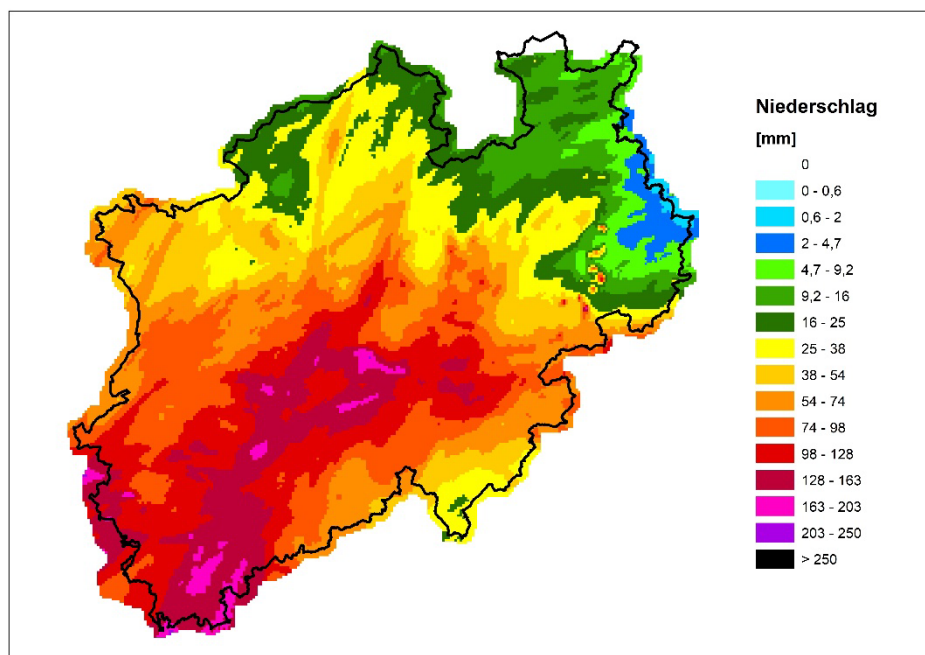


ExUS 2020 - Studie

Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW



Niederschlagssumme für den Zeitraum von 13.-15.07.2021 (aufbereitet, kompositiert und angeeicht auf Basis der DWD DX-Daten der Radarstandorte Essen, Flechtendorf und Neuheilenbach)

Abschlussbericht zum Kooperationsprojekt zwischen

aqua_plan GmbH ▪ dr. papadakis GmbH ▪ hydro & meteo GmbH
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Prof. Dr. Markus Quirmbach

Mai 2023



dr. papadakis GmbH
Hydrologie · Siedlungswasserwirtschaft · Wasserwirtschaft



Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen



IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10,45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 Telefax 02361 305-3215 E-Mail poststelle@lanuv.nrw.de
Bearbeitung	Prof. Dr. Markus Quirmbach Hochschule Ruhr West, Mülheim a.d.R. Lehr- und Forschungsgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau aqua_plan Ingenieurgesellschaft für Problemlösungen in Hydrologie und Umweltschutz mbH Amyastr. 126 52066 Aachen hydro & meteo GmbH Breite Str. 6-8 23552 Lübeck Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW Fachbereiche 37 und 51 Leibnizstraße 10 45659 Recklinghausen dr. papadakis GmbH Kaiser-Otto-Platz 13 45276 Essen
Stand	05/2023
Bildnachweis	Titelbild: hydro & meteo GmbH, Lübeck
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter www.lanuv.nrw.de
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	XI
1 Einleitung.....	1
2 Untersuchungsumfang.....	2
3 Datenprüfung und resultierende Datengrundlage für Trenduntersuchungen auf Basis von Niederschlagsstationsdaten.....	4
3.1 Bereitstellung der Niederschlagsdaten.....	4
3.2 Prüfung der Niederschlagsdaten.....	5
3.2.1 Generelle Anforderungen an die Daten für die weitere Bearbeitung.....	5
3.2.2 Prüfsoftware NIKLAS.....	6
3.2.3 Prüfung der Stationsdaten.....	7
3.3 Verfügbarer Datenpool für Trenduntersuchungen auf Basis von Niederschlagsstationsdaten.....	11
4 Mathematische Grundlagen für die Trendanalysen.....	17
4.1 Verfahren für die Trendanalysen.....	17
4.2 Anwendung der Testverfahren in der ExUS 2020 - Studie.....	18
4.2.1 Mann-Kendall Trendtest.....	19
4.2.2 (Generalisierte) Lineare Modelle.....	20
4.2.3 t-Test (Zweistichproben-t-Test).....	20
4.2.4 Wilcoxon-Mann-Whitney Test.....	21
4.2.5 Kolmogorow-Smirnow Test.....	21
4.3 Bruchpunktanalyse.....	22
4.3.1 Auswertung.....	22
4.3.2 Fazit.....	25
5 Trendanalysen der Jahres-, Halbjahres-, Quartals- und Monatsniederschlagssummen.....	26
5.1 Auswertung der Jahressummen (WWJ).....	26
5.2 Auswertung der Halbjahressummen.....	30
5.3 Auswertung der Monats- und Quartalssummen.....	36
6 Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen.....	41
6.1 Grenzwertüberschreitungen bei Kenntagen.....	41
6.2 Grenzwertüberschreitungen bei den DWD-Warnschwellen.....	44
6.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Grenzwertüberschreitungen.....	50
7 Trendanalysen zu partiellen Serien und statistischen Kenngrößen.....	52
7.1 Auswertung der partiellen Serien.....	52
7.1.1 Auswertungen für Gesamt-NRW.....	52
7.1.2 Auswertungen für die Großlandschaften.....	55

Inhaltsverzeichnis

7.2	Auswertung der statistischen Kenngrößen.....	61
7.2.1	Auswertungen für Gesamt-NRW.....	61
7.2.2	Auswertungen für die Großlandschaften.....	63
8	Statistische Auswertungen von Radardaten	71
8.1	Bereichsgrenzenwahl für die Niederschlagsstatistiken auf Basis der Radarniederschlagsdaten.....	71
8.2	Sensitivitätsanalysen zu statistischen Auswertungen an ausgewählten Stationen und korrespondierenden Radardaten.....	75
8.3	Flächendeckende Darstellung statistisch ermittelter Niederschlagshöhen zur Ermittlung von Starkregengebieten.....	86
8.3.1	Interpretation der Kartendarstellungen.....	86
8.3.2	Vergleich mit der DWD-Radarklimatologie	89
9	Trendanalysen zu Trockenzeiten	93
9.1	Auswertungen zu Grenzwertunterschreitungen	93
9.2	Auswertungen zum Standardized Precipitation Index (SPI)	95
9.2.1	Einführung des SPI.....	95
9.2.2	Durchgeführte Auswertungen zum SPI	96
9.2.3	Bewertung der Ergebnisse	99
9.3	Auswertungen zum Trockenheitsindex nach de Martonne (dMI).....	99
9.3.1	Einführung des dMI	99
9.3.2	Durchgeführte Auswertungen zum dMI	100
10	Trendanalysen zu weiteren Klimaparametern	106
10.1	Entwicklungen der mittleren Lufttemperatur auf jährlicher, saisonaler und monatlicher Basis.	106
10.1.1	Mittlere jährliche Temperaturen 1961 – 2018.....	106
10.1.2	Mittlere saisonale Temperaturen 1961 – 2018.....	110
10.1.3	Mittlere monatliche Temperaturen 1961 – 2018	123
10.2	Entwicklung Temperaturkentage 1961 – 2018.....	129
10.2.1	Entwicklung Eistage 1961 – 2018.....	131
10.2.2	Entwicklung Frosttage 1961 – 2018	133
10.2.3	Entwicklung Heiße Tage 1961 – 2018	136
10.2.4	Entwicklung Sommertage 1961 – 2018.....	138
10.2.5	Entwicklungen Tropennächte 1961 – 2018.....	140
11	Fazit und Ausblick	143
	Literaturverzeichnis	148
	Anhang.....	151
	Verzeichnis verwendeter Stationen und Zeitreihen	151

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die acht Großlandschaften in Nordrhein-Westfalen.....	3
Abbildung 2:	Übereinstimmung von Regenschreiber Hamm-Mattenbecke_EGLV (43120025 – fette Summenlinie) mit dem Radarpixel am selben Ort (dünne Summenlinie) – keine andere benachbarte Station zeigte an dem Tag Niederschlag	8
Abbildung 3:	Stationen mit „langen Zeitreihen“ (1961 – 2018), Kreise: Stationen mit kontinuierlichen Zeitreihen, Dreiecke: Stationen mit Tageswerten.....	11
Abbildung 4:	Anzahl der verwendeten Stationen mit „langen Zeitreihen“ in den einzelnen Großlandschaften von NRW im Vergleich zu deren prozentualen Flächenanteilen ...	12
Abbildung 5:	Eingesetzte Stationen für die Starkregenauswertungen.....	13
Abbildung 6:	Eingesetzte Stationen für die Auswertung partieller Serien	14
Abbildung 7:	Verwendete Stationen pro Jahr zur Auswertung der partiellen Serien	14
Abbildung 8:	Fließdiagramm zum Aufbau des Datenpools und verwendete Stationsanzahl in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung.....	16
Abbildung 9:	Überblick über statistische Tests, Voraussetzungen und Anwendungsbereiche (UniZH, 2020, eigene Überarbeitung).....	17
Abbildung 10:	Verteilung der Stationen für die Bruchpunktanalyse	22
Abbildung 11:	Beispiel für die Darstellung der Entdeckung eines Bruchpunktes in der partiellen Serie Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474) (D = 5 Min.)	24
Abbildung 12:	Zeitreihe der partiellen Serie Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005), D = 60 Minuten: Anzahl der Ereignisse pro Jahr.....	25
Abbildung 13:	Mittlere Jahresniederschlagssummen in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)	26
Abbildung 14:	Auswertung der ExUS 2020 – Studie zu mittleren Jahresniederschlagssummen in den einzelnen Dekaden im Vergleich zu Auswertungen auf DWD-Datenbasis (eigene Darstellung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte)	27
Abbildung 15:	Mittlere Jahresniederschlagssummen für Gesamt-NRW in den einzelnen Dekaden mit Angabe des linearen Trends (eigene Darstellung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte).....	28
Abbildung 16:	Mittlere Jahresniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW (Mittelwerte 1961 – 2018)	29
Abbildung 17:	Mittlere Jahresniederschlagssummen in den einzelnen Dekaden (Mittelwerte der Großlandschaften).....	29
Abbildung 18:	Prozentuale Veränderungen der mittleren Jahresniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990).....	30
Abbildung 19:	Mittlere Halbjahresniederschlagssummen in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	31
Abbildung 20:	Mittlere Halbjahresniederschlagssummen in den einzelnen Dekaden (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 21: Mittlere Niederschlagssummen in den Winterhalbjahren der einzelnen Dekaden (Mittelwerte der einzelnen Großlandschaften).....	33
Abbildung 22: Mittlere Niederschlagssummen in den Sommerhalbjahren der einzelnen Dekaden (Mittelwerte der einzelnen Großlandschaften).....	33
Abbildung 23: Gegenüberstellung der mittleren Halbjahresniederschlagssummen im Bergischen Land und der Niederrheinischen Bucht in den betrachteten Zeiträumen	34
Abbildung 24: Prozentuale Veränderungen der mittleren Niederschlagssummen im Winterhalbjahr in den Großlandschaften von NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990) ..	35
Abbildung 25: Prozentuale Veränderungen der mittleren Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr in den Großlandschaften von NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990)	35
Abbildung 26: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in Gesamt-NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990).....	36
Abbildung 27: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in Gesamt-NRW (1961 – 1990 vs. 1931 – 1960); eigene Darstellung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte	37
Abbildung 28: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW im Referenzzeitraum 1961 – 1990	38
Abbildung 29: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW im Zeitraum 1991 – 2018.....	38
Abbildung 30: Jahreszeitliche Niederschlagssummen in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)	39
Abbildung 31: Jahreszeitliche Niederschlagssummen in den einzelnen Dekaden (Mittelwert über Gesamt-NRW)	39
Abbildung 32: Prozentuale Zunahme von Starkregentagen über Grenzwerten in Gesamt-NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 bzw. 1991 – 2018 vs. 2001 – 1990)	42
Abbildung 33: Mittlere Anzahl von Starkregentagen pro Jahr mit $N \geq 60$ mm/d (Mittelwert über Gesamt-NRW)	43
Abbildung 34: Mittlere Anzahl von Starkregentagen pro Jahr mit $N \geq 30$ mm/d in den Großlandschaften von-NRW	43
Abbildung 35: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 15 mm in 1 Stunde	45
Abbildung 36: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 25 mm in 1 Stunde	46
Abbildung 37: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 40 mm in 1 Stunde	46
Abbildung 38: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 20 mm in 6 Stunden.....	47
Abbildung 39: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 35 mm in 6 Stunden.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 40: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 60 mm in 6 Stunden.....	48
Abbildung 41: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für $D = 60$ min auf Basis der partiellen Serien $p_{Se} 2,71$ (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	53
Abbildung 42: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für $D = 60$ min auf Basis der partiellen Serien $p_{Se} 0,5$ (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	54
Abbildung 43: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Trendentwicklung der partiellen Serien $p_{Se} 2,71$ und $p_{Se} 0,5$ zwischen 1961 – 2018 für Gesamt-NRW	55
Abbildung 44: Mittlere dekadische Anzahl von Stationen in den Großlandschaften von NRW für die Auswertung der partiellen Serien.....	57
Abbildung 45: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für $D = 60$ min auf Basis der partiellen $p_{Se} 2,71$ (Mittelwert für die Westfälische Bucht).....	58
Abbildung 46: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für $D = 60$ min auf Basis der partiellen Serien $p_{Se} 0,5$ (Mittelwert für die Westfälische Bucht).....	59
Abbildung 47: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Trendentwicklung der partiellen Serien $p_{Se} 2,71$ zwischen 1961 – 2018 für drei Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW	60
Abbildung 48: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Trendentwicklung der partiellen Serien $p_{Se} 0,5$ zwischen 1961 – 2018 für drei Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW	60
Abbildung 49: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in Gesamt-NRW	61
Abbildung 50: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in Gesamt-NRW	62
Abbildung 51: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018, mittleres Verhalten in Gesamt-NRW	62
Abbildung 52: Mittlere Niederschlagshöhen in den drei Zeitscheiben für $D = 60$ Minuten für Gesamt-NRW	63
Abbildung 53: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten in der Westfälischen Bucht	64
Abbildung 54: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten in der Westfälischen Bucht	65
Abbildung 55: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018 , mittleres Verhalten in der Westfälischen Bucht	65
Abbildung 56: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten im Niederrheinischen Tiefland	66
Abbildung 57: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten im Niederrheinischen Tiefland	67
Abbildung 58: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018 , mittleres Verhalten im Niederrheinischen Tiefland	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 59: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht.....	68
Abbildung 60: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht.....	69
Abbildung 61: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht ohne Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063)	69
Abbildung 62: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht ohne Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063)	70
Abbildung 63: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018 , mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht ohne Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063)	70
Abbildung 64: Verteilung der Örtlichkeiten für die Bereichsgrenzenwahl	71
Abbildung 65: Bereichsgrenze I: Auftretenshäufigkeiten in der Stichprobe	72
Abbildung 66: Bereichsgrenze II: Auftretenshäufigkeiten in der Stichprobe	73
Abbildung 67: Räumliche Verteilung der verwendeten Niederschlagsstationen für Sensitivitätsanalysen zu statistischen Auswertungen von Radardaten vs. Stationsdaten.....	75
Abbildung 68: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)	78
Abbildung 69: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)	78
Abbildung 70: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	79
Abbildung 71: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	79
Abbildung 72: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen als Box-Whisker-Plots)	81
Abbildung 73: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen als Box-Whisker-Plots)	81
Abbildung 74: Prozentuale Abweichungen von statistischen Niederschlagshöhen ausgewählter Dauerstufen und Jährlichkeiten im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 bzw. 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 (Darstellung über alle 20 Stationen als Box-Whisker-Plots)	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 75: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten im Zeitraum 2001 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005).....	83
Abbildung 76: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten im Zeitraum 2001 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005).....	83
Abbildung 77: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten (Stationsraster) im Zeitraum 1991 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen/Rasterfelder als Box-Whisker-Plots)	85
Abbildung 78: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten (bestes Rasterfeld aus neun) im Zeitraum 1991 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen/Rasterfelder als Box-Whisker-Plots)	86
Abbildung 79: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 1 Jahr	87
Abbildung 80: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 20 Jahre	87
Abbildung 81: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 60 Minuten, T = 1 Jahr	88
Abbildung 82: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 60 Minuten, T = 20 Jahre	89
Abbildung 83: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Stunde, T = 1 Jahr, links Radklim-Auswertung (DWD, 2017), rechts: ExUS 2020 – Studie (identische Farbskala).....	90
Abbildung 84: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Stunde, T = 20 Jahre, links Radklim-Auswertung (DWD, 2017), rechts ExUS 2020 – Studie (unterschiedliche Farbskalen)	91
Abbildung 85: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 1 Jahr, links Radklim-Auswertung (DWD, 2017), rechts ExUS 2020 – Studie (identische Farbskala).....	91
Abbildung 86: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 20 Jahre, links Radklim-Auswertung (DWD, 2017), rechts ExUS 2020 – Studie (identische Farbskala).....	92
Abbildung 87: Mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr mit $N \leq 0,1$ mm/d in den einzelnen Dekaden (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	93
Abbildung 88: Mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr mit $N \leq 0,1$ mm/d in den einzelnen Dekaden (Mittelwerte der Großlandschaften).....	94
Abbildung 89: Mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr mit $N \leq 0,1$ mm/d aufgeteilt nach Jahreszeiten (Mittelwert über Gesamt-NRW)	95
Abbildung 90: Vom DWD berechneter SPI für die Station Essen-Bredene_DWD (45070025) (1961 – 2019, Aggregationszeitraum: 12-Monatssummen), eigene Darstellung auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes (2020)	97
Abbildung 91: Mit dem SPI Generator berechneter SPI für die Station Essen-Bredene_DWD (45070025) (1961 – 2017, Aggregationszeitraum: 12-Monatssummen)	97
Abbildung 92: SPI für die Station Essen-Südviertel_RV (45080115) (Aggregationszeitraum: 12-Monatssummen)	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 93: SPI für die Station Gummersbach_Aggertalsperre_AV (49110022) (Winterhalbjahr, Aggregationszeitraum: 6-Monatssummen).....	98
Abbildung 94: SPI für die Station Gummersbach_Aggertalsperre_AV (49110022) (Sommerhalbjahr, Aggregationszeitraum: 6-Monatssummen).....	99
Abbildung 95: Mittlerer monatlicher Trockenheitsindex dMI in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	100
Abbildung 96: Gegenüberstellung des mittleren monatlichen Trockenheitsindex dMI im Bergischen Land (BL) und der Niederrheinischen Bucht (NB) in den drei Zeitscheiben.....	101
Abbildung 97: Mittlerer monatlicher Trockenheitsindex dMI in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW).....	102
Abbildung 98: Durchschnittliche Anzahl der Monate mit einem Trockenheitsindex dMI ≤ 1 pro Jahr und Station in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)	102
Abbildung 99: Mittlerer monatlicher Trockenheitsindex dMI in den drei Zeitscheiben in den Großlandschaften von NRW	103
Abbildung 100: Durchschnittliche Anzahl der Monate mit einem Trockenheitsindex dMI ≤ 1 pro Jahr und Station in den drei Zeitscheiben in den Großlandschaften von NRW	104
Abbildung 101: Mittlere jährliche Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	108
Abbildung 102: Mittlere jährliche Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	108
Abbildung 103: Mittlere Frühlings-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	112
Abbildung 104: Mittlere Frühlings-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	112
Abbildung 105: Mittlere Sommer-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	115
Abbildung 106: Mittlere Sommer-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	115
Abbildung 107: Mittlere Herbst-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht,	

Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	118
Abbildung 108: Mittlere Herbst-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	118
Abbildung 109: Mittlere Winter-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	121
Abbildung 110: Mittlere Winter-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	121
Abbildung 111: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	131
Abbildung 112: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	131
Abbildung 113: Mittlere Anzahl an Frosttagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	134
Abbildung 114: Mittlere Anzahl an Frosttagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (DWD 2020a)	134
Abbildung 115: Mittlere Anzahl an Heißen Tagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	136
Abbildung 116: Mittlere Anzahl an Heißen Tagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	136
Abbildung 117: Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	138
Abbildung 118: Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land,	

Abbildungsverzeichnis

Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	138
Abbildung 119: Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a).....	141
Abbildung 120: Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)	141

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der verfügbaren Stationen vor und nach der Datenprüfung.....	15
Tabelle 2:	Verwendung der Reihen in Abhängigkeit von der Auswertung	15
Tabelle 3:	Übersicht über verwendete Testverfahren in der ExUS 2020 - Studie.....	18
Tabelle 4:	Bewertung des Signifikanzniveaus	18
Tabelle 5:	Eigenschaften des Mann-Kendall-Trendtests.....	19
Tabelle 6:	Eigenschaften der Generalisierten Linearen Modelle	20
Tabelle 7:	Eigenschaften des T-Tests.....	20
Tabelle 8:	Eigenschaften des Wilcoxon-Mann-Whitney-Tests.....	21
Tabelle 9:	Eigenschaften des Kolmogorow-Smirnow-Tests	21
Tabelle 10:	Übersicht über geprüfte Stationen zu Bruchpunkten in der Statistik	23
Tabelle 11:	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der Jahresniederschlagssummen der Großlandschaften von NRW im Zeitraum 1961 – 2018	30
Tabelle 12:	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der Halbjahresniederschlagssummen der Großlandschaften von NRW im Zeitraum 1961 – 2018	36
Tabelle 13:	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der jahreszeitlichen Niederschlagssummen in Gesamt-NRW (1961 – 2018 vs. 1882 – 2018), rechte Spalte: eigene Auswertung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte	40
Tabelle 14:	Gesamtanzahl von Starkregentagen über definierten Grenzwertwerten im Untersuchungszeitraum 1961 – 2018 in den Großlandschaften von NRW und in Gesamt-NRW (abhängig von der Anzahl der eingehenden Stationen).....	42
Tabelle 15:	Signifikanzniveau nach dem GLM-Verfahren für die Entwicklung von Starkregentagen über definierten Grenzwertwerten im Untersuchungszeitraum 1961 – 2018 in den Großlandschaften von NRW und in Gesamt-NRW	44
Tabelle 16:	Klimasignal: Anzahl der Niederschlagsereignisse über dem angegebenen Grenzwert, Änderung im Zeitraum 1991 - 2018 im Vergleich zu 1961 - 1990.....	49
Tabelle 17:	Klimasignal: Anzahl der Niederschlagsereignisse über dem angegebenen Grenzwert, Änderung im Zeitraum 2001 - 2018 im Vergleich zu 1961 - 1990, rot markiert sind größere Signifikanzniveaus zum Zeitraum 1991 – 2018, blau markiert sind kleinere Signifikanzniveaus zum Zeitraum 1991 – 2018.....	49
Tabelle 18:	Klimasignal: Anzahl der Niederschlagsereignisse über dem angegebenen Grenzwert, Änderung im Zeitraum 1991 - 2018 im Vergleich zu 1961 - 1990 für die drei vertretenen Großlandschaften.....	50
Tabelle 19:	Jährlich zur Verfügung stehende Anzahl von Stationen in den Großlandschaften von NRW für die Auswertung der partiellen Serien	56
Tabelle 20:	Stationsanzahlen pro Großlandschaft für die Auswertungen	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 21:	Örtlichkeiten, für die Extremwertstatistiken aus den Radardaten erstellt wurden....	72
Tabelle 22:	Variationskoeffizienten (u = oberer Wert, w = unterer Wert) für die Bereichsgrenzwahl – in rot die Werte > 0.1 , die zur Abwertung führen.....	74
Tabelle 23:	Tabellarische Zusammenstellung der verwendeten Niederschlagsstationen für Sensitivitätsanalysen zu statistischen Auswertungen von Radardaten vs. Stationsdaten.....	76
Tabelle 24:	Tabellarische Zusammenstellung der Rasterfelder mit bester Übereinstimmung zur Stationsstatistik	84
Tabelle 25:	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der Trockentage mit $N \leq 0,1$ mm/d in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW im Zeitraum 1961 – 2018	94
Tabelle 26:	Prozentuale Veränderung des mittleren monatlichen Trockenheitsindex dMI in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW in den Zeiträumen 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 und 2001 – 2018 vs. 1961 – 1990	103
Tabelle 27:	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung des Trockenheitsindex dMI in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW im Zeitraum 1961 – 2018	104
Tabelle 28:	Prozentuale Veränderung der Anzahl von Monaten mit einem $dMI \leq 1$ in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW in den Zeiträumen 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 und 2001 – 2018 vs. 1961 – 1990	105
Tabelle 29:	Jährliche Mitteltemperaturen in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018, Datenquelle: DWD (2020a)	107
Tabelle 30:	Jährliche Temperaturentwicklungen in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).	110
Tabelle 31:	Saisonale Temperaturmittelwerte in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	111
Tabelle 32:	Temperaturentwicklungen im Frühling in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	114
Tabelle 33:	Temperaturentwicklungen im Sommer in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	117
Tabelle 34:	Temperaturentwicklungen im Herbst in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	119
Tabelle 35:	Temperaturentwicklungen im Winter in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Abkürzung „ns“ steht für nicht signifikant. Datenquelle: DWD (2020a)	122
Tabelle 36:	Temperaturmittelwerte der jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	123
Tabelle 37:	Lineare Temperaturanstiege der jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018, „ns“ steht für nicht signifikant. Datenquelle: DWD (2020a).....	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 38:	Lineare Temperaturanstiege pro Dekade der jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018, „ns“ steht für nicht signifikant. Datenquelle: DWD (DWD 2020a).....	125
Tabelle 39:	Monatliche mittlere Temperaturen pro langjährige Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2018 sowie den Differenzen zwischen den beiden Zeiträumen in Nordrhein-Westfalen (NRW) und den „warmen“ Großlandschaften Datenquelle: DWD (2020a)	127
Tabelle 40:	Monatliche mittlere Temperaturen pro langjährige Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2018 sowie den Differenzen zwischen den beiden Zeiträumen in Nordrhein-Westfalen (NRW) und den „kalten“ Großlandschaften. Datenquelle: DWD (2020a)	128
Tabelle 41:	Definition von Temperaturkenntagen.....	129
Tabelle 42:	Übersicht Mittelwerte Temperaturkenntage pro Jahr für Nordrhein-Westfalen und die acht Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).....	130
Tabelle 43:	Abnahme an Eistagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und in den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	133
Tabelle 44:	Abnahmen an Frosttagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	135
Tabelle 45:	Zunahmen an Heißen Tagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)	137
Tabelle 46:	Zunahmen an Sommertagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).	140
Tabelle 47:	Zunahmen an Tropennächten pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).	142

1 Einleitung

Im Jahr 2010 wurde das F & E – Vorhaben „Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW“ (ExUS 2010 - Studie) für den Zeitraum 1950 – 2008 durchgeführt. Dabei standen Starkregenauswertungen auf Tagesbasis, Entwicklungen in den Monats- und Jahressummen, Veränderungen in den partiellen Serien (der Niederschlagsstatistik) sowie zukünftige Entwicklungen in Klimaprojektionen im Vordergrund. Bereits damals stellten die Ergebnisse eine wichtige Grundlage für die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen des Niederschlags dar, und sie wurden und werden immer noch in vielen weiteren Studien und Projekten genutzt.

Seit dem Abschluss dieser Studie stehen mittlerweile Messdaten aus zehn weiteren Jahren zur Verfügung. Auch die Fragen, die sich aus den Folgen des Klimawandels ergeben, sind vielschichtiger geworden. Insbesondere die Entwicklung von Starkregen kürzerer Dauerstufen, die Veränderungen der Lufttemperatur sowie der Trockenzeiten als auch Erkenntnisse aus räumlich hoch aufgelösten Radarniederschlagsdaten haben nicht nur eine Neuauflage, sondern auch eine Erweiterung des Untersuchungsumfangs in der neuen ExUS 2020 – Studie erforderlich gemacht.

Das wesentliche Ziel der ExUS 2020 – Studie ist die Analyse und Darstellung der regional differenzierten Veränderungen von Kenngrößen des Niederschlages (von kurzen Starkregen bis zu Jahressummen) in den letzten 58 Jahren (Datenbasis: Wasserwirtschaftsjahre 1961 – 2018). Die Ergebnisse stellen die Grundlagen für wasserwirtschaftliche Bewertungen und Planungen, zu Klimaanpassungsplanungen sowie zur Bewertung des Klimawandels dar. Gegenüber primär wissenschaftlich ausgerichteten Analysen erfolgt in der ExUS 2020 - Studie in erster Linie eine praxisorientierte Datenaufbereitung und Ergebnisdarstellung.

Das Besondere der ExUS 2020 – Studie ist, dass gegenüber anderen Studien nicht nur einzelne Aspekte des Niederschlages, sondern umfassende und flächendeckende extremwertstatistische Auswertungen durchgeführt werden. Durch die ergänzenden Untersuchungen zur Lufttemperatur, zu Trockenzeiten und zu Radarniederschlagsdaten wird so ein umfassendes und zusammenhängendes Bild der Niederschlagsentwicklung in Nordrhein-Westfalen gegeben. Außerdem können Querbezüge einzelner Ergebnisse hergestellt werden. Gegenüber z. B. KOSTRA-DWD-2010R werden darüber hinaus nicht nur mittlere (statistische) Zustände, sondern auch Entwicklungen / Trends des Niederschlagsgeschehens dargestellt. Zudem können auf Basis von Großlandschaften regionale spezifische Aussagen getroffen werden.

Die ExUS 2020 – Studie stellt ein Kooperationsprojekt dar, in dem die Projektleitung vom LANUV NRW und Prof. Dr. Quirnbach gemeinschaftlich wahrgenommen wird. Hierbei liegt die Projektleitung und wissenschaftliche Begleitung bei Hr. Dr. Quirnbach. Die Projektleitung seitens des LANUV wird von Vera Schimetzek wahrgenommen. Die fachliche Beratung seitens des LANUV erfolgt durch Bernd Mehlig und Roland Funke. Die weiteren Kooperationspartner sind die drei Ingenieurbüros hydro & meteo GmbH (Dr. Thomas Einfalt, Inga Frerk), dr. papadakis GmbH (Elke Freistühler) und aqua_plan GmbH (Gerd Langstädtler, Claudia Janßen, Christoph Reinhardt), die auch bereits die ExUS 2010 – Studie durchgeführt haben sowie der Fachbereich 37 (Dr. Ingo Wolff) des LANUV NRW. Weitere Unterstützung und fachliche Begleitung erhält das Kooperationsprojekt durch einen wissenschaftlichen Begleitkreis aus Vertretern von Wasserwirtschaftsverbänden, des Deutschen Wetterdienstes, Kommunen sowie Hochschulen, der etwa alle sechs Monate zusammengekommen ist.

2 Untersuchungsumfang

Die in der ExUS 2020 – Studie durchgeführten Untersuchungen basieren auf einem einheitlichen und für statistische Aussagen hinreichend geprüften Datenpool primär stationsbasierter Niederschlagsmessdaten (Kapitel 3). Ergänzt wird dieser Datenpool

- durch Radarniederschlagsdaten aus dem DX-Offline-Kooperationsprojekt der Wasserwirtschaftsverbände NRW mit dem LANUV NRW und dem Deutschen Wetterdienst auf Basis gemeinsamer Rahmenvereinbarungen (Treis et al., 2016, hydro & meteo GmbH; Jessen, 2018 und 2020),
- durch Lufttemperaturdaten aus dem HYRAS – Datensatz (Razafimaharo et al., 2020),
- durch Auswertungen zu Monatsniederschlagssummen für den Zeitraum 1881 – 2019 auf Basis von DWD-Daten des DWD-Datenservers (Hansmann, 2019),
- durch monatliche Stationsbeobachtungen der Abteilung Agrarmeteorologie des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2020) und
- durch Rasterdaten der Monatsmittel der Lufttemperatur (2m) und der Monatssummen der Niederschlagshöhe (DWD, 2020a).

Die Untersuchungen in der ExUS 2020 – Studie wurden in mehreren Stufen durchgeführt. Den Kern der Studie stellt eine Fortführung von besonders aussagekräftigen Untersuchungen aus der ExUS 2010 – Studie dar. Diese Untersuchungen wurden in einer zweiten Stufe durch weitere Analysen insbesondere zu kurzen Dauerstufen $D < 1$ Tag ergänzt. Im Fokus der dritten Stufe stehen Untersuchungen auf Basis der mittlerweile flächendeckend verfügbaren Radarniederschlagsdaten. Während der Bearbeitung hat sich gezeigt, dass zusätzliche methodische Untersuchungen (z. B. zu Bruchpunkten) durchgeführt werden mussten. Diese und weitere mathematische Grundlagen zu den durchgeführten Trendanalysen werden im Kapitel 4 kurz beschrieben. Um auch Aussagen zu Themen wie Trockenzeiten, Dürren und Vegetationsperioden treffen zu können, die im direkten Zusammenhang mit dem Niederschlag stehen, wurden in dieser Studie außerdem ergänzende Analysen zur Lufttemperatur durchgeführt. Damit ergibt sich der folgende Untersuchungsumfang für die ExUS 2020 – Studie:

- Trendanalysen zu Jahres-, Halbjahres-, Quartals- und Monatsniederschlagssummen (Kapitel 5)
- Trendanalysen zu Grenzwertüberschreitungen (Kapitel 6)
- Trendanalysen zu partiellen Serien und zu statistischen Kenngrößen (Kapitel 7)
- Statistische Auswertungen zu Radarniederschlagsdaten (Kapitel 8)
- Trendanalysen zu Trockenzeiten (Kapitel 9)
- Trendanalysen zu weiteren Klimaparametern, wie die mittlere Lufttemperatur und Temperaturkenntage (Kapitel 10)

Die Ergebnisse zu den zuvor genannten Untersuchungen werden i. d. R. über mindestens eine der nachfolgenden Optionen dargestellt:

- a) **Vergleich von Zeitscheiben I:** Beim Vergleich von Klimaparametern wie Niederschlag oder Lufttemperatur sind Zeitscheiben von mindestens 30 Jahren zu vergleichen, damit Singularitäten einzelner Jahre oder sogar Jahrzehnte die Ergebnisse nicht überproportional beeinflussen. Der Gesamtzeitraum von 58 Jahren lässt einen Vergleich der beiden Zeitscheiben 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 mit je fast 30 Jahren zu.
- b) **Vergleich von Zeitscheiben II:** Gerade für den Zeitraum ab 2001 wird eine überproportionale Zunahme an Starkregen vermutet. Zudem liegen seit 2001 flächendeckend für Nordrhein-

Westfalen Radarniederschlagsdaten mit einer zeitlichen Auflösung von 5-min-Summen und einer räumlichen Auflösung von 1x1 km² vor. Ergänzend zum vorherigen Vergleich wird daher auch der Zeitraum 2001 – 2018 dem Zeitraum 1961 – 1990 gegenübergestellt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist aber zu berücksichtigen, dass die gemachten Aussagen aufgrund des relativ kurzen Zeitraums 2001 – 2018 (18 Jahre) nicht so robust wie die des zuvor genannten Vergleichs sind.

- c) **Kontinuierliche Entwicklung über den Gesamtzeitraum:** Bei den Trendanalysen wird der Gesamtzeitraum 1961 – 2018 betrachtet. Hierfür bietet sich die Darstellung über Säulen- oder Liniendiagramme an. Je nach Untersuchung wird eine Darstellung von Einzeljahren oder von dekadischen Mittelwerten gewählt.

Alle durchgeführten Untersuchungen wurden flächendeckend für ganz Nordrhein-Westfalen (Gesamt-NRW) durchgeführt. Bei allen Untersuchungen wurde zudem versucht, eine Differenzierung der Ergebnisse aufgeteilt nach Großlandschaften durchzuführen. Aufgrund der zum Teil zu geringen Datenmengen war dies allerdings nicht für jede Untersuchung und jede Großlandschaft möglich. Die acht Großlandschaften NRW teilen sich in vier Mittelgebirgsregionen und vier Buchten / Tiefländer auf (Abbildung 1). Da die Mittelgebirge feuchter und kühler als die Buchten und Tiefländer sind, sind Unterschiede in den Ergebnissen und Trends zu erwarten. Weitere Informationen über die Großlandschaften Nordrhein-Westfalens, insbesondere hinsichtlich Klimainformationen, hat das LANUV NRW in seinen Daten und Fakten zum Klimawandel online bereitgestellt (LANUV NRW, 2021).

Eine differenzierte Untersuchung nach Naturräumen wird hingegen nicht vorgenommen. Die Untergliederung der Großlandschaften in Naturräume erfolgt im Wesentlichen nach geologischen, und nicht primär nach klimatologischen und orographischen Kriterien. Zudem ist die Stationsdichte der verwendbaren Zeitreihen für diesen Differenzierungsgrad nicht ausreichend.

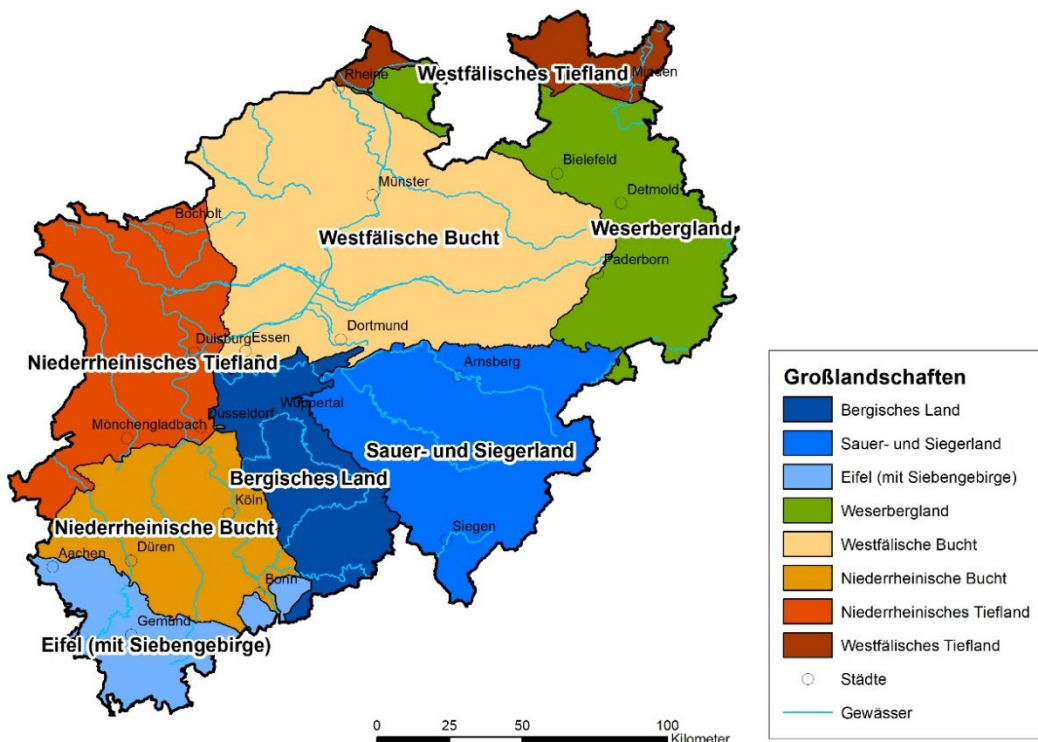


Abbildung 1: Die acht Großlandschaften in Nordrhein-Westfalen

3 Datenprüfung und resultierende Datengrundlage für Trenduntersuchungen auf Basis von Niederschlagsstationsdaten

In diesem Kapitel wird die Datenprüfung und die daraus resultierende Datengrundlage für die Trenduntersuchungen auf Basis von Niederschlagsstationsdaten beschrieben. Die nachfolgende Dokumentation soll einen Aufschluss darüber geben, auf welche Art und Weise geprüft wurde, was das Ergebnis dieser Prüfungen war, und welche unterschiedlichen Datensätze für die nachfolgenden Untersuchungen zur Verfügung standen.

Die Datengrundlagen für die Sonderuntersuchungen zu den Radarniederschlagsdaten und zu den Klimadaten werden in den jeweiligen Kapiteln beschrieben. Bei diesen Datensätzen wird auf homogene, geprüfte Datenpools zurückgegriffen, sodass eine weitere Prüfung im Rahmen dieser ExUS 2020 – Studie nicht erforderlich war.

3.1 Bereitstellung der Niederschlagsdaten

Als Grundlage für den Datenpool der ExUS 2020 – Studie diente die aktuelle AquaZIS – Datenumgebung des LANUV NRW, aus der zunächst alle Niederschlags – Zeitreihen sowie die Radarniederschlagsdaten (Kapitel 8) übernommen wurden.

Dieser Datenpool wurde ergänzt durch:

- bereits in der ExUS 2010 – Studie ausgewertete Zeitreihen,
- Aneichdaten aus dem DX – Offline – Projekt (kontinuierliche Stationsdaten, die zur Aneichung der DX – Offline – Daten eingesetzt werden),
- Zeitreihen weiterer Betreiber (Kommunen, Wasserverbände, ...),
- Tageswerte des DWD außerhalb von NRW (nur für die Datenprüfung als Vergleich).

Es wurden Daten nachfolgender Betreiber importiert (insgesamt ca. 8260 Dateien, mit einer Gesamtdateigröße von ca. 33,6 GB). Beim Import wurde darauf geachtet, dass bei Zeitbereichsüberschneidungen die Daten mit besserer Qualität übernommen wurden bzw. erhalten blieben. Daten, die erst nach der vereinbarten Abgabefrist zur Verfügung standen, wurden nicht mehr berücksichtigt. Auch Daten, die nur einen kurzen Zeitbereich (< 20 Jahre) abdeckten, wurden nicht importiert, wenn zu diesen keine Reihe im Datenpool vorhanden war.

- Wasserwirtschaftsverbände:
 - Aggerverband (AV)
 - Bergisch-Rheinischer Wasserverband (BRW)
 - Emschergenossenschaft / Lippeverband (EG/LV)
 - Erftverband (ErftV)
 - Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG)
 - Niersverband (NiersV)
 - Ruhrverband (RV)
 - Wasserverband Obere Lippe (WOL)
 - Wasserverband Eifel-Rur (WVER)
 - Wupperverband (WV)

- Kommunen:
 - Stadt Bonn (BN)
 - Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf (SEBD)
 - Wirtschaftsbetriebe Duisburg (WBD)
 - Stadtentwässerungsbetriebe Köln (StEBK)
 - Wirtschaftsbetriebe Hagen (WBH)
 - Entsorgungsbetriebe Wesseling (EBW)
 - Infrastruktur Neuss AÖR (ISNAÖR)
- Sonstige:
 - Wetternetz Hagen (WNH)
 - Deutscher Wetterdienst (DWD)

Nach Import aller Daten lagen folgende Zeitreihen (ZR) vor:

- 923 kontinuierliche ZR,
- 874 Tageswert – ZR (einschließlich der ZR aus benachbarten Bundesländern für den Vergleich).

3.2 Prüfung der Niederschlagsdaten

Um belastbare Statistiken und Trendanalysen durchführen zu können, sind ausschließlich geprüfte Messdaten zu verwenden. Zur Gewährleistung eines einheitlichen und zumindest teilautomatisierten Vorgehens, wurden zu Beginn Regeln für die Zeitreihenauswahl sowie für die Prüfung der Daten definiert. Diese werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

3.2.1 Generelle Anforderungen an die Daten für die weitere Bearbeitung

Bei der Auswahl der Stationen wurden für die weitere Bearbeitung folgende Kriterien für die Datenverwendbarkeit, die Datenqualität und für den Umgang mit Datenlücken festgelegt:

- Bei Stationen, bei denen im gleichen Zeitraum sowohl eine kontinuierliche als auch eine Tageswertzeitreihe vorliegt, wird die kontinuierliche Zeitreihe priorisiert. Bei kürzerer Datenverfügbarkeit der kontinuierlichen Reihe wird für Auswertungen auf Tageswertbasis die kontinuierliche Reihe mit der Tageswertzeitreihe verlängert.
- Datenlücken werden mit einem maximalen Anteil von 3 % pro Jahr zugelassen, um mit der vorherigen ExUS 2010 - Studie konsistent zu sein.
- Als Datenbasis werden für alle Untersuchungen die Wasserwirtschaftsjahre 1961 – 2018 festgelegt. Die Dekade 1950 – 1960, die in der ExUS 2010 – Studie ausgewertet wurde, wird nicht mehr untersucht, da für diesen Zeitraum zu wenige Stationen außerhalb der Emscher-Lippe-Region vorliegen.

Der Datenpool wurde zunächst daraufhin untersucht, ob eine Datenverfügbarkeit von mindestens 20 Jahren zwischen 1961 und 1990 und zwischen 1991 und 2018 vorliegt. Alle Stationen, die diese Kriterien erfüllten, wurden einer genaueren Datenprüfung unterzogen (siehe nachfolgende Unterkapitel).

Für die Datenprüfung standen die in Kapitel 3.1 genannten Stationsdaten bereit. Die Prüfung fand in vier Abschnitten statt, um zeitnah erste vorläufige Ergebnisse der Fachöffentlichkeit vorstellen zu können:

1. Prüfung der kontinuierlichen Stationen, die bereits in der ExUS 2010 – Studie ausgewertet wurden: Damit wurde durch die Prüfung der letzten zehn Jahre schnell eine vorläufige Datenbasis für NRW erstellt, die von 1961 bis 2018 reicht
2. Prüfung der Stationen mit langen kontinuierlichen Zeitreihe: Hier wurden Stationen und Zeiträume ergänzend zum Datensatz aus der ExUS 2010 - Studie geprüft, die dann ebenfalls Datenreihen von 1961 bis 2018 ergaben. Dieser Schritt bezieht sich auf wenige, zusätzlich bestehende Stationen und auf Teilzeiträume, für die in der ExUS 2010 – Studie Daten gefehlt haben und dort nicht verwendet wurden.
3. Prüfung der Stationen mit langen Tageswertzeitreihen: Diese Stationen sind die Basis für die flächendeckenden Aussagen zu Jahressummen bis zu Monatssummen und für Aussagen zu Grenzwertüberschreitungen sowie zu Grenzwertunterschreitungen.
4. Prüfung zusätzlicher Stationen: Diese Stationen mit Beobachtungslängen $L > 20$ Jahre werden für die Auswertung der partiellen Serien verwendet.

3.2.2 Prüfsoftware NIKLAS

Die Software NIKLAS wurde genutzt, um automatisch erkennbare Datenauffälligkeiten in einer Liste vorliegen zu haben und diese dann anschließend manuell prüfen zu können. Die Prüfroutinen in NIKLAS umfassen folgende Schritte:

Grenzwertprüfung für unterschiedliche Dauerstufen

Bei der Grenzwertprüfung werden Auffälligkeiten erkannt, wenn folgende Kriterien vorliegen:

- in 1 Minute Überschreitung einer Niederschlagsmenge von mehr als 5 mm
- in 5 Minuten Überschreitung einer Niederschlagsmenge von mehr als 17,5 mm (entspricht 100-jährlich in Essen)
- in 60 Minuten Überschreitung einer Niederschlagsmenge von mehr als 50 mm (entspricht > 100-jährlich in Essen - 48 mm)
- in 1440 Minuten Überschreitung einer Niederschlagsmenge von mehr als 100 mm (entspricht > 100-jährlich in Essen - 90 mm)
- „Pluvio“-Prüfung: es wurde geprüft, ob es bei der Niederschlagsintensität für eine Minute einen plötzlichen Anstieg um 5 mm oder mehr gab. Dieses ist dann möglicherweise auf einen Fehlimpuls beim Messgerät zurückzuführen. Dieser Fehler trat insbesondere in der ersten Generation des OTT Pluvio-Sensors bei Stoßbelastungen auf.

Prüfung auf konstante Werte über mehrere Stunden (bei kontinuierlichen Daten) bzw. mehrere Tage (bei Tageswerten)

Die Prüfung zu konstanten Werten prüft, ob über eine Dauer: $D \geq 3$ Stunden bzw. $D \geq 3$ Tage eine konstante Menge Niederschlag $N \geq 0.01$ mm/min gefallen ist.

Räumliche Konsistenzprüfung

Bei der räumlichen Konsistenz sind folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Hohe Niederschlagsmengen für Tage bzw. Monate: Der Mittelwert der Niederschlagssummen an den Nachbarstationen oder die Niederschlagssumme an der untersuchten Station ist $N > 5$ mm und die Niederschlagssumme an der untersuchten Station ist mehr als doppelt so groß wie der maximale Wert einer Nachbarstation.

- Niedrige Niederschlagsmengen für Tage bzw. Monate: Der Mittelwert der Niederschlagssummen an den Nachbarstationen oder die Niederschlagssumme an der untersuchten Station ist $N > 5$ mm und die Niederschlagssumme an der untersuchten Station ist kleiner als der 0,6-fache Wert des Mittelwertes der Nachbarstationen.
- Nullwerte: es wird geprüft, ob bei einer Station ohne Niederschlag zeitgleich sämtliche Nachbarstationen Niederschlag aufweisen.
- Für die räumlichen Prüfungen musste in allen vier Quadranten mindestens eine Station mit Daten vorliegen. War dieses Kriterium erfüllt, wurden alle Stationen mit verfügbaren Daten ausgewählt, wenn sie in einer maximalen Entfernung von 40 km liegen und eine maximale Höhendifferenz von 200 m besitzen.

Einschränkungen des Prüfprogramms NIKLAS

NIKLAS prüft räumlich nur dann, wenn auch in jeder Richtung eine Station zur Verfügung steht – sonst wird die räumliche Vergleichsprüfung nicht durchgeführt. Diese Unzulänglichkeit konnte im Rahmen des Projektes nicht behoben werden, sondern ist als Einschränkung des Prüfungsumfanges zu dokumentieren.

Für kontinuierliche Stationen konnte jedoch in den meisten Fällen eine zusätzliche Tageswertstation gefunden werden, mit der die räumliche Prüfung durchgeführt werden konnte. Bei den Tageswertstationen war das zwar nicht der Fall, jedoch sind die Tageswerte des Deutschen Wetterdienstes als qualitativ bereits verlässlich einzuschätzen.

Verwendung des Prüfprogramms

Für jede Reihe wurden von NIKLAS die Auffälligkeiten dokumentiert. Die Inhalte dieser Übersicht wurden nach Excel zur weiteren manuellen Prüfung übertragen, und weitere interne Dateien bei unklarer Datenlage als zusätzliche Informationen genutzt.

Die automatisierte Erkennung von Fehlern und markanten Ereignissen ermöglichte eine objektive Vorauswahl von potenziell fehlerhaften Daten, ersetzte jedoch nicht die fachliche Begutachtung der Daten durch erfahrenes Personal. So wurden alle automatisch gefundenen Auffälligkeiten anschließend mit Hilfe von geeigneten Nachbarstationen (kontinuierliche und Tageswertstationen) in AquaZIS bzw. mit TimeView geprüft. Die von NIKLAS kritisierten Ereignisse wurden als plausibel bewertet, verworfen (Lücke gesetzt) oder rekonstruiert.

Für die insgesamt 278 kontinuierlichen Zeitreihen wurden 414 kontinuierliche Kontrollreihen zum Vergleich herangezogen und für die 148 Tageswert-Zeitreihen 874 Tageswert-Kontrollreihen (einschließlich der Reihen aus Nachbargebieten außerhalb von NRW). Es wurde jede Zeitreihe unter Nutzung aller Kontrollreihen im Umkreis < 40 km und einer Höhendifferenz < 200 m geprüft. Dabei ergaben sich insgesamt 6285 Auffälligkeiten, die visuell durch die Büros aqua_plan und hydro & meteo geprüft wurden.

Die Dokumentation zu den Prüfergebnissen wird den jeweiligen Betreibern digital zur Verfügung gestellt.

3.2.3 Prüfung der Stationsdaten

Bei der Stationsdatenprüfung wurde sukzessive nach den in Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Arbeitsschritten vorgegangen, um möglichst früh erste belastbare Ergebnisse zu erzeugen.

Im ersten Arbeitsschritt wurde davon ausgegangen, dass die in diesem Projekt durchgeführten Prüfungen für die 176 in der ExUS 2010 - Studie genutzten Stationen nur ab dem 01.11.2007 erforderlich sind. Deshalb erfolgten keine Prüfungen für frühere Zeiträume.

Zudem wurden im Rahmen der ExUS 2020 - Studie nur Daten überprüft, die potentiell starkregenrelevante Niederschlagsmengen betreffen. Es wurde keine vollständige Prüfung der Daten durchgeführt (z. B. zeitliche Verschiebungen, konstante Intensitäten bei kleinen Niederschlagsmengen), und es wurden gesetzte Lücken überwiegend nicht geschlossen.

Prüfung der kontinuierlichen Zeitreihen

NIKLAS wurde auf die kontinuierlichen Zeitreihen von 160 Stationen angewandt - die übrigen haben keine Daten nach dem 01.11.2007. Geprüft wurde mit Hilfe der in der AquaZIS-Datenbank vorliegenden kontinuierlichen Zeitreihen, in Ausnahmefällen (keine Nachbarn) auch mit Tageswertreihen.

Wenn durch NIKLAS Auffälligkeiten angezeigt wurden, wurde folgende weitergehende Plausibilitätsprüfung durchgeführt:

- Die Auffälligkeiten wurden mit dem Ergebnis der Stationsprüfungen aus dem Radarprojekt DX-Offline verglichen. Falls eine Auffälligkeit aus NIKLAS mit einer Lückensetzung in der anderen Datenprüfung übereinstimmte, so wurde hierfür direkt eine Lücke gesetzt.
- Die weiteren Auffälligkeiten wurden unter Hinzunahme der jeweils genannten Nachbarstationen und der Radardaten aus DX-Offline visuell geprüft (Abbildung 2). Dabei ist zu beachten, dass z. B. beim räumlichen Test eine hohe Tagessumme im Sommer meist plausibel ist.

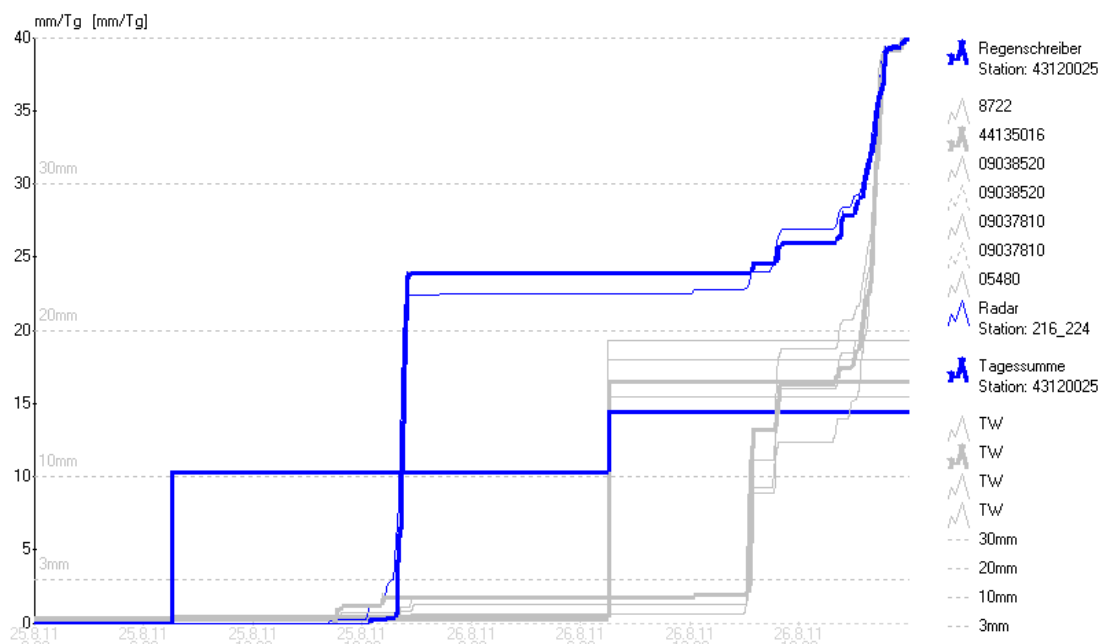


Abbildung 2: Übereinstimmung von Regenschreiber Hamm-Mattenbecke_EGLV (43120025 – fette Summenlinie) mit dem Radarpixel am selben Ort (dünne Summenlinie) – keine andere benachbarte Station zeigte an dem Tag Niederschlag

Wurden angemerkte Auffälligkeiten als plausibel eingestuft, so wurde dies in einer Excel-Datei vermerkt. Wurden die Auffälligkeiten als unplausibel bestätigt, so wurden die Daten zur Lücke gesetzt und das Ergebnis ebenfalls in der Excel-Tabelle vermerkt. Nach dieser Prüfung verblieben 147 Stationen, die für die weitere Auswertung geeignet waren. Dafür wurden mehr als 2500 Anmerkungen in den Daten visuell nachgeprüft.

Kapitel 3: Datenprüfung und Datengrundlage

Folgende Stationen wurden aufgrund zu vieler Auffälligkeiten / Fehler von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen:

- Aachen-Kornelimünster_RÜB_NRW (52030041)
- Delbrück-Boke_NRW (42170036)
- Jülich-Güsten_KA_NRW (50040031)

Im zweiten Schritt wurden die Stationen in derselben Weise wie zuvor geprüft, die zu einer langen Reihe von 1961 bis 2018 führten und bislang noch nicht (vollständig) geprüft waren. Es hat sich gezeigt, dass es

- frühe Zeiträume gab, die ergänzend zu prüfen waren,
- neue Stationen hinzugekommen sind und
- frühere Lücken in der Gesamtreihe, für die jetzt digitale Daten vorlagen, geschlossen werden konnten.

Es wurden insgesamt 49 Stationen mit 215 Anmerkungen geprüft. Drei der Reihen mussten aufgrund des 3 %-Lückenkriteriums eliminiert werden, sodass 46 Stationen für die weitere Berechnung zur Verfügung standen:

- Essen-Steele_RRB_RV (45080104) (Lücke von Januar 2004 bis Januar 2006)
- Lüdenscheid_Versetalsperre_RV (48128574) (Lückenanteil 32%)
- Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093, Kapitel 3.2.3)

In einem dritten Schritt wurden zusätzliche Stationen der Prüfung unterzogen. Diese Stationen wurden dafür verwendet, Auswertungen zu den partiellen Serien in Regionen durchzuführen, in denen die Stationsdichte nach den ersten drei Datenpaketen noch nicht ausreichend war. Aus der Vorauswahl von 141 Stationen fielen dann Stationen heraus, die entweder in einem Gebiet liegen, das schon gut abgedeckt ist, oder keine ausreichend guten Prüfergebnisse erreichten. Darüber hinaus gab es Stationen, die nach der Prüfung durch das Fehlzeitenkriterium von der weiteren Auswertung ausgeschlossen wurden. Hier blieben dann 115 Stationsreihen übrig.

Auffällig war, dass im Datensatz an mehreren Stationen bereits korrigierte Daten vorlagen, die an zahlreichen Stellen mit den Nachbarstationen schlechter übereinstimmten als die Originalreihe (z. B. Morsers-Repelen_LINEG (45050023), Juni 2002). Hier wurde bei entsprechenden Auffälligkeiten die Originalreihe wiederhergestellt.

In der ExUS 2020 - Studie nicht weiter verwendete Stationen:

- Bielefeld-Mitte_SW_NRW (39170097)
- Duisburg-Homberg_LINEG (45060113)
- Duisburg-Rumeln_PW_LINEG (46060013)
- Essen-Südviertel_EGLV (45080025)
- Essen-Südviertel_RV (45080115)
- Grevenbroich-Kapellen_ErftV (48050043)
- Heiligenhaus-Walkmühle_BRW (46070063)
- Kürten-Häcksbilstein_AV (49090107)
- Legden_KA (39086216)
- Marienmünster-Vörden_KA_NRW (41210037)

- Meerbusch-Niederlörick_SEBD (47060043)
- Ratingen-Breitscheid_KA_BRW (46070073)
- Ratingen-Lintorf_BRW (46070083)
- Rheinberg-Eversael_LINEG (44050073)
- Velbert-Hesperbach_HRB_BRW (46080113)
- Velbert-Tönisheide_KA_BRW (46080093)
- Willebadessen_KA_NRW (43200027)

Prüfung der Tageswertstationen

Für die Prüfung wurden 148 Tageswertzeitreihen selektiert, die allen oben genannten Kriterien genügten. Sie hatten jeweils eine Reihenlänge von mehr als 55 Jahren. Es ergaben sich 127 Anmerkungen aus NIKLAS, die überprüft wurden. Ein Teil dieser Stationen liegt außerhalb von NRW, ein Teil hatte zu hohe Lückenanteile und für einige Stationen gab es kontinuierliche und Tageswertzeitreihen, sodass hier bei gleicher Beobachtungslänge die kontinuierliche Reihe jeweils den Vorzug bekam. Damit standen für die weitere Bearbeitung 103 Stationen mit langen Tageswertzeitreihen zur Verfügung.

Ausschlusskriterien langer Zeitreihen am Beispiel Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093)

Aufgrund der festgelegten Kriterien für die Auswahl von Zeitreihen in der ExUS 2020 – Studie wurden einige „lange Zeitreihen“ aus der Auswertung ausgeschlossen, die ansonsten über lange Zeiträume verlässliche Werte liefern und häufig in anderen Studien als Referenz herangezogen werden. Die Gründe hierfür werden anhand der kontinuierlichen Daten der Station Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093) einmal exemplarisch dargestellt.

Die Station wurde im Jahr 2015 vom 1.10. bis zum 16.12. umgebaut und lieferte keine Daten in diesem Zeitraum. Dadurch fielen die wasserwirtschaftlichen Jahre 2015 und 2016 durch die 3 %-Grenze aus der Menge der verwertbaren Jahre heraus. Zusätzlich gab es im Jahr 2017 an insgesamt 12 Tagen und 6 Stunden Datenlücken, die sich auf 3,36 % summieren. Damit wurde das 3 % - Kriterium in drei Jahren einer Dekade verletzt und es gab in der Folge keine Auswertungen für den Zeitraum ab 2001.

Hingegen war die Station geeignet für den Vergleich der Extremwertstatistiken vor und nach 1990, da nach 1990 20 Jahre verlässliche Daten vorlagen. Die Tageswertstation in Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093) ist von den hier beschriebenen Umbauten nicht betroffen.

Dieses Beispiel zeigt an einem Einzelfall, dass das 3 %-Kriterium durchaus hinterfragt werden kann, wenn – wie in diesem Fall – eine lange Reihe mit ansonsten guter Datenqualität aus der Auswertung ausgeschlossen wird. Aufgrund des großen Datenumfangs musste in dieser Studie auf solche Einzelfallprüfungen verzichtet werden.

3.3 Verfügbarer Datenpool für Trenduntersuchungen auf Basis von Niederschlagsstationsdaten

Für die statistischen Trenduntersuchungen (u. a. Jahres- bis Monatsniederschlagssummen, Grenzwertüberschreitungen) muss bei der Auswahl der Stationen sichergestellt werden, dass die berücksichtigten Werte überwiegend von denselben Stationen stammen. Würden z. B. in einer Dekade besonders viele Zeitreihen an Stationen in den Mittelgebirgen vorliegen, würde dies aufgrund orographischer Effekte zwangsläufig zu einem Anstieg der mittleren Jahresniederschlagssumme führen. Es werden daher für die oben genannten Untersuchungen ausschließlich „lange Zeitreihen“ (1961 – 2018) berücksichtigt, die folgendes Kriterium erfüllen:

- An jeder in Frage kommenden Reihe müssen in jeder Dekade mindestens acht von zehn Jahren, bzw. sechs von acht Jahre in der Dekade 2011 – 2018, vorliegen, deren Lückenanteil < 3 % ist.

Dieses Kriterium erfüllen 46 kontinuierliche und 103 Tageswertzeitreihen. Diese Zeitreihen werden im Folgenden als „lange Zeitreihen“ bezeichnet (Abbildung 3).

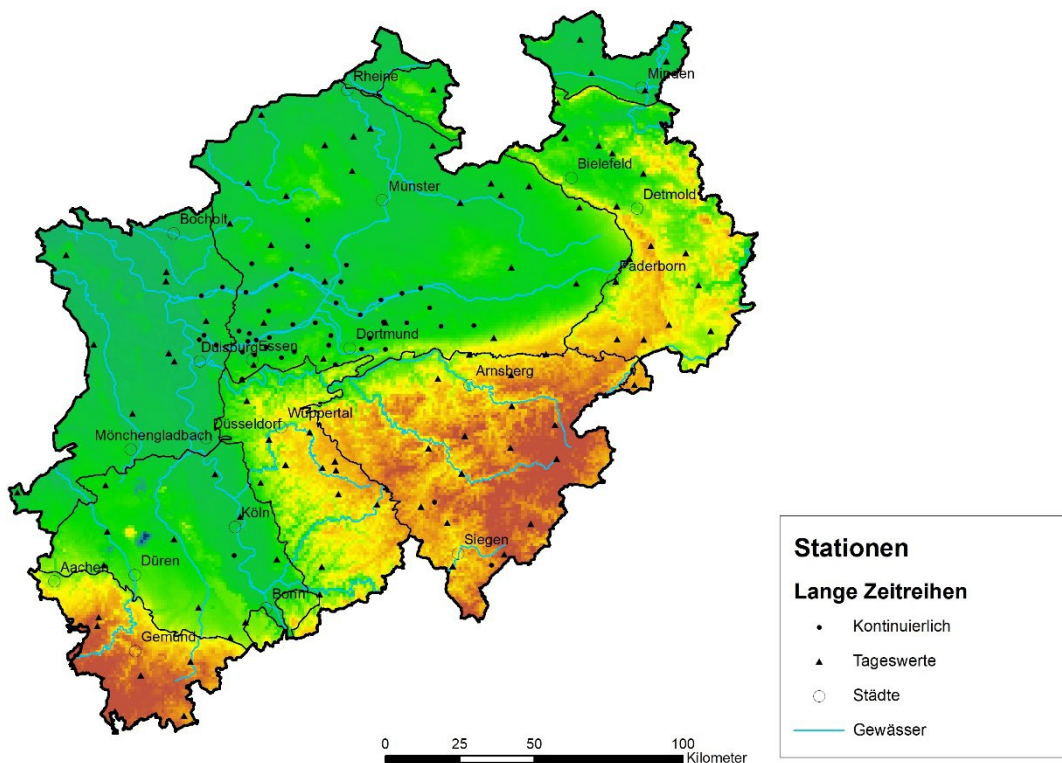
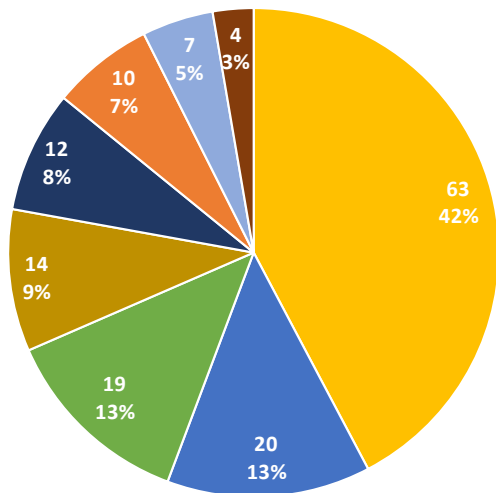


Abbildung 3: Stationen mit „langen Zeitreihen“ (1961 – 2018), Kreise: Stationen mit kontinuierlichen Zeitreihen, Dreiecke: Stationen mit Tageswerten

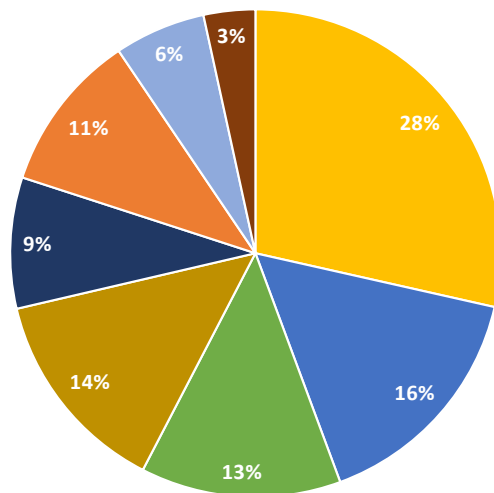
Abbildung 4 zeigt, dass der prozentuale Anteil der Stationen in den einzelnen Großlandschaften recht gut den prozentualen Flächenanteil an der Gesamtfläche Nordrhein-Westfalens widerspiegelt. Lediglich der höhere Stationsanteil in der Westfälischen Bucht geht etwas auf Kosten der anderen Großlandschaften.

Kapitel 3: Datenprüfung und Datengrundlage

Anzahl der verwendeten Stationen in den Großlandschaften



Flächenanteile der Großlandschaften



- Westfälische Bucht ■ Sauer- und Siegerland ■ Weserbergland
- Niederrheinisches Tiefland ■ Bergisches Land ■ Niederrheinische Bucht
- Eifel (mit Siebengebirge) ■ Westfälisches Tiefland

Abbildung 4: Anzahl der verwendeten Stationen mit „langen Zeitreihen“ in den einzelnen Großlandschaften von NRW im Vergleich zu deren prozentualen Flächenanteilen

Für die Untersuchung der statistisch ermittelten Regenhöhen sollen die Ergebnisse der beiden Zeitscheiben 1961 – 1990 und 1991 – 2018 gegenübergestellt werden. Dafür kommen kontinuierliche Reihen infrage, die pro Zeitscheibe mindestens 20 Jahre mit einem Lückenanteil < 3 % aufweisen, da gemäß DWA-A 531 (DWA, 2012) Starkregenanalysen für die Belange der Stadtentwässerung (Dimensionierung, Überstaunachweis) mit kleineren Wiederkehrzeiten $T \leq 10$ Jahre erst ab einer Zeitreihenlänge > 20 Jahre stabile Ergebnisse liefern. Hierfür stehen 61 kontinuierliche Zeitreihen zur Verfügung (Abbildung 5).

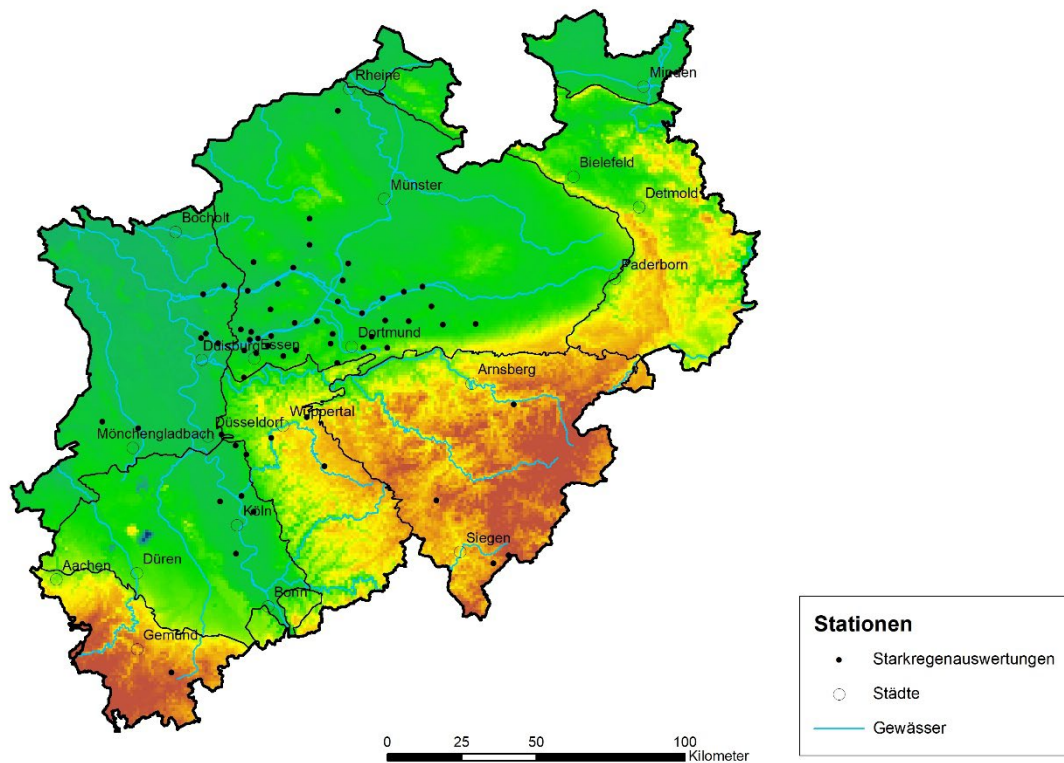


Abbildung 5: Eingesetzte Stationen für die Starkregenauswertungen

Für die Untersuchung der partiellen Serien können alle verbliebenen kontinuierlichen Reihen verwendet werden. Da die Anzahl der Ereignisse in den einzelnen Jahren der partiellen Serie proportional die Anteile an dieser Station widerspiegelt, können hier die berücksichtigten Zeiträume an den einzelnen Stationen variieren, sodass nach der Datenprüfung 278 Stationen verwendet werden können (Abbildung 6). Für diese Untersuchung stehen somit zwischen 52 (Mittelwert für die Dekade 1961 – 1970) und 269 (Mittelwert für die Dekade 2001 – 2010) geprüfte kontinuierliche Zeitreihen zur Verfügung (Abbildung 7).

Kapitel 3: Datenprüfung und Datengrundlage

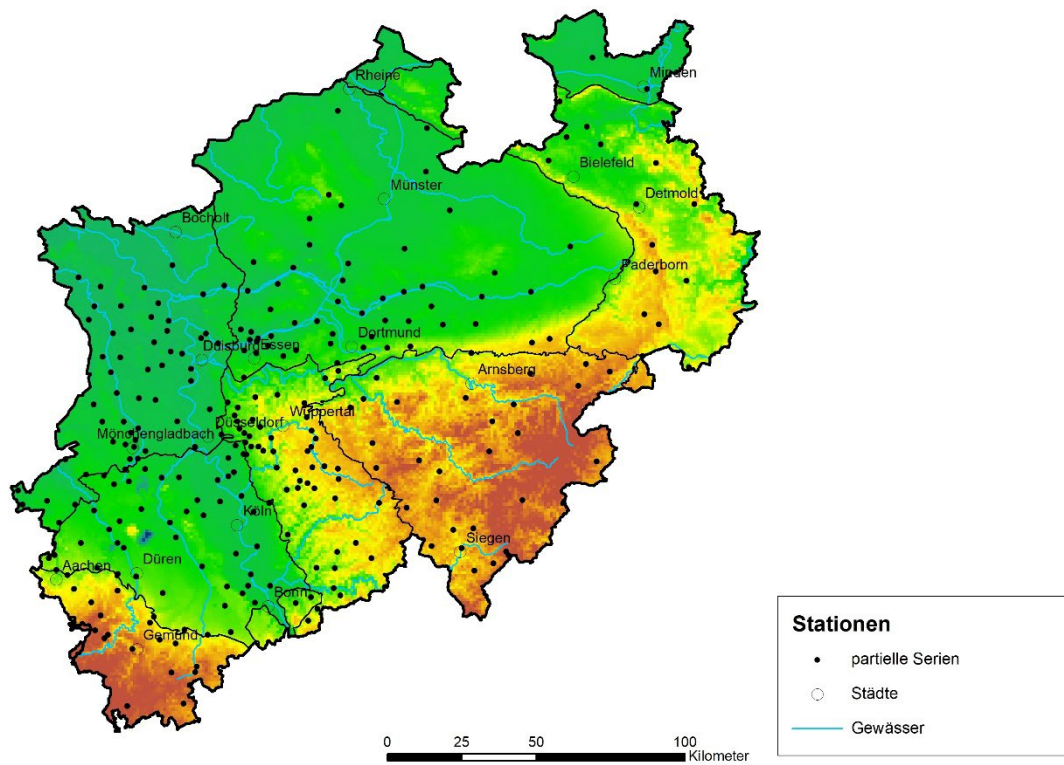


Abbildung 6: Eingesetzte Stationen für die Auswertung partieller Serien

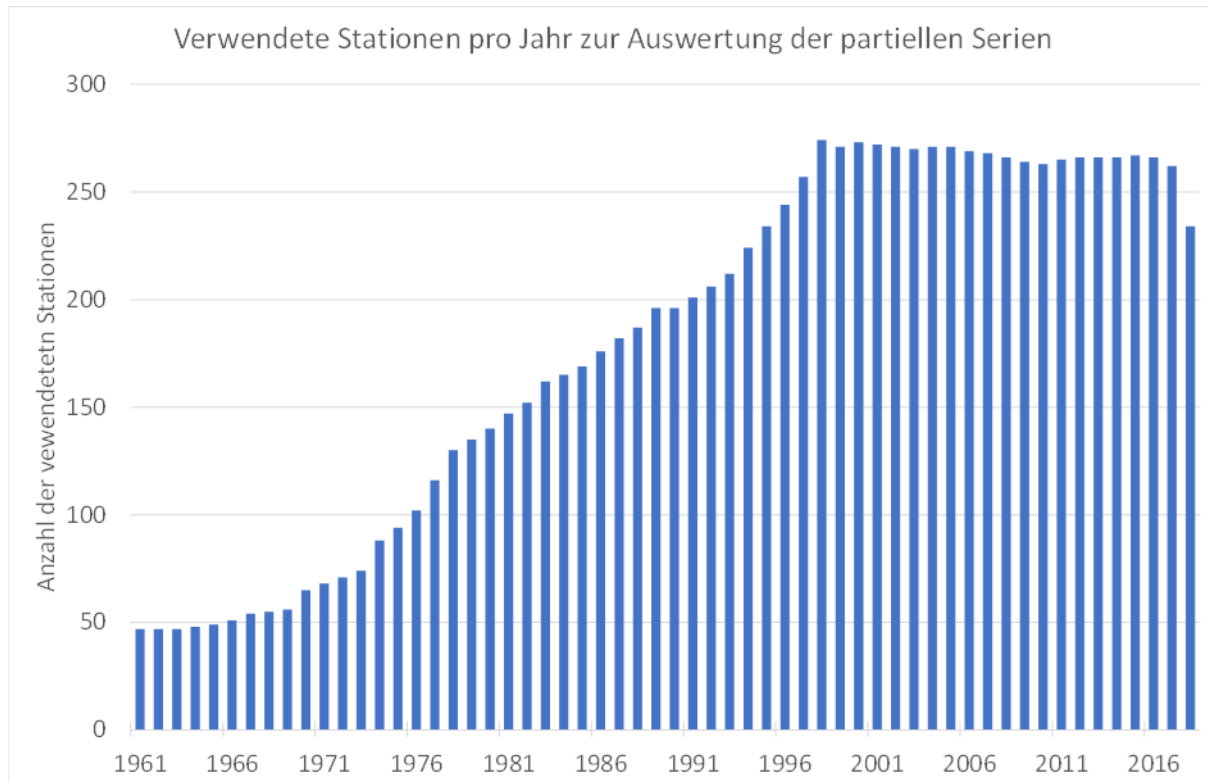


Abbildung 7: Verwendete Stationen pro Jahr zur Auswertung der partiellen Serien

Tabelle 1 fasst noch einmal alle verfügbaren Stationen vor und nach der Datenprüfung zusammen.

Tabelle 1: Anzahl der verfügbaren Stationen vor und nach der Datenprüfung

	Datenpool	Kriterien erfüllend	Verwendete Reihen
Kontinuierliche Zeitreihen	923	356 20 Jahre vor 1990 u. 20 Jahre nach 1990	278 Davon 46 „lange Zeitreihen“ Davon 61 Zeitreihen für Statistik
Tageswertzeitreihen	874	103 8 von 10 Jahren pro Dekade	103

Die folgende Tabelle 2 sowie die Abbildung 8 zeigen die verwendeten Stationen in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung. Die jeweils größere Stationsanzahl bei den kontinuierlichen Zeitreihen beinhaltet jeweils die vorher genannte kleinere Stationsgruppe, so sind z. B. die 46 Stationen eine Teilmenge der 61 und 278 Stationen. Eine Gesamtübersicht der in der ExUS 2020 – Studie verwendeten Stationen und deren Verwendung in den einzelnen Auswertungen findet sich im Anhang.

