

Regenreihen für Hamburg 2020

Starkregenauswertung Hamburger Niederschlagsdaten
von 1961 – 2020

IMPRESSUM**Herausgeber**

HAMBURG WASSER
Billhorner Deich 2
D - 20539 Hamburg

Verfasser

Dr.-Ing. H.-R. Verworn
Langenhagen
Dipl.-Ing. A. Kuchenbecker
Referent Stadthydrologie
HAMBURG WASSER

Gestaltung

KGD – Meinhard Weidner

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielsetzung	4
2	Daten	4
3	Grundlagen	6
4	Bemessungsregen für Hamburg 2020	7
5	Vergleich statistischer Werte für 30-jährige Zeiträume ab 1961	14
6	Vergleich der Bemessungswerte von 1948 bis 2020	20
7	Statistische Werte verschiedener Stationen in Hamburg im Vergleich	22
8	Zusammenfassung und Bewertung	24
9	Literatur	25
10	Anhang	26
10.1	Statistische Regenhöhen 2020	26
10.2	Statistische Regenspenden 2020	28

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Datenmittelwerte der Zeitreihe HH00	4
Tab. 2.2	Mittlere Jahresniederschlagshöhen	4
Tab. 4.1	Niederschlagshöhen für 2020 in mm	9
Tab. 4.2	Prozentuale Abweichungen des Bemessungsregens 2020 gegenüber 2003	12
Tab. 5.1	Prozentuale Abweichungen der Regenhöhen für 1961-1990 gegenüber denen für 1961-2020	17
Tab. 5.2	Prozentuale Abweichungen der Regenhöhen für 1991-2020 gegenüber denen für 1961-2020	18

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Lage der Stationen (fettgedruckt = ausgewertete Stationen)	5
Abb. 4.1	u- und w-Parameter in Abhängigkeit von der Dauer mit Ausgleichsfunktionen, ergänzt mit den Funktionen des Bemessungsregens 2003	7
Abb. 4.2	Partielle Serien der N-Höhen in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (kurze Dauerstufen)	8
Abb. 4.3	Partielle Serien der N-Höhen in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (längere Dauerstufen)	8
Abb. 4.4	Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (kurze Dauern, kleine Wiederkehrzeiten)	10
Abb. 4.5	Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (kurze Dauern, große Wiederkehrzeiten)	10
Abb. 4.6	Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (lange Dauern, kleine Wiederkehrzeiten)	11
Abb. 4.7	Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (lange Dauern, große Wiederkehrzeiten)	11
Abb. 5.1	Statistische N-Höhen von vier überlappenden 30-jährigen Zeitreihen im Vergleich zu denen der Zeitreihe 1961-2020	14
Abb. 5.2	Regenhöhenlinien der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 (D bis 4h)	16
Abb. 5.3	Regenhöhenlinien der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 (D bis 5d)	16
Abb. 5.4	Maximalwerte der partiellen Serien zweier nicht überlappender 30-jähriger Zeitreihen im Vergleich zur Gesamtzeitreihe von 60 Jahren	19
Abb. 6.1	Statistische N-Höhen der Bemessungswerte seit 1948 und die Bereiche von KOSTRA-DWD 2010R im Vergleich für vier Wiederkehrzeiten	20
Abb. 7.1	Statistische Regenhöhen für HH00 und fünf Stationen im Stadtgebiet	22

1. Veranlassung und Zielsetzung

Die ersten Bemessungsgrößen für Sielanlagen stammen aus dem Jahr 1948. Die systematische statistische Auswertung von Regenaufzeichnungen in Hamburg wird seit den frühen 80er-Jahren durchgeführt. Auf der Basis der Niederschlagsmessungen von 1949 bis 1980 wurden vom damaligen Amt für Stadtentwässerung der Baubehörde Hamburg Regenspenden- und Regenhöhenlinien erstellt. Seit dem Jahr 1985 liegen mit dem KOSTRA-Atlas vom Deutschen Wetterdienst erstellte statistische Regenwerte vor, die zum Teil größere Unterschiede zu den Hamburger Bemessungswerten aufwiesen. Die bis jetzt offiziell gültigen statistischen Regenwerte stammen aus dem Jahr 2003 (im Weiteren als „Bemessungsregen 2003“ bezeichnet), die auf Auswertungen mit den Daten von 1968 bis 1997 basieren.

Eine interne Überprüfung dieser statistischen Werte wurde mit den Daten bis 2010 durchgeführt, ergab jedoch keinen Anlass zur Änderung des Bemessungsregens 2003.

Seit der Erstellung des Bemessungsregens 2003 sind inzwischen 23 weitere Jahre an Regenaufzeichnungen hinzu gekommen, so dass mit den erneut aufbereiteten Daten seit 1961 insgesamt 60 Jahre an Aufzeichnungen zur Verfügung stehen. Im Zuge des Klimawandels ist es wichtig zu untersuchen, inwieweit sich die statistischen Regenwerte für die Bemessung oberirdischer Gewässer und öffentlicher Abwasseranlagen seit der letzten Auswertung verändert haben. Die Auswertung der Daten wurden nach dem gleichen Schema wie zuvor (und wie auch in KOSTRA) durchgeführt, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen. Die Vorgehensweise basiert auf dem DWA-Arbeitsblatt A531, zu Einzelheiten zur Vorgehensweise siehe Abschnitt 3.

Außer der Auswertung der vorhandenen Daten für ganz Hamburg wurden auch Untersuchungen darüber durchgeführt, wie sich die statistischen Regenwerte in den letzten 60 Jahren geändert haben und ob es signifikante Unterschiede im Stadtgebiet von Hamburg gibt.

2. Daten

Die Regenmessung in Hamburg hat eine lange Tradition. Die kontinuierliche Regenaufzeichnung begann im Jahre 1949 an der Station Anckelmannsplatz. Seitdem ist das Messnetz ständig gewachsen und umfasst heute 22 Stationen, an denen die Daten sowohl lokal gespeichert als auch auf einen zentralen Rechner zeitnah übertragen werden. In Kombination mit den seit 2011 nach und nach auf Messgeräte nach dem Wägeprinzip umgerüsteten Stationen gibt es durch die Wartungsarmut der Geräte und die digitale Datenerfassung qualitativ hochwertige Aufzeichnungen, in denen nur sehr wenige Ausfallzeiten vorhanden sind.

Wie schon bei früheren statistischen Auswertungen für ganz Hamburg wurde auch hier die fiktive Station HH00 verwendet. Die Daten dieser Station stammen vorwiegend von der Station R032 Winterhude (vormals Saarlandstraße), die bei

	1961 - 2020	1968 - 1997
Mittlere Jahresniederschlagshöhe	760 mm	750 mm
Maximale Jahresniederschlagshöhe	1107 mm (2007)	985 mm (1980)
Minimale Jahresniederschlagshöhe	380 mm (2018)	507 mm (1996)

Tabelle 2.1: Datenmittelwerte der Zeitreihe HH00

der 10-Jahres-Zeitreihen	1961 – 1970	754 mm
	1971 – 1980	746 mm
1981 – 1990	750 mm	
1991 – 2000	751 mm	
2001 – 2010	838 mm	
2011 – 2020	723 mm	
der 20-Jahres-Zeitreihen	1961 – 1980	750 mm
	1971 – 1990	748 mm
	1981 – 2000	750 mm
	1991 – 2010	795 mm
	2001 – 2020	781 mm
der 30-Jahres-Zeitreihen	1961 – 1990	750 mm
	1971 – 2000	749 mm
	1981 – 2010	780 mm
	1991 – 2020	771 mm

Tabelle 2.2: Mittlere Jahresniederschlagshöhen

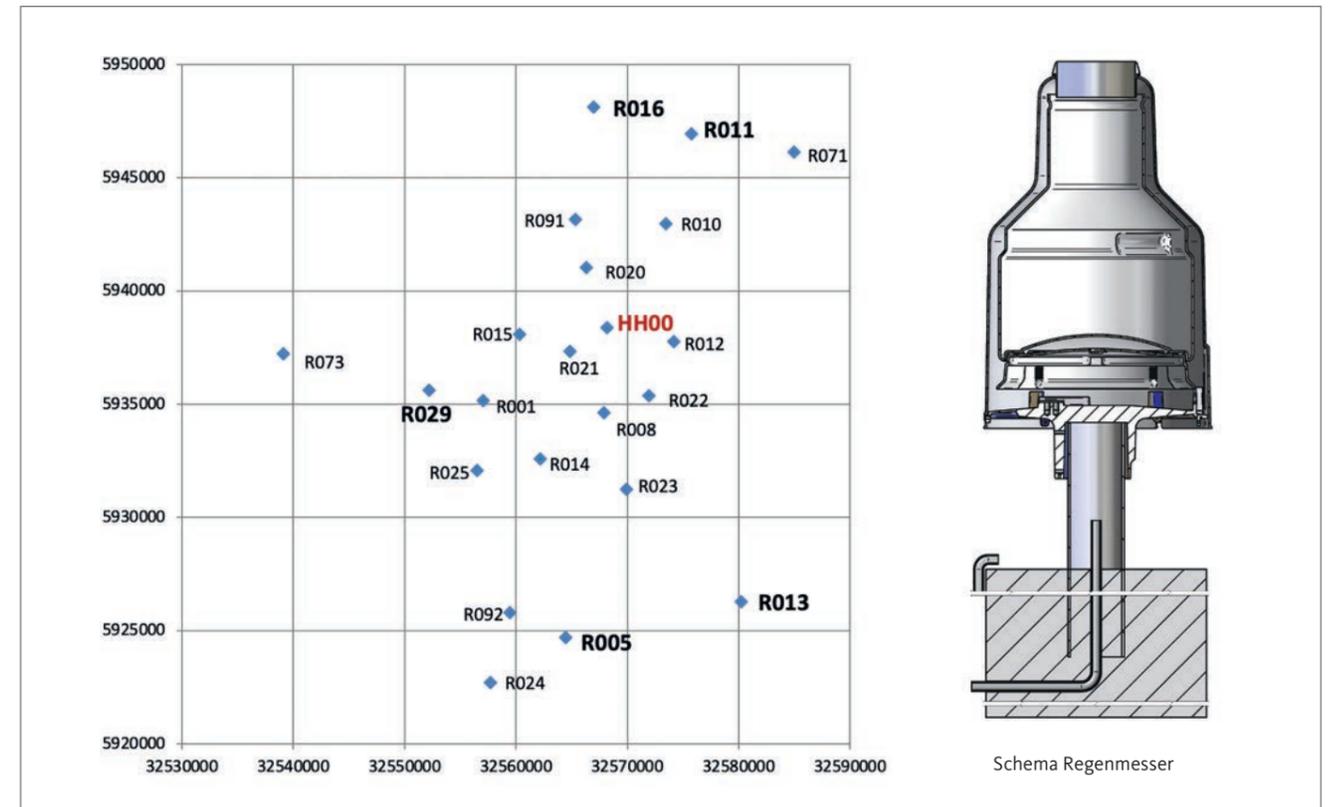


Abbildung 2.1: Lage der Stationen (fettgedruckt = ausgewertete Stationen)

Ausfällen mit Daten umliegender Stationen aufgefüllt wurde, so dass eine lückenlose Zeitreihe entstand.

Für die hier dargestellten Auswertungen wurden die Daten von 1961 bis 2020 verwendet, die in den letzten Jahren so gut wie keine Ausfälle aufweisen.

Obwohl die mittlere Jahresniederschlagshöhe fast gleich geblieben ist, sind in den letzten Jahren mehr Extreme aufgetreten. Die Minima und Maxima der Jahresniederschlagshöhen liegen ebenso wie die der 10-Jahres-Zeitreihen alle in diesem Jahrhundert. Die Spanne zwischen nassestem und trockenstem Jahr hat sich von 478 mm auf 727 mm vergrößert.

Die Ergebnisse für die Station HH00 sollen einheitlich für das gesamte Stadtgebiet von Hamburg gültig sein. Das Regengeschehen über dem Stadtgebiet kann jedoch sehr unterschiedlich sein. Um festzustellen, inwieweit sich die statistischen Werte für verschiedene Stationen unterscheiden, wurden die Daten von fünf weiteren Stationen ausgewertet. Im Uhrzeiger-

sinn beginnend im Norden sind dies mit Angabe der vorhandenen Daten:

R016 Langenhorn (vormals Ochsenzoll)	1969 bis 2020
R011 Walddörfer (vormals Sasel)	1971 bis 2020
R013 Bergedorf-Curslack	1961 bis 2020
R005 Harburg	1961 bis 2020
R029 Blankenese	1954 bis 2020

Wegen der unterschiedlichen Zeiträume der Stationen wurden einheitlich die Auswertungen für die Jahre 1971 bis 2020 durchgeführt. Vergleichbare Jahresniederschlagshöhen können wegen der Ausfälle in diesem Zeitraum nicht angegeben werden.

3. Grundlagen

Die statistischen Auswertungen erfolgten auf der Basis der Vorgehensweise, wie sie im DWA-Arbeitsblatt A531 beschrieben ist.

Es wird empfohlen, sowohl die partiellen Serien als auch die jährlichen Serien für die Auswertungen zu verwenden, wobei die Ergebnisse für die partiellen Serien eher für die kürzeren Wiederkehrzeiten maßgebend sind, während empfohlen wird, für Wiederkehrzeiten $T \geq 10a$ die Ergebnisse aus den jährlichen Serien zu verwenden. Vergleiche der Ergebnisse aus beiden Serien für die 60-jährige Zeitreihe von 1961 bis 2020 zeigten jedoch für alle Wiederkehrzeiten nur minimale Unterschiede, so dass im Rahmen aller weiteren Auswertungen nur die Ergebnisse der partiellen Serien verwendet wurden.

Für den Umfang der partiellen Serien wird in Abhängigkeit der Länge der Zeitreihe M in Jahren eine Anzahl $n = e * M$ empfohlen. Auf Grund vergleichender Auswertungen wurde für alle hier vorgenommenen Auswertungen ein Umfang von $n = 1,5 * M$ verwendet, um ein zu starkes Gewicht der häufigen Werte zu vermeiden.

Für die Unabhängigkeit der einzelnen Werte der partiellen Serien ist sicher zