichbleibend für zwei Zeiträume 1995-2011 und 1995-2012. Danach ist auch hier ein Hin und Her der Werte analysierbar – aber alles im negativen Bereich.

Qualitativ ähnlich erscheint die Wertefolge für die Zeiträume ab 2000. Nur rutschen sie noch tiefer in den negativen Bereich ab.

Nach den Klima-Modellrechnungen wird angenommen, dass nicht nur im Winter bis 2050 die Niederschläge zunehmen sollen, sondern auch im Herbst.

Die Werte in diesem Bielefelder Klimareport zeigen aber hierzu zumindest jetzt noch ein gegenläufiges Verhalten.





D. Gleitende 10-Jahres-Mittelwerte zur Entwicklung des Niederschlags in der Region Bielefeld im Vergleich mit Deutschland – ab 1995

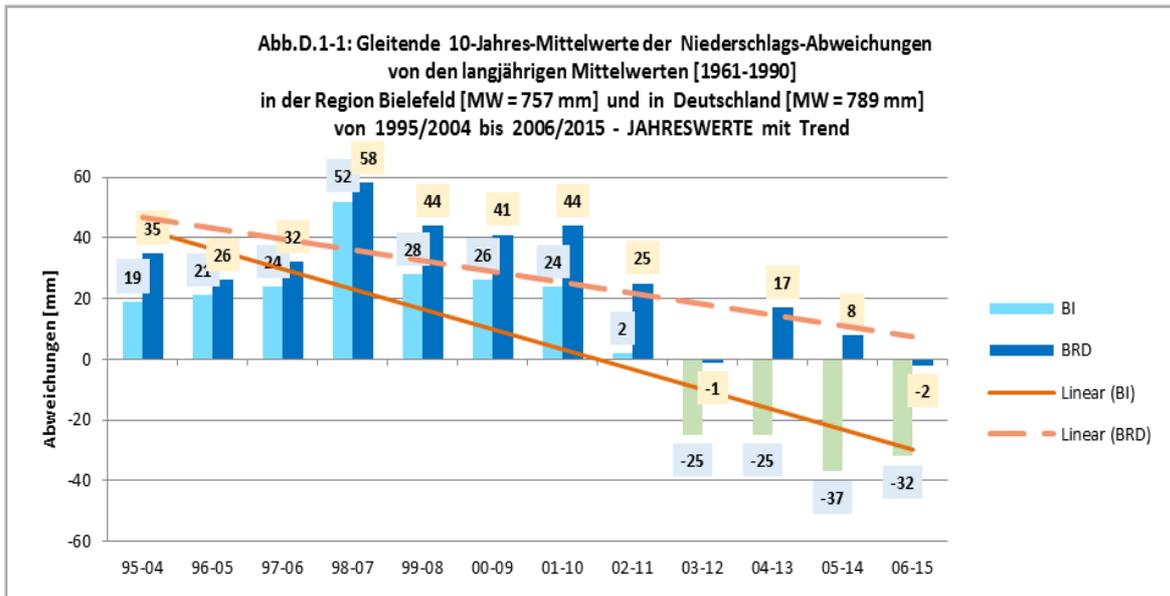
Eine in der Meteorologie gängige Praxis ist die Bildung von langjährigen Mittelwerten und von gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten. Das bedeutet, dass die gebildeten Werte nicht 10 Jahre für 10 Jahre hintereinander dargestellt werden (beispielsweise 1995-2005 und danach 2006-2015), sondern die Werte überlappen sich hierbei. Am Anfang des 10-Jahres-Intervalls fällt so mit dem Folgewert eine Anzahl < 10 Jahre heraus und am Ende kommt eine gleiche Anzahl von Jahren hinzu.

Häufig werden 10-Jahres-Mittelwerte in Jahresschritten gebildet (bspw. 1995-2004, dann 1996-2005 usw.). Es sind aber auch 2-Jahres-Schritte (bspw. 1995-2004, dann 1997-2006 usw.) 3-Jahres-Schritte (bspw. 1995-2004, dann 1998-2007 usw.) und größere Schritte < 10 Jahre möglich.

Die Methode der gleitenden 10-Jahres-Mittelwerte führt zu einer noch größeren Verlässlichkeit der Ergebnisse gegenüber der Auswertung von Jahres- bzw. Jahreszeit-Einzelwertreihen. Sollten sich Teilergebnisse aber widersprechen, so ist zu prüfen, welche Gründe hierfür vorliegen. Von Fall zu Fall ist den Ergebnissen der gleitenden 10-Jahres-Mittelwerte Vorrang zu geben.

In diesem Kapitel nun soll die Niederschlagsentwicklung anhand von gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten in 1-Jahres-Schritten dargestellt werden. Dies geschieht im Unterschied zu Kapitel C.2, wo das Mittel des gesamten Zeitraumes von 1995-2015 beziehungsweise 2000-2015 gebildet wurde. Dieser Zeitraum wurde ja dann jahresschrittweise zur Erkundung der Entwicklung der Trendwerte variiert auf Zeiträume bis 1995-2010 beziehungsweise 2000-2010.

D.1 Jahreswerte



Trendwerte der jährlichen Abweichungen des Zeitraumes 1995-2015 (1) und die Trendwerte der 10-Jahres-Mittelwerte der Abweichungen von 1995-2015 (2) - JAHRESWERTE

1	1	2	2	D: 2-1	D: 2-1
Region	BRD	Region	BRD	Region	BRD
-3,68	-3,96	-6,61	-3,51	-2,93	0,45

Tabelle: D.1-1

In obiger Tabelle sind die Trendwerte dergestalt eingetragen, wie sie sich aus den grafischen Darstellungen ergeben. Da sich aber bei der Methode der gleitenden 10-Jahres-Mittel für den Zeitraum 1995-2015 nur 12 Werte ergeben im Unterschied zu den 21 Einzeljahreswerten, müssen die Trendwerte, also die Raten pro Messwert, noch angepasst werden. Es gibt zwei Wege, dies zu bewerkstelligen. Entweder werden die 21er-Werte auf 12 Raten transponiert oder umgekehrt. Hier sollen nun diese 12er-Trendwerte auf 21er Trendwerte umgerechnet werden, um zu vergleichbaren Angaben zu gelangen.

Der Rechengang sieht dann folgendermaßen aus: $-6,61 \cdot 12 / 21 = -3,78$. Entsprechend sind die Werte in der Tabelle-B eingetragen.

**Trendwerte der jährlichen Abweichungen des Zeitraumes 1995-2015 (1)
und die transponierten Trendwerte der 10-Jahres-Mittelwerte
von 1995-2015 (2) - JAHRESWERTE**

1	1	2	2	D: 2-1	D: 2-1
Region	BRD	Region	BRD	Region	BRD
-3,68	-3,96	-3,78	-2,01	-0,10	1,95

Tabelle: D.1-2

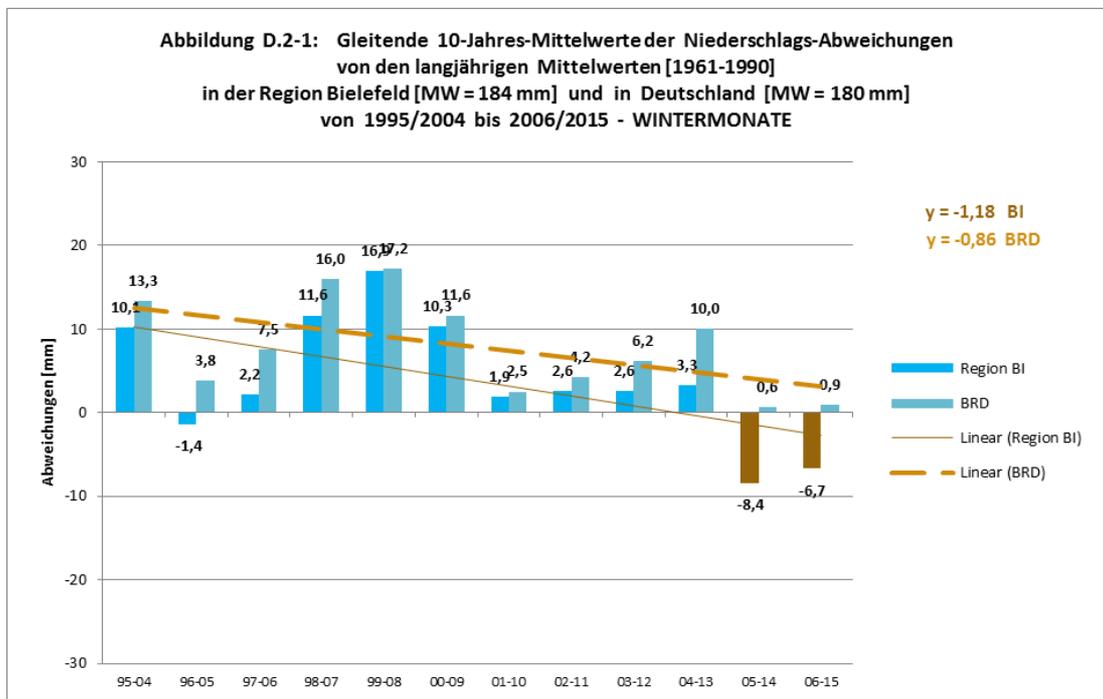
Erkennbar ist, dass es mit Anwendung der 10-Jahres-Mittelwertmethode (im Folgenden genannt: 10-JM) gegenüber der Einzeljahreswertmethode in Kapitel C (im Folgenden genannt: EM) zu keiner Trendumkehr kommt. Es kommt zwar zu Werteänderungen, aber entscheidend für die Aussage ist, ob die Trends sich widersprechen oder nicht.

Für die Region ist der Wert fast identisch, für Deutschland erhält man einen nicht ganz so negativen Trendwert.

FAZIT: Bei den JAHRESWERTEN werden die Trends der EM durch die 10-JM allgemein bestätigt.

D.2 Jahreszeiten

Wintermonate



Bei den Trendwerten der Jahreszeiten werden nur die von 12 Zeitabschnitten auf 21 Zeitabschnitte transponierten Werte dargestellt. Die Vorgehensweise ist in Kapitel D.1 bei den Jahreswerten beschrieben. Die nicht transponierten Trendwerte finden sich aber noch in den Abbildungen D.2-1 bis D.2-4 rechts oben.

**Trendwerte der jährlichen Abweichungen des Zeitraumes 1995-2015 (1)
und die transponierten Trendwerte der 10-Jahres-Mittelwerte
von 1995-2015 (2) - WINTER**

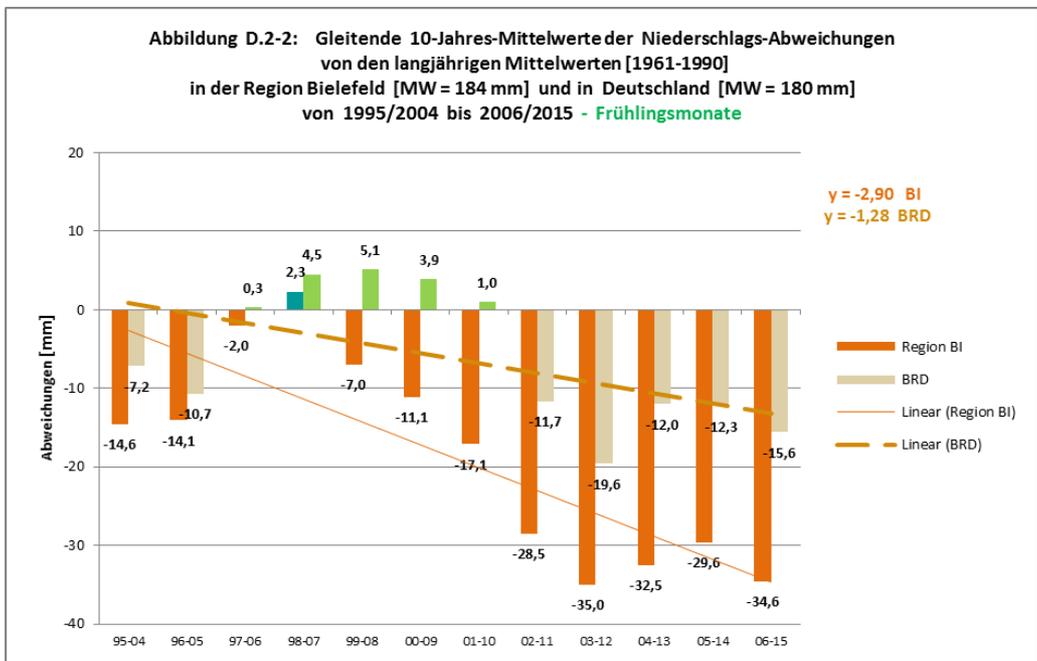
1	1	2	2	D: 2-1	D: 2-1
Region	BRD	Region	BRD	Region	BRD
-0,66	-0,55	-0,67	-0,49	-0,01	0,06

Tabelle: D.2-1

Bei den Wintermonaten sind die Werte regional nahezu identisch. Für Deutschland ist die Abweichung mit -0,49 bei der 10-JM gegenüber -0,55 bei der EM marginal. Auch hier lässt sich vermerken, dass es keinen Widerspruch gibt.

FAZIT: Bei den Werten für die WINTERMONATE werden die Trends der EM durch die 10-JM bestätigt.

Frühlingsmonate



**Trendwerte der jährlichen Abweichungen des Zeitraumes 1995-2015 (1)
und die transponierten Trendwerte 10-Jahres-Mittelwerte
von 1995-2015 (2) - FRÜHJAHR**

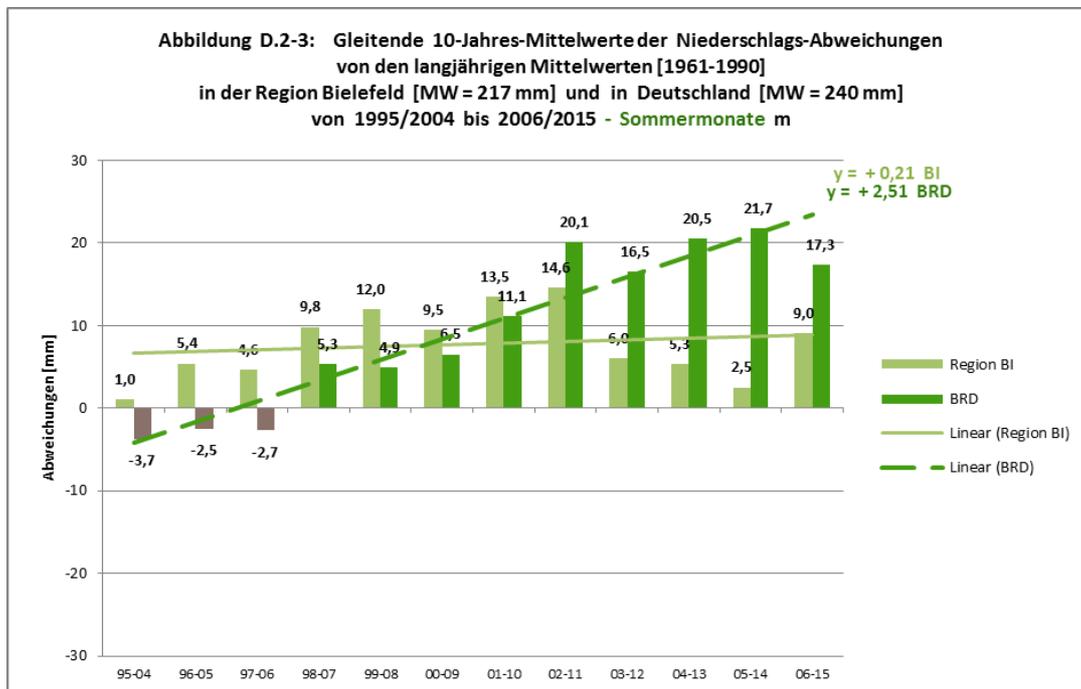
1	1	2	2	D: 2-1	D: 2-1
Region	BRD	Region	BRD	Region	BRD
-2,25	-1,84	-1,66	-0,73	0,59	1,11

Tabelle: D.2-2

Bei den Frühjahren erfolgt mit Anwendung der 10-JM eine Abschwächung der E-JM-Werte, sowohl regional als auch deutschlandweit (Tabelle D.2-2). Es tritt aber auch hier keine Trendumkehr auf. In beiden Fällen bleibt die Aussage einer Abnahme der Niederschläge erhalten

FAZIT: Mit den erhaltenen Trendwerten für die FRÜHJAHRSMONATE werden die Trends der E-JM durch die 10-JM bestätigt. Es findet lediglich eine Abschwächung statt, jedoch keine Trendumkehr

Sommermonate



**Trendwerte der jährlichen Abweichungen des Zeitraumes 1995-2015 (1)
und die transponierten Trendwerte der 10-Jahres-Mittelwerte
von 1995-2015 (2) - SOMMER**

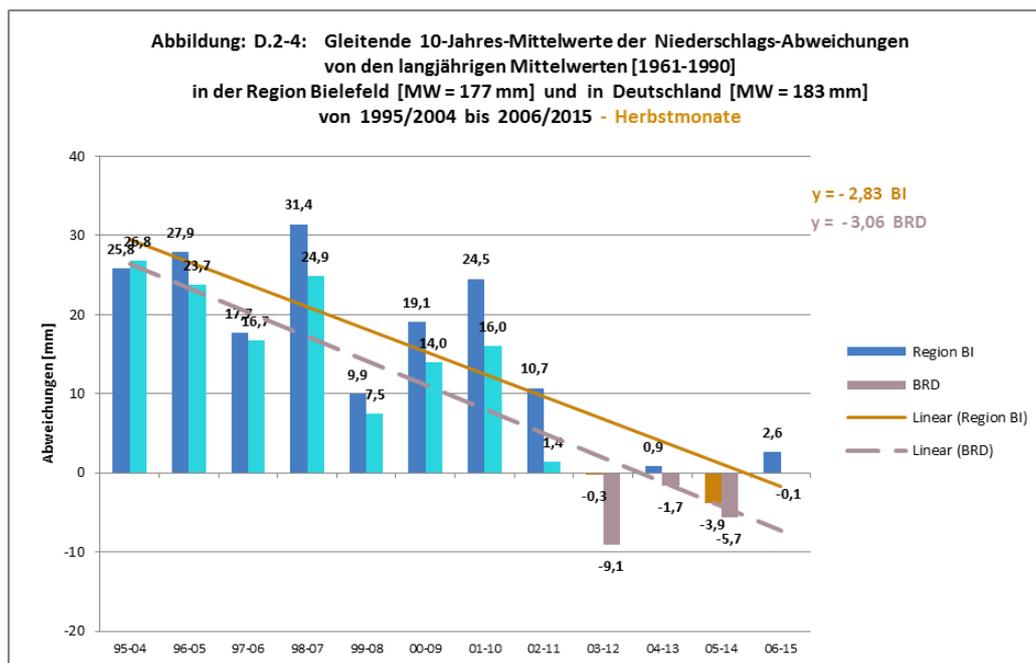
1	1	2	2	D: 2-1	D: 2-1
Region	BRD	Region	BRD	Region	BRD
0,78	0,97	0,12	1,43	-0,66	0,46

Tabelle: D.2-3

Der Sommer ist die einzige Jahreszeit mit positiven Trendwerten (Tabelle D.2-3). Dieses mit der E-JM erhaltene Ergebnis wird wiederum durch die 10-JM bestätigt. Regional resultiert nach der 10-JM eine Abschwächung gegenüber der E-JM, aber ohne Trendumkehr. Bei Deutschland wird der Positivtrend noch verstärkt

FAZIT: Mit den erhaltenen Trendwerten für die SOMMERMONATE werden die Trends der EM durch die 10-JM bestätigt.

Herbstmonate



**Trendwerte der jährlichen Abweichungen des Zeitraumes 1995-2015 (1)
und die transponierten Trendwerte der 10-Jahres-Mittelwerte
von 1995-2015 (2) - HERBST**

1	1	2	2	D: 2-1	D: 2-1
Region	BRD	Region	BRD	Region	BRD
-1,35	-1,63	-1,62	-1,75	-0,27	-0,12

Tabelle: D.2-4

Ebenso bei den Herbstmonaten (Tabelle D.2-4) kommt es mit Anwendung der 10-JM zu keiner Trendumkehr. Regional und deutschlandweit werden die negativen Trendwerte leicht intensiviert.

FAZIT: Die mit der E-JM gewonnenen Trendaussagen werden auch bei den HERBSTMONATEN durch die 10-JM bestätigt.

	E-JM (1)	10-JM (2)	Diff: 2-1		E-JM (1)	10-JM (2)	Diff: 2-1
	Region	Region	Region		BRD	BRD	BRD
Jahr	-3,68	-3,78	-0,10	Jahr	-3,96	-2,01	1,95
Winter	-0,66	-0,67	-0,01	Winter	-0,55	-0,49	0,06
Frühjahr	-2,25	-1,66	0,59	Frühjahr	-1,84	-0,73	1,11
Sommer	0,78	0,12	-0,66	Sommer	0,97	1,43	0,46
Herbst	-1,35	-1,62	-0,27	Herbst	-1,63	-1,75	-0,12

Tabelle: D.2-5

Zusammenfassung

Regional zeigt bei den Trendwerten für das Jahr nach Anwendung der 10-Jahres-Mittelwert-Methode (10-JM) diese kaum eine Abweichung gegenüber der Einzeljahreswert-Methode (E-JM). Für Deutschland erfolgt mit diesem Schritt fast eine Halbierung des negativen Trends. Jedoch erfolgt keine Trendumkehr, was eine Zunahme der Jahresniederschläge bedeuten würde.

Bei den Jahreszeiten weist der Winter die geringsten Änderungen auf, sowohl regional wie auch deutschlandweit. Beim Herbst sind die Änderungen etwas größer. Frühjahr und Sommer zeigen die größten Änderungen.

Regional erfolgt nur im Frühjahr eine Abschwächung des negativen Trends, wohingegen in Deutschland neben dem Frühjahr auch im Winter in geringfügigem Maße dies zu beobachten ist. Der Sommer ist die einzige Jahreszeit mit positiven Trendwerten. Hier kann folglich nicht dies Verhalten als Abschwächung des negativen Trends bezeichnet werden kann, sondern es ist eine Verstärkung des ausnahmsweise positiven Trends.

Somit bleibt die in Kapitel C getroffene Aussage erhalten, dass zumindest ab 1995 eine postulierte Zunahme der Winterniederschläge und eine Abnahme der Sommerniederschläge bislang nicht beobachtet werden kann. Auch ein Anstieg der Herbstniederschläge ist zurzeit nicht feststellbar.

E. Starkregencharakteristik in der Region in einer zeitlich hochaufgelösten Analyse

Als eine Konsequenz der Wirkungen des Klimawandels wird die Zunahme von besonderen Niederschlagsereignissen angenommen. Die daraus abgeleitete pauschale Aussage: "Starkregenereignisse nehmen zu" muss in diesem Zusammenhang differenziert untersucht werden. Zu klären sind die zur problemadäquaten Beschreibung des Phänomens erforderlichen Parameter, die je nach Anwendungsbezug differieren und neue Herausforderungen an die Erarbeitung von unterschiedlichen Planungsgrundlagen stellen. Die neu vom DWD angebotenen höher aufgelösten Klimainformationen mit Hilfe von Radar-basierten Niederschlagsdaten sind allerdings noch in der kritischen Diskussion.

Der Unterschied zwischen wahrgenommenem Wetter und den empirischen Daten wird beim Niederschlag recht deutlich. Zählt man für jedes Jahr die 5-min-Werte, in denen Niederschlag gefallen ist und setzt sie zur der Gesamtzahl der 5-min-Werte eines Jahres zueinander, so erhält man die folgende Statistik mit dem überraschenden Ergebnis, dass es nur bei ca. 3 bis 5% solcher 5-min-Werte Niederschlag fällt. Dies zeigt überzeugend, dass es seltener regnet, als es der allgemeine Eindruck vermuten lässt, auch in der Region Bielefeld.

Anzahl der 5-min-Werte mit Niederschlag

2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
4,16%	5,43%	3,77%	5,14%	5,04%	3,92%	3,96%	4,38%

Tabelle E.1

E.1 Problembezogene Starkregenbeschreibungen

Für eine siedlungswasserwirtschaftliche Verwendung spielt die relevante Dauerstufe des Niederschlagsvolumens eine entscheidende Rolle, besonders die kurzen, intensiven Starkregen (15–60 Min), während zur Dimensionierung von Hochwasserschutzanlagen vor allem die längeren Dauerstufen (24h–3d) relevant sind.

Für beide Anwendungen sind statistische Auswertungen zur Berechnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten erforderlich, die auf möglichst langjährigen und homogenen Messdaten beruhen.

Besondere Bedeutung erlangte die Betrachtung der Auswirkung von ‚Sturzregen‘, bei dem das an der Oberfläche abfließende Wasser bei zunehmender Ereignishäufigkeit hohe Schäden anrichtet, die die Hochwasserschäden von Fließgewässern zum Teil übertrafen.

Solche Einzelereignisse sind weitergehend zu charakterisieren durch das zeitlich unterschiedliche Auftreten der Niederschlagsvolumina, wie die folgenden Abbildungen zeigen. Bei gleichem Stundenvolumen ist eine mittenbetonte Verteilung offensichtlich problematischer für ein kontrollierbares Abflussverhalten.

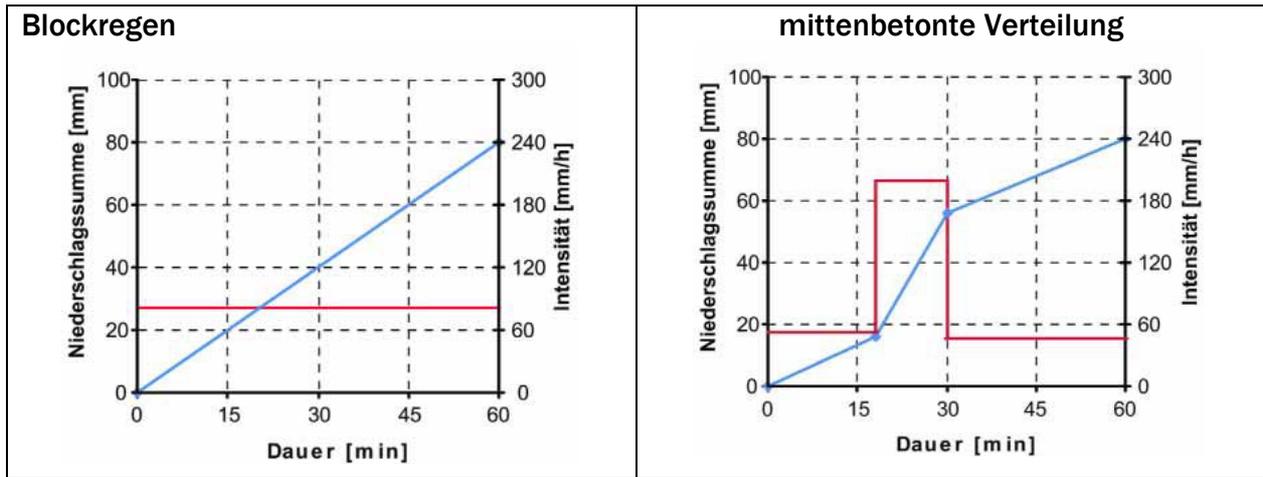


Abb. E.1-1: Niederschlagsmenge, -intensität und -dauer unterschiedlicher Ereignisse

Auch das Kriterium „Starkregen“ ist je nach Anwendung unterschiedlich beschrieben:

Warnung vor markantem Wetter (Stufe 2)		Unwetterwarnung (Stufe 3)	
Starkregen	15 bis 25 l/m ² in 1 h 20 bis 35 l/m ² in 6 h	Starkregen	>25 l/m ² in 1 h >35 l/m ² in 6 h
Dauerregen	25 bis 40 l/m ² in 12 h 30 bis 50 l/m ² in 24 h 40 bis 60 l/m ² in 48 h 60 bis 90 l/m ² in 72 h	Dauerregen	>40 l/m ² in 12 h >50 l/m ² in 24 h >60 l/m ² in 48 h >90 l/m ² in 72 h
		Warnung vor extremem Unwetter (Stufe 4)	
		Starkregen	>40 l/m ² in 1 h >60 l/m ² in 6 h
		Dauerregen	>70 l/m ² in 12 h >80 l/m ² in 24 h >90 l/m ² in 48 h >120 l/m ² in 72 h

Tab. E.1.-1: Die Niederschlagswarnungen des Deutschen Wetterdienstes sind in max. 4 Stufen gestaffelt

Für die Dimensionierung von z.B. Stadtentwässerungsnetzen, Pumpwerken, Kläranlagen und Rückhaltebecken werden statistische Auswertungen zu Starkniederschlagsereignissen genutzt. Deswegen gelten für diese Nutzer abweichende Schwellenwerte, die auf den jeweiligen Anwendungsbereich abgestimmt werden. Im Unterschied dazu beschreibt der VDI Starkregen in folgender Weise:

Begriffe nach DIN 4049-3:

Starkregen: Regen, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität hat und daher selten auftritt, z.B. im Mittel höchstens zweimal jährlich.

Die Regelwerke des VDI mit den DIN-Normen beschreiben ausführlicher das Zusammenwirken von Dauerstufen [D], Niederschlagsvolumen [mm] und Eintrittswahrscheinlichkeit im Zeitintervall [T].

Die folgende Tabelle für den Standort Klettwitz gibt einen verallgemeinerbaren Überblick über diese grundlegenden Kategorien. Hier wurden mit dem DWD – Rechenmodell KOSTRA--DWD-2000 auf der Grundlage des Messzeitraumes 1951 bis 2000 Starkniederschlagshöhen berechnet.

	T = 1 a	T = 2 a	T = 5 a	T = 20 a	T = 100 a	
D = 5 min	5,2 mm	6,6 mm	8,5 mm	11,4 mm	14,7 mm	Bemessung von Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke DIN 1986-100:2008-05
D = 15 min	10,0 mm	12,4 mm	15,6 mm	20,4 mm	26,0 mm	
D = 60 min	15,3 mm	19,9 mm	26,0 mm	35,3 mm	46,0 mm	Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser DWA- A 138
D = 12 h	31,0 mm	41,0 mm	54,2 mm	74,2 mm	97,4 mm	Bemessung von Regenrückhaltebecken DWA- A 117
D = 24 h	36,7 mm	47,5 mm	61,8 mm	83,5 mm	108,6 mm	Bewertung von Überschwemmungen infolge extremer Niederschläge unterschiedlicher Dauer (von Schauer bis Dauerregen)
D = 72 h	47,3 mm	59,7 mm	76,2 mm	101,1 mm	130,0 mm	
Toleranzbereich von T = 0,5 a bis einschließlich T = 5 a: - 10 % ... + 10 %						
Toleranzbereich über T = 5 a bis einschließlich T = 50 a: - 15 % ... + 15 %						
Toleranzbereich über T = 50 a bis einschließlich T = 100 a: - 20 % ... + 20 %						

Tab. E.1-2: Daten für den Standort Klettwitz nach KOSTRA

In einem anderen konkreten Beispiel ist auf der Grundlage von Niederschlagsmessung am Flughafen Hannover-Langenhagen ein ähnliches Tableau erstellt worden.

Punktueller Starkniederschlagshöhen (in mm) an der Flugwetterwarte Hannover-Langenhagen für verschiedene (kleine) Dauerstufen D und Wiederkehrintervalle T

D	T = 1 a	T = 1 a	T = 5 a	T = 5 a	T = 20 a	T = 20 a	T = 100 a	T = 100 a
	1951/80	1951/2010	1951/80	1951/2010	1951/80	1951/2010	1951/80	1951/2010
5 min	5,1	5,3	8,6	8,9	11,5	12,1	14,9	15,8
15 min	8,7	8,9	13,5	14,4	17,7	19,1	22,5	24,5
30 min	10,9	11,2	16,6	17,8	21,6	23,4	27,3	30,0
60 min	13,1	13,5	19,7	21,2	25,4	27,8	32,1	35,5
120 min	15,7	15,9	23,9	24,8	30,7	32,5	38,8	41,4

Tab. E.1-3: Niederschlagsdaten für den Standort Hannover nach KOSTRA auf der Grundlage unterschiedlicher Messperioden

Die Diskussion über eine Zunahme der Starkregenereignisse ist von unterschiedlichen, scheinbar widersprüchlichen Aussagen geprägt. Die folgende Auswertung des DWD ergibt keine signifikante Erhöhung der Anzahl der Tage mit mehr als 30 mm Niederschlag. Die Daten beziehen sich jedoch auf ein deutschlandweites Flächenmittel.

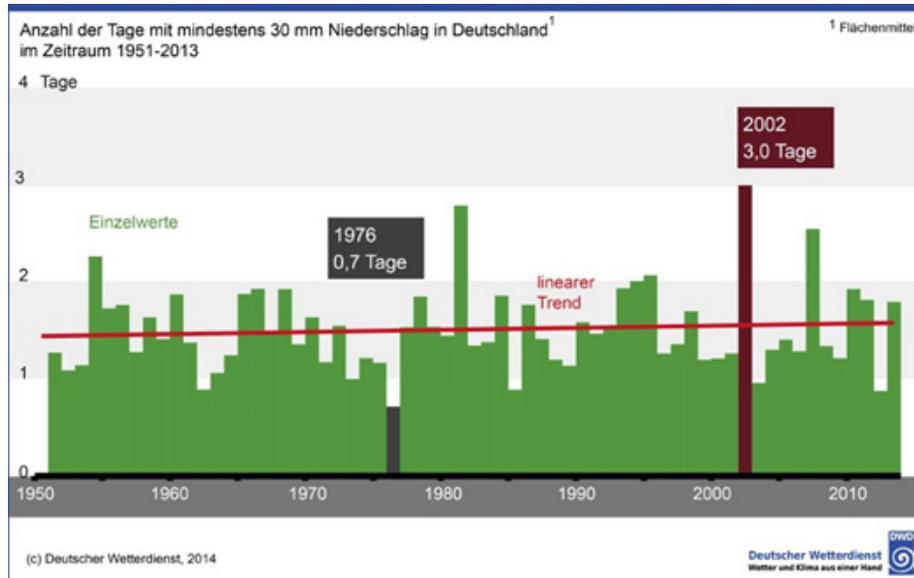


Abb. E.1-2: Tage mit mindestens 30 mm/m² Niederschlag

In einer anderen Auswertung des DWD wird räumlich höher aufgelöst durch Vergleich der in 15 min an ca. 25 Stationen gemessenen Niederschlagshöhen über 30 – bzw. 40 Jahre eine Veränderung in den letzten Jahren nachgewiesen. Die Messungen an der für die Region Bielefeld nächstgelegenen Station Bad Salzuflen weisen hier eine erhebliche Zunahme von über 20% der Starkregenereignisse auf.

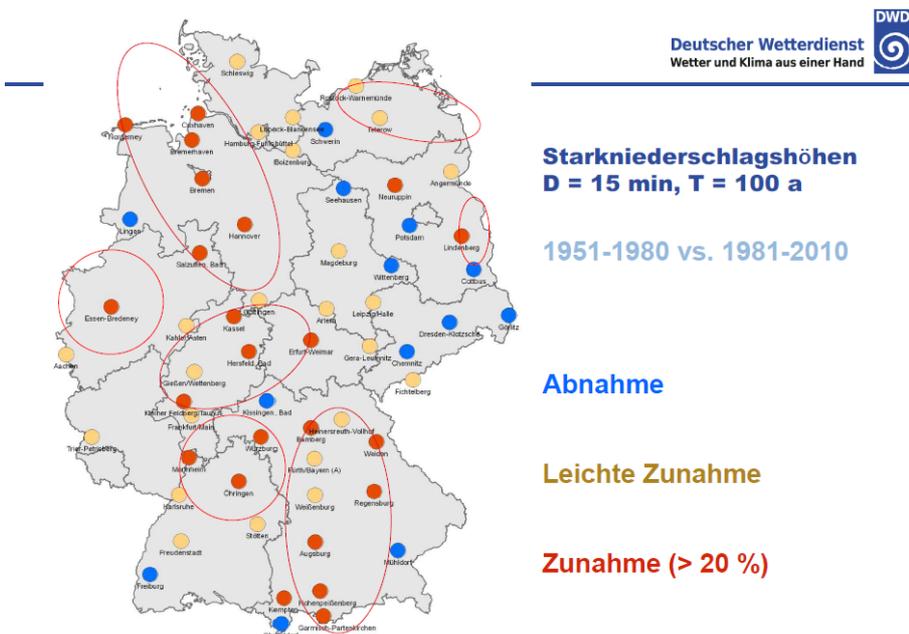


Abb. E.1-3: Veränderung der Starkregenereignisse in den Messperioden 1951-1980 im Vergleich zu 1981 zu 2010

E.2 Starkregen und Wetterlagen

Diese Zunahme wird sicher weiter zu differenzieren sein durch die lokal unterschiedlichen Einflussfaktoren, wie der lokalen Wetterlage. Aus der groben Rasterung der für die Modellierung verwendeten Niederschlagsmessstellen ist auch ersichtlich, dass größere orografische Effekte in diesen Ergebnissen nicht berücksichtigt werden. (siehe auch Kap E.3)

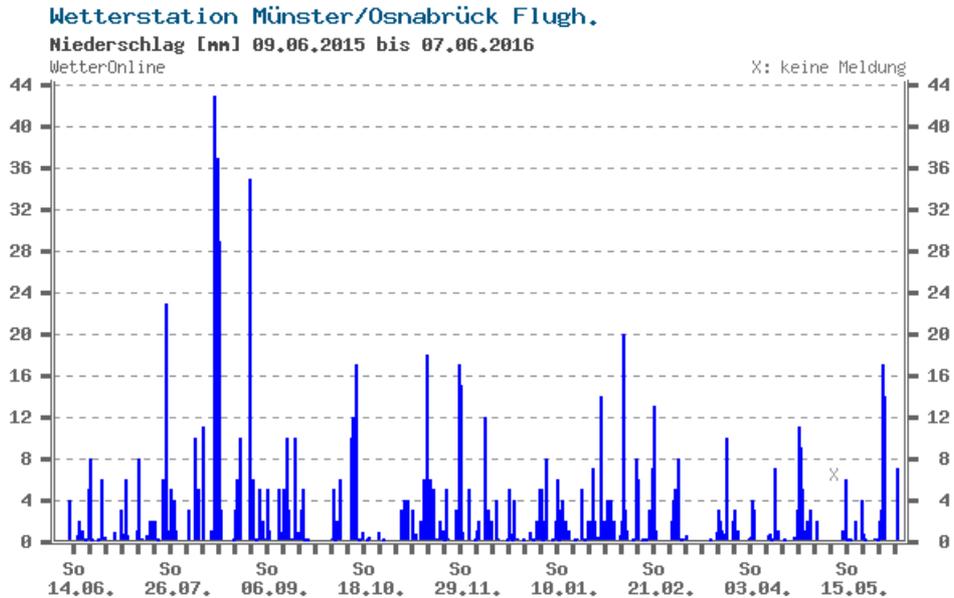


Abb. E.2-1: Tagesniederschläge an der Station Münster/Osnabrück

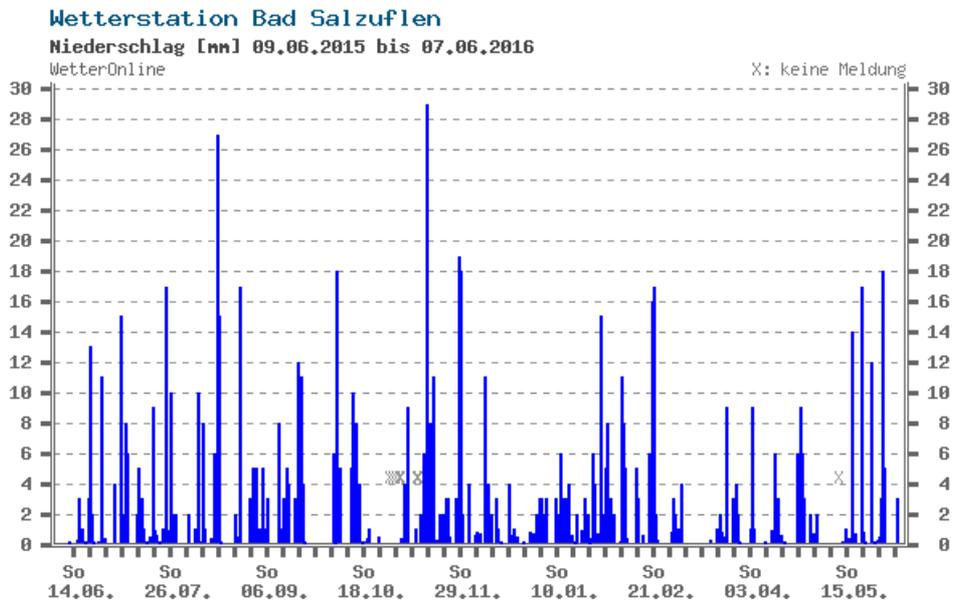


Abb. E.2-2: Tagesniederschläge an der Station Bad Salzuflen

Für eine regionale Analyse der Ereignisse dient der einjährige Vergleich vom 9.6.2015 bis 7.6.2016 der Stationen Münster / Osnabrück und Bad Salzuflen. Trotz der räumlichen Nähe weichen Zeitpunkte und Intensitäten der Starkregenereignisse deutlich voneinander ab (Ska-

lierung der y-Achse unterschiedlich).

Die folgende Untersuchung stellt eine Beziehung her zum Einflussfaktor großräumige Wetterlagen. Einen nachweisbar funktionalen Zusammenhang wird man nur mit einer langjährigen Auswertung erhalten. Gleichwohl sind diese Wechselwirkungen Gegenstand aktueller meteorologischer Forschung.

Diese Darstellung der täglichen Regenmengen kann in einem ersten Schritt ausgewertet werden, indem man verschiedene Niederschlagssummenklassen bildet. Hierbei ist es praktikabel die Werte zusammenzustellen, die eine bestimmte gesetzte Grenze (Stufe) überschreiten. In den Abbildungen unten sind für die Station Flughafen Münster-Osnabrück (FMO) beispielsweise tabellarisch alle Tagessummen zusammengetragen, die mindestens 10 Liter/m² betragen [Stufe 1], ferner die, die mindestens 15 Liter/m² [Stufe 2], 20 Liter/m² [Stufe 3], 30 Liter/m² [Stufe 4] und gegebenenfalls mindestens 40 Liter/m² [Stufe 5] erreichen.

Zusätzlich sind in der linken Spalte die an den in Frage kommenden Tagen die für Deutschland vorherrschenden Großwetterlagen eingetragen. Auf diese Weise lassen sich eventuelle Zuordnungen besonders niederschlagsintensiver Phasen zu bestimmten Großwetterlagen herstellen.

Die Auswertung solcher Tageswerte ermöglichen Ergebnisse für Dauerstufen ab 24 Stunden.

		Stufe 5				Stufe 4	
FMO	Datum	N >= 40 mm		FMO	Datum	N >= 30 mm	
2015				2015			
TrW	15.8.	43		TrW	15.8.	43	
				HFz	16.8.	37	
				SWa	30.8.	35	

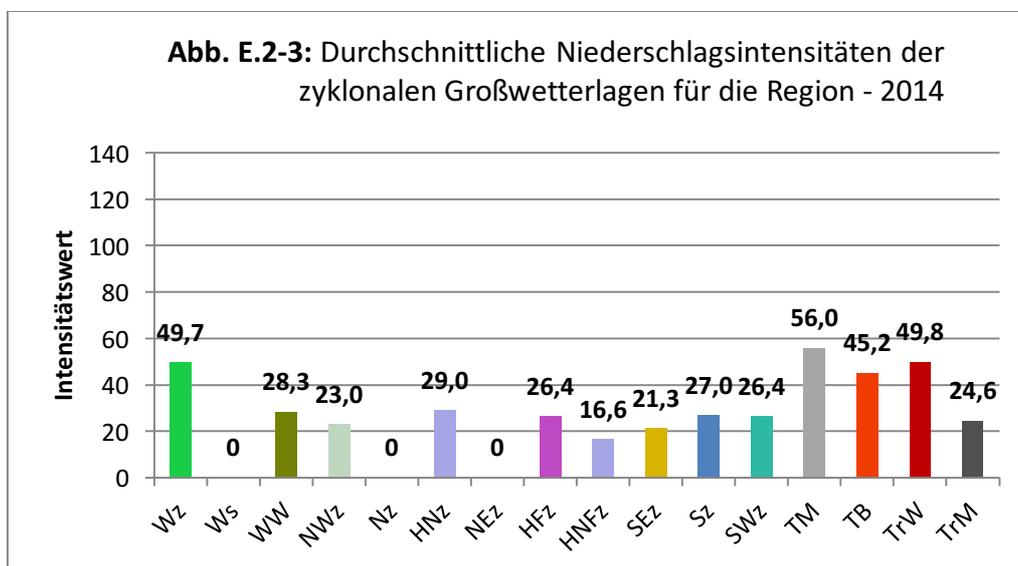
		Stufe 3				Stufe 2	
FMO	Datum	N >= 20 mm		FMO	Datum	N >= 15 mm	
2015				2015			
Wz	25.7.	23		Wz	25.7.	23	
TrW	15.8.	43		TrW	15.8.	43	
HFz	16.8.	37		HFz	16.8.	37	
HFz	17.8.	29		HFz	17.8.	29	
SWa	30.8.	35		SWa	30.8.	35	
				SEz	16.10.	17	
				Wz	15.11.	18	
				NWz	29.11.	17	
				NWz	30.11.	15	
2016				2016			
NWz	9.2.	20		NWz	9.2.	20	
				TM	1.6.	17	

		Stufe 1	
FMO	Datum	N >= 10 mm	
2015			
Wz	25.7.	23	
SWa	7.8.	10	
BM	10.8.	11	
TrW	15.8.	43	
HFz	16.8.	37	
HFz	17.8.	29	
TB	27.8.	10	
SWa	30.8.	35	
TrW	16.9.	10	
TrM	19.9.	10	
SEz	14.10.	10	
SEz	15.10.	12	
SEz	16.10.	17	
Wz	15.11.	18	
NWz	29.11.	17	
NWz	30.11.	15	
Wz	11.12.	12	
2016			
Wa	30.1.	14	
NWz	9.2.	20	
WW	22.2.	13	
Wz	25.3.	10	
Nz	25.4.	11	
TM	1.6.	17	
TM	2.6.	14	

Tab. E.2-1 Zuordnung von Großwetterlagen zu Niederschlagshöhen

In einer Tabelle [Anhang 1] sind alle in Deutschland möglichen Großwetterlagen mit ihren gängigen Abkürzungen und Erläuterungen zusammengestellt. Es ist die allgemein gebräuchliche Einteilung der Großwettertypen nach HESS & BREZOWSKY.

In einer weiteren, auf die Region ausgedehnten Auswertung zeigen die Abb.E.2-3 und E.2-4 die Ergebnisse mehrerer Stationen mit mindestens 10 l/m² Tagesmenge der Jahre 2014 und 2015. Es sind keine Volumensummen, sondern spezifische Intensitätsangaben, die den eingetragenen Großwetterlagen zugeordnet sind.



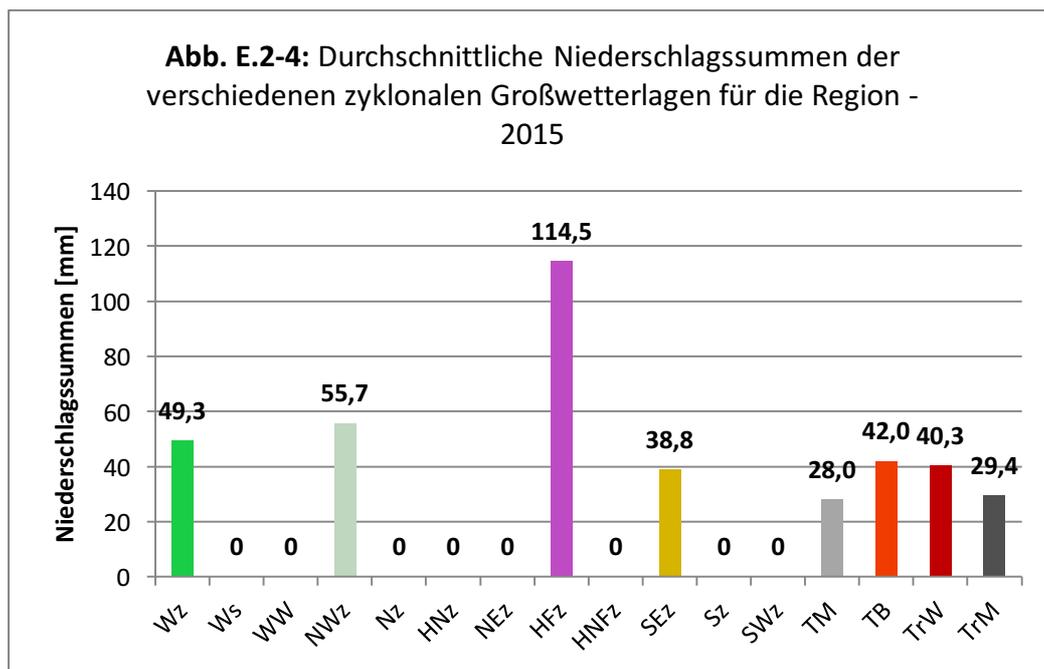
Wiedergegeben sind die Großwetterlagen mit zyklonaler (Tiefdruckgebiet) Ausprägung. Wie die Auswertung zeigte, hat es auch bei antizyklonalen (Hochdruckgebiet) Ausprägungen Niederschlagsereignisse gegeben, die das 10 Liter/m²-Kriterium erfüllten, insbesondere 2015. Das sind Grenzfälle, die überwiegend für niederschlagsfreien Witterungsverlauf sorgen, aber dennoch regional niederschlagsbildende Prozesse zulassen, meistens konvektiver Art in Form von Schauern und Gewittern.

Wie im Vergleich der Darstellungen von 2014 und 2015 zu erkennen ist, hat es 2015 weniger zyklonale Großwetterlagen gegeben

Von den im Jahr 2014 aufgetretenen 16 zyklonalen Großwetterlagen ereigneten sich bei 13 von ihnen Niederschläge mit mindestens 10 l/m² Tagesmengen.

Im Jahr 2015 war das Verhältnis 16 zu 8 mit Niederschläge über 10 l/m³. Aus den Abb. kann man entnehmen, dass die Starkregenereignisse sich – anders als in 2014 – auf die Großwetterlage HFz konzentrierten.

Die schon angesprochene statistische Schwankungsbreite zeigt sich bei der Großwetterlage HFz (vgl. Tabelle oben). 2014 nimmt diese mit durchschnittlicher regionaler Niederschlagsintensität einen unscheinbaren mittleren Platz mit 26,4 Liter/m² aus der Summe von vier Stationen ein, 2015 aber einen sehr hohen Wert von 114,5 Liter/m².



Fazit: Aus den Abbildungen E.2-3 und E.2-4 kann man entnehmen, dass die Starkregenereignisse sich 2015 – anders als in 2014 – auf die Großwetterlage HFz konzentrieren (HFz = „Hoch Fennoskandien zyklonal“).

E.3 Starkregen und Orografie

Eine besondere Auswertung des Deutschen Wetterdienstes bezieht sich auf das Starkregeneignis am 29.5.2016. Die räumlichen Inhomogenitäten sind zum Teil beeinflusst durch orografische Effekte, die auch das Gebiet der oberen Lippe betreffen.

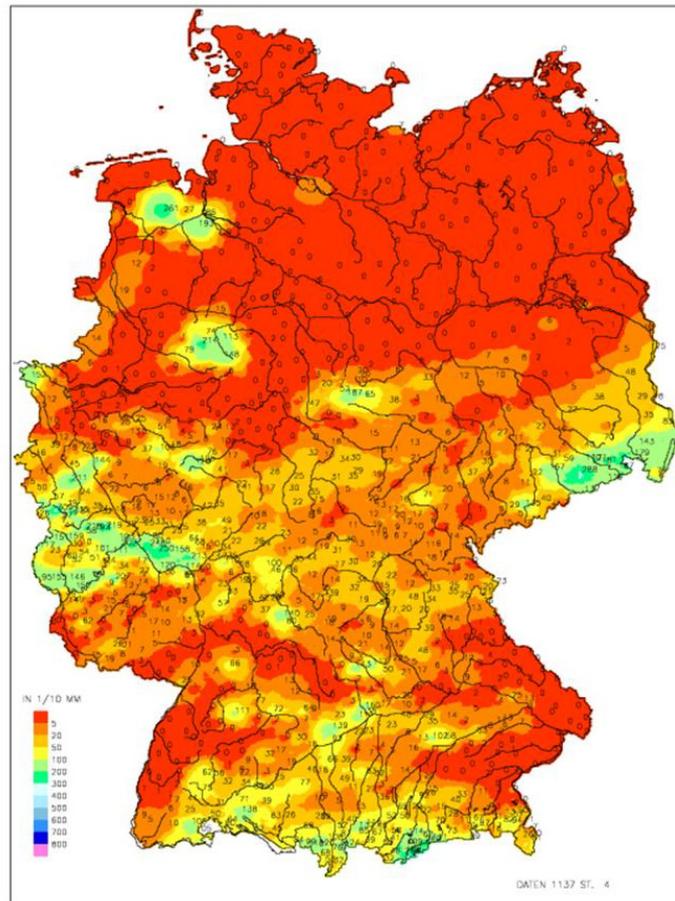


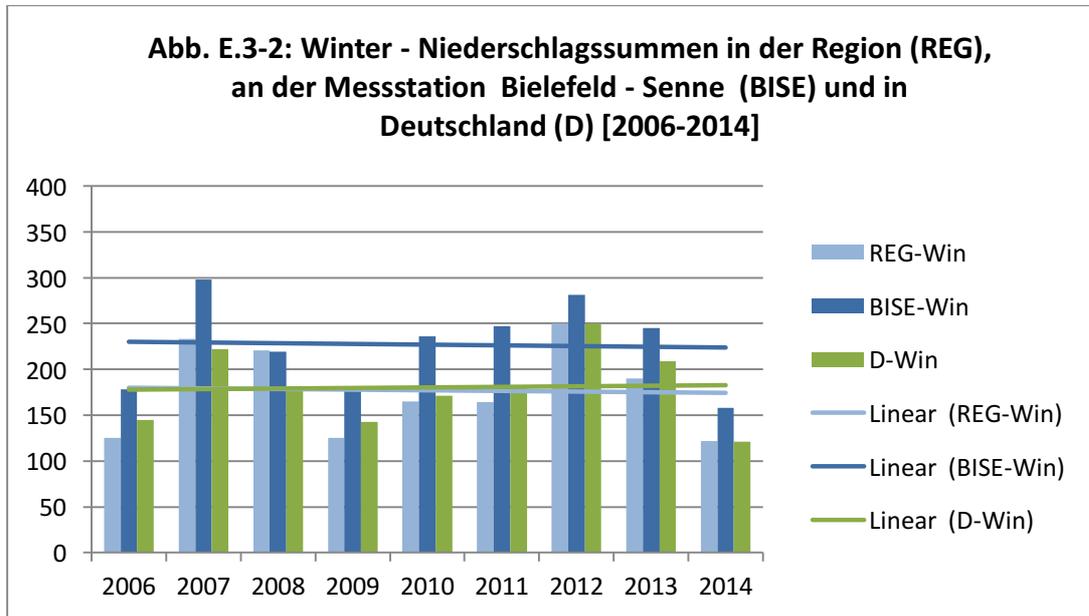
Abb. E.3-1: 24-stündige Niederschlagsmenge bis Sonntagmorgen, 29.5.2016 8:00 MESZ; Messungen, DWD

Die begünstigende persistente Großwetterlage Tief Mitteleuropa führte in weiten Teilen Deutschlands zu extremen Niederschlägen.

Um die Auswirkung von kleinräumigen Effekten auf die räumliche Verteilung näher zu erfassen, soll in einer ausführlicheren Untersuchung der Einfluss des Teutoburger Waldes auf die Niederschlagscharakteristik beschrieben werden. So ist schon früher nachgewiesen worden, dass der Höhenzug trotz der relativ geringen Höhe zu deutlichem Steigungsregen führt, sowie Luv- und Lee-Effekte hervorruft.

Bei der Analyse der zeitlich hochaufgelösten Niederschlagsmessungen an ausgewählten Messpunkten soll nachgewiesen werden, dass der Anteil von Starkregeneignissen am gesamten Niederschlagsgeschehen sich deutlich in Luv und Lee unterscheiden. Als wichtiges Ergebnis wird erwartet, dass sich die Charakteristik in der Verteilung zwischen Dauerregen und plötzlichem Starkregen prägnant differiert mit Konsequenzen für die wasserwirtschaftliche Beurteilung.

Als Einstieg in die recht komplexe Problematik zeigt die folgende Auswertung für die Winterniederschläge:



Während die Trendgerade für Deutschland leicht ansteigt, verringert sich das Gesamtvolumen des Winterniederschlags in der Region und dies noch deutlicher an der Station Sennestadt.

In einem Beispiel für eine hochauflösende Untersuchung auf der Basis von 5 min-Werten werden nun in den folgenden drei Tabellen für das Jahr 2013 monatsweise die Häufigkeit der im jeweiligen Volumensegment auftretenden Niederschlagsereignisse ausgezählt. Als erstes pauschales Ergebnis erkennt man, dass Ereignisse über 3 mm/5min in diesem Jahr nur in den Sommermonaten zu beobachten waren.

2 0 1 3												
L / Mon	83,1	60,1	42,4	23,0	118,0	135,5	35,7	39,7	79,0	77,6	78,3	61,6
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
L / 5min	Fallzahlen											
0,1	540	397	317	106	416	155	35	62	280	227	477	284
0,2	78	60	47	24	151	57	12	25	58	91	88	54
0,3	19	15	3	12	63	22	4	11	30	38	13	21
0,4		6	1	5	21	24	1	7	13	13	8	8
0,5	2	3			8	11	1	2	17	9	1	8
0,6	2			1	3	12	1	5	5	5	1	6
0,7	1			2	1		1	1	1	2	3	2
0,8	1					3	1			2	1	2
0,9					1	4	2	2	2		1	1
1					1	3	1		1	2	1	
1,1					1			1	2	2		
1,2					1	1	1			2		
1,3						1		1				
1,4						1		1		1		1
1,5						1			1			
1,6					1					1		
1,7					1	1						
1,8	1											
1,9						3		1	1			
2							1		1			
2,1												
2,2					1	1	1					
2,3	1					1						
2,4							1					
2,5								1				
2,6									1			
2,7					1							
2,8												
2,9						1	1					
3,0-3,4						3		1				
3,5-3,9						2						
4,0-4,4						1						
4,5-4,9								1				
5,0-5,4						2	1					
5,5-5,9												
6,0-6,4						1						
6,5-6,9						2	1					
7,0-7,4												
7,5-7,9												
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Summe	645	481	368	150	671	302	75	122	415	395	594	387

Tab. E.3-1: Fallzahlen pro Volumenklasse pro Monat

Regenmengen		2 0 1 3										
L/Mon	83,1	60,1	42,4	23,0	118,0	135,5	35,7	39,7	79,0	77,6	78,3	61,6
L/5min	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
0,1	54,0	39,7	31,7	10,6	41,6	15,5	3,5	6,2	28,0	22,7	47,7	28,4
0,2	15,6	12,0	9,4	4,8	30,2	11,4	2,4	5,0	11,6	18,2	17,6	10,8
0,3	5,7	4,5	0,9	3,6	18,9	6,6	1,2	3,3	9,0	11,4	3,9	6,3
0,4		2,4	0,4	2,0	8,4	9,6	0,4	2,8	5,2	5,2	3,2	3,2
0,5	1,0	1,5			4,0	5,5	0,5	1,0	8,5	4,5	0,5	4,0
0,6	1,2			0,6	1,8	7,2	0,6	3,0	3,0	3,0	0,6	3,6
0,7	0,7			1,4	0,7		0,7	0,7	0,7	1,4	2,1	1,4
0,8	0,8					2,4	0,8			1,6	0,8	1,6
0,9					0,9	3,6	1,8	1,8	1,8		0,9	0,9
1					1,0	3,0	1,0		1,0	2,0	1,0	
1,1					1,1			1,1	2,2	2,2		
1,2					1,2	1,2	1,2			2,4		
1,3						1,3		1,3				
1,4						1,4		1,4		1,4		1,4
1,5						1,5			1,5			
1,6					1,6					1,6		
1,7					1,7	1,7						
1,8	1,8											
1,9						5,7		1,9	1,9			
2							2,0		2,0			
2,1												
2,2					2,2	2,2	2,2					
2,3	2,3					2,3						
2,4							2,4					
2,5								2,5				
2,6									2,6			
2,7					2,7							
2,8												
2,9						2,9	2,9					
3,0-3,4						9,8		3,1				
3,5-3,9						7,2						
4,0-4,4						4,1						
4,5-4,9								4,6				
5,0-5,4						10,1	5,4					
5,5-5,9												
6,0-6,4						6,3						
6,5-6,9						13,0	6,7					
7,0-7,4												
7,5-7,9												
	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
L/Mon	83,1	60,1	42,4	23,0	118,0	135,5	35,7	39,7	79,0	77,6	78,3	61,6

Tab. E.3-2: Prozentuale Verteilung pro Volumenklasse pro Monat

Prozent		2 0 1 3											
L/Mon	83,1	60,1	42,4	23,0	118,0	135,5	35,7	39,7	79,0	77,6	78,3	61,6	
L/5min	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
0,1	65,0	66,1	74,8	46,1	35,3	11,4	9,8	15,6	35,4	29,3	60,9	46,1	
0,2	18,8	20,0	22,2	20,9	25,6	8,4	6,7	12,6	14,7	23,5	22,5	17,5	
0,3	6,9	7,5	2,1	15,7	16,0	4,9	3,4	8,3	11,4	14,7	5,0	10,2	
0,4		4,0	0,9	8,7	7,1	7,1	1,1	7,1	6,6	6,7	4,1	5,2	
0,5	1,2	2,5			3,4	4,1	1,4	2,5	10,8	5,8	0,6	6,5	
0,6	1,4			2,6	1,5	5,3	1,7	7,6	3,8	3,9	0,8	5,8	
0,7	0,8			6,1	0,6		2,0	1,8	0,9	1,8	2,7	2,3	
0,8	1,0					1,8	2,2			2,1	1,0	2,6	
0,9					0,8	2,7	5,0	4,5	2,3		1,1	1,5	
1					0,8	2,2	2,8		1,3	2,6	1,3		
1,1					0,9			2,8	2,8	2,8			
1,2					1,0	0,9	3,4			3,1			
1,3						1,0		3,3					
1,4						1,0		3,5		1,8		2,3	
1,5						1,1			1,9				
1,6					1,4					2,1			
1,7					1,4	1,3							
1,8	2,2												
1,9						4,2		4,8	2,4				
2							5,6		2,5				
2,1													
2,2					1,9	1,6	6,2						
2,3	2,8					1,7							
2,4							6,7						
2,5								6,3					
2,6									3,3				
2,7					2,3								
2,8													
2,9						2,1	8,1						
3,0-3,4						7,2		7,8					
3,5-3,9						5,3							
4,0-4,4						3,0							
4,5-4,9								11,6					
5,0-5,4						7,5	15,1						
5,5-5,9													
6,0-6,4						4,7							
6,5-6,9						9,6	18,8						
7,0-7,4													
7,5-7,9													
	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	

Tab. E.3-3: Volumen pro Volumenklasse pro Monat

Zu Tab. E.3-1: Fallzahlen pro Volumenklasse pro Monat:

Da die Fallzahlen in den höheren Volumenklassen größeren Anteil an den monatlichen Gesamtregentmengen haben, ist es sinnvoll die prozentualen Anteile an den jeweiligen Monatssummen zu bestimmen. Dies ist in der nächsten Tabelle realisiert.

Je geringer die monatliche Gesamtsumme ist, umso stärker gehen die intensiven Volumenklassen ins Gewicht. Dies lässt sich gut am August 2013 ablesen. So gibt es in diesem Monat einen Fall in der Kategorie 4,0-4,5 [mm/5-min]. Da nun die Monatssumme mit lediglich 39,7 mm relativ gering ausfällt, schlägt dieser einzelne Fall mit recht veritablen 11,6 % zu Buche. Nur die Prozent-Angaben für die untersten Volumenklassen 0,1 und 0,2 [mm/5-min] mit 15,6 % und 12,6 % liegen höher. Dies sind aber auch 62 bzw. 25 Fälle.

Zu Tab. E.3-2: Prozentuale Verteilung pro Volumenklasse pro Monat:

Einen noch krasserer Fall liefert der Juli mit dem intensivsten Jahreswert (6,5-6,9 mm/5-min) überhaupt. Mit 18,8 % erreicht er prozentual fast das Doppelte (9,8 %) der geringsten Volumenklasse 0,1 mm/5-min, obwohl hier mit 35 Fällen die höchste Anzahl vorliegt.

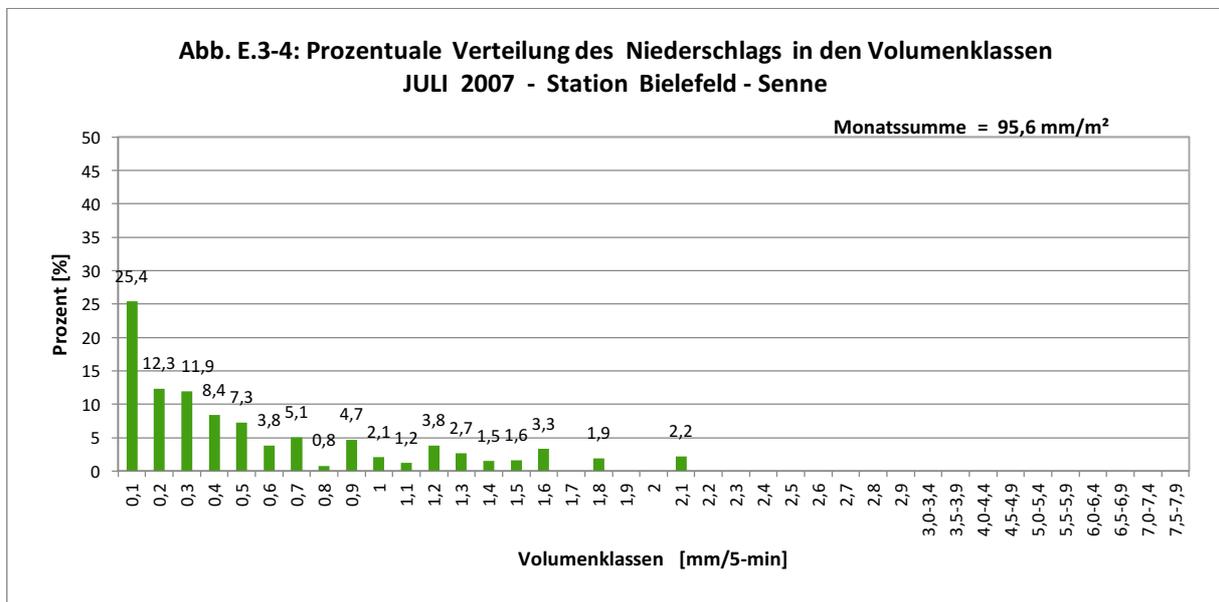
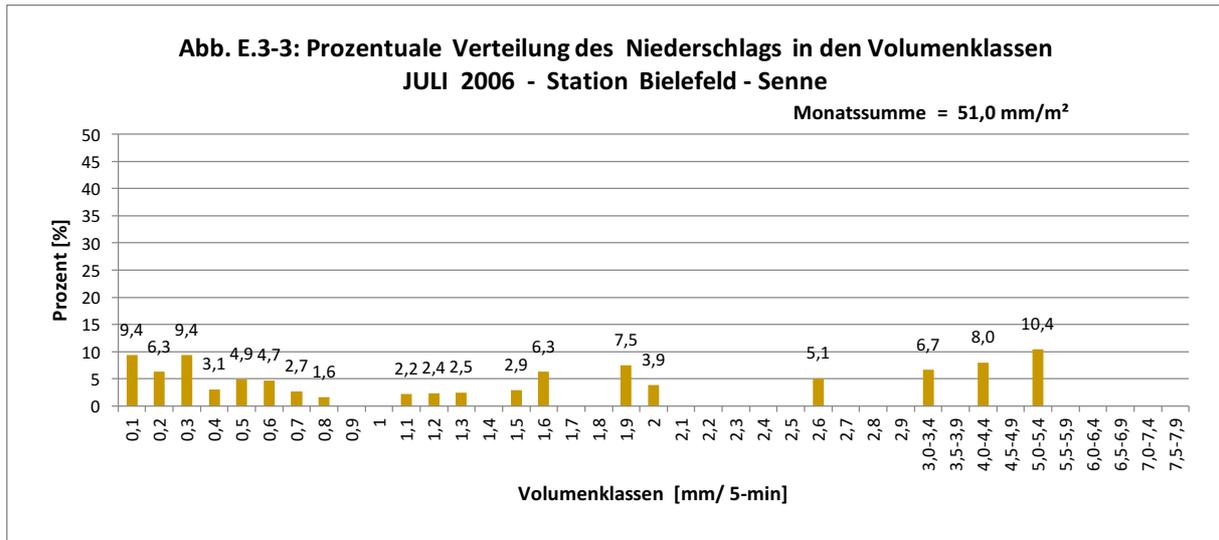
Zu Tab. E.3-3: Volumen pro Volumenklasse pro Monat:

Als dritte Variante dieser tabellarischen Darstellungsarten können die Regenvolumina oder Regentmengen für jede Volumenklasse angegeben werden. Hier lassen sich gut die Gesamtregentmengen ins Verhältnis zu den Einzelvolumina in Beziehung setzen.

Beispielsweise weisen Mai und Juni 2013 zwar ähnlich hohe Monatssummen von über 100 Liter/m² auf. Aber bei der Verteilung der Mengen in den Volumenklassen zeichnen sich deutlich charakteristische Unterschiede ab. Eindeutig erkennbar ist, dass es im Juni weitaus mehr Starkregenereignisse gegeben hat als im Mai. So sind die Mengen in den 3 untersten Volumenklassen, die bei fast allen Auswertungen auch die höchsten Fallzahlen aufweisen, im Juni deutlich geringer als im Mai. Ab der Volumenklasse 4 (= 0,4 mm/5-min) tritt dieses Ereignis dann nicht mehr auf. Entweder sind die volumenspezifischen Regentmengen gleich oder im Mai gegenüber Juni fortwährend kleiner.

Jede dieser drei unterschiedlichen tabellarischen Auflistungen lässt sich auch selbstverständlich graphisch darstellen. Dieses soll hier aber nicht mit den Regenwerten von 2013 geschehen, sondern beispielhaft für zwei andere Juli-Monate. Mit 2006 und 2007 ereigneten sich nämlich zwei sehr gegensätzliche Julimonate hintereinander.

In dieser gewählten prozentualen Darstellungsform treten klar die unterschiedlichen Niederschlagscharakteristiken hervor. Während der Juli 2006 deutliche Starkregenereignisse aufweist, liefert der Juli 2007 offensichtliche Hinweise auf wiederholte Perioden mit länger andauernden Regenfällen schwächerer Intensität, zumal 2007 mit 95,6 mm/m² fast das Doppelte an Niederschlag gefallen ist als 2006 mit lediglich 51,0 mm/m² Monatssumme.



Die vorliegende Ausarbeitung ist als Anregungen für das weiterführende Ziel durch ausführlichere Untersuchungen die Charakteristika der unterschiedlichen Eigenschaften der in Luv und Lee des Teutoburger Waldes liegenden Messpunkte zu entwickeln. Solche Ergebnisse können zu einer problemorientierteren Bewertung von Starkniederschlagsereignissen führen und eine genauere Datenbasis liefern für ein regionales Abflussmanagement.

Eine solche zeitlich hochaufgelöste Auswertung wäre aufgrund der verfügbaren Daten möglich für die Messorte: Bielefeld-Stadtwerke, Gütersloh-Wasserwerk 2, Herford, Oerlinghausen und Werther, sowie Bielefeld-Sennestadt. Mit dieser geografischen Anordnung ließe sich auch hinreichend genau ein Luv / Lee Effekt dokumentieren.

Anhang 1

Abkürzung	Zyklonale Großwetterlagen
Wz	Westlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Ws	Südliche Westlage
WW	Winkelförmige Westlage
NWz	Nordwestlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Nz	Nordlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HNz	Hoch Nordmeer-Island, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
NEz	Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HFz	Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
HNfz	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
SEz	Südostlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
Sz	Südlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
SWz	Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend zyklonal
TM	Tief Mitteleuropa
TB	Tief Britische Inseln
TrW	Trog Westeuropa
TrM	Trog Mitteleuropa

Abkürzung	Antizyklonale Großwetterlagen
Wa	Westlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NWa	Nordwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
Na	Nordlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HNa	Hoch Nordmeer-Island, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
NEa	Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HFa	Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HNFa	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SEa	Südostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
Sa	Südlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
SWa	Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal
HM	Hoch Mitteleuropa
BM	Hochdruckbrücke Mitteleuropa
HB	Hoch Britische Inseln

F. Literaturangaben

Urbane Strategien zum Klimawandel

Strategien und Potentiale für Kommunen und Immobilienwirtschaft, Tagungsbericht, Berlin 2010

StadtKlima, Kommunale Strategien und Potentiale zum Klimawandel, ExWoSt, 8/2011, BMVBS, 2012

Regionale Klimamodelle; Potentiale, Grenzen und Perspektiven
Nationales Komitee für GlobalChange Forschung, Kiel 2010

Handbuch Stadtklima, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Düsseldorf 2010

Regionaler Klimaatlas Deutschland, Helmholtz-Gemeinschaft, 2010

Klimaatlas Deutschland, Szenarien, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2011

Mitteilungen der DMG, fortlaufend, Berlin 2016

Klimaatlas NRW. LANUV, Essen 2012

Literatur Niederschlag

Malitz, G. Veränderung der Starkniederschläge in Deutschland, DWD Berlin 2013

Pfister, A. Starkregenereignisse und deren kleinräumige Schadenspotentiale, 2013

Abschätzung zukünftiger Starkregenereignisse im Rahmen von Klimamodellen, Kreienkamp et al, CEC Potsdam 2009

ExUS: Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW – Veränderung in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, 2012

Untersuchung starkregengefährdeter Gebiete NRW, Bezirksregierung Detmold, TU Braunschweig, 2009

Die Fohlenwiese in Heepen, Gewässermaßnahmen, Bielefeld 2013

DIN 4049, Beuth Verlag, Berlin

DIN 19700, Beuth Verlag, Berlin 2004-7

HydroDat, Niederschlagsauswertung, Leittechnik für die Wasserwirtschaft, 2015

Gewässerkunde Senne, Gewässerkundlicher Jahresbericht 2012, Detmold 2013

Gewässerkunde Senne, Gewässerkundlicher Jahresbericht 2013, Detmold 2014

Datenbasis

Berliner Wetterkarte, Institut für Meteorologie der FU Berlin und Deutscher Wetterdienst, Berlin 2016

Climate Data Center (CDC), DWD, Offenbach 2016

Integrated Climate Data Center, Hamburg 2016

Gewässerkunde Senne, Bielefeld 2015

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, 2016

Auswahl von Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe „Stadtklima Bielefeld“

Langjähriges Niederschlagsmittel – Trendermittlung für ein über das Stadtgebiet von Bielefeld summierendes Niederschlagsmittel
Gesellschaft zur Förderung des Forschungs- und Technologietransfers in der Universität Bielefeld, Bielefeld 2006

Witterungsbericht 2007 für die Region Bielefeld und Berechnung eines Niederschlagstrends, Bielefeld 2008

Witterungsbericht 2008 für die Region Bielefeld und Entwicklung einer Klimaprojektion, Bielefeld 2009

Witterungsbericht 2009 für die Region Bielefeld und stadtklimatische Anpassungsstrategien, Bielefeld 2010

Witterungsbericht 2010 für die Region Bielefeld, Bielefeld 2011

Witterungsbericht 2011 für die Region Bielefeld, Perspektiven der Klimaentwicklung aus langjährigen Messreihen, Bi-2000Plus, Bielefeld 2012

Innerstädtische Wärmeinseln: Zustand und Perspektiven, Infrarot-Satellitenaufnahmen 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 2013 für die Region Bielefeld, Bielefeld 2014