Tabelle 2: Verwendung der Reihen in Abhängigkeit von der Auswertung (s. hierzu auch Anhang „Verzeichnis verwendeter Stationen und Zeitreihen“)

	Monats- bis Jahressummen	Grenzwerte	Partielle Serien	Statistik
Tageswertzeitreihen lang (103 Stationen)	x	x		
Kontinuierliche Zeitreihen lang (46 Stationen)	x	x		
Kontinuierliche Zeitreihen 20 a vor und 20 a nach 1990 (61 Stationen)				x
Kontinuierliche Zeitreihen, 20 a Datenverfügbarkeit (278 Stationen)			x	

Kapitel 3: Datenprüfung und Datengrundlage

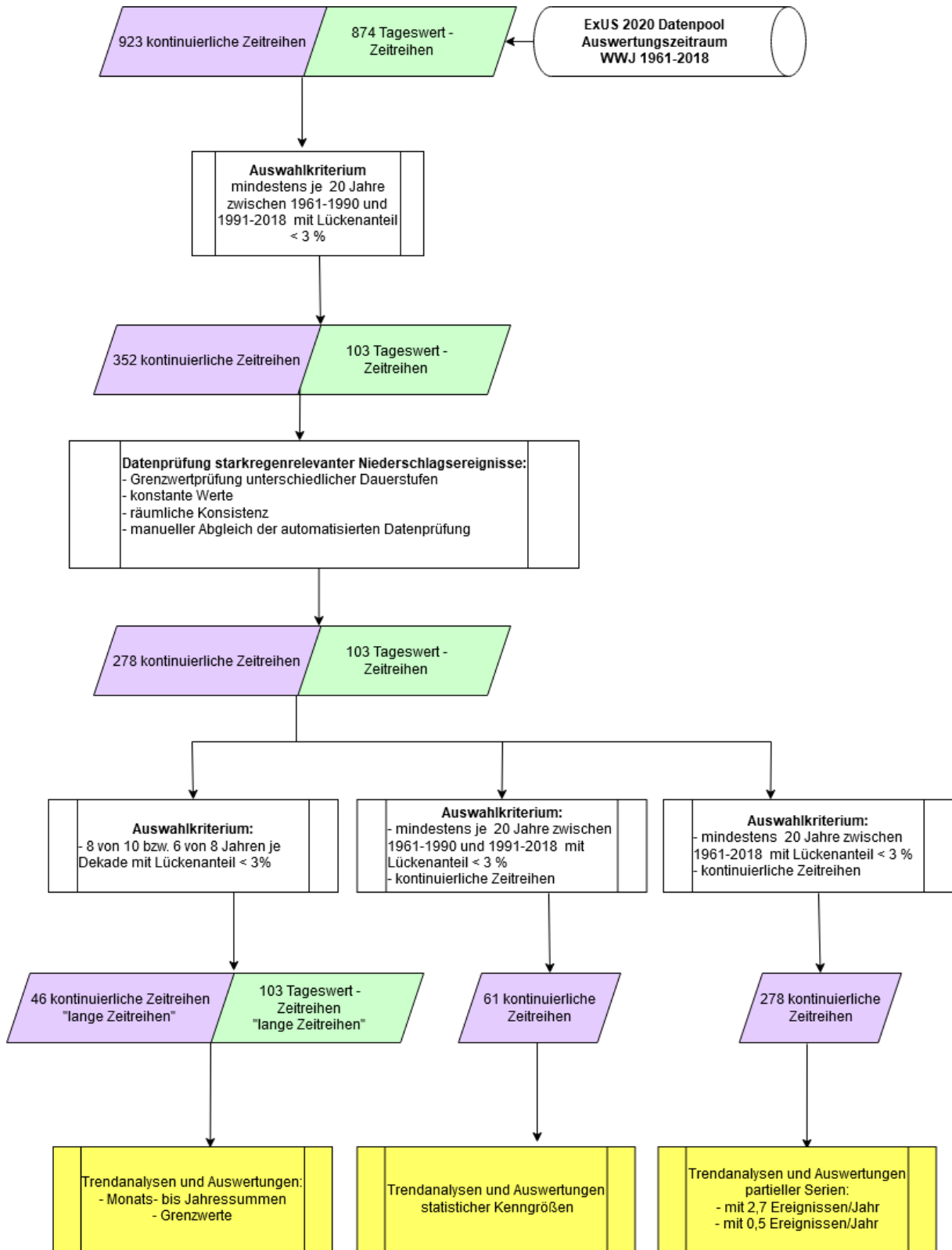


Abbildung 8: Fließdiagramm zum Aufbau des Datenpools und verwendete Stationsanzahl in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung

4 Mathematische Grundlagen für die Trendanalysen

Analysen von Trends in beobachteten Daten sind ein wesentlicher Baustein der „EXUS“-Untersuchungen in Zeiten des Klimawandels. Die dafür verfügbaren Verfahren unterscheiden sich aber hinsichtlich der Anforderung an die beobachteten Daten. Beispielsweise spielen die Verteilung der Daten und die Anzahl der Beobachtungen eine wesentliche Rolle, um geeignete mathematische Verfahren für die Analyse einzusetzen. Schumann et al. (2021) empfehlen, Prüfungen auf Instationaritäten in Zeitreihen (z. B. Trendtests) mit unterschiedlichen Verfahren durchzuführen und durch den Vergleich der Ergebnisse Genaueres über die Robustheit aussagen zu können („Zur Überprüfung der Stationarität einer Zeitreihe sollte nicht nur ein Verfahren herangezogen werden, sondern es sollten stets mehrere Testmethoden angewendet werden, um zu einer belastbaren Aussage zu gelangen.“).

4.1 Verfahren für die Trendanalysen

In diesem Kapitel wird eine Übersicht über die verwendeten Testverfahren gegeben. Ein Schwerpunkt der Darstellung ist, welche Voraussetzungen für das jeweilige Verfahren gelten und was für Vor- und Nachteile sie jeweils haben. Hierzu wurde unter anderem eine Übersicht der Universität Zürich verwendet (UniZH, 2020) und für die Projektzwecke angepasst (Abbildung 9).

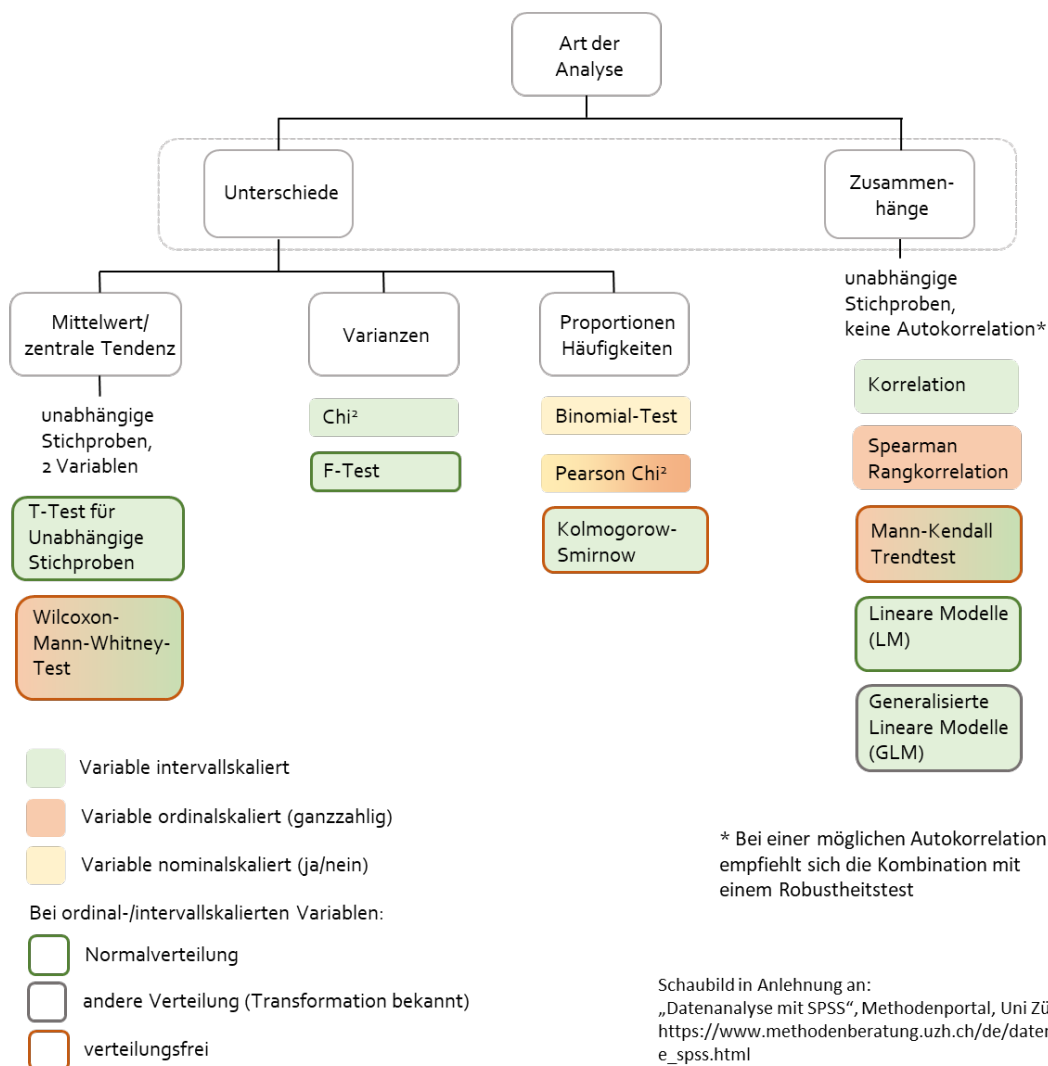


Abbildung 9: Überblick über statistische Tests, Voraussetzungen und Anwendungsbereiche (UniZH, 2020, eigene Überarbeitung)

4.2 Anwendung der Testverfahren in der ExUS 2020 - Studie

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt, welche Testverfahren für welche Untersuchung in der ExUS 2020 – Studie verwendet wurden.

Tabelle 3: Übersicht über verwendete Testverfahren in der ExUS 2020 - Studie

Testverfahren	Anwendung in „ExUS 2020“ für ...	Grund
Mann-Kendall-Trendtest	Trendauswertungen von beliebigen Datenreihen	Standardtest, auch verwendet in der ExUS 2010 - Studie. Erfordert Daten ohne Autokorrelation
GLM-Trendtest	Test für seltene Extrema bei Peak-over-Threshold-Daten (Grenzwertüberschreitungen)	Daten sind nicht normalverteilt und es treten viele Nullwerte auf, die die Anwendbarkeit des MK-Tests in Frage stellen
T-Test	DWD-Warnschwellen	Standardtest, auch verwendet in der ExUS 2010 - Studie. Erfordert normalverteilte Daten
Wilcoxon Rangsummentest	DWD-Warnschwellen, Bruchpunktanalyse	Test auf Unterschiede zweier Stichproben (z.B. Eigenschaften von Zeitscheiben)
Kolmogorov-Smirnov-Test	Bruchpunktanalyse	Test auf unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen zweier Stichproben

Für jedes der Verfahren folgt in den Unterkapiteln eine Tabelle als „Datenblatt“ mit der Beschreibung der wichtigsten Eigenschaften des Tests, die für das Projekt relevant waren.

Allgemein gilt, je größer das Signifikanzniveau eines Tests ist, desto mehr gilt ein Trend als statistisch gesichert. Das Signifikanzniveau (S_i) wird bei allen Testverfahren wie folgt bewertet (Tabelle 4):

Tabelle 4: Bewertung des Signifikanzniveaus

Signifikanzniveau	Bewertung
$S_i < 90 \%$	nicht signifikant
$90\% \leq S_i < 95\%$	signifikant
$95\% \leq S_i < 99\%$	sehr signifikant
$99\% \leq S_i$	hochsignifikant

4.2.1 Mann-Kendall Trendtest

Der Mann-Kendall-Trendtest ist der Standardtest in der ExUS 2020 - und wurde auch in der ExUS 2010 – Studie verwendet. Er erfordert Daten ohne Autokorrelation, was bei seltenen Ereignissen mit wenigen Werten nicht immer gegeben ist. Weitere Eigenschaften sind in Tabelle 5 dargestellt. Der Mann-Kendall-Test gibt Aufschluss darüber, wie deutlich und sicher ein Trend gegenüber der Variabilität innerhalb der Zeitreihe hervortritt.

Tabelle 5: Eigenschaften des Mann-Kendall-Trendtests

Stichwort	Beschreibung
Anwendung	Test auf einen kontinuierlichen Trend über den gesamten Zeitraum. Getestet wird gegen die Nullhypothese: Kein Trend
Voraussetzungen	Unabhängige Stichproben, intervallskaliert Keine Autokorrelation
Details	Als beidseitiger oder einseitiger Test anwendbar Basiert auf dem Kendall Rangkorrelationstest
Problematik	Autokorrelation / Langzeitkorrelation kann fälschlicherweise als Trend interpretiert werden. Alternative Ansätze sind Gegenstand aktueller Forschung, z. B. mittels empirischer Abschätzung der Autokorrelation oder „Wavelets-Analyse“ (z. B. Kallache et al., 2005).
Variationen	Kombination mit einem Robustheitstest, z. B. Block Bootstrap Berücksichtigung von Messunsicherheit (damit reagiert der Test stärker konservativ im Sinne der Beibehaltung der Null-Hypothese)
Anwendung in der ExUS 2020 - Studie	Test auf einen homogenen Trend, z. B. bei der Untersuchung der Anzahl an Tagen pro Jahr mit Niederschlag oberhalb eines Grenzwertes oder Jahressummen. Eingesetzt in den Kapiteln 5, 6.1, 7.1

4.2.2 (Generalisierte) Lineare Modelle

Generalisierte Lineare Modelle werden eingesetzt, wenn die Daten nicht normalverteilt sind und wenn viele Nullwerte auftreten, die die Anwendbarkeit des Mann-Kendall-Trendtests in Frage stellen (Tabelle 6). In dieser Untersuchung wurde der hierauf beruhende GLM-Test verwendet, um besonders seltene, extreme Ereignisse zu untersuchen (Kapitel 6.1).

Table 6: *Eigenschaften der Generalisierten Linearen Modelle*

Stichwort	Beschreibung
Anwendung	Der Zusammenhang zwischen zwei oder mehr Variablen wird mithilfe eines linearen Modells dargestellt (lineare Regression). Dabei wird die Steigung der (Trend-)Geraden berechnet und der Fehler geschätzt.
Voraussetzungen	Unabhängige Stichproben, intervallskaliert Residuen normalverteilt Gleiche Varianz der Residuen
Details	Die Generalisierte Form bietet eine Erweiterung für Stichproben mit Residuen aus der Klasse der Exponentialfamilie (u. a. Poisson-, Binomial-, Gammaverteilung), bei denen die Voraussetzungen normalverteilte Residuen und homogene Varianz nicht erfüllt sind. Mittels einer geeigneten Transformation werden die Residuen überführt. Durch Kombination mit einer Link-Funktion kann das Modell z. B. für logistische Regression genutzt werden (hergeleitet aus der Binomialverteilung)
Problematik	Autokorrelation / Langzeitkorrelation kann fälschlicherweise als Trend interpretiert werden (siehe auch Mann-Kendall Trendtest)
Anwendung in der ExUS 2020 – Studie	Als GLM-Test angewandt auf seltene Ereignisse bei der Untersuchung der Trends bei Grenzwertüberschreitungen bei Kenntagen (Kapitel 6.1)

4.2.3 t-Test (Zweistichproben-t-Test)

Der t-Test ist ein Standardtest für normalverteilte Daten, der auch in ExUS 2010 verwendet wurde (Tabelle 7). Hier wurde er eingesetzt bei der Untersuchung der DWD-Warnschwellen in Kapitel 6.2.

Table 7: *Eigenschaften des T-Tests*

Stichwort	Beschreibung
Anwendung	Prüft anhand der Mittelwerte, ob sich die Grundgesamtheiten zweier unabhängiger Stichproben unterscheiden. Getestet wird gegen die Nullhypothese: die Stichproben stammen aus der gleichen Grundgesamtheit.
Voraussetzungen	Unabhängige Stichproben, intervallskaliert Normalverteilte Stichproben Gleiche Varianz der Stichproben
Details	Die Annahme, dass jede der beiden Gruppen für sich normalverteilt ist, kann z. B. mit dem Chi ² -Test oder dem Kolmogorow-Smirnow-Test geprüft werden.
Variationen	Einstichproben-t-Test: getestet wird, ob sich der Mittelwert einer Stichprobe von einem vorgegebenen Wert unterscheidet Welch-Test bei unterschiedlichen Varianzen der Stichproben
Anwendung in der ExUS 2020 – Studie	Vergleich von Stichproben aus zwei Zeiträumen hinsichtlich der Frage, ob es eine statistisch signifikante Zunahme oder Abnahme gegeben hat, eingesetzt in Kapitel 6.2 zu den DWD-Warnschwellen

4.2.4 Wilcoxon-Mann-Whitney Test

Der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test ist ein Test auf Unterschiede zweier Stichproben (z. B. Eigenschaften von Zeitscheiben), der keine normalverteilten Daten erfordert (Tabelle 8). Er wird auch auf Unterschiede in Mittelwerten oder Varianzen zweier Stichproben angewendet.

Tabelle 8: *Eigenschaften des Wilcoxon-Mann-Whitney-Tests*

Stichwort	Beschreibung
Anwendung	Test, ob sich die Grundgesamtheiten zweier unabhängiger Stichproben unterscheiden. Getestet wird gegen die Nullhypothese: die Stichproben stammen aus der gleichen Grundgesamtheit.
Voraussetzungen	Unabhängige Stichproben, ordinalskaliert oder intervallskaliert
Details	Auch U-Test oder Wilcoxon-Rangsummentest genannt, Alternative zum t-Test bei nicht normalverteilten Stichproben Robust gegenüber Ausreißern Wenn in einer der Stichproben Werte mehrfach vorkommen, ist eine Kontinuitätskorrektur erforderlich.
Problematik	Bei vielen mehrfachen Werten wird das Testergebnis ungenau, die Nullhypothese wird beibehalten
Variationen	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei gepaarten Stichproben
Anwendung in der ExUS 2020 - Studie	Untersuchung von Kennzahlen aus zwei Zeiträumen hinsichtlich der Frage, ob es eine statistisch signifikante Zunahme oder Abnahme gegeben hat, z. B. Anzahl Tage pro Jahr mit Niederschlag oberhalb eines Grenzwertes (Kapitel 4.3 und 6.2)

4.2.5 Kolmogorow-Smirnow Test

Der Kolmogorow-Smirnow Test (Tabelle 9) ist ein Test auf unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen zweier Stichproben.

Tabelle 9: *Eigenschaften des Kolmogorow-Smirnow-Tests*

Stichwort	Beschreibung
Anwendung	Test auf unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen zweier Stichproben. Getestet wird gegen die Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Stichproben sind gleich
Voraussetzungen	Unabhängige Stichproben, intervallskaliert oder ordinalskaliert
Details	Kann auch für kleine Stichproben verwendet werden
Problematik	Wenig trennscharf, im Sinne der Beibehaltung der Null-Hypothese
Variationen	Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest: Vergleich mit einer theoretischen Wahrscheinlichkeitsverteilung, z. B. Normalverteilung
Anwendung in der ExUS 2020 - Studie	Vergleich zweier Reihenabschnitte vor und nach Gerätewechsel in Kapitel 4.3

4.3 Bruchpunktanalyse

4.3.1 Auswertung

Für 21 Stationen aus NRW wurden die Stammdaten hinsichtlich eines Wechsels der Gerätetechnik ausgewertet und anhand der Auftretenshäufigkeiten von Ereignissen der partiellen Serien pro Jahr für $D = 5$ min und $D = 60$ min geprüft, ob Einflüsse aus der Gerätetechnik in der Statistik sichtbar sind. Die gewählten Stationen sind über ganz NRW verteilt und stammen von unterschiedlichen Betreibern (Tabelle 10 und Abbildung 10).

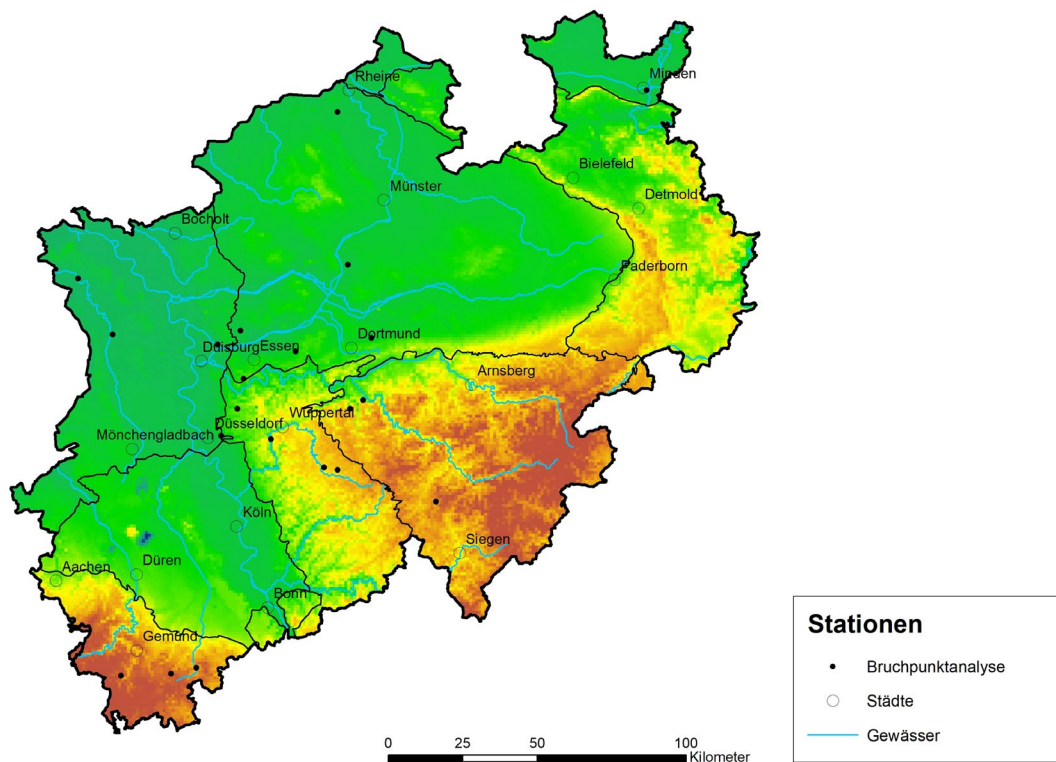


Abbildung 10: Verteilung der Stationen für die Bruchpunktanalyse

In dem durch das MULNV geförderte ResA-Projekt UniWa (Mudersbach et al., 2020) wurden 125 Stationen in NRW auf Trends und Bruchpunkte überprüft. Als Tests wurde eine Kombination des Wilcoxon Rangsummentests, der eine mögliche Sprungstelle herausfinden sollte, und des Sen's Slope-Verfahrens zur Identifizierung und Lokalisierung der Sprungstelle verwendet.

- Die Verfahren wurden auf die Niederschlagssummen der jährlichen Serien angewendet.
- Bei den untersuchten Zeitreihen zeigte sich, dass es viele signifikante Trends gibt, wenn keine Bruchpunkte berücksichtigt werden. Die Anzahl der Trends nimmt ab, wenn die Messdaten korrigiert oder mit der Trendberechnung erst nach den Bruchpunkten begonnen wird.
- Ergebnisse aus den Untersuchungen mit dem Wilcoxon-Rangsummentest mit Sen's Slope Schätzer:
 - Für fast alle trendbehafteten Reihen fand der Wilcoxon-Rangsummentest einen Bruchpunkt. Dennoch hat dieses Ergebnis nur eine begrenzte Aussagekraft, da dieser Test nur

untersucht, wie viele hohe / niedrige Werte einer Zeitreihe zu Beginn oder am Ende auftreten.

- Der Wilcoxon-Rangsummentest gibt daher nur einen Hinweis auf mögliche Bruchpunkte.
- Der Vergleich der durch Sen's Slope berechneten Steigungen vor und nach dem möglichen Bruchpunkt ergibt dann die Aussage, ob hier tatsächlich eine Änderung des Verhaltens der untersuchten Daten vorliegt.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen „UnIWa“ und „ExUS“ herzustellen, wurde die Prüfung in „ExUS“ sowohl mit den Anzahlen der Ereignisse pro Jahr aus den partiellen Serien als auch mit den Werten der jährlichen Serien durchgeführt. Als Ergebnis der Prüfung wurden drei Kategorien gebildet:

- Bruchpunkt gefunden zu einem Zeitpunkt (in Tabelle 10 mit Datum)
- Reihe instationär, aber Bruchpunkt nicht signifikant erkannt
- Reihe stationär (in Tabelle 10 mit „nein“ gekennzeichnet)

Tabelle 10: Übersicht über geprüfte Stationen zu Bruchpunkten in der Statistik

Station	partielle Serie		jährliche Serie	
	5 Min	60 Min	5 Min	60 min
Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093)	01.01.1989	nein	01.01.1989	instationär
Nettersheim-Zingsheim_ErftV (54050031)	01.11.1998	nein	01.01.1999	nein
Neuenkirchen-Sankt_Arnold_NRW (37107108)	01.01.1997	nein	instationär	nein
Essen-Bredenev_BRW_LANUV (45070215)	01.01.1993	01.01.1996	01.01.1994	01.01.1996
Bottrop-Eigen_PW_EGLV (44075035)	nein	nein	nein	nein
Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	nein	nein	nein	nein
Oberhausen-Stadtmitte_EGLV (44070015)	nein	instationär	nein	01.01.2001
Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474)	01.01.1978	01.01.1991	01.01.1988	nein
Heiligenhaus-Angertal_KA_BRW (46070033)	01.01.1995	nein	nein	nein
Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)	nein	01.01.1999	nein	nein
Hagen-Selbecke_NRW (46108014)	01.01.1995	instationär	instationär	instationär
Hellenthal_Olef_Stauwurzel_WVER (5504001)	01.01.1992	nein	01.01.1988	01.01.2005
Geldern_KA_NiersV (44030043)	instationär	01.01.1999	01.01.1998	01.01.1997
Bochum-Grumme_DMT_EGLV (45095005)	nein	nein	nein	instationär
Münstereifel,_Bad-Eicherscheid_HRB_ErftV (54060061)	nein	nein	nein	nein
Goch_KA_NiersV (43020023)	instationär	01.01.1999	instationär	nein
Minden-Kernstadt_NRW (37190027)	nein	nein	nein	nein
Hagen-Holthausen_NRW (46118134)	01.01.1999	nein	instationär	nein
Düsseldorf-Gerresheim_SEBD (47070043)	nein	nein	nein	nein
Wipperfürth_Schevelinger-Talsperre_WV (48100032)	nein	instationär	nein	instationär
Hückeswagen_Bever-Talsperre_WV (48100042)	instationär	instationär	instationär	nein

Die Ergebnisse wurden mit derselben Software gewonnen, die in UnIWa eingesetzt wurde: dem Programmpaket TimeView, für das die Funktionsweise des Tests in Mundersbach et al. (2020) näher beschrieben ist. Ein Beispiel zeigt Abbildung 11.

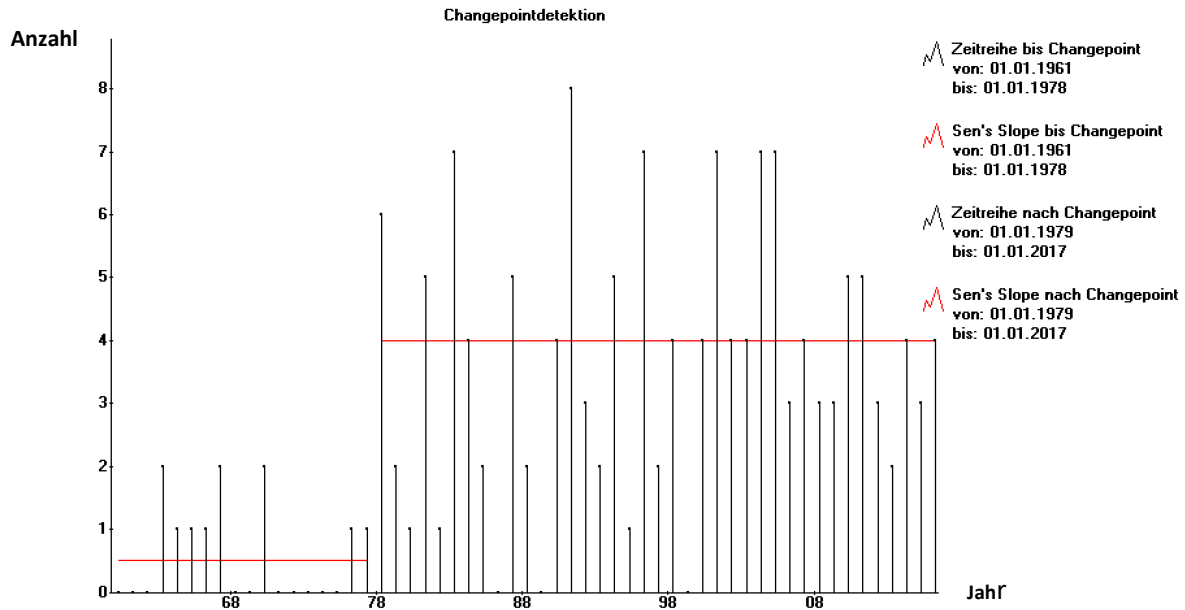


Abbildung 11: Beispiel für die Darstellung der Entdeckung eines Bruchpunktes in der partiellen Serie Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474) für $D = 5$ Min.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Es gab für $D = 5$ min neun stationäre Reihen und zwölf instationäre (davon neun mit erkannten Bruchpunkten); bei $D = 60$ min war das Verhältnis umgekehrt, davon fünf mit erkannten Bruchpunkten
- Die Bruchpunktanalyse erkennt nicht, wann das Messgerät gewechselt wurde (nur in zwei der untersuchten Fälle)
- Auch bei Vorgabe des Zeitpunktes des Gerätewechsels und einem darauffolgenden Test auf einen Bruchpunkt ändern sich die Ergebnisse nicht signifikant
- Die Ergebnisse bei Nutzung der partiellen und der jährlichen Serie sind ähnlich:
 - bei $D = 5$ min sind 20 von 21 Fällen gleich als stationär oder instationär (mit oder ohne Bruchpunkt) klassifiziert
 - bei $D = 60$ min sind 14 von 21 Fällen gleich klassifiziert
- In den meisten Fällen treten Bruchpunkte in der Datenserie auf, ohne dass sie einen nachverfolgbaren Grund (z. B. Änderung der Messtechnik) haben
- Die Ergebnisse entsprechen im Wesentlichen denen der UniWa-Studie, die statt der hier genutzten jährlichen Auftretenshäufigkeiten von Ereignissen in der partiellen Serie die Werte der jährlichen Serie untersucht haben
- Die hier vorliegenden Ergebnisse deuten an: es gibt eine leichte Tendenz, dass aus den Auftretenshäufigkeiten der partiellen Serie pro Jahr häufiger Bruchpunkte erkannt werden als mit der Auswertung der jährlichen Serie

4.3.2 Fazit

Aus den durchgeführten Untersuchungen kann folgendes Fazit gezogen werden:

1. Bei den kontinuierlichen Stationen in NRW können oft Bruchpunkte in der Statistik nachgewiesen werden. Diese können in der Regel allerdings nicht direkt einem Wechsel der Gerätetechnik zugeordnet werden. Das kann daran liegen,
 - dass bei Gerätewechseln nicht direkt entsprechende Starkregenereignisse auftraten, die Unterschiede deutlich gemacht hätten,
 - dass mehrere Messtechnikwechsel stattfanden, die durch die statistischen Tests auf einen Bruchpunkt nicht eindeutig nachweisbar waren,
 - dass an Stationen keine Folgen für die beobachteten Starkregen auftraten,
 - dass es einen anderen Grund für einen Bruchpunkt gibt, der nichts mit einem Wechsel der Gerätetechnik zu tun hat.
2. In Übereinstimmung mit der UnIWa-Untersuchung kann auch hier der Schluss gezogen werden, dass die Messdaten jeder Station unterschiedliche Eigenschaften aufweisen und somit auch einzeln zu untersuchen sind.
3. Andererseits kann bei Kenntnis des Zeitpunktes des Gerätewechsels durch Test auf Mittelwert und Nutzung der Varianz getestet werden, ob die Datenreihen vor und nach dem Gerätewechsel derselben Grundgesamtheit zuzuordnen sind. Dieses führt zum Beispiel bei der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005) (D = 60 Minuten) dazu, dass signifikante Unterschiede zwischen dem Zeitraum bis 1992 und ab 1993 durch den Kolmogorow-Smirnow-Test festgestellt werden (Abbildung 12). Diese Station wies in der obigen Auswertung keine Instationarität auf. Das zeigt, dass auf Basis dieses Ansatzes weiterer Untersuchungsbedarf besteht, bei dem aus den Stammdaten der Stationen gezielt der Zeitpunkt des Gerätewechsels für die Sprungstellenuntersuchung genutzt wird.
4. Für kurze Dauerstufen unter $D = 60$ Minuten können auftretende Trends durch eine Mischung aus Klimawandel, Wechsel der Gerätetechnik und andere Faktoren verursacht werden.

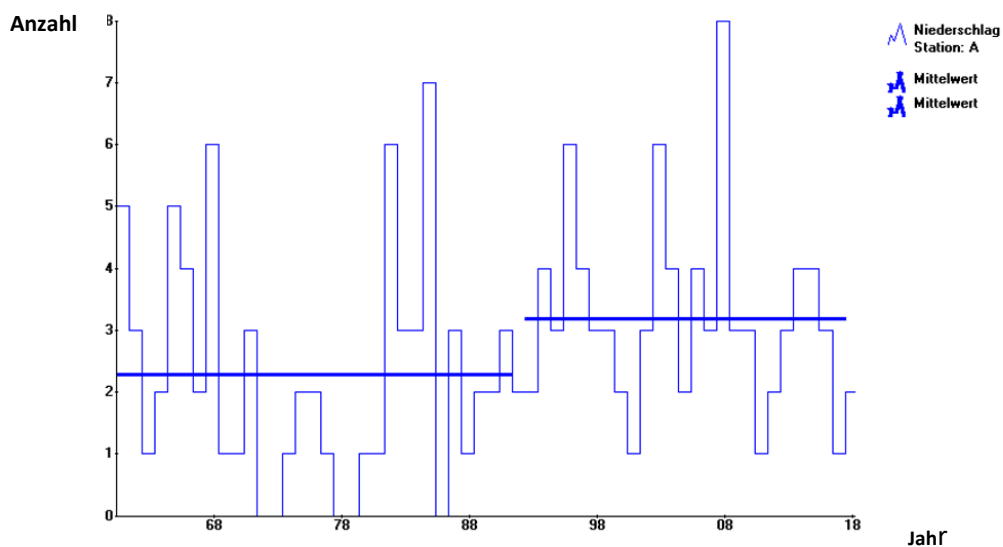


Abbildung 12: Zeitreihe der partiellen Serie Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005), $D = 60$ Minuten: Anzahl der Ereignisse pro Jahr

5 Trendanalysen der Jahres-, Halbjahres-, Quartals- und Monatsniederschlagssummen

Wesentliche Untersuchungen der ExUS 2010 – Studie stellten die Trendanalysen der langen Bilanzierungszeiträume (Jahres- bis Monatssummen) dar. Diese Trendanalysen wurden auch in der ExUS 2020 – Studie durchgeführt.

5.1 Auswertung der Jahressummen (WWJ)

Die Auswertungen der Jahresniederschlagssummen wurden auf Basis der „langen Zeitreihen“ für Wasserwirtschaftsjahre (WWJ) durchgeführt. In Abbildung 13 werden die mittleren Jahresniederschlagssummen in Gesamt-NRW der drei untersuchten Zeiträume 1961 – 1990, 1991 – 2018 und 2001 – 2018 dargestellt.

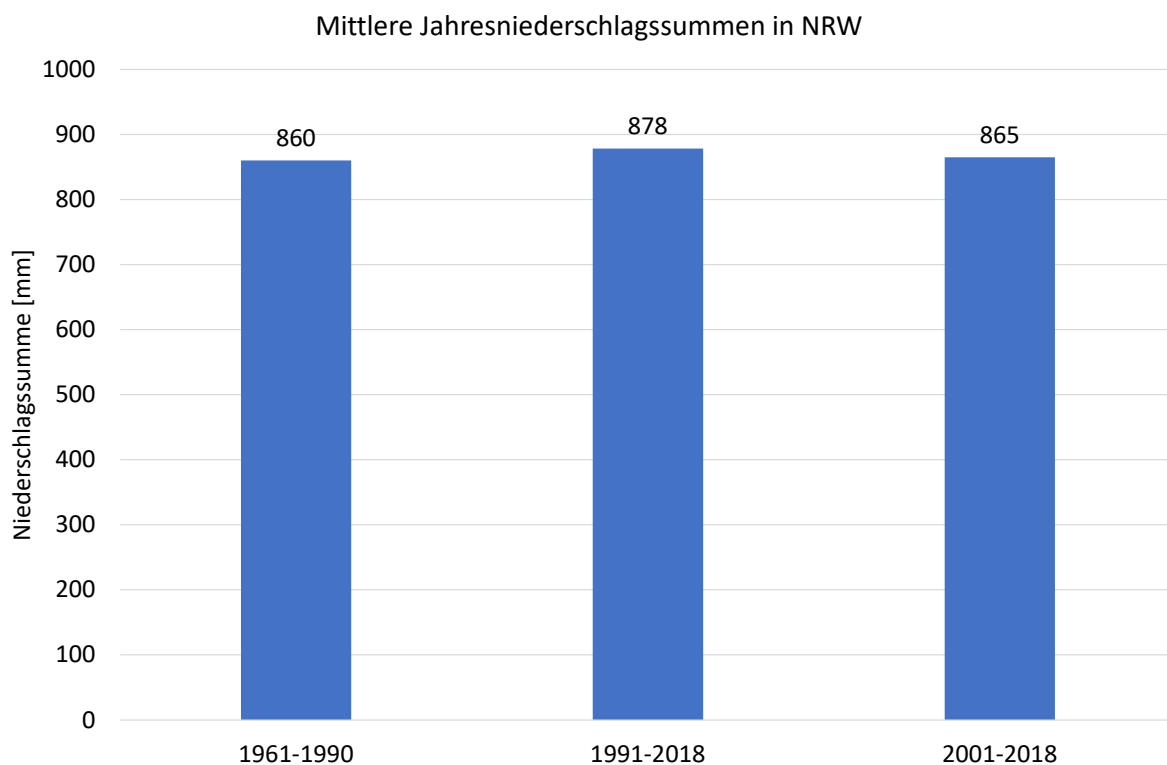


Abbildung 13: Mittlere Jahresniederschlagssummen in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 haben die Jahresniederschlagssummen in den letzten 28 Jahren um etwa 2 % zugenommen. Die Zunahmen resultieren vor allem aus den feuchten Dekaden 1991 – 2000 und 2000 – 2010; die letzten acht Jahre waren hingegen deutlich trockener (Abbildung 14). In Abbildung 14 sind neben den Auswertungen der ExUS 2020 – Studie Auswertungen der auf dem DWD-Datenserver (Hansmann, 2019) verfügbaren Niederschlagsdaten für NRW dargestellt. Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Auswertungen auf Basis beider Datenquellen.

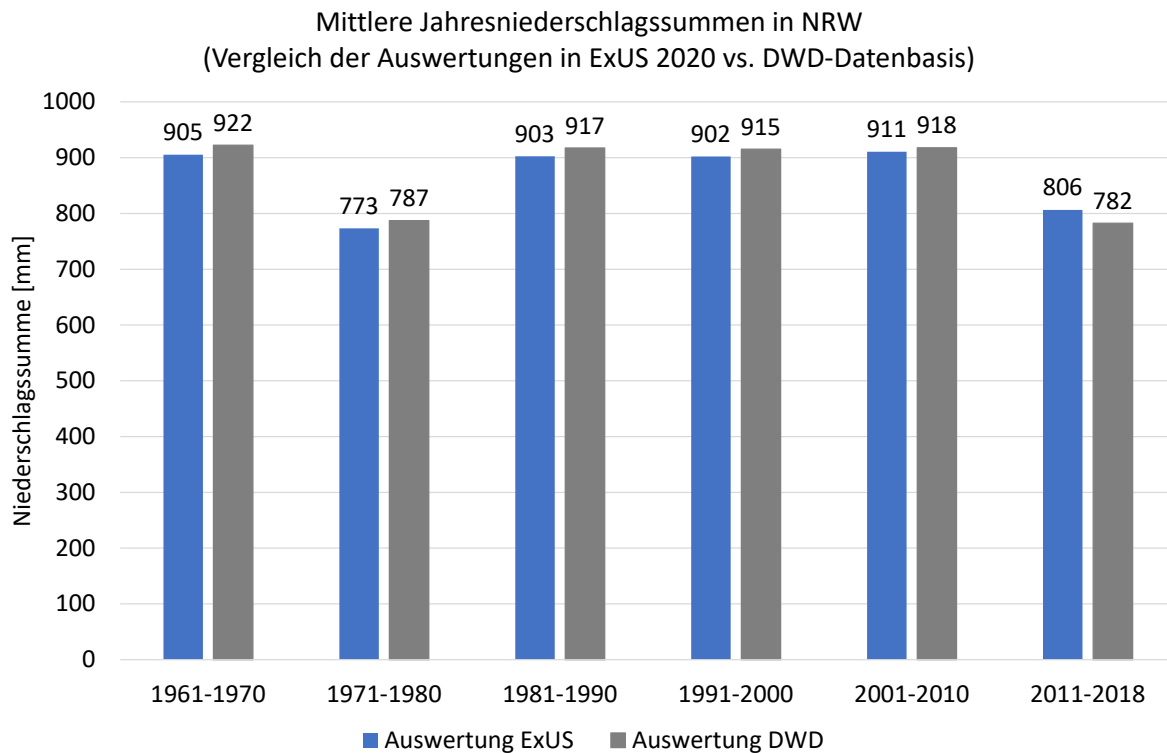


Abbildung 14: Auswertung der ExUS 2020 – Studie zu mittleren Jahresniederschlagssummen in den einzelnen Dekaden im Vergleich zu Auswertungen auf DWD-Datenbasis (eigene Darstellung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte)

Der Trend der Zunahme der Jahresniederschlagssummen der letzten 58 Jahre ist nicht signifikant (Signifikanzniveau nach dem Mann-Kendall-Test: 24 %). Damit ergeben sich etwas andere Aussagen, als diese noch in der ExUS 2010 - Studie (LANUV, 2010) für Gesamt-NRW und dynaklim (Quirnbach et al., 2012) für die Emscher-Lippe-Region gemacht wurden, da die aktuellen Trendanalysen zu den Jahresmittelwerten sehr stark durch die trockene Dekade am Ende des Untersuchungszeitraums beeinflusst werden. Durch die trockenen Dekaden (1970er-Jahre, 2010er-Jahre) ist ein Untersuchungszeitraum von 58 Jahren als zu kurz für belastbare Trendaussagen im Hinblick auf Jahressummen zu bewerten, da die Wahl des Start- und Endzeitpunkts der Trendanalyse einen überproportionalen Einfluss auf das Signifikanzniveau besitzt. Dies gilt zumindest, wenn sich Dekaden mit starken Abweichungen nach oben oder unten am Anfang oder Ende des Untersuchungszeitraums befinden.

Eine weitere Auswertung der auf dem DWD-Datenserver (Hansmann, 2019) verfügbaren Niederschlagsdaten für NRW mit Beginn im Jahr 1882 zeigt aber, dass bei der Betrachtung der letzten 136 Jahre eine Zunahme von knapp 0,7 mm pro Jahr zu verzeichnen ist (Abbildung 15). Hier liegt das Signifikanzniveau nach dem Mann-Kendall-Test bei 95 %. Bei den Auswertungen des DWD ist aber zu berücksichtigen, dass über den gesamten Zeitraum nicht mit der gleichen Datenbasis (Stationsanzahl, räumliche Verteilung der Stationen) gearbeitet wurde, da insbesondere in den frühen Jahren nur wenige Stationen existierten.

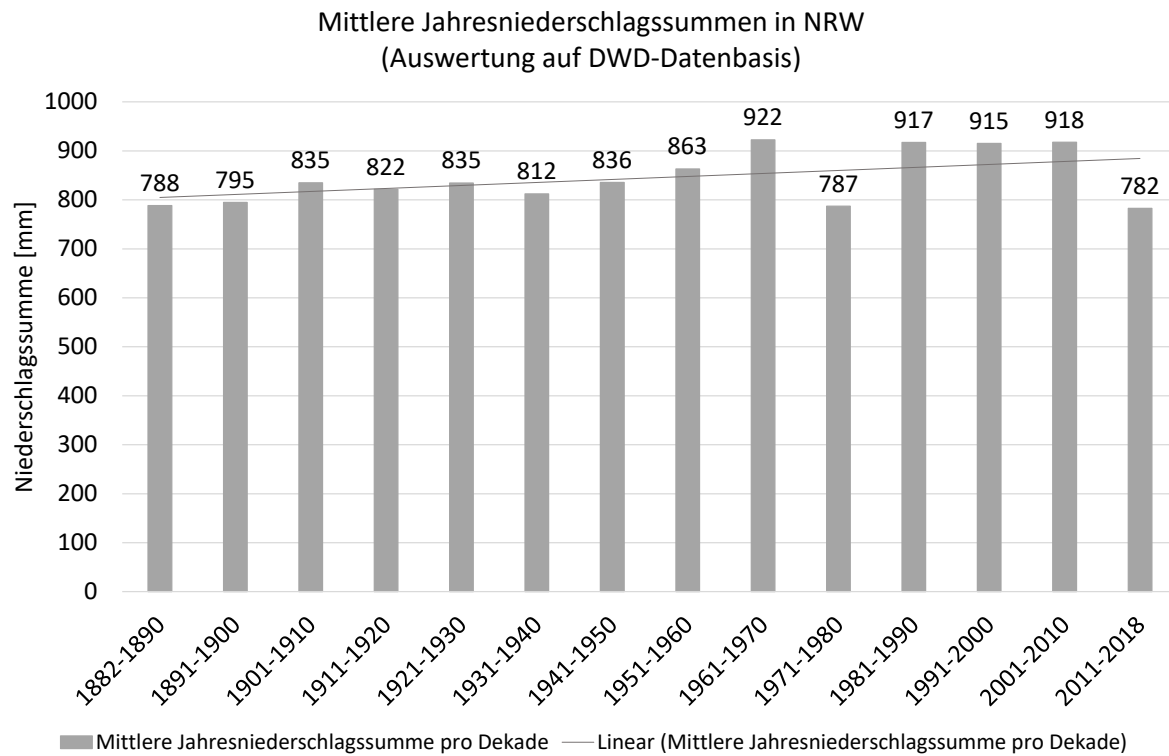


Abbildung 15: Mittlere Jahresniederschlagssummen für Gesamt-NRW in den einzelnen Dekaden mit Angabe des linearen Trends (eigene Darstellung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte)

Betrachtet man die Jahresniederschlagssummen getrennt nach Großlandschaften, zeigen sich zwischen den Mittelgebirgs- und den Flachlandregionen wie zu erwarten große Unterschiede in den Absolutwerten (Abbildung 16). Relativ gesehen aber verhalten sich die Großlandschaften im Hinblick auf die Entwicklung der Jahresniederschlagssummen ähnlich (Abbildung 17). So spiegeln sich beispielsweise die trockenen Dekaden 1971 – 1980 und 2011 – 2018 von Gesamt-NRW in allen Großlandschaften wider.

Allerdings zeigen sich Differenzen im Vergleich der Zeiträume 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990. In einigen Großlandschaften liegen die Zunahmen der Jahresniederschlagssummen über dem NRW-Durchschnitt von 2 %, in anderen Regionen sind sogar leichte Abnahmen zu verzeichnen (Abbildung 18). Die Trends in den Zu- bzw. Abnahmen der Jahresniederschlagssummen der letzten 58 Jahre sind ebenso wie in Gesamt-NRW nicht signifikant (Tabelle 11). Die fehlende Signifikanz in den Trends verdeutlichen auch Vergleiche mit Ergebnissen der ExUS 2010 – Studie, in der die Auswertungen für den Zeitraum 1950 – 2010 erfolgten. Es werden teilweise Ergebnisse bestätigt (geringe Abnahmen in der Eifel), in anderen Regionen haben sich dagegen Trends verschoben (stärkere Zunahmen im Niederrheinischen Tiefland, geringere Zunahmen im Bergischen Land).

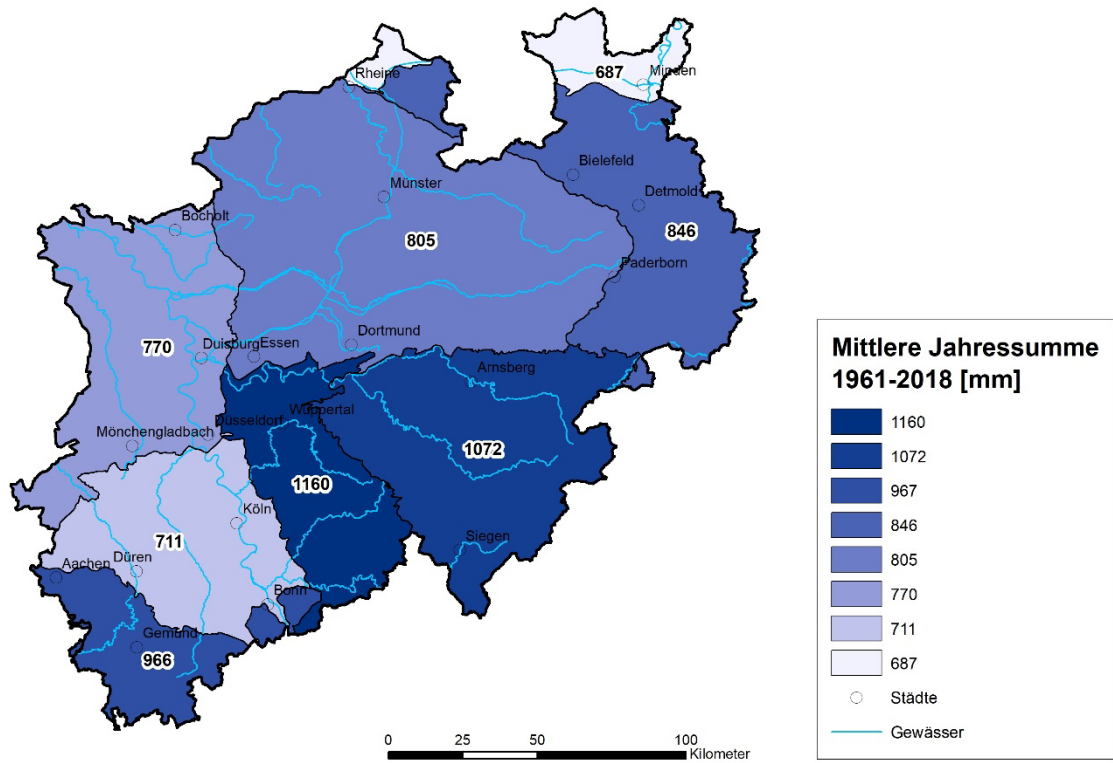


Abbildung 16: Mittlere Jahresniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW (Mittelwerte 1961 – 2018)

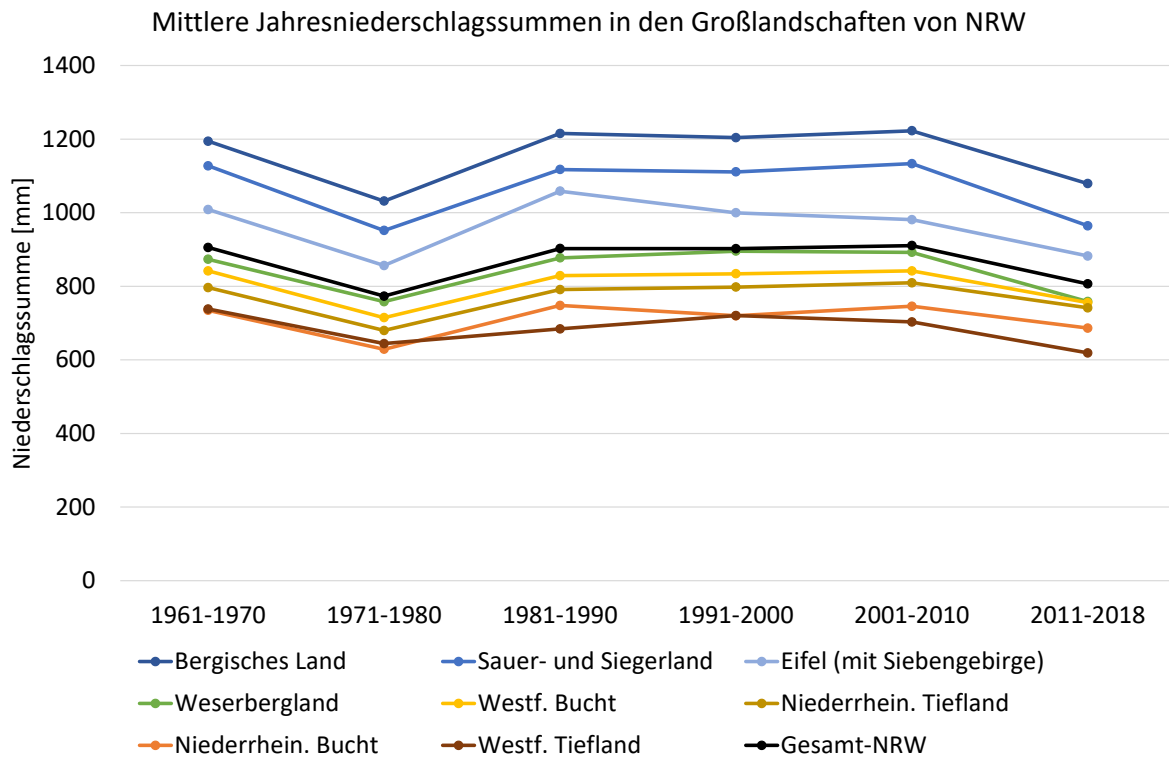


Abbildung 17: Mittlere Jahresniederschlagssummen in den einzelnen Dekaden (Mittelwerte der Großlandschaften)

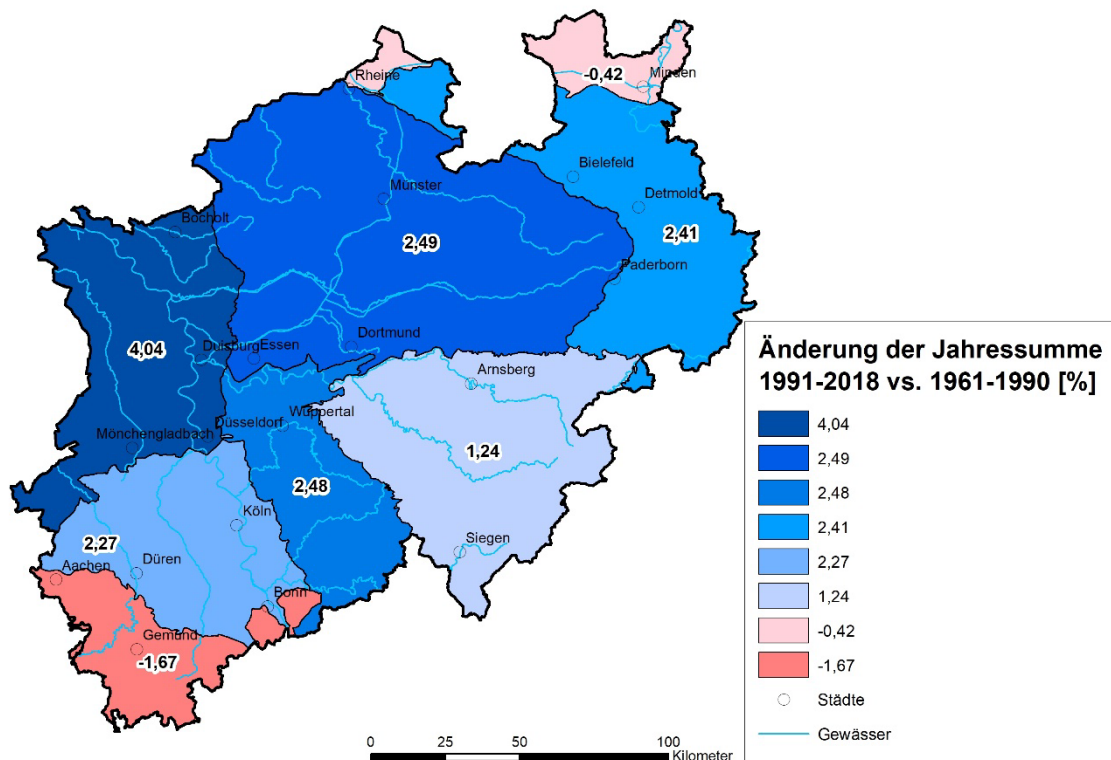


Abbildung 18: Prozentuale Veränderungen der mittleren Jahresniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990)

Tabelle 11: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der Jahresniederschlagssummen der Großlandschaften von NRW im Zeitraum 1961 – 2018

Großlandschaft	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall [%]
Bergisches Land	7,5
Sauer- und Siegerland	48,9
Eifel (mit Siebengebirge)	53,1
Weserbergland	34,2
Westfälische Bucht	11,7
Niederrheinisches Tiefland	32,3
Niederrheinische Bucht	47,2
Westfälisches Tiefland	63,1

5.2 Auswertung der Halbjahressummen

Die Auswertungen der Halbjahresniederschlagssummen wurden ebenfalls auf Basis der „langen Zeitreihen“ für Wasserwirtschaftsjahre (WWJ) durchgeführt. In Abbildung 19 werden die mittleren Halbjahresniederschlagssummen der drei untersuchten Zeiträume 1961 – 1990, 1991 – 2018 und 2001 – 2018 gegenübergestellt.

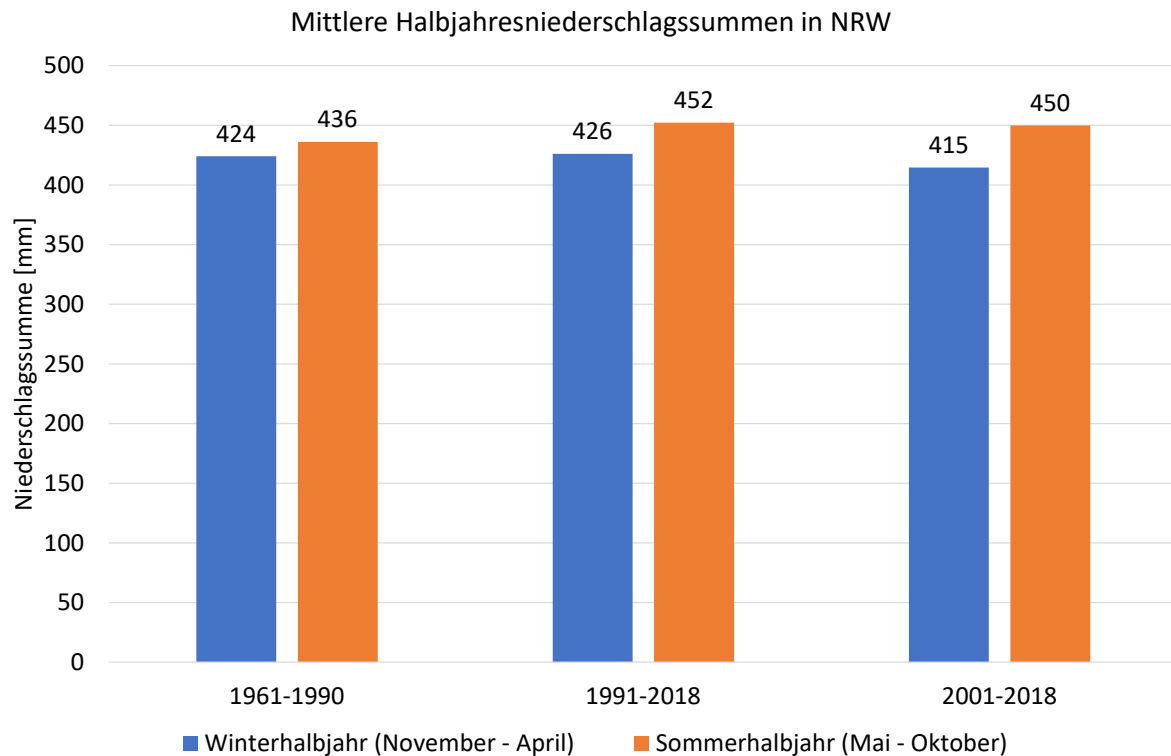


Abbildung 19: Mittlere Halbjahresniederschlagssummen in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Die Niederschlagssummen in den Sommerhalbjahren (Mai – Oktober) liegen im landesweiten Durchschnitt leicht über denen der Winterhalbjahre (November – April). Dabei haben die Niederschläge in den letzten 28 Jahren gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 im Winterhalbjahr mit 0,5 % durchschnittlich weniger zugenommen als im Sommerhalbjahr mit 3,7 %.

Im Zeitraum 2001 – 2018 nehmen die Niederschläge im Winterhalbjahr gegenüber dem Referenzzeitraum sogar leicht ab (-2,2 %), während sie im Sommerhalbjahr auch hier zunehmen (3,2 %). Die Abnahmen im Winterhalbjahr resultieren vor allem aus den trockenen Jahren in der Dekade 2011 – 2018 (Abbildung 20).

Ebenso wie bei den Jahresniederschlagssummen (Kapitel 5.1) sind die Trends in den Zunahmen der Halbjahresniederschlagssummen der letzten 58 Jahre nicht signifikant (Signifikanzniveau nach dem Mann-Kendall-Test: WHJ 35 %, SHJ 30 %), da auch an dieser Stelle die Trendanalysen zu den Halbjahresmittelwerten sehr stark durch die trockene Dekade am Ende des Untersuchungszeitraums geprägt werden.

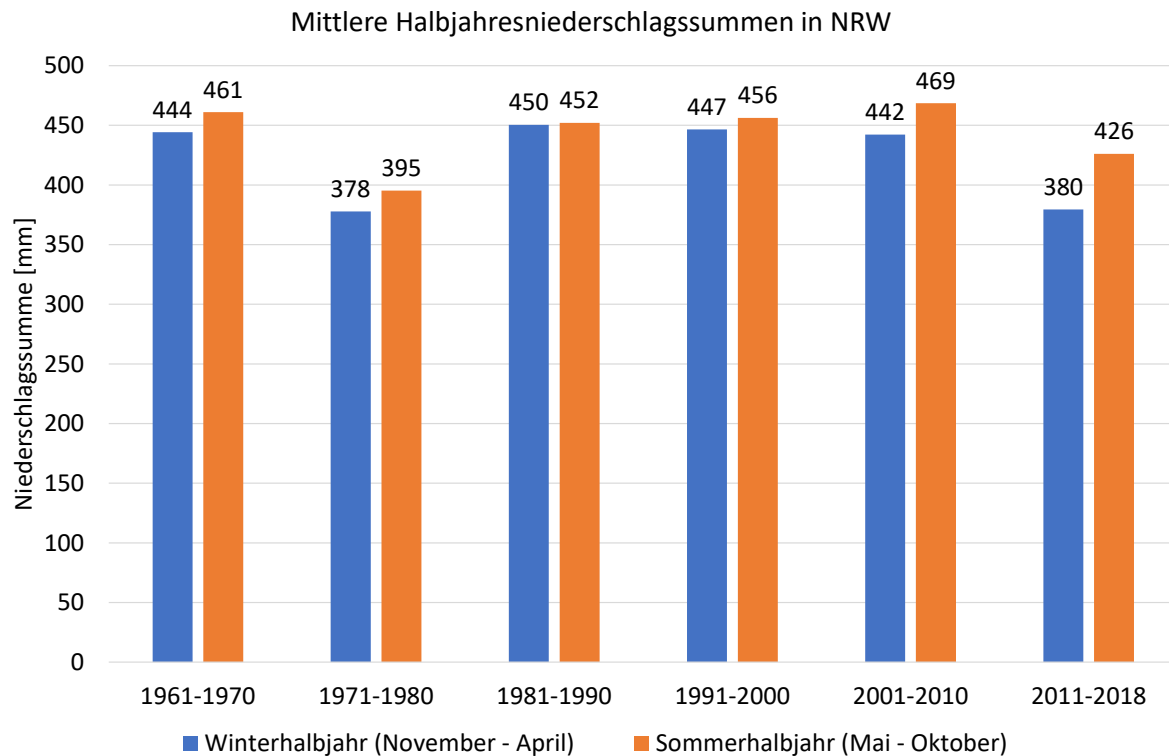


Abbildung 20: Mittlere Halbjahresniederschlagssummen in den einzelnen Dekaden (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Die dekadischen Mittelwerte der Halbjahresniederschlagssummen in den einzelnen Großlandschaften sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt. Ähnlich dem Landesdurchschnitt zeigen sich hier in allen Großlandschaften die gleichen trockenen und feuchten Dekaden, allerdings auf einem anderen absoluten Niveau.

Die Abbildungen zeigen auch, dass die Spannweite in den Niederschlagssummen der Winterhalbjahre zwischen den Mittelgebirgs- und Flachlandregionen deutlich größer ist als in den Sommerhalbjahren. In den Mittelgebirgen (Bergisches Land, Sauer- und Siegerland sowie Eifel) sind die Halbjahresniederschlagssummen im Winterhalbjahr – anders als in den Flachlandregionen und im Landesdurchschnitt – sogar größer als im Sommerhalbjahr (Abbildung 23). In den Mittelgebirgsregionen wird das Niederschlagsgeschehen im Winterhalbjahr primär durch orographische Effekte bei advektiven Niederschlägen geprägt; daher treten besonders große Unterschiede zwischen Mittelgebirgen und Tiefländern auf. Im Sommerhalbjahr hingegen überlagern sich orographische Effekte und lokale konvektive Starkregen, die in gleichem Maße in allen Großlandschaften auftreten können.

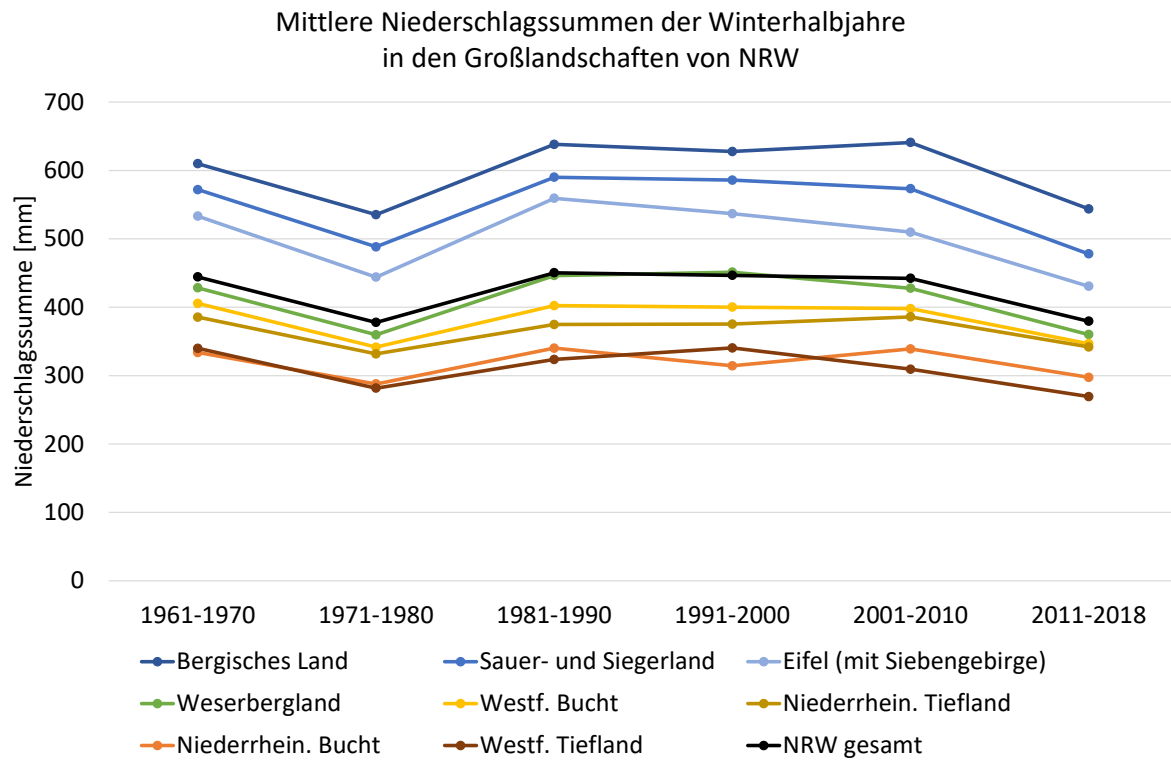


Abbildung 21: Mittlere Niederschlagssummen in den Winterhalbjahren der einzelnen Dekaden (Mittelwerte der einzelnen Großlandschaften)

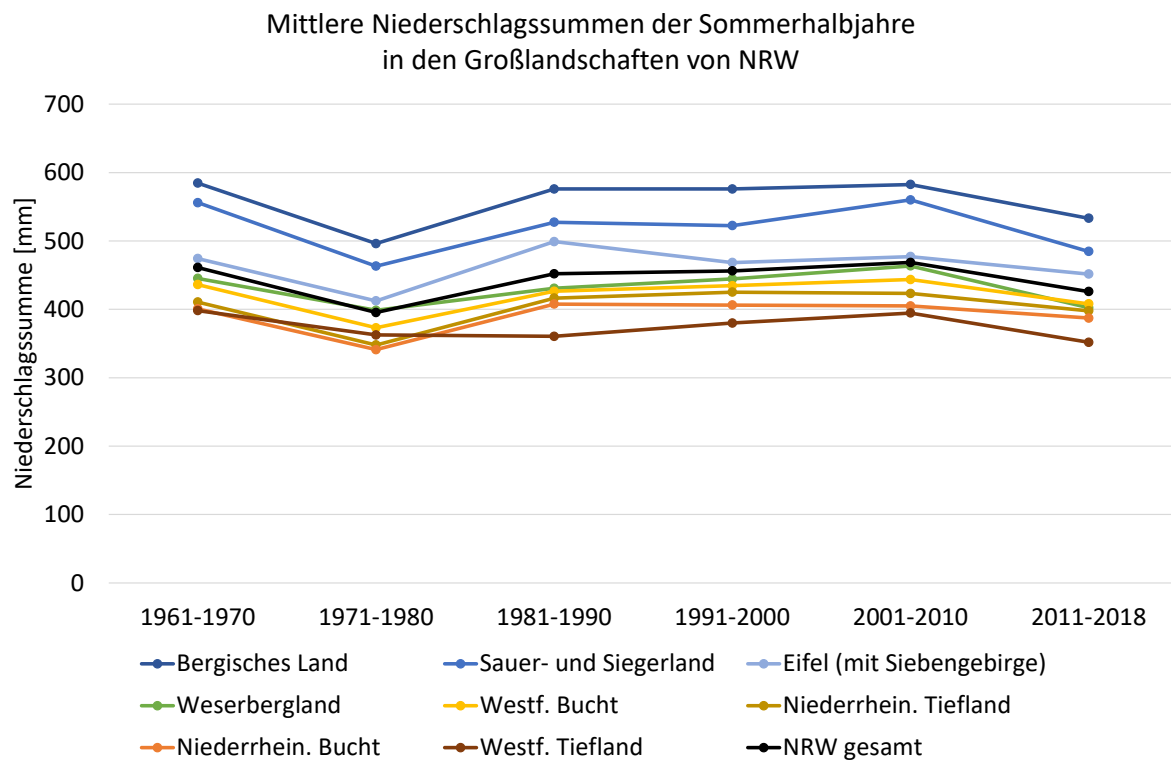


Abbildung 22: Mittlere Niederschlagssummen in den Sommerhalbjahren der einzelnen Dekaden (Mittelwerte der einzelnen Großlandschaften)

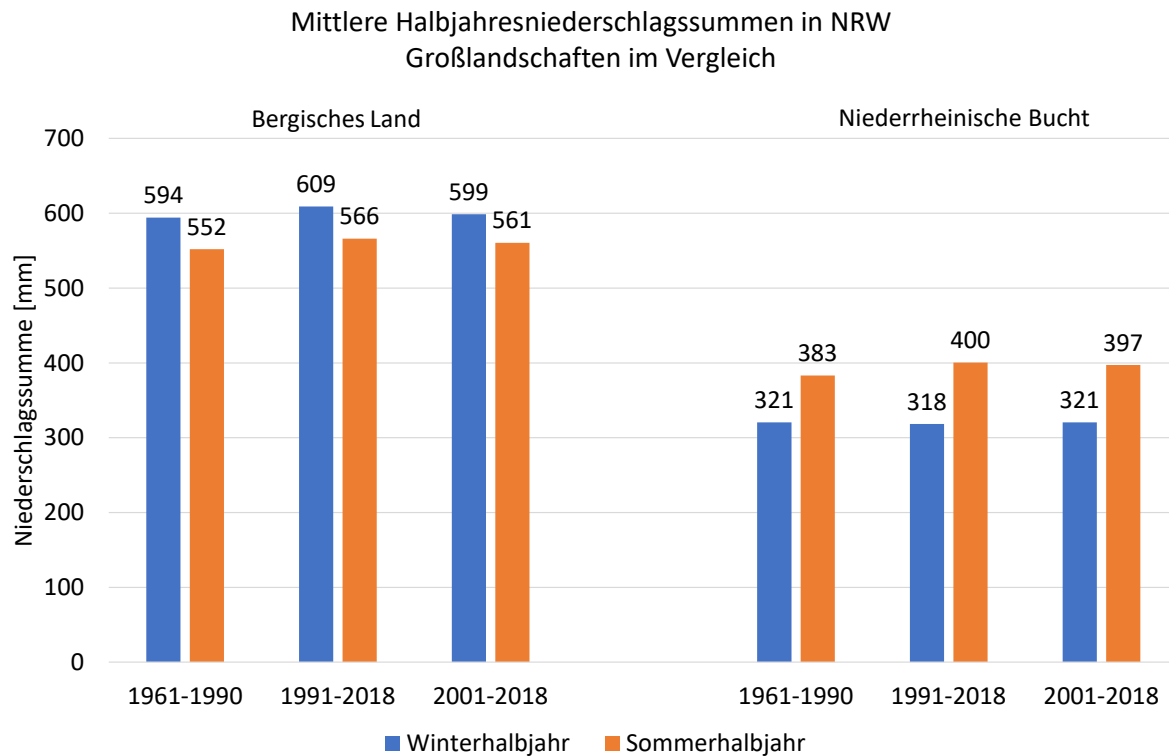


Abbildung 23: Gegenüberstellung der mittleren Halbjahresniederschlagssummen im Bergischen Land und der Niederrheinischen Bucht in den betrachteten Zeiträumen

Die Entwicklungen in den Halbjahressummen der einzelnen Großlandschaften sind differenziert zu betrachten. In Abbildung 24 und Abbildung 25 sind die prozentualen Veränderungen der Niederschlagssummen im Sommer- bzw. Winterhalbjahr der letzten 28 Jahre gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 dargestellt.

In einigen Großlandschaften liegen die Zunahmen der Winterhalbjahresniederschläge über dem NRW-Durchschnitt von 0,5 %. Hier sticht vor allem das Bergische Land mit 2,5 % hervor. In anderen Regionen (Eifel, Niederrheinische Bucht und Westfälisches Tiefland) sind leichte Abnahmen der Niederschlagssummen im Winterhalbjahr festzustellen (Abbildung 24).

In den Sommerhalbjahren nehmen dagegen die Niederschläge in allen Großlandschaften zu. Im Zeitraum 1991 – 2018 beträgt die Zunahme gegenüber 1961 – 1990 durchschnittlich zwischen 0,5 % und 5,3 % (Abbildung 25).

Die Trends in den Zu- bzw. Abnahmen der Halbjahresniederschlagssummen der letzten 58 Jahre sind nicht signifikant (Tabelle 12). Hier zeigt ein Vergleich mit der ExUS 2010 – Studie, dass für den Zeitraum 1950 – 2010 in einigen Großlandschaften teilweise gegenteilige Trends gegenüber der aktuellen Studie vorliegen. So wurden in der vorherigen Studie für alle Regionen in NRW positive Trends (also Zunahmen) im Winterhalbjahr ermittelt, im Sommerhalbjahr hingegen waren die Trends in den südlichen und östlichen Regionen negativ, nur im Nordwesten positiv.

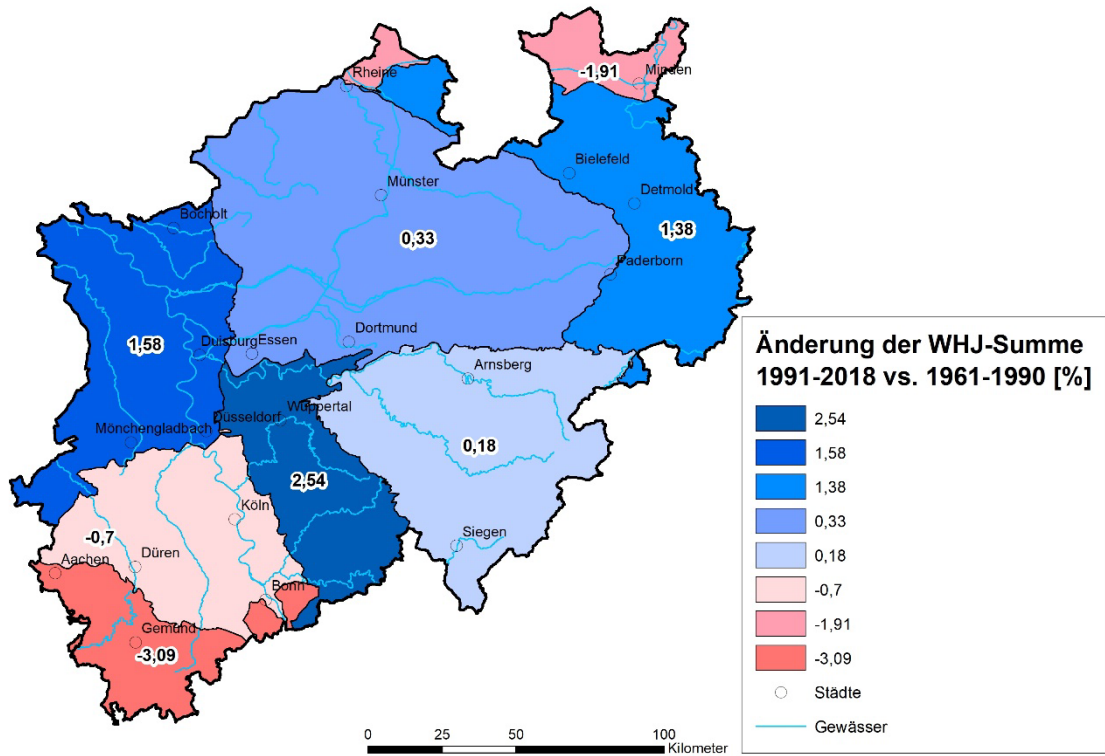


Abbildung 24: Prozentuale Veränderungen der mittleren Niederschlagssummen im Winterhalbjahr in den Großlandschaften von NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990)

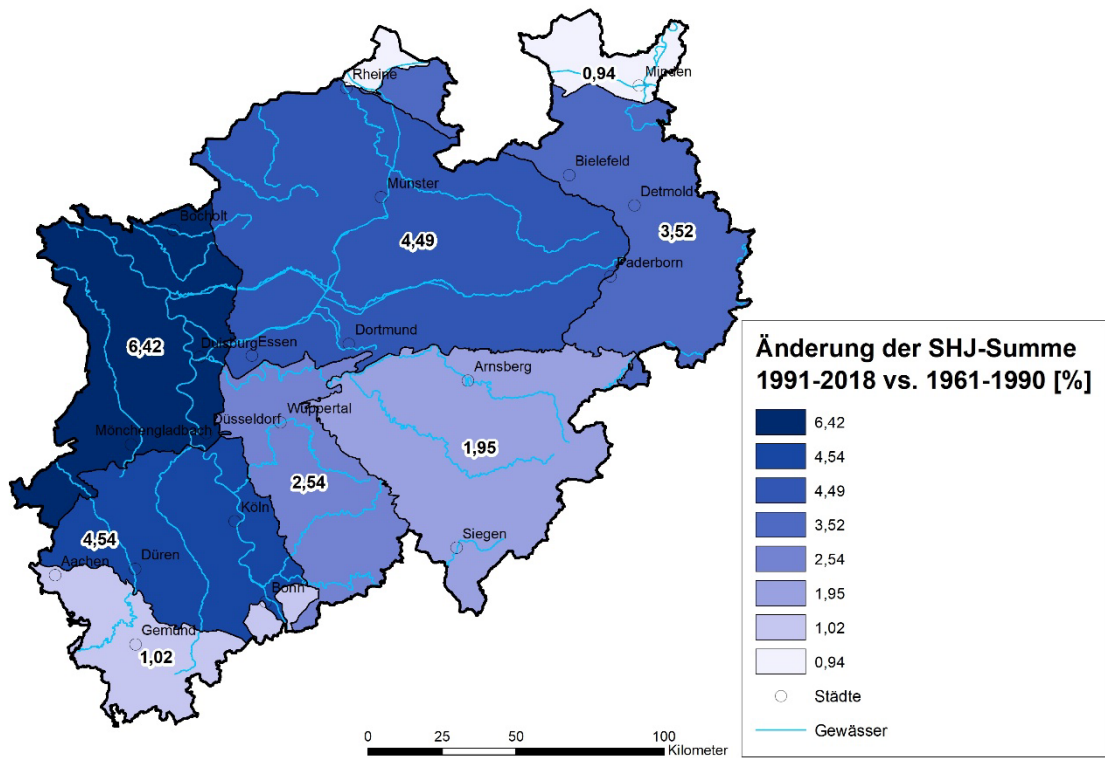


Abbildung 25: Prozentuale Veränderungen der mittleren Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr in den Großlandschaften von NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990)

Tabelle 12: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der Halbjahresniederschlagssummen der Großlandschaften von NRW im Zeitraum 1961 – 2018

Großlandschaft	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall [%]	
	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr
Bergisches Land	6,4	0,0
Sauer- und Siegerland	41,8	13,8
Eifel (mit Siebengebirge)	71,7	26,3
Weserbergland	41,8	17,0
Westfälische Bucht	25,3	50,6
Niederrheinisches Tiefland	5,3	81,1
Niederrheinische Bucht	30,3	61,7
Westfälisches Tiefland	61,7	19,1

5.3 Auswertung der Monats- und Quartalssummen

Auch die Auswertungen der Monatssummen erfolgen auf Basis der „langen Zeitreihen“ und für Wasserwirtschaftsjahre (WWJ). In Abbildung 26 werden die mittleren Monatsniederschlagssummen der Zeiträume 1961 – 1990 und 2001 – 2018 gegenübergestellt.

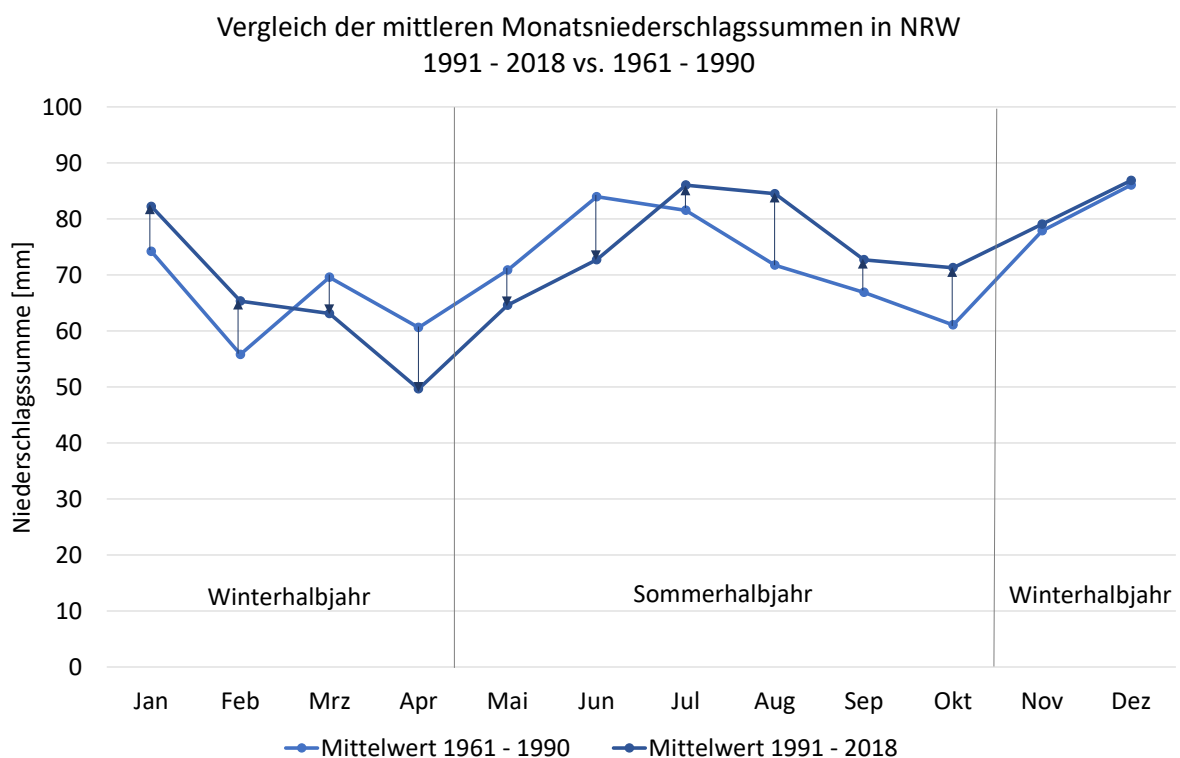


Abbildung 26: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in Gesamt-NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990)

Auffällig hier sind Abnahmen der Monatsniederschlagssummen zwischen März und Juni, während in den anderen Monaten die Niederschläge in den letzten 28 Jahren zugenommen haben. Betrachtet man hingegen die Zeiträume 1961 – 1990 vs. 1931 – 1960 auf Basis der auf dem DWD-Datenserver

(Hansmann, 2019) verfügbaren Niederschlagsdaten für NRW, zeigt sich eine quasi umgekehrte Entwicklung (Abbildung 27). Hier sind in den Monaten März bis Juni ausschließlich Zunahmen der Niederschläge festzustellen, während in den anderen Monaten – außer im November und Dezember – die Monatssummen abnehmen. Trends in Monatsniederschlagssummen lassen sich daher aufgrund der fehlenden Signifikanz aus diesen Betrachtungen nicht ableiten.

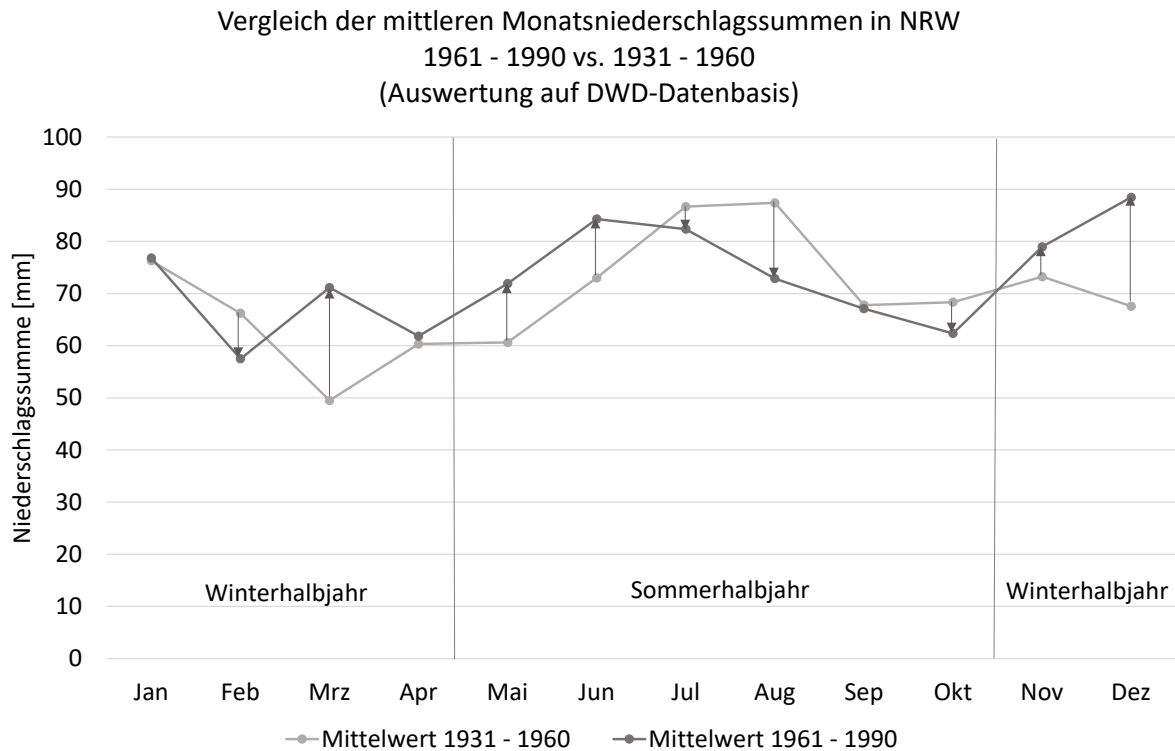


Abbildung 27: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in Gesamt-NRW (1961 – 1990 vs. 1931 – 1960); eigene Darstellung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte

Die Entwicklung der Monatsniederschlagssummen in den einzelnen Großlandschaften verhält sich ähnlich dem Landesdurchschnitt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Monatssummen der Großlandschaften von 1961 – 1990 (Abbildung 28) bzw. 1991 – 2018 (Abbildung 29). Wie bereits bei den Halbjahressummen in Kapitel 5.2 erläutert, ist die Spannweite in den Niederschlagssummen in den Monaten des Winterhalbjahres zwischen den Mittelgebirgs- und Flachlandregionen größer als in den Monaten des Sommerhalbjahres.

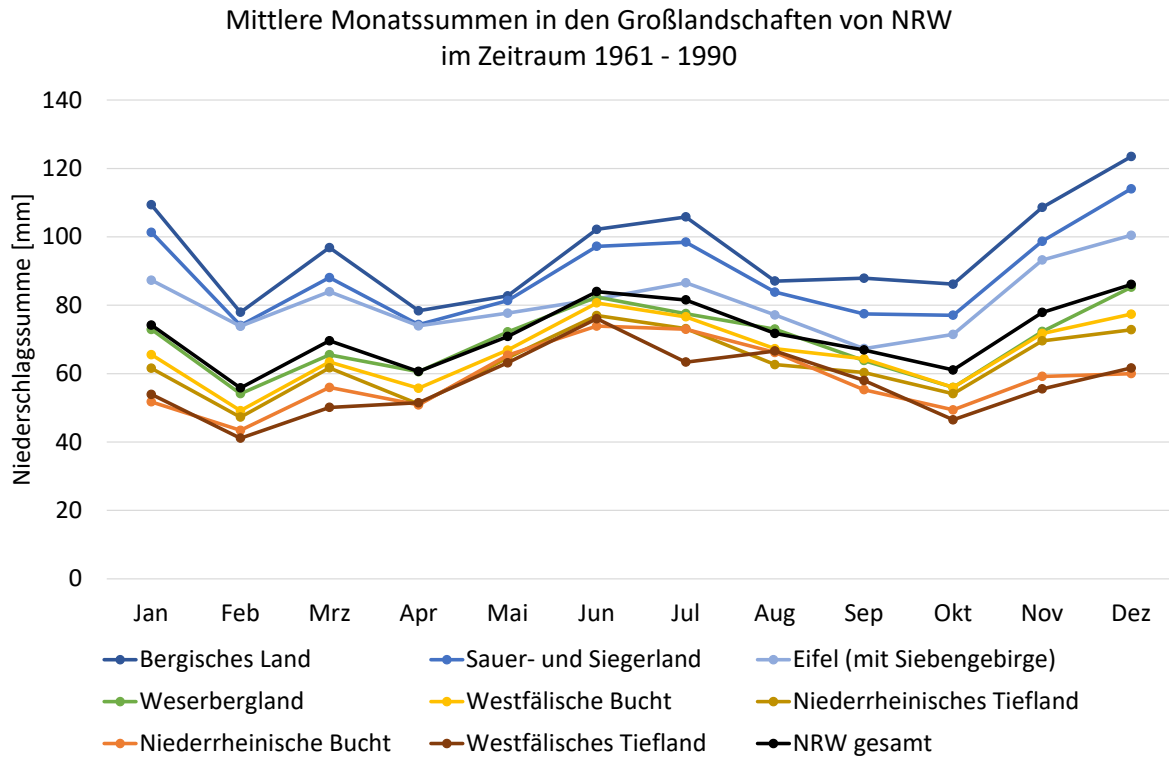


Abbildung 28: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW im Referenzzeitraum 1961 – 1990

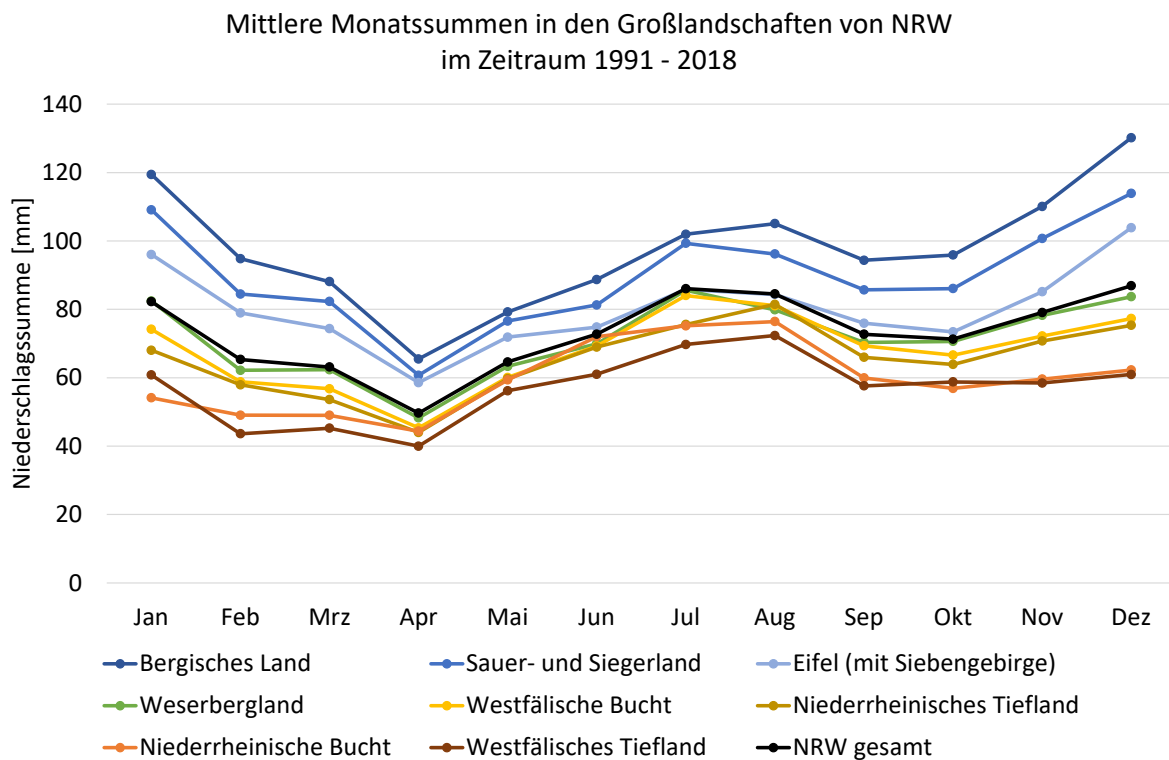


Abbildung 29: Vergleich der mittleren Monatsniederschlagssummen in den Großlandschaften von NRW im Zeitraum 1991 – 2018

Fasst man die Monatssummen zu (meteorologischen) jahreszeitlichen Quartalsniederschlagssummen zusammen, wird die bereits zu Beginn des Kapitels beschriebene Abnahme der Niederschläge in den

Frühlingsmonaten im Zeitraum 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 noch einmal deutlich (Abbildung 30). Im Zeitraum 2001 -2018 sind die mittleren Niederschläge im Frühling noch geringer, was vor allem auf die historisch niedrigen Niederschlagssummen im Frühling der letzten acht Jahre zurückzuführen ist (Abbildung 31).

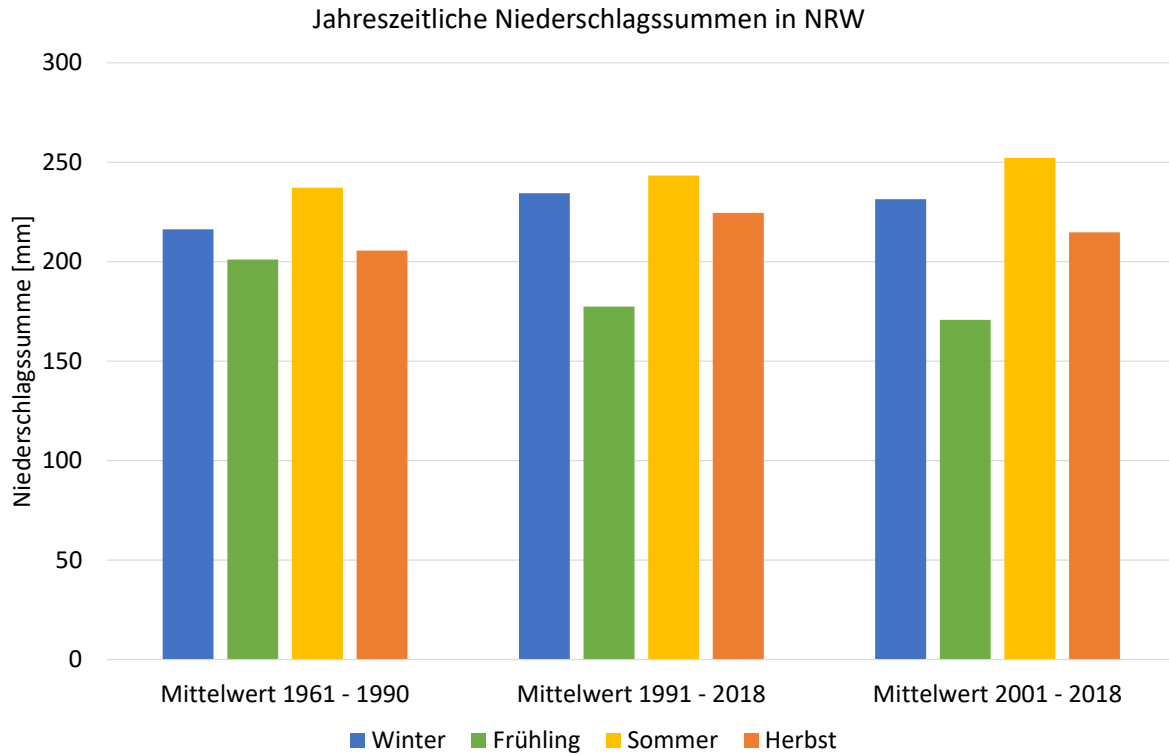


Abbildung 30: Jahreszeitliche Niederschlagssummen in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)

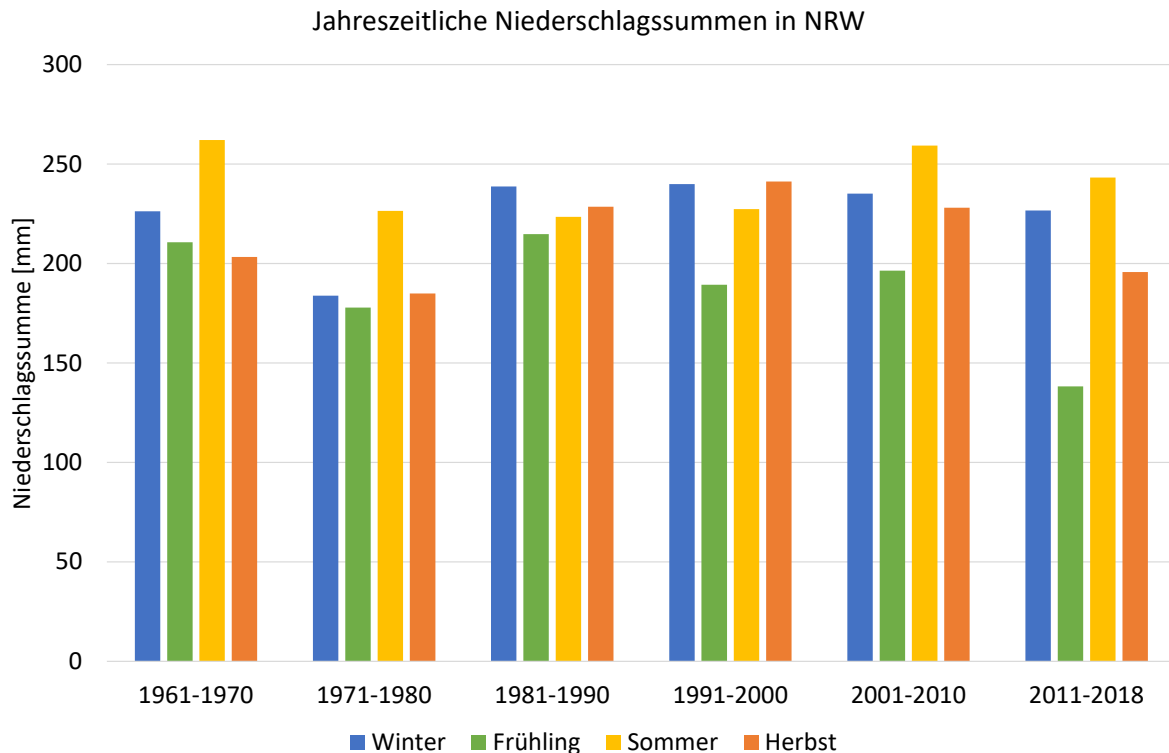


Abbildung 31: Jahreszeitliche Niederschlagssummen in den einzelnen Dekaden (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Der Trend in der Abnahme der Niederschlagssummen im Frühling der letzten 58 Jahre kann als sehr signifikant eingestuft werden (Signifikanzniveau nach dem Mann-Kendall-Test: 98 %), während in den anderen Jahreszeiten keine signifikanten Trends festzustellen sind (Tabelle 13).

Ein anderes Bild zeigt sich allerdings bei der Auswertung der auf dem DWD-Datenserver (Hansmann, 2019) verfügbaren Niederschlagsdaten für NRW mit Beginn im Jahr 1882. Im Gegensatz zu dem negativen Trend der Frühlingsniederschlagssummen ab 1961 ist ein positiver, allerdings nicht signifikanter Trend für den Gesamtzeitraum ab 1882 festzustellen (Signifikanzniveau nach dem Mann-Kendall-Test: 82 %).

Seit 1882 sind insbesondere die Winterniederschläge hochsignifikant angestiegen (Signifikanzniveau nach dem Mann-Kendall-Test: 99,8 %). Die signifikanten Zunahmen der Jahressummen (siehe Kapitel 5.1) in diesem Zeitraum lassen sich somit vor allem auf Zunahmen im Winter zurückführen.

Tabelle 13: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der jahreszeitlichen Niederschlagssummen in Gesamt-NRW (1961 – 2018 vs. 1882 – 2018), rechte Spalte: eigene Auswertung nach Hansmann (2019) auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes, gemittelte Einzelwerte

Jahreszeit	ExUS 2020 – Studie Zeitraum 1961 – 2018 [%]	DWD-Datenbasis Zeitraum 1882 – 2018 [%]
Winter	50,62 (positiv)	99,78 (positiv)
Frühling	98,04 (negativ)	81,98 (positiv)
Sommer	19,08 (positiv)	17,34 (negativ)
Herbst	27,28 (positiv)	67,53 (positiv)

6 Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen

Nach der Betrachtung langer Bilanzierungszeiträume folgen nun Trenduntersuchungen zu Tagesniederschlagssummen. Zunächst werden Grenzwertüberschreitungen mit einer Schrittweite von 10 mm/d untersucht. Gegenüber der ExUS 2010 - Studie entfällt der Grenzwert $N \geq 10$ mm/d, da dieser für Starkregenuntersuchungen keine Aussagekraft hat, dafür wurden seltenere Starkregen bis zu einem Grenzwert $N \geq 80$ mm/d in die Untersuchungen aufgenommen.

Beim Deutschen Wetterdienst wird anhand unterschiedlicher Warnschwellen (DWD, o.J.) zwischen unterschiedlichen Starkregenereignissen unterschieden. Um eine Vergleichbarkeit mit den DWD – Warnschwellen zu gewährleisten, wurden diese auch in der vorliegenden ExUS 2020 – Studie auf Trends untersucht.

6.1 Grenzwertüberschreitungen bei Kenntagen

Es wurde die Entwicklung von Kenntagen untersucht, die definierte Grenzwerte bei den Niederschlagstagesummen überschreiten. Dabei wurde die Anzahl der Starkregentage pro Jahr und Station ermittelt, die folgende Grenzwerte überschreiten:

- $N \geq 20$ mm/d
- $N \geq 30$ mm/d
- $N \geq 40$ mm/d
- $N \geq 50$ mm/d
- $N \geq 60$ mm/d
- $N \geq 70$ mm/d
- $N \geq 80$ mm/d

Die Auswertungen der Grenzwertüberschreitungen erfolgten auf Basis der „langen Zeitreihen“ für den Zeitraum 1961 – 2018. Dabei wurde festgestellt, dass die in die Untersuchung eingehenden Gesamtanzahlen der ermittelten Starkregentage – insbesondere bei höheren Grenzwerten und in einzelnen Großlandschaften – teilweise sehr gering sind (Tabelle 14). In den Großlandschaften werden daher nur Kenntage bis $N \geq 60$ mm/d betrachtet; für das Westfälische Tiefland mit nur vier Stationen werden keine Aussagen getroffen.

Grundsätzlich haben die Starkregentage in NRW in den letzten 28 Jahren gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 zugenommen. Die prozentualen Zunahmen liegen je nach Grenzwert zwischen 14 % und 22 % (Abbildung 32, blaue Balken). Betrachtet man die letzten 18 Jahre gegenüber dem Referenzzeitraum, sind die prozentualen Zunahmen bei den höheren Grenzwerten mit $N \geq 50$ mm/d und $N \geq 60$ mm/d noch etwas stärker ausgeprägt (Abbildung 32, orangene Balken). Sämtliche Zunahmen der Starkregentage sind allerdings nicht signifikant. Das Signifikanzniveau nach dem GLM-Verfahren (Kapitel 4.2.2) liegt für Gesamt-NRW zwischen 10,3 % – 38,9 %. Betrachtet man die dekadische Entwicklung der Starkregentage, zeigt sich, dass gerade in der letzten Dekade ab 2011 vergleichsweise wenige Starkregentage aufgetreten sind. Als Beispiel ist in Abbildung 33 die mittlere Anzahl von Starkregentagen pro Jahr mit $N \geq 60$ mm/d für Gesamt-NRW dargestellt. Die Zunahmen resultieren vorwiegend aus den hohen Werten in der Dekade 2001 – 2010.

Kapitel 6: Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen

Tabelle 14: Gesamtanzahl von Starkregentagen über definierten Grenzwertwerten im Untersuchungszeitraum 1961 – 2018 in den Großlandschaften von NRW und in Gesamt-NRW (abhängig von der Anzahl der eingehenden Stationen)

	Gesamtanzahl der Tage im Zeitraum 1961 – 2018 mit							Auf Basis Stationszahl
	N ≥ 20 mm/d	N ≥ 30 mm/d	N ≥ 40 mm/d	N ≥ 50 mm/d	N ≥ 60 mm/d	N ≥ 70 mm/d	N ≥ 80 mm/d	
Bergisches Land	6892	2039	673	217	85	28	9	12
Sauer- und Siegerland	9306	2504	748	226	100	49	24	20
Eifel	2792	881	306	109	36	19	12	7
Weserbergland	5247	1339	392	136	62	35	19	19
Westfälische Bucht	15157	3714	1114	386	152	70	36	63
Niederrhein. Bucht	1991	569	163	51	23	7	5	10
Westfälisches Tiefland	699	165	58	18	12	7	5	4
Niederrhein. Tiefland	2904	661	255	92	30	16	10	14
Gesamt-NRW	44988	11873	3710	1236	501	232	121	149

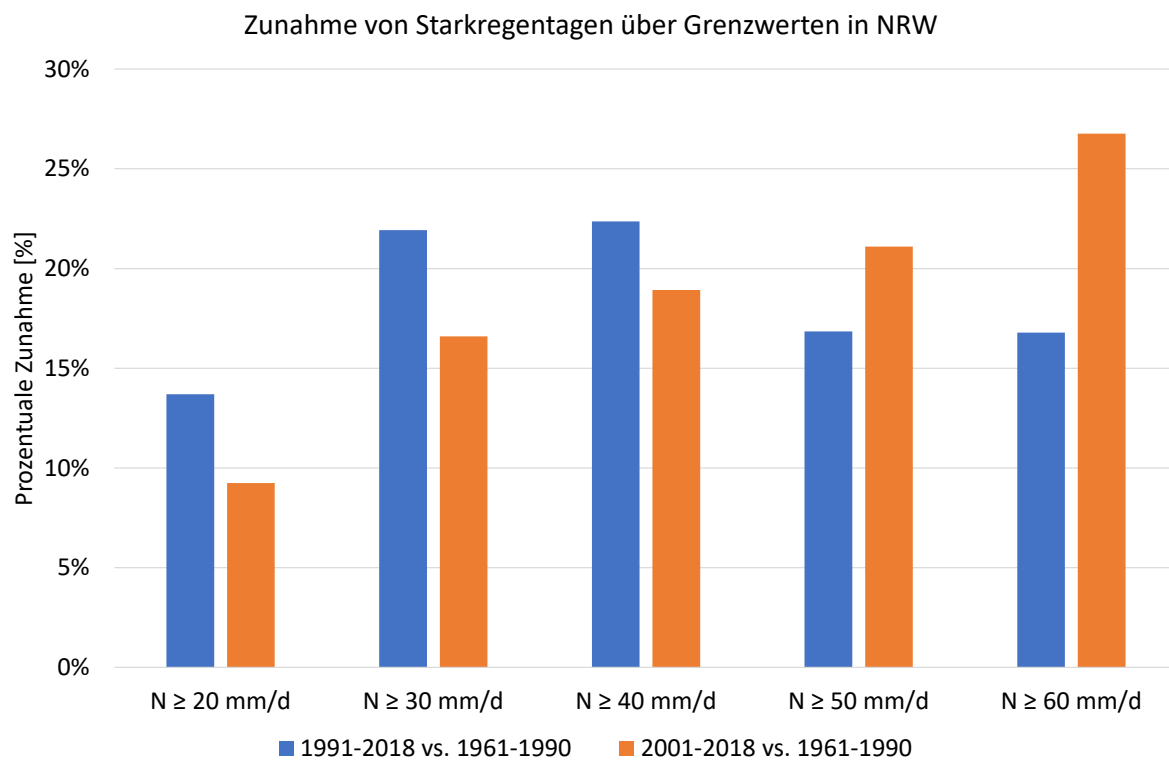


Abbildung 32: Prozentuale Zunahme von Starkregentagen über Grenzwerten in Gesamt-NRW (1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 bzw. 1991 – 2018 vs. 2001 – 1990)

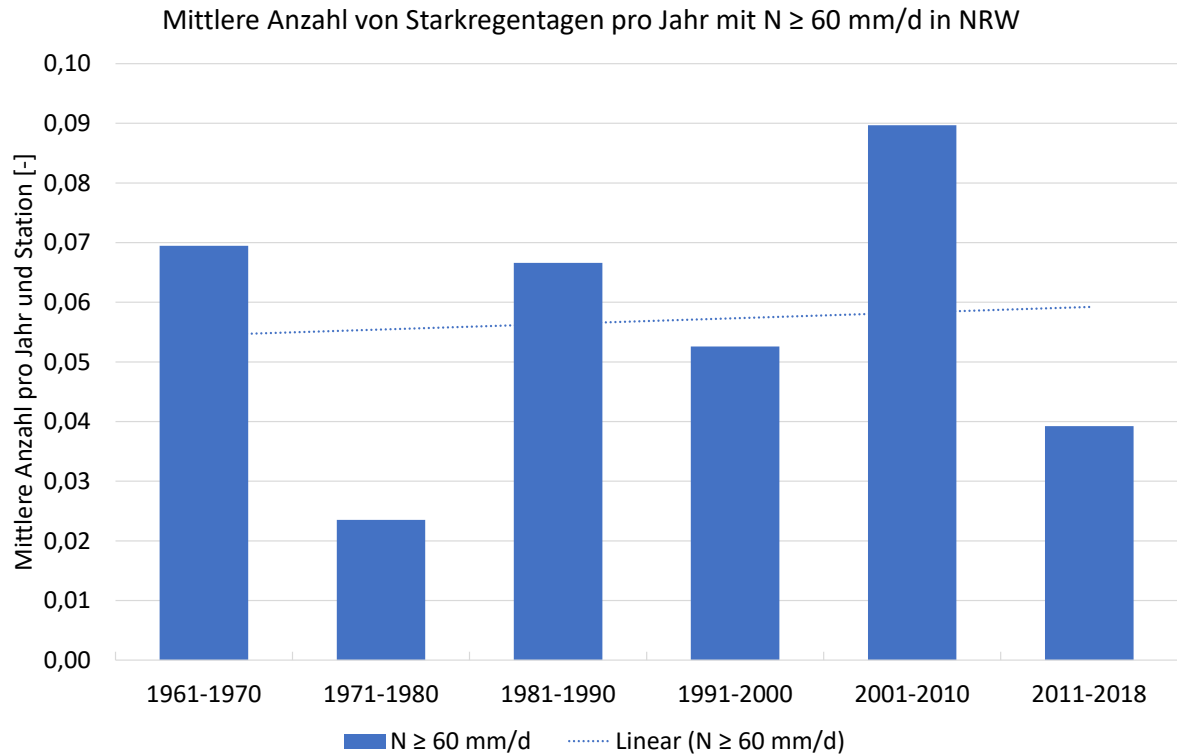


Abbildung 33: Mittlere Anzahl von Starkregentagen pro Jahr mit $N \geq 60$ mm/d (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Abbildung 34 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Starkregentage mit $N \geq 30$ mm/d in den einzelnen Großlandschaften von NRW (außer Westfälisches Tiefland, siehe oben).

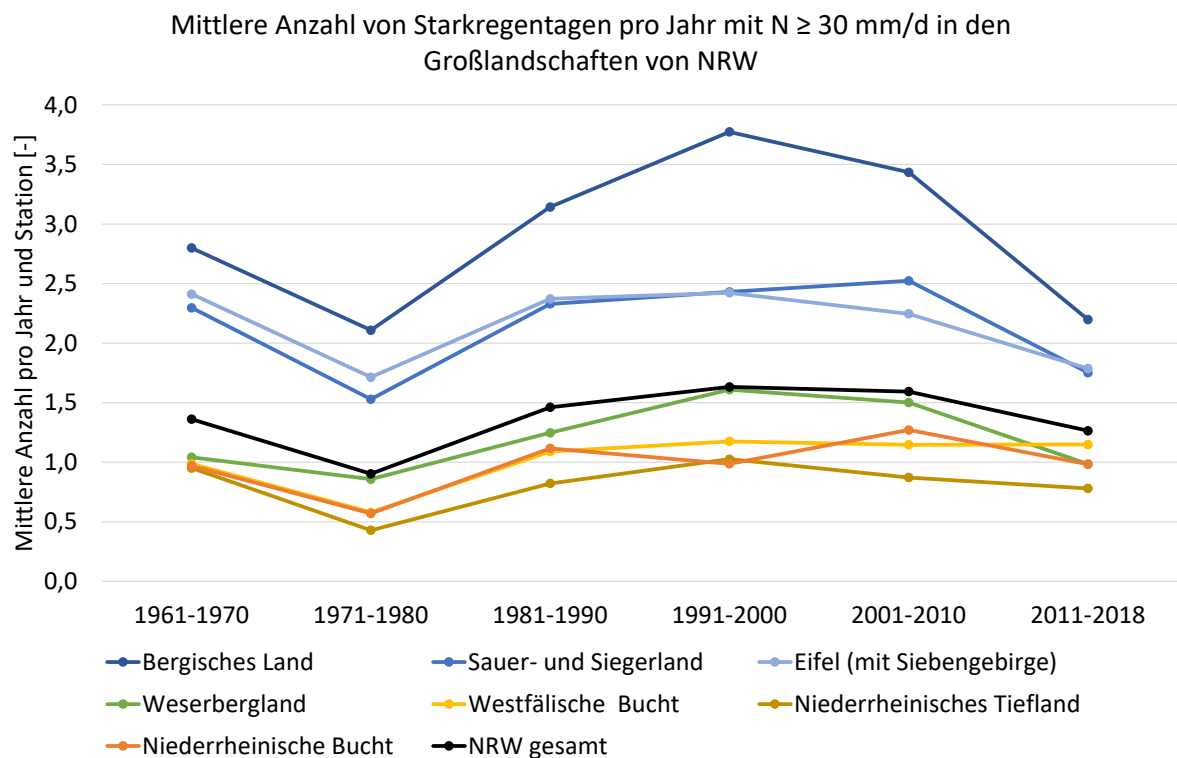


Abbildung 34: Mittlere Anzahl von Starkregentagen pro Jahr mit $N \geq 30$ mm/d in den Großlandschaften von-NRW

In den Großlandschaften zeigt sich ebenso wie im Landesdurchschnitt eine Abnahme der Starkregentage in den letzten acht Jahren. Diese ist in den Gebirgsregionen – vor allem im Bergischen Land – stärker ausgeprägt als in den flachen Regionen. Nur in der Westfälischen Bucht sind in den letzten acht Jahren leichte Zunahmen der Starkregentage festzustellen.

In Tabelle 15 sind die Signifikanzniveaus nach dem GLM-Verfahren für die Entwicklung von Starkregentagen über den definierten Grenzwertwerten im Untersuchungszeitraum 1961 – 2018 in den Großlandschaften von NRW und in Gesamt-NRW zusammengestellt. Ebenso wie für Gesamt-NRW liegen auch keine signifikanten Trends in den Großlandschaften vor.

Tabelle 15: Signifikanzniveau nach dem GLM-Verfahren für die Entwicklung von Starkregentagen über definierten Grenzwertwerten im Untersuchungszeitraum 1961 – 2018 in den Großlandschaften von NRW und in Gesamt-NRW

	Signifikanzniveau nach dem GLM-Verfahren [%]						
	N ≥ 20 mm/d	N ≥ 30 mm/d	N ≥ 40 mm/d	N ≥ 50 mm/d	N ≥ 60 mm/d	N ≥ 70 mm/d	N ≥ 80 mm/d
Bergisches Land	25	24	34	35	12	-	-
Sauer- und Siegerland	6	18	5	2	1	-	-
Eifel	42	30	23	29	2	-	-
Weserbergland	52	57	42	57	36	-	-
Westfälische Bucht	73	65	30	4	1	-	-
Niederrhein. Bucht	39	58	36	2	17	-	-
Westfälisches Tiefland	-	-	-	-	-	-	-
Niederrhein. Tiefland	85	26	42	55	40	-	-
Gesamt-NRW	39	38	26	19	10		

6.2 Grenzwertüberschreitungen bei den DWD-Warnschwellen

Häufig im Kontext mit Starkregen genutzte Kennzahlen sind die Warnschwellen des DWD (DWD, o.J.). Neben den zuvor bereits dargestellten Grenzwertüberschreitungen erfolgt daher eine ergänzende Untersuchung der DWD – Warnschwellen. Diese sind wie folgt definiert:

Dauerstufe 1 Stunde:

- 15 mm: Starkregen
- 25 mm: Heftiger Starkregen
- 40 mm: Extrem heftiger Starkregen

Dauerstufe 6 Stunden:

- 20 mm: Starkregen
- 35 mm: Heftiger Starkregen
- 60 mm: Extrem heftiger Starkregen

Die Auswertung fand mit den 46 „langen Zeitreihen“ der kontinuierlichen Stationen statt. Diese verteilen sich auf die Großlandschaften Niederrheinisches Tiefland (5 Stationen), Sauer- und Siegerland (3 Stationen) und Westfälische Bucht (38 Stationen). In den anderen Großlandschaften gibt es keine langjährig beobachteten kontinuierlichen Zeitreihen, die den Qualitätskriterien genügen (Kapitel 3).

Kapitel 6: Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen

Im Mittel ergeben sich für NRW aus den beobachteten Auftretenshäufigkeiten:

- 15 mm: 2293 Fälle, d. h. 0,86 Fälle pro Station / Jahr oder ca. $T = 1$ Jahr (Abbildung 35)
- 25 mm: 522 Fälle, d. h. 0,20 Fälle pro Station / Jahr oder ca. $T = 5$ Jahre (Abbildung 36)
- 40 mm: 85 Fälle, d. h. 0,03 Fälle pro Station / Jahr oder ca. $T = 30$ Jahre (Abbildung 37)

Die tatsächlichen, sich regional ergebenden Wiederkehrzeiten weichen von den genannten, für Gesamt-NRW gültigen Wiederkehrzeiten in der Regel allerdings ab.

Über die Jahre gesehen fällt eine Steigerung der Mindestwerte in der Klasse 15 mm (ab 1979 gab es kein Jahr mehr, in dem weniger als 18 Ereignisse auftraten) und extrem seltenen Beobachtungen der Klasse 40 mm auf, die sich verstärkt auf wenige Jahren konzentrieren (1968, 2013 und 2018).

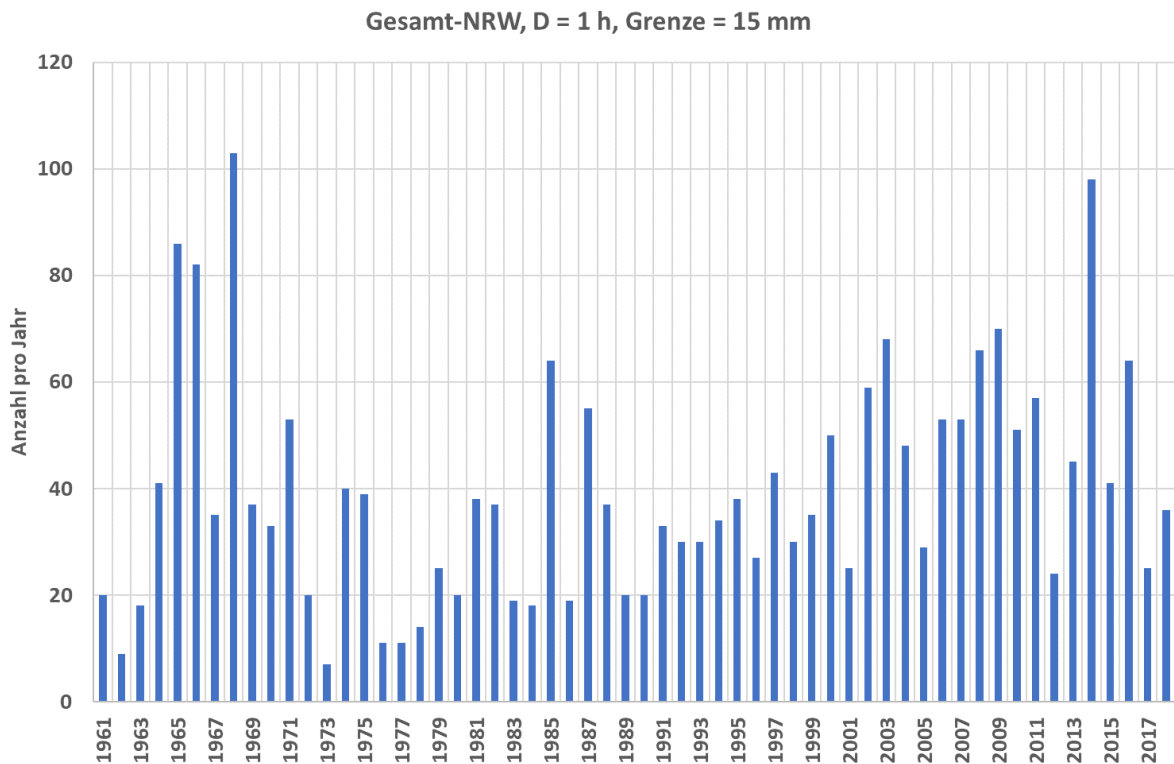


Abbildung 35: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 15 mm in 1 Stunde

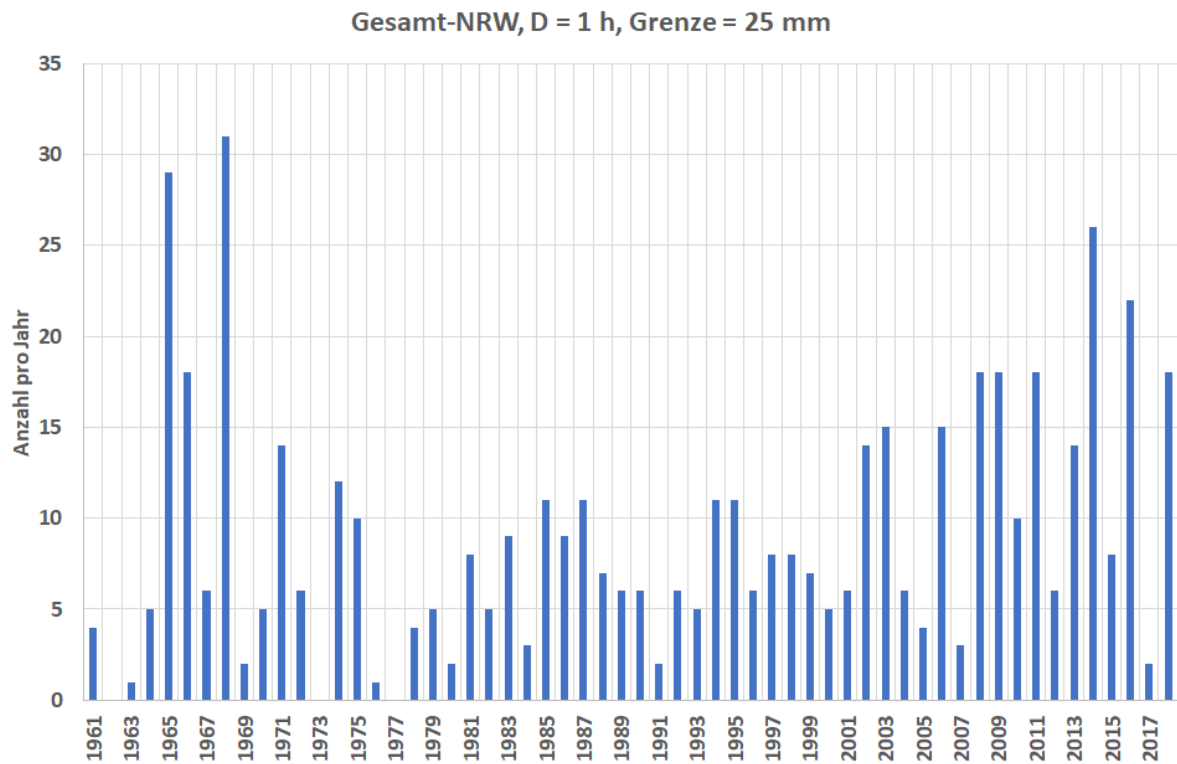


Abbildung 36: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 25 mm in 1 Stunde

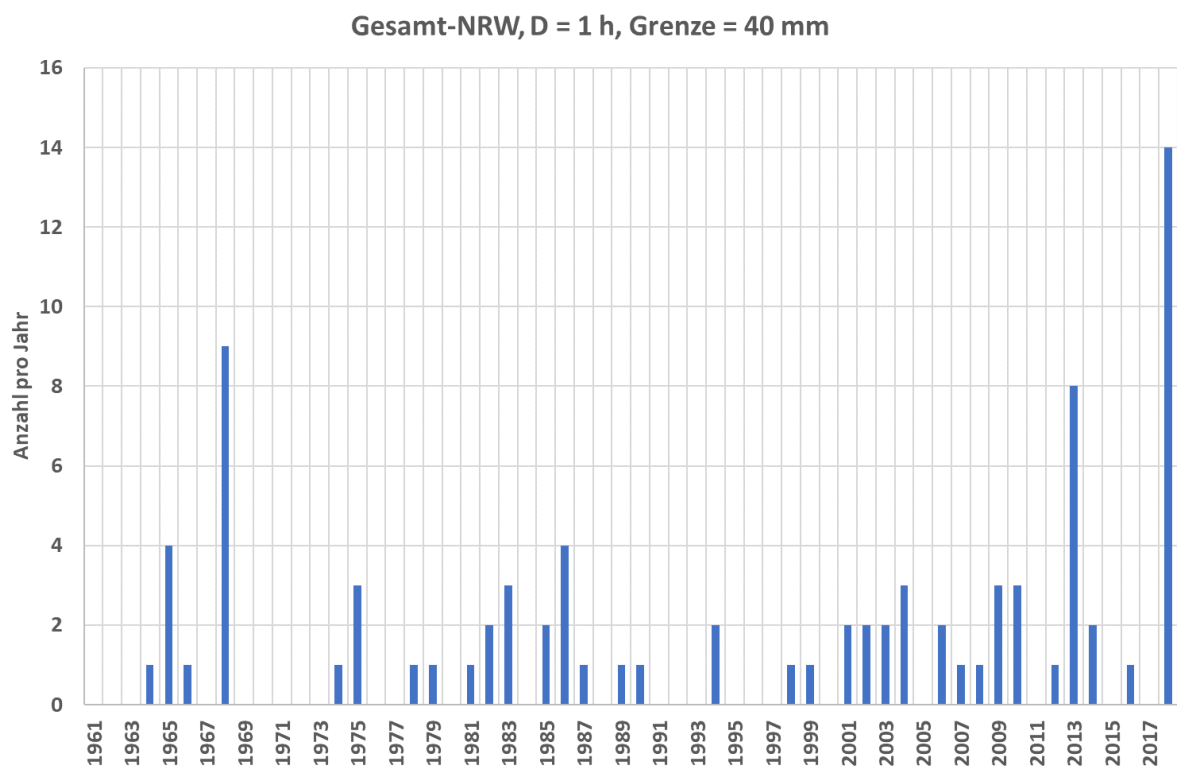


Abbildung 37: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 40 mm in 1 Stunde

Für die Dauerstufe D = 6 Stunden ist die beobachtete Auftretenshäufigkeit in der größten Klasse deutlich anders:

Kapitel 6: Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen

- 20 mm: 3251 Fälle, d. h. 1,22 Fälle pro Station / Jahr oder ca. $T = 1$ Jahr (Abbildung 38)
- 35 mm: 413 Fälle, d. h. 0,15 Fälle pro Station / Jahr oder ca. $T = 6$ Jahre (Abbildung 39)
- 60 mm: 27 Fälle, d. h. 0,01 Fälle pro Station / Jahr oder ca. $T = 99$ Jahre (Abbildung 40)

Auch hier weichen die tatsächlichen, sich regional ergebenden Wiederkehrzeiten von den genannten, für Gesamt-NRW gültigen Wiederkehrzeiten in der Regel ab.

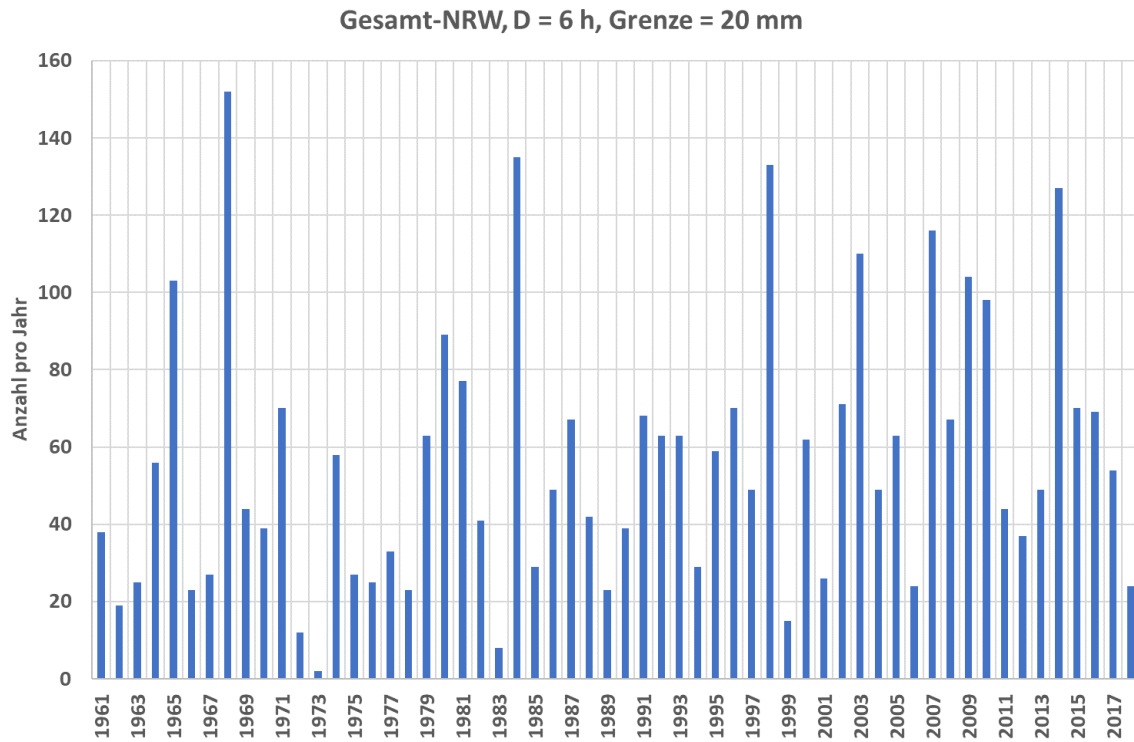


Abbildung 38: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 20 mm in 6 Stunden

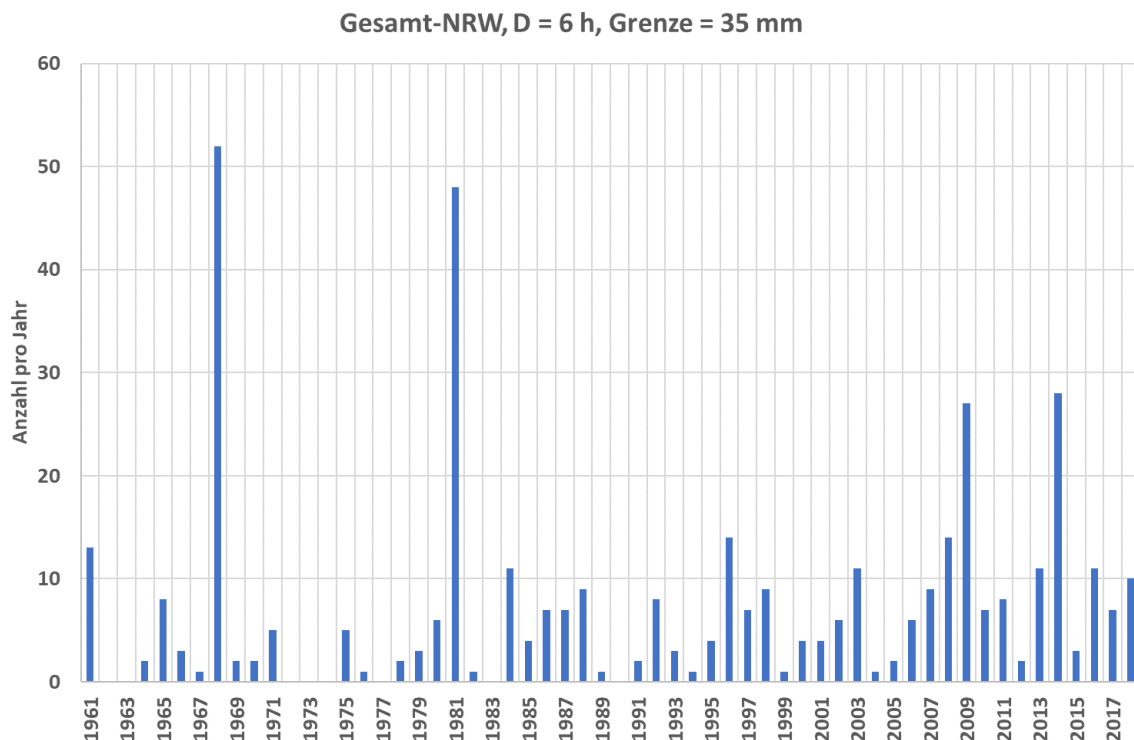


Abbildung 39: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 35 mm in 6 Stunden

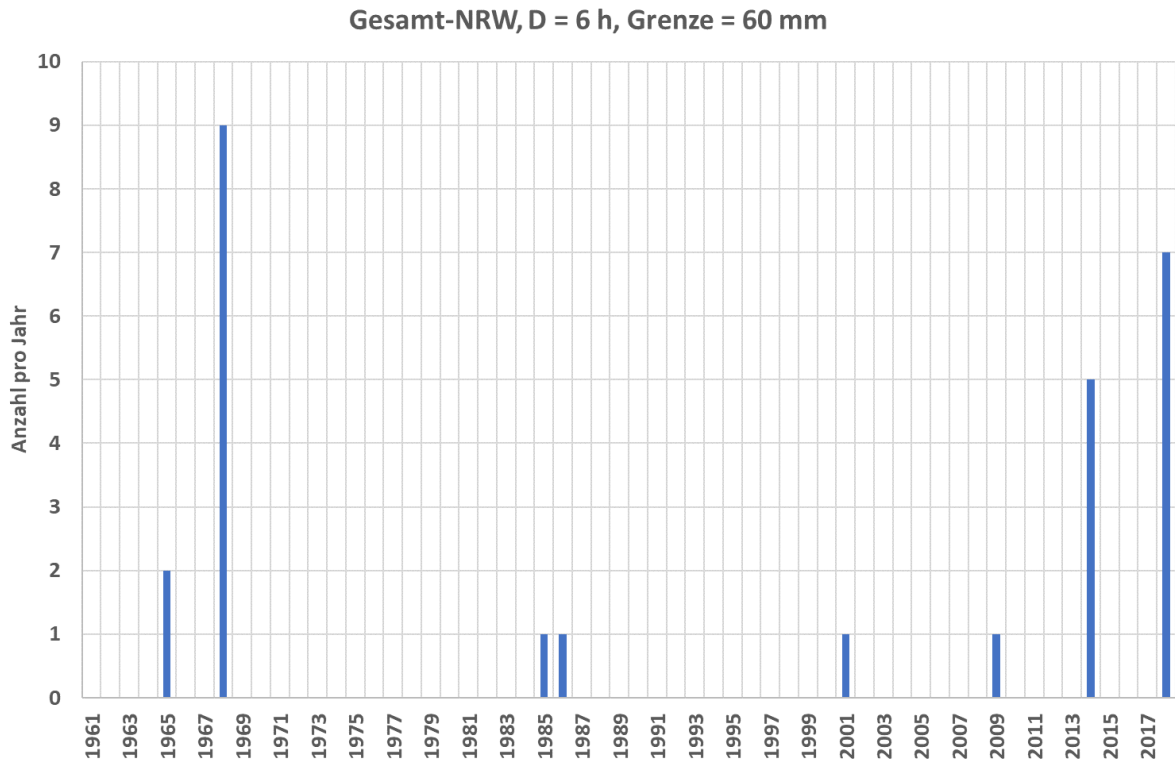


Abbildung 40: Beobachtete Auftretenshäufigkeiten an 46 Stationen in NRW für die Warnschwelle 60 mm in 6 Stunden

Für die Dauerstufe 6 Stunden ist kein Trend erkennbar. Sowohl für die Schwelle 35 mm als auch für 60 mm gibt es wenige, über den gesamten Untersuchungszeitraum verteilte Jahre, die hervorstechen: 1968, 1981, 2009 und 2014 für 35 mm, und 1968, 2014 und 2018 für 60 mm.

Zur genaueren Untersuchung der Trends in ganz NRW wurden die Daten im Anschluss in zwei Zeitscheiben zusammengefasst und verglichen: der Mittelwert von 1961 – 1990 und von 1991 – 2018 mit ihren Standardabweichungen, nur basierend auf unabhängigen Ereignissen. Zusätzlich wurde auch der frühe Zeitraum mit der Zeitscheibe 2001 – 2018 verglichen.

Es wurden im Vergleich der Wilcoxon Rangsummentest, der Mann-Kendall-Test und Student's t-Test verwendet. Da beim Wilcoxon Rangsummentest gleiche Ränge auftreten, kommt hier eine Kontinuitätskorrektur zur Anwendung. Student's T-Test setzt eine Normalverteilung voraus. Bei den häufigen Ereignissen (15 mm in 1 h und 20 mm in 6 h) sind die Eingangsdaten näherungsweise normalverteilt, bei den seltenen nicht – diese wurden dann auch nicht ausgewertet.

Als Ergebnis kann gezeigt werden, dass für die beiden kleineren Warnschwellen in beiden Dauerstufen die Häufigkeiten im späteren Zeitraum signifikant höher sind als im früheren Zeitraum (Tabelle 16). Diese Ergebnisse wurden durch einen Robustheitstest bestätigt, bei dem die Zeitscheibengrenzen einmal um fünf Jahre nach vorn und einmal um fünf Jahre nach hinten verschoben wurden.

Der Ergebnisvergleich der Zeiträume 2001 – 2018 mit 1961 – 1990 (Tabelle 17) zeigt eine Verstärkung der Trends (rot dargestellt) für die 1-Stunden-Werte – die 6-Stunden-Werte bleiben weitgehend identisch oder nehmen sogar etwas ab (blau dargestellt).

Kapitel 6: Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen

Tabelle 16: *Klimasignal: Anzahl der Niederschlagsereignisse über dem angegebenen Grenzwert, Änderung im Zeitraum 1991 - 2018 im Vergleich zu 1961 - 1990*

Dauerstufe	Grenzwert	Signifikanzniveau Wilcoxon	Signifikanzniveau Mann-Kendall	Signifikanzniveau Student-T	Anstieg signifikant
1 h	15 mm	> 95 %	> 95 %	> 90 %	ja
1 h	25 mm	> 85 %	> 95 %	Nicht berechenbar	ja
1 h	40 mm	Kein Signal	> 85 %	Nicht berechenbar	nein / ja
6 h	20 mm	> 99 %	> 90 %	> 99 %	ja
6 h	35 mm	> 95 %	> 90 %	Nicht berechenbar	ja
6 h	60 mm	Kein Signal	Kein Signal	Nicht berechenbar	nein

Tabelle 17: *Klimasignal: Anzahl der Niederschlagsereignisse über dem angegebenen Grenzwert, Änderung im Zeitraum 2001 - 2018 im Vergleich zu 1961 - 1990, rot markiert sind größere Signifikanzniveaus zum Zeitraum 1991 – 2018, blau markiert sind kleinere Signifikanzniveaus zum Zeitraum 1991 – 2018*

Dauerstufe	Grenzwert	Signifikanzniveau Wilcoxon	Signifikanzniveau Mann-Kendall	Signifikanzniveau Student-T	Anstieg signifikant
1 h	15 mm	> 99 %	> 95 %	> 95 %	ja
1 h	25 mm	> 90 %	> 95 %	Nicht berechenbar	ja
1 h	40 mm	> 90 %	> 85 %	Nicht berechenbar	ja
6 h	20 mm	> 95 %	> 90 %	> 95 %	ja
6 h	35 mm	> 95 %	> 90 %	Nicht berechenbar	ja
6 h	60 mm	Kein Signal	Kein Signal	Nicht berechenbar	nein

Es zeigt sich, dass sich in NRW von 1961 – 1990 nach 1991 – 2018 die Anzahl der Starkregen und der heftigen Starkregen erhöht hat, aber nicht die Anzahl der extrem heftigen Starkregen. Demgegenüber hat sich zwischen 1961 – 1990 und 2001 – 2018 darüber hinaus die Anzahl der extrem heftigen Starkregen der Dauerstufe D = 1 Stunde signifikant erhöht.

Für die Großlandschaften lässt sich dabei wenig zusätzlich spezifizieren: die Stationen stammen überwiegend (38 von 46) aus der Westfälischen Bucht, und deshalb ist das Ergebnis insbesondere für diese Großlandschaft repräsentativ. Das Niederrheinische Tiefland verhält sich im Wesentlichen ähnlich, das Sauer- und Siegerland jedoch unterschiedlich (Tabelle 18). Für das Sauer- und Siegerland wird bei Anwendung des Wilcoxon-Mann-Whitney-Tests bzw. des Mann-Kendall-Tests keine signifikanten Trends nachgewiesen. Hier sind drei Stationen allerdings nicht genügend repräsentativ, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen.

Kapitel 6: Trendanalysen der Grenzwertüberschreitungen

Tabelle 18: *Klimasignal: Anzahl der Niederschlagsereignisse über dem angegebenen Grenzwert, Änderung im Zeitraum 1991 - 2018 im Vergleich zu 1961 - 1990 für die drei vertretenen Großlandschaften*

Niederrheinisches Tiefland				
Dauerstufe	Grenzwert	Signifikanzniveau Wilcoxon*	Signifikanzniveau Mann-Kendall**	Anstieg signifikant
1 h	15 mm	> 95 %	> 95 %	ja
1 h	25 mm	> 85 %	> 85 %	ja
1 h	40 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein
6 h	20 mm	> 95 %	> 95 %	ja
6 h	35 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein
6 h	60 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein

Sauer- und Siegerland				
Dauerstufe	Grenzwert	Signifikanzniveau Wilcoxon*	Signifikanzniveau Mann-Kendall**	Anstieg signifikant
1 h	15 mm	> 90 %	Kein Signal	ja / nein
1 h	25 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein
1 h	40 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein
6 h	20 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein
6 h	35 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein
6 h	60 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein

Westfälische Bucht				
Dauerstufe	Grenzwert	Signifikanzniveau Wilcoxon*	Signifikanzniveau Mann-Kendall**	Anstieg signifikant
1 h	15 mm	> 99 %	> 95 %	ja
1 h	25 mm	> 95 %	> 95 %	ja
1 h	40 mm	Kein Signal	> 90 %	nein/ja
6 h	20 mm	> 95 %	> 95 %	ja
6 h	35 mm	> 99 %	> 99 %	ja
6 h	60 mm	Kein Signal	Kein Signal	nein

* Der Wilcoxon-Test erwartet kontinuierliche statt ganzzahlige Werte. P-Werte sind mit einer Kontinuitätskorrektur geschätzt (Abschätzung der Ungenauigkeit mit zufällig variierten Werten -> circa +/-0,02).

** Mann-Kendall Test als Trendtest auf einen kontinuierlichen Trend über den gesamten Zeitraum (beidseitig)

Sowohl die Ergebnisse der 1-stündigen Grenzwerte als auch der 6-stündigen Grenzwerte sind für die Großlandschaften wenig unterschiedlich. Das mag an der geringen Stationszahl liegen, aber auch an der geringen Zahl an vertretenen Großlandschaften. Hier lassen sich keine Schlüsse zu Unterschieden ziehen.

6.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Grenzwertüberschreitungen

Die Auswertungen zu den DWD-Warnschwellen zeigen ein deutliches Ergebnis. Gegenüber der Zeitscheibe 1961 – 1990 haben die Starkniederschläge und die heftigen Starkniederschläge signifikant zugenommen, im Vergleich zu 2001 – 2018 zusätzlich auch die extremen Starkniederschläge mit einer Dauerstufe D = 1 Stunde. Nur zu den extremen Starkniederschlägen mit einer Dauerstufe D = 6 Stunden

den gibt es keine signifikanten Trendaussagen. Für die Großlandschaften liegen unterschiedliche Ergebnisse vor, die aber aufgrund der geringen Stationszahl außerhalb der Westfälischen Bucht nicht als repräsentativ angesehen werden können.

Die Grenzwertüberschreitungen von Kenntagen ist aufgrund der höheren Stationsanzahl und deren räumlicher Verteilung robuster. Auch hier zeigen sich Zunahmen im Zeitraum 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, sowohl für Gesamt-NRW als auch in den einzelnen Großlandschaften. Im Gegensatz zu den DWD-Warnschwellen sind diese aber nicht signifikant. Die Zunahmen resultieren hier vorwiegend aus den hohen Werten in der Dekade 2001 – 2010.

Die Ergebnisse zeigen ein differenziertes Bild beim Trendverhalten von Starkniederschlägen. Es zeigen sich zwar über alle Dauerstufen $D \leq 1$ Tag Zunahmen der Starkregen, diese sind aber erst bei den kürzeren Dauerstufen, wie sie bei den DWD-Warnschwellen betrachtet werden, signifikant. Außerdem zeigt sich eine Zunahme des Signifikanzniveaus mit kürzer werdenden Dauerstufen. Diese Erkenntnis spiegelt sich auch in der Auswertung der partiellen Serien wider (Kapitel 7.1).

7 Trendanalysen zu partiellen Serien und statistischen Kenngrößen

In diesem Kapitel werden nun auf verschiedene Art und Weise die Trenduntersuchungen auf weitere Dauerstufen $D \leq 24$ h ausgeweitet. Hierbei werden zunächst Entwicklungen in partiellen Serien und anschließend Trends in den statistisch ermittelten Niederschlagshöhen untersucht.

Partielle Serien sind ein Zwischenprodukt der Niederschlagsstatistik nach DWA-A 531 (DWA, 2012), bei der die größten Niederschlagsereignisse einer Dauerstufe über einem Schwellenwert ausgewählt werden. Der Schwellenwert für die extremwertstatistischen Analysen wird nach DWA-A 531 so festgelegt, dass die Datenkollektive einen Umfang vom 2- bis e-fachen (Faktor 2,71) der Länge der zugrundeliegenden Zeitreihe aufweisen.

Die statistisch ermittelten Niederschlagshöhen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauerstufe stellen dagegen das Endprodukt der Niederschlagsstatistik nach dem DWA-A 531 (DWA, 2012) dar.

7.1 Auswertung der partiellen Serien

Im Rahmen der ExUS 2020 – Studie wurden Trendanalysen von partiellen Serien mit einer Anzahl von $n = 2,71/a$ (kurz: pSe 2,71) durchgeführt. Darüber hinaus erfolgten Auswertungen mit partiellen Serien mit einer Anzahl von $n = 0,5/a$ (kurz: pSe 0,5), um die Entwicklung seltenerer Starkregenereignisse zu betrachten, die durchschnittlich maximal alle zwei Jahre auftreten. Damit wird den Bemessungsregen der Siedlungswasserwirtschaft (DWA-M 119, 2016) eher Rechnung getragen.

Für die Stationen mit kontinuierlichen Zeitreihen wurde dabei die Anzahl der Ereignisse pro Jahr und Station ermittelt und anschließend über die Anzahl der jeweils betrachteten Stationen gemittelt. Es wurden die Dauerstufen $D = 5$ min, 15 min, 60 min, 2 h, 4 h, 12 h und 24 h im Zeitraum 1961 – 2018 betrachtet.

7.1.1 Auswertungen für Gesamt-NRW

Bei der Auswertung der partiellen Serien ist über alle untersuchten Dauerstufen eine Zunahme der Starkregen für beide partiellen Serien über den Zeitraum 1961 – 2018 festzustellen. Beispielhaft sind in Abbildung 41 (pSe 2,71) und Abbildung 42 (pSe 0,5) die mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr mit den prozentualen Abweichungen zum Mittelwert für die Dauerstufe $D = 60$ min dargestellt.

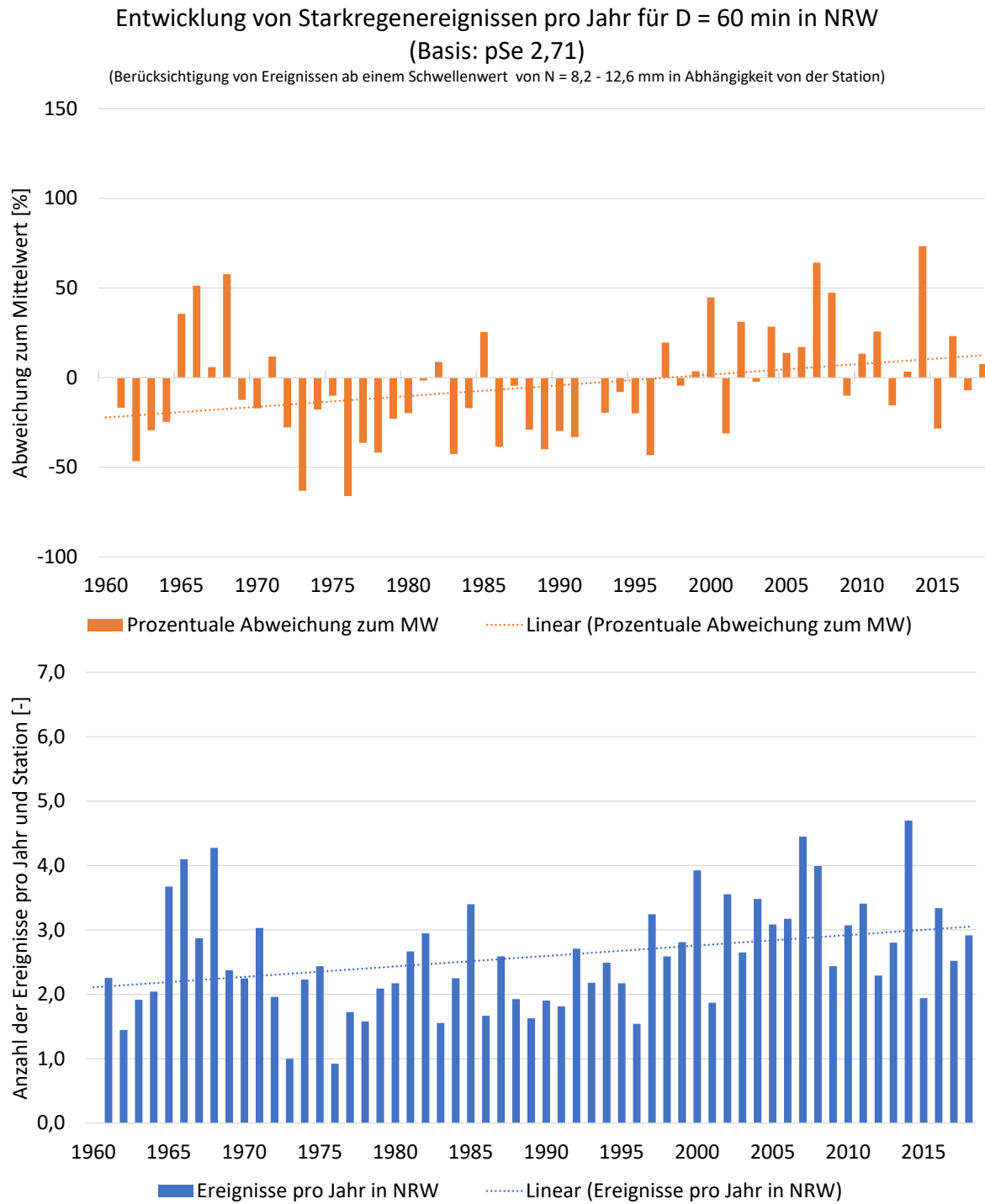


Abbildung 41: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für D = 60 min auf Basis der partiellen Serien pSe 2,71 (Mittelwert über Gesamt-NRW)

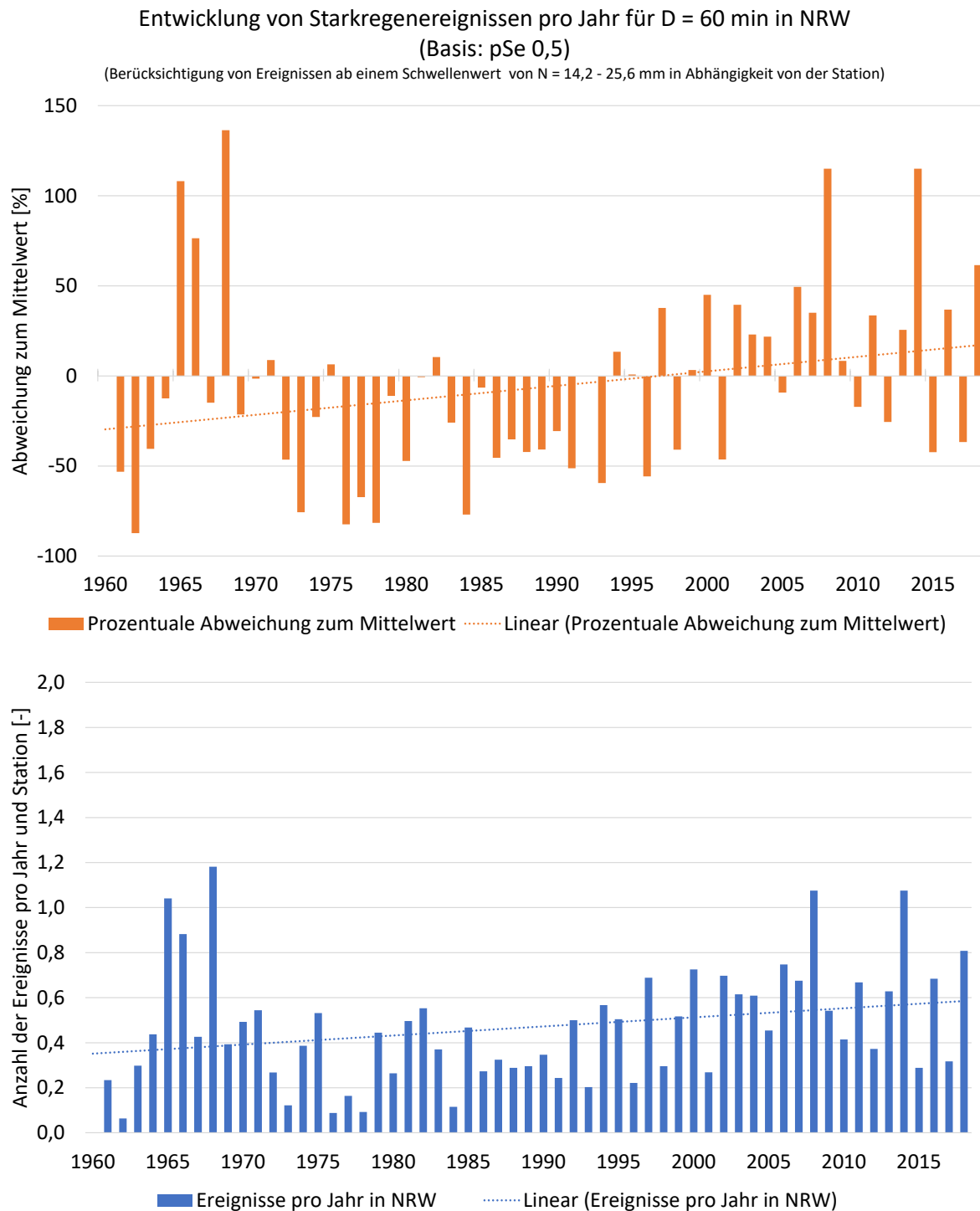


Abbildung 42: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für D = 60 min auf Basis der partiellen Serien pSe 0,5 (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Die Trends in den einzelnen Dauerstufen unterscheiden sich hinsichtlich des Signifikanzniveaus nach Mann-Kendall. Während das Signifikanzniveau der Trends bei der partiellen Serie pSe 2,71 für die Dauerstufen zwischen D = 5 min und D = 60 min über 99 % liegt und somit hochsignifikant ist, sinkt es mit größer werdenden Dauerstufen ab. Für die langen Dauerstufen D = 12 h und D = 24 h liegt das Signifikanzniveau unter 90 %. Bei der partiellen Serie pSe 0,5 hingegen bleibt das Signifikanzniveau bis zur Dauerstufe D = 4 h über 99 % (hochsignifikant) und sinkt erst danach ab, allerdings nicht unter 90 %. Dies bestätigt die Untersuchungen zu den DWD-Warnschwellen (Kapitel 6.2). In Abbildung 43 sind die

Signifikanzniveaus nach Mann-Kendall der partiellen Serien für die einzelnen Dauerstufen gegenübergestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die konvektiven (kurzen) Starkregen zunehmen. Bei den kurzen Dauerstufen ($D < 60$ min) wird der Klimatrend dabei, je nach Station, möglicherweise durch den Einfluss der Gerätetechnik überlagert (Einführung Kippwaage ab 1990, Wägetechnik ab 2000). Kapitel 4.3 zeigt in weiteren Analysen, dass ein automatisierter Nachweis und eine Quantifizierung des Effekts schwierig sind, dass er aber in gezielten Auswertungen an einzelnen Stationen nachgewiesen werden kann.

Die Auswertungen der partiellen Serien für die Dauerstufe $D = 12$ h bestätigen gleichzeitig die Ergebnisse der Grenzwertuntersuchungen (Kapitel 6.1), die auf Tagesbasis durchgeführt wurden. Dort zeigte sich ebenfalls, dass die Starkregentage über definierten Grenzwerten zwar zugenommen haben, aber auf einem nicht signifikanten Niveau.

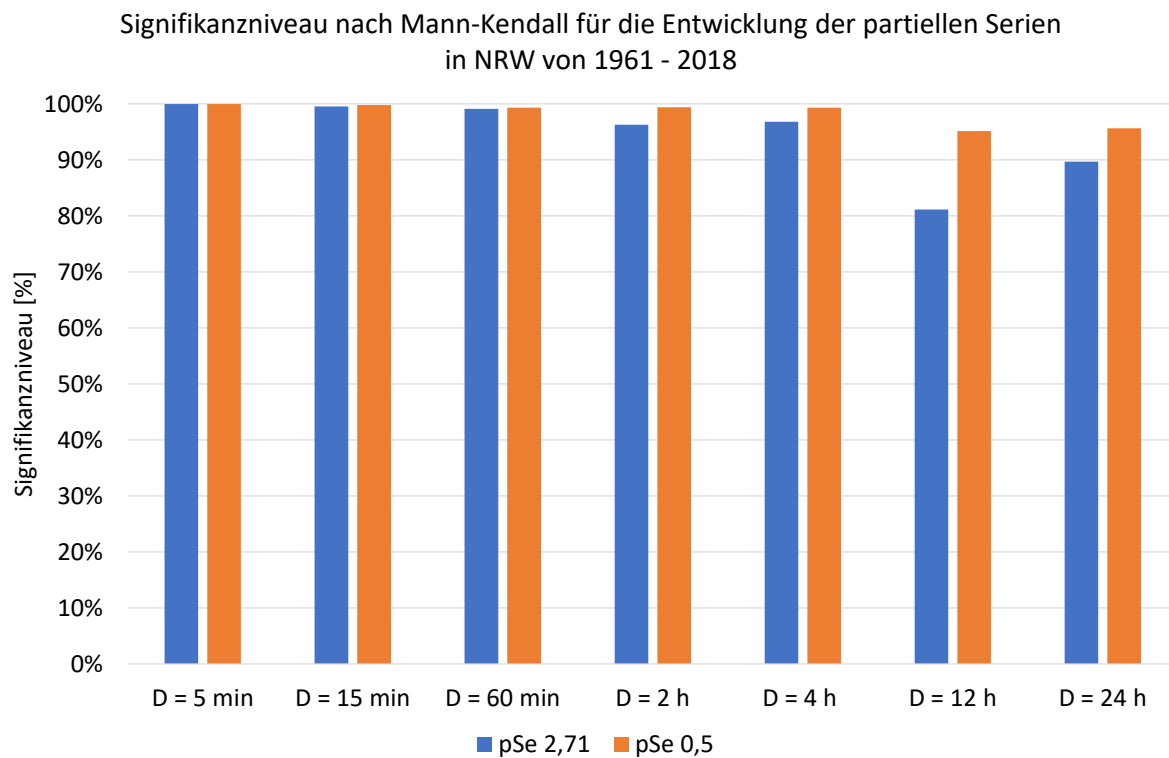


Abbildung 43: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Trendentwicklung der partiellen Serien $pSe_{2,71}$ und $pSe_{0,5}$ zwischen 1961 – 2018 für Gesamt-NRW

7.1.2 Auswertungen für die Großlandschaften

Wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, variiert die Anzahl der Stationen, die für die Auswertungen der partiellen Serien verwendet wurden. Insbesondere in der ersten Dekade 1961 – 1970 ist die zur Verfügung stehende Anzahl an Niederschlagsstationen in einzelnen Großlandschaften noch sehr gering oder gleich Null (Tabelle 19, Abbildung 44). Wie bereits in der ExUS 2010 – Studie wurden nur die Jahre berücksichtigt, für die Daten von mindestens 10 % der Stationen vorlagen (grau markierte Bereiche in Tabelle 19), um verlässliche Aussagen treffen zu können.

Kapitel 7: Trendanalysen zu partiellen Serien und statistischen Kenngrößen

Tabelle 19: Jährlich zur Verfügung stehende Anzahl von Stationen in den Großlandschaften von NRW für die Auswertung der partiellen Serien

Jahr	Bergisches Land	Sauer- und Siegerland	Eifel (mit Siebengebirge)	Weserbergland	Westfälische Bucht	Niederrhein-Tiefland	Niederrhein-Bucht	Westfälisches Tiefland
1961	1	3	0	0	38	5	0	0
1962	1	3	0	0	38	5	0	0
1963	1	3	0	0	38	5	0	0
1964	1	4	0	0	38	5	0	0
1965	1	4	0	0	39	5	0	0
1966	1	4	2	0	39	5	0	0
1967	2	4	3	0	39	5	1	0
1968	2	4	3	0	39	5	2	0
1969	3	4	3	0	39	5	2	0
1970	3	5	6	0	39	8	4	0
1971	4	5	6	0	39	8	6	0
1972	5	5	6	1	39	9	6	0
1973	5	5	6	1	41	10	6	0
1974	14	6	6	3	41	12	6	0
1975	16	6	8	3	41	13	7	0
1976	21	6	10	3	42	13	7	0
1977	21	6	11	4	44	17	13	0
1978	23	10	12	6	44	19	16	0
1979	22	10	12	6	47	21	16	1
1980	22	10	12	6	47	25	17	1
1981	22	10	13	6	47	27	21	1
1982	23	10	15	6	47	27	23	1
1983	23	10	17	6	48	29	28	1
1984	23	12	17	6	48	29	29	1
1985	23	13	19	6	48	30	29	1
1986	27	13	19	6	48	30	32	1
1987	27	14	19	6	48	34	33	1
1988	31	14	19	7	48	34	33	1
1989	33	18	19	7	50	34	34	1
1990	34	18	18	7	51	34	33	1
1991	37	19	19	7	51	34	33	1
1992	39	20	19	7	51	35	34	1
1993	42	20	19	8	52	35	35	1
1994	45	23	19	12	52	36	36	1
1995	46	23	19	13	52	41	39	1
1996	46	24	19	13	52	47	42	1
1997	48	27	21	15	52	47	46	1
1998	50	28	22	15	53	55	49	2
1999	50	28	20	15	53	55	48	2
2000	50	29	21	15	53	55	48	2
2001	48	29	21	15	53	55	49	2
2002	48	29	21	15	53	55	48	2
2003	49	29	21	14	53	55	47	2
2004	49	29	21	15	53	55	47	2
2005	49	29	21	15	53	55	47	2
2006	49	29	20	15	53	55	46	2

Jahr	Bergisches Land	Sauer- und Siegerland	Eifel (mit Siebengebirge)	Weserbergland	Westfälische Bucht	Niederrhein. Tiefland	Niederrhein. Bucht	Westfälisches Tiefland
2007	49	28	20	15	53	55	46	2
2008	49	28	19	15	53	55	45	2
2009	49	28	18	15	53	55	44	2
2010	48	28	18	15	53	55	44	2
2011	49	28	19	15	53	55	44	2
2012	49	28	20	15	53	55	44	2
2013	49	28	20	15	53	55	44	2
2014	49	28	20	15	53	55	44	2
2015	49	28	20	15	53	55	45	2
2016	49	28	20	15	53	55	44	2
2017	47	28	20	14	53	55	43	2
2019	45	17	20	11	48	51	41	1
Max	50	29	22	15	53	55	49	2
Min	1	3	0	0	38	5	0	0
Mittel	30,4	16,9	14,4	8,3	47,7	33,3	28,0	1,0
10 % Anteil	5	2,9	2,2	1,5	5,3	5,5	4,9	0,2

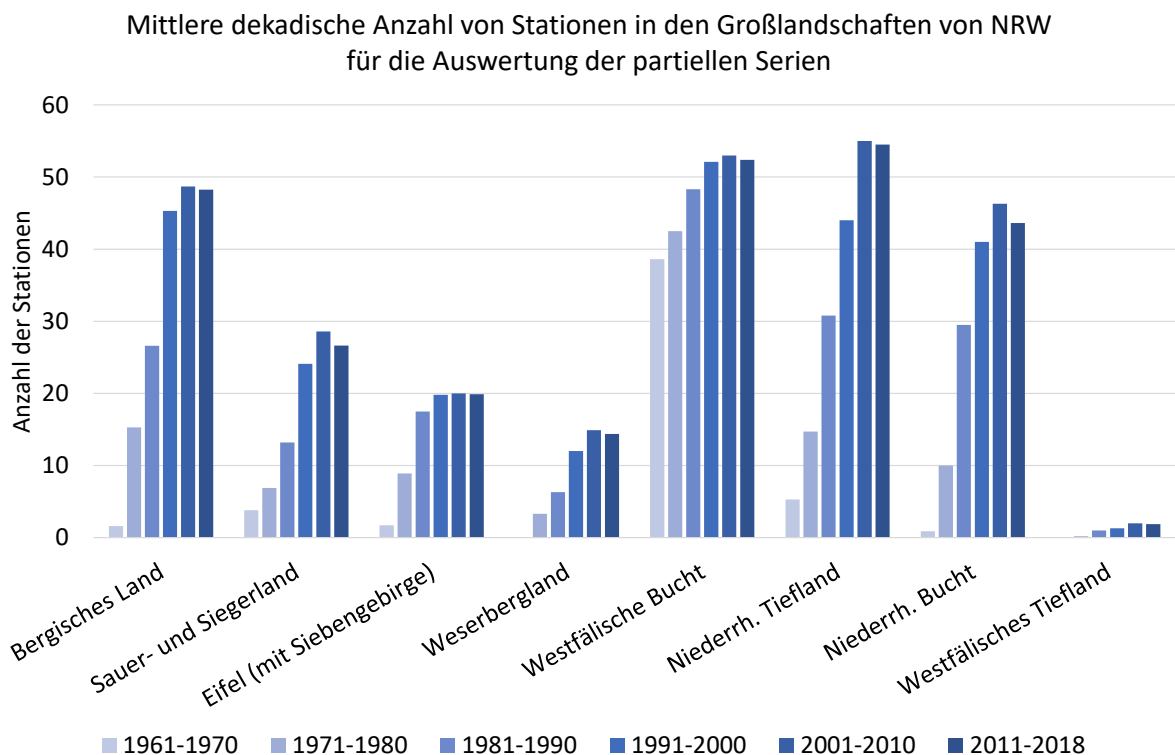


Abbildung 44: Mittlere dekadische Anzahl von Stationen in den Großlandschaften von NRW für die Auswertung der partiellen Serien

Somit liegen nur für das Sauer- und Siegerland, die Westfälische Bucht und das Niederrheinische Tiefland ausreichend Daten für den gesamten Untersuchungszeitraum vor. Für das Bergische Land, die Eifel (mit Siebengebirge), das Weserbergland und die Niederrheinische Bucht fehlen die frühen Jahre,

sodass dort erst ab den 1970er Jahren Auswertungen erfolgen. Im Westfälischen Tiefland sind verlässliche Aussagen erst ab den 1980er Jahren möglich. Trendaussagen können daher auch nur für die drei erst genannten Großlandschaften erfolgen.

Beispielhaft sind für die Westfälische Bucht in Abbildung 45 (pSe 2,71) und Abbildung 46 (pSe 0,5) die mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für die Dauerstufe D = 60 min dargestellt.

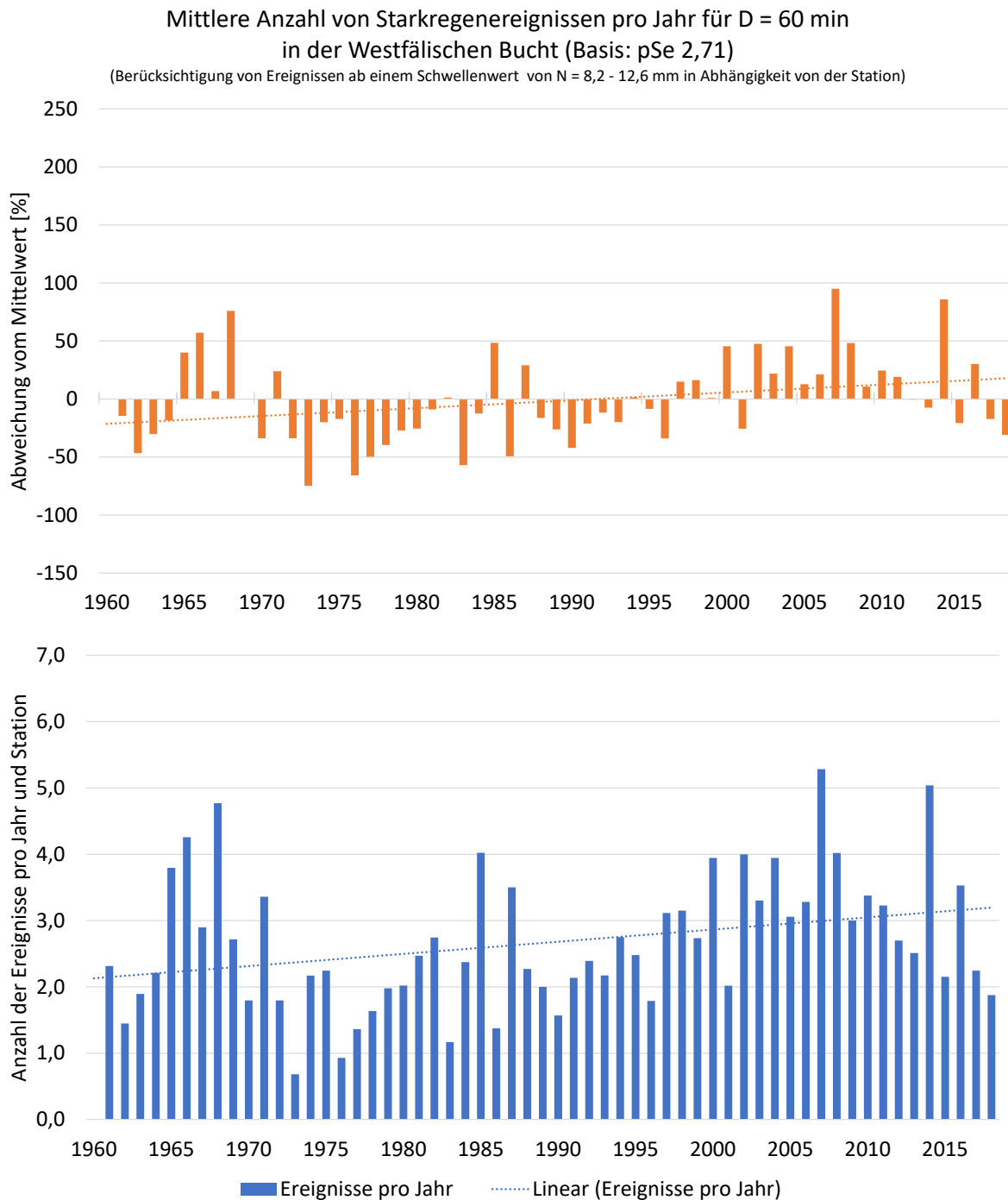


Abbildung 45: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für D = 60 min auf Basis der partiellen pSe 2,71 (Mittelwert für die Westfälische Bucht)

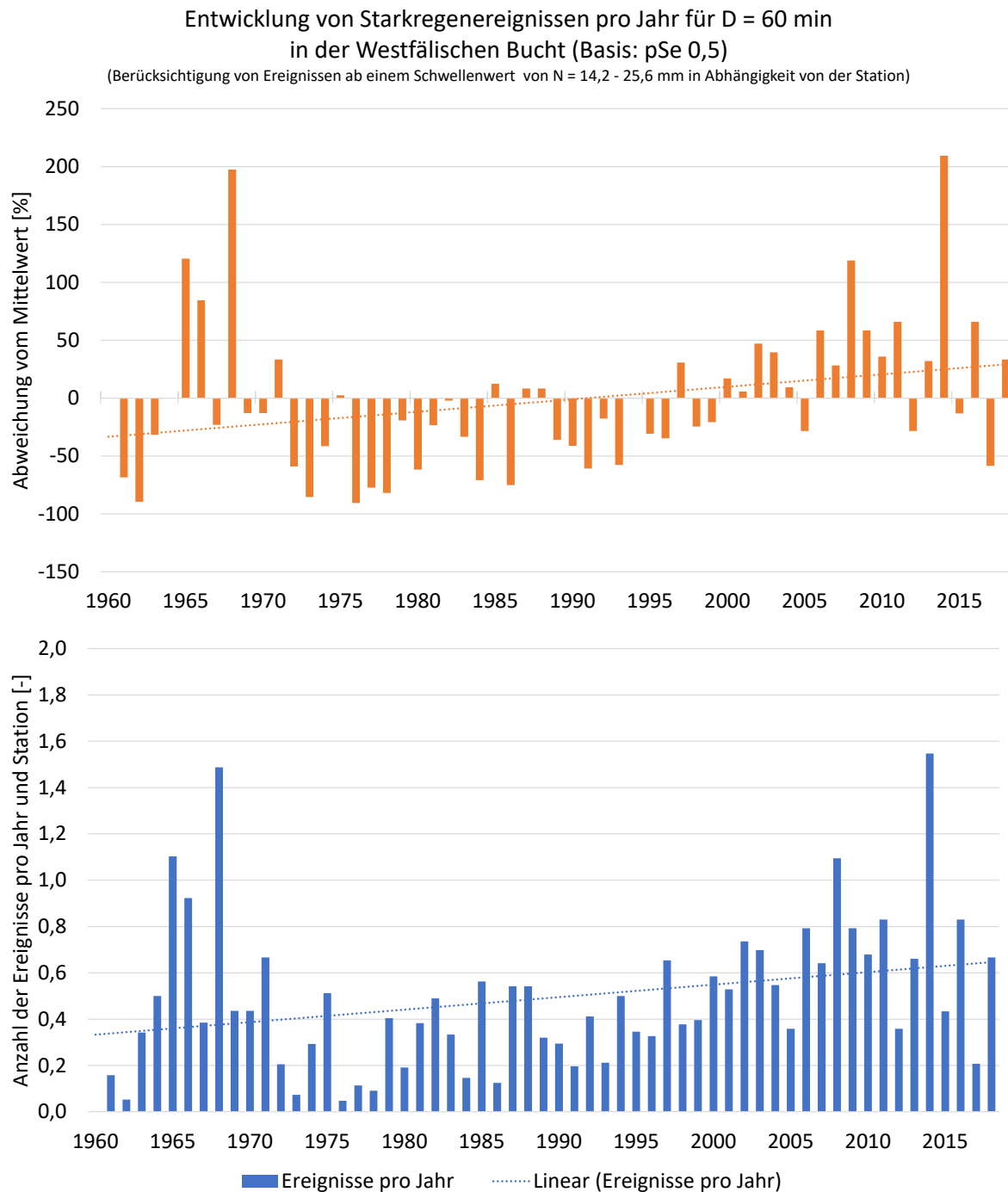


Abbildung 46: Mittlere Anzahl von Starkregenereignissen pro Jahr für $D = 60$ min auf Basis der partiellen Serien $p_{Se} 0,5$ (Mittelwert für die Westfälische Bucht)

Auch in den einzelnen Großlandschaften nehmen insbesondere die konvektiven (kurzen) Starkregen zu, was sich im Signifikanzniveau widerspiegelt. In Abbildung 47 ($p_{Se} 2,71$) und Abbildung 48 ($p_{Se} 0,5$) sind die Signifikanzniveaus nach Mann-Kendall der partiellen Serien für die drei ausgewerteten Großlandschaften und Gesamt-NRW in den einzelnen Dauerstufen gegenübergestellt.

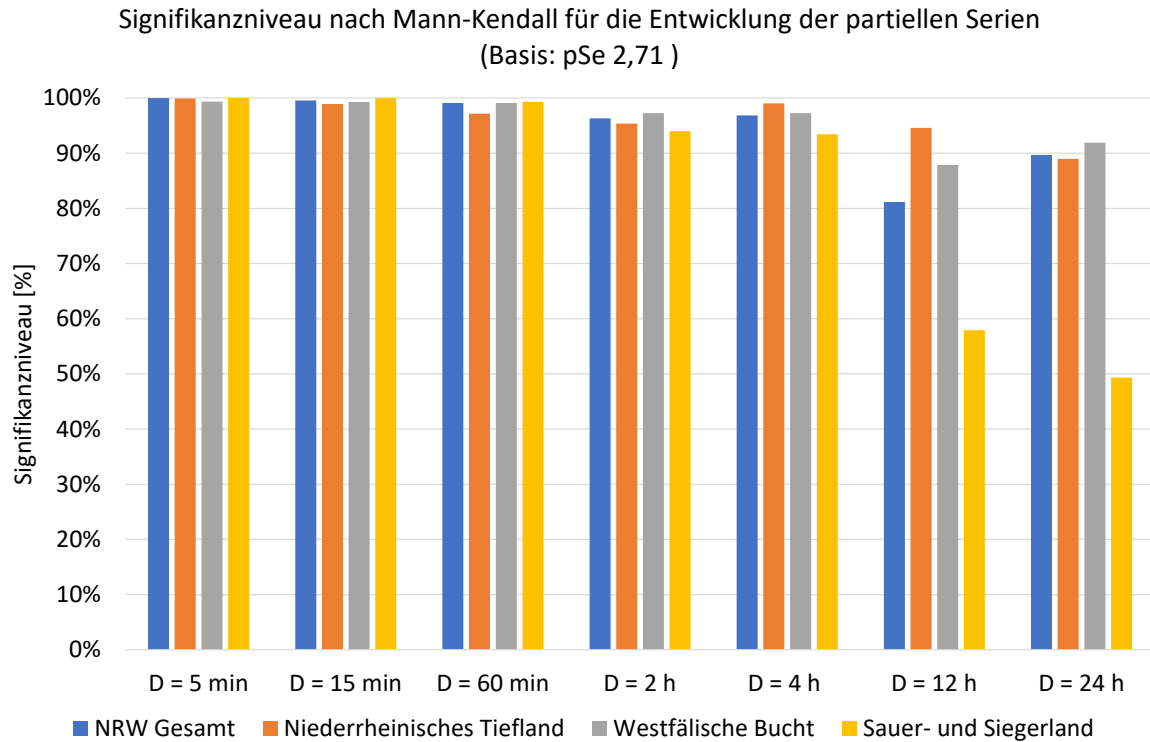


Abbildung 47: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Trendentwicklung der partiellen Serien $p_{Se} 2,71$ zwischen 1961 – 2018 für drei Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW

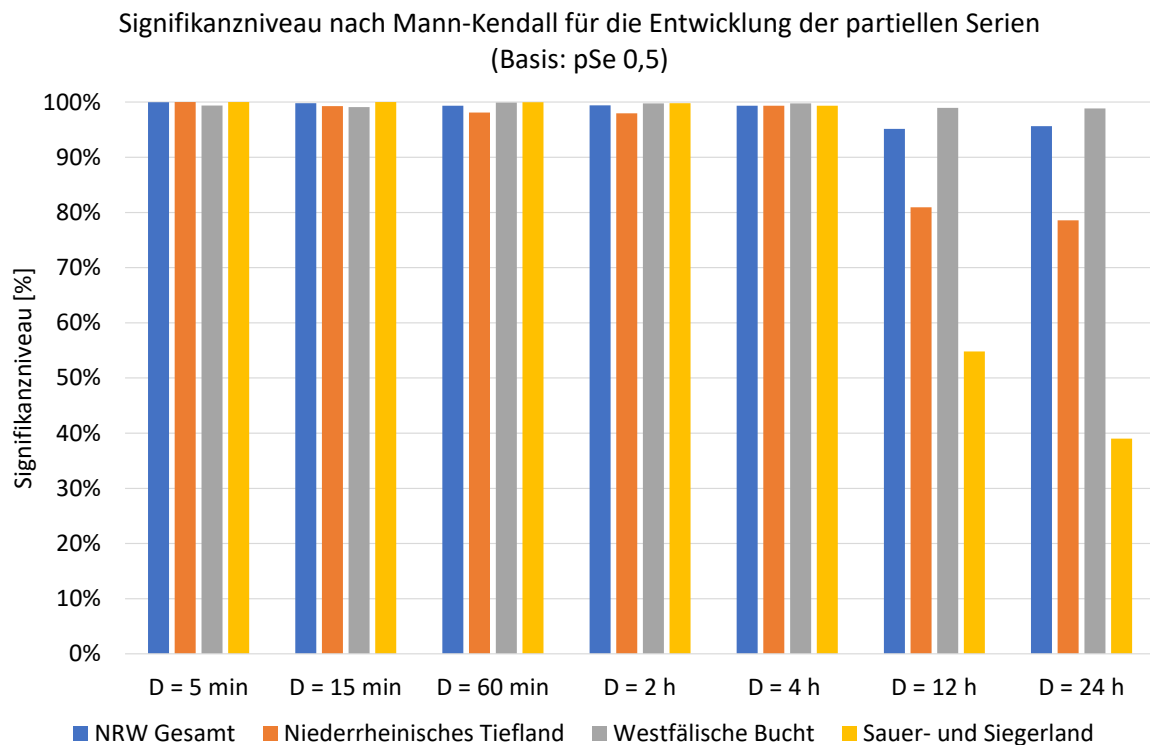


Abbildung 48: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Trendentwicklung der partiellen Serien $p_{Se} 0,5$ zwischen 1961 – 2018 für drei Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW

Auffällig ist, dass in den Dauerstufen $D = 12\text{ h}$ und $D = 24\text{ h}$ das Signifikanzniveau im Sauer- und Siegerland besonders stark sinkt, während es in der Westfälischen Bucht, vor allem bei $p_{Se} 0,5$ kaum abfällt. Auch dies bestätigt die Ergebnisse der Grenzwertuntersuchungen (Kapitel 6.1). Dort zeigt Abbildung

34 sehr anschaulich die Abnahme von Starkregentagen in den letzten acht Jahren in den Gebirgsregionen, während in der Westfälischen Bucht diese Abnahmen nicht zu erkennen sind.

7.2 Auswertung der statistischen Kenngrößen

Es wurden 63 Stationen mit jeweils mindestens 20 Jahren Beobachtungsdauer vor 1991 und nach 1991 nach dem Vorgehen des DWA A-531 (DWA, 2012) ausgewertet und statistische Niederschlagshöhen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer ermittelt. Diese Auswertungen wurden in Zeitscheiben miteinander verglichen: 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 und 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990.

7.2.1 Auswertungen für Gesamt-NRW

Abbildung 49 zeigt den Vergleich mit dem prozentualen Unterschied des Zeitraums 1991 – 2018 im Vergleich zu 1961 – 1990 und Abbildung 50 den Vergleich zwischen 2001 – 2018 und 1961 – 1990.

Es wird ersichtlich, dass die Änderungen in den letzten 18 Jahren deutlicher gegenüber der Referenzperiode waren als die der letzten 28 Jahre. Insbesondere die kurzen Dauerstufen stechen hier heraus, aber auch die Dauerstufen $D = 2$ h und $D = 4$ h haben in 2001 – 2018 erkennbar stärkere Änderungen als in 1991 – 2018.

Diese Entwicklung zeigt besonders deutlich eine direkte Gegenüberstellung der beiden Zeitperioden 1991 – 2018 und 2001 – 2018 (Abbildung 51). Während die Dauerstufen bis hin zu vier Stunden eine deutliche Zunahme erfahren haben, ist dieses für die Dauerstufen ab 24 Stunden nicht der Fall.

Abbildung 52 zeigt exemplarisch die Entwicklung für $D = 60$ Minuten über die verschiedenen Wiederkehrzeiten für die drei betrachteten Zeitscheiben.

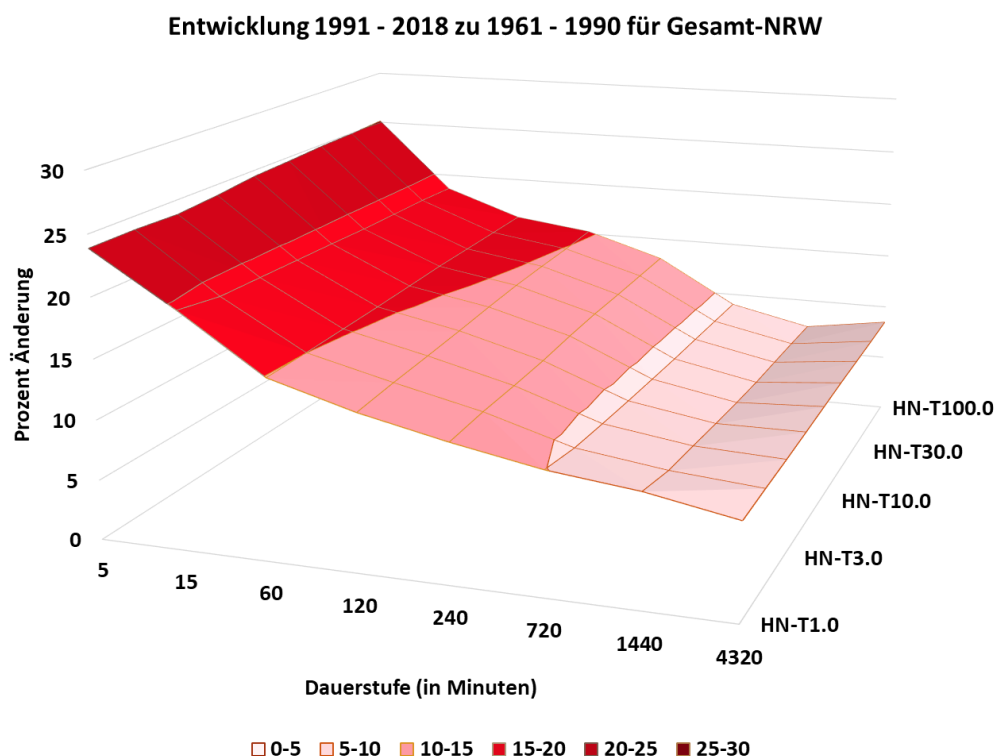


Abbildung 49: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in Gesamt-NRW

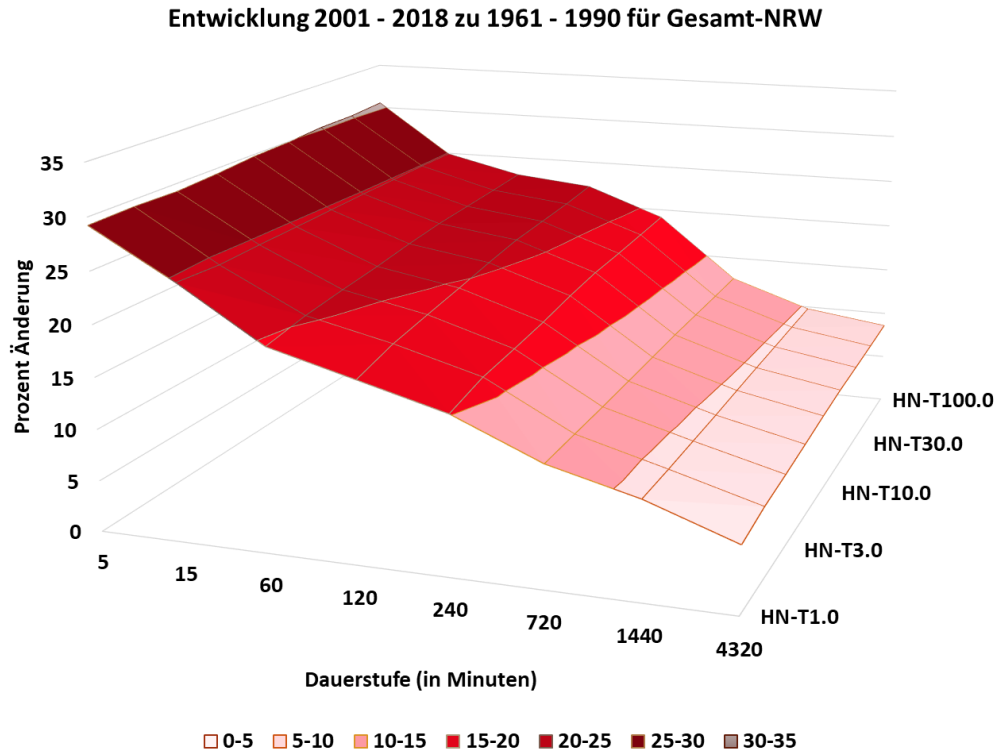


Abbildung 50: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in Gesamt-NRW

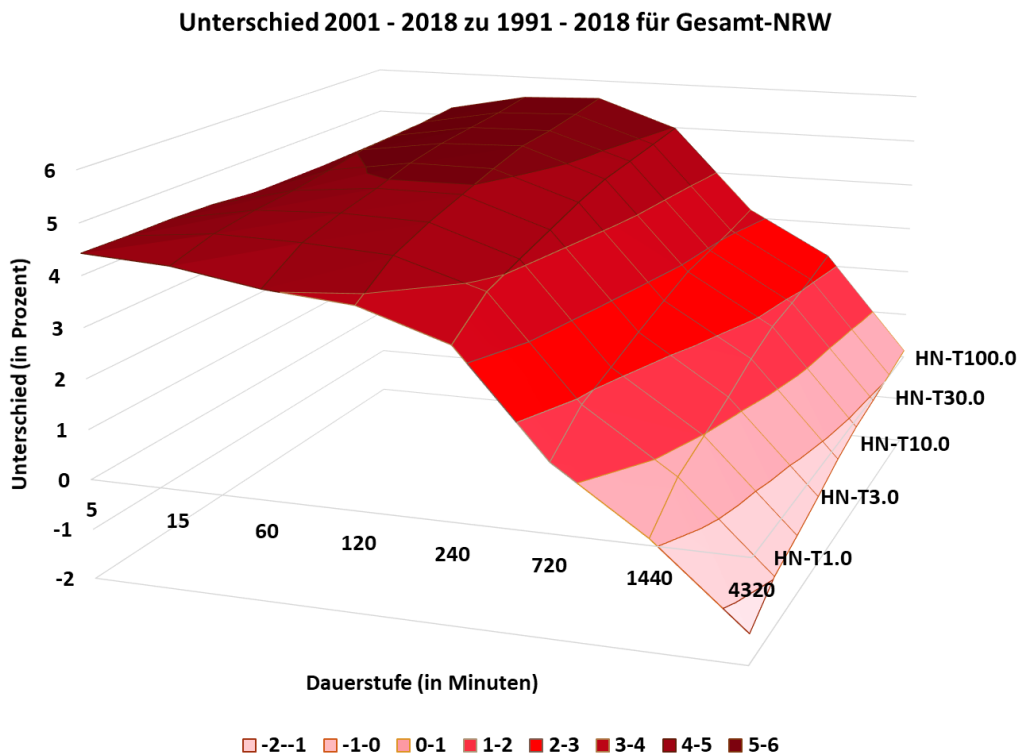


Abbildung 51: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018, mittleres Verhalten in Gesamt-NRW

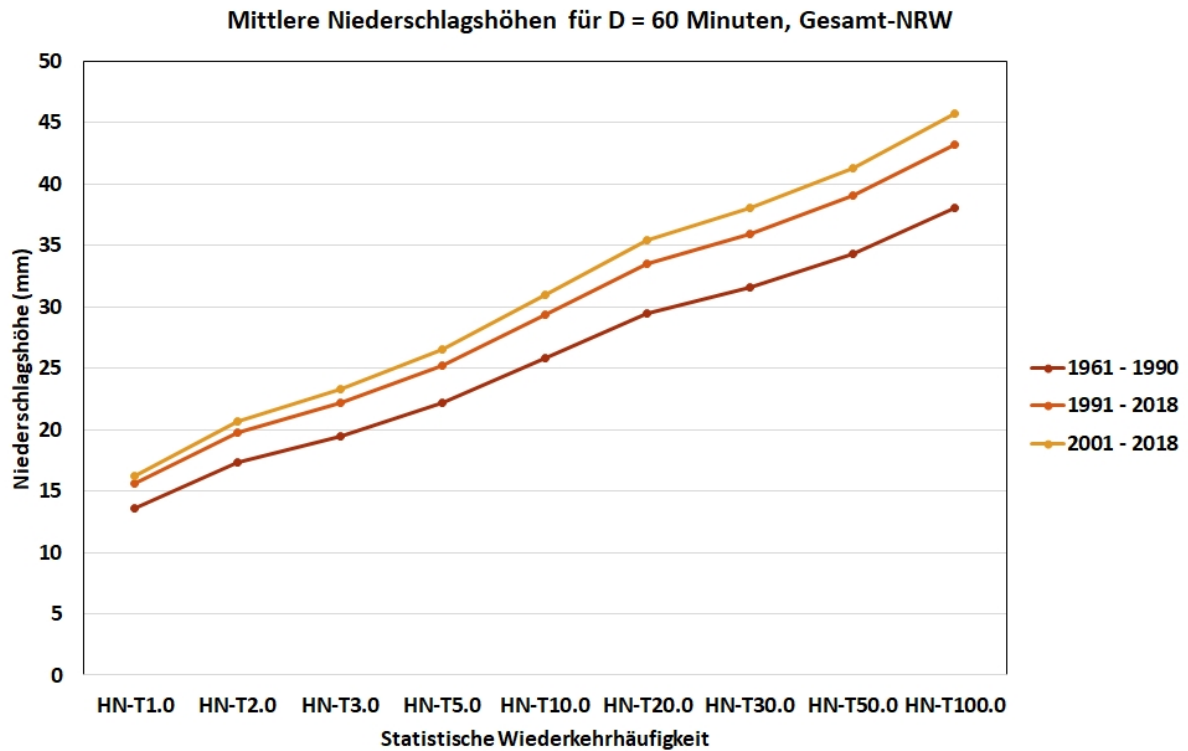


Abbildung 52: Mittlere Niederschlagshöhen in den drei Zeitscheiben für D = 60 Minuten für Gesamt-NRW

Im Mittel hat es in NRW in den letzten 18 Jahren deutlich mehr Starkregen mit einer Dauer bis zu vier Stunden gegeben als zuvor. Die langen Dauerstufen ab einem Tag bleiben davon unberührt. Dieses Ergebnis unterstreicht, dass die Notwendigkeit von Risikoabschätzungen zu Auswirkungen kurzer Starkregen (siehe auch DWA-M 119, 2016) in den letzten zwei Dekaden zugenommen hat.

7.2.2 Auswertungen für die Großlandschaften

Die obigen Stationen verteilen sich wie folgt auf die Großlandschaften (Tabelle 20).

Tabelle 20: Stationsanzahlen pro Großlandschaft für die Auswertungen

Großlandschaft	Anzahl Stationen
Bergisches Land	4
Eifel (mit Siebengebirge)	3
Niederrheinische Bucht	5
Niederrheinisches Tiefland	8
Sauer- und Siegerland	4
Weserbergland	0
Westfälische Bucht	39
Westfälisches Tiefland	0

Damit ist eine Auswertung nur für die Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland und Westfälische Bucht sinnvoll – sie wird für die übrigen nicht durchgeführt.

Westfälische Bucht

Die Auswertung für die Westfälische Bucht zeigt zunächst, dass beim Vergleich der Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2018 eine homogene Zunahme von etwa 12 % konstant über die Dauerstufen bis zu vier Stunden und alle Wiederkehrhäufigkeiten zu verzeichnen ist. Für die größeren Dauerstufen beträgt sie 5 % – 10 % (Abbildung 53). Bei Betrachtung der Jahre 2001 – 2018 und Vergleich mit 1961 – 1990 ist die Steigerung im Bereich bis zu vier Stunden sehr viel ausgeprägter (Abbildung 54): sie liegt zwischen 16 % und 22 %. Der Einfluss der letzten 18 Jahre wird auch aus Abbildung 55 deutlich, in der die Unterschiede der beiden Vergleiche dargestellt sind.

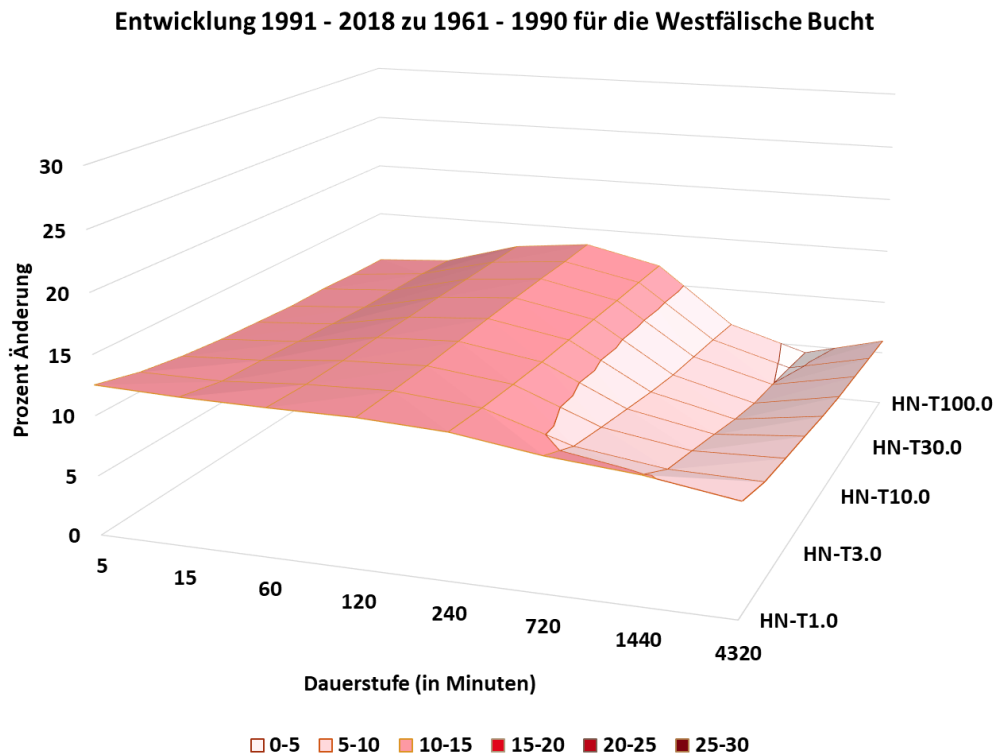


Abbildung 53: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in der Westfälischen Bucht

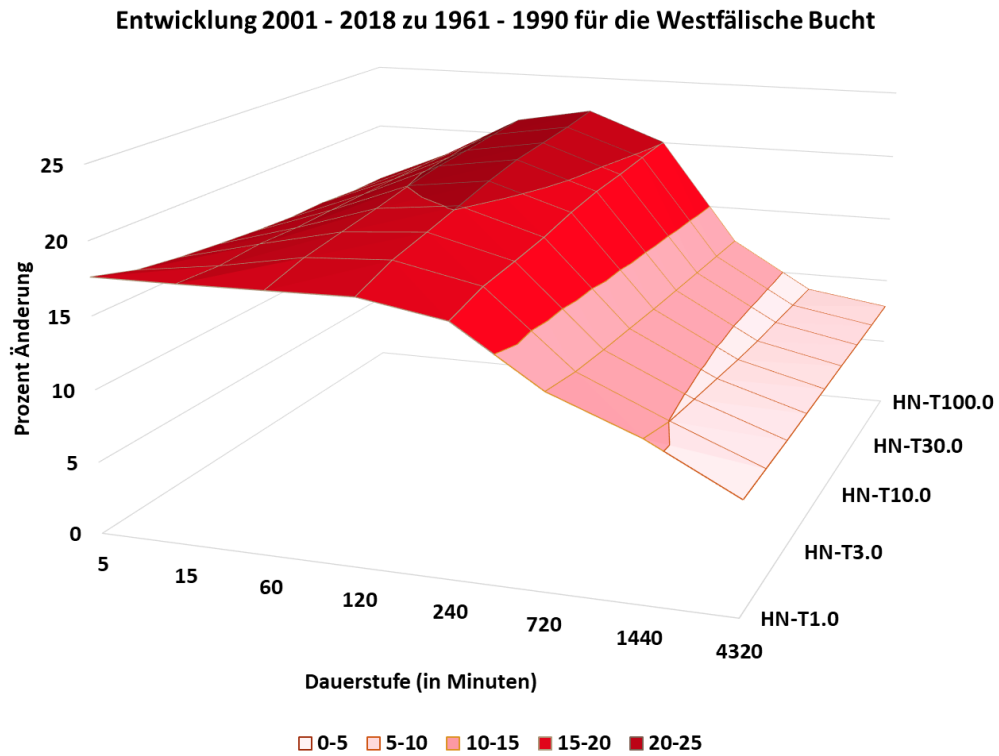


Abbildung 54: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in der Westfälischen Bucht

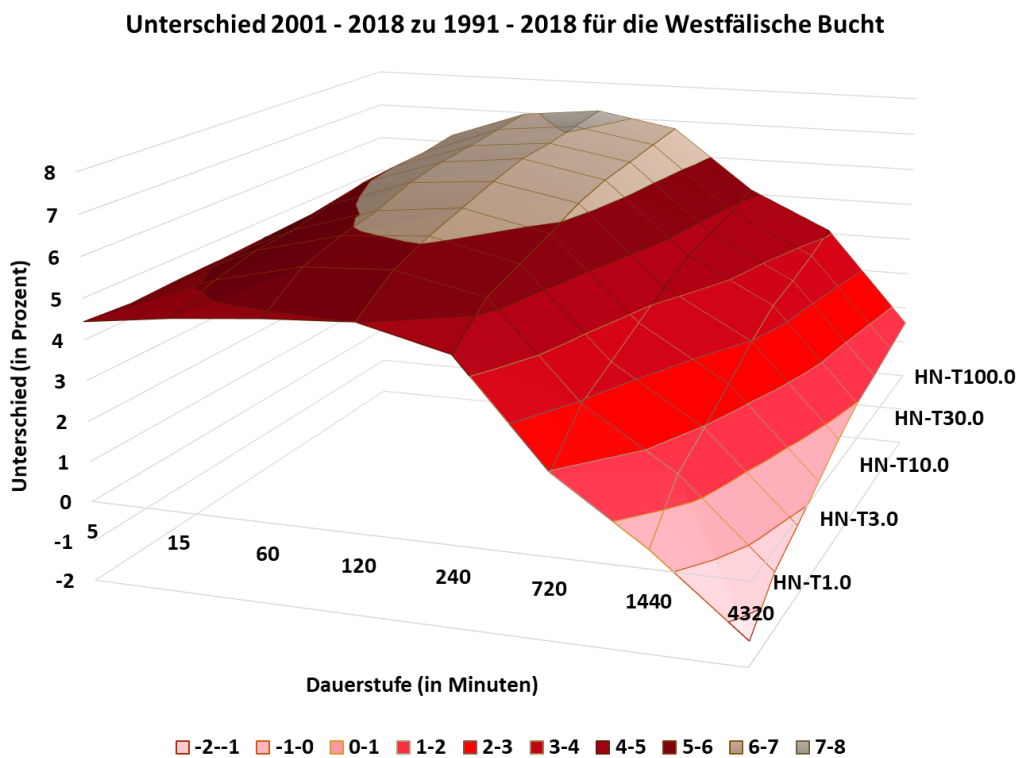


Abbildung 55: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018, mittleres Verhalten in der Westfälischen Bucht

Niederrheinisches Tiefland

Das Niederrheinische Tiefland ist mit acht Stationen vertreten. Dadurch ist die Großlandschaft recht gut repräsentiert. Die Zunahme liegt für den Vergleich 1961 – 1990 mit 1991 – 2018 zwischen 8 % und 28 % (Abbildung 56). Die höchsten Zunahmen – immer mindestens 14 % – betreffen die Dauerstufen bis zu einer Stunde.

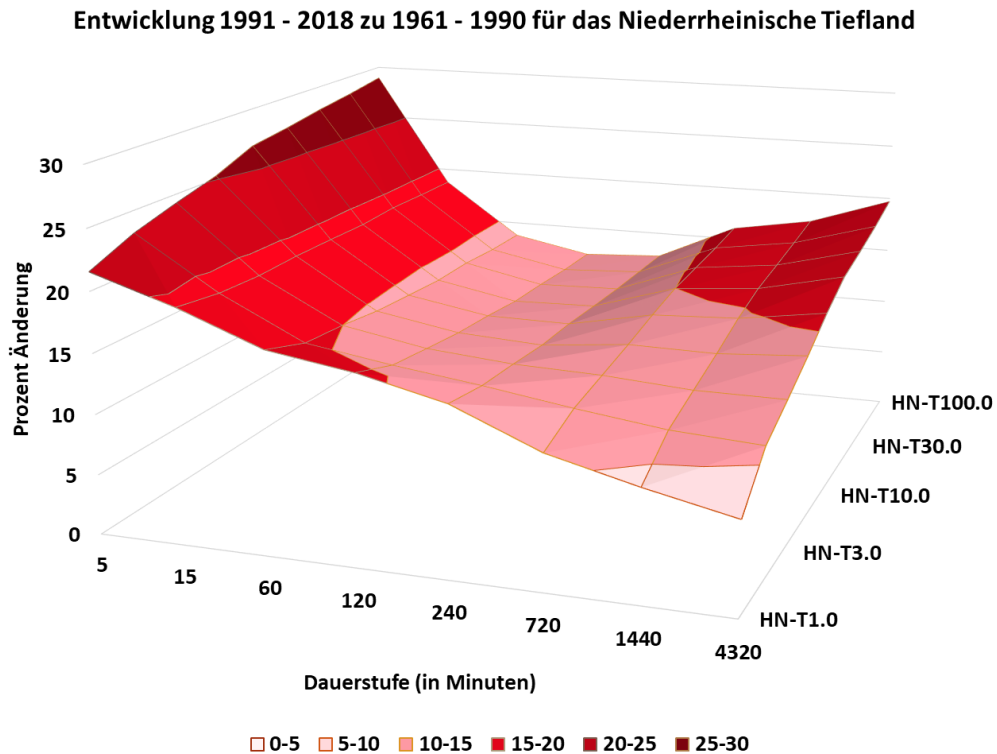


Abbildung 56: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten im Niederrheinischen Tiefland

Auch im Niederrheinischen Tiefland ist die Steigerung beim Vergleich der Zeitscheiben 1961 – 1990 und 2001 – 2018 stärker (Abbildung 57). Die Werte erreichen für die ganz kurzen Dauerstufen (D = 5 Minuten und D = 15 Minuten) 25 % – 40 %. Dieses wird auch beim direkten Vergleich der beiden Zeiträume deutlich (Abbildung 58): bis zur Dauerstufe vier Stunden sind die Zunahmen in 2001 – 2018 durchweg höher.

Entwicklung 2001 - 2018 zu 1961 - 1990 für das Niederrheinische Tiefland

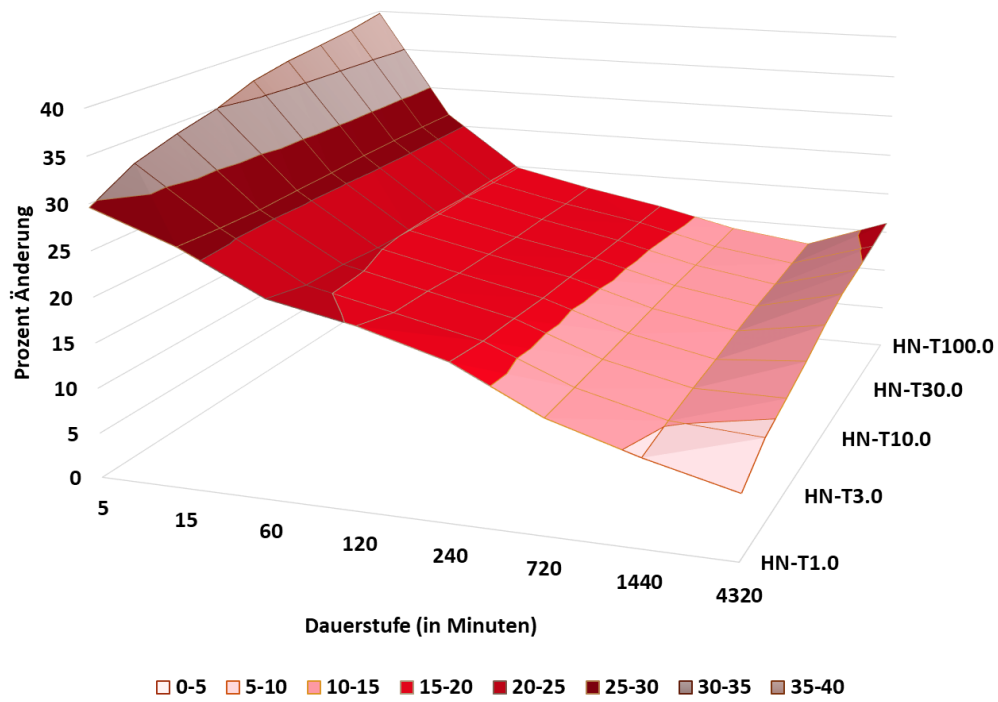


Abbildung 57: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten im Niederrheinischen Tiefland

Unterschied 2001 - 2018 zu 1991 - 2018 für das Niederrheinische Tiefland

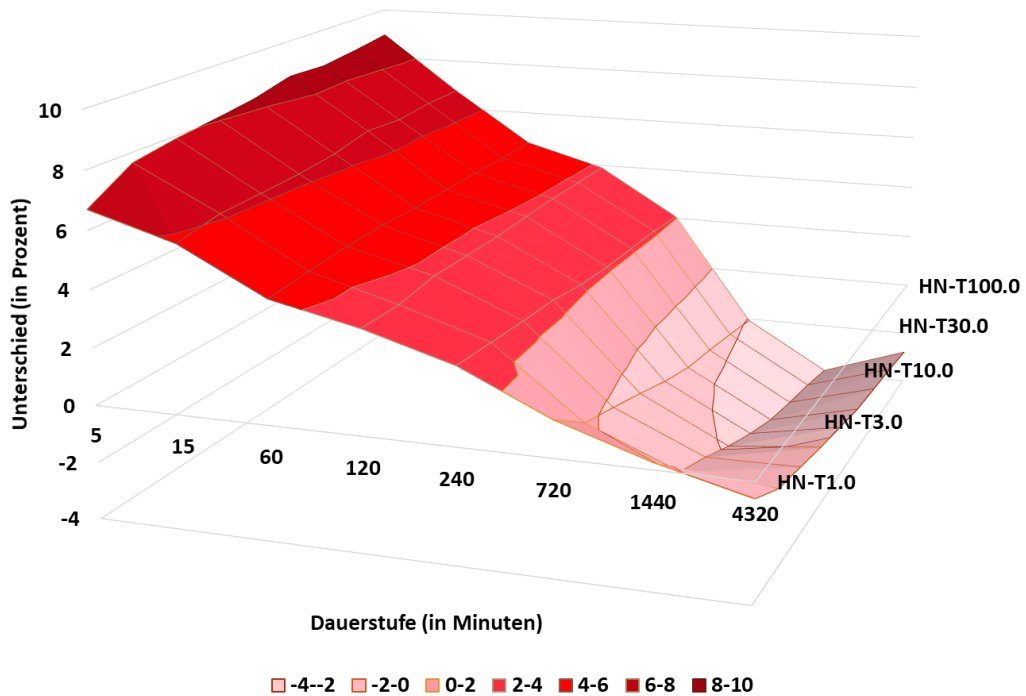


Abbildung 58: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018, mittleres Verhalten im Niederrheinischen Tiefland

Niederrheinische Bucht

Die Niederrheinische Bucht ist nur durch fünf Stationen repräsentiert. Der Vergleich 1961 – 1990 zu 1991 – 2018 zeigt sehr hohe Zunahmen für die kurzen Dauerstufen bis zu einer Stunde (Abbildung 59): 23 % bis 69 %. Bei Betrachtung der Zeiträume 1961 – 1990 und 2001 – 2018 steigt dieser Wert für die Dauerstufen $D = 5$ Minuten und $D = 15$ Minuten auf bis zu 82 % (Abbildung 60). Eine genauere Analyse der Gründe hierfür zeigt, dass hier die Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063) maßgeblich ist: sie hatte im Zeitraum 1961 – 1990 sehr niedrige Werte für die $D = 5$ Minuten und $D = 15$ Minuten, während die Daten in der neueren Zeit mit denen der Nachbarstationen übereinstimmen. Dies führt zu den extremen prozentualen Zunahmen.

Eine Neuberechnung ohne die Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063) zeigt, dass die Ergebnisse (Abbildung 61 und Abbildung 62) von der Größenordnung denen des Niederrheinischen Tieflands entsprechen. Die Verteilung der Unterschiede über die einzelnen Dauerstufen unterscheidet sich dagegen stärker, da in der Niederrheinischen Bucht auch bei großen Dauerstufen deutliche Zunahmen in den letzten zwei Jahrzehnten zu verzeichnen waren (Abbildung 63).

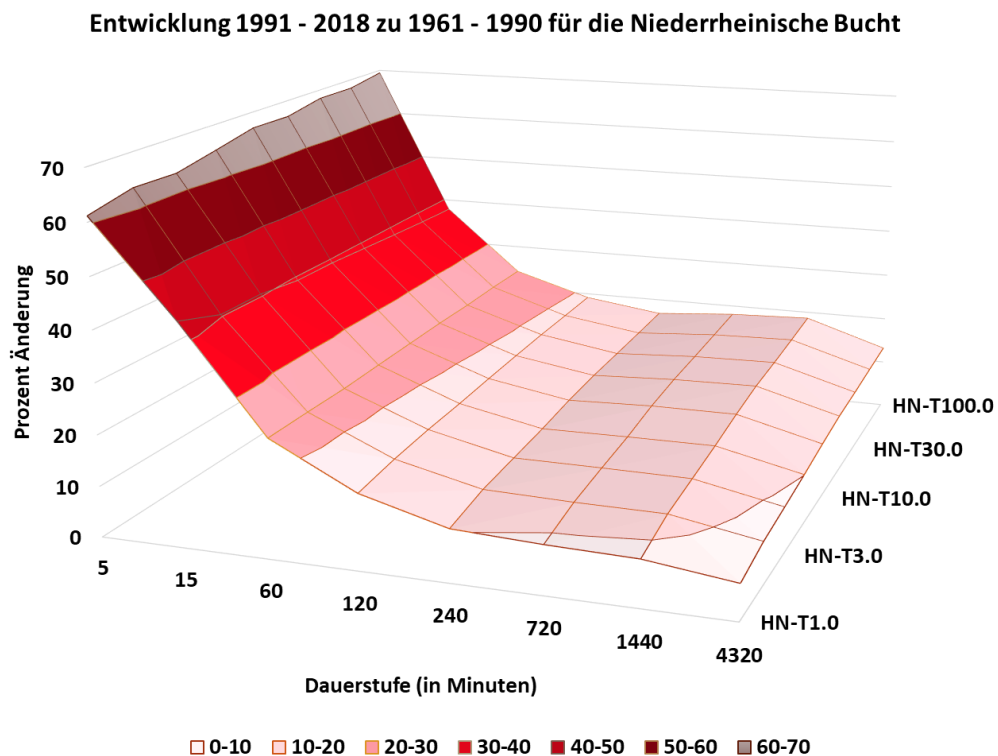


Abbildung 59: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht

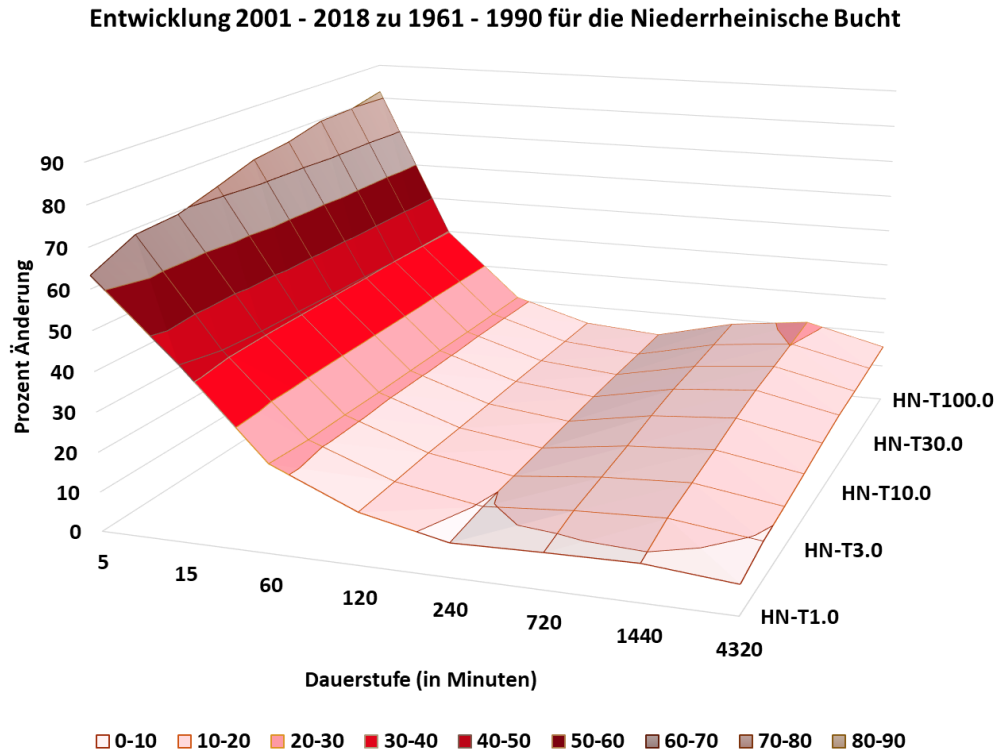


Abbildung 60: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht

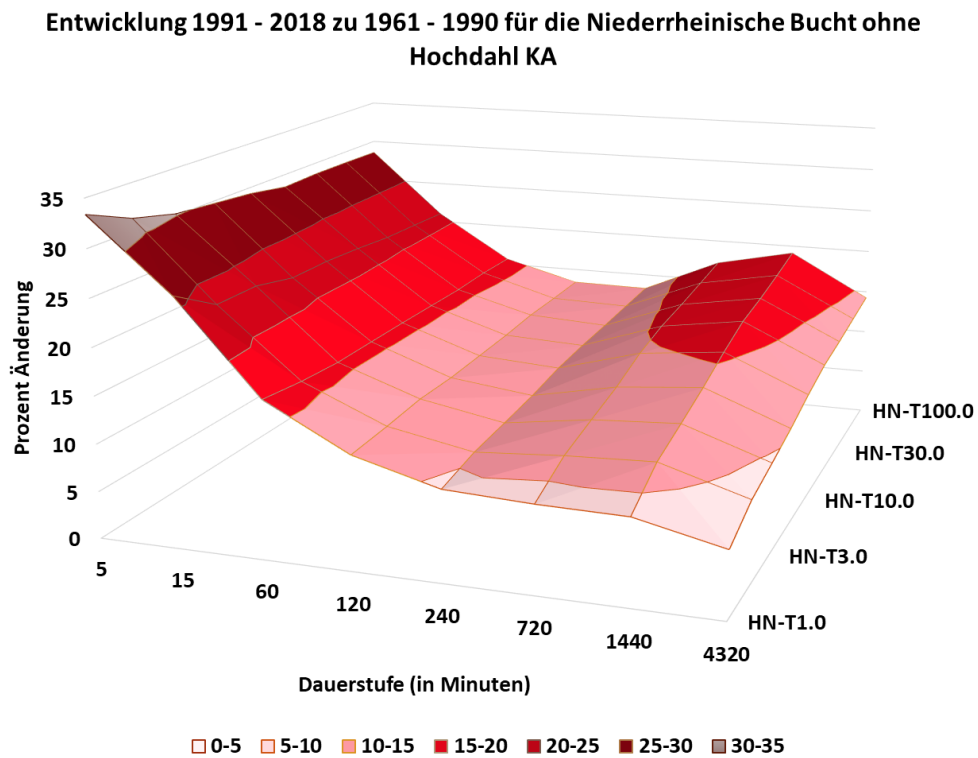


Abbildung 61: Vergleich der Starkregenauswertungen 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990, mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht ohne Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063)

Entwicklung 2001 - 2018 zu 1961 - 1990 für die Niederrheinische Bucht ohne Hochdahl KA

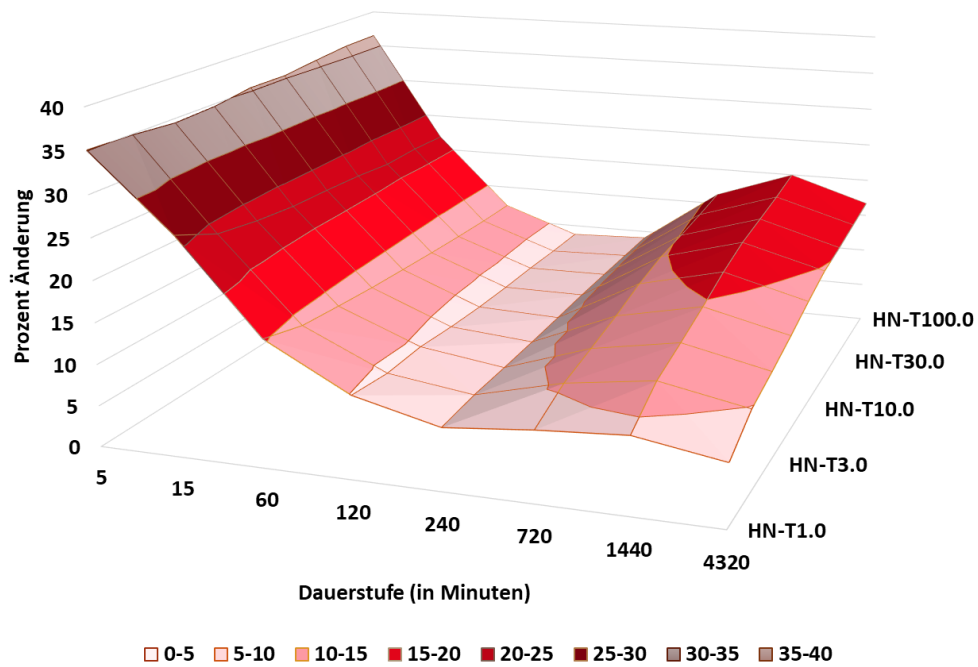


Abbildung 62: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 , mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht ohne Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063)

Unterschied 2001 - 2018 zu 1991 - 2018 für die Niederrheinische Bucht ohne Hochdahl KA

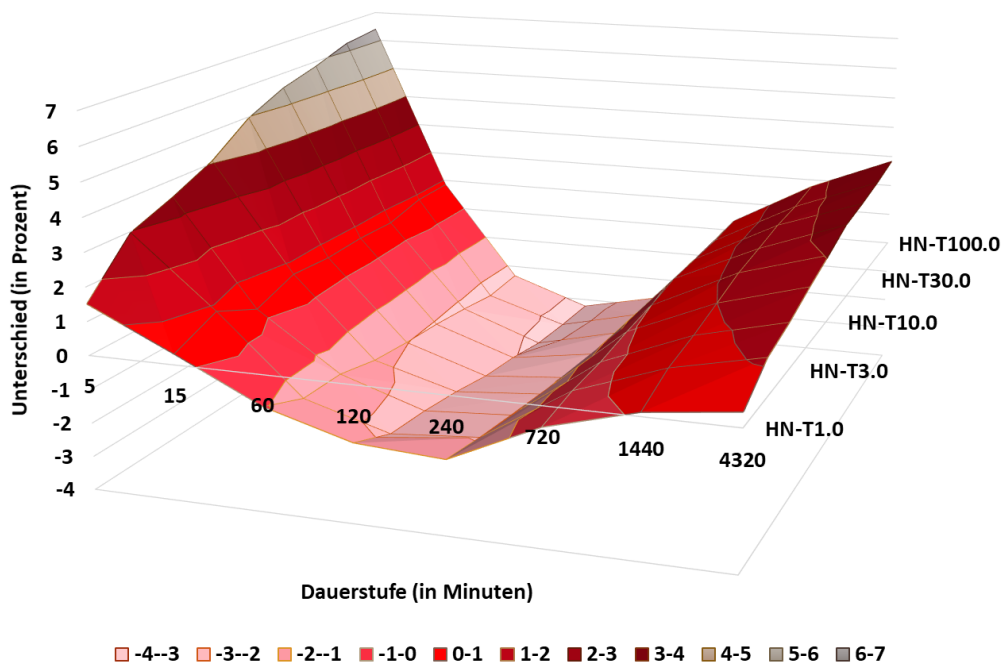


Abbildung 63: Vergleich der Starkregenauswertungen 2001 – 2018 gegenüber 1991 – 2018 , mittleres Verhalten in der Niederrheinischen Bucht ohne Station Erkrath-Unterfeldhaus_KA_BRW (47070063)

8 Statistische Auswertungen von Radardaten

Die Radardaten dieser Untersuchung stammen aus dem DX-Offline-Kooperationsprojekt der Wasserwirtschaftsverbände NRW und des LANUV NRW mit dem Deutschen Wetterdienst (Treis et al., 2016, hydro & meteo GmbH, Jessen, 2018 und 2020). Die Radardaten liegen auf einem 1 km x 1 km-Raster für NRW vor und haben eine zeitliche Auflösung von 5 Minuten („NRW-Komposit“). Die Beobachtungslänge ist vom 01.11.2000 bis zum 01.11.2018.

Wesentliche Eigenschaften der Daten sind, dass sie eine Kombination der Messungen aus ca. 900 Stationen und von vier Radarstandorten sind. Sowohl die Stationsdaten als auch die Radardaten wurden im Rahmen des DX-Offline-Kooperationsprojekts einer umfangreichen Qualitätsprüfung unterworfen, bei der sowohl die Eliminierung von unplausiblen Daten als auch die Korrektur von Daten wesentliche Arbeitspunkte waren.

8.1 Bereichsgrenzenwahl für die Niederschlagsstatistiken auf Basis der Radarniederschlagsdaten

Für die flächendeckenden Statistiken aus den Radardaten soll im Vorfeld festgestellt werden, welche Bereichsgrenzen sich für eine automatische Auswertung am besten eignen. Diese sollen dann fest für die Auswertung eingestellt werden.

Hierfür wurden für 20 Orte in NRW, an denen sich auch Stationen von unterschiedlichen Betreibern befinden, die Radardaten zunächst individuell ausgewertet (Abbildung 64). Die Ergebnisse bezüglich der ermittelten optimalen Bereichsgrenzen für eine Statistik nach DWA A-531 (2012) finden sich in Tabelle 21 als Übersicht. Es wurde jeweils die Kombination an Bereichsgrenzen gewählt, die für u und w ein gemeinsames Minimum (als Summe) bei den Variationskoeffizienten (Gütekriterium) erzielt.

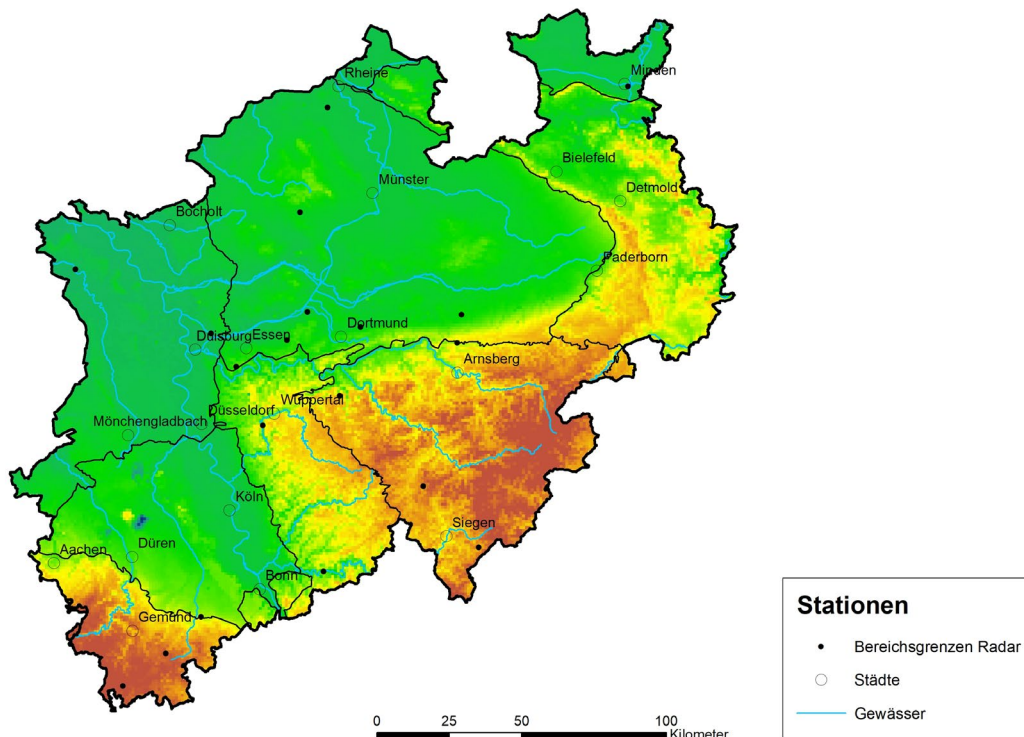


Abbildung 64: Verteilung der Örtlichkeiten für die Bereichsgrenzenwahl

Tabelle 21: Örtlichkeiten, für die Extremwertstatistiken aus den Radardaten erstellt wurden

Nr	Station	Pixelkoordinaten	Bereichs- grenze I	Bereichs- grenze II	Var u	Var w
1	Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474)	288_229	60	540	0,019	0,058
2	Essen-Bredenev_BRW_LANUV (45070215)	247_164	90	720	0,022	0,074
3	Netphen-Helgersdorf_NRW (51159034)	309_248	90	720	0,019	0,042
4	Bochum-Grumme_DMT_EGLV (45095005)	237_181	60	1080	0,02	0,056
5	Castrop-Rauxel-Habinghorst_EGLV (44095105)	228_189	180	1440	0,022	0,044
6	Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	237_204	60	720	0,016	0,092
7	Oberhausen-Stadtmitte_EGLV (44070015)	235_155	90	1440	0,026	0,04
8	Dülmen-Rorup_KA_EGLV (40097118)	193_186	180	1440	0,026	0,038
9	Möhnesee-Günne_Möhnetalsperre_RV (45140016)	238_240	60	540	0,019	0,081
10	Soest_KA_EGLV (44145026)	229_241	60	540	0,02	0,041
11	Nettersheim-Zingsheim_ErftV (54050031)	346_139	120	1080	0,024	0,054
12	Goch_KA_NiersV (43020023)	213_108	240	2880	0,027	0,076
13	Neuenkirchen-Sankt_Arnold_NRW (37107108)	157_195	60	540	0,021	0,033
14	Dahlem-Esterbach_Gestüt_NRW (55040051)	357_124	60	2880	0,029	0,039
15	Euskirchen-Niederkastenholz_ErftV (53060061)	333_152	60	540	0,022	0,036
16	Minden-Kernstadt_NRW (37190027)	150_299	240	2880	0,025	0,062
17	Warburg-Welda_NRW (45200027)	243_313	60	1440	0,029	0,035
18	Hagen-Selbecke_NRW (46108014)	257_200	60	720	0,015	0,06
19	Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093)	267_173	90	540	0,02	0,052
20	Eitorf_KA_NRW (52100012)	318_194	90	1080	0,021	0,031

Ein Blick auf die Histogramme für die Bereichsgrenzen I und II zeigt ein unterschiedliches Verhalten: während für die Bereichsgrenze I (Abbildung 65) augenscheinlich der Median „90 Minuten“ ein geeigneter Wert ist, erscheint die Wahl für Bereichsgrenze II (Abbildung 66) schwieriger, da die Werte mehr streuen. Der Wert „1080 Minuten (18 Stunden)“ ist hier der entsprechende Wert des Medians.

Histogramm Bereichsgrenze I

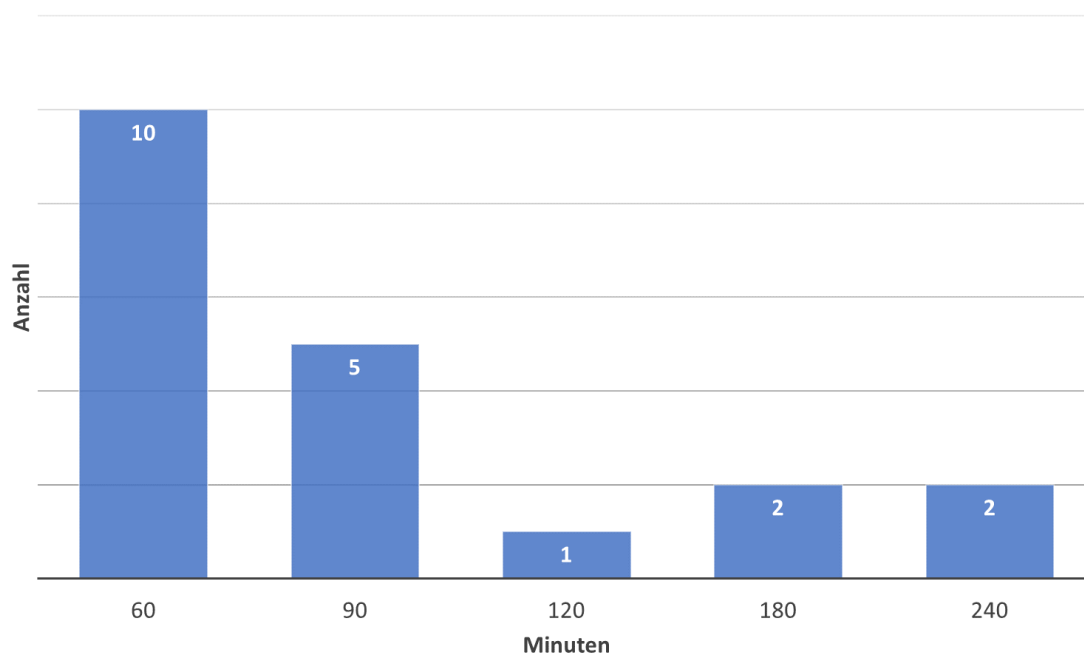


Abbildung 65: Bereichsgrenze I: Auftretenshäufigkeiten in der Stichprobe

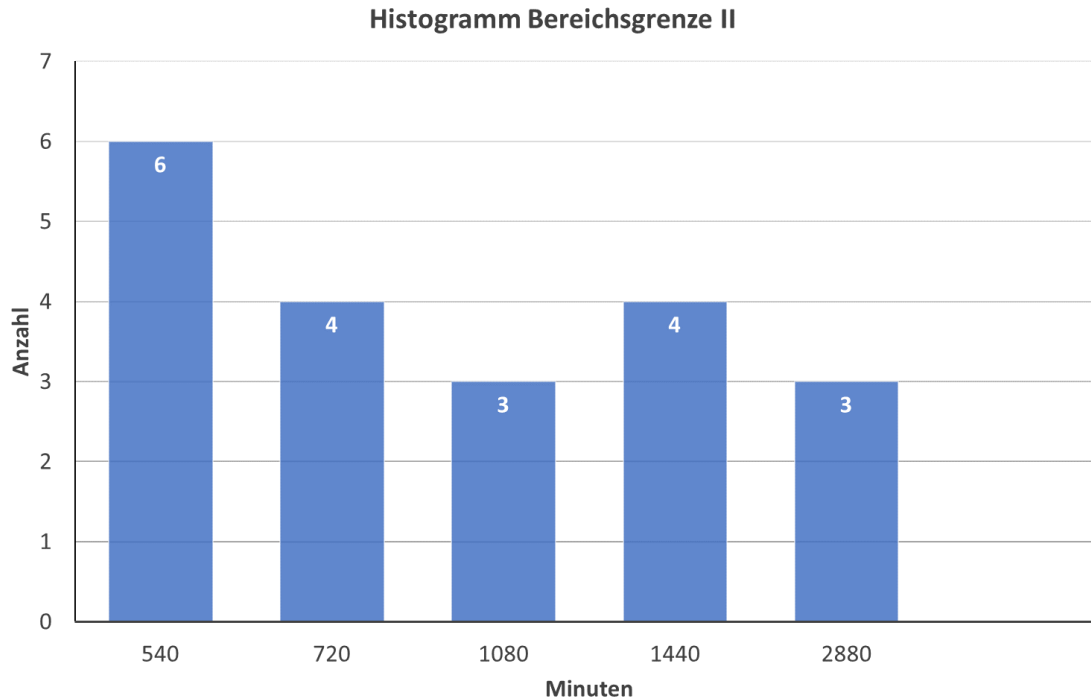


Abbildung 66: Bereichsgrenze II: Auftretenshäufigkeiten in der Stichprobe

Als Folge wurden für sämtliche Örtlichkeiten die Variationskoeffizienten der Kombinationen aus der Bereichsgrenze I (60 bis 90 Minuten) und der Bereichsgrenze II (540 Minuten (9 Stunden) bis 1440 Minuten (1 Tag)) berechnet. Das Ergebnis findet sich in Tabelle 22. Es wird deutlich, dass nur wenige Varianten für alle Stationen einen vertretbaren Variationskoeffizienten erzielen. Hierbei liegt Variante 6 geringfügig besser als die Varianten 7, 5 und 1. Die Variante 6 zeichnet sich dadurch aus, dass hier die Summe der mittleren Abweichungen am geringsten und auch nur ein Variationskoeffizient größer als 0,1 ist (nur eine Station, die auch bei allen anderen Kombinationen hohe Variationskoeffizienten hat). Deshalb wird festgelegt, dass die statistische Auswertung der Radardaten mit den festen Bereichsgrenzen 90 Minuten und 1080 Minuten (12 Stunden) durchgeführt werden soll. Die Bereichsgrenzenwahl entspricht in etwa den festen Bereichsgrenzen beim KOSTRA-DWD (60 Minuten und 12 Stunden).

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

Tabelle 22: Variationskoeffizienten (u = oberer Wert, w = unterer Wert) für die Bereichsgrenzwahl – in rot die Werte > 0.1 , die zur Abwertung führen

Nr	Station	Pixelkoordinaten	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
	Bereichsgrenze I		60	60	60	60	90	90	90	90
	Bereichsgrenze II		540	720	1080	1440	540	720	1080	1440
1	Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474)	288_229	0,019	0,021	0,025	0,028	0,020	0,022	0,025	0,028
			0,058	0,073	0,102	0,123	0,061	0,079	0,108	0,127
2	Essen-Bredenev_BRW_LA- NUV (45070215)	247_164	0,023	0,020	0,017	0,016	0,025	0,022	0,020	0,020
			0,083	0,076	0,082	0,126	0,078	0,074	0,082	0,124
3	Netphen-Helgersdorf_NRW (51159034)	309_248	0,016	0,016	0,020	0,024	0,019	0,019	0,023	0,027
			0,062	0,050	0,046	0,050	0,054	0,042	0,043	0,049
4	Bochum-Grumme_ DMT_EGLV (45095005)	237_181	0,024	0,021	0,020	0,019	0,026	0,024	0,023	0,023
			0,065	0,059	0,056	0,059	0,072	0,067	0,065	0,066
5	Castrop-Rauxel-Habing- horst_EGLV (44095105)	228_189	0,033	0,029	0,025	0,022	0,033	0,029	0,025	0,022
			0,105	0,101	0,086	0,075	0,097	0,089	0,071	0,058
6	Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	237_204	0,017	0,016	0,017	0,017	0,018	0,017	0,018	0,018
			0,096	0,092	0,102	0,180	0,096	0,093	0,103	0,173
7	Oberhausen-Stadtmitte_EGLV (44070015)	235_155	0,031	0,027	0,023	0,022	0,034	0,030	0,027	0,026
			0,091	0,085	0,065	0,046	0,088	0,080	0,058	0,040
8	Dülmen-Rorup_KA_EGLV (40097118)	193_186	0,030	0,027	0,024	0,023	0,031	0,029	0,026	0,024
			0,081	0,078	0,071	0,072	0,072	0,067	0,059	0,059
9	Möhnesee-Günne_Möhnetal- sperre_RV (45140016)	238_240	0,019	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024
			0,081	0,094	0,123	0,166	0,087	0,097	0,122	0,160
10	Soest_KA_EGLV (44145026)	229_241	0,020	0,020	0,020	0,021	0,022	0,022	0,023	0,023
			0,041	0,044	0,057	0,086	0,043	0,049	0,062	0,090
11	Nettersheim-Zings- heim_ErftV (54050031)	346_139	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,024
			0,075	0,073	0,065	0,067	0,071	0,066	0,057	0,059
12	Goch_KA_NiersV (43020023)	213_108	0,031	0,026	0,022	0,020	0,031	0,027	0,023	0,021
			0,151	0,156	0,152	0,169	0,143	0,143	0,136	0,149
13	Neuenkirchen-Sankt_ Arnold_NRW (37107108)	157_195	0,021	0,021	0,022	0,024	0,024	0,024	0,025	0,027
			0,033	0,036	0,040	0,044	0,034	0,037	0,039	0,043
14	Dahlem-Esterbach_Ge- stüt_NRW (55040051)	357_124	0,039	0,039	0,038	0,038	0,040	0,040	0,039	0,038
			0,038	0,036	0,039	0,046	0,040	0,038	0,042	0,048
15	Euskirchen-Niederkasten- holz_ErftV (53060061)	333_152	0,022	0,022	0,022	0,023	0,024	0,025	0,024	0,025
			0,036	0,036	0,038	0,046	0,036	0,036	0,038	0,045
16	Minden-Kernstadt_NRW (37190027)	150_299	0,030	0,029	0,028	0,027	0,030	0,029	0,029	0,027
			0,091	0,103	0,111	0,111	0,079	0,086	0,089	0,088
17	Warburg-Welda_NRW (45200027)	243_313	0,032	0,030	0,029	0,029	0,035	0,034	0,033	0,034
			0,037	0,037	0,036	0,035	0,039	0,038	0,036	0,036
18	Hagen-Selbecke_NRW (46108014)	257_200	0,015	0,015	0,018	0,021	0,017	0,017	0,021	0,023
			0,061	0,060	0,060	0,079	0,059	0,059	0,059	0,078
19	Wuppertal-Buchenhofen_KA _WV (47080093)	267_173	0,018	0,019	0,023	0,025	0,020	0,021	0,025	0,026
			0,056	0,062	0,081	0,098	0,052	0,061	0,081	0,097
20	Eitorf_KA_NRW (52100012)	318_194	0,020	0,018	0,017	0,016	0,023	0,021	0,021	0,020
			0,047	0,046	0,049	0,056	0,034	0,032	0,031	0,035

8.2 Sensitivitätsanalysen zu statistischen Auswertungen an ausgewählten Stationen und korrespondierenden Radardaten

Ziel dieser Sensitivitätsanalysen ist es, die Robustheit statistischer Auswertungen auf Basis kurzer Radarniederschlagszeitreihen gegenüber langen Stationszeitreihen zu untersuchen. Dabei wird eine zweistufige Untersuchung durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Einflüsse nicht zu vermischen. Zunächst wird der Einfluss der Zeitreihenlänge auf die statistischen Niederschlagshöhen untersucht. Anschließend wird der Einfluss der unterschiedlichen Messtechnik auf die Statistik analysiert.

Als Basis wurden 20 Stationen mit langen kontinuierlichen Zeitreihen ausgewählt. Die Auswahl der Stationen erfolgte neben einer räumlichen Verteilung in NRW in Abhängigkeit von der Lage bzw. Entfernung zum Radarstandort (Messhöhe und Größe des Messvolumens). Daher wurden teilweise auch Stationen mit in die Betrachtung genommen, die nicht als „lange Zeitreihen“ für Trenduntersuchungen verwendet wurden, da sie nicht den gesamten Zeitraum 1961 – 2018 abdecken. Abbildung 67 gibt einen Überblick über die räumliche Verteilung der 20 Stationen und Tabelle 23 über die betrachteten Zeiträume.

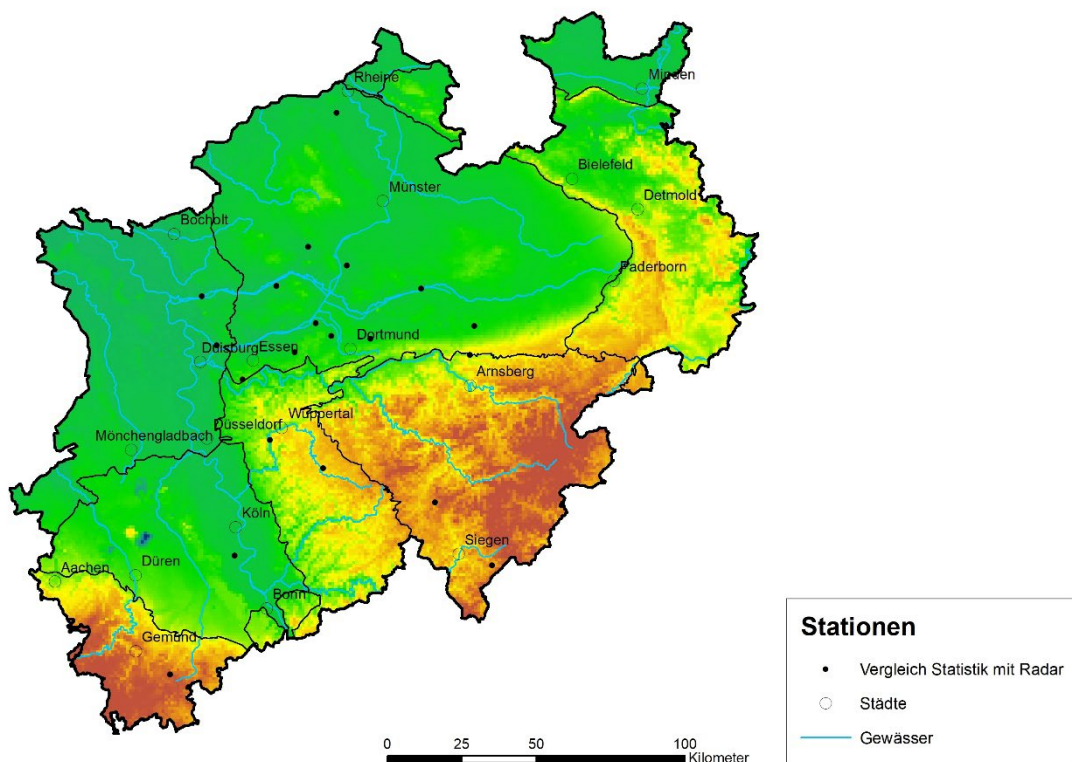


Abbildung 67: Räumliche Verteilung der verwendeten Niederschlagsstationen für Sensitivitätsanalysen zu statistischen Auswertungen von Radardaten vs. Stationsdaten

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

Tabelle 23: *Tabellarische Zusammenstellung der verwendeten Niederschlagsstationen für Sensitivitätsanalysen zu statistischen Auswertungen von Radardaten vs. Stationsdaten*

Station	von	bis
Hückeswagen_Bever-Talsperre_WV (48100042)	01.11.1968	01.11.2018
Bochum-Grumme_DMT_EGLV (45095005)	01.11.1960	01.11.2018
Castrop-Rauxel-Habinghorst_EGLV (44095105)	01.11.1960	01.11.2018
Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	01.11.1960	01.11.2018
Dortmund-Kruckel_EGLV (45105005)	01.11.1960	01.11.2018
Dülmen_KA_EGLV (41097118)	01.11.1960	01.11.2018
Essen-Bredeney_BRW_LANUV (45070215)	01.11.1960	01.11.2018
Hamm-West_KA_EGLV (43120035)	01.11.1960	01.11.2018
Netphen-Helgersdorf_NRW (51159034)	01.11.1960	01.11.2017
Hünxe_KA_EGLV (43065005)	01.11.1960	01.11.2018
Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)	01.11.1960	01.11.2018
Marl-Hamm_KA_EGLV (43080025)	01.11.1960	01.11.2018
Mölnesee-Günne_Mölnetal-sperre_RV (45140016)	01.11.1960	01.11.2018
Oberhausen-Stadtmitte_EGLV (44070015)	01.11.1960	01.11.2018
Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474)	01.11.1960	01.11.2017
Köln-Rondorf_ErftV (51075102)	01.11.1966	01.11.2018
Soest_KA_EGLV (44145026)	01.11.1960	01.11.2018
Neuenkirchen-Sankt_Arnold_NRW (37107108)	01.11.1964	01.11.2018
Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093)	01.11.1960	01.11.2018
Nettersheim-Zingsheim_ErftV (54050031)	01.11.1969	01.11.2018

Für die ausgewählten Stationen wurden zunächst Niederschlagsstatistiken nach dem DWA A-531 über den Gesamtzeitraum erstellt. Die Niederschlagsstatistiken des Gesamtzeitraums dienen als Referenzgröße. Darüber hinaus wurden Niederschlagsstatistiken für den Zeitraum 1991 – 2018 durchgeführt, da dies in etwa dem nach dem DWA A-531 geforderten Zeitraum von 30 Jahren entspricht. Als drittes wurden Niederschlagsstatistiken für die Zeitscheibe 2001 – 2018 erstellt, die mit dem Zeitraum der Radardaten korrespondiert.

Für jede Station wurden die prozentualen Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen für die Dauerstufen $D = 15 \text{ min}, 60 \text{ min}, 2 \text{ h}, 4 \text{ h}, 1 \text{ d}$ und 3 d und Wiederkehrhäufigkeiten $T = 1 \text{ a}, 2 \text{ a}, 5 \text{ a}, 10 \text{ a}, 20 \text{ a}, 30 \text{ a}$ und 50 a in den Zeiträumen 1991 – 2018 und 2001 – 2018 gegenüber dem Gesamtzeitraum ermittelt und ausgewertet. Abbildung 68, Abbildung 69, Abbildung 70 und Abbildung

71 zeigen beispielhaft die Ergebnisse für die Stationen Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108) und Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005). In Blautönen sind jeweils die prozentualen Abweichungen 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 und in den Orangetönen die prozentualen Abweichungen 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 dargestellt. Zur Orientierung sind außerdem die Grenzen von $\pm 10\%$ und $\pm 15\%$ Abweichung markiert. Die Grenzen $\pm 10\%$ bei Wiederkehrzeiten bis $T \leq 5$ a und die Grenzen $\pm 15\%$ bei Wiederkehrzeiten $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ stellen dabei – in Anlehnung an KOSTRA-DWD (2010) – den Bereich statistischer Unsicherheiten dar.

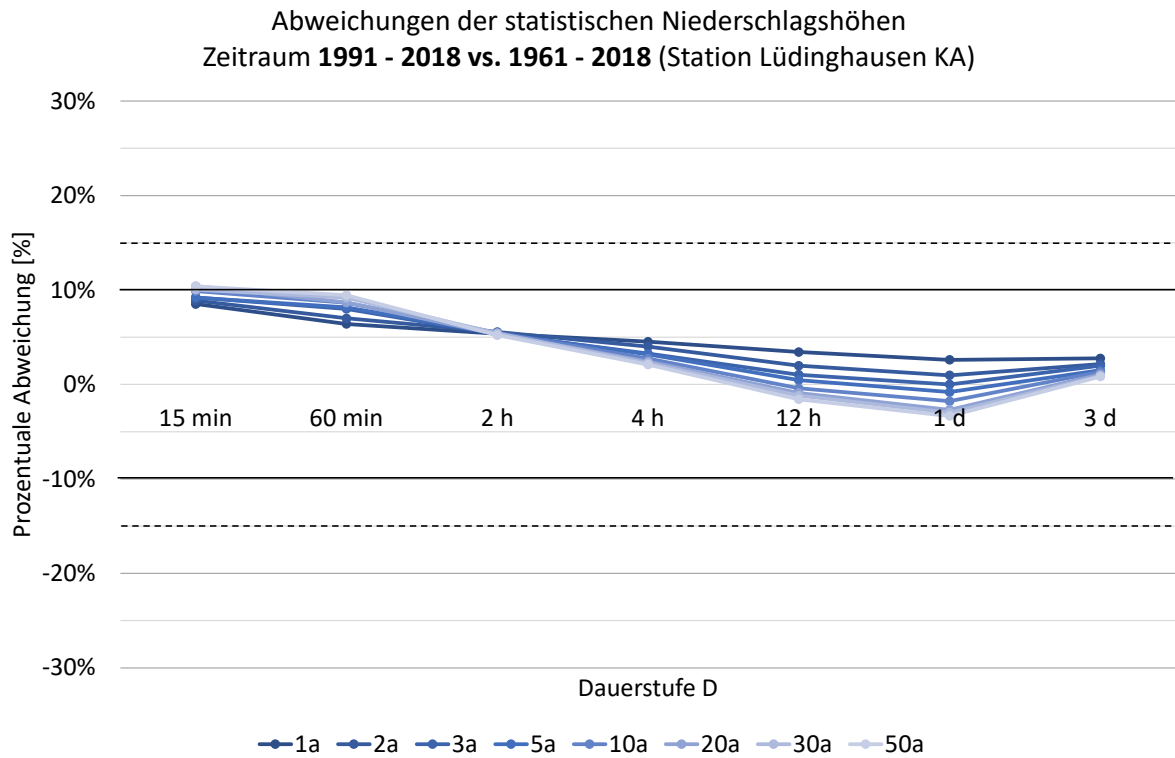


Abbildung 68: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)

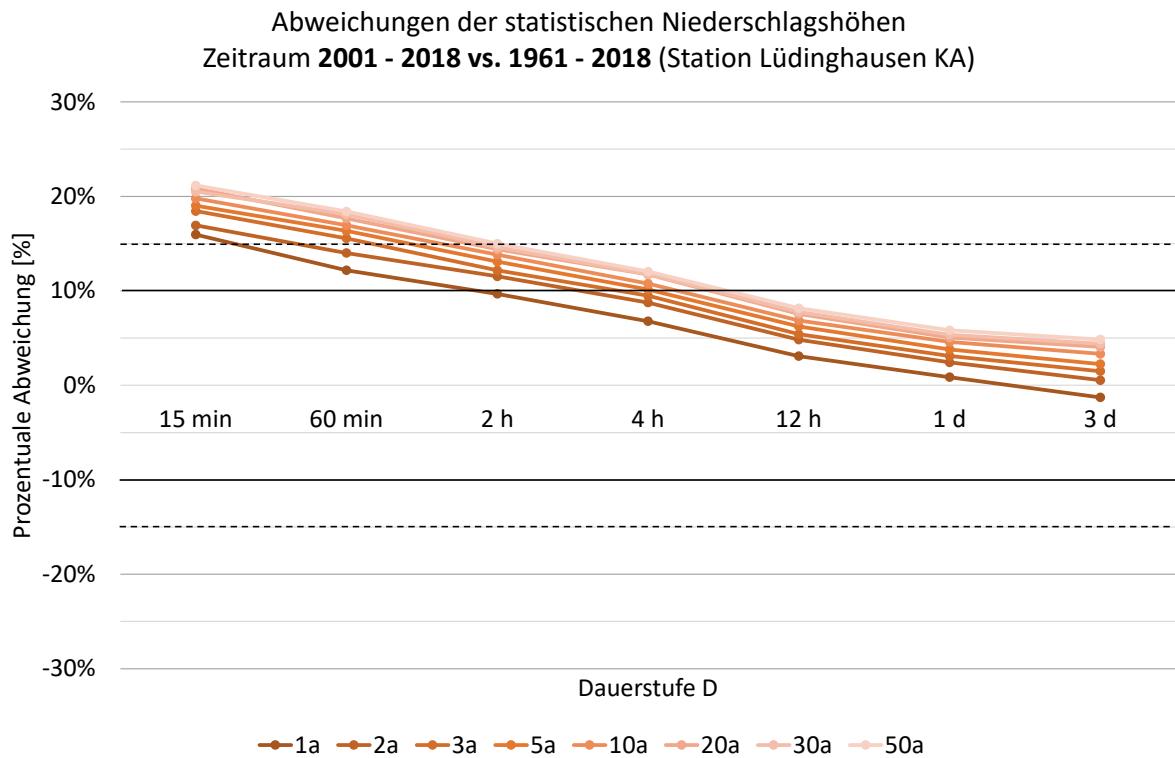


Abbildung 69: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)

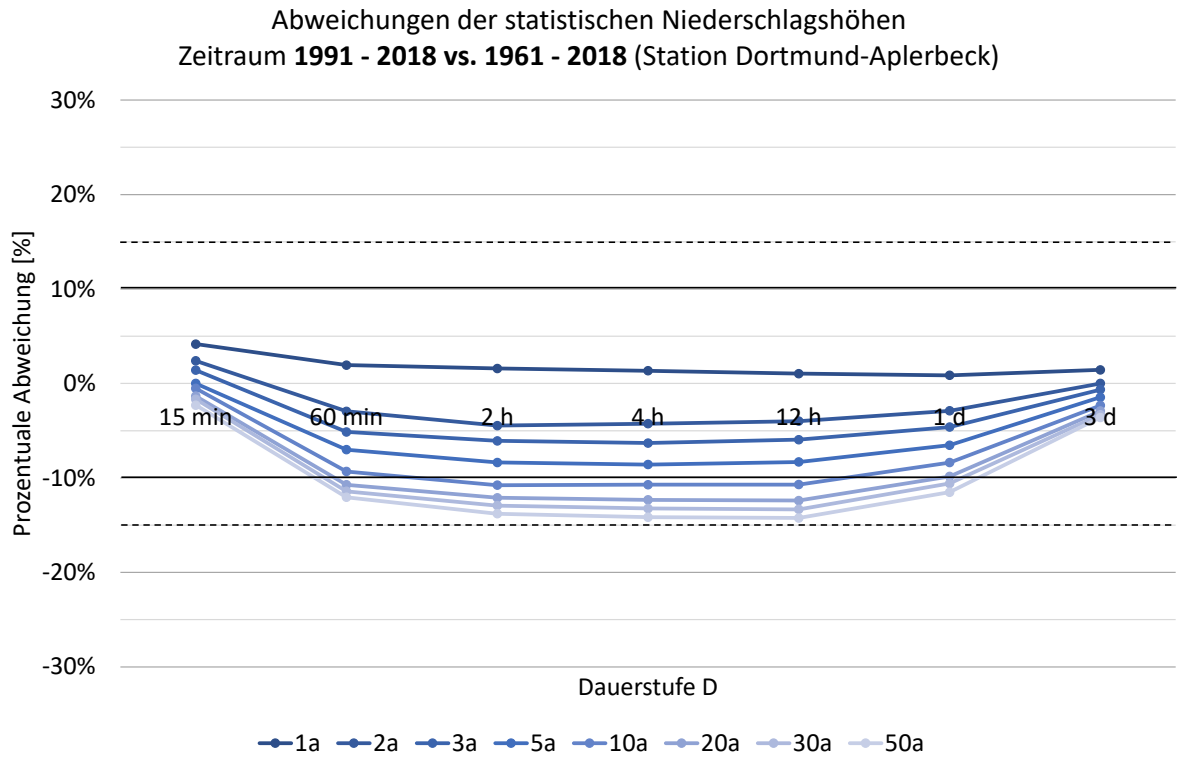


Abbildung 70: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)

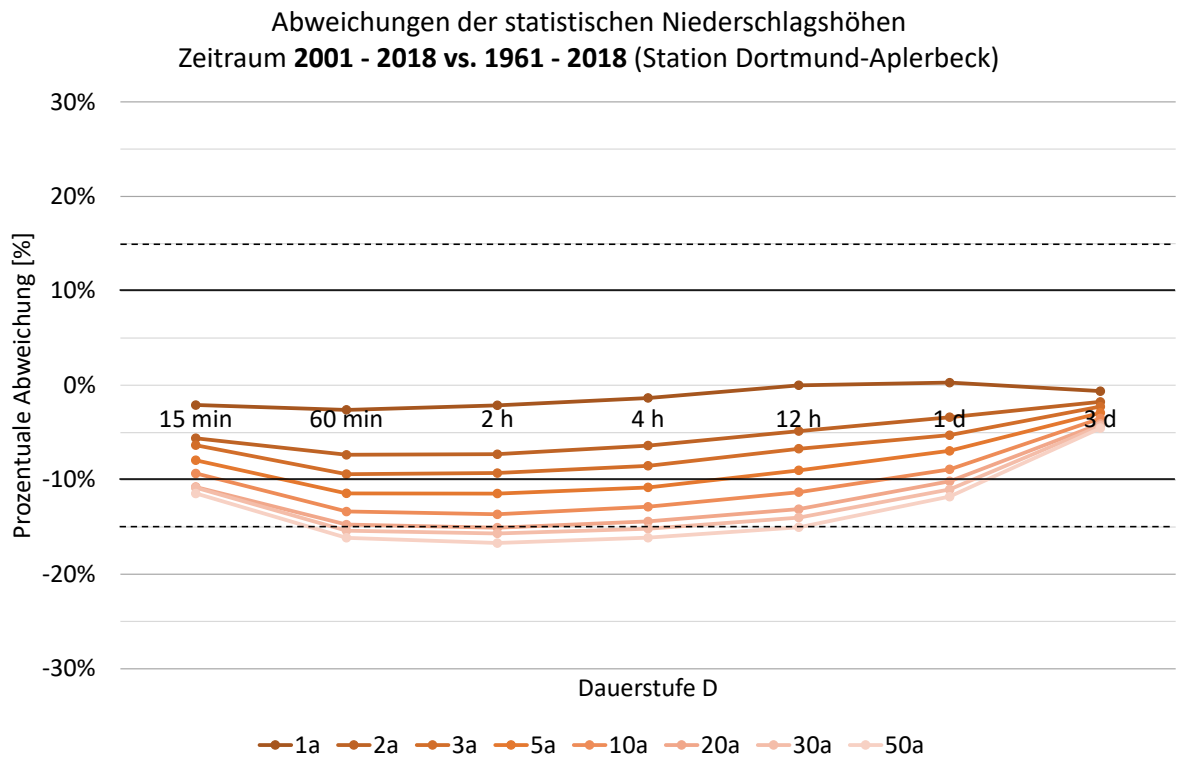


Abbildung 71: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)

Die Auswertungen für die Zeiträume 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 zeigen, dass die Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen an den einzelnen Stationen sowohl positiv als auch negativ sein können. Dies hängt maßgeblich davon ab, wann und in welcher Höhe einzelne große Niederschlagsereignisse an einer Station aufgetreten sind. So kann bereits ein extremes Niederschlagsereignis, das vor 1991 aufgetreten ist, dazu führen, dass die statistischen Niederschlagshöhen für den Zeitraum 1991 – 2018 kleiner sind als im Gesamtzeitraum. Umgekehrt führen vermehrte Starkregenereignisse nach 1991 dazu, dass die statistischen Werte ansteigen. Dies ist auch bei dieser Untersuchung an vielen Stationen bei den kurzen Dauerstufen $D = 15$ und 60 min festzustellen und bestätigt den bereits bei der Auswertung der partiellen Serien (Kapitel 7.1) und der statistischen Kenngrößen (Kapitel 7.2) festgestellten Trend.

An fast allen der betrachteten Stationen liegen die prozentualen Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 in einer Bandbreite von ± 15 %. Um dies zu verdeutlichen, wurden Box-Whisker-Plots erstellt, in denen für jeweils eine Station alle Kombinationen aus den zuvor angegebenen Dauerstufen und Wiederkehrzeiten zusammengefasst wurden. Abbildung 72 zeigt das Ergebnis.

Die Boxen in orange und blau kennzeichnen dabei den Bereich vom unteren bis zum oberen Quartil, d.h. innerhalb dieses Bereiches liegen 50 % der Werte. Die Grenze zwischen orange und blau markiert den Median. Die äußeren Antennen (whisker) zeigen die gesamte Bandbreite vom Minimum bis zum Maximum.

In Abbildung 72 ist somit erkennbar, dass an den meisten Stationen 50 % der statistischen Niederschlagshöhen im Betrachtungszeitraum 1991 – 2018 nicht mehr als 10 % von den Werten des Gesamtzeitraums abweichen, da die Boxen innerhalb dieser Bandbreite liegen. Die größten Abweichungen von statistischen Niederschlagshöhen (bei den whisker) liegen im Einzelfall bei -22 % bzw. $+22$ %.

Anders ist das Ergebnis, wenn man die statistischen Niederschlagshöhen in den Zeiträumen 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 vergleicht (Abbildung 73). Die Abweichungen sind hier deutlich größer, sowohl bei den Extremen als auch innerhalb der Boxen. Dabei ist auffällig, dass ausschließlich die positiven Abweichungen zugenommen haben, bis zu Extremen (whisker) von $+38$ %.

Im Einzelfall können diese Unterschiede zwischen den statistischen Untersuchungen durch eine signifikante Zunahme von Starkregen in den letzten 18 Jahren hervorgerufen werden und somit zu einer Instationarität führen. Gemäß den Untersuchungen in UnlWa ist davon aber nicht generell auszugehen, sodass für die hier durchgeführten Untersuchungen vorausgesetzt wurde, dass an den meisten Stationen eine Stationarität gilt. Zudem beeinflussen Trends an einzelnen Stationen alle drei untersuchten Zeiträume, da die letzten 18 Jahre in allen Zeitscheiben enthalten sind.

Es kann somit zu großen Unterschieden führen, ob eine Niederschlagsstatistik auf Basis der letzten 28 Jahre oder der letzten 18 Jahre durchgeführt wird. Hingegen sind die Unterschiede in der Niederschlagsstatistik auf Basis von 58 Jahren gegenüber den letzten 28 Jahren nicht so gravierend.

Die Ergebnisse zeigen, dass vermehrte Starkregenereignisse in den letzten 18 Jahren an einzelnen Stationen die Statistik auf Basis von 18 Jahren sehr stark beeinflussen, was bei Betrachtung von 28 Jahren – ebenfalls bei vermehrten Starkregenereignissen – nicht in dem Maße der Fall ist. Eine Zeitreihenlänge von 18 Jahren, wie sie bei den Radardaten vorhanden ist, wird daher für eine robuste Niederschlagsstatistik als nicht ausreichend bewertet.

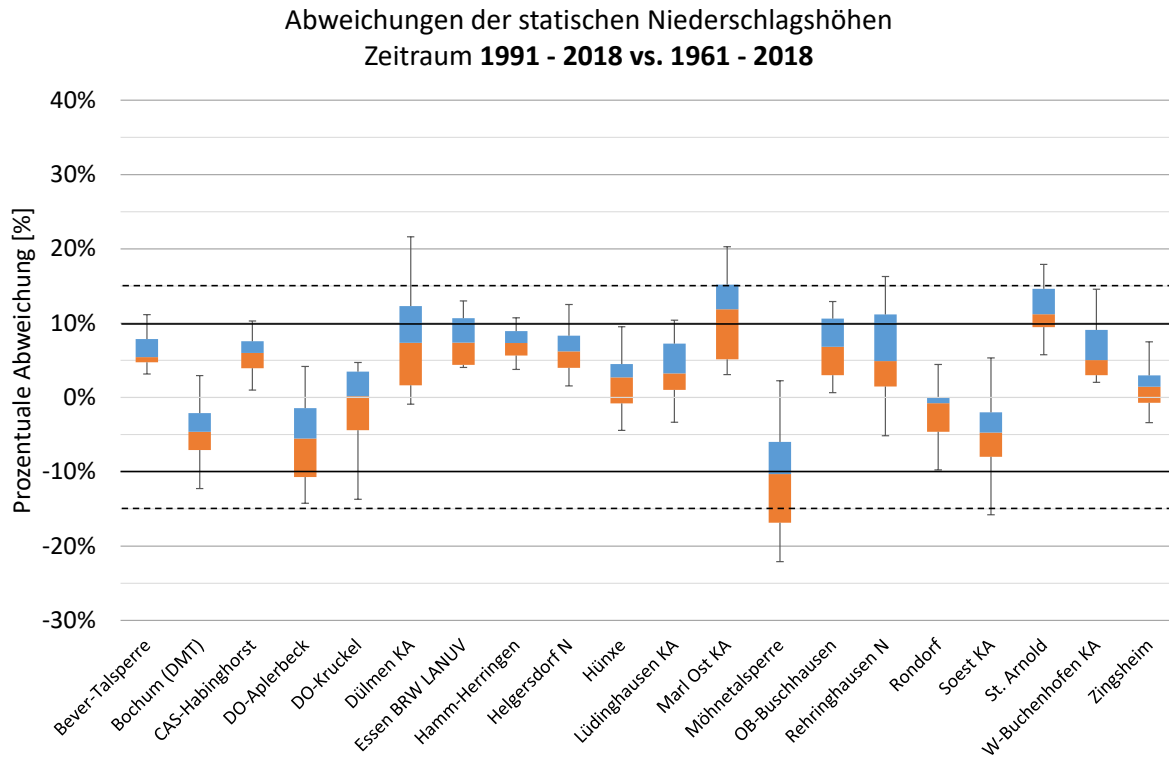


Abbildung 72: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen als Box-Whisker-Plots)

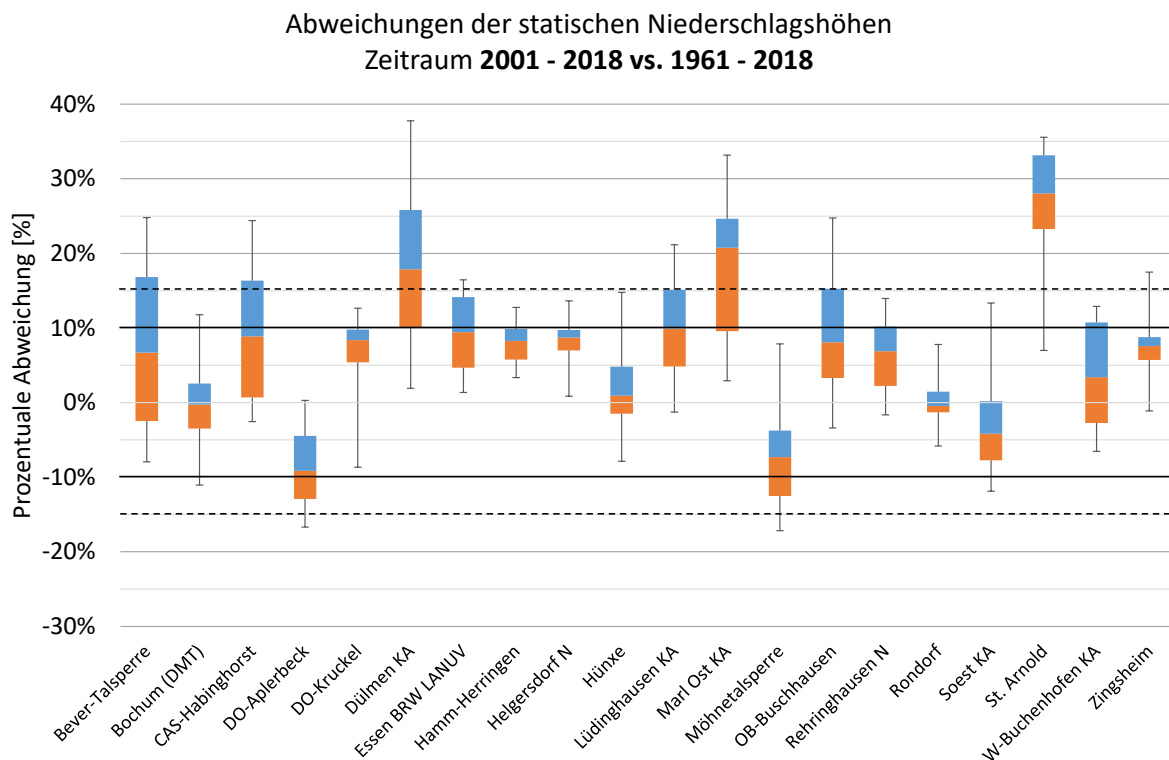


Abbildung 73: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen als Box-Whisker-Plots)

Für den Nachweis oder die Bemessung von Bauwerken / Kanälen in der Stadtentwässerung werden häufig die kürzeren Dauerstufen $D = 15 \text{ min}$ bis $D = 60 \text{ min}$ betrachtet. Daher wurden diese Dauerstufen und die (für Wohngebiete maßgeblichen) Wiederkehrzeiten von $T = 3 \text{ a}$ (Anwendung beim Überstaunachweis nach DWA-A 118) und $T = 20 \text{ a}$ (Anwendung bei der Überflutungsüberprüfung nach DWA-A 118) noch einmal gesondert betrachtet. Abbildung 74 zeigt die Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen für die ausgewählten Dauerstufen und Wiederkehrzeiten. Im Gegensatz zu den vorherigen Abbildungen werden hier nicht die Abweichungen aller statistischer Niederschlagshöhen für die einzelnen Stationen betrachtet, sondern es werden jeweils die Abweichungen einzelner Dauerstufen und Wiederkehrzeiten, aber auf Basis aller 20 Stationen dargestellt.

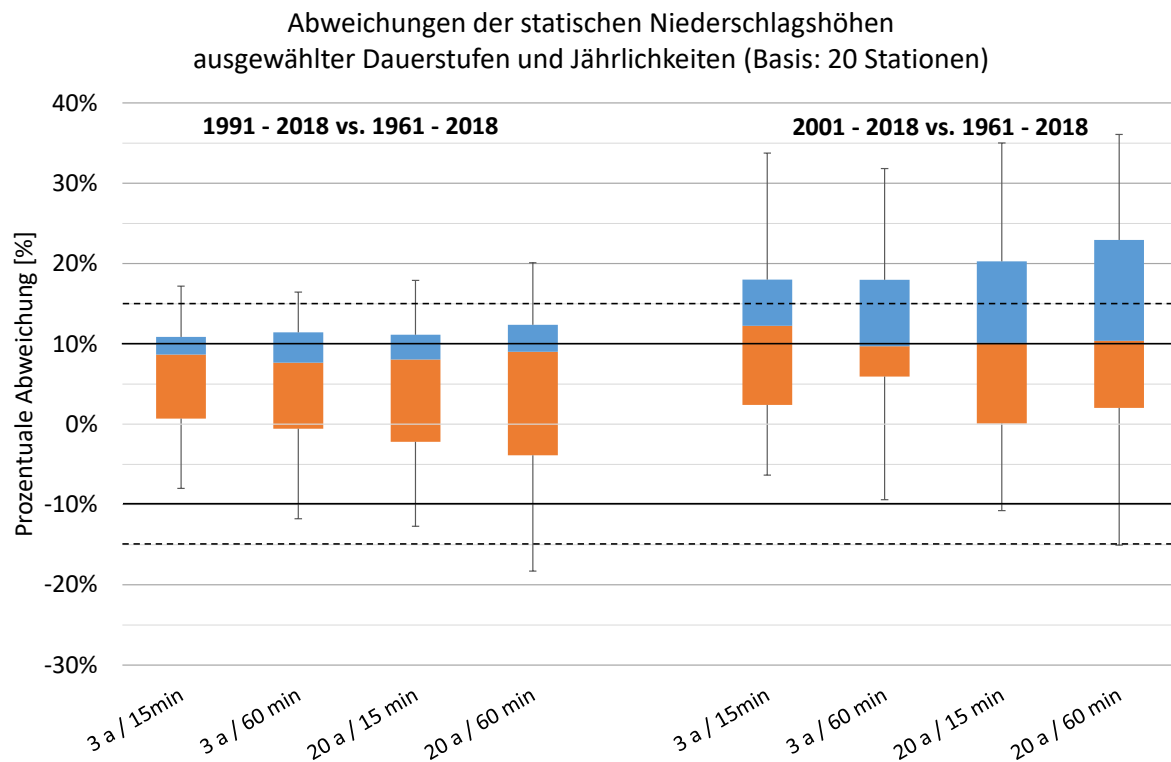


Abbildung 74: Prozentuale Abweichungen von statistischen Niederschlagshöhen ausgewählter Dauerstufen und Jährlichkeiten im Zeitraum 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 bzw. 2001 – 2018 vs. 1961 – 2018 (Darstellung über alle 20 Stationen als Box-Whisker-Plots)

Die Abbildung macht noch einmal deutlich, dass insbesondere bei den kurzen Dauerstufen Starkregen in den letzten 28 Jahren zugenommen haben, wie dies bereits bei den Trendanalysen im Kapitel 7 beschrieben wird. Diese Zunahmen wirken sich jedoch überproportional auf die statistischen Niederschlagshöhen aus, wenn nur die letzten 18 Jahre als Datenbasis verwendet werden. Es ist daher möglich, dass es bei Nachweisen oder Bemessungen in der Siedlungsentwässerung zu deutlich größeren Dimensionierungen kommt, wenn statistische Niederschlagshöhen aus einer Statistik der letzten 18 Jahre zugrunde gelegt werden, wie dies bei der Verwendung der aktuell vorliegenden Radardaten der Fall wäre.

Als weiterer Einflussfaktor auf die Statistik wird im Folgenden die Messtechnik untersucht. Dafür werden die statistischen Niederschlagshöhen der letzten 18 Jahre auf Basis der Stationsdaten mit denen auf Basis der Radardaten verglichen. Die prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Nie-

derschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten im Zeitraum 2001 – 2018 werden in Abbildung 75 und Abbildung 76 am Beispiel der Stationen Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005) und Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108) dargestellt.

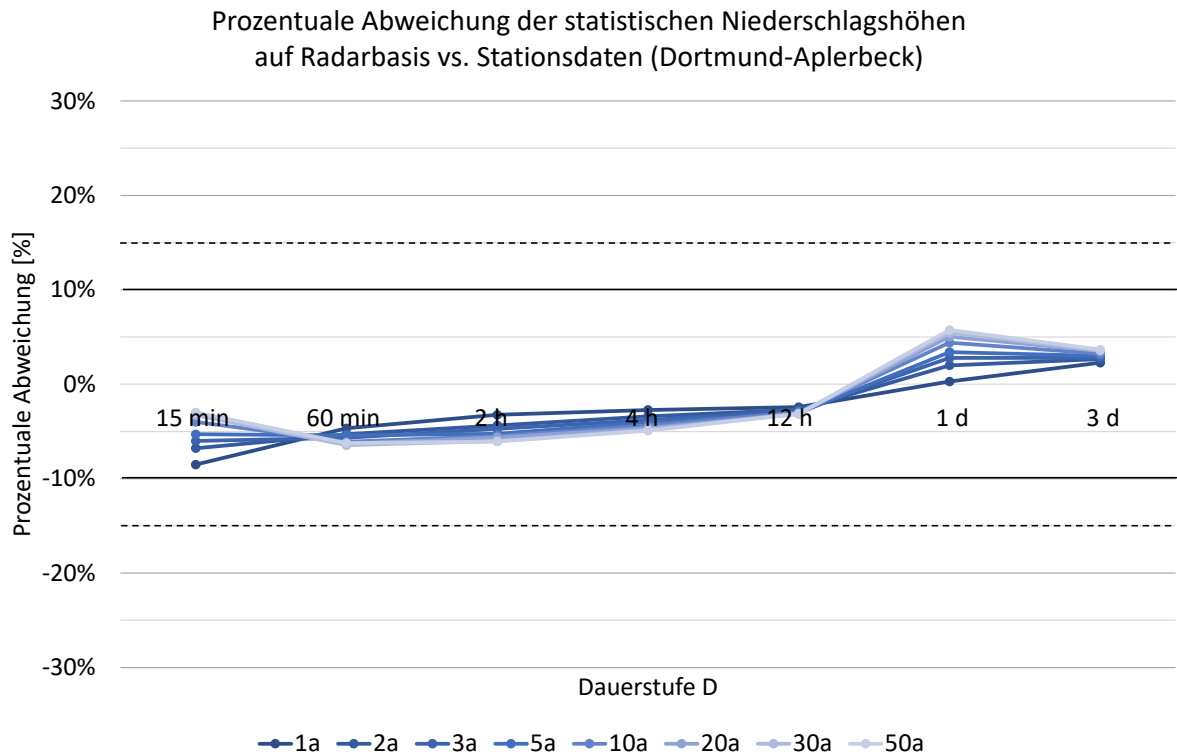


Abbildung 75: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten im Zeitraum 2001 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)

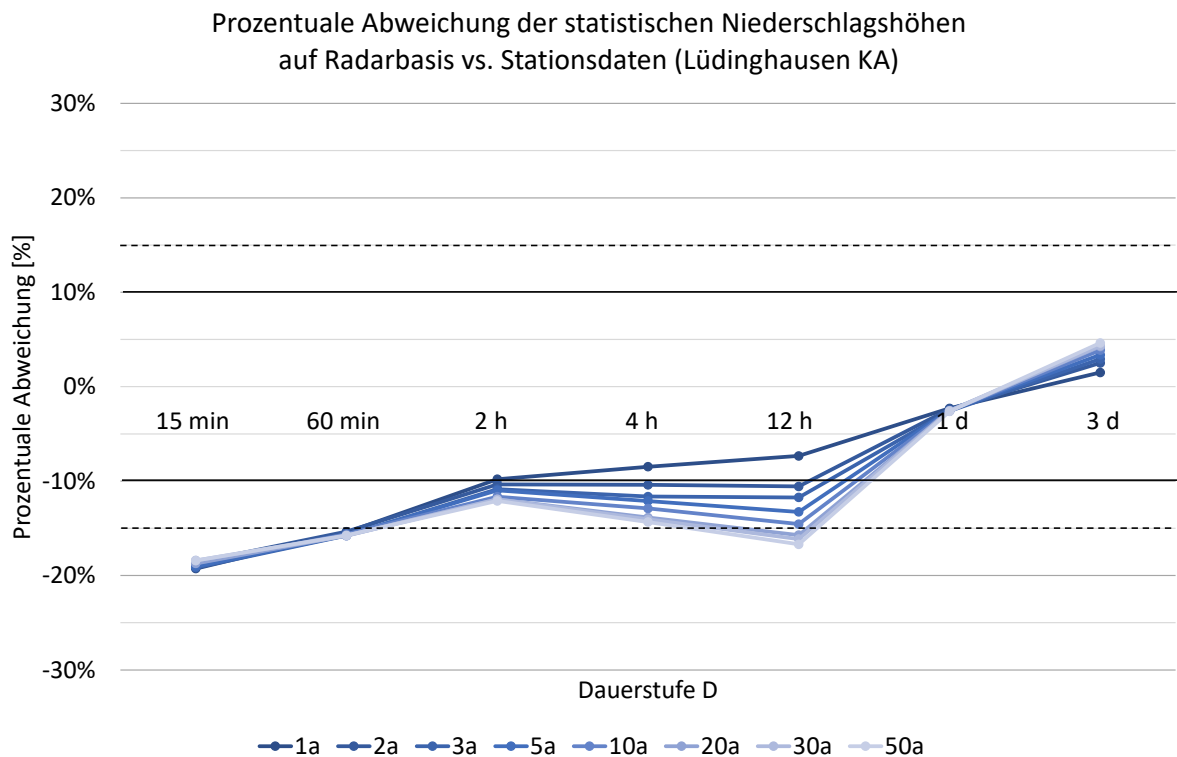


Abbildung 76: Prozentuale Abweichungen der einzelnen statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten im Zeitraum 2001 – 2018 am Beispiel der Station Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)

Abbildung 77 zeigt – wiederum als Box-Whisker-Plot – die prozentualen Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen auf Basis der Rasterdaten vs. Stationsdaten. Dabei wurde zum Vergleich jeweils die Statistik des Rasterfeldes verwendet, das über der jeweiligen Station liegt.

Des Weiteren wurden auch die statistischen Niederschlagshöhen der acht umliegenden Rasterfelder mit den Stationsdaten verglichen, und es wurde geprüft, welche Radarstatistik die beste Übereinstimmung zu der Stationsstatistik aufweist. Diese Untersuchung ergab, dass für 13 von 20 Stationen die Radarstatistik des Stationsrasters selbst am besten mit der Stationsstatistik übereinstimmt. Tabelle 24 gibt einen Überblick, an welchem Rasterfeld die beste Übereinstimmung mit der Statistik der betrachteten Stationen übereinstimmt.

Tabelle 24: Tabellarische Zusammenstellung der Rasterfelder mit bester Übereinstimmung zur Stationsstatistik

Station	Rasterfeld mit bester Übereinstimmung zur Stationsstatistik
Hückeswagen_Bever-Talsperre_WV (48100042)	Stationsraster
Bochum-Grumme_DMT_EGLV (45095005)	rechts
Castrop-Rauxel-Habinghorst_EGLV (44095105)	Stationsraster
Dortmund-Aplerbeck_EGLV (44115005)	links
Dortmund-Kruckel_EGLV (45105005)	Stationsraster
Dülmen_KA_EGLV (41097118)	rechts
Essen-Bredeneu_BRW_LANUV (45070215)	unten Stationsraster
Hamm-West_KA_EGLV (43120035)	unten links
Netphen-Helgersdorf_NRW (51159034)	Stationsraster
Hünxe_KA_EGLV (43065005)	Stationsraster
Lüdinghausen_KA_EGLV (42107108)	Stationsraster
Marl-Hamm_KA_EGLV (43080025)	Stationsraster
Möhnesee-Günne_Möhnetalsperre_RV (45140016)	Stationsraster
Oberhausen-Stadtmitte_EGLV (44070015)	Stationsraster
Olpe-Rehringhausen_NRW (49138474)	links
Köln-Rondorf_ErftV (51075102)	Stationsraster
Soest_KA_EGLV (44145026)	Stationsraster
Neuenkirchen-Sankt_Arnold_NRW (37107108)	Stationsraster
Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV (47080093)	oben rechts
Nettersheim-Zingsheim_ErftV (54050031)	rechts

Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Statistiken der Stationsraster nicht wesentlich schlechter sind als die der besten Rasterfelder. Abbildung 78 zeigt im Vergleich zur Abbildung 77 die prozentualen Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen Rasterdaten vs. Stationsdaten mit

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

dem besten Rasterfeld aus neun. Mit * sind die Stationen gekennzeichnet, an denen die Radarstatistik des Stationsrasters nicht die beste Übereinstimmung mit der Stationsstatistik aufweist.

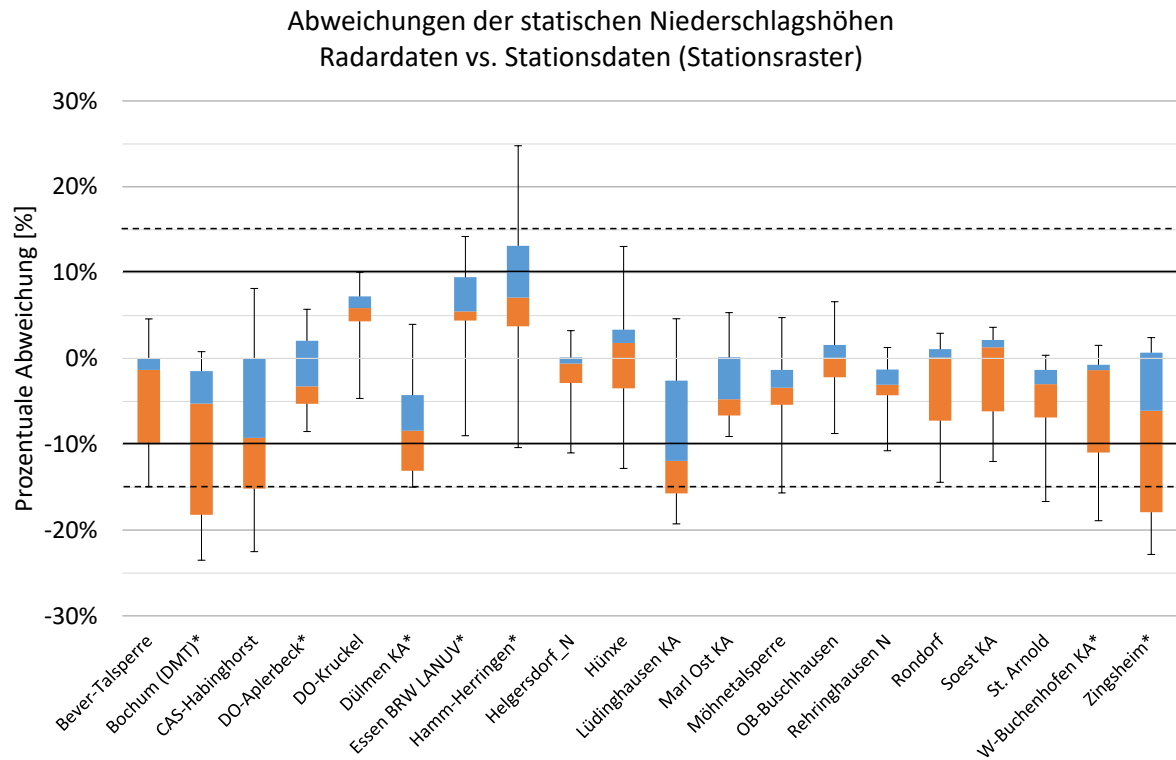


Abbildung 77: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten (Stationsraster) im Zeitraum 1991 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen/Rasterfelder als Box-Whisker-Plots)

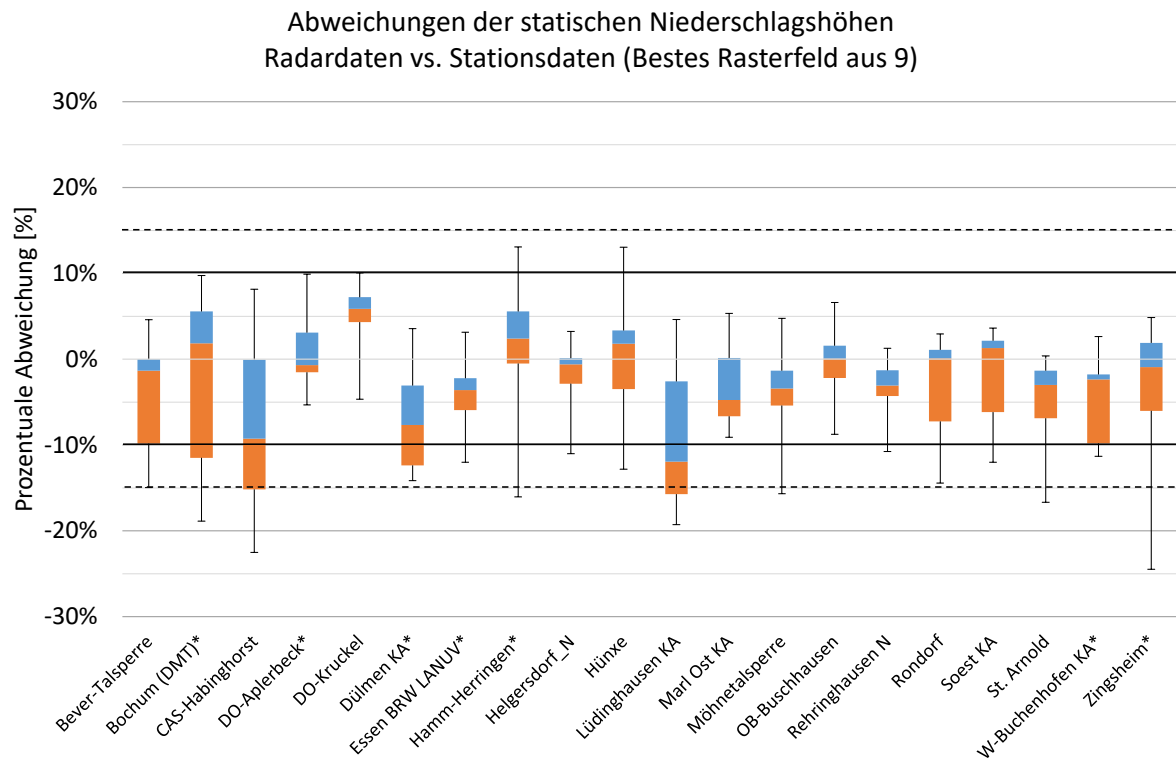


Abbildung 78: Prozentuale Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen auf Basis von Radardaten vs. Stationsdaten (bestes Rasterfeld aus neun) im Zeitraum 1991 – 2018 (Darstellung der einzelnen Stationen/Rasterfelder als Box-Whisker-Plots)

Die Ergebnisse zeigen, dass die prozentualen Abweichungen der statistischen Niederschlagshöhen an der Mehrzahl der betrachteten Stationen in einer Bandbreite von $\pm 15\%$ liegen. Die extremen Unterschiede (whisker) liegen in einer Spannbreite von -24% bis $+25\%$. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sämtliche Niederschlagsstationen – bis auf Essen-Bredeneey_BRW_LANUV (45070215) und Hamm-West_KA_EGLV (43120035) – zur Aneichung der Radardaten verwendet wurden. Es kann also an dieser Stelle nicht eingeschätzt werden, wie die Abweichungen an anderen Standorten sind, die bei der Aneichung nicht berücksichtigt wurden.

Als Fazit der Sensitivitätsanalyse lässt sich festhalten, dass statistische Auswertungen auf Basis kurzer Radarniederschlagszeitreihen gegenüber langen Stationszeitreihen nicht robust sind. Dies liegt vor allem in der kurzen Zeitreihenlänge begründet, die einen großen Einfluss auf die statistischen Niederschlagshöhen nimmt. Darüber hinaus nimmt aber auch die Messtechnik Einfluss auf die Niederschlagsstatistik und führt zu zusätzlichen Abweichungen.

8.3 Flächendeckende Darstellung statistisch ermittelter Niederschlagshöhen zur Ermittlung von Starkregengebieten

8.3.1 Interpretation der Kartendarstellungen

Mit Hilfe der Kartenauswertung lässt sich die Verteilung der statistischen Werte des Niederschlages im Raum NRW gut analysieren und beschreiben. Beispielhaft für die Auswertungen werden für die Dauerstufen $D = 60$ Minuten und $D = 1$ Tag Karten für die Wiederkehrzeiten $T = 1$ Jahr und $T = 20$ Jahre diskutiert.

Niederschläge der Dauerstufe $D = 1$ Tag sind für die Wiederkehrzeit $T = 1$ Jahr wesentlich von der Topografie in NRW geprägt (Abbildung 79): Eifel, Teutoburger Wald und Sieger- und Sauerland weisen höhere Werte auf als die Tiefländer in NRW. Für die Wiederkehrzeit $T = 20$ Jahre ist dieser Bezug dagegen weitgehend verloren. Hier sticht besonders das Ereignis von Münster 2014, zusammen mit kleinräumigen anderen Einzelereignissen heraus (Abbildung 80).

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

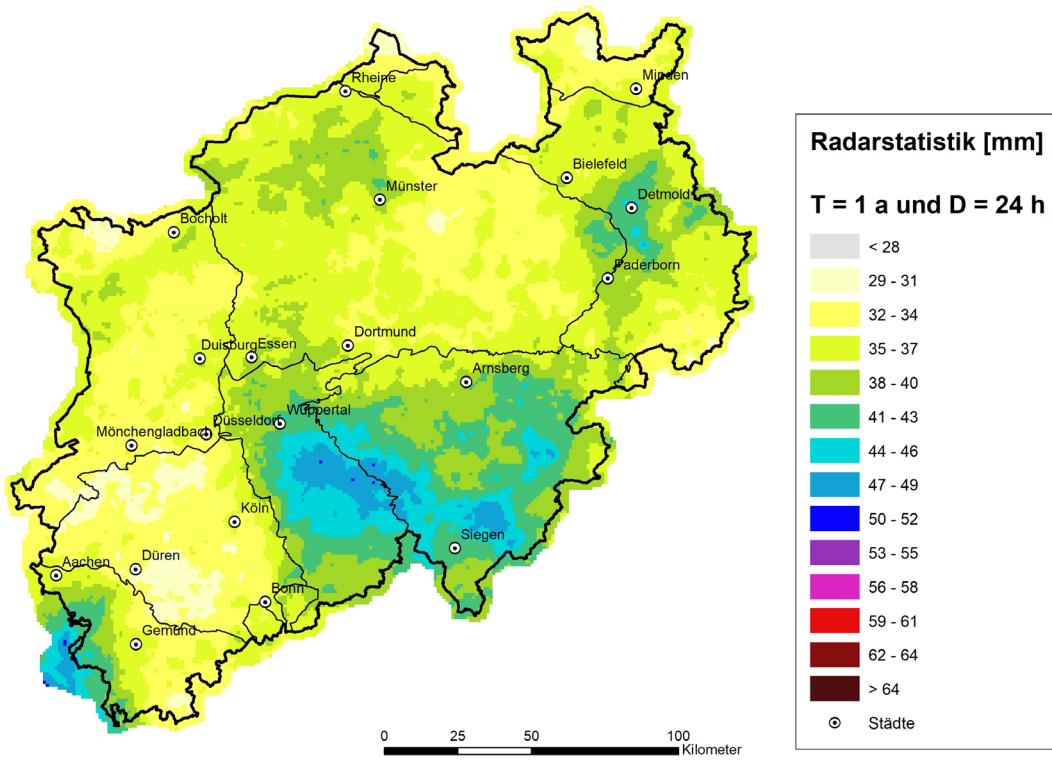


Abbildung 79: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 1 Jahr

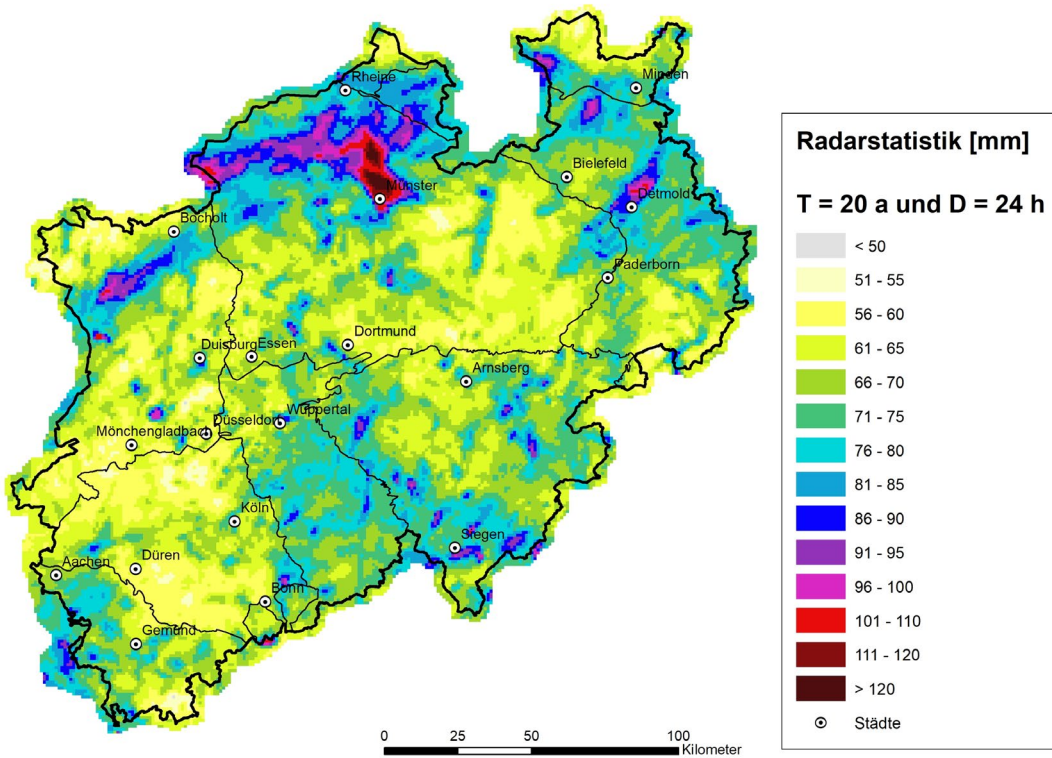


Abbildung 80: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 20 Jahre

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

Abbildung 81 zeigt, dass die Niederschläge für $D = 60$ Minuten und $T = 1$ Jahr relativ gleichmäßig über NRW verteilt sind – die Topografie spielt hier eine untergeordnete Rolle. Niedrigere Werte unter 15 mm sind besonders in der Niederrheinischen Bucht (mit Rheintal) und in der östlichen Hälfte der Westfälischen Bucht (Ostwestfalen) zu beobachten. Für die Wiederkehrhäufigkeit $T = 20$ Jahre ist zu erkennen, dass die Ereignisse noch mehr zufällig über ganz NRW verteilt liegen. Hier treten Einzelergebnisse wie in Münster 2014 in Abbildung 82 deutlich hervor. Die in Abbildung 81 in Ansätzen erkennbare räumliche Struktur geht dabei weitgehend verloren.

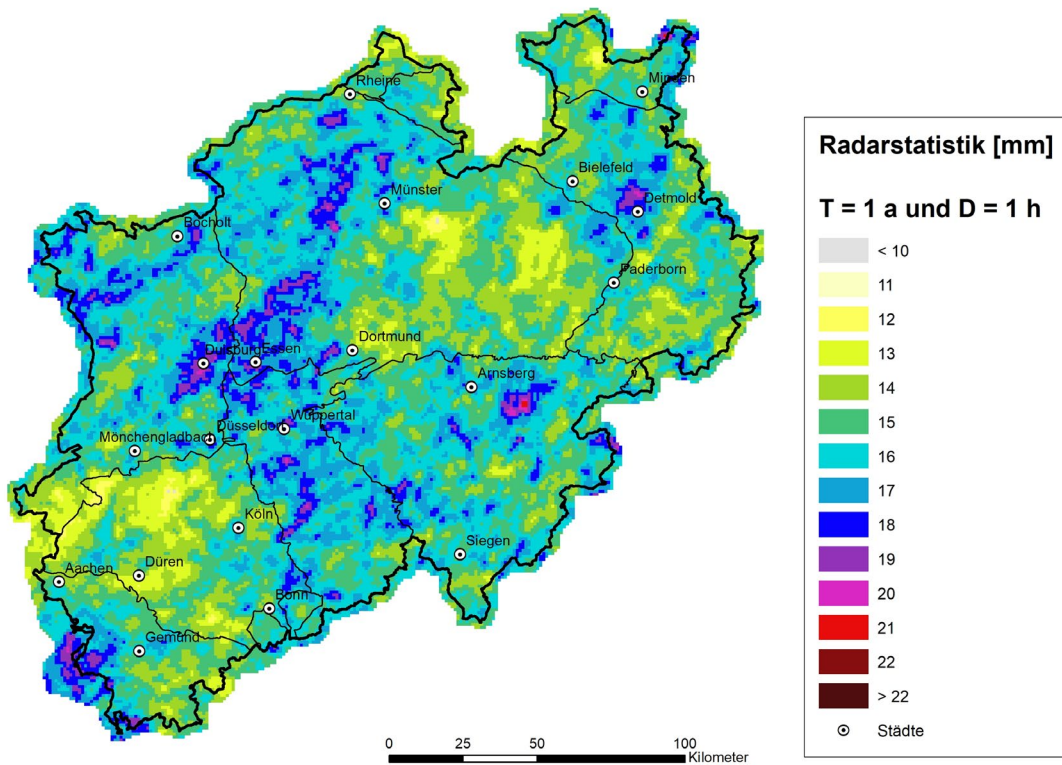


Abbildung 81: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für $D = 60$ Minuten, $T = 1$ Jahr

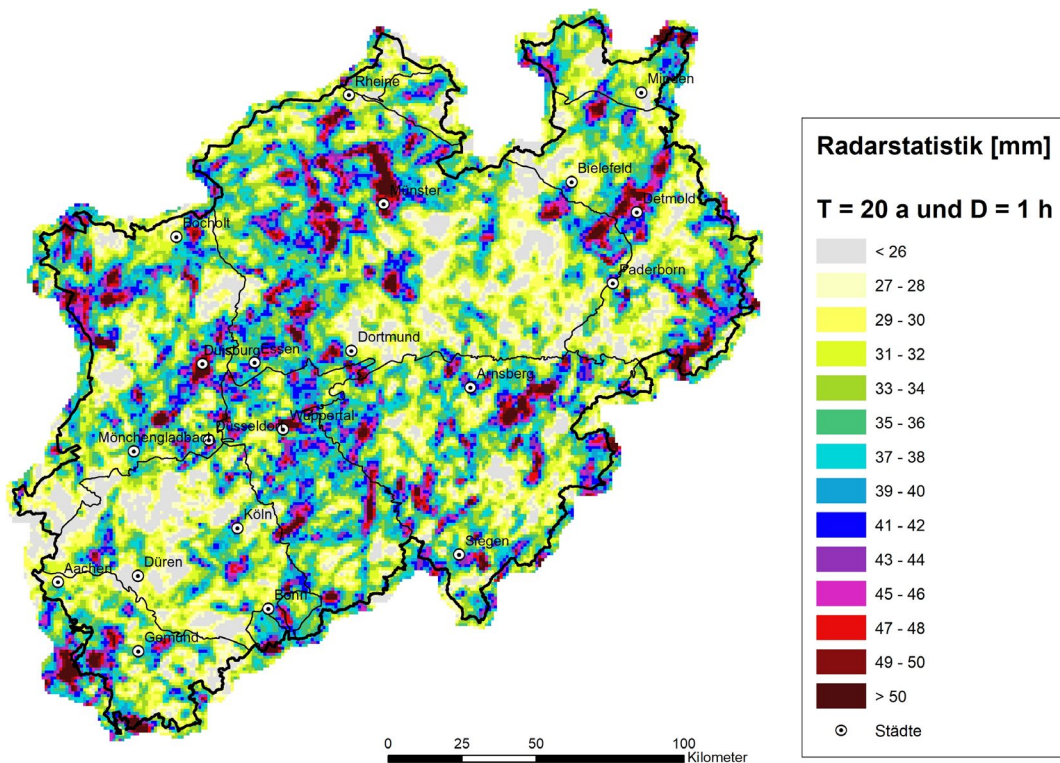


Abbildung 82: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für $D = 60$ Minuten, $T = 20$ Jahre

8.3.2 Vergleich mit der DWD-Radarklimatologie

Die Radarklimatologie des DWD ist eine Untersuchung, für die der DWD die RADOLAN-Daten von 2001 bis 2019 einheitlich neu berechnet und statistisch untersucht hat. Grundlage waren die vorhandenen DWD-Niederschlagsstationen und die RADOLAN-Aneichmethodik (DWD, 2017).

Die Radardaten des NRW-Komposits in der ExUS 2020 - Studie unterscheiden sich von denen der Radarklimatologie des DWD in mehreren Punkten:

- Die Dichte der verwendeten Stationsdaten ist im NRW-Komposit deutlich höher als in der DWD-Untersuchung
- Die Prüfung der Stationsdaten fand für das NRW-Komposit mit visueller und automatisierter Prüfung statt
- Die Prüf- und Korrekturverfahren der Radardaten sind unterschiedlich: in NRW wurde sehr viel Sorgfalt auf kleinräumig plausible Daten gelegt, beim DWD auf eine gleichmäßige Verarbeitung für ganz Deutschland
- Das NRW-Komposit verwendet eine Advektionskorrektur (auch: Bildinterpolation), um die Radarmessungen von Momentanmessungen auf einen kontinuierlichen Charakter zu übertragen
- Die Aneichverfahren sind unterschiedlich, und in NRW systematisch durch Vergleich mit unabhängigen Messstationen auf Qualität überprüft

Die Ergebnisse der Radarklimatologie des DWD (RadKlim) wurden erstmals im Frühjahr 2019 vorgestellt. Dabei fiel besonders auf, dass kleinräumige Starkregen an jedem Ort in Deutschland auftreten können, und dass die Niederschläge langer Dauerstufen gut den Formen der Topografie entsprechen. Dies entspricht im Wesentlichen auch den Ergebnissen im Kapitel 8.3.1. Im Vergleich zu den Statistiken

aus der ExUS 2020 – Studie gibt es dennoch einige Unterschiede, auf die nachfolgend eingegangen wird.

Für die Dauerstufe $D = 1$ Stunde, $T = 1$ Jahr ist sichtbar, dass die RadKlim-Auswertung niedrigere Werte und deutlich weniger räumliche Strukturen aufweist (Abbildung 83). Die Werte der Statistiken (Zeitraum 2001 – 2018) der Stationen mit langen Zeitreihen liegen – als Vergleich – zwischen 14,5 mm und 19,5 mm. Die Abbildungen zu RadKlim wurden für einen besseren Vergleich aus den deutschlandweiten Karten, die für die ExUS 2020 – Studie vom DWD bereitgestellt wurden, für diese Auswertung ohne Änderung ausgeschnitten.

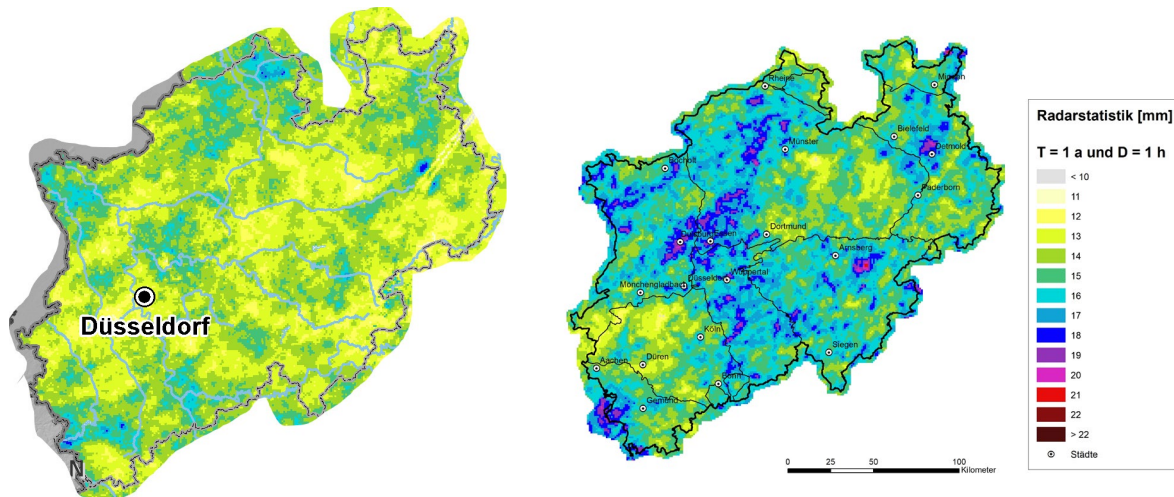


Abbildung 83: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für $D = 1$ Stunde, $T = 1$ Jahr, links RadKlim-Auswertung (DWD, 2017), rechts: ExUS 2020 – Studie (identische Farbskala)

Dasselbe Verhalten ist auch bei der Dauerstufe 1 Stunde, $T = 20$ Jahre zu beobachten (Abbildung 84). Bei der ExUS 2020 – Studie liegen die Werte um ca. 10 mm höher, und die Strukturen sind etwas feingliedriger. Darüber hinaus liegen die extremen Werte oft nicht an denselben Orten. Vergleichbare Stationswerte liegen hier im Bereich von 24,9 mm bis 51,4 mm.

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

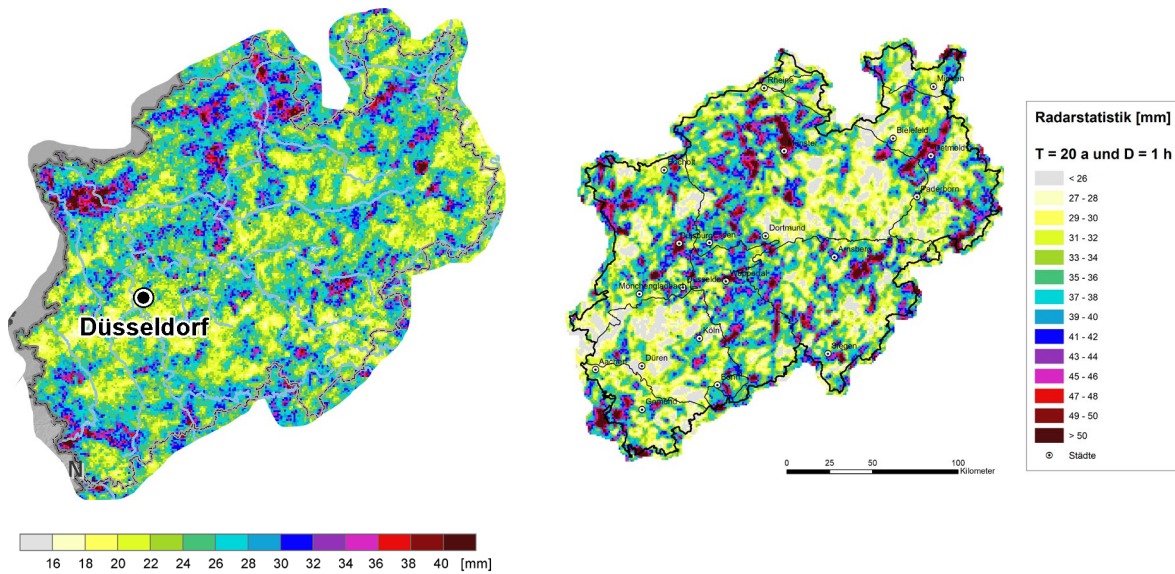


Abbildung 84: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für $D = 1$ Stunde, $T = 20$ Jahre, links RadKlim-Auswertung (DWD, 2017), rechts ExUS 2020 – Studie (unterschiedliche Farbskalen)

Bei den Tagessummen $D = 1$ Tag, $T = 1$ Jahr ist der Unterschied zwischen den beiden statistischen Auswertungen geringer. Aber auch hier sind die Werte der ExUS 2020 – Studie etwas höher als die RadKlim-Werte (Abbildung 85). Vergleichbare Stationswerte liegen hier im Bereich von 31,3 mm bis 50,0 mm.

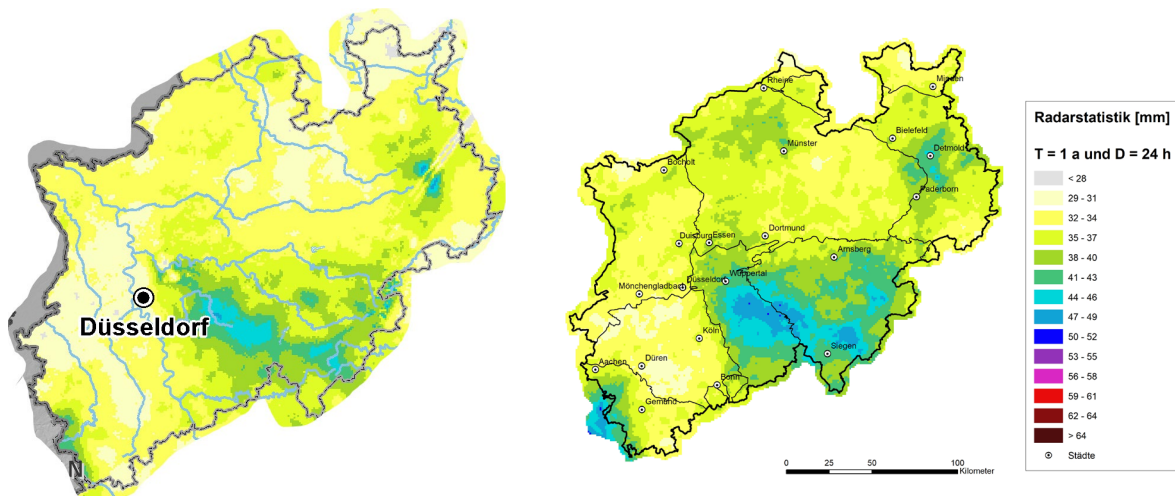


Abbildung 85: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für $D = 1$ Tag, $T = 1$ Jahr, links RadKlim-Auswertung (DWD, 2017), rechts ExUS 2020 – Studie (identische Farbskala)

In Abbildung 86 wird der Einfluss der Vorverarbeitung bei RadKlim deutlich, bei der das jeweils höchste Ereignis als Ausreißer eliminiert werden kann (DWD, 2017), während die ExUS 2020 – Studie alle Ereignisse beibehält. Dadurch ist in der letzteren Auswertung das Ereignis von Münster dominierend, als im Juli 2014 eine Tagessumme von 292 mm Niederschlag gemessen wurde, während es bei RadKlim fehlt. Vergleichbare Stationswerte liegen hier im Bereich von 55,6 mm bis 95,6 mm.

Kapitel 8: Statistische Auswertungen von Radardaten

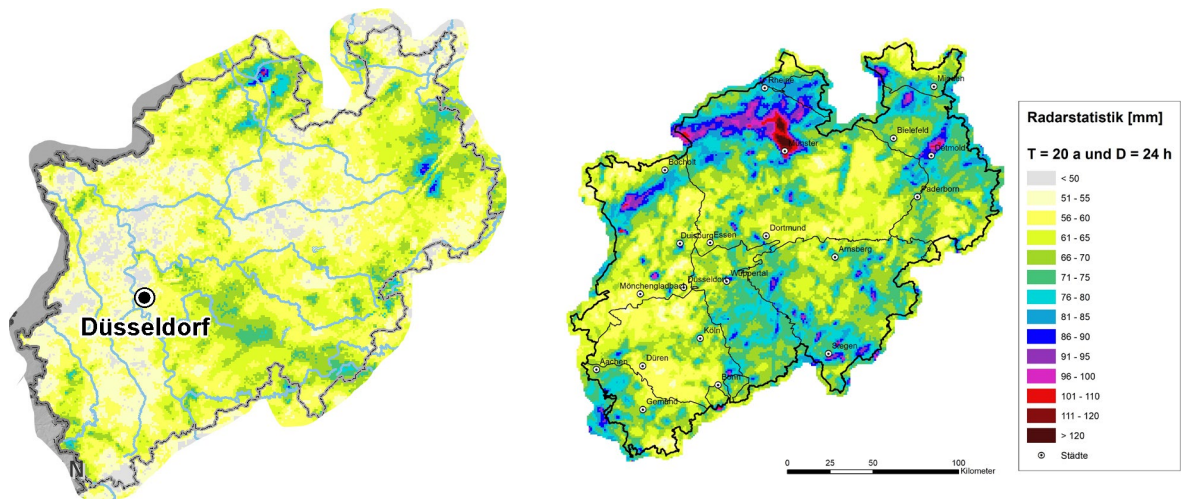


Abbildung 86: Verteilung der Radarniederschläge in NRW für D = 1 Tag, T = 20 Jahre, links Radklim-Auswertung (DWD, 2017), rechts ExUS 2020 – Studie (identische Farbskala)

Als Fazit dieses stichprobenartigen Vergleichs für die Dauerstufen D = 1 Stunde und D = 1 Tag kann festgehalten werden, dass die Werte aus der DWD-Radarklimatologie systematisch niedriger liegen als diejenigen aus der hier durchgeführten Auswertung.

9 Trendanalysen zu Trockenzeiten

Neben der Auswertung der Grenzwertunterschreitungen von Tagesniederschlagssummen $N \leq 0,1$ mm/d, wie diese auch in der ExUS 2010 – Studie durchgeführt wurde, wurde der Untersuchungsumfang von Trockenzeiten auf zwei in der Fachwelt verbreitete Trockenheitsindices ausgeweitet. Während der SPI (Standardized Precipitation Index) nur auf Monatsniederschlagssummen zurückgreift, werden beim dMI (monatlicher Trockenheitsindex nach de Martonne) auch mittlere Monats-temperaturwerte berücksichtigt.

9.1 Auswertungen zu Grenzwertunterschreitungen

Im Rahmen der Untersuchungen zu Grenzwertunterschreitungen wurden Trockentage als Tage mit einer Tagesniederschlagssumme von $N \leq 0,1$ mm/d definiert, also Tage, an denen es nicht oder nur minimal regnet. Die Auswertungen wurden auf Basis der „langen Zeitreihen“ für Wasserwirtschaftsjahre (WWJ) durchgeführt. In Abbildung 87 wird die dekadische Entwicklung der mittleren Anzahl an Trockentagen pro Jahr in Gesamt-NRW dargestellt.

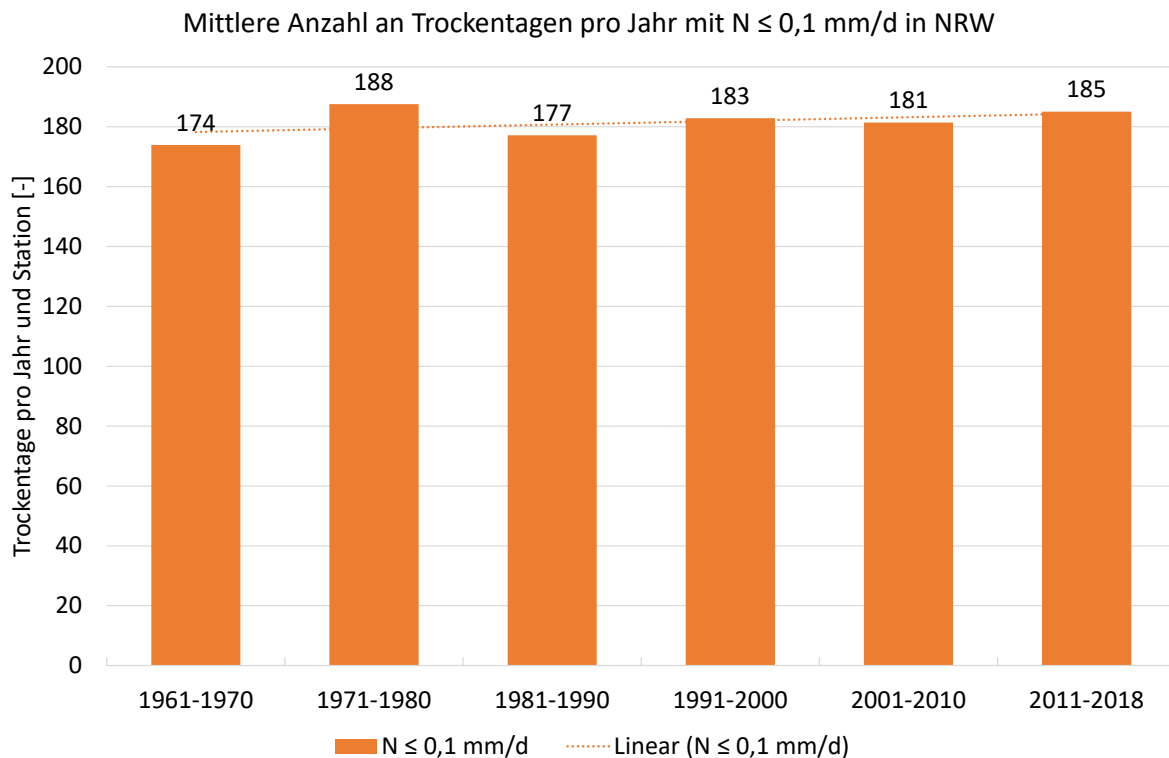


Abbildung 87: Mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr mit $N \leq 0,1$ mm/d in den einzelnen Dekaden (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Die mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr hat nur wenig zugenommen. Im Zeitraum 1991 – 2018 waren es im NRW-Durchschnitt 183 Trockentage pro Jahr; demgegenüber traten in den Jahren 1961 – 1990 durchschnittlich 180 Trockentage auf. Die meisten Trockentage in NRW gab es in den letzten acht Jahren und in den 1970er Jahren.

Ähnlich dem Landesdurchschnitt treten auch in den einzelnen Großlandschaften dekadenweise kleine Unterschiede in der mittleren Anzahl der Trockentage pro Jahr auf (Abbildung 88). In den Mittelgebirgsregionen ist die Anzahl an Trockentagen pro Jahr gegenüber den flachen Regionen erwartungsgemäß insgesamt etwas geringer.

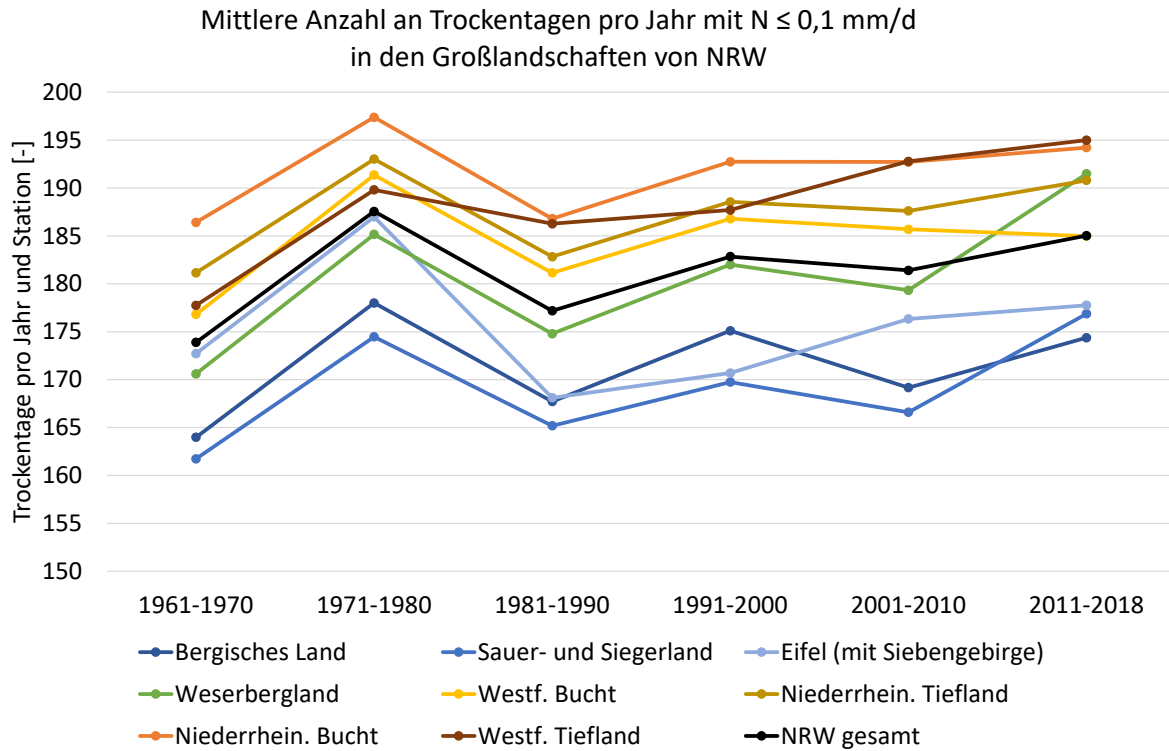


Abbildung 88: Mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr mit $N \leq 0,1$ mm/d in den einzelnen Dekaden (Mittelwerte der Großlandschaften)

In den meisten Großlandschaften, wie auch für Gesamt-NRW, ist kein signifikanter Trend in der Entwicklung der mittleren Anzahl von Trockentagen pro Jahr vorhanden (Tabelle 25). Einzig im Weserbergland und im Westfälischen Tiefland liegen signifikante Trends vor, was in der deutlich überdurchschnittlichen Anzahl an Trockentagen in den letzten acht Jahren begründet liegt.

Tabelle 25: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung der Trockentage mit $N \leq 0,1$ mm/d in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW im Zeitraum 1961 – 2018

Großlandschaft	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall [%]
Bergisches Land	68,6
Sauer- und Siegerland	81,1
Eifel (mit Siebengebirge)	20,6
Weserbergland	94,9
Westfälische Bucht	17,8
Niederrheinisches Tiefland	75,7
Niederrheinische Bucht	20,6
Westfälisches Tiefland	97,2
Gesamt-NRW	79,8

Betrachtet man die Entwicklung der Trockentage in den einzelnen Jahreszeiten, ist eine Zunahme der Trockentage vor allem im Frühling festzustellen, während im Herbst und Winter leichte Abnahmen zu verzeichnen sind (Abbildung 89), wie es sich auch in den Monats und Quartalssummen des Niederschlages widerspiegelt. (Kapitel 5.3).

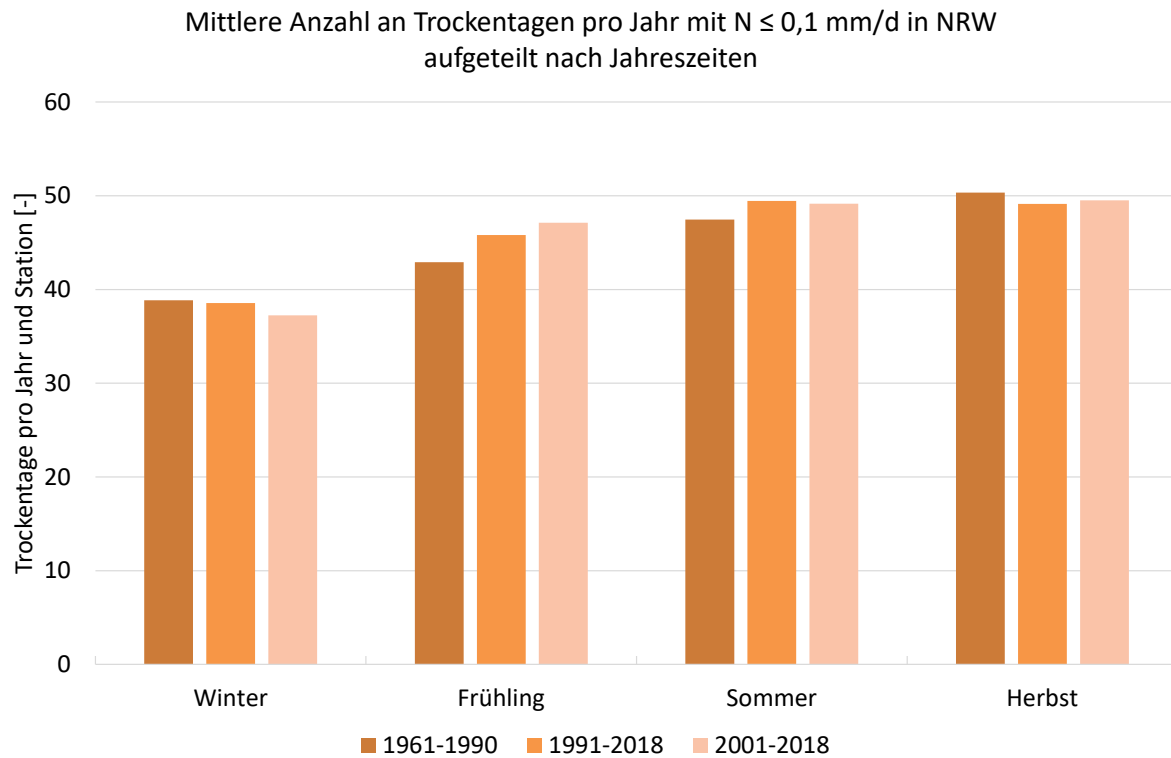


Abbildung 89: Mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr mit $N \leq 0,1$ mm/d aufgeteilt nach Jahreszeiten (Mittelwert über Gesamt-NRW)

9.2 Auswertungen zum Standardized Precipitation Index (SPI)

9.2.1 Einführung des SPI

Der Standardized Precipitation Index (SPI) ist ein meteorologischer Dürre-Index, der ausschließlich den Parameter Niederschlag auswertet, um Schlussfolgerungen auf den Dürre-Zustand einer Region zu ziehen. Andere wichtige Parameter wie Verdunstung oder Bodenbeschaffenheit / Versickerungspotential bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt und müssen für eine Bewertung für Anwendungen in der Praxis hinzugefügt werden.

Ein Vorteil dieses Index besteht darin, dass er für unterschiedliche Aggregationszeiträume berechnet werden kann. 1, 3, 6, 12 Monate werden häufig verwendet. Die Werte des SPI beschreiben die jeweilige Abweichung vom langjährigen Mittelwert (mehr als 30 Jahre) in Einheiten der Standardabweichung. Positive Werte sind dabei nasse Zeiträume, negative Werte trockene Zeiträume, jeweils im Vergleich zum Mittelwert.

Weitere Vorteile des SPI sind seine einfache Berechnung und seine Fähigkeit, für klimatisch unterschiedliche Orte vergleichbare Auswertungen zu erstellen. Die Aggregationszeiträume können dabei

mit hydrologischen Parametern verglichen werden: zum Beispiel Bodenfeuchte (1 – 3 Monate), Schneemenge (1 – 3 Monate) oder Grundwasserstand (6 - 12 Monate).

Nachteile des SPI sind die fehlende Berücksichtigung von Temperatur, Verdunstung und lokalen geografischen Eigenschaften, seine Empfindlichkeit auf die Datenqualität und seine Unkenntnis des tatsächlichen Wasserbedarfs. Um wasserrelevante Effekte des Klimawandels zu beschreiben, ist der Index daher nur eingeschränkt aussagekräftig (Keyentash et al., 2018).

Der SPI Generator (NDMC, 2018) ist das Standardprogramm des National Drought Mitigation Centres der USA. Das Programm wird von der WMO empfohlen und bei den folgenden Auswertungen verwendet.

9.2.2 Durchgeführte Auswertungen zum SPI

Für die Auswertung standen 103 „lange Zeitreihen“ der Tageswertstationen zur Verfügung, von denen aber nur 80 Zeitreihen verwendet werden konnten, da der SPI Generator keine Lücken in den Datenreihen akzeptiert.

Es gibt Unterschiede zwischen den Berechnungen des SPI mit dem SPI Generator und den vom DWD gelieferten Werten (DWD, 2020). Die beiden folgenden Abbildungen illustrieren dies für die Station Essen-Bredeney_DWD (45070025): während Abbildung 90 einen fallenden Trend zeigt, ist in Abbildung 91 kein Trend erkennbar. Wesentlicher Unterschied der beiden Reihen sind die Länge (die DWD-Reihe ist zu Beginn um zwölf Monate und am Ende um zwei Jahre länger) und der Referenzzeitraum (1961 – 1990 gegenüber 1962 – 2017).

Der SPI und ein hieraus berechneter linearer Trend scheinen also sehr stark auf die Beobachtungslänge und auf die Werte in den Monaten zu Beginn und zum Ende der Zeitreihe zu reagieren. Ein Vergleich mit der Nachbarstation Essen-Südviertel_RV (45080115) zeigt ein deutlich anderes Verhalten (Abbildung 92). Hier gibt es einen klar steigenden Trend.

Kapitel 9: Trendanalysen zu Trockenzeiten

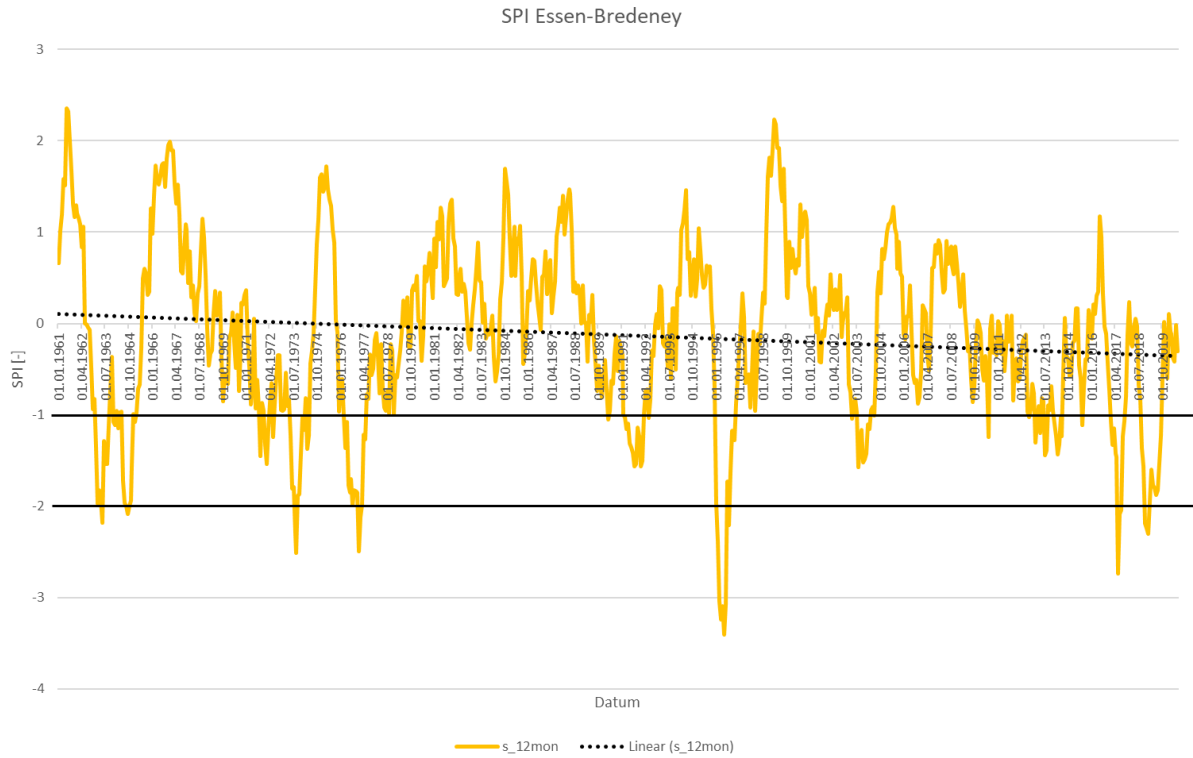


Abbildung 90: Vom DWD berechneter SPI für die Station Essen-Bredeneý_DWD (45070025) (1961 – 2019, Aggregationszeitraum: 12-Monatssummen), eigene Darstellung auf Datenbasis des Deutschen Wetterdienstes (2020)

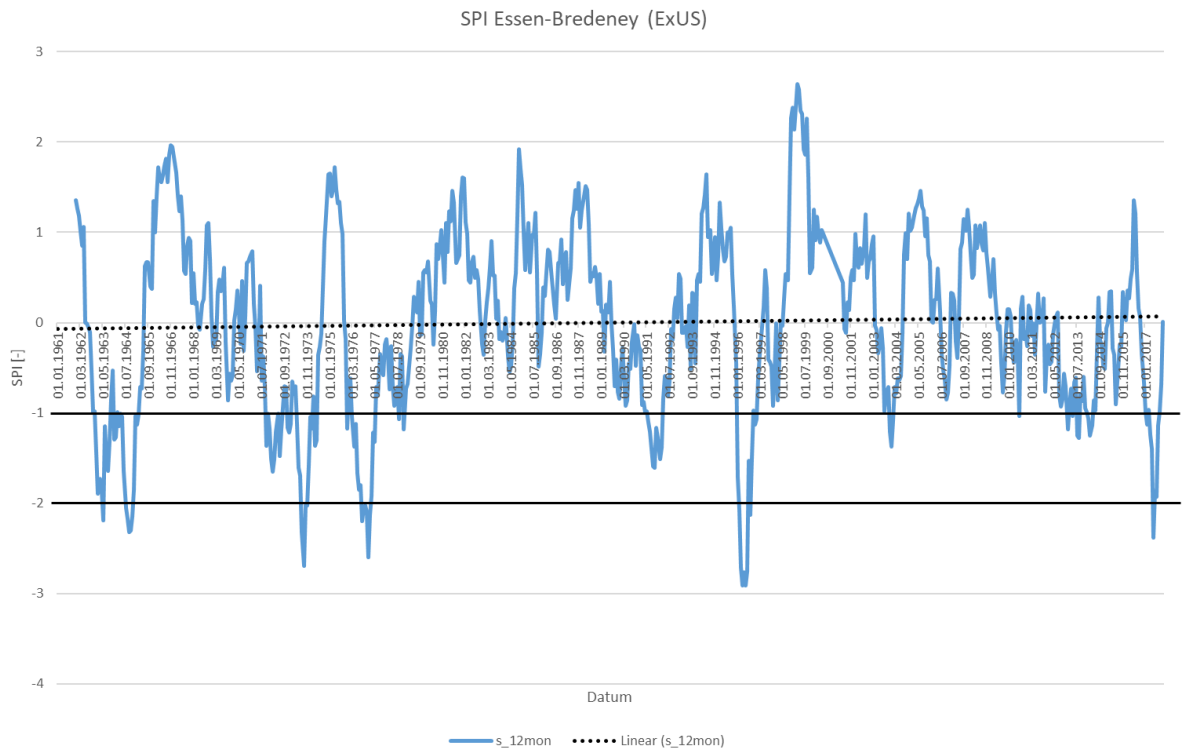


Abbildung 91: Mit dem SPI Generator berechneter SPI für die Station Essen-Bredeneý_DWD (45070025) (1961 – 2017, Aggregationszeitraum: 12-Monatssummen)

Kapitel 9: Trendanalysen zu Trockenzeiten

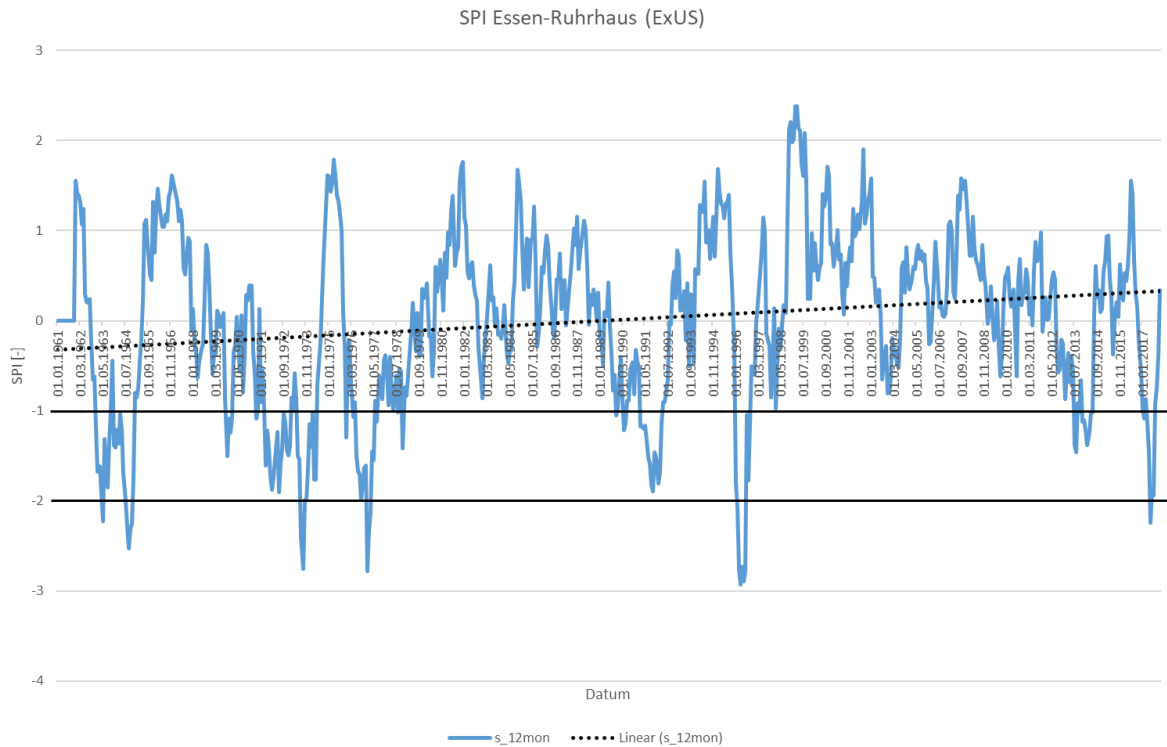


Abbildung 92: SPI für die Station Essen-Südviertel_RV (45080115) (Aggregationszeitraum: 12-Monatssummen)

Daneben gibt es Ergebnisse an Einzelstationen, die klare Aussagen ermöglichen, z. B. an der Station Gummersbach_Aggertalsperre_AV (49110022). Hier sind die 6-Monatswerte in Winter und Sommer aufgeteilt worden. Es wird deutlich, dass die Werte für den Winter angestiegen sind (es wurde nasser), während der Sommer (Mai – Oktober) konstant blieb.

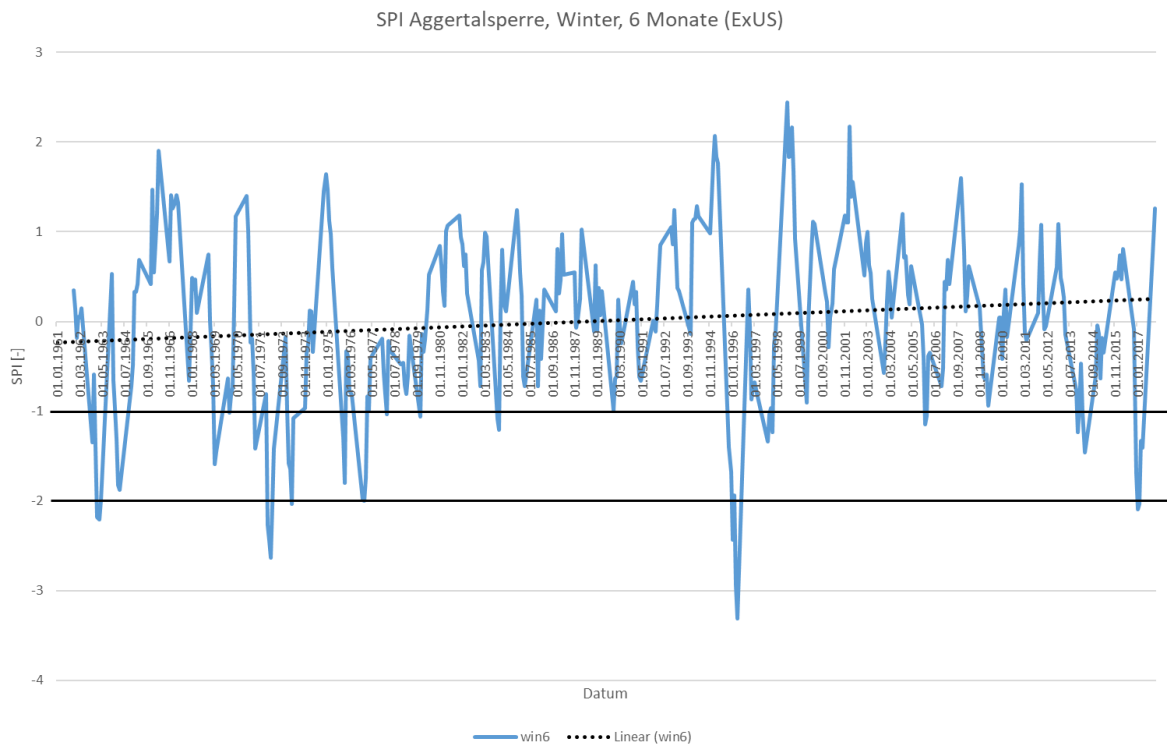


Abbildung 93: SPI für die Station Gummersbach_Aggertalsperre_AV (49110022) (Winterhalbjahr, Aggregationszeitraum: 6-Monatssummen)

Kapitel 9: Trendanalysen zu Trockenzeiten

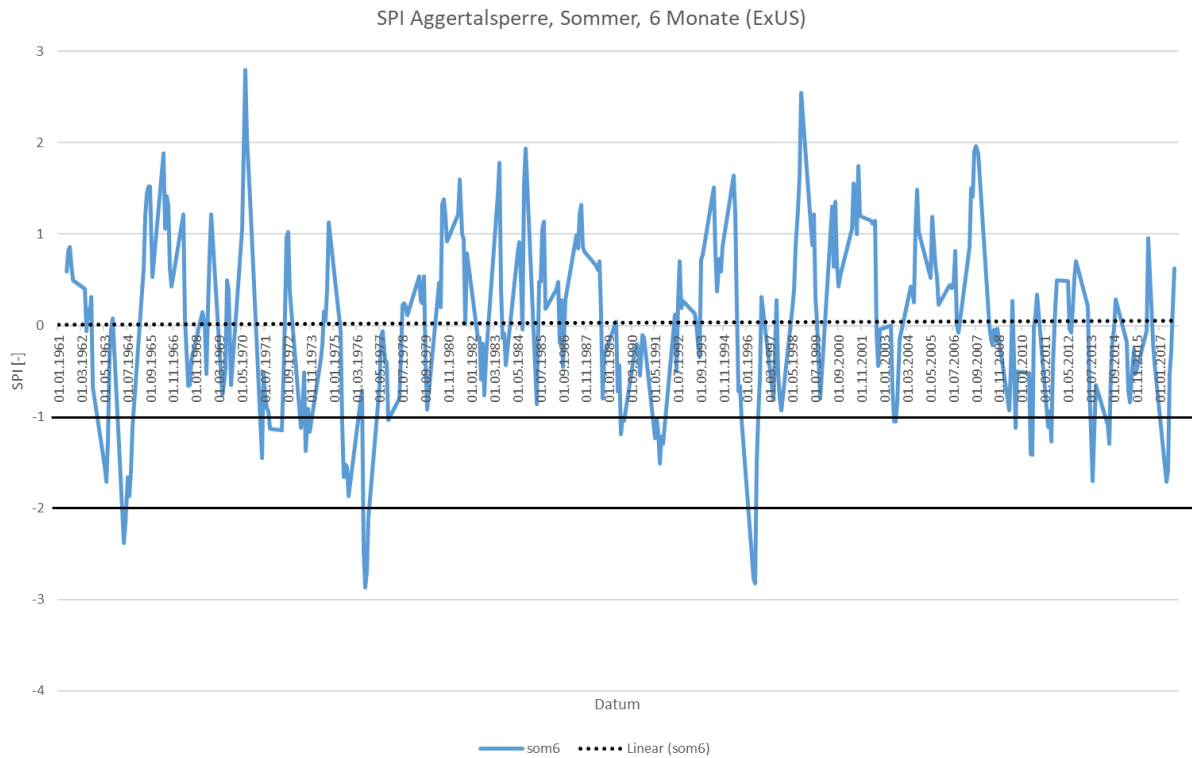


Abbildung 94: SPI für die Station Gammersbach_Aggertalsperre_AV (49110022) (Sommerhalbjahr, Aggregationszeitraum: 6-Monatssummen)

Weitere Auswertungen zeigten, dass die Ergebnisse zu Trends an benachbarten Stationen mit demselben Lokalklima nicht einheitlich waren. Hierbei waren Trends bei längeren Aggregationsdauern (6 oder 12 Monate) stärker ausgeprägt als bei kurzen Dauern (1 oder 3 Monate).

9.2.3 Bewertung der Ergebnisse

Für Trendaussagen sind die erzielten Ergebnisse nicht zu verwenden, da die beobachtbaren linearen Trends stark auf einzelne Monate an den Rändern des Untersuchungszeitraums reagieren und nicht konsistent zwischen Nachbarstationen sind.

9.3 Auswertungen zum Trockenheitsindex nach de Martonne (dMI)

9.3.1 Einführung des dMI

Trockenheit zeigt sich nicht nur durch ein Niederschlagsdefizit. Für die klimatische Wasserbilanz ist die potenzielle Verdunstung vom Niederschlag abzuziehen. Bei den Auswertungen zum Trockenheitsindex dMI nach DE MARTONNE (1926) wird daher auch die Lufttemperatur als wesentlicher Einflussfaktor auf die potenzielle Verdunstung mit einbezogen. Der Trockenheitsindex dMI wird auf Monatsbasis aus dem Verhältnis der Monatsniederschlagssumme N und der mittleren monatlichen Lufttemperatur T gebildet:

$$\text{dMI} = \frac{N}{T + 10}$$

Die Konstante 10 im Nenner dient dazu, negative Werte zu vermeiden. Es gilt: Je kleiner der dMI, desto größer ist die Trockenheit. Monate mit einem $\text{dMI} \leq 2$ treten in NRW durchschnittlich etwa 2,5-mal pro Jahr auf, Monate mit einem $\text{dMI} \leq 1$ nur etwa einmal in zwei Jahren.

9.3.2 Durchgeführte Auswertungen zum dMI

Die Auswertungen zum dMI wurden auf Basis der Stationen mit „langen Zeitreihen“ durchgeführt. Die Monatsmitteltemperaturen stammen von Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2020). Hierbei wurden um die betrachteten Niederschlagsstationen Buffer mit einem Radius von 2 km gelegt, aus denen die mittlere Monatstemperatur der Rasterdaten ermittelt wurden. Außerdem wurde ein weiterer Datensatz an Niederschlagsdaten auf Basis der Rasterdaten des DWD (2020) auf gleiche Weise produziert und für vergleichende Bewertungen herangezogen.

Abbildung 95 zeigt den mittleren monatlichen dMI für Nordrhein-Westfalen für die drei Zeitscheiben. Wie auch bei den mittleren Monatssummen (Abbildung 26) sind im Zeitraum 1991 – 2018 gegenüber 1961 – 1990 Abnahmen in den Monaten März bis Juni zu verzeichnen; es gibt beim dMI allerdings kaum Zunahmen in den anderen Monaten. Dies steht im Gegensatz zu den mittleren Monatsniederschlagssummen.

Ähnlich dem Landesdurchschnitt ist auch die Entwicklung des dMI in den Großlandschaften. In Abbildung 96 sind der mittlere monatliche dMI im Bergischen Land und in der Niederrheinischen Bucht beispielhaft gegenübergestellt.

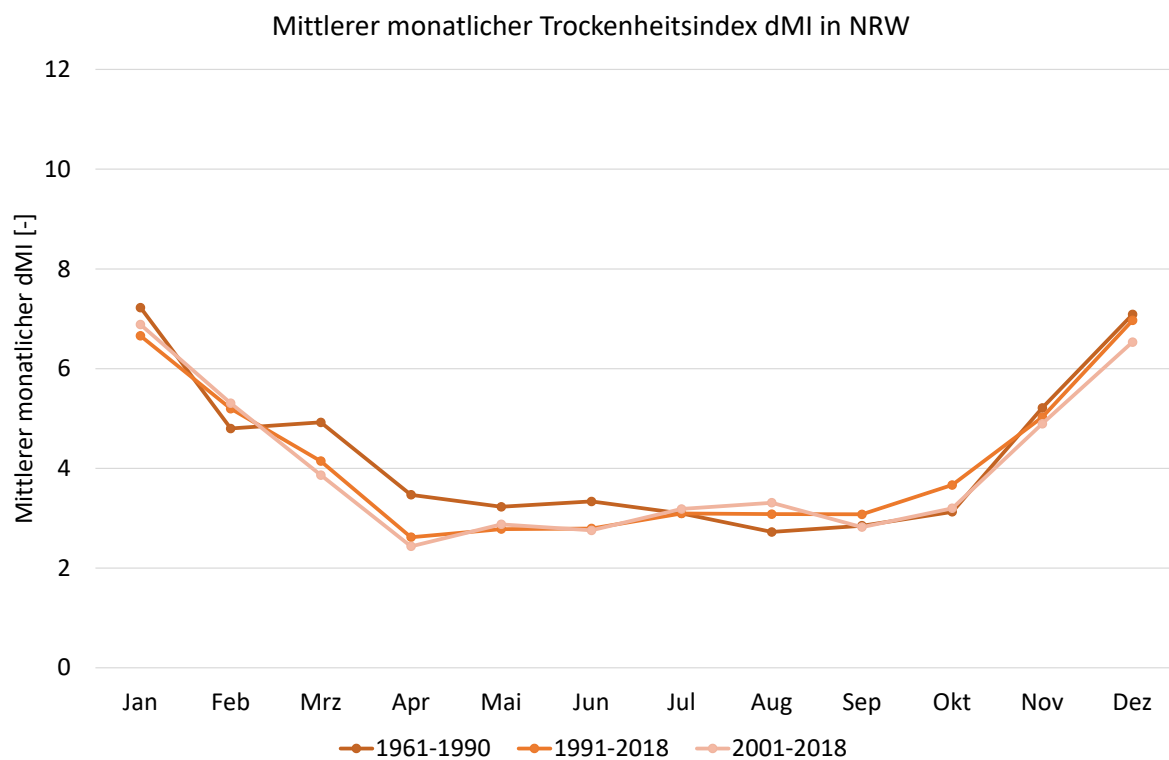


Abbildung 95: Mittlerer monatlicher Trockenheitsindex dMI in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)

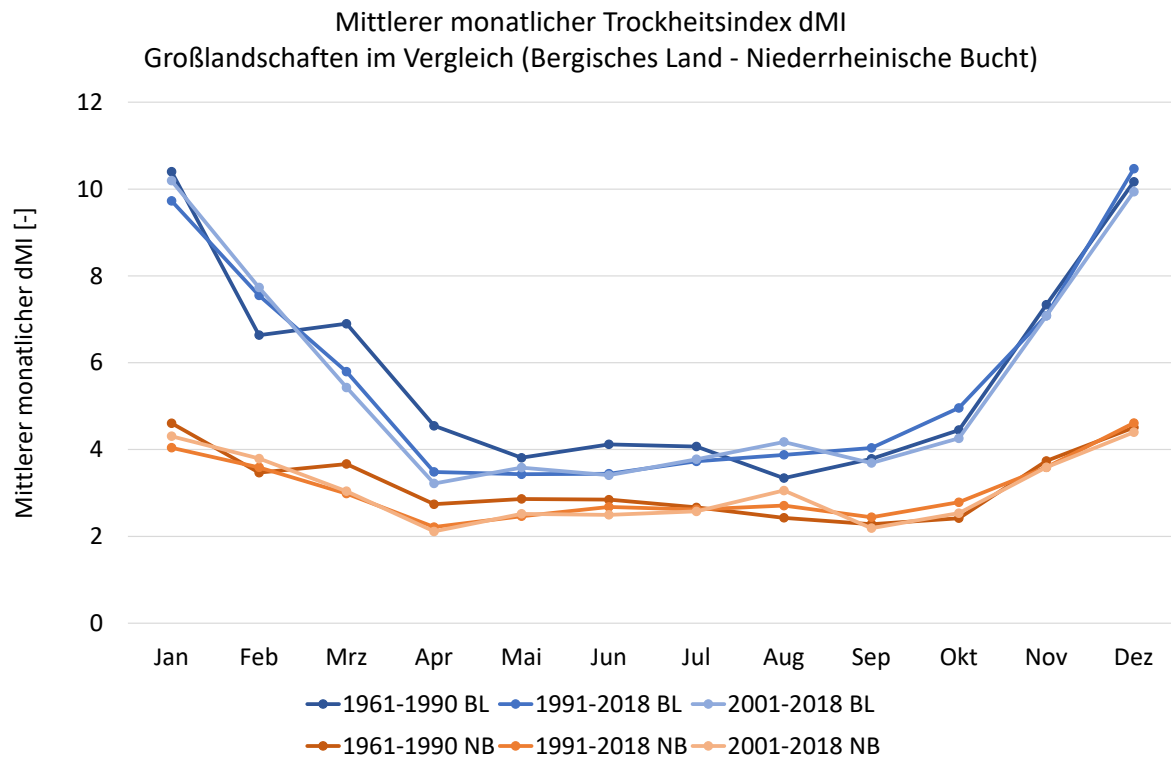


Abbildung 96: Gegenüberstellung des mittleren monatlichen Trockenheitsindex dMI im Bergischen Land (BL) und der Niederrheinischen Bucht (NB) in den drei Zeitscheiben

In Abbildung 97 wird der mittlere Trockenheitsindex in Gesamt-NRW in den drei untersuchten Zeiträume 1961 – 1990, 1991 – 2018 und 2001 – 2018 dargestellt. Dabei wurde der dMI einerseits auf Basis der Stationsdaten und andererseits auf Basis der Rasterniederschlagsdaten des DWD berechnet. Die Ergebnisse sind ähnlich.

Bei Betrachtung der Niederschläge auf Stationsbasis ist der dMI gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 in den letzten 28 Jahren um etwa 4 % und in den letzten 18 Jahren um fast 6 % gesunken. Legt man die Rasterdaten des DWD zugrunde, sind die Abnahmen noch etwas größer. Hier zeigt sich der Einfluss der zunehmenden Temperaturen auf die Trockenheit, denn wie im Kapitel 9.1 beschrieben, hat im Gegensatz zum dMI die Anzahl an Trockentagen selbst kaum abgenommen.

Der mittlere dMI sagt allerdings noch nichts über Extreme aus. Um zu prüfen, ob das Auftreten sehr trockener Monate zugenommen hat, wurde die Anzahl der Monate mit einem $dMI \leq 1$ in den drei Zeitscheiben ermittelt. Wie zu Beginn des Kapitels bereits erläutert, treten Monate mit einem $dMI \leq 1$ in NRW nur etwa alle zwei Jahre auf, in den Mittelgebirgsregionen etwas seltener, in den Flachlandregionen dagegen etwas häufiger. Insgesamt stellt der $dMI \leq 1$ aber in allen Großlandschaften einen extrem trockenen Monat dar. Das Ergebnis der Auswertung ist in Abbildung 98 dargestellt.

Gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 ist die Anzahl der Monate mit einem $dMI \leq 1$ im Zeitraum 1991 – 2018 um etwa 10 % (Stationsdaten) bzw. fast 13 % (Rasterdaten) gestiegen. In den letzten 18 Jahren betragen die Zunahmen sogar fast 12 % (Stationsdaten) bzw. mehr als 16 % (Rasterdaten).

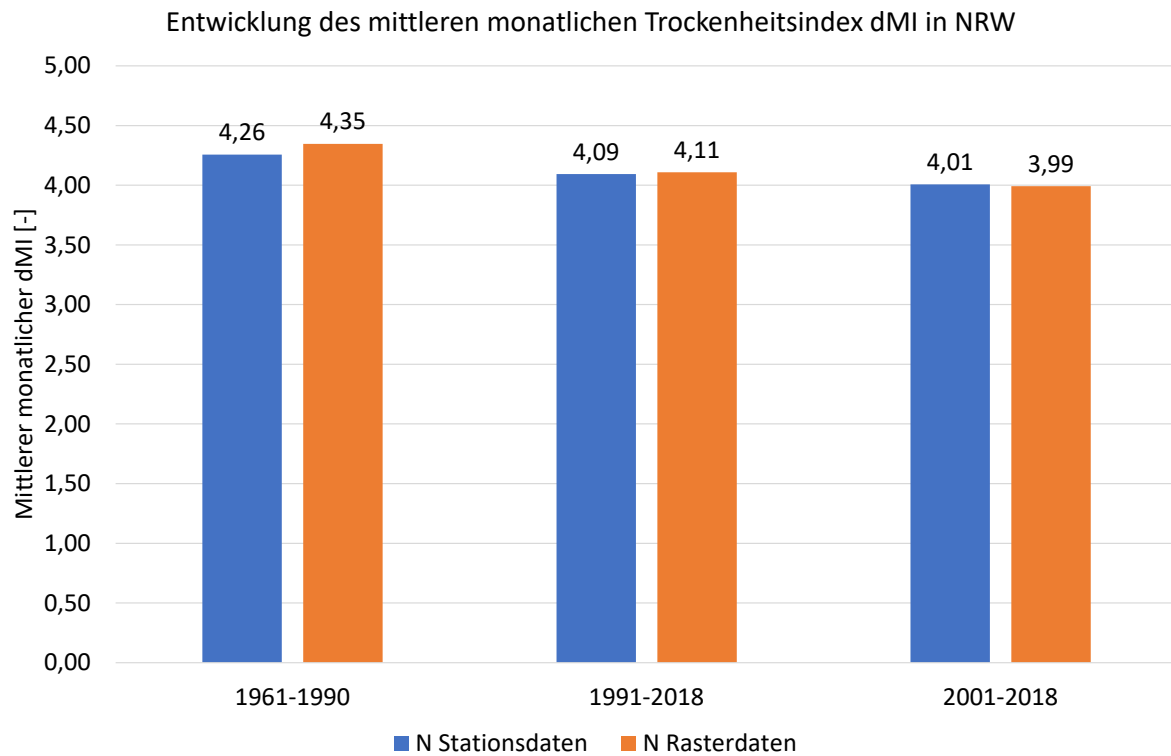


Abbildung 97: Mittlerer monatlicher Trockenheitsindex dMI in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)

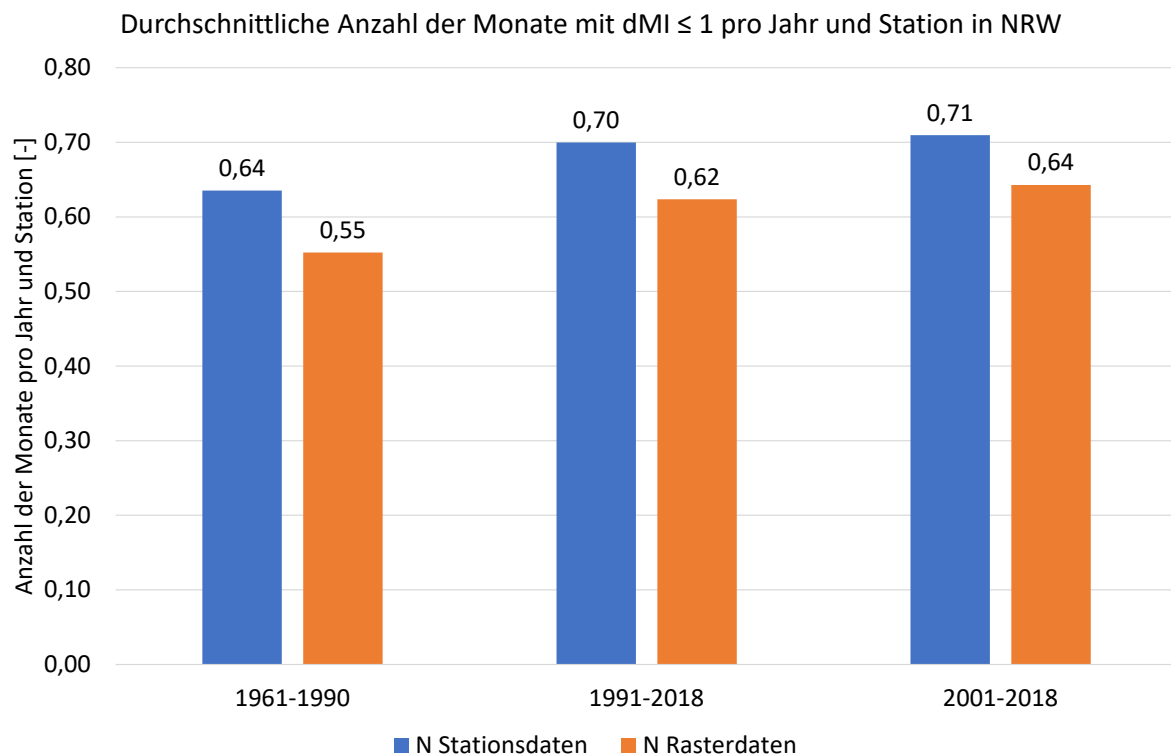


Abbildung 98: Durchschnittliche Anzahl der Monate mit einem Trockenheitsindex $dMI \leq 1$ pro Jahr und Station in den drei Zeitscheiben (Mittelwert über Gesamt-NRW)

Die Entwicklung des dMI spiegelt sich in allen Großlandschaften wider, wenn auch in unterschiedlichem Maße. Abbildung 99 zeigt die Entwicklung auf Basis von Stationsdaten des mittleren monatlichen Trockenheitsindex dMI in den einzelnen Großlandschaften und im Vergleich zu Gesamt-NRW. Tabelle

26 gibt einen Überblick über die prozentualen Veränderungen, und in Tabelle 27 ist Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung des Trockenheitsindex dMI in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW im Zeitraum 1961 – 2018 aufgelistet.

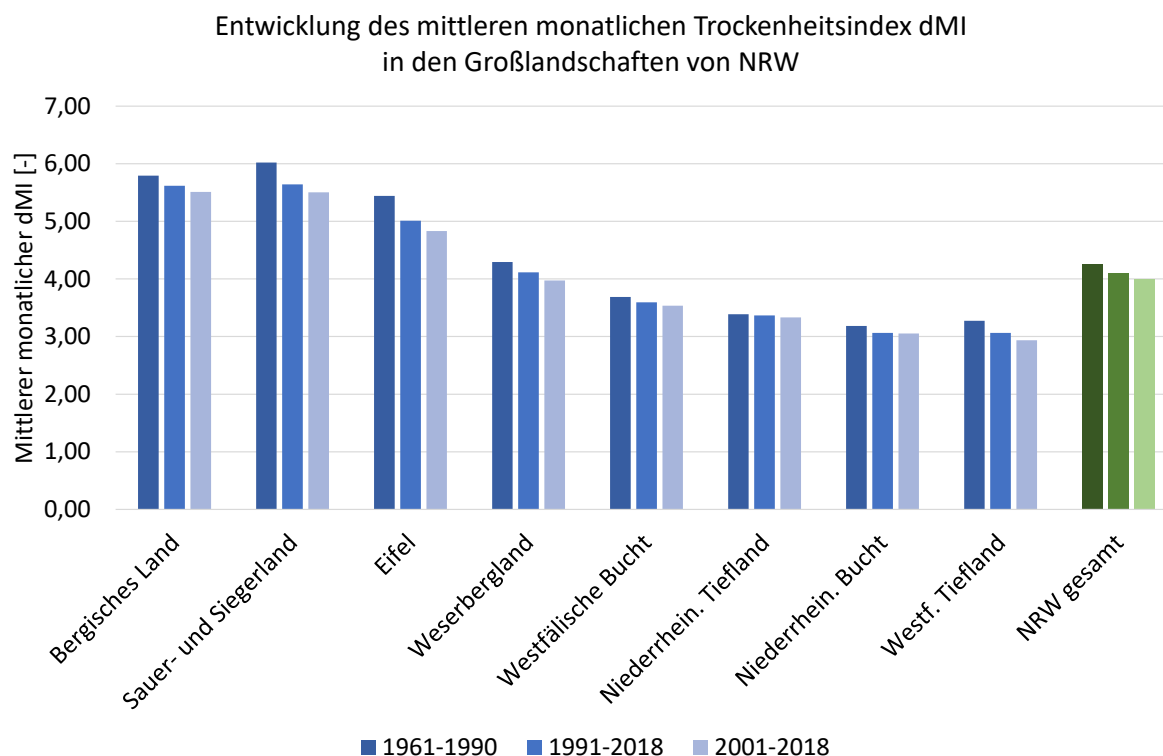


Abbildung 99: Mittlerer monatlicher Trockenheitsindex dMI in den drei Zeitscheiben in den Großlandschaften von NRW

Tabelle 26: Prozentuale Veränderung des mittleren monatlichen Trockenheitsindex dMI in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW in den Zeiträumen 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 und 2001 – 2018 vs. 1961 – 1990

Großlandschaft	Prozentuale Veränderung des mittleren monatlichen dMI	
	1991 – 2018 vs. 1961 – 1990	2001 – 2018 vs. 1961 – 1990
Bergisches Land	-3,08 %	-4,93 %
Sauer- und Siegerland	-6,30 %	-8,59 %
Eifel	-7,94 %	-11,25 %
Weserbergland	-4,16 %	-7,45 %
Westfälische Bucht	-2,53 %	-4,17 %
Niederrhein. Tiefland	-0,60 %	-1,71 %
Niederrhein. Bucht	-3,87 %	-4,11 %
Westf. Tiefland	-6,39 %	-10,27 %
Gesamt-NRW	-3,83 %	-5,88 %

Tabelle 27: Signifikanzniveau nach Mann-Kendall für die Entwicklung des Trockenheitsindex dMI in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW im Zeitraum 1961 – 2018

Großlandschaft	Signifikanzniveau nach Mann-Kendall [%]
Bergisches Land	72,39
Sauer- und Siegerland	87,56
Eifel (mit Siebengebirge)	89,69
Weserbergland	88,34
Westfälische Bucht	70,86
Niederrheinisches Tiefland	42,14
Niederrheinische Bucht	57,53
Westfälisches Tiefland	99,42
Gesamt-NRW	81,20

Die Trends in den Abnahmen des mittleren monatlichen dMI der letzten 58 Jahre sind in den Großlandschaften ebenso wie in Gesamt-NRW nicht signifikant. Eine Ausnahme bildet das Westfälische Tiefland. Dort zeigte auch die Analyse der Trockentage eine signifikante Zunahme (Kapitel 9.1).

Im Hinblick auf die Extreme wurden auch die für die Großlandschaften die Monate mit einem dMI ≤ 1 ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 100 dargestellt; Tabelle 28 zeigt die prozentualen Veränderungen.

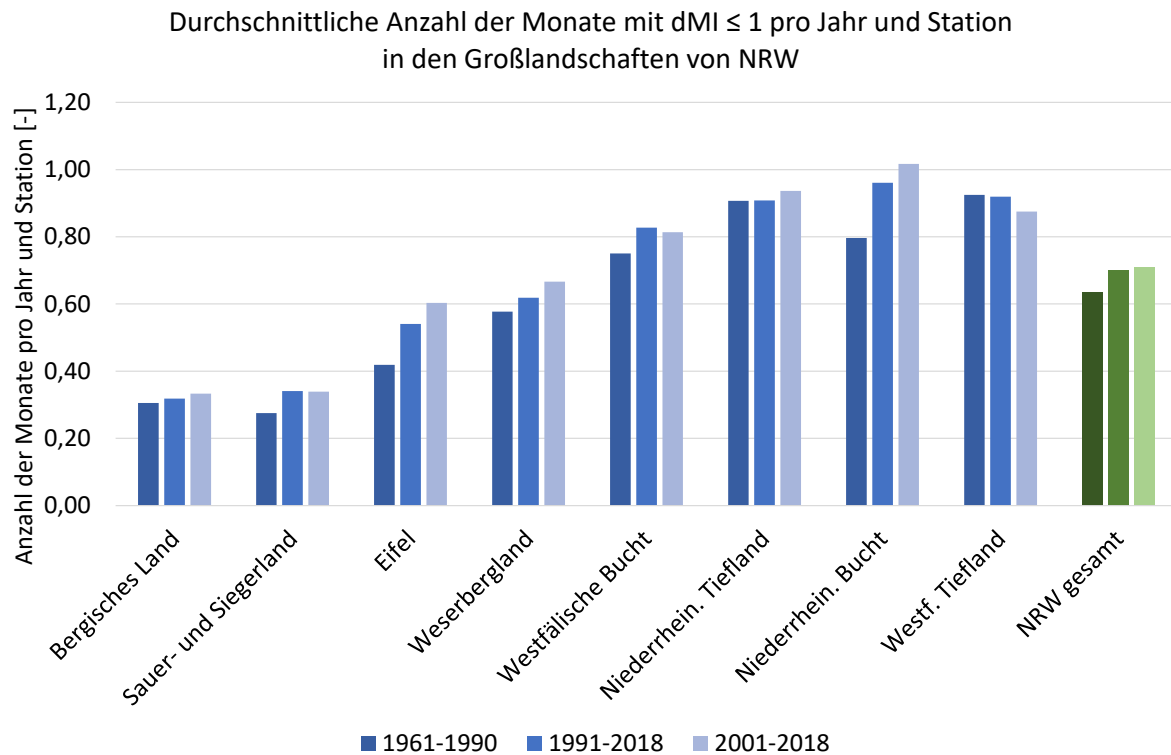


Abbildung 100: Durchschnittliche Anzahl der Monate mit einem Trockenheitsindex dMI ≤ 1 pro Jahr und Station in den drei Zeitscheiben in den Großlandschaften von NRW

Tabelle 28: *Prozentuale Veränderung der Anzahl von Monaten mit einem dMI ≤ 1 in den Großlandschaften von NRW und Gesamt-NRW in den Zeiträumen 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 und 2001 – 2018 vs. 1961 – 1990*

Großlandschaft	Prozentuale Veränderung der Anzahl von Monaten mit dMI ≤ 1	
	1991 – 2018 vs. 1961 – 1990	2001 – 2018 vs. 1961 – 1990
Bergisches Land	4,22%	9,09%
Sauer- und Siegerland	24,03%	23,23%
Eifel	29,06%	43,94%
Weserbergland	7,14%	15,50%
Westfälische Bucht	10,24%	8,49%
Niederrhein. Tiefland	0,11%	3,24%
Niederrhein. Bucht	20,59%	27,62%
Westf. Tiefland	-0,58%	-5,41%
Gesamt-NRW	10,12%	11,68%

Auch in vielen Großlandschaften ist die Anzahl der Monate mit einem dMI ≤ 1 deutlich gestiegen. Vor allem im Sauer- und Siegerland, in der Eifel und in der Niederrheinischen Bucht liegt die prozentuale Zunahme von sehr trockenen Monaten mit über 20 % weit über dem NRW-Durchschnitt. Auffällig ist hier erneut das Westfälische Tiefland, das zwar mit die höchste Abnahme beim mittleren dMI zeigt, allerdings keine Zunahme an sehr trockenen Monaten.

10 Trendanalysen zu weiteren Klimaparametern

Begleitend zu den umfangreichen Trendanalysen im Bereich Niederschlag wurde auch die Entwicklung der Lufttemperatur für den Zeitraum 1961 – 2018 betrachtet. Aufgeteilt in die acht Großlandschaften Nordrhein-Westfalens erfolgte eine rasterdatenbasierte Auswertung zu den Mitteltemperaturen auf Jahres-, Jahreszeiten- und Monatsbasis. Zum Vergleich werden die Mittelwerte für ganz Nordrhein-Westfalen mit abgebildet.

Neben den Temperaturmittelwerten und deren Veränderungen innerhalb des Zeitraumes 1961 – 2018 wurden anschließend auch die sogenannten Lufttemperaturkenntage für jede Großlandschaft und das gesamte Bundesland ebenfalls anhand von Rasterdaten ausgewertet.

Für jeden im Anschluss vorgestellten Lufttemperatur-Parameter wurde mit Hilfe des verteilungsfreien Mann-Kendall Tests überprüft, ob für die jeweilige Zeitreihe ein signifikanter Trend vorliegt. Dies soll Aufschluss darüber geben, wie deutlich und sicher ein Trend gegenüber der Variabilität innerhalb der Zeitreihe hervortritt. Je größer das Signifikanzniveau ist, desto stärker gilt ein Trend als statistisch gesichert (Kapitel 4.2).

Sämtliche Zeitreihenbetrachtungen zur Lufttemperatur und verwandten Parametern basieren auf den Klimarasterdaten des Deutschen Wetterdienstes DWD (2020a). Einzig die Raster für die Tropennächte stehen nicht als Open Data Produkt zur Verfügung und mussten direkt beim DWD angefragt werden.

10.1 Entwicklungen der mittleren Lufttemperatur auf jährlicher, saisonaler und monatlicher Basis.

Bereits für den im Vergleich zur gesamten verfügbaren Zeitreihe ab 1881 / 1891 deutlich kürzeren Untersuchungszeitraum dieser Studie (1961 – 2018) können für den überwiegenden Teil der betrachteten Temperaturdaten sehr starke Temperaturanstiege festgestellt werden. Insgesamt verläuft die Temperaturentwicklung in Nordrhein-Westfalen und in allen acht Großlandschaften zum größten Teil parallel, nur je nach Höhenlage auf unterschiedlichen Niveaus. Zunächst werden die jährlichen und saisonalen Zeitreihen 1961 – 2018 dargestellt und eingeordnet. Anschließend erfolgt eine zusammenfassende Diskussion der monatlichen Temperaturzeitreihen.

10.1.1 Mittlere jährliche Temperaturen 1961 – 2018

Während das Niederrheinische Tiefland die Großlandschaft mit der höchsten Jahresmitteltemperatur ist, stellt die im Mittel am höchsten gelegene Großlandschaft Sauer- und Siegerland die kühlsste dar. In Tabelle 29 werden die jährlichen Mitteltemperaturen 1961 – 2018 für jede Großlandschaft dargestellt.

Tabelle 29: Jährliche Mitteltemperaturen in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018, Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Jährlicher Temperaturmittelwert 1961 – 2018 in °C
Nordrhein-Westfalen	9,4
Niederrheinisches Tiefland	10,4
Niederrheinische Bucht	10,3
Westfälische Bucht	9,8
Westfälisches Tiefland	9,6
Bergisches Land	9,3
Weserbergland	8,9
Eifel (mit Siebengebirge)	8,7
Sauer- und Siegerland	8,0

Anhand der jährlichen Mittelwerte über den gesamten Beobachtungszeitraum 1961 – 2018, wie sie in Tabelle 29 dargestellt sind, kann man klar eine Rangfolge von wärmster zur kältesten Großlandschaft feststellen. Nordrhein-Westfalen liegt im Gebietsmittel bei 9,4 °Celsius (°C) innerhalb des Beobachtungszeitraumes. Das Niederrheinische Tiefland ist mit seiner tiefen Lage im äußersten Westen Nordrhein-Westfalens sowie am Rhein die wärmste Großlandschaft mit 10,4 °C Mitteltemperatur. Fast gleichauf liegt die Niederrheinische Bucht mit 10,3 °C. Weiter östlich vom Rhein folgen Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland mit 9,8 °C und 9,6 °C Mitteltemperatur und schließen die Rangfolge der wärmeren Großlandschaften mit überwiegendem Flachland- und Gunstrumcharakter ab. Als erste Großlandschaft mit deutlichen Mittelgebirgsanteilen kommt in dieser Rangfolge der jährlichen Mitteltemperaturen das Bergische Land mit 9,3 °C an die Reihe. Mit dem weiter östlich gelegenen Weserbergland folgt die nächste Mittelgebirgs-Großlandschaft mit einer Mitteltemperatur von 8,9 °C. Mit 8,7 °C ist die Eifel (mit Siebengebirge) nur geringfügig kälter als das Weserbergland. Das Sauer- und Siegerland dagegen ist mit 8,0 °C Mitteltemperatur mit Abstand die kälteste Großlandschaft. Hier wirkt sich die Höhenlage sowie die relativ größere Distanz zum Rhein bzw. zur Nordsee aus, die verantwortlich für die relativ hohen Mitteltemperaturen im Niederrheinischen Tiefland und der Niederrheinischen Bucht sind.

Bei der Betrachtung der Entwicklungen zur mittleren Jahrestemperatur für den Zeitraum 1961 – 2018 wird wie bei sonst keinem anderen Klimaparameter die in geologischen Maßstäben fast schon abrupt zu nennende Erwärmung der Atmosphäre deutlich. Abbildung 101 und Abbildung 102 stellen die Temperaturentwicklung der jeweiligen Großlandschaften, aufgeteilt nach wärmeren und kühleren Regionen, dar. Die Temperaturentwicklung für Nordrhein-Westfalen wird zum Vergleich ebenfalls in diesen Abbildungen dargestellt.

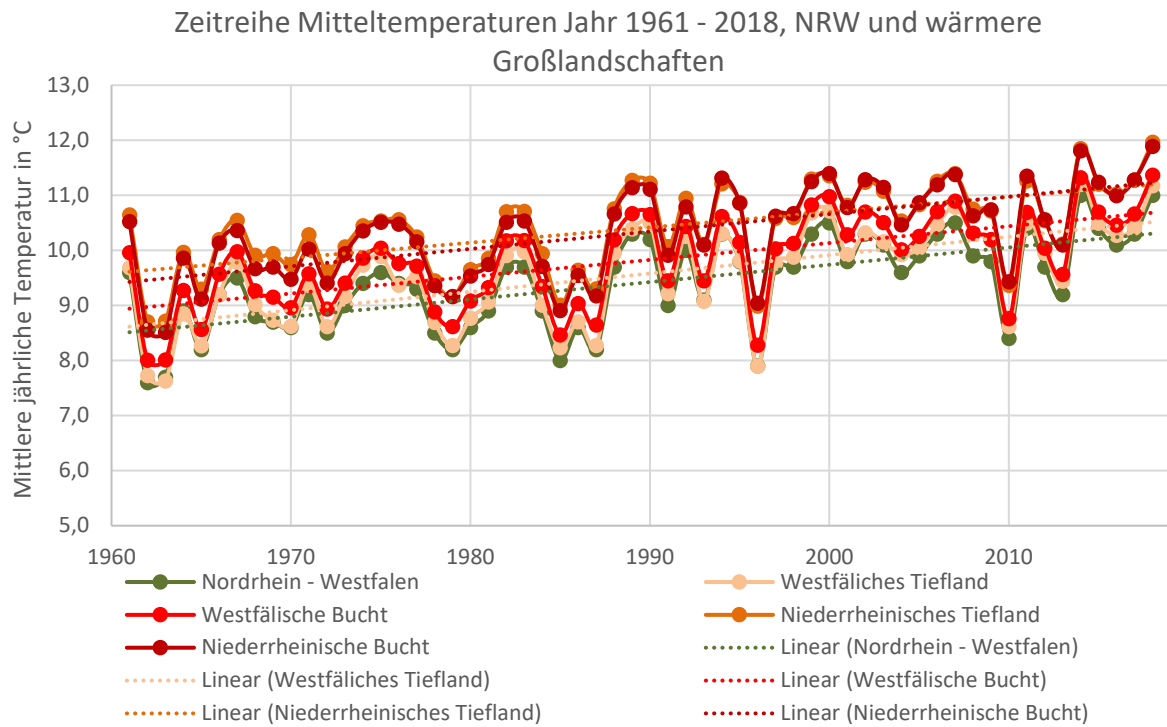


Abbildung 101: Mittlere jährliche Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

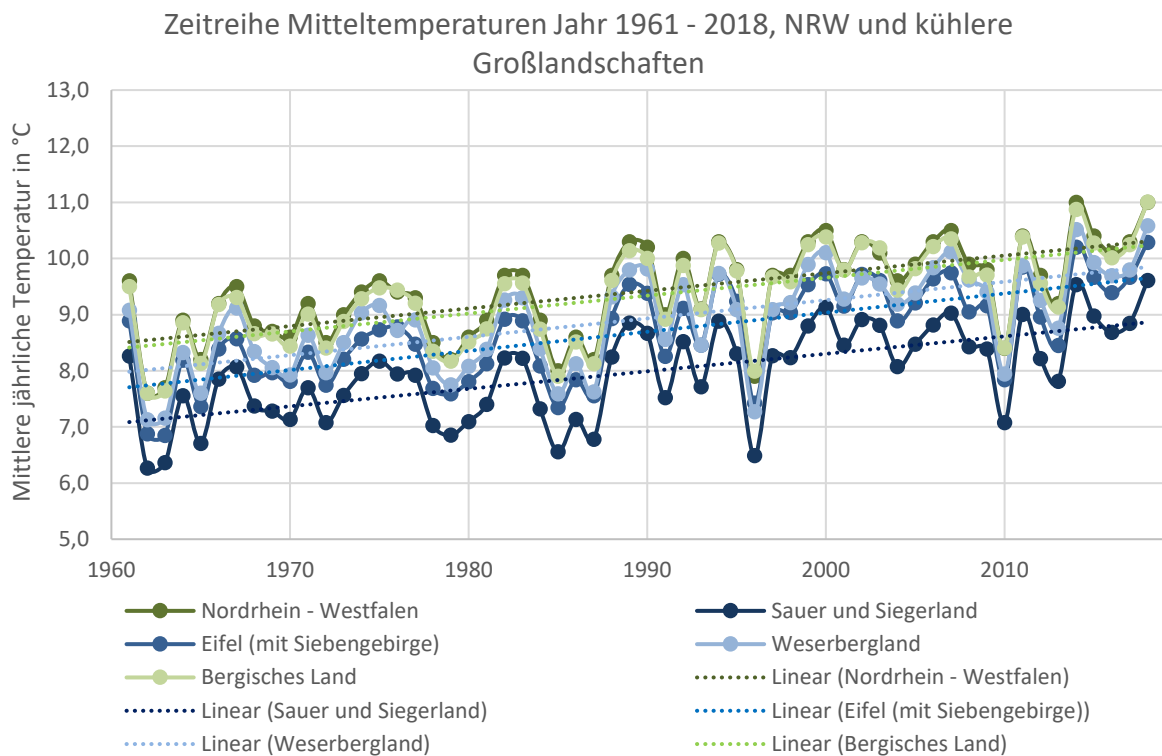


Abbildung 102: Mittlere jährliche Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Wie anhand der beiden Abbildungen ersichtlich wird, steigen die Temperaturen im Beobachtungszeitraum sehr deutlich und annähernd parallel an. Die linearen Trendlinien deuten darauf hin, dass ein statistisch hochsignifikanter Trend bei allen Großlandschaften vorliegt. Hier liegt das Signifikanzniveau S_i nach Mann-Kendall bei fast 100 %.

Im Zeitraum 1961 – 2018 stellen die Jahre 2014 und 2018 die beiden Spitzenreiter bei den mittleren Jahrestemperaturen dar. 1962 und 1963 waren bei allen Großlandschaften die kältesten Jahre. Bei aufmerksamer Betrachtung der Zeitreihen in Abbildung 101 und Abbildung 102 lässt sich durchaus erkennen, dass sich ab den 1990er Jahren die Jahresmitteltemperaturen auf einem insgesamt höheren Niveau eingependelt haben. Mit Blick auf die neuen Temperaturdaten 2019 und 2020, die außerhalb des Beobachtungszeitraums dieser Studie fallen, bahnt sich möglicherweise bereits ein neues, noch wärmeres Temperaturniveau an. 2020 ist nun das bisher wärmste Jahr in Nordrhein-Westfalen seit Beginn der systematischen Temperaturerfassung, und 2019 war nur geringfügig kühler als die bisherigen Rekordjahre.

Bei der Betrachtung der linearen Trendgeraden, siehe auch die Übersicht in Tabelle 30, offenbaren sich ganz leichte Unterschiede in der Steigung und demnach auch beim absoluten Temperaturanstieg. Der Unterschied der Anfangs- und Endwerte der linearen Trendgerade 1961 – 2018 bei den Zeitreihen Nordrhein-Westfalens und der Großlandschaften ergibt eine Temperatursteigerung von 1,6 Kelvin (K) bis 1,9 K. Die Temperatursteigerung liegt im Bereich von 0,27 K pro Dekade bis 0,34 K pro Dekade. Bei der Gegenüberstellung der langjährigen Mittelwerte 1961 – 1990 und 1991 – 2018 ergibt sich für Nordrhein-Westfalen und die Großlandschaften ein Temperaturanstieg von 0,8 K bis 1 Kelvin (K). Tabelle 30 stellt die Temperaturentwicklungen der acht Großlandschaften und Nordrhein-Westfalens gegenüber. Dabei zeigt sich, dass die Großlandschaften Eifel, Westfälisches Tiefland und Weserbergland im linearen Trend die stärksten Temperaturanstiege und höchsten Erwärmungsraten bei den Jahresmitteltemperaturen haben. Die geringste Erwärmung erlebte das Niederrheinische Tiefland. Der maximale Unterschied von 0,3 K bei den Temperaturanstiegen sollte aber nicht überbewertet werden, da sich die linearen Trendgeraden mit jedem neuen Wert in der Zeitreihe ändern. Bei den Differenzen der langjährigen Mittelwerte gibt es nur maximal 0,2 K Unterschied zwischen den Großlandschaften. Demnach kann prinzipiell davon ausgegangen werden, dass die Temperatursteigerungen in allen Großlandschaften sehr parallel verlaufen, wenn die jährlichen Mitteltemperaturen betrachtet werden. Die Unterschiede im niedrigen Zehntel Kelvinbereich bei den Temperatursteigerungen lassen noch keine weiteren Aussagen zu. Dafür können Interpolationsfehler oder Stationsfehler genauso verantwortlich sein wie regionale Einflüsse. Erst ab einer Abweichung von $> 0,5$ K bei den linearen Temperaturanstiegen über den gesamten Beobachtungszeitraum bzw. ab solch einer Differenz zwischen den langjährigen Mittelwerten wird vom LANUV NRW von einem Unterschied der Temperaturanstiege zwischen den Großlandschaften ausgegangen.

Eine Gegenüberstellung der im Augenblick stattfindenden Erwärmungsrate in NRW mit der globalen Erwärmungsrate während des Übergangs von der letzten Eiszeit in die aktuelle Warmzeit, dem Holozän, soll zur groben Einordnung dienen, auch wenn regionale und globale Daten streng genommen nicht so vergleichbar sind: Nach dem letzten Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC, 2013) hat sich während des Übergangs von der letzten Eiszeit in die aktuelle Warmzeit die globale Temperatur in den schnelleren Übergangsphasen höchstens um ein Kelvin in 1000 Jahren erhöht. Die aktuell im Zeitraum betrachtete lokale Erwärmungsrate von rund 0,3 K pro Dekade, selbst unter Berücksichtigung

der Tatsache, dass Nordrhein-Westfalen auf Land liegt und die Nordhalbkugel sich tendenziell schneller erwärmt, ist im Vergleich dazu rasend schnell. Dazu kommt, dass diese sehr schnelle Erwärmung nicht aus der Tiefe einer Kaltzeit geschieht, sondern bereits aus einer Warmzeit heraus von staten geht.

Tabelle 30: Jährliche Temperaturentwicklungen in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).

Einheit	Temperaturanstieg Jahr linear 1961-2018, in K	Temperaturanstieg Jahr pro Dekade, in K	Mitteltemperatur Jahr 1961-1990, in °C	Mitteltemperatur Jahr 1991-2018, in °C	Differenz 1991-2018 zu 1961-1990, in K
Nordrhein-Westfalen	1,8	0,31	9,0	9,9	0,9
Niederrheinisches Tiefland	1,6	0,27	10,0	10,8	0,8
Niederrheinische Bucht	1,8	0,31	9,9	10,8	0,9
Westfälische Bucht	1,7	0,30	9,4	10,3	0,9
Westfälisches Tiefland	1,9	0,33	9,1	10,1	1,0
Bergisches Land	1,8	0,31	8,9	9,8	0,9
Weserbergland	1,9	0,32	8,5	9,4	0,9
Eifel (mit Siebengebirge)	1,9	0,34	8,2	9,2	1,0
Sauer- und Siegerland	1,8	0,31	7,5	8,5	1,0

10.1.2 Mittlere saisonale Temperaturen 1961 – 2018

In diesem Abschnitt werden die Temperaturzeitreihen 1961 – 2018 für die Jahreszeiten präsentiert. Meteorologisch wird der Frühling durch die Monate März, April und Mai repräsentiert; der Sommer durch die Monate Juni, Juli und August; der Herbst durch die Monate September, Oktober und November sowie der Winter durch die Monate Dezember, Januar und Februar.

Dieser Reihenfolge folgend wird auch die saisonale Temperaturentwicklung vorgestellt. Zunächst soll Tabelle 31 einen Überblick über die mittleren Jahreszeiten-Temperaturen in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften über die gesamte Zeitreihe 1961 – 2018 geben.

Tabelle 31: Saisonale Temperaturmittelwerte in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Temperatur- mittelwert 1961 – 2018 Frühling, in °C	Temperatur- mittelwert 1961 – 2018 Sommer, in °C	Temperatur- mittelwert 1961 – 2018 Herbst, in °C	Temperatur- mittelwert 1961 – 2018 Winter, in °C
Nordrhein-Westfalen	8,9	16,8	9,8	2,1
Niederrheinisches Tiefland	9,9	17,7	10,7	3,2
Niederrheinische Bucht	9,8	17,7	10,6	3,1
Westfälische Bucht	9,3	17,3	10,1	2,5
Westfälisches Tiefland	9,0	17,1	9,9	2,2
Bergisches Land	8,8	16,7	9,7	2,0
Weserbergland	8,4	16,5	9,3	1,4
Eifel (mit Siebengebirge)	8,0	16,0	9,2	1,5
Sauer- und Siegerland	7,4	15,5	8,4	0,6

Bei der Gegenüberstellung der saisonalen Temperaturmittelwerte des gesamten Beobachtungszeitraumes 1961 – 2018, wie in Tabelle 31 analog zu den Jahresmittelwerten dargestellt, ergibt sich auch für die Jahreszeiten eine annähernd gleiche Rangfolge unter den Großlandschaften wie bei den jährlichen Mitteltemperaturen. Nur im Winter ist das Weserbergland leicht kälter als die Eifel und im Sommer liegen die Gunsträume des Niederrheinischen Tieflandes und der Niederrheinischen Bucht gleich auf. Nordrhein-Westfalen liegt wie zu erwarten im Mittelfeld.

In der detaillierteren Betrachtung der saisonalen Temperaturentwicklungen in Nordrhein-Westfalen und in den acht Großlandschaften wird zunächst der Frühling dargestellt. Abbildung 103 und Abbildung 104 stellen nach analogem Muster zu den jährlichen Temperaturzeitreihen die Temperaturmittelwerte 1961 – 2018 für den Frühling dar. Zuerst die wärmeren Großlandschaften und Nordrhein-Westfalen in den flachen Regionen, anschließend die kühleren Großlandschaften mit Mittelgebirgscharakter, ebenfalls im Vergleich zu Nordrhein-Westfalen.

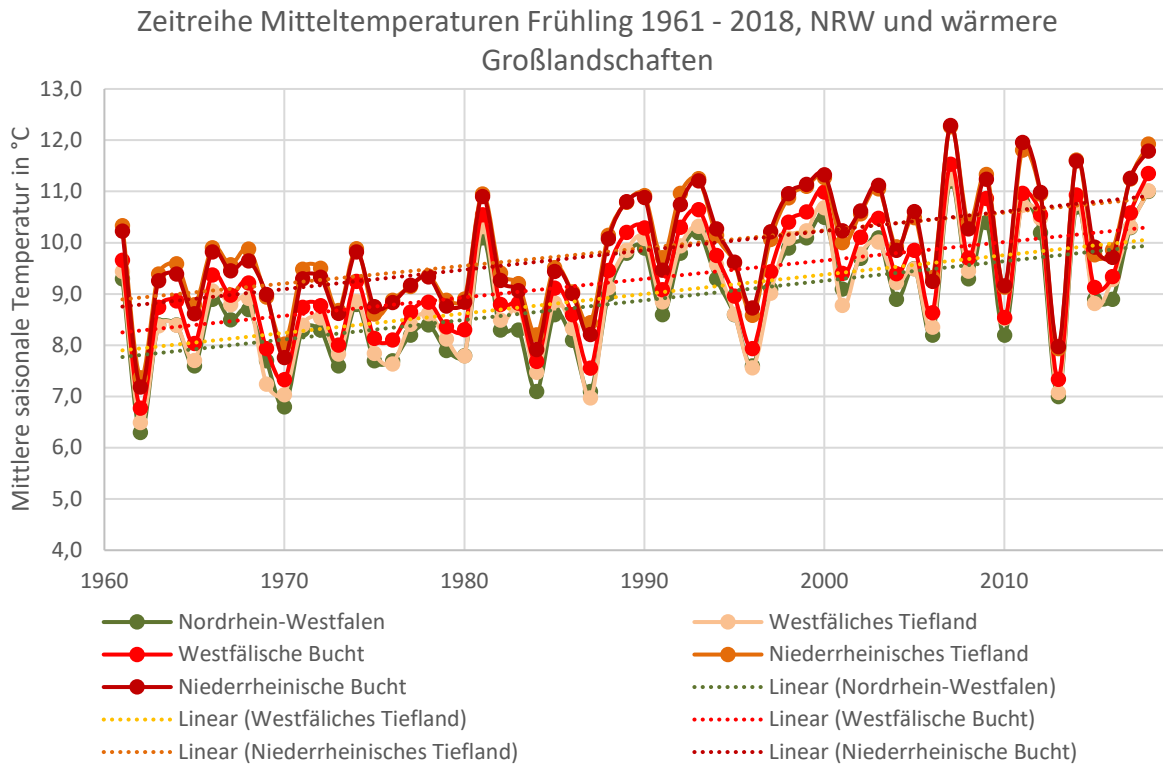


Abbildung 103: Mittlere Frühlings-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

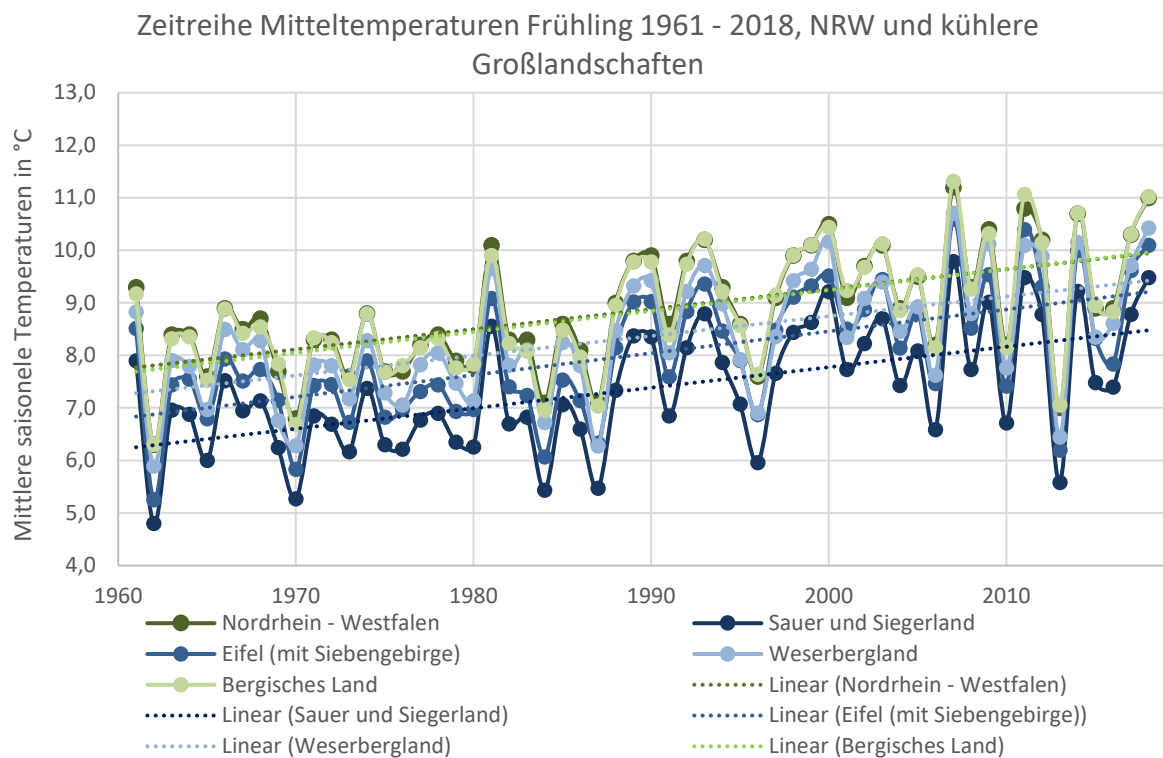


Abbildung 104: Mittlere Frühlings-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Die mittleren Frühlingstemperaturen sind im Beobachtungszeitraum nochmals deutlicher angestiegen als die jährlichen Mitteltemperaturen. Auch hier verläuft erwartungsgemäß die Temperaturentwicklung bei den acht Großlandschaften parallel, nur je nach Höhenlage auf unterschiedlichen Niveaus. In der gesamten Zeitreihe 1961 – 2018 repräsentieren die Frühlingssmittelwerte des Jahres 2007 bei allen acht Großlandschaften den wärmsten Wert. Die Jahre 2014, 2018 und 2011 folgen in dieser Rangliste. Auch hier zeichnet sich ganz eindeutig bei allen Großlandschaften ein höheres Plateau bei den Frühlingss-Mittelwerten ab. Bei den Spitzenreitern für kalte Frühlingss-Mittelwerte liegt das Jahr 1962 ganz weit vorne. Die Jahre 1970, 1984 und 1987, und ganz spät in der Zeitreihe 2013, folgen auf den Plätzen. Bei allen Zeitreihen ergab der Mann-Kendall Test, ebenfalls wie bei den Jahresmitteltemperaturen, einen hoch signifikanten Anstieg der Frühlingss-temperaturen mit einem S_i bei annähernd 100 %. Aus diesem Grunde sind auch hier wieder die linearen Trendgeraden in beiden Zeitreihendiagrammen eingezeichnet, und es können auch lineare Steigerungen beschrieben werden. Nordrhein-Westfalen und die Großlandschaften erleben für den Frühling einen linearen Temperaturanstieg (Vergleich Anfangs- und Endwert der Trendgeraden 1961 – 2018) von 2,1 K bis zu 2,3 K und einer Steigerungsrate zwischen 0,34 K pro Dekade bis 0,39 K pro Dekade. Beim Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1961 – 1990 mit denen von 1991 – 2018 sind ebenfalls Unterschiede ersichtlich. Hier liegt die Bandbreite der Temperaturzunahmen bei 1,2 bis 1,4 K. In Tabelle 32 werden die jeweiligen Temperaturentwicklungen im Land und in den Großlandschaften für den Frühling dargestellt. Unter den Großlandschaften erlebten die Eifel und das Bergische Land die relativ schnellste Erwärmung hinsichtlich des absoluten linearen Trends und der dekadischen Erwärmungsrate. Die Differenzen zwischen den langjährigen Mittelwerten 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 liegen sehr nah beieinander. Die Großlandschaft mit dem geringsten Temperaturanstieg im linearen Trend und der geringsten dekadischen Erwärmungsrate ist das Niederrheinische Tiefland. Insgesamt sind trotz der leichten Unterschiede zwischen den Großlandschaften, die sich alle im Zehntel Kelvinbereich abspielen, die Temperaturanstiege als praktisch parallel und gleichförmig zu betrachten. Tabelle 32 liefert eine Übersicht über die Temperaturentwicklung der mittleren Frühlingss-temperaturen.

Tabelle 32: Temperaturentwicklungen im Frühling in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Temperaturanstieg linear Frühling 1961 – 2018, in K	Temperaturanstieg Frühling pro Dekade, in K	Mitteltemperatur Frühling 1961 – 1990, in °C	Mitteltemperatur Frühling 1991 – 2018, in °C	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in K
Nordrhein-Westfalen	2,2	0,37	8,3	9,5	1,3
Niederrheinisches Tiefland	2,0	0,34	9,3	10,5	1,2
Niederrheinische Bucht	2,2	0,37	9,2	10,5	1,3
Westfälische Bucht	2,1	0,35	8,7	9,9	1,2
Westfälisches Tiefland	2,2	0,37	8,4	9,6	1,2
Bergisches Land	2,3	0,39	8,2	9,5	1,3
Weserbergland	2,1	0,37	7,8	9,0	1,2
Eifel (mit Siebengebirge)	2,3	0,39	7,4	8,8	1,4
Sauer- und Siegerland	2,1	0,35	6,7	8,0	1,3

Der Erwärmungstrend in den Sommermonaten liegt mit einer linearen Erwärmung von 2,0 K für NRW (s. Tabelle 33) im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 zwischen den bereits dargestellten Erwärmungsraten für die jährlichen Mitteltemperaturen (1,8 K für NRW, Tabelle 29) und denen des Frühlings (2,2 K für NRW, Tabelle 32). Abbildung 105 und Abbildung 106 stellen die Temperaturzeitreihen für Nordrhein-Westfalen sowie den wärmeren und kälteren Großlandschaften für die Sommermittelwerte dar.

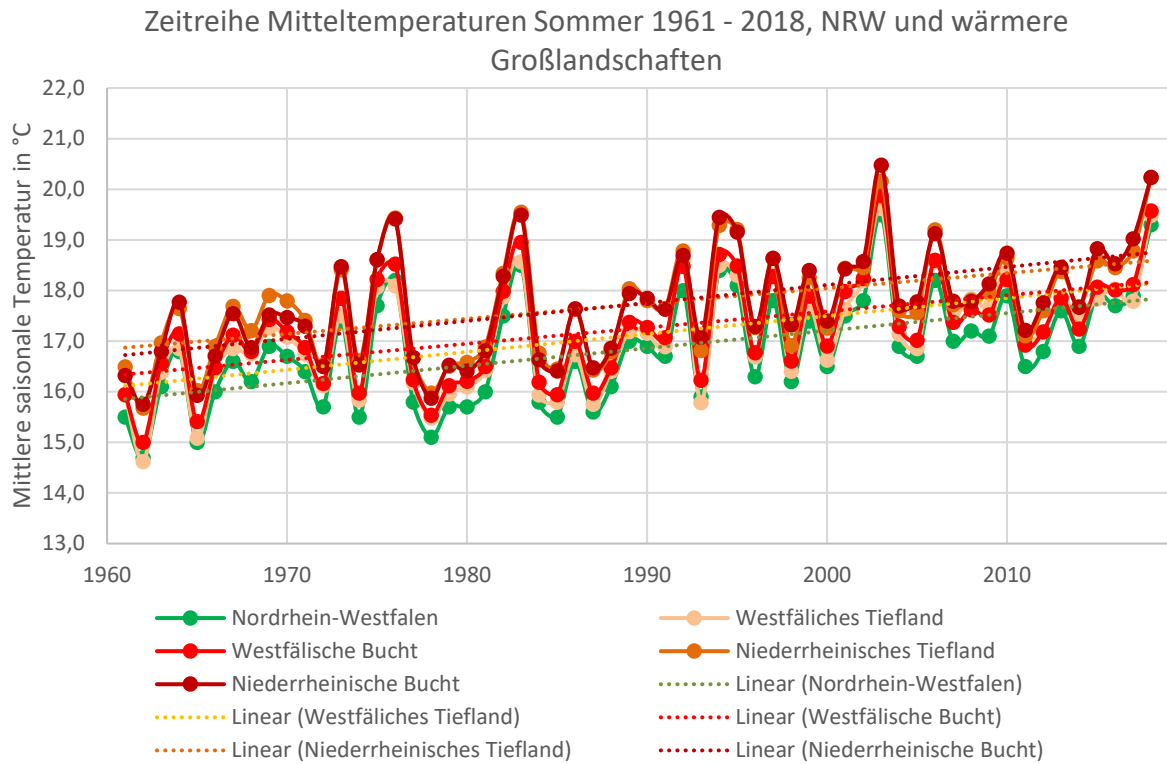


Abbildung 105: Mittlere Sommer-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

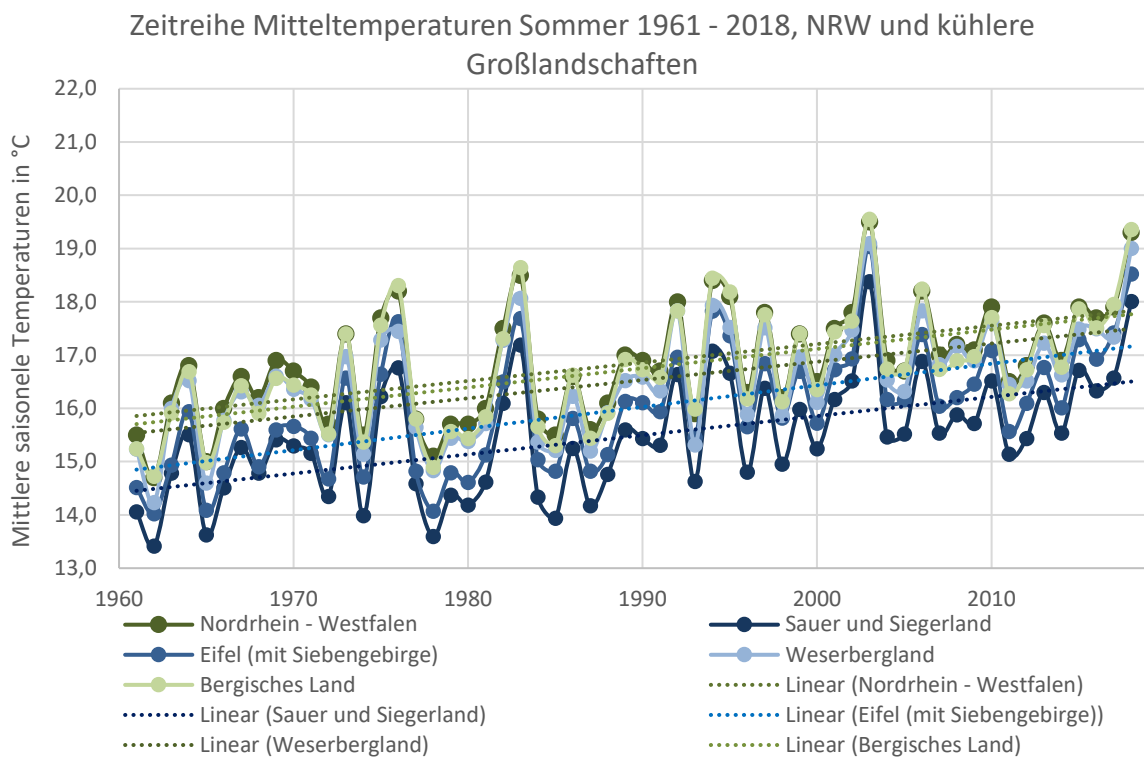


Abbildung 106: Mittlere Sommer-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Die mittleren Sommertemperaturen sind in allen acht Großlandschaften und auch in Nordrhein-Westfalen statistisch hochsignifikant angestiegen. Das Si liegt auch hier bei annähernd 100 %. Die Temperaturentwicklung im Sommer verläuft wie bei den Jahres- und Frühlingsmittelwerten ebenfalls annähernd parallel ab. Der Sommer 2003 war der bisher wärmste im Beobachtungszeitraum. Das Jahr 2018 steht an zweiter Stelle der wärmsten Sommer, gefolgt von den Jahren 1983, 1976 und 1994. Die kältesten Sommer kommen vor allem in der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraumes vor. Abermals ist hier das Jahr 1962 der Spitzenplatz bei den negativen Ausreißern, gefolgt von 1965, 1978 und 1974.

Basierend auf den linearen Trendgeraden ergeben sich innerhalb Nordrhein-Westfalens sowie der acht Großlandschaften Anstiege bei den mittleren Sommertemperaturen von 1,7 K bis 2,3 K (Vergleich Werte Beginn und Ende der linearen Trendgeraden 1961 – 2018). Bei der Erwärmungsrate schwankt die Bandbreite innerhalb der Großlandschaften zwischen 0,30 K pro Dekade und 0,40 K pro Dekade. Der Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 offenbart einen Anstieg bei den Sommer – Mittelwerten von 1,0 K bis 1,3 K. In Tabelle 33 wird die Entwicklung der Sommertemperaturen im Beobachtungszeitraum je Großlandschaft und gesamten Land dargestellt. Hier ist erkennbar, dass für die Eifel sowohl der größte lineare Temperaturanstieg, die höchste dekadische Temperatursteigerungsrate als auch die größte Differenz zwischen den beiden langjährigen Mittelwerten 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 vorliegt. Dem gegenüber ist wie auch beim Frühlings- und Jahrestemperaturzeitreihen das Niederrheinische Tiefland die Großlandschaft mit dem vergleichsweise geringsten Temperaturanstieg. Mittlerweile (1991 – 2018) hat die Niederrheinische Bucht das Niederrheinische Tiefland bei den Sommer-Mittelwerten überholt. Die festgestellten Unterschiede der linearen Erwärmungstrends zwischen der Eifel und dem Niederrheinischen Tiefland überschreiten mit 0,6 K die 0,5 K Klassengrenze knapp. Werden jedoch die Unterschiede zwischen den Differenzen der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 gegenübergestellt, so liegen diese bei maximal 0,3 K. Analog zu den bereits vorgestellten Temperaturentwicklungen ist ein Erwärmungsunterschied von 0,3 K ebenfalls praktisch als gleichförmig anzusehen. Allerdings festigt sich der Eindruck einer sich eher schneller erwärmenden Eifel gegenüber sich eines eher langsamer erwärmenden Niederrheinischen Tieflandes. Dieser Eindruck ist jedoch aufgrund von nicht gänzlich auszuschließenden Interpolationsfehlern mit großer Vorsicht zu handhaben.

Tabelle 33: Temperaturentwicklungen im Sommer in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Temperaturanstieg linear Sommer 1961 – 2018, in K	Temperaturanstieg Sommer pro Dekade, in K	Mitteltemperatur Sommer 1961 – 1990, in °C	Mitteltemperatur Sommer 1991 – 2018, in °C	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in K
Nordrhein-Westfalen	2,0	0,34	16,3	17,4	1,1
Niederrheinisches Tiefland	1,7	0,30	17,3	18,2	1,0
Niederrheinische Bucht	2,0	0,35	17,2	18,3	1,1
Westfälische Bucht	1,8	0,31	16,7	17,8	1,1
Westfälisches Tiefland	2,0	0,35	16,6	17,7	1,1
Bergisches Land	2,1	0,36	16,2	17,3	1,1
Weserbergland	2,0	0,34	16,0	17,1	1,1
Eifel (mit Siebengebirge)	2,3	0,40	15,4	16,7	1,3
Sauer- und Siegerland	2,1	0,35	14,9	16,1	1,2

Die Temperaturentwicklung im Herbst ist im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 deutlich moderater als bei den vorab präsentierten Lufttemperaturzeitreihen. In Abbildung 107 und Abbildung 108 werden die Zeitreihen der Herbst-Mitteltemperaturen wie gehabt zunächst für die wärmeren Großlandschaften, inklusive Nordrhein-Westfalen, und anschließend für die kälteren Großlandschaften dargestellt, ebenfalls inklusive Nordrhein-Westfalen.

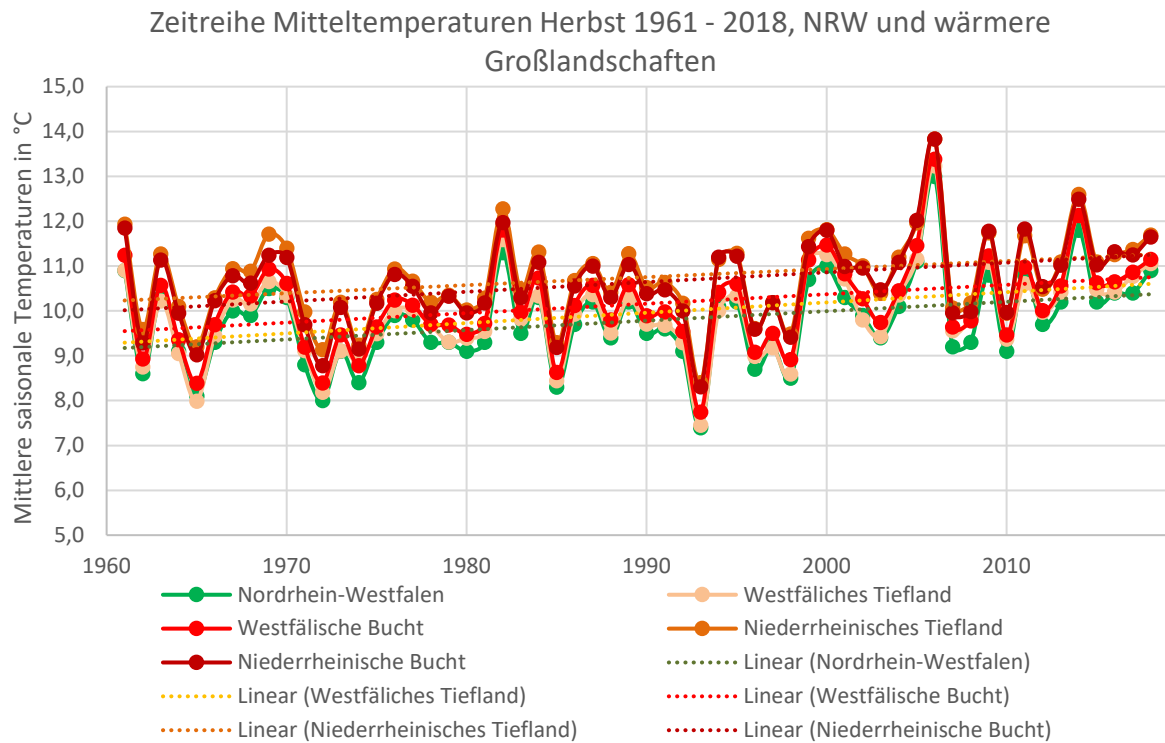


Abbildung 107: Mittlere Herbst-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

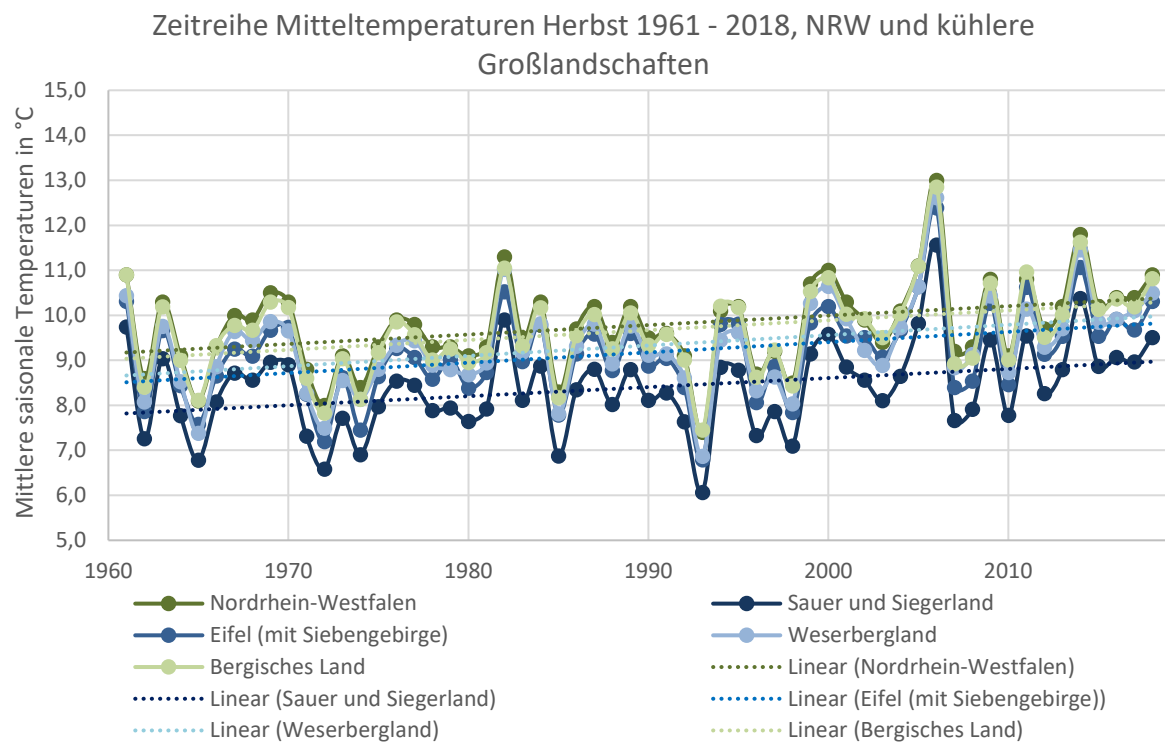


Abbildung 108: Mittlere Herbst-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Die Temperaturentwicklungen im Herbst sind beim Niederrheinischen Tiefland und dem Sauer- und Siegerland statistisch sehr signifikant ansteigend, bei den sechs übrigen Großlandschaften und Nordrhein-Westfalen sind sie hoch signifikant ansteigend, wenn auch nicht mehr ganz bei annähernd 100 % Si. Auch im Herbst verläuft die Temperaturentwicklung über den Beobachtungszeitraum parallel ab, Unterschiede gibt es auch hier nur in der Höhe der Mittelwerte. Der Herbst 2006 sticht sehr markant aus der Zeitreihe heraus und ist einsamer Spitzenreiter bei den positiven Ausreißern. An zweiter Stelle der warmen Spitzenreiter kommt das Jahr 2014, gefolgt von 1982 und 2011. Spitzenreiter bei den kältesten Herbst-Mittelwerten ist das Jahr 1993. Ihm folgen die Jahre 1972, 1965 und 1985.

Basierend auf den linearen Trendgeraden können über die gesamte Zeitreihe 1961 – 2018 Temperaturanstiege von 1,0 K bis 1,3 K (Vergleich Anfangs- und Endwert) nachgewiesen werden. Die Erwärmungsraten liegen in einem Bereich von 0,18 K bis 0,23 K pro Dekade. Der Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 mit 1961 – 1990 offenbaren einen Anstieg von 0,5 K bis 0,6 K bei den mittleren Herbsttemperaturen. Mit diesen Temperaturanstiegen in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften ist der Herbst noch recht moderat im Vergleich zu den bisher betrachteten Jahreszeiten. Tabelle 34 stellt die jeweiligen Temperaturwerte für den Herbst dar. Die Großlandschaften mit den größten Temperaturanstiegen sind die Eifel, das Weserbergland und das Westfälische Tiefland. Das Niederrheinische Tiefland ist abermals die Großlandschaft mit dem vergleichsweise geringsten Temperaturanstieg. Die Unterschiede bei den Temperaturanstiegen sind im Herbst aber sehr gering, weshalb auch hier der Temperaturanstieg praktisch als uniform für alle Großlandschaften betrachtet werden kann.

Tabelle 34: Temperaturentwicklungen im Herbst in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Temperaturanstieg linear Herbst 1961 – 2018, in K	Temperaturanstieg Herbst pro Dekade, in K	Mitteltemperatur Herbst 1961 – 1990, in °C	Mitteltemperatur Herbst 1991 – 2018, in °C	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in K
Nordrhein-Westfalen	1,2	0,21	9,5	10,0	0,5
Niederrheinisches Tiefland	1,0	0,18	10,5	11,0	0,5
Niederrheinische Bucht	1,2	0,21	10,4	10,9	0,5
Westfälische Bucht	1,2	0,21	9,9	10,4	0,5
Westfälisches Tiefland	1,3	0,23	9,7	10,2	0,5
Bergisches Land	1,2	0,22	9,4	10,0	0,6
Weserbergland	1,3	0,23	9,1	9,6	0,5
Eifel (mit Siebengebirge)	1,3	0,23	8,9	9,5	0,6
Sauer- und Siegerland	1,2	0,20	8,2	8,7	0,5

Die Betrachtung der Temperaturentwicklung im Winter innerhalb des Beobachtungszeitraumes 1961 – 2018 schließt die Darstellung der saisonalen Temperaturzeitreihen für Nordrhein-Westfalen und die acht Großlandschaften Nordrhein-Westfalens ab. In Abbildung 109 und Abbildung 110 werden die Winter-Mitteltemperaturen für Nordrhein-Westfalen sowie die wärmeren und kälteren Großlandschaften präsentiert.

Die Temperaturentwicklung im Winter hin zu wärmeren Mittelwerten ist im Vergleich zum Herbst wieder deutlicher ansteigend. Jedoch hat sich das Signifikanzniveau deutlich verringert. Bei den Großlandschaften Niederrheinisches Tiefland, Niederrheinische Bucht, Westfälische Bucht und Eifel (mit Siebengebirge) liegen lediglich signifikante Trends zu höheren Temperaturen vor. Nur in der Westfälischen Bucht ist der Trend noch sehr signifikant. Bei den Großlandschaften Bergisches Land und Sauer- und Siegerland liegen gar keine signifikanten Trends vor, weshalb auch in Abbildung 110 jeweils keine lineare Trendlinie eingetragen wurde. Wenn kein klarer statistischer Trend nach Mann-Kendall erkennbar ist, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen, ob die Entwicklung eine eindeutige Veränderung aufweist. Dass trotz höherer Erwärmungstrends, sofern statistisch signifikant, das τ deutlich geringer ist als bei den anderen Temperaturzeitreihen, lässt sich mit der höheren Varianz der Winter-Zeitreihe erklären. Hier ist die Distanz zwischen Minimum und Maximum unter allen saisonalen Zeitreihen am höchsten. Analog zu den anderen Temperaturzeitreihen verlaufen auch hier die Mittelwerte parallel und je nach Höhenlage der Großlandschaft auf unterschiedlichem Niveau.

Im Gegensatz zu den anderen Temperaturzeitreihen Nordrhein-Westfalens und der Großlandschaften, die bereits vorgestellt wurden, verteilen sich die wärmsten Ausreißer gleichmäßig über den gesamten Beobachtungszeitraum. Der wärmste Winter in der Zeitreihe fand im Jahr 2007 statt, gefolgt von den Jahren 2016, 1990, 1975 und 2014. Der mit großem Abstand kälteste Winter fand im Jahr 1963 statt. Danach folgen 1996, 1979 und 1970. Jedoch können im Winter die negativen Ausreißer je nach Großlandschaft unterschiedliche Spitzenränge erhalten, weil diese sehr nah beieinanderliegen.

Bei den Temperaturentwicklungen lassen sich dort, wo signifikante Trends festgestellt wurden, Anstiege bei den Winter-Mitteltemperaturen von zwischen 1,6 K und 2,0 K (Vergleich Anfangs- und Endwert der linearen Trendgeraden) feststellen. Bei den Erwärmungsraten liegen die Werte zwischen 0,27 K und 0,35 K pro Dekade. Beim Vergleich der langjährigen Temperaturmittelwerte 1991 – 2018 und 1961 – 1990 zeigen sich Temperaturunterschiede von 0,7 K bis 1,0 K. Tabelle 35 stellt die Temperaturentwicklungen des Winters für Nordrhein-Westfalen und die acht Großlandschaften dar. Innerhalb der relativ geringen Bandbreite bei den Temperaturanstiegen liegen die Großlandschaften Westfälisches Tiefland und das Weserbergland fast gleichauf an der Spitze, während das Niederrheinische Tiefland wieder den geringsten Temperaturanstieg verzeichnet.

Kapitel 10: Trendanalysen zu weiteren Klimaparametern

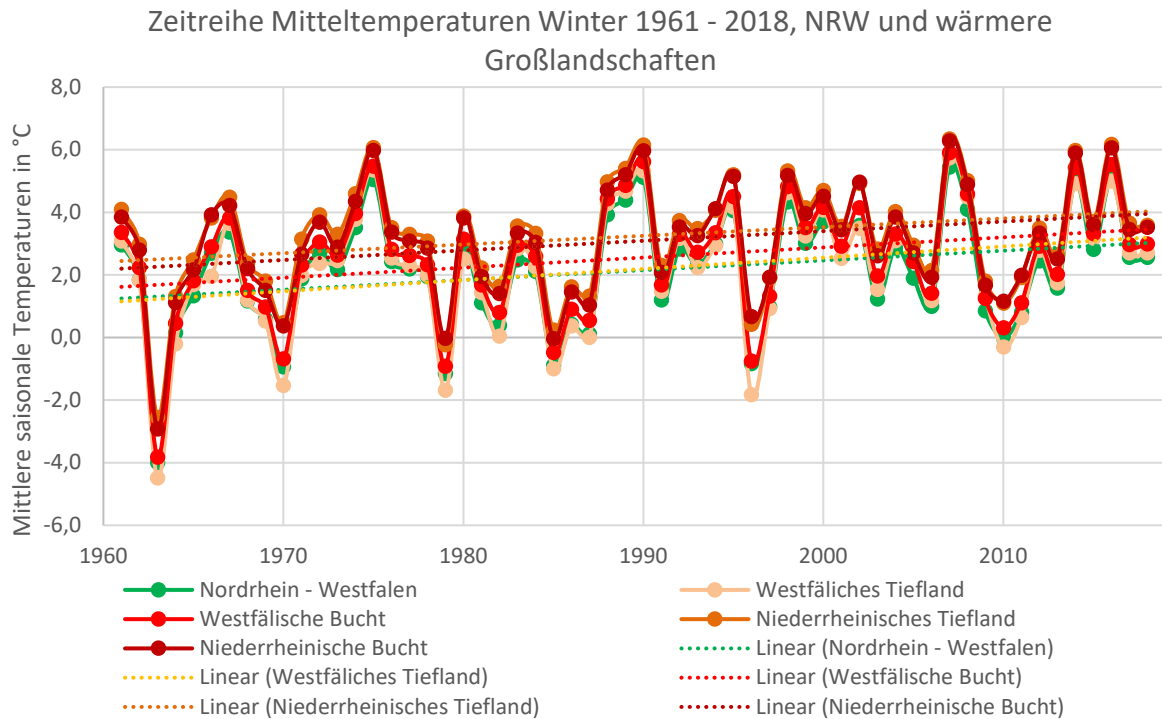


Abbildung 109: Mittlere Winter-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

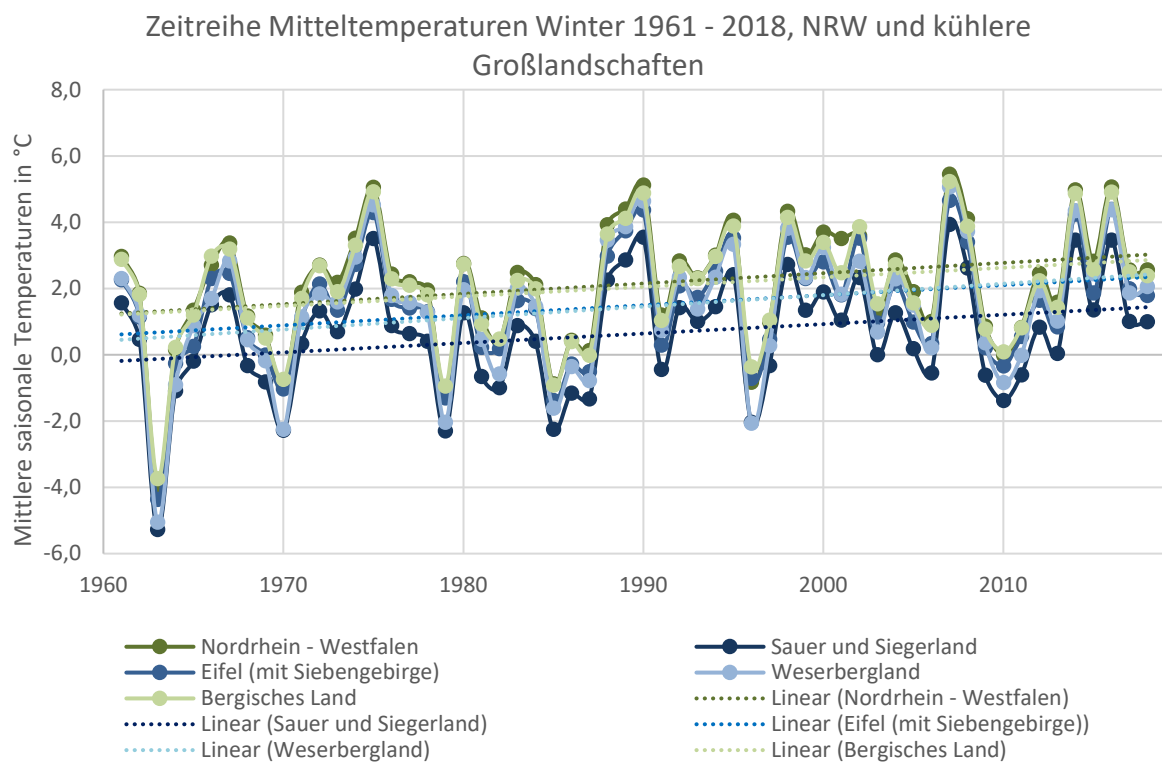


Abbildung 110: Mittlere Winter-Temperaturen in °C für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Tabelle 35: Temperaturentwicklungen im Winter in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Abkürzung „ns“ steht für nicht signifikant. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Temperaturanstieg linear Winter 1961 – 2018, in K	Temperaturanstieg Winter pro Dekade, in K	Mitteltemperatur Winter 1961 – 1990, in °C	Mitteltemperatur Winter 1991 – 2018, in °C	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in K
Nordrhein-Westfalen	1,8	0,31	1,7	2,6	0,9
Niederrheinisches Tiefland	1,6	0,27	2,9	3,6	0,7
Niederrheinische Bucht	1,7	0,30	2,7	3,5	0,8
Westfälische Bucht	1,8	0,32	2,1	3,0	0,9
Westfälisches Tiefland	2,0	0,35	1,7	2,7	1,0
Bergisches Land	ns	ns	1,7	2,4	0,7
Weserbergland	2,0	0,34	1,0	1,9	0,9
Eifel (mit Siebengebirge)	1,7	0,30	1,1	1,9	0,8
Sauer- und Siegerland	ns	ns	0,3	1,0	0,7

Die hier betrachteten saisonalen Temperaturentwicklungen in Nordrhein-Westfalen sowie den Großlandschaften Niederrheinisches Tiefland, Niederrheinische Bucht, Westfälische Bucht, Westfälisches Tiefland, Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland innerhalb des Beobachtungszeitraumes 1961 – 2018 zeigen eine deutliche Steigung bei den Temperaturen. Abgesehen von zwei Zeitreihen im Winter liegen für alle Großlandschaften signifikante Trends vor, die zum Teil ein Si von annähernd 100% besitzen. Die Temperaturen im Frühling steigen besonders stark an, gefolgt von den Sommer- und Wintertemperaturen. Lediglich der Herbst offenbart etwas geringere Temperatursteigerungen, die jedoch immer noch für klimatische Veränderungen im Vergleich mit Daten aus Klimaarchiven als sehr schnell eingeordnet werden müssen. Zur Einordnung sei auch auf den gerade veröffentlichten „Summary for Policymaker“ des 6. Sachstandsberichtes des Weltklimarates verwiesen (IPCC, 2021). Innerhalb der acht Großlandschaften gibt es geringe Unterschiede bei den Temperaturanstiegen, die insgesamt aber immer noch als uniform betrachtet werden können, weil die Unterschiede zwischen den Großlandschaften mit weniger als 0,5 K immer noch sehr gering sind. Dies gilt insbesondere für die Differenzen zwischen den langjährigen Mittelwerten 1991 – 2018 zu denen von 1961 – 2020. Innerhalb der geringen Unterschiede erlebt das Niederrheinische Tiefland im Beobachtungszeitraum vergleichsweise die geringsten Temperaturanstiege in allen Jahreszeiten. Dies liegt möglicherweise daran, dass diese Großlandschaft bereits die wärmste unter den acht Großlandschaften Nordrhein-Westfalens ist. Bei den Großlandschaften mit den relativ größten Temperaturanstiegen gibt es von Jahreszeit zu Jahreszeit unterschiedliche Spitzenreiter, jedoch taucht hier die Eifel auffällig oft auf.

10.1.3 Mittlere monatliche Temperaturen 1961 – 2018

Bei der Darstellung der monatlichen Temperaturentwicklung in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften innerhalb des Beobachtungszeitraumes 1961 – 2018 wurde auf die Darstellung der Zeitreihendiagramme aus Platzgründen verzichtet. Vielmehr werden tabellarisch zunächst die monatlichen Mittelwerte 1961 – 2018 pro Monat und Gebietseinheit (Tabelle 36) dargestellt. Anschließend folgen die tabellarisch dargestellten Temperaturentwicklungen für die jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und in den Großlandschaften.

Man kann in Tabelle 36 erkennen, dass der Juli der wärmste Monat des Jahres ist, während der Januar den kältesten Monat darstellt. In der Regel bildet sich auch bei den Monatsmittelwerten die bereits bekannte Reihenfolge der Großlandschaften von warmen zu kühleren Mitteltemperaturen ab. Angeführt von der wärmsten Großlandschaft, dem Niederrheinischen Tiefland und mit der Niederrheinischen Bucht fast gleichauf (im August sogar geringfügig wärmer), folgen die Westfälische Bucht, das Westfälische Tiefland, das Bergische Land, das Weserbergland, die Eifel (mit Siebengebirge) und als kälteste Großlandschaft das Sauer- und Siegerland.

Tabelle 36: Temperaturmittelwerte der jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Temperaturmittelwert 1961 – 2018 in °C pro Monatszeitreihe											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nordrhein-Westfalen	1,7	2,2	5,0	8,7	12,9	15,7	17,6	17,2	13,9	9,9	5,5	2,6
Niederrheinisches Tiefland	2,8	3,3	6,1	9,6	13,9	16,7	18,5	18,0	14,8	10,9	6,5	3,7
Niederrheinische Bucht	2,6	3,1	6,1	9,6	13,8	16,7	18,5	18,1	14,7	10,8	6,4	3,5
Westfälische Bucht	2,1	2,5	5,4	9,1	13,4	16,2	18,0	17,6	14,2	10,3	5,9	3,0
Westfälisches Tiefland	1,7	2,1	5,0	8,8	13,2	16,0	17,8	17,5	14,1	10,0	5,7	2,7
Bergisches Land	1,6	2,1	5,0	8,6	12,9	15,7	17,5	17,0	13,8	9,8	5,4	2,5
Weserbergland	1,0	1,4	4,3	8,2	12,5	15,4	17,2	16,9	13,5	9,5	5,0	2,0
Eifel (mit Siebengebirge)	1,1	1,5	4,4	7,8	11,9	14,8	16,8	16,4	13,5	9,4	4,8	2,0
Sauer- und Siegerland	0,2	0,6	3,4	7,1	11,5	14,4	16,2	15,8	12,5	8,6	4,1	1,1

In der folgenden Tabelle 37 sind die linearen Temperaturanstiege (Differenz Anfangs- und Endwert der Mitteltemperatur anhand der linearen Trendgerade 1961 – 2018) für die jeweiligen Monate dargestellt, sofern der Trend statistisch signifikant ist. Si unter 90 % werden wie auch vorher schon als „ns“ in der Tabelle gekennzeichnet. Die Zeitreihen der Monate Januar und Februar sowie September und Oktober sind fast durchgängig unterhalb des Signifikanzniveaus, lediglich für einzelne Großlandschaften kann ein signifikanter Trend im Januar und September festgestellt werden. Auch hier sind die Schwankungsbreiten von Jahr zu Jahr bei den meisten Großlandschaften zu groß, um über die Länge der Zeitreihe einen signifikanten Trend zu erkennen. Dort, wo signifikante Trends die Berechnung des Anstieges der durchschnittlichen Temperaturmittelwerte erlauben, sticht der Juli mit besonders hohen Anstiegen von 2,4 K bis 2,8 K hervor. Danach folgt der Monat Dezember mit Anstiegen von 2,2 K bis 2,8 K Temperaturanstieg entlang der linearen Trendgeraden. Im Gegensatz dazu liegen die linearen Temperaturanstiege im Juni im Bereich von „nur“ 1,0 K bis 1,8 K, allerdings ist hier eine deutlichere Bandbreite zwischen den Großlandschaften zu verzeichnen. Ähnlich wie bei den saisonalen Zeitreihen ist der Temperaturanstieg im Niederrheinischen Tiefland im Mittel relativ zu den anderen Großlandschaften am geringsten, wenn man alle Monatszeitreihen betrachtet. Die Eifel hingegen hat bei allen Monatszeitreihen sehr hohe Werte bei den linearen Temperaturanstiegen. Aber trotz der Unterschiede zwischen den Großlandschaften können noch keine gesicherten Aussagen getroffen werden, ob sich wirklich einige Großlandschaften schneller und stärker erwärmen als andere. Dafür müssten Temperaturunterschiede zwischen den Großlandschaften wie für den Juni im ähnlichen Muster für alle Monate ersichtlich werden.

Tabelle 37: Lineare Temperaturanstiege der jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018, „ns“ steht für nicht signifikant. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Linearer Temperaturanstieg 1961 – 2018 in K pro Monatszeitreihe											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nordrhein-Westfalen	2,1	ns	1,9	2,3	2,1	1,3	2,6	2,1	ns	ns	1,8	2,5
Niederrheinisches Tiefland	ns	ns	1,8	2,2	2,0	1,1	2,4	1,7	ns	ns	1,7	2,2
Niederrheinische Bucht	2,1	ns	2,0	2,3	2,2	1,5	2,5	2,1	ns	ns	1,9	2,4
Westfälische Bucht	ns	ns	1,9	2,3	2,0	1,0	2,4	2,0	ns	ns	1,8	2,5
Westfälisches Tiefland	ns	ns	2,0	2,5	2,0	1,0	2,8	2,3	1,1	ns	1,8	2,8
Bergisches Land	ns	ns	2,0	2,5	2,3	1,5	2,6	2,1	ns	ns	1,9	2,4
Weserbergland	ns	ns	2,0	2,4	2,0	1,0	2,6	2,3	ns	ns	1,8	2,7

Eifel (mit Siebengebirge)	2,0	ns	2,1	2,6	2,4	1,8	2,6	2,3	ns	ns	2,0	2,5
Sauer- und Siegerland	ns	ns	1,9	2,4	2,3	1,4	2,5	2,2	ns	ns	1,8	2,4

In der folgenden Tabelle 38 sind für Nordrhein-Westfalen und die Großlandschaften die Temperaturanstiege in K pro Dekade dargestellt, wie sie aus den linearen Trends, statistische Signifikanz vorausgesetzt, berechnet wurden. Unter den Monaten erreicht der Juli, dicht gefolgt von Dezember, mit Steigerungsraten von 0,41 K bis 0,48 K pro Dekade, den Spitzenplatz. Der Juni steht auch hier wieder, mit Steigerungsraten von 0,18 K bis 0,32 K pro Dekade, als Monat mit den geringsten Steigerungsraten (bei einem signifikanten Trend) dem Juli direkt gegenüber. Unter den Großlandschaften gibt es nur geringe Unterschiede, dennoch erlebt das Niederrheinische Tiefland den geringsten Anstieg in der Summe aller Monate; und die Eifel gehört wieder zu den Spitzenreitern. Aber auch hier genügen die Unterschiede nicht für valide Aussagen darüber, dass eine Großlandschaft auch tatsächlich schneller oder langsamer als andere Großlandschaften wärmer wird. Fest steht, dass eine Temperaturerwärmung von 0,48 K pro Dekade auch für Monatszeitreihen einfach nur als deutlich beschleunigt gegenüber längeren Zeitreihen ab 1881 einzuordnen ist.

Tabelle 38: Lineare Temperaturanstiege pro Dekade der jeweiligen Monate in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018, „ns“ steht für nicht signifikant. Datenquelle: DWD (DWD 2020a)

Einheit	Temperaturanstieg 1961 – 2018 in K/Dekade pro Monatszeitreihe											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nordrhein-Westfalen	0,36	ns	0,33	0,40	0,37	0,22	0,44	0,35	ns	ns	0,32	0,43
Niederrheinisches Tiefland	ns	ns	0,31	0,37	0,34	0,19	0,41	0,29	ns	ns	0,29	0,38
Niederrheinische Bucht	0,36	ns	0,34	0,40	0,37	0,25	0,44	0,35	ns	ns	0,33	0,42
Westfälische Bucht	ns	ns	0,32	0,39	0,34	0,18	0,42	0,34	ns	ns	0,31	0,44
Westfälisches Tiefland	ns	ns	0,34	0,43	0,34	0,18	0,48	0,39	0,20	ns	0,31	0,48
Bergisches Land	ns	ns	0,35	0,42	0,40	0,26	0,44	0,36	ns	ns	0,33	0,41
Weserbergland	ns	ns	0,35	0,41	0,35	0,18	0,44	0,39	ns	ns	0,32	0,47
Eifel (mit Siebengebirge)	0,34	ns	0,37	0,44	0,42	0,32	0,48	0,40	ns	ns	0,34	0,43
Sauer- und Siegerland	ns	ns	0,33	0,42	0,40	0,25	0,44	0,38	ns	ns	0,32	0,42

Tabelle 39 („warme“ Großlandschaften) und Tabelle 40 („kalte“ Großlandschaften) zeigen für Nordrhein-Westfalen und für jede Großlandschaft den monatlichen Mittelwert des ersten verfügbaren 30-Jahres-Zeitraumes 1961 – 1990 und den Mittelwert des letzten betrachteten langjährigen Zeitraumes 1991 – 2018 sowie die jeweilige Differenz in Kelvin. Bei den Temperaturmittelwerten macht sich der vergleichsweise etwas langsamere Temperaturanstieg im Niederrheinischen Tiefland gegenüber der Niederrheinischen Bucht bemerkbar. Die einzelnen Sommermonate (1991 – 2018) der Niederrheinischen Bucht sind genau wie der Sommer als zusammengefasster Mittelwert wärmer als die des Niederrheinischen Tieflandes. Die geringsten Differenzen zwischen den beiden langjährigen Zeiträumen liegen für den Monat Oktober vor. Hier liegen die Differenzen zwischen 0,2 K und 0,4 K und sind damit nur geringfügig unterschiedlich. Die größten Differenzen sind in der Summe für den April festzustellen. Hier liegt die Bandbreite bei 1,2 K bis 1,5 K. Bei keinem Monat gibt es zwischen den Großlandschaften größere Differenzunterschiede als 0,5 K, womit auch hier von einer insgesamt uniformen Temperaturerhöhung ausgegangen werden kann und die Unterschiede lediglich als leichte Nuancen zu interpretieren sind. Die Differenzen bzw. Temperaturanstiege von 1961 – 1990 zu 1991 – 2018 bis zu 1,5 K im April sind ohne Zweifel ebenfalls als deutlich beschleunigt angesichts längerer Zeitreihen einzustufen.

Tabelle 39: Monatliche mittlere Temperaturen pro langjährige Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2018 sowie den Differenzen zwischen den beiden Zeiträumen in Nordrhein-Westfalen (NRW) und den „warmen“ Großlandschaften Datenquelle: DWD (2020a)

Gebietseinheit, Mittelwerte 1991 – 2018 vs. Mittelwerte 1961 – 1990 in °C, Differenzen in K	Vergleich monatliche Temperatur-Mittelwerte 1991 – 2018 bezogen auf 1961 – 1990											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NRW 1991 – 2018	2,2	2,6	5,6	9,4	13,4	16,1	18,3	17,8	14,1	10,0	6,0	3,0
NRW 1961 – 1990	1,1	1,8	4,5	7,9	12,4	15,4	16,9	16,6	13,6	9,8	5,1	2,3
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,1	0,8	1,1	1,5	1,0	0,7	1,4	1,2	0,5	0,2	0,9	0,7
Niederrheinisches Tiefland 1991 – 2018	3,3	3,7	6,7	10,4	14,4	17,0	19,2	18,5	15,0	11,0	6,9	4,0
Niederrheinisches Tiefland 1961 – 1990	2,3	3,0	5,6	9,0	13,4	16,3	17,9	17,6	14,6	10,9	6,1	3,4
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,0	0,7	1,1	1,4	1,0	0,7	1,3	0,9	0,4	0,1	0,8	0,6
Niederrheinische Bucht 1991 – 2018	3,2	3,6	6,7	10,4	14,4	17,1	19,2	18,7	15,0	10,9	6,9	3,9
Niederrheinische Bucht 1961 – 1990	2,1	2,7	5,5	8,9	13,3	16,2	17,8	17,5	14,5	10,7	5,9	3,2
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,1	0,9	1,2	1,5	1,1	0,9	1,4	1,2	0,5	0,2	1,0	0,7
Westfälische Bucht 1991 – 2018	2,7	3,0	6,0	9,8	13,9	16,5	18,7	18,1	14,5	10,4	6,4	3,4
Westfälische Bucht 1961 – 1990	1,6	2,1	4,9	8,3	12,9	15,9	17,4	17,0	14,0	10,2	5,5	2,7
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,1	0,9	1,1	1,5	1,0	0,6	1,3	1,1	0,5	0,2	0,9	0,7
Westfälisches Tief- land 1991 – 2018	2,3	2,7	5,6	9,6	13,6	16,3	18,7	18,2	14,5	10,2	6,1	3,1
Westfälisches Tief- land 1961 – 1990	1,1	1,7	4,4	8,0	12,7	15,7	17,1	16,9	13,8	9,9	5,3	2,4
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,2	1,0	1,2	1,6	0,9	0,6	1,6	1,3	0,7	0,3	0,8	0,7

Tabelle 40: Monatliche mittlere Temperaturen pro langjährige Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2018 sowie den Differenzen zwischen den beiden Zeiträumen in Nordrhein-Westfalen (NRW) und den „kalten“ Großlandschaften. Datenquelle: DWD (2020a)

Gebietseinheit, Mittelwerte 1991 – 2018 vs. Mittelwerte 1961 – 1990 in °C, Differenzen in K	Vergleich monatliche Temperatur-Mittelwerte 1991 – 2018 bezogen auf 1961 – 1990											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NRW 1991 – 2018	2,2	2,6	5,6	9,4	13,4	16,1	18,3	17,8	14,1	10,0	6,0	3,0
NRW 1961 – 1990	1,1	1,8	4,5	7,9	12,4	15,4	16,9	16,6	13,6	9,8	5,1	2,3
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,1	0,8	1,1	1,5	1,0	0,7	1,4	1,2	0,5	0,2	0,9	0,7
Bergisches Land 1991 – 2018	2,2	2,5	5,6	9,4	13,5	16,1	18,2	17,6	14,0	10,0	5,9	2,8
Bergisches Land 1961 – 1990	1,1	1,8	4,4	7,8	12,3	15,2	16,8	16,5	13,5	9,7	4,9	2,1
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,1	0,7	1,2	1,6	1,2	0,9	1,4	1,1	0,5	0,3	1,0	0,7
Weserbergland 1991 – 2018	1,6	1,9	4,9	9,0	13,0	15,7	18,0	17,5	13,8	9,6	5,4	2,4
Weserbergland 1961 – 1990	0,4	1,0	3,8	7,4	12,1	15,1	16,6	16,3	13,2	9,4	4,6	1,6
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,2	0,9	1,1	1,6	0,9	0,6	1,4	1,3	0,6	0,2	0,8	0,8
Eifel (mit Sieben- gebirge) 1991 – 2018	1,6	1,9	5,0	8,6	12,6	15,4	17,6	17,1	13,5	9,5	5,3	2,4
Eifel (mit Sieben- gebirge) 1961 – 2018	0,6	1,1	3,8	7,0	11,3	14,3	16,0	15,8	13,0	9,3	4,4	1,6
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,0	0,8	1,2	1,6	1,3	1,1	1,6	1,3	0,5	0,2	0,9	0,8
Sauer- und Sieger- land 1991 – 2018	0,7	1,0	4,0	8,0	12,1	14,9	16,9	16,4	12,8	8,7	4,5	1,5
Sauer- und Sieger- land 1961 – 1990	-0,3	0,3	2,9	6,3	11,0	14,0	15,6	15,2	12,3	8,5	3,7	0,8
Differenz 1991 – 2018 vs. 1961 – 1990 in K	1,0	0,7	1,1	1,7	1,1	0,9	1,3	1,2	0,5	0,2	0,8	0,7

10.2 Entwicklung Temperaturkenntage 1961 – 2018

Bedingt durch die im Kapitel 10.1 dargestellten zum Teil sehr starken Temperaturanstiege in Nordrhein-Westfalen und in den Großlandschaften über alle betrachteten Zeitreihen hinweg, gibt es entsprechend deutliche Veränderungen bei den Temperaturkenntagen. Die Definition der einzelnen Temperaturkenntage findet sich nachfolgend in Tabelle 41.

Tabelle 41: Definition von Temperaturkenntagen

Kenntag	Kriterium	Beschreibung
Eistag	$T_{\max} < 0^{\circ} \text{ C}$	Die Lufttemperatur bleibt an einem Tag immer unterhalb des Gefrierpunktes (0° C)
Frosttag	$T_{\min} < 0^{\circ} \text{ C}$	Die Lufttemperatur sinkt an einem Tag mindestens einmal unterhalb des Gefrierpunktes (0° C)
Sommertag	$T_{\max} \geq 25^{\circ} \text{ C}$	Die Lufttemperatur beträgt mindestens einmal am Tag 25° C oder mehr
Heißer Tag	$T_{\max} \geq 30^{\circ} \text{ C}$	Die Lufttemperatur beträgt mindestens einmal am Tag 30° C oder mehr
Tropennacht	$T_{\min} \geq 20^{\circ} \text{ C}$	Die Lufttemperatur sinkt an einem Tag nicht unter 20° C ab

Analog zu den Temperaturmittelwerten werden zunächst in Tabelle 42 die oben genannten Temperaturkenntage in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften gegenübergestellt. Die Mittelwerte der Temperaturkenntage, jeweils als Anzahl der Kenntage pro Jahr, zeigen im Prinzip eine ähnliche Einordnung von der wärmsten (Niederrheinisches Tiefland) zur kältesten Großlandschaft (Sauer- und Siegerland). Allerdings gibt es Ausnahmen von dieser Reihenfolge. Zunächst verfügt das Niederrheinische Tiefland zwar erwartungsgemäß über die geringste Anzahl pro Jahr von kalten Temperaturkenntagen wie Eis und Frosttage, jedoch übernimmt die Niederrheinische Bucht die Spitzenplätze bei der höchsten Anzahl pro Jahr an den warmen Temperaturkenntagen Heiße Tage und Sommertage. Bei den sehr selten in der Fläche auftretenden Tropennächten ist die Anzahl pro Jahr gleich auf. Bei den Tropennächten zeigen die Mittelgebirgs-Großlandschaften Bergisches Land und Eifel (mit Siebengebirge) eine Anzahl an Tropennächten pro Jahr, die zumindest nicht auf dem ersten Blick zu erwarten sind. Hier scheint sich die Nähe zu den Niederrheinischen Großlandschaften sowie die allgemeine Lage im Westen, nahe Rhein und Nordsee, bemerkbar zu machen.

Tabelle 42: Übersicht Mittelwerte Temperaturkentage pro Jahr für Nordrhein-Westfalen und die acht Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Mittelwert Eistage/Jahr 1961 – 2018	Mittelwert Frosttage/Jahr 1961 – 2018	Mittelwert Heiße Tage/Jahr 1961 – 2018	Mittelwert Sommertage/Jahr 1961 – 2018	Mittelwert Tropennächte/Jahr 1961 – 2018
Nordrhein-Westfalen	15	67	6	30	0,4
Niederrheinisches Tiefland	8	51	7	35	0,7
Niederrheinische Bucht	9	54	8	37	0,7
Westfälische Bucht	12	60	6	32	0,3
Westfälisches Tiefland	15	64	6	31	0,2
Bergisches Land	15	68	5	29	0,6
Weserbergland	20	74	5	28	0,2
Eifel (mit Siebengebirge)	19	77	4	24	0,4
Sauer- und Siegerland	24	91	4	22	0,2

10.2.1 Entwicklung Eistage 1961 – 2018

Abbildung 111 und Abbildung 112 zeigen die Zeitreihen der wärmeren und kühleren Großlandschaften, inklusive Nordrhein-Westfalens. Die Zeitreihen stellen die Entwicklung der Anzahl der Eistage pro Jahr im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 dar.

Zeitreihe Eistage 1961 - 2018, NRW und wärmere Großlandschaften

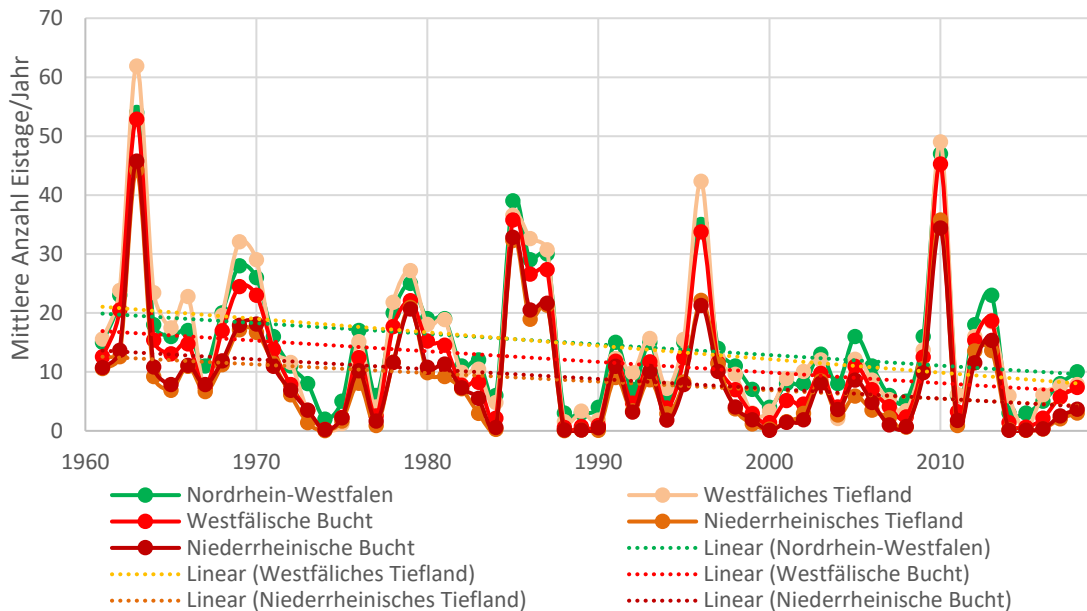


Abbildung 111: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

Zeitreihe Eistage 1961 - 2018, NRW und kühlere Großlandschaften

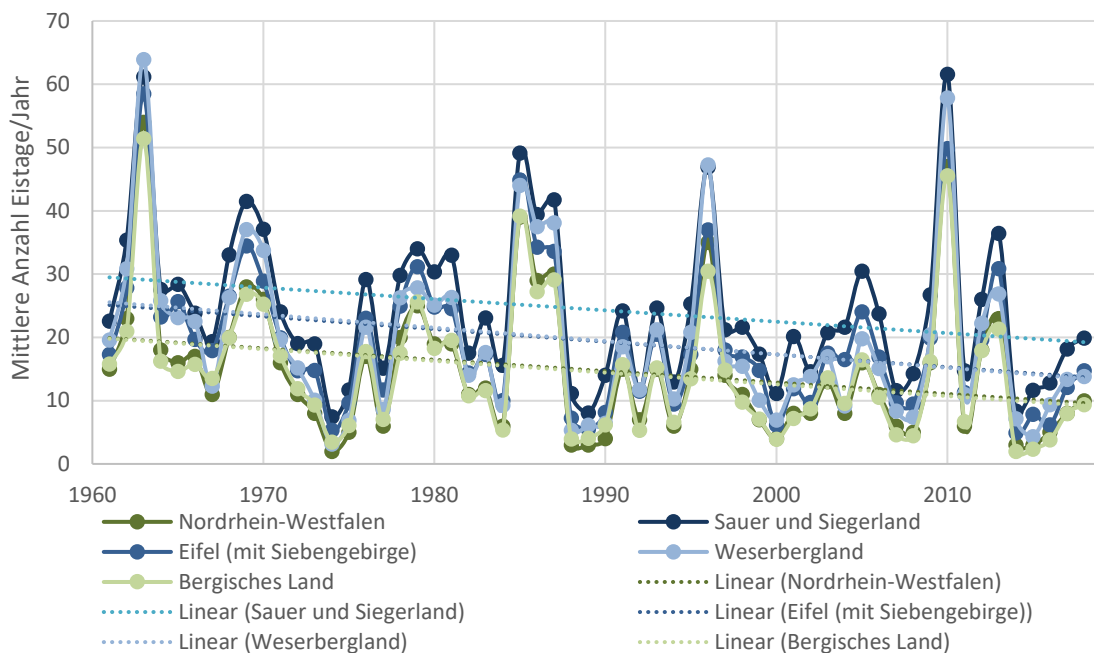


Abbildung 112: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Bei den Eistagen pro Jahr liegen für Nordrhein-Westfalen sowie für alle Großlandschaften statistisch hochsignifikante bis sehr signifikante negative Trends vor. Dementsprechend können auch hier lineare Trendgeraden verwendet werden, um die Rückgänge der Eistage pro Jahr im Beobachtungszeitraum zu beschreiben. Beide Abbildungen zeigen, dass es bei einigen Jahren ausgeprägt viele Eistage gegeben hat. Dies wird besonders bei den wärmeren Großlandschaften in Abbildung 111 ersichtlich. Absoluter Spitzenreiter innerhalb der Zeitreihe ist das bereits für seine besonders kühlen Temperaturen bekannte Jahr 1962. Bereits an zweiter Stelle und besonders markant aus einer Reihe von Jahren mit wenigen Eistagen herausstechend ist das Jahr 2010. Trotz nicht ganz so tiefer Temperaturmittelwerte im Winter übertrifft das Jahr 2010 noch die kälteren Jahre 1996 und 1985 bei der Anzahl an Eistagen pro Jahr. Abgesehen von diesen Spitzen treten immer mehr Jahre mit einer nur geringen Anzahl an Eistagen auf. Analog zu den Temperaturmittelwerten verlaufen die Zeitreihen ebenfalls annähernd synchron.

Die folgende Tabelle 43 stellt die Entwicklung der Anzahl an Eistagen pro Jahr in den acht Großlandschaften für den Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 dar. Neben den Abnahmen der Eistage anhand der linearen Trendgeraden 1961 – 2018 (Unterschied Anfangs- und Endwert) werden auch die Änderungsraten pro Dekade, analog zu den Temperaturmittelwerten, in Tabelle 43 dargestellt. Genauso werden auch die Mittelwerte 1961 – 1990 und 1989 – 2018 dargestellt und verglichen. Die Abnahme der Eistage liegt bei den acht Großlandschaften und Nordrhein-Westfalen in einem Bereich von -8 Eistagen und -13 Eistagen (Vergleich der Anfangs- und Endwerte der linearen Trendgeraden). Bei der Abnahme der Eistage pro Dekade liegt der Bereich bei -1,4 Eistage bis -2,2 Eistagen pro Dekade. Hier erlebt das Westfälische Tiefland die stärkste Abnahme im Vergleich zum Niederrheinischem Tiefland. Beim Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 liegen die Abnahmen der Eistage in einem Bereich von -4 Eistagen bis -6 Eistagen weniger. Auch hier bestätigt sich die bereits gemachte Beobachtung. Das Niederrheinische Tiefland hat im Vergleich die geringsten Abnahmen zu verzeichnen. Dem gegenüber liegt relativ gesehen die höchste Abnahme an Eistagen im Westfälischen Tiefland vor.

Tabelle 43: Abnahme an Eistagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und in den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Abnahme Eistage linearer Trend 1961 – 2018, in Eistage/Jahr	Abnahme Eistage/Jahr pro Dekade	Mittelwert Eistage/Jahr 1961 – 1990	Mittelwert Eistage/Jahr 1991 – 2018	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in Eistage/Jahr
Nordrhein-Westfalen	-10	-1,8	17	12	-5
Niederrheinisches Tiefland	-8	-1,4	10	6	-4
Niederrheinische Bucht	-9	-1,6	11	6	-5
Westfälische Bucht	-10	-1,8	14	9	-5
Westfälisches Tiefland	-13	-2,2	17	11	-6
Bergisches Land	-11	-1,8	17	11	-6
Weserbergland	-12	-2,1	22	16	-6
Eifel (mit Siebengebirge)	-11	-2,0	22	16	-6
Sauer- und Siegerland	-10	-1,8	27	21	-6

10.2.2 Entwicklung Frosttage 1961 – 2018

In Abbildung 113 und Abbildung 114 wird die Entwicklung der Frosttage pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den acht Großlandschaften für den Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 dargestellt.

Zeitreihe Frosttage 1961 - 2018, NRW und wärmere Großlandschaften

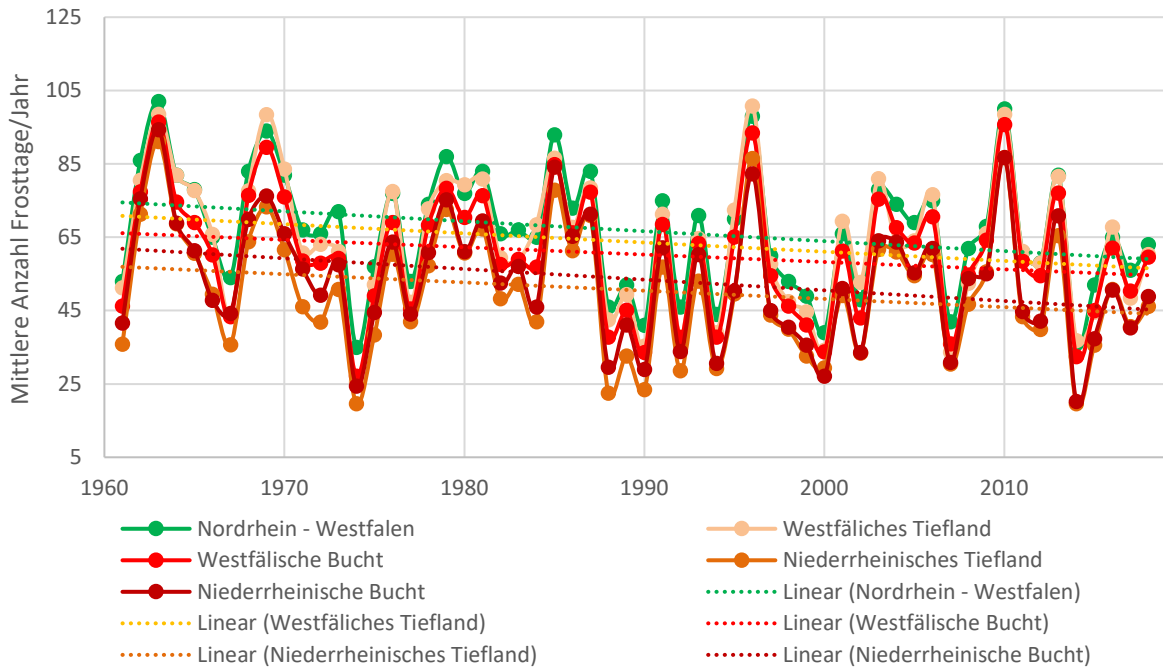


Abbildung 113: Mittlere Anzahl an Frosttagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

Zeitreihe Frosttage 1961 - 2018, NRW und kühlere Großlandschaften

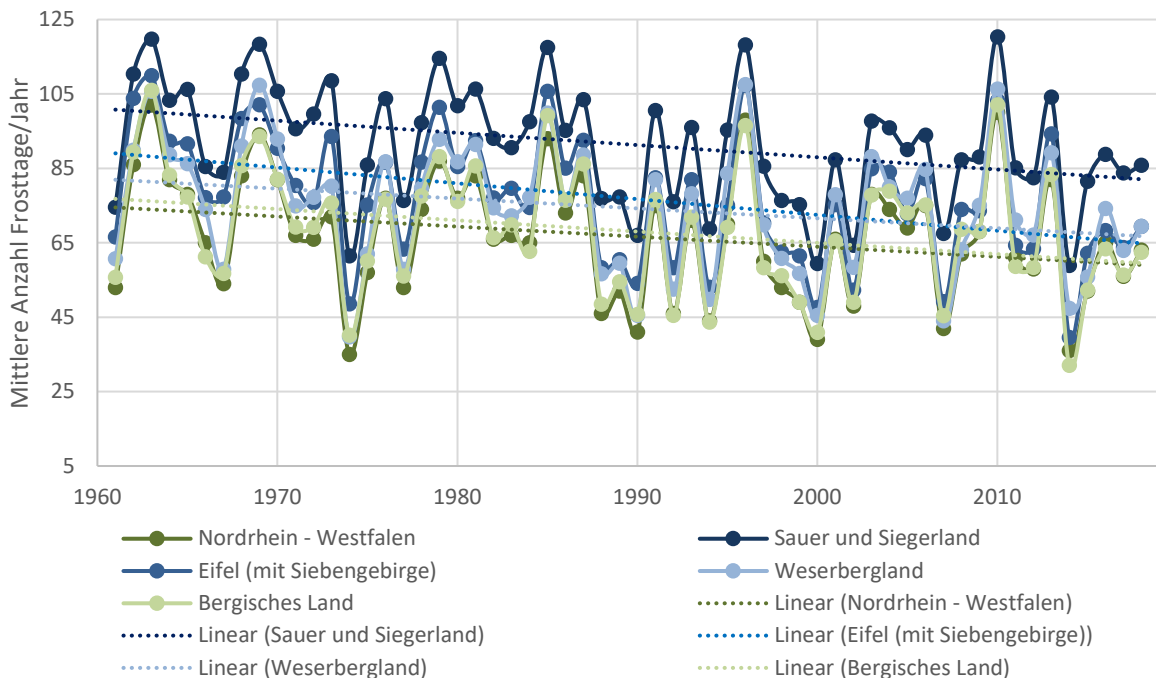


Abbildung 114: Mittlere Anzahl an Frosttagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (DWD 2020a)

Die Zeitreihen in Abbildung 113 und Abbildung 114 zeigen, dass sich die Anzahl der Frosttage pro Jahr verringert. Die Trends sind hoch signifikant bis signifikant negativ, daher wurden auch lineare Trends

eingezeichnet. Während bei den Eistagen vor allem einzelne Jahre mit einer sehr hohen Anzahl an Eistagen pro Jahr als einzelne Spitzen auffällig sind und es aufgrund der Nähe zur Null keine negativen Ausreißer gibt, gibt es bei den Frosttagen ein stetiges auf und ab an Maxima und Minima. Die Minima nehmen dabei beständig noch weiter ab, während dies bei den Maxima kein ganz so klares Bild gibt. Ausgehend von 1990 als Mitte kann man durchaus zwei deutlich unterschiedliche Niveaus bei den jährlichen Anzahlen an Frosttagen erkennen. Vor 1990 lag das Niveau deutlich über dem von nach 1990. Besonders viele Frosttage gab es bei allen acht Großlandschaften in den Jahren 1963, 1969, 1996 und 2010. Im Jahr 2014 hingegen, eines der wärmsten Jahre in NRW bisher, gab es bei allen Großlandschaften die wenigsten Frosttage. Danach folgt das Jahr 1974 sowie 1990 und 2000. Auch hier verlaufen die Temperaturentwicklungen aller Großlandschaften weitgehend parallel ab.

In der folgenden Tabelle 44 werden die Abnahmen der Frosttage für Nordrhein-Westfalen und alle Großlandschaften auf unterschiedliche Art und Weise dargestellt. Bei den anhand der linearen Trendgeraden (Unterschied Anfangs- und Endwert 1961 – 2018) berechneten Abnahmen gibt es bereits deutlichere Bandbreiten zwischen den Großlandschaften mit Werten von -11 Frosttagen bis -24 Frosttagen. Bei den ebenfalls aus der linearen Trendgeraden berechneten dekadischen Abnahmeraten bei den Frosttagen liegen die Werte bei -2,0 Frosttage bis -4,2 Frosttage pro Dekade. Beim Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 ergeben sich Abnahmen im Bereich von -7 Frosttagen bis -13 Frosttagen. Unter den Großlandschaften sind die Abnahmen im Niederrheinischen Tiefland wie auch bei den Eistagen und anderen Temperaturmittelwerten am moderatesten. Die Eifel hingegen ist hier bei den Frosttagen die Großlandschaft mit dem deutlichsten Rückgang an Frosttagen pro Jahr.

Tabelle 44: Abnahmen an Frosttagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Abnahme Frosttage linearer Trend 1961 – 2018, in Frosttage/Jahr	Abnahme Frosttage/Jahr pro Dekade	Mittelwert Frosttage/Jahr 1961 – 1990	Mittelwert Frosttage/Jahr 1991 – 2018	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in Frosttage/Jahr
Nordrhein-Westfalen	-15	-2,7	70	62	-9
Niederrheinisches Tiefland	-13	-2,2	53	46	-7
Niederrheinische Bucht	-17	-2,9	58	48	-10
Westfälische Bucht	-11	-2,0	63	56	-7
Westfälisches Tiefland	-14	-2,5	67	59	-8
Bergisches Land	-17	-3,0	73	63	-10
Weserbergland	-15	-2,6	78	69	-9
Eifel (mit Siebengebirge)	-24	-4,2	83	70	-13
Sauer- und Siegerland	-19	-3,2	96	85	-11

10.2.3 Entwicklung Heiße Tage 1961 – 2018

In Abbildung 115 und Abbildung 116 werden für Nordrhein-Westfalen sowie für die wärmeren und kühleren Großlandschaften die Zeitreihen zu den Heißen Tagen pro Jahr im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 dargestellt.

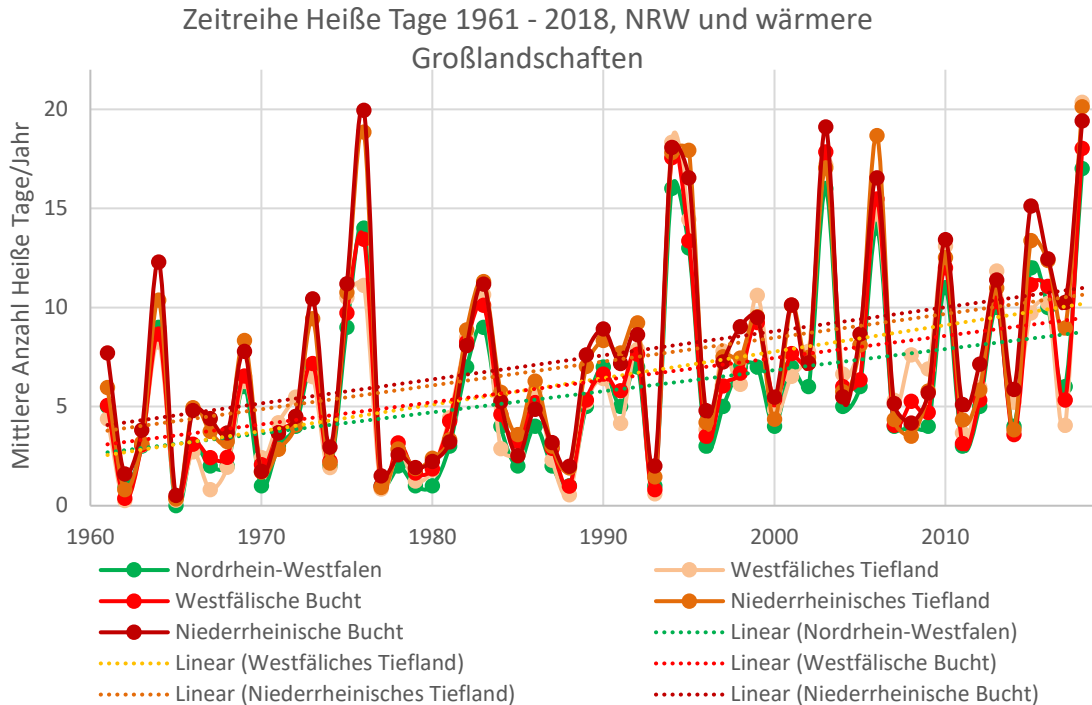


Abbildung 115: Mittlere Anzahl an Heißen Tagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

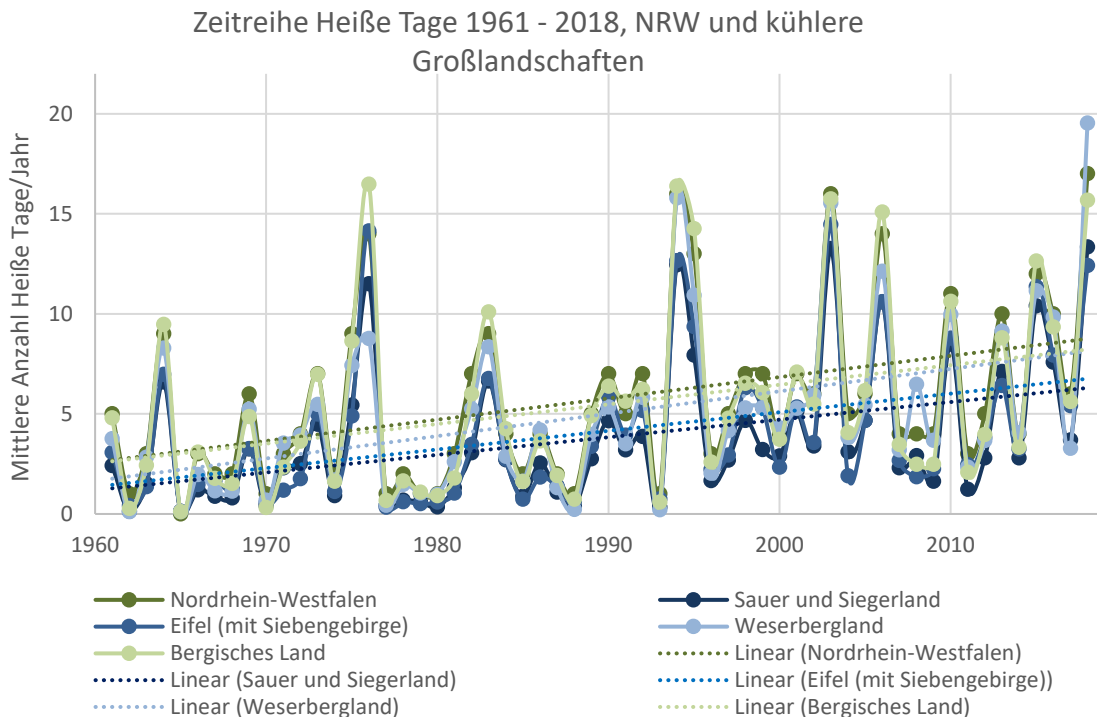


Abbildung 116: Mittlere Anzahl an Heißen Tagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Abbildung 115 und Abbildung 116 zeigen bei allen Großlandschaften einen statistisch hoch signifikanten Anstieg bei den Heißen Tagen pro Jahr. Wie auch in den bereits vorgestellten temperaturabhängigen Zeitreihen verläuft auch hier die Entwicklung der Heißen Tage pro Jahr bei allen acht Großlandschaften annähernd parallel ab. Bei den Zeitreihen fällt auf, dass nach dem Jahr 1993, wo das letzte markante Minimum an Heißen Tagen auftrat, ein deutlich angehobenes Niveau besteht, auf dem sich die Minima deutlich weniger stark abheben und gleichzeitig Jahre mit besonders vielen Heißen Tagen deutlich häufiger und mit geringeren Abständen aufeinander folgen. Absolut das Jahr mit den wenigsten Heißen Tagen ist abermals das kalte Jahr 1962, gefolgt von 1965, 1988 und 1993. Bei den meisten Heißen Tagen liegen die Jahre 2003, 2018, 1994 und 1977 vorne und bilden markante Spitzen.

In der nachfolgenden Tabelle 45 werden die Zunahmen der Heißen Tage für Nordrhein-Westfalen und alle Großlandschaften im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 vorgestellt. Bei den anhand der linearen Trendgeraden berechneten Zunahme der Heißen Tage liegt (Vergleich Anfangs- und Endwert 1961 – 2018) die Bandbreite zwischen den Großlandschaften zwischen 5 Heißen Tagen und 8 Heißen Tagen. Die Anstiegsrate liegt bei Werten zwischen 0,9 und 1,3 zusätzlichen Heißen Tagen pro Dekade. Der Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 ergeben Zunahmen in einer Bandbreite von 3 Heißen Tagen bis 5 Heißen Tagen. Die Eifel erlebt hier den vergleichsweise moderatesten Anstieg bei den Heißen Tagen. Dem gegenüber steht das Westfälische Tiefland mit dem höchsten Anstieg an Heißen Tagen, sowohl bei der linearen Trendberechnung als auch beim Vergleich der langjährigen Mittelwerte.

Tabelle 45: Zunahmen an Heißen Tagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a)

Einheit	Zunahme Heiße Tage linearer Trend 1961 – 2018, in Heiße Tage/Jahr	Abnahme Heiße Tage/Jahr pro Dekade	Mittelwert Heiße Tage/Jahr 1961 – 1990	Mittelwert Heiße Tage/Jahr 1991 – 2018	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in Heiße Tage/Jahr
Nordrhein-Westfalen	6	1,0	4	8	4
Niederrheinisches Tiefland	7	1,2	5	9	4
Niederrheinische Bucht	7	1,2	6	10	4
Westfälische Bucht	6	1,1	4	8	4
Westfälisches Tiefland	8	1,3	4	9	5
Bergisches Land	6	1,0	4	7	3
Weserbergland	6	1,1	3	7	4
Eifel (mit Siebengebirge)	5	0,9	3	6	3
Sauer- und Siegerland	5	0,9	2	5	3

10.2.4 Entwicklung Sommertage 1961 – 2018

In Abbildung 117 und Abbildung 118 werden die Zeitreihen der Anzahl an Sommertagen pro Jahr im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 präsentiert. Auch hier werden zunächst die wärmeren Großlandschaften und anschließend die kühleren Großlandschaften, jeweils mit Nordrhein-Westfalen als Vergleich dargestellt, gezeigt.

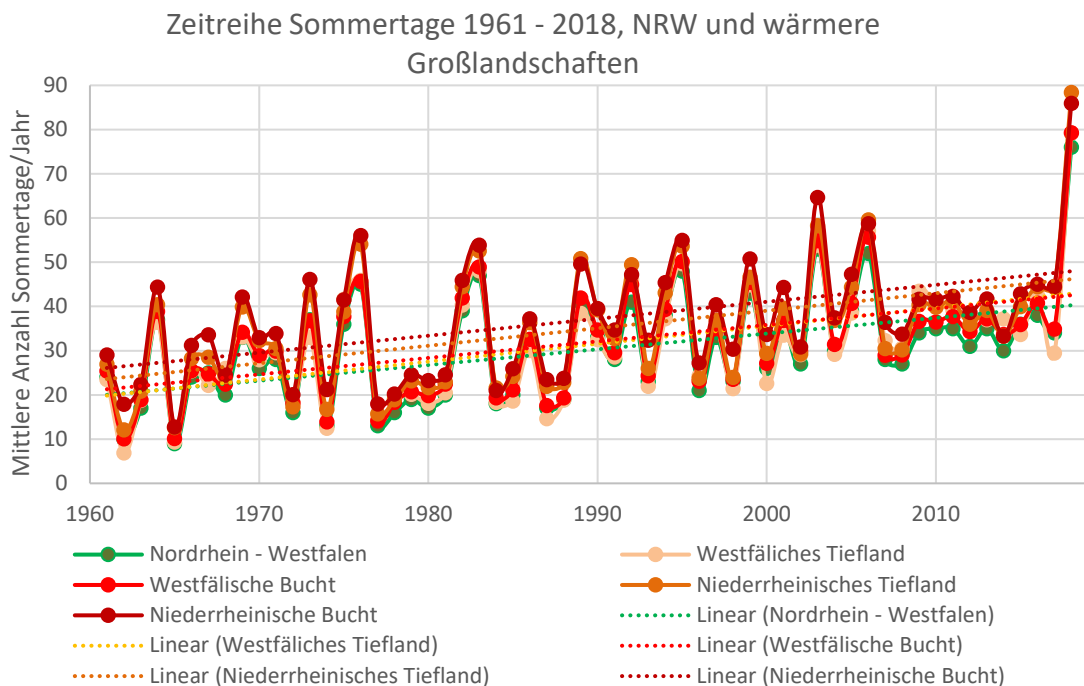


Abbildung 117: Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

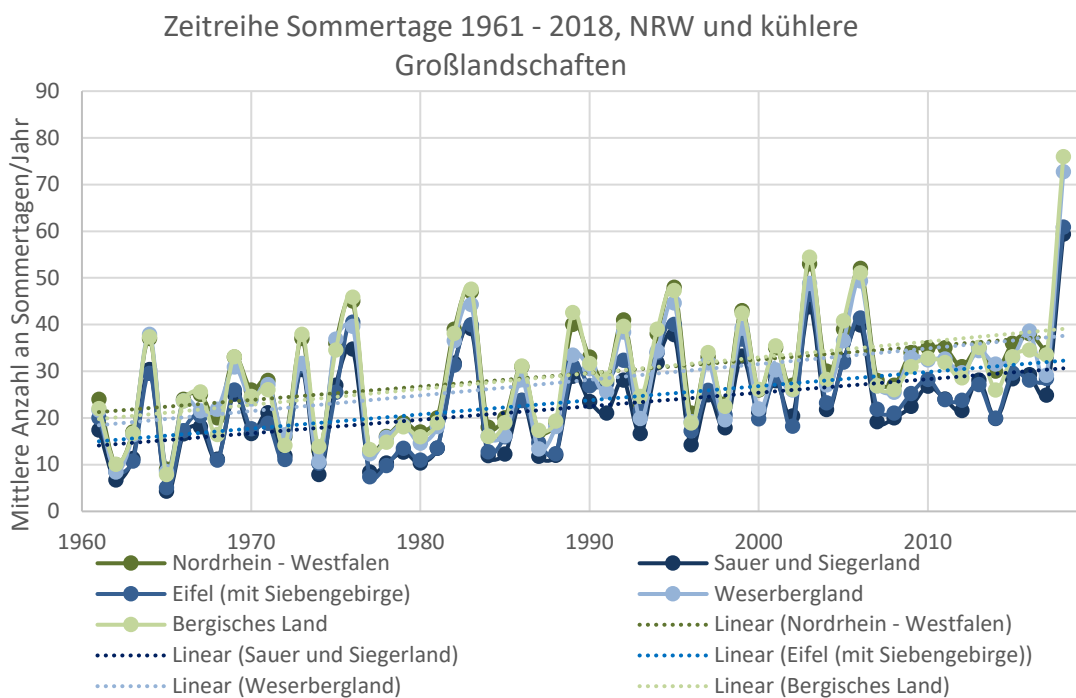


Abbildung 118: Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

Die Zeitreihen der mittleren Anzahl an Sommertagen pro Jahr in den beiden Abbildungen zeigen einen deutlich erkennbaren Anstieg. Dieser Anstieg ist für Nordrhein-Westfalen und bei allen Großlandschaften hoch signifikant. Aus diesem Grund sind auch hier die linearen Trendgeraden für jede einzelne Zeitreihe eingezeichnet. Auf beiden Abbildungen ist sehr gut erkennbar, wie die Minima der jährlichen Anzahl an Sommertagen beständig weniger stark nach unten in der y-Achse gehen. Eine interessante Beobachtung ist, dass es in den späten 1970er Jahren und zwischen 2007 – 2017 keine großen Schwankungen bei der Anzahl der Sommertage gibt, was angesichts der ansonsten zu beobachtenden Wechsel zwischen positiven und negativen Ausreißern direkt auffällt. Besonders deutlich steht die Anzahl an Sommertagen des Jahres 2018 gegenüber der gesamten Zeitreihe dar. Sämtliche weitere lokale Maxima weisen eine deutlich geringe Anzahl an Sommertagen auf. Selbst das Jahr 2003 kommt als zweiter Spitzenreiter nicht annähernd an 2018 heran, und das in allen Großlandschaften. 2006 und 1983 belegen die Plätze 3 und 4. Die Jahre mit der geringsten Anzahl an Sommertagen liegen am Anfang der Zeitreihe: 1962 / 1965, 1974 und 1977. Auch hier verlaufen die Zeitreihen relativ synchron zwischen den Großlandschaften. Lediglich das Jahr 1965 liegt bei den kühlen Großlandschaften mit den wenigsten Sommertagen vorne, während bei den wärmeren Großlandschaften hier das Jahr 1962 Spitzenreiter ist.

In der folgenden Tabelle 46 werden die Zunahmen an Sommertagen in Nordrhein-Westfalen und den jeweiligen Großlandschaften gegenübergestellt. Anhand der linearen Trendgeraden 1961 – 2018 (Unterschied Anfangs- und Endwert) ergibt sich eine Bandbreite an Zunahmen von 17 bis 23 Sommertagen. Bei der dekadischen Rate der Zunahmen, ebenfalls berechnet aus der linearen Trendgeraden, ergeben sich Zunahmen von 2,8 Sommertagen bis 4 Sommertage pro Dekade. Der Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 ergibt deutlich geringere Zunahmen gegenüber der linearen Trendberechnung von immerhin 9 bis 13 Sommertagen, je nach Großlandschaft. Die Großlandschaft mit der relativ geringsten Zunahme an Sommertagen pro Jahr ist das Sauer- und Siegerland, dicht gefolgt von den anderen Mittelgebirgs-Großlandschaften. Bei den stärksten Anstiegen unter den Großlandschaften ist das Westfälische Tiefland knapper Spitzenreiter unter den ebenfalls nahe beieinanderliegenden Flachland-Großlandschaften. Eine solch klare Aufteilung zwischen den wärmeren und kühleren Großlandschaften bei den Veränderungsberechnungen ist neu.

Tabelle 46: Zunahmen an Sommertagen pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).

Einheit	Zunahme Sommertage linearer Trend 1961 – 2018, in Sommertage/Jahr	Zunahme Sommertage/Jahr pro Dekade	Mittelwert Sommertage/Jahr 1961 – 1990	Mittelwert Sommertage/Jahr 1991 – 2018	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in Sommertage/Jahr
Nordrhein-Westfalen	20	3,5	25	36	11
Niederrheinisches Tiefland	23	3,9	29	41	12
Niederrheinische Bucht	22	3,8	31	43	12
Westfälische Bucht	21	3,7	26	38	12
Westfälisches Tiefland	23	4,0	25	38	13
Bergisches Land	19	3,3	24	35	11
Weserbergland	19	3,3	23	33	10
Eifel (mit Siebengebirge)	19	3,3	19	29	10
Sauer- und Siegerland	17	2,8	18	17	9

10.2.5 Entwicklungen Tropennächte 1961 – 2018

In Abbildung 119 und Abbildung 120 werden im Folgenden die Zeitreihen der Anzahl an Tropennächten pro Jahr im Beobachtungszeitraum 1961 – 2018 präsentiert. Auch hier werden zunächst die wärmeren Großlandschaften und anschließend die kühleren Großlandschaften, jeweils mit Nordrhein-Westfalen als Vergleich dargestellt, gezeigt. Aufgrund der sehr geringen Gesamtanzahl von lediglich bis zu vier Tropennächten pro Jahre auf die Flächen einer Großlandschaft gerechnet, ergeben sich starke jährlichen Schwankungen in den Abbildungen.

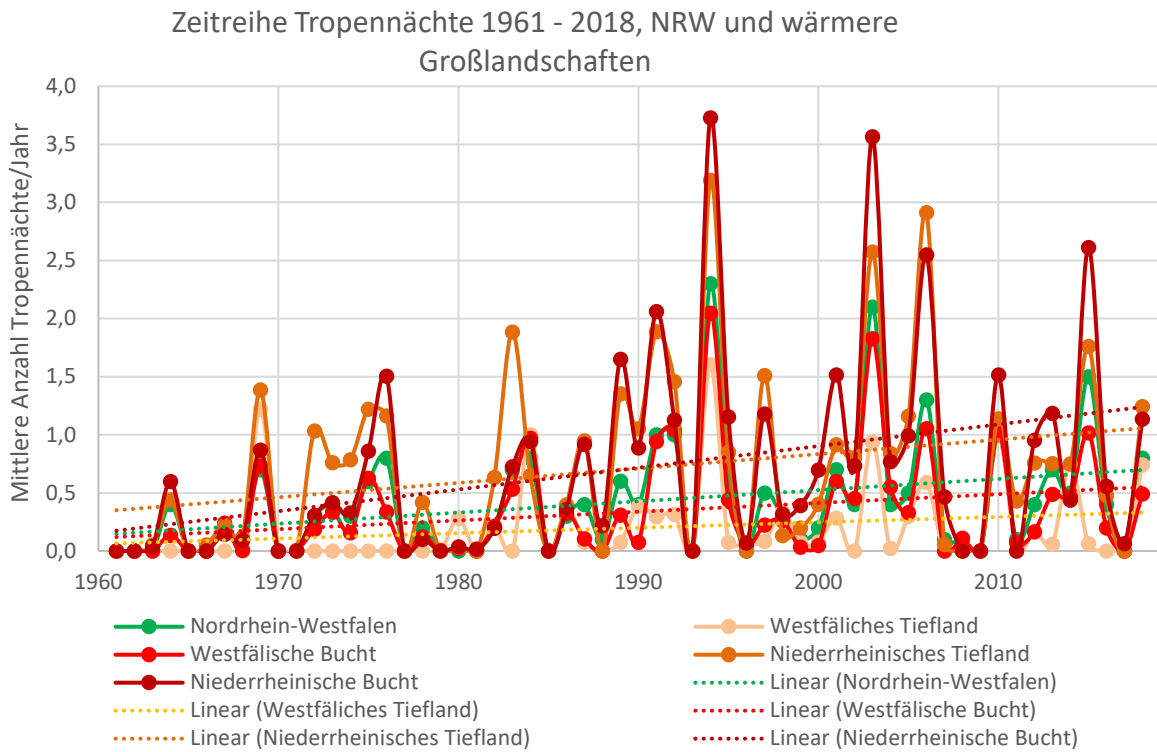


Abbildung 119: Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland, Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland. Datenquelle: DWD (2020a)

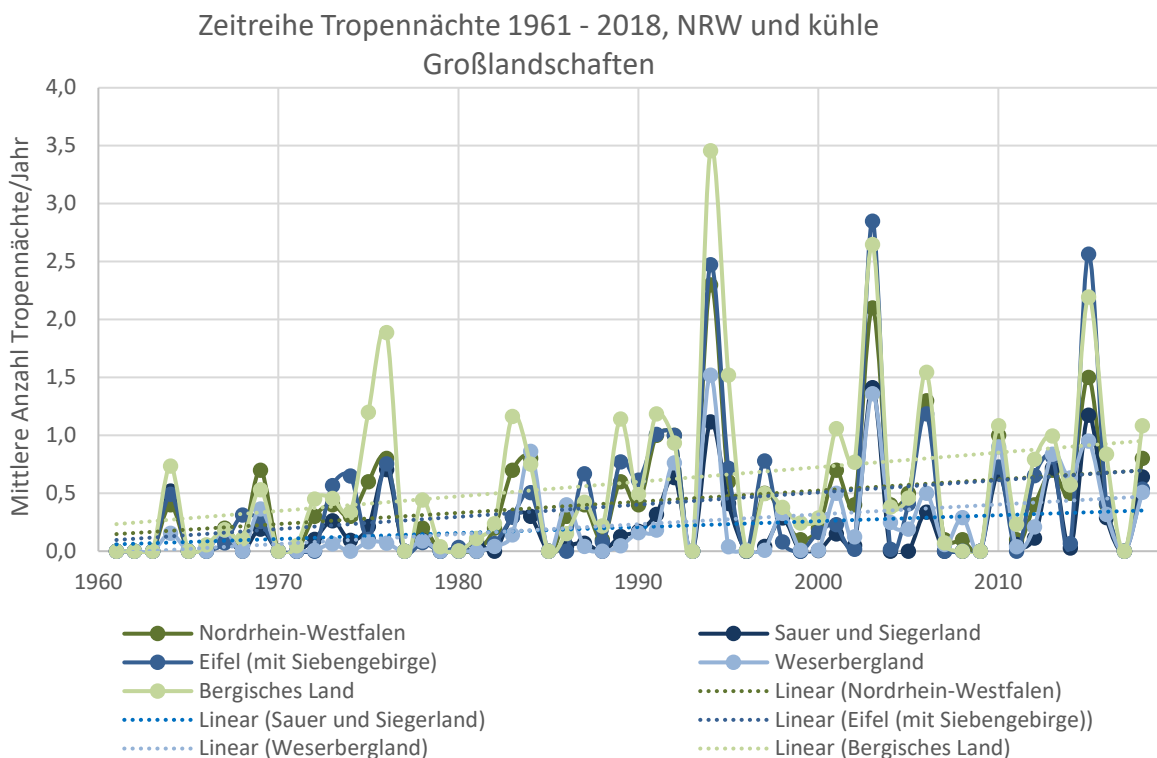


Abbildung 120: Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr für den Zeitraum 1961 – 2018 in Nordrhein-Westfalen und den vier Großlandschaften Bergisches Land, Weserbergland, Eifel (mit Siebengebirge) und Sauer- und Siegerland. Datenquelle: DWD (2020a)

In Abbildung 119 und Abbildung 120 ist zunächst zu erkennen, dass dieser Temperaturkentag sehr selten flächendeckend für ganze Großlandschaften auftritt. Zahlreiche Jahre, besonders am Anfang des

Beobachtungszeitraums, stagnieren bei einigen Großlandschaften die Tropennächte bei null. Dies ändert sich jedoch im weiteren Verlauf der Zeitreihe, denn es besteht bei allen Großlandschaften ein statistisch signifikanter bis hochsignifikanter Trend, der als lineare Trendgerade entsprechend eingezeichnet ist. Aufgrund der geringen Häufigkeit dieses recht extremen Temperaturkentages liegen markante positive Ausreißer bzw. lokale Maxima bereits bei knapp 2 Tropennächten pro Jahr vor. Das Jahr 1994 ist das Jahr mit den häufigsten Tropennächten bei fast allen Großlandschaften, wobei je nach Großlandschaft auch das Jahr 2003 die meisten Tropennächte brachte. Hier wird deutlich, dass aufgrund des geringen Schwellenwerts nicht wirklich von einem parallelen Verlauf bei den Großlandschaften gesprochen werden kann. Tropennächte spielen bisher vor allem in Ballungsräumen eine Rolle.

In der folgenden Tabelle 47 wird die anhand der Trendberechnungen und Mittelwertvergleiche bestimmten Zunahmen an Tropennächten in Nordrhein-Westfalen und den jeweiligen Großlandschaften präsentiert. Bei der anhand der linearen Trendgeraden 1961 – 2018 berechneten Zunahme der Tropennächte (Unterschied Anfangs- und Endwert) kann eine Bandbreite von 0,3 bis 1,1 Tropennächte beim Anstieg festgestellt werden. Bei der dekadischen Zunahme liegen je nach Großlandschaft Werte zwischen 0,0 und 0,2 Tropennächte pro Dekade an Zunahme vor. Der Vergleich der langjährigen Mittelwerte 1991 – 2018 zu 1961 – 1990 offenbaren Zunahmen im Bereich von 0,2 bis 0,7 Tropennächten. Der relativ gesehen stärkste Anstieg kann bei der Niederrheinischen Bucht festgestellt werden. Der geringste Anstieg ist beim Westfälischen Tiefland feststellbar.

Tabelle 47: Zunahmen an Tropennächten pro Jahr in Nordrhein-Westfalen und den Großlandschaften im Zeitraum 1961 – 2018. Datenquelle: DWD (2020a).

Einheit	Zunahme Tropennächte linearer Trend 1961 – 2018, in Tropennächte/Jahr	Zunahme Tropennächte/Jahr pro Dekade	Mittelwert Tropennächte/Jahr 1961 – 1990	Mittelwert Tropennächte/Jahr 1991 – 2018	Differenz 1991 – 2018 zu 1961 – 1990, in Tropennächte/Jahr
Nordrhein-Westfalen	0,5	0,1	0,3	0,6	0,3
Niederrheinisches Tiefland	0,7	0,1	0,5	0,9	0,4
Niederrheinische Bucht	1,1	0,2	0,4	1,1	0,7
Westfälische Bucht	0,4	0,1	0,2	0,5	0,3
Westfälisches Tiefland	0,3	0,0	0,1	0,3	0,2
Bergisches Land	0,7	0,1	0,4	0,8	0,4
Weserbergland	0,5	0,1	0,1	0,4	0,3
Eifel (mit Siebengebirge)	0,6	0,1	0,2	0,6	0,4
Sauer- und Siegerland	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2

11 Fazit und Ausblick

Nach zehn Jahren wurde das Projekt „ExUS“ als Kooperation zwischen dem LANUV NRW und den Ingenieurbüros hydro & meteo GmbH, dr. papadakis GmbH und aqua_plan GmbH unter der Projektleitung und wissenschaftliche Begleitung von Prof. Dr. Markus Quirnbach von der Hochschule Ruhr West wiederaufgenommen. Zum einen standen neue Messwerte insbesondere der letzten Dekade zur Verfügung, zum anderen auch neue Methoden, die sich bereits in anderen Analysen bewährt haben. Es hat sich direkt zu Beginn gezeigt, dass trotz neuer Messtechnik und digitalem Fortschritt die neuen Messdaten weder „per Knopfdruck“, noch ungeprüft für die statistischen Analysen verwendet werden konnten. Der aufwendig geschaffene Datenpool, der nun zentral beim LANUV NRW vorliegt, sollte daher kontinuierlich (jährlich) gepflegt und sinnvoll erweitert werden. Dies betrifft insbesondere die Stationen, die eines der Auswahlkriterien in der ExUS 2020 – Studie bereits erfüllt haben und somit grundsätzlich eine für Trendanalysen hinreichend gute Datenqualität aufzeigen. Die konsequente Verwendung einer einheitlichen Datenbasis in Abhängigkeit vom jeweiligen Verwendungszweck ist eine der ausgesprochenen Stärken der vorliegenden ExUS 2020 – Studie und hebt diese von anderen Studien ab.

In der ExUS 2020 – Studie wurde gegenüber der ExUS 2010 – Studie die Dekade 1950 – 1960 nicht weiter berücksichtigt, da in dieser Dekade relativ wenige kontinuierliche Zeitreihen und diese überwiegend nur aus dem Westfälischen Tiefland vorliegen. In den 1960er – Jahren sind zwar nur wenige Stationen aus anderen Großlandschaften hinzugekommen, eine weitere Reduzierung des Untersuchungszeitraums wurde aber aus statistischen Gründen vermieden. Mit Beginn der 1970er – Jahre nimmt die Anzahl der verfügbaren Stationen stetig zu. Von einer Verlegung des Untersuchungsbeginns bei zukünftigen Untersuchungen in die 1970er – Jahre wird aber dringend abgeraten, da es sich bei der 1970er – Dekade um eine außergewöhnlich trockene Dekade handelt. Trendanalysen mit sehr kleinen Startwerten führen zu überdurchschnittlich großen Trends, die nicht die reale Niederschlagsentwicklung widerspiegeln würden. Bei einer anzustrebenden erneuten „großen“ Neuauflage von „ExUS“ in ca. zehn Jahren könnte dann der Startzeitpunkt auf 1981 verlegt werden, da dann auf einer breiteren und räumlich gleichmäßiger verteilten Datenbasis über einen Zeitraum von 50 Jahren (1981 – 2030) neue, aussagekräftige Trendanalysen durchgeführt werden können.

Die Untersuchungen der ExUS 2020 – Studie, zumindest der längeren Bilanzierungszeiträume, wurden stark durch die trockene 2010er – Dekade geprägt. Da sich diese am Ende des Untersuchungszeitraums befindet, besitzen nahezu alle Untersuchungen zu den Jahres-, Halbjahres- und Quartalssummen keine signifikanten Trends im Zeitraum 1961 – 2018. Damit weichen die Ergebnisse der ExUS 2020 – Studie etwas von früheren Studien (u. a. „ExUS 2010“, dynaklim) und von Langzeit – Trenduntersuchungen mit DWD – Daten (seit 1882) ab. Da aktuell nicht absehbar ist, ob es sich mit der 2010er – Dekade wie bereits in den 1930er- und 1970er – Jahren um eine zyklisch auftretende trockene Dekade oder um eine Trendumkehr zu zukünftig immer trockener werdenden Jahren handelt, sollten die Untersuchungen der längeren Bilanzierungszeiträume zumindest alle zwei Jahre überprüft und aktualisiert werden.

Anders als in den 1970er – Jahren (in der ExUS 2010 – Studie) wirken sich in der 2010er – Dekade die unterdurchschnittlichen Jahresniederschlagssummen weniger stark auf Trends bei Untersuchungen zum Starkregenverhalten aus. Zum einen, weil es in der Dekade 2001 – 2010 in allen Dauerstufen $D \leq 24$ Stunden zu überdurchschnittlich vielen Starkregenereignissen gekommen ist, zum anderen weil

in der 2010er – Dekade die geringeren Jahresniederschläge zwar noch mit den Tagessummen ($D = 24$ Stunden) korrespondieren, nicht aber mit kürzeren Dauerstufen $D \leq 6$ Stunden.

Neben dem Einfluss besonders trockener Dekaden können auch nicht auf dem Klimawandel beruhende Einflüsse die Trendanalysen beeinflussen. Sowohl die eigenen Untersuchungen in der ExUS 2020 - Studie als auch Untersuchungen im parallel laufenden Forschungsprojekt UniWa der Hochschule Bochum zeigen, dass äußere Einflüsse wie ein Gerätewechsel zu Sprüngen und somit zu Instationaritäten in den Zeitreihen, insbesondere für Dauerstufen $D < 60$ Minuten, führen können. Für Trenduntersuchungen an einzelnen Stationen sind daher zusätzliche Bruchpunktanalysen zu empfehlen. In der ExUS 2020 – Studie werden allerdings keine Einzelfalluntersuchungen durchgeführt, sondern mittlere Aussagen zum Trendverhalten in Großlandschaften oder in Gesamt-NRW getroffen. Äußere Einflüsse treten weder an allen, noch gleichzeitig an den betroffenen Stationen auf. Sie können bei kurzen Dauerstufen zwar die Einflüsse des Klimawandels überlagern. Es wird aber davon ausgegangen, dass sie die generellen Trendaussagen nicht maßgeblich verfälschen. Auch wenn wir somit die festgestellten Trends nicht eindeutig und vollständig dem Klimawandel zuweisen können, so handelt es sich bei der untersuchte Datengrundlage genau um die Daten, die für wasserwirtschaftliche Zwecke (Dimensionierungen und Nachweise) verwendet werden. Es muss also in der Praxis mit diesen Veränderungen in den Messdaten umgegangen werden, egal ob nun klimawandelinduziert oder nicht.

Bei der Betrachtung der Starkniederschläge zeigt sich ein differenzierteres Bild mit einem insgesamt stärkeren Trendverhalten als bei den zuvor beschriebenen längeren Bilanzierungszeiträumen. Grundsätzlich zeigt sich in unterschiedlich durchgeführten Trendanalysen eine Zunahme der Starkregen über alle Dauerstufen $D \leq 24$ Stunden. Während diese für die längeren Dauerstufen $D = 12$ Stunden und $D = 24$ Stunden nicht signifikant sind, liegt bei den kürzeren Dauerstufen meist ein Signifikanzniveau über 90 %, teilweise sogar weit darüber, vor. Grundsätzlich gilt: je kürzer die Dauerstufe, umso signifikanter ist der Trend. Anders als noch in der ExUS 2010 – Studie wirken sich diese Zunahmen auch auf die statistisch ermittelten Niederschlagshöhen aus. Gerade bei den kurzen Dauerstufen sind die Zunahmen über alle Wiederkehrzeiten am höchsten. Beim Vergleich der unterschiedlichen Zeitscheiben zeigt sich, dass insbesondere im Zeitraum 2001 – 2018 die statistisch ermittelten Niederschlagshöhen am stärksten zugenommen haben. Auch wenn diese Auswertungen aufgrund des kurzen Zeitraums von nur 18 Jahren wenig robust sind und daher eine Bewertung von Einzelwerten nicht zulässig ist, zeigt diese Auswertung, dass eine weitere Verschärfung der Starkregensituation durchaus möglich ist. Um diese Aussagen zu den Entwicklungen weiter abzusichern, sollten auch diese Untersuchungen zumindest alle zwei Jahre überprüft und aktualisiert werden.

Seit 2000 liegen für Deutschland flächendeckend Niederschlagsdaten aus Radarmessungen vor. Für Nordrhein-Westfalen wurden diese für die Wasserwirtschaftsjahre 2001 – 2018 aufwendig aufbereitet. Daraus ergibt sich der Wunsch, diese räumlich differenzierten Niederschlagsdaten auch für (siedlungs-) wasserwirtschaftliche Bemessungs- und Nachweiszwecke zu nutzen. In der ExUS 2020 - Studie wurde daher untersucht, inwieweit sich der kurze Zeitraum der verfügbaren Daten von nur 18 Jahren sowie die andere Messtechnik gegenüber herkömmlichen Niederschlagsstatistiken auf Basis langer Stations-Zeitreihen (mindestens 30 Jahre) auswirken.

Die Untersuchungen in der ExUS 2020 – Studie zeigen, dass insbesondere der kurze Zeitraum von nur 18 Jahren zu großen Abweichungen zu den statistischen Auswertungen auf Basis längerer Stichproben führen kann. In den meisten Fällen handelt es sich hierbei um positive Abweichungen (Zunahmen). Diese Unterschiede werden auch durch die zuvor beschriebenen Zunahmen von Starkregen in den

letzten 18 Jahren beeinflusst. Da der Zeitraum 2001 – 2018 aber in allen durchgeführten Statistiken enthalten ist, sind die Abweichungen im Wesentlichen durch die kürzere Stichprobe / Datengrundlage zu begründen. Im Endeffekt bestätigen diese Untersuchungen die bereits bekannte Forderung von Zeitreihenlängen von mindestens 30 Jahren für die Erstellung robuster Statistiken.

Der Einfluss der Messtechnik auf die statistisch ermittelten Niederschlagshöhen ist ebenfalls erkennbar, er liegt aber bei den meisten betrachteten Stationen / Radarfeldern in einer Bandbreite von $\pm 15\%$. Dennoch sind auch hier im Einzelfall größere Unterschiede festzustellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass fast alle (18 von 20) betrachteten Stationen bei der zuvor beschriebenen Datenaufbereitung für die Aneicherung der Radardaten verwendet wurden. D. h. für diese Orte wurden die täglichen Niederschlagshöhen der Radardaten an Stationsmessungen angepasst. Es kann anhand der in der ExUS 2020 – Studie durchgeführten Untersuchungen keine Aussage getroffen werden, wie groß die Unterschiede an Stationen sind, wenn diese nicht bei der Aneicherung berücksichtigt werden, bzw. in Rasterfeldern, zu denen keine Stationen korrespondieren. Gleiches gilt für nicht aufbereitete Radarniederschlagsdaten.

Ein besonderer Mehrwert einer räumlich differenzierten statistischen Auswertung von Radarniederschlagsdaten zeigt sich in den Kartendarstellungen, die nun durch die ExUS 2020 – Studie für unterschiedliche Kombinationen aus Dauerstufen und Wiederkehrzeiten bereitgestellt werden können. Dabei wird deutlich, dass es bei langen Dauerstufen und kleinen Wiederkehrzeiten einen ausgeprägten Zusammenhang zwischen Niederschlagssummen und Topographie gibt, der aber mit größer werdenden Wiederkehrzeiten und insbesondere bei den kurzen Dauerstufen immer mehr verloren geht. Es hat zwar im Zeitraum 2001 – 2018 Regionen in NRW mit ausgeprägten Starkregen gegeben während andere Regionen von Starkregen mehr oder weniger verschont geblieben sind. Dennoch zeigen sowohl die Ergebnisse dieser Studie als auch deutschlandweite Untersuchungen des DWD, dass extreme Starkregen insbesondere der kurzen Dauerstufen grundsätzlich überall in NRW bzw. Deutschland auftreten können und keiner Topographie folgen.

Durch den Vergleich der eigenen Untersuchungen im Rahmen der ExUS 2020 – Studie mit den Ergebnissen der Radarklimatologie des DWD (RadKlim) wird aber auch ersichtlich, dass die Art der Aufbereitung der Radarniederschlagsdaten einen wesentlichen Einfluss auf die resultierenden Niederschlagshöhen hat. Die sehr aufwendige und stärker detailbezogene Aufbereitung aus dem DX-Offline-Projekt liefert für NRW insgesamt höhere und räumlich differenziertere Niederschlagshöhen als die Auswertungen aus RadKlim. Vergleiche mit Statistiken auf Basis von Stationsdaten in NRW zeigen eine insgesamt bessere Übereinstimmung der statistischen Auswertungen auf Basis des DX-Offline-Projektes und rechtfertigen somit die aufwendige Aufbereitung der Radardaten.

Die aufbereiteten Radarniederschlagsdaten stellen eine gute Ergänzung zu Stationsdaten dar, insbesondere dann, wenn in unmittelbarer Nähe keine hinreichend lange Zeitreihe aus terrestrischen Messungen vorliegt und die räumlichen Unterschiede beschrieben werden sollen. Bei hydrologischen Aufgabenstellungen, bei denen kleinräumige Niederschläge zu berücksichtigen sind und für die keine Daten von räumlich repräsentativen Stationen vorliegen, vermitteln Radarniederschlagsdaten ein realistischeres Bild des natürlichen Niederschlagsgeschehens. Sie sind deshalb in diesen Fällen einer alleinigen Nutzung von Stationsdaten vorzuziehen. Von einer alleinigen Verwendung von Radardaten als Bemessungs- oder Nachweisgrundlage von wasserwirtschaftlichen Systemen wird zum jetzigen Zeitpunkt dagegen aus den zuvor beschriebenen Zusammenhängen abgeraten. Es wird empfohlen, bei einer anzustrebenden erneuten „großen“ Neuauflage von „ExUS“ in ca. zehn Jahren diese Untersuchung zu

wiederholen, da dann der Einfluss der Zeitreihenlänge vernachlässigt werden kann. Bei diesen nachfolgenden Untersuchungen zu den statistischen Niederschlagshöhen sollte dann der Fokus auf die Beschreibung der Unterschiede aufgrund der Mess- und Aufbereitungstechnik gelegt werden. Dabei sind insbesondere die Unterschiede zwischen Stationen bzw. Radarfeldern zu beschreiben, die bei einer Aneichung verwendet wurden, bzw. nicht.

Aufgrund des sehr trockenen Jahres 2018 wurden in die ExUS 2020 – Studie, die Anfang 2019 begonnen wurde, neben Analysen der Trockentage $N \leq 0,1$ mm/d auch weitere Untersuchungen zu Trockenzeiten aufgenommen. Hierzu wurden der SPI (Standardized Precipitation Index), der nur auf Monatsniederschlagssummen zurückgreift, und der dMI (Trockenheitsindex nach DE MARTONNE), der auch die mittleren monatlichen Lufttemperaturen berücksichtigt, untersucht. Auch wenn der SPI für viele praktische Beschreibungen konkreter Zustände Vorteile bietet (z. B. Aggregation über mehrere Monate und damit die Vergleichbarkeit mit anderen Kenngrößen), so sind die erzielten Ergebnisse zum SPI für Trendaussagen nicht zu verwenden. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die beobachtbaren linearen Trends stark auf einzelne Monate an den Rändern des Untersuchungszeitraums reagieren und nicht konsistent zwischen Nachbarstationen sind.

In den Untersuchungen der Trockentage $N \leq 0,1$ mm/d und zum dMI ist zwar der Einfluss des Jahres 2018 und der insgesamt bis dahin eher trockenen 2010er-Dekade zu erkennen, in den meisten Großlandschaften sowie für Gesamt-NRW aber auf einem nicht signifikanten Niveau. Zum Teil lassen sich Zusammenhänge beschreiben, es werden aber auch gegenläufige Entwicklungen ersichtlich. So korrespondiert einerseits die Zunahme der Trockentage im Frühjahr mit den Abnahmen der Monats- und Quartalssummen des Niederschlages in dieser Jahreszeit. Andererseits spiegelt beispielsweise die geringere Anzahl besonders trockener Monate mit einem dMI < 1 im Westfälischen Tiefland nicht die im Mittel größer werdende Trockenheit (Abnahme des mittleren dMI) wider (Vergleich der Zeitscheiben 2001 – 2018 vs. 1961 – 1990). Auch für diese Untersuchungen zu den Trockenzeiten gilt, dass aktuelle Entwicklungen durch eine regelmäßige Aktualisierung der Untersuchungen weiter beobachtet werden müssen. Es wird daher für die Untersuchungen zu den Trockentage $N \leq 0,1$ mm/d und zum dMI empfohlen, auch diese alle zwei Jahre zu überprüfen und zu aktualisieren.

Die Trendanalysen zu weiteren Klimaparametern (Lufttemperatur und Temperaturkenntage) zeigen eindeutige, meist sehr oder gar hochsignifikante Entwicklungen hin zu einer schnellen Erwärmung in Nordrhein-Westfalen. Dies wird nicht nur Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft, sondern auch für die Land- und Forstwirtschaft haben. Insgesamt verläuft die Temperaturentwicklung in Nordrhein-Westfalen und in allen acht Großlandschaften zum größten Teil parallel, nur je nach Höhenlage auf unterschiedlichen Niveaus. Einzelne Abweichungen bzw. besonders signifikante Veränderungen werden im Bericht beschrieben. Bei einem Vergleich der Zeitscheiben 1991 – 2018 vs. 1961 – 2018 nimmt die mittlere Lufttemperatur in Gesamt-NRW zwischen diesen Zeitscheiben um 0,9 K zu, die lineare Zunahme zwischen dem Beginn der Untersuchung im Jahr 1961 bis zum letzten Jahr 2018 der Untersuchung beträgt sogar 1,8 K. Dabei sind die Zunahmen im Sommer und insbesondere im Frühjahr überdurchschnittlich, während sie im Herbst eher geringer ausgeprägt sind. Ähnlich wie die Veränderungen bei den mittleren Lufttemperaturen entwickeln sich auch die Kenntage zur Beschreibung der besonders heißen und der besonders kalten Tage. Während die kalten Kenntage zurückgehen, nehmen die heißen Kenntage zu, beides auf einem hohen signifikanten Niveau. Die absoluten Veränderungen sind zwar bei den „gemäßigten“ Kenntagen Frosttag und Sommertag größer als bei den beiden extremeren Kenntagen Eistag und Heißer Tag. Aufgrund des geringeren Basiswertes bei den Eistagen und bei den

Heißen Tagen sind die relativen Veränderungen bei diesen beiden Kennzahlen aber als höher zu bewerten.

Die ExUS 2020 – Studie hat den global fortschreitenden Klimawandel wie erwartet bestätigt und liefert nun für Nordrhein-Westfalen sowie für seine acht Großlandschaften belastbare Werte zu Veränderungen unterschiedlichster Kenngrößen des Niederschlages sowie zur Lufttemperatur und die dazugehörigen Kennzahlen. Die Verwendung einer sowohl einheitlichen als auch umfangreichen Datenbasis hebt diese Untersuchung von den bereits zahlreich vorliegenden Einzeluntersuchungen ab. Die Erweiterung des Untersuchungsumfangs auf Radarniederschlagsdaten sowie Untersuchungen zur Lufttemperatur haben weitere wichtige Erkenntnisse geliefert, die gemeinsam mit den Methoden der alten ExUS 2010 - Studie ein umfassendes Bild zur Entwicklung der Niederschläge und der Lufttemperaturen widerspiegelt. Die Ergebnisse der ExUS 2020 – Studie stehen nun für Planungs- und Nachweiszwecke nicht nur für die Wasser-, sondern auch für die Forst- und Landwirtschaft zur Verfügung.

Literaturverzeichnis

Annan, J. D., Hargreaves, J. C. (2013): A new global reconstruction of temperature changes at the Last Glacial Maximum. In: *Clim. Past* 9 (1), S. 367–376. DOI: 10.5194/cp-9-367-2013

De Martonne, E. (1926): Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. *La Meteorologie* 2, 449-458.

DWA (2012): Arbeitsblatt DWA-A 531, Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., ISBN 978-3-942964-28-9, September 2012

DWA (2016): Merkblatt DWA-M 119, Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., ISBN 978-3-88721-392-3, November 2016

DWD (2020): Datenlieferung des DWD, Abteilung Agrarmeteorologie mit Stationsdaten des Climate Data Center (CDC): Aktuelle monatliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland, Qualitätskontrolle noch nicht vollständig durchlaufen, Version recent/historical, abgerufen am 09.09.2020 als Datenlieferung der Abteilung Agrarmeteorologie.

DWD (2020a): DWD Climate Data Center (CDC), Raster der Monatsmittel der Lufttemperatur (2m) für Deutschland und Raster der Monatssummen der Niederschlagshöhe für Deutschland, Version v1.0, https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/monthly/, Datenstand 2020, letzter Zugriff 12.10.2020

DWD (o. J.): Warnkriterien des Deutschen Wetterdienstes, https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html;jsessionid=907F9F28D99F4A16C8AB11EE4DC2C0F0.live11054?nn=605882, letzter Zugriff: 18.12.2020

Hansmann, S. (2019): Entwicklung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen in NRW auf Basis von Monatsniederschlagssummen für den Zeitraum 1881 – 2019; tabellarische Auswertung von Sebastian Hansmann (LANUV NRW) auf Basis von DWD-Daten des DWD-Datenservers https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/regional_averages_DE/

hydro & meteo GmbH (Hg.), Jessen, Markus. (2018): Analyse der Radarniederschläge für die hydrologischen Jahre 2001 bis 2016: Bericht an das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Lübeck: hydro&meteo GmbH.

hydro & meteo GmbH (Hg.), Jessen, Markus. (2020): Analyse der Radarniederschläge für das hydrologische Jahr 2019: Bericht an das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Lübeck: hydro & meteo GmbH.

IPCC (Hrsg.) (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Unter Mitarbeit von Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC (Hrsg.) (2021): *Summary for Policymakers.* In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Kallache, M., Rust, H. W., Kropp, J. (2015): Trend assessment: applications for hydrology and climate research. *Nonlinear Processes in Geophysics*, European Geosciences Union (EGU), 2005, 12 (2), pp.201-210.hal-00302542

Keyantash, J. & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds) (2018): Last modified 07 Aug 2018. The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Index (SPI). Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi>.

NDMC (2018): <https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>, Version vom 12.7.2018, letzter Zugriff: 14.12.2020

LANUV NRW (2010): Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW („ExUS“) – Veränderungen in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit, Abschlussbericht erstellt für das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) durch die Arbeitsgemeinschaft aqua_plan GmbH, hydro meteo GmbH & Co. KG und dr. papadakis GmbH, 2010: <https://www.lanuv.nrw.de/klima/fis-klimaanpassung-nordrhein-westfalen/wasserwirtschaft-und-hochwasserschutz/projekte>, letzter Zugriff: 15.12.2020

LANUV NRW (2021): Daten und Fakten zum Klimawandel in Nordrhein-Westfalen und in den Großlandschaften. <https://www.lanuv.nrw.de/klima/klimawandel-in-nrw/klimawandel-in-den-grosslandschaften-daten-blaetter>, letzter Zugriff: 26.03.2021

Mudersbach, C., Netzel, F. Gehrman, T., Rothe, B., Bender, J. (2020): Untersuchungen zur Anwendung von instationären Bemessungsansätzen in Wasserwirtschaft (UniWa). Projektbericht an das LANUV NRW, Bochum, 153 S.

Quirnbach, M., Freistühler, E., Papadakis, I. (2012): Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region – Analysen zu den Parametern Lufttemperatur und Niederschlag, dynaklim-Publikation, Nr. 30, November 2012

Razafimaharo, C.; Krähenmann, S.; Höpp, S.; Rauthe, M. & Deutschländer, T. (2020): New high-resolution gridded dataset of daily mean, minimum, and maximum temperature and relative humidity for Central Europe (HYRAS). In: *Theoretical and Applied Climatology*, 142 (2020), pp. 1531-1553. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03388-w>, letzter Zugriff: 15.12.2020

Schumann, A., Fischer, S. (2021): Instationarität in langjährigen Beobachtungsreihen der Abflusshöchstwerte, in: HKC Werkstattbericht: Umgang mit hydrologischen Belastungsgrößen zur Ermittlung von Hochwassergefahren in Zeiten des Klimawandels, HKC e.V. in Zusammenarbeit mit der DWA, 2021.

Treis, A.; Einfalt, T.; Weigl, E.; Keller, T.; Gattke, C.; Kaiser, M.; Schitthelm, D.; Pfister, A. (2016): Kombination hochaufgelöster Radarniederschlagsinformationen und terrestrischer Ombrometerdaten, Ergebnisse des DX-Offline Projektes der Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, Jg.9, Nr. 4, 2016, S.233-242.

Literaturverzeichnis

UniZH (2020): Universität Zürich,
https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss.html, letzter Zugriff: 18.12.2020.

Anhang

StationsID	Stationsname alt	LandID	NRW-Nomenklatur neu (ab 2021)	Rechtswert	Hochwert	Art	statistische Regenhöhen DWA A531 Kap. 7.2	DWD-Kennwerte Kap. 5; 6.1; 6.2; 8.3.2	Serien_278	Bereichsgrenzen Radar Kap. 7.1; 8.1	Bruchpunkte Kap. 4.3	Kenntage und Jahreswerte lange TW Kap. 5; 6.1; 9.3	SPI Kap. 9.2	Großlandschaft	GLS_id NR
49070062	Koeln_Stammheim_DWD	49070062	Köln-Stammheim_DWD	358069	5650596	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Niederrheinische Bucht	2 327
49070012	Koeln_Weiler	49077122	Köln-Weiler_WW_StEB_K	350599	5655093	konti	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 35
51060051	Koettingen	51060051	Erfstadt-Köttingen_KA_ErftV	344598	5633329	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 167
48085033	Kohlfurth_KA	48085033	Wuppertal-Cronenberg_KA_WW	368470	5672029	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 165
51040031	Krauthausen	51040031	Niederzier-Krauthausen_KA_NRW	318143	5639634	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 168
47090022	Krebsöege_N	47090022	Radevormwald-Krebsöge_WV	381207	5673490	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 169
46050043	Krefeld	46050043	Krefeld-Oppum_NRW	328926	5689301	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 170
50138884	Kreuztal_Eichen_DWD	50138884	Kreuztal-Eichen_DWD	427495	5648510	TW	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 328
50138934	Kreuztal_Klg	50138934	Kreuztal_KA_NRW	428955	5645582	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 171
7123500	Kuchenbach	52090062	Hennef-Kuchenbach_NRW	381053	5623021	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 172
49040021	Kueckhoven	49040021	Erkelenz-Kückhoven_KA_NiersV	314925	5660988	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 173
40180027	Lage_Kreis_Lippe_Hoerste_DWD	40180027	Lage_Kreis_Lippe-Hörste_DWD	484525	5754897	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 329
51159054	Lahnhof_1_N	51159054	Netphen-Lahnhof_NRW	446738	5638314	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 174
51159014	Lahnhof_Geiersgrund_N	51159014	Netphen-Lahnhof-Geiersgrund_NRW	447527	5637065	konti	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 36
46080123	Langenberg_Sender	46080123	Velbert-Langenberg_Sender_NRW	369891	5691025	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 175
48070073	Langenfeld_N	48070073	Langenfeld_Rheinland_BRW	355248	5665054	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 176
52100032	Lascheid	52100032	Eitorf-Lascheid_NRW	390937	5623581	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 177
7103300	Lehmbach	50090042	Rösrath-Lehmbach_KA_NRW	373303	5643979	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 178
42070015	Lembeck	42070015	Dorsten-Lembeck_EGLV	361809	5735550	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 37
39190047	Lemgo_DWD	39190047	Lemgo_DWD	493505	5765765	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 330
11009200	Lengerich_KA	38127118	Lengerich_KA_NRW	420080	5780628	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 179
48148484	Lennestadt_Theten_DWD	48148484	Lennestadt-Theten_DWD	432469	5665086	TW	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 331
49070042	Leverkusen_KA	49070042	Leverkusen-Bürrig_KA_WV	357742	5657027	konti	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 38
49080062	Leverkusen_Pattscheid_DWD	49080062	Leverkusen-Pattscheid_DWD	364891	5661967	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Bergisches Land	7 332
43190016	Lichtenau	43190016	Lichtenau_NRW	493160	5718082	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Weserbergland	5 180
44190016	Lichtenau_Blankenrode	44190016	Lichtenau-Blankenrode_KA_NRW	493546	5710073	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 333
38136108	Lienen_Kattenvenne_DWD	38136108	Lienen-Kattenvenne_DWD	422628	5775115	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 334
49100022	Lindlar_Oberlichtinghagen_DWD	49100022	Lindlar-Oberlichtinghagen_DWD	390945	5658158	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Bergisches Land	7 335
49090042	Lindscheid	49090042	Wermelskirchen-Lindscheid_WV	372947	5659129	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 181
50030011	Linnich_N	50030011	Linnich_KA_WVER	308261	5652153	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 182
42190016	Lippspringe_Bad_DWD	42190016	Lippspringe_Bad_DWD	488879	5737189	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 336
9039400	Lippstadt_StUA	43160026	Lippstadt_Kernstadt_NRW	455101	5725615	konti	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 183
5077210	Luedenscheid_Loesenbach	47118285	Lüdenscheid-Lösenbach_RÜB_NRW	401776	5674775	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 184
42107108	Luedinghausen_KA	42107108	Lüdinghausen_KA_EGLV	393693	5735088	konti	ja	ja	ja	nein	nein	ja	nein	Westfälische Bucht	3 39
43110015	Lünen_Seseke_KA	43110015	Lünen_KA_EGLV	398270	5718375	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 40
9062810	Madfeld_Klg	45180036	Brilon-Madfeld_KA_NRW	481546	5698809	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 185
7115500	Marienfeld	51100012	Much-Marienfeld_RÜB_NRW	389953	5638177	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 186
43080025	Marl_Ost_KA	43080025	Marl-Hamm_KA_EGLV	369914	5728283	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 41
46180016	Marsberg_Helminghausen_DWD	46180016	Marsberg-Helminghausen_DWD	480732	5691471	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 337
45190016	Marsberg_Leitmar_DWD	45190016	Marsberg-Leitmar_DWD	490401	5694877	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 338
54060021	Mechernich	54060021	Mechernich_KA_ErftV	335577	5607384	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 187
53050081	Mechernich_Glehn	53050081	Mechernich-Glehn_KA_ErftV	330245	5608671	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 188
9088800	Medelon_N	48188634	Medebach-Medelon_NRW	477048	5668606	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 189
43050055	Menzelen_Ost	43050055	Alpen-Menzelen-Ost_LINEG	329836	5721795	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 190
46150224	Meschede_DWD	46150224	Meschede_DWD	449215	5687716	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 339
47070113	Mettmann_KA	47070113	Mettmann_KA_BRW	358654	5678077	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 191
47070083	Mettmann_Paul	47070083	Mettmann_Bauhof_NRW	357062	5679589	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 192
47070103	Metzkausen_KA	47070103	Mettmann-Metzkausen_KA_BRW	356358	5682097	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 193
48040153	MG_Alsstrasse	48040153	Mönchengladbach-Eicken_NEW_MG	322188	5675764	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 194
48040143	MG_Giesenkirchen	48040143	Mönchengladbach-Mülfort_NEW_MG	323014	5669496	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 198
47040103	MG_Helenabrunn	47040103	Mönchengladbach-Helenabrunn_WW_NEW_MG	320615	5678259	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 199
48050063	MG_Hoppbruch	48050063	Mönchengladbach-Hoppbruch_NEW_MG	325553	5672091	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 195
48040163	MG_Karstrasse	48040163	Mönchengladbach-Waldhausen_NEW_MG	318780	5674250	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 196
47040108	MG_Neuwerk	47040108	Mönchengladbach-Neuwerk_KA_NiersV	323054	5679738	konti	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 42
48040043	MG_Reststrauch	48040043	Mönchengladbach_Reststrauch_WW_NEW_MG	320241	5669428	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 200
48040123	MG_Rheinstr	48040123	Mönchengladbach-Hardterbroich_NEW_MG	321672	5673475	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 197
48040213	MG_Vossenbaeumchen	48040213	Mönchengladbach-Hardt_NEW_MG	314624	5675269	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 201
37190027	Minden_StUA	37190027	Minden-Kernstadt_NRW	494010	5793692	konti	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	Westfälisches Tiefland	4 202
37190027	Minden_StUA	37190027	Minden-Kernstadt_NRW	494010	5793692	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Westfälisches Tiefland	4 340
45140014	Moehnesee_Moehnetalsperre_DWD	45140014	Möhnesee_(Möhnetalsperre)_DWD	435015	5705020	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 342
45140016	Moehnetalsperre	45140016	Möhnesee-Günne_Möhnetalsperre_RV	434993	5704998	konti	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 203
45050033	Moers_Kleiverstr	45050033	Moers-Mitte_LINEG	335885	5702761	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 341
48070053	Monheim_KA	48070053	Monheim_Rhein_KA_BRW	353318	5663622	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 204
54030051	Monschau_Kalterherberg_DWD	54030051	Monschau-Kalterherberg_DWD	302107	5600193	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 343

Anhang

StationsID	Stationsname alt	LandID	NRW-Nomenklatur neu (ab 2021)	Rechtswert	Hochwert	Art	statistische Regenhöhen DWA A531 Kap. 7.2	DWD-Kennwerte Kap. 5; 6.1; 6.2; 8.3.2	Serien_278	Bereichsgrenzen Radar Kap. 7.1; 8.1	Bruchpunkte Kap. 4.3	Kenntage und Jahreswerte lange TW Kap. 5; 6.1; 9.3	SPI Kap. 9.2	Großlandschaft	GLS_id NR
51120012	Morsbach_DWD	51120012	Morsbach_DWD	409610	5635582	TW	kein	kein	kein	kein	kein	kein	kein	Bergisches Land	7 344
54060041	Muenster EIFEL_Bad_DWD	54060041	Münster EIFEL_Bad_DWD	341344	5602016	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Eifel (mit Siebengebirge)	6 345
51159064	Netphen_Lahnhof_DWD	51159064	Netphen_(Lahnhof)_DWD	446657	5638005	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 346
45050193	Neukirchen	45050193	Neukirchen-Vluyn_LINEG	331116	5700915	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 205
49090072	Neumuehle	49090072	Wermelskirchen-Dhünn_Neumühle_WV	380000	5661323	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Bergisches Land	7 206
7115600	Neunkirchen_Seelscheid	51100022	Neunkirchen-Seelsche	383014	5632886	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Bergisches Land	7 207
51090012	Neunkirchen_Seelscheid_Krawinkel_DWD	51090012	Neunkirchen-Seelscheid-Krawinkel_DWD	385384	5633811	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	kein	Bergisches Land	7 347
53060061	Nieder kastenholz	53060061	Euskirchen-Nieder kastenholz_ErtfV	346361	5610390	konti	kein	kein	ja	ja	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 208
9063100	Niedermarsberg	45190026	Marsberg-Mitte_KA_NRW	492542	5704039	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Weserbergland	5 209
41200027	Nieheim_DWD	41200027	Nieheim_DWD	507685	5739097	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Weserbergland	5 348
45040108	Nieukerk_Landwehrbach	45040108	Kerken-Nieukerk_KA_NiersV	316983	5703489	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 210
51141304	Oberdieffen	51141304	Wilsdorf-Oberdieffen_NRW	435973	5631962	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Sauer- und Siegerland	8 211
48040033	Ober_e_Niers	48040033	Mönchengladbach-Wickrathberg_NiersV	318697	5665923	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 212
44070015	Oberhausen_Buschhausen	44070015	Oberhausen-Stadtmitte_EGLV	349831	5708319	konti	ja	ja	ja	ja	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 43
9070800	Ochsenkopf_Deponie	46148264	Arnsberg-Ochsenkopf_Deponie_NRW	433112	5689974	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Sauer- und Siegerland	8 213
49080032	Odenthal_KA	49080032	Odenthal-Osenau_KA_WV	367020	5654618	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 214
5086710	Oestertalsperre_N	48128775	Herscheid_Oestertalsperre_Ebbetal_NRW	417490	5668962	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Sauer- und Siegerland	8 215
5504001	Olef talsperre	55040011	Hellenthal_Olef talsperre_WVER	317431	5596943	konti	kein	kein	kein	kein	ja	kein	kein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 279
42106108	Offen_DWD	42106108	Offen_DWD	386431	5729682	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 349
49138454	Olpe_KA	49138454	Olpe_KA_RV	418759	5654028	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 350
47168664	Olsberg_Brunskappel_DWD	47168664	Olsberg-Brunskappel_DWD	463716	5681396	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 351
11012800	Ostbevern_KA	39127118	Ostbevern_KA_NRW	419710	5765933	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Westfälische Bucht	3 216
9048500	Ostbüeren	44120154	Fröndenberg-Ostbüeren_NRW	414551	5707227	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Westfälische Bucht	3 217
47050023	Osterath	47050023	Meerbusch-Osterath_NRW	336169	5682074	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 218
42180046	Paderborn_P4	42180046	Paderborn-Kernstadt_RÜB_NRW	484188	5729525	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	kein	Weserbergland	5 352
50040021	Pattern	50040021	Jülich-Pattern_RÜB_NRW	316779	5648566	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 219
36190017	Petershagen_DWD	36190017	Petershagen_DWD	501195	5803494	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Westfälisches Tiefland	4 353
47138324	Plettenberg_DWD	47138324	Plettenberg_DWD	421257	5673631	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 354
7091590	Pulheim_Geyen	50065112	Pulheim-Geyen_NRW	345069	5650509	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 220
47090012	Radevormwald_KA	47090012	Radevormwald-Dahlerau_KA_WV	382682	5676301	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Bergisches Land	7 221
53030011	Raffelsbrand	53030011	Hürtgenwald-Raffelsbrand_NRW	310427	5616850	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 222
53030011	Raffelsbrand	53030011	Hürtgenwald-Raffelsbrand_NRW	310427	5616850	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Eifel (mit Siebengebirge)	6 355
35170037	Rahden_Kleinendorf_DWD	35170037	Rahden-Kleinendorf_DWD	472173	5810738	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Westfälisches Tiefland	4 356
46060043	Ratingen_KA	46060043	Ratingen-Tiefenbroich_KA_BRW	347080	5686139	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 223
44095015	Recklinghausen_Im_Reitwinkel	44095015	Recklinghausen-Grullbad_EGLV	375653	5715111	konti	ja	ja	ja	kein	kein	kein	kein	Westfälische Bucht	3 44
49138474	Rehringhausen_N	49138474	Olpe-Rehringhausen_NRW	423259	5655450	konti	ja	ja	ja	ja	kein	kein	kein	Sauer- und Siegerland	8 45
41086108	Reken_Gross_Reken_DWD	41086108	Reken_DWD	368383	5741825	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 357
48095043	Remscheid_Lennep	48095043	Remscheid-Lennep_WV_NRW	379980	5672055	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Bergisches Land	7 224
45050023	Repelen	45050023	Moers-Repelen_LINEG	334042	5705565	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 225
45050023	Repelen	45050023	Moers-Repelen_LINEG	334042	5705565	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 358
53075002	Rheinbach_DWD	53075002	Rheinbach_DWD	354644	5610077	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	kein	Niederrheinische Bucht	2 359
53075047	Rheinbach_Ev	53075047	Rheinbach_KA_ErtfV	354138	5611295	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 226
44050113	Rheinberg	44050113	Rheinberg_KA_LINEG	333288	5715830	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 227
44050103	Rheinberg_Alte_Landstrasse	44050103	Rheinberg_LINEG	332768	5712494	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 228
45060103	Rheinhausen	45060103	Duisburg-Rheinhausen_KA_LINEG	340875	5699725	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 229
43130025	Rhyern	43130025	Hamm-Rhyern_EGLV	421620	5720716	konti	ja	ja	ja	kein	kein	kein	kein	Westfälische Bucht	3 46
37160027	Rödinghausen	37160027	Rödinghausen_NRW	464674	5789506	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Weserbergland	5 230
37160027	Rödinghausen	37160027	Rödinghausen_NRW	464674	5789506	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	kein	Weserbergland	5 360
53030041	Roetgen_N	53030041	Roetgen_NRW	301422	5614650	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 231
51075102	Rondorf	51075102	Köln-Rondorf_ErtfV	355919	5637559	konti	ja	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 47
40097118	Rorup	40097118	Dülmen-Rorup_KA_EGLV	380659	5750208	konti	ja	ja	ja	ja	kein	kein	kein	Westfälische Bucht	3 48
7093300	Rothe_Furth	49090012	Kürten-Rothe_Furth_NRW	382230	5659591	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Bergisches Land	7 232
48020011	Rothentbach_N	48020011	Wassenberg-Rothentbach_NRW	298565	5669320	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 233
45165026	Ruethen_DWD	45165026	Rüthen_DWD	460723	5705207	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 361
53040041	RurbergVA	53040041	Simmerath-Rurberg_VA_NRW	312810	5610380	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 49
43170016	Salzkotten_DWD	43170016	Salzkotten_DWD	470954	5728841	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 362
39180017	Salzuffen_Bad_DWD	39180017	Salzuffen_Bad_DWD	483020	5772658	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Weserbergland	5 363
44150016	Sassendorf_Bad_Beusingsen_DWD	44150016	Sassendorf_Bad_Beusingsen_DWD	443193	5710635	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	kein	Niederrheinische Bucht	3 364
11016000	Schapidetten	40107118	Nottuln-Schapidetten_NRW	391354	5754564	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Westfälische Bucht	3 234
43075015	Schermbbeck_KA	43075015	Schermbbeck_KA_EGLV	351989	5727653	konti	ja	ja	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinisches Tiefland	1 50
48100032	Schevelinger_Talsperre	48100032	Wipperfürth_Schevelinger-Talsperre_WV	390192	5666150	konti	kein	kein	ja	kein	ja	kein	kein	Bergisches Land	7 235
48100032	Schevelinger_Talsperre	48100032	Wipperfürth_Schevelinger-Talsperre_WV	390192	5666150	TW	kein	kein	kein	kein	kein	ja	ja	Bergisches Land	7 365
40200017	Schieder_Kamerun	40200017	Schieder-Schwalenberg_NRW	509983	5755067	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Weserbergland	5 236
52040081	Schlich	52040081	Langerwehe-Schlich_NRW	316209	5630747	konti	kein	kein	ja	kein	kein	kein	kein	Niederrheinische Bucht	2 237

Anhang

StationsID	Stationsname alt	LandID	NRW-Nomenklatur neu (ab 2021)	Rechtswert	Hochwert	Art	statistische Regenhöhen DWA A531 Kap. 7.2	DWD-Kennwerte Kap. 5; 6.1; 6.2; 8.3.2	Serien_278	Bereichsgrenzen Radar Kap. 7.1; 8.1	Bruch- punkte Kap. 4.3	Kenntage und Jahreswerte lange TW Kap. 5; 6.1; 9.3	SPI Kap. 9.2	Großlandschaft	GLS_ id NR
47158364	Schmallenberg_Sellinghausen_DWD	47158364	Schmallenberg-Sellinghausen_DWD	448818	5673737	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 366
54060051	Schoenua	54060051	Münstereifel_Bad-Schönaun_ErfV	342261	5597847	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 238
47093033	Schwelm_KA	47093033	Schwelm_KA_WV	379773	5683454	konti	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 51
49010021	Selkant_Havert_DWD	49010021	Selkant-Havert_DWD	283122	5658720	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Niederrheinisches Tiefland	1 367
42100015	Selm_KA	42100015	Selm_KA_EGLV	391823	5729413	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 52
12105900	Siegen_GesHochsch	50141194	Siegen-Weidenau_Uni	431774	5639424	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 239
51149004	Siegen_Klaeranlage_DWD	51149004	Siegen_(Kläranlage)_DWD	429372	5634000	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Sauer- und Siegerland	8 368
53030051	Simmerath_Kalltalsperre_DWD	53030051	Simmerath_(Kalltalsperre)_DWD	309994	5613969	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Eifel (mit Siebengebirge)	6 369
53030071	Simmerath_N	53030071	Simmerath_KA_NRW	380553	5611848	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 240
7099800	Sindorf	50050081	Kerpen-Sindorf_NRW	335782	5643044	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	2 241
7099800	Sindorf	50050081	Kerpen-Sindorf_NRW	335782	5643044	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Niederrheinsche Bucht	2 370
44145026	Soest_KA	44145026	Soest_KA_EGLV	436451	5714784	konti	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 53
48085053	Solingen_Graefrath_KA	48085053	Solingen-Gräfrath_KA_BRW	363508	5673540	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 243
48085023	Solingen_Hohenscheid_DWD	48085023	Solingen-Hohenscheid_DWD	366596	5667128	TW	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 371
48070063	Solingen_Ohligs_KA	48070063	Solingen-Ohligs_KA_BRW	359411	5670958	konti	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 54
48085103	Solingen_Stadtgartnerei	48085103	Solingen_Botanischer_Garten_BRW	365085	5672187	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 242
43040023	Sonsbeck	43040023	Sonsbeck_NiersV	317229	5720882	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 244
46138154	Sorpetalsperre	46138154	Sundern_Sorpetalsperre_RV	427756	5689704	TW	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 372
46090016	Sprockhoevel_Schevener_Strasse	46090016	Sprockhövel-Flockenhaus_PW_NRW	378911	5688192	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 245
11005000	St_Arnold	37107108	Neuenkirchen-Sankt_Arnold_NRW	390186	5786408	konti	ja	nein	ja	ja	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 55
46040023	St_Toemis	46040023	Tönisvorst-Sankt_Tönis_PW_NiersV	323326	5689869	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 246
40076108	Stadtlohn_DWD	40076108	Stadtlohn_DWD	360688	5762654	TW	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 373
51020101	Steinbusch	51020101	Herzogenrath-Steinbusch_KA_WVER	295017	5637184	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinsche Bucht	2 247
38106108	Steinfurt_Burgsteinfurt_DWD	38106108	Steinfurt-Burgsteinfurt_DWD	386414	5775378	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 374
39160027	Steinhagen_Brockhagen_DWD	39160027	Steinhagen-Brockhagen_DWD	455081	5761633	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 375
49063342	Stommeln	49063342	Pulheim-Stommeln_RÜB_ErfV	342964	5655644	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinsche Bucht	2 248
45030033	Straelen	45030033	Straelen-Hetzert_KA_NiersV	311141	5703795	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 249
7093500	Suelze	49090032	Kürten-Sülze_KA_NRW	378824	5653837	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 250
47148344	Sundern_Roehrenspring_DWD	47148344	Sundern-Röhrenspring_DWD	433413	5677604	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 376
45050063	Toenisberg_KA	45050063	Kempen-Tönisberg_KA_NiersV	326325	5699520	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 251
46050023	Toenisvorst_DWD	46050023	Tönisvorst_DWD	321754	5685148	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 377
44030013	Twisteden_KA	44030013	Kevelaer-Twisteden_KA_NiersV	306434	5716144	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 252
43030013	Uedem_KA	43030013	Uedem_KA_NiersV	310383	5727363	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 253
44125005	Unna_Billmerich	44125005	Unna-Billmerich_EGLV	406783	5706744	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 56
49090092	Unterpilghausen	49090092	Wermelskirchen-Unterpilghausen_WV	377379	5662070	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 254
46080103	Velbert_HRB	46080103	Velbert_HRB_BRW	362418	5690177	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 255
39140017	Versmold_DWD	39140017	Versmold_DWD	442326	5762545	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 378
52050041	Vettweiss	52050041	Vettweiß_KA_ErfV	331279	5624423	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinsche Bucht	2 256
47040208	Viersen_NV	47040208	Viersen_NiersV	318224	5681917	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 257
49060028	Villau	49060028	Rommerskirchen-Villau_ErfV	336800	5663210	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinsche Bucht	2 258
53050091	Vlatten	53050091	Heimbach-Vlatten_ErfV	327077	5614367	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 259
49090062	Vorsperre_GrDhuenn	49090062	Wermelskirchen-Dhünn_Vorsperre_WV	376700	5659647	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 260
45030043	Wachtendonk	45030043	Wachtendonk_KA_NiersV	313914	5698558	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 261
42150016	Wadersloh_DWD	42150016	Wadersloh_DWD	449183	5734341	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 379
43100025	Waltrop_KA	43100025	Waltrap KA EGLV	390122	5722380	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 57
45200027	Warburg_Welda	45200027	Warburg-Welda_NRW	508064	5700289	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Weserbergland	5 262
40146208	Warendorf_DWD	40146208	Warendorf_DWD	4431995	5756017	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 380
45155006	Warstein_Hirschberg_DWD	45155006	Warstein-Hirschberg_DWD	4949009	5698109	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Sauer- und Siegerland	8 381
9062100	Warstein_Steinbruch	45165036	Warstein_SW_NRW	454830	5698256	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 263
45086015	Wattenscheid	45086015	Bochum-Westenfeld_EGLV	371786	5704042	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 58
49010031	Wehr_N	49010031	Selkant-Wehr_NRW	284249	5654141	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 264
RM-04	Weidenweg	51088816	Wesseling-Urfeld_KA_Stadt	360908	5630676	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinsche Bucht	2 265
53060041	Weilerswist_Lommersum_DWD	53060041	Weilerswist-Lommersum_DWD	344009	5620115	TW	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	Niederrheinsche Bucht	2 382
9078200	Wenholthausen_N	47158334	Eslohe-Wenholthausen_WW_NRW	441993	5682100	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 266
44135016	Werl_KA	44135016	Werl_KA_EGLV	425434	5714597	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 59
48090082	Wermelskirchen_DWD	48090082	Wermelskirchen_DWD	373178	5668048	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Bergisches Land	7 383
48090032	Wermelskirchen_KA	48090032	Wermelskirchen_KA_WV	375842	5665595	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 267
43110025	Werne_KA	43110025	Werne_KA_EGLV	405297	5723410	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 60
39160047	Werther_KA	39160047	Werther-Westfalen_KA_NRW	460963	5769752	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Weserbergland	5 268
43050013	Wesel_Fluren_DWD	43050013	Wesel-Flüren_DWD	333108	5729621	TW	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	Niederrheinisches Tiefland	1 384
43080016	Westerholt_KA_LV	43080016	Herten-Westerholt_KA_EGLV	367498	5719664	konti	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	Westfälische Bucht	3 61
36136108	Westerkappeln_DWD	36136108	Westerkappeln_DWD	422843	5793919	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 385
48090042	Westhofen	48090042	Hückeswagen-Scheideweg_WV	381559	5666672	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 269
44200017	Willebadessen_Borlinghausen_DWD	44200017	Willebadessen-Borlinghausen_DWD	502100	5714997	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 386

Anhang

StationsID	Stationsname alt	LandID	NRW-Nomenklatur neu (ab 2021)	Rechtswert	Hochwert	Art	statistische Regenhöhen DWA A531 Kap. 7.2	DWD-Kennwerte Kap. 5; 6.1; 6.2; 8.3.2	Serien_278	Bereichsgrenzen Radar Kap. 7.1; 8.1	Bruch- punkte Kap. 4.3	Kenntage und Jahreswerte lange TW Kap. 5; 6.1; 9.3	SPI Kap. 9.2	Großlandschaft	GLS_id NR
50141124	Winterbach_Deponie	50141124	Netphen-Herzhausen_Deponie_NRW	435692	5646131	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Sauer- und Siegerland	8 270
48100062	Wipperfueth_Gardeweg_DWD	48100062	Wipperfürth-Gardeweg_DWD	389765	5669204	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Bergisches Land	7 387
45100185	Witten_Gedern	45100185	Witten-Gedern_NRW	385813	5696548	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 271
45100195	Witten_Schnee	45100195	Witten-Schnee_NRW	390242	5698975	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 272
45100145	Witten_Stockum_DWD	45100145	Witten-Stockum_DWD	386041	5703681	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Westfälische Bucht	3 388
53050021	Wollersheim	53050021	Nideggen-Wollersheim_ErftV	328269	5616327	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 273
51020071	Worm	51020071	Herzogenrath-Worm_KA_NRW	294780	5640963	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinische Bucht	2 274
47080033	Wuelfrath_Fliehte_RueB	47080033	Wülfrath_Zur_Fliehte_RÜB_BRW	361452	5682702	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 276
47080043	Wuelfrath_KA	47080043	Wülfrath_KA_BRW	364020	5680165	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Bergisches Land	7 275
44180016	Wuennenberg_Eiern_DWD	44180016	Wünnenberg-Eiern_DWD	484633	5710200	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Weserbergland	5 389
47080013	Wuppertal_Buchenhofen_DWD	47080013	Wuppertal-Buchenhofen_DWD	367701	5676531	TW	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	Bergisches Land	7 390
47080093	Wuppertal_Buchenhofen_KA	47080093	Wuppertal-Buchenhofen_KA_WV	367810	5676463	konti	ja	nein	ja	ja	ja	nein	nein	Bergisches Land	7 62
43040043	Xanten	43040043	Xanten-Lüttingen_KA_LINEG	325181	5726999	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 277
43040013	Xanten_DWD	43040013	Xanten_DWD	320141	5730542	TW	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	Niederrheinisches Tiefland	1 391
54050031	Zingsheim	54050031	Nettersheim-Zingsheim_ErftV	334192	5597698	konti	ja	nein	ja	ja	ja	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 63
52030051	Zweifall_N	52030051	Stolberg-Zweifall_NRW	307271	5621261	konti	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	Eifel (mit Siebengebirge)	6 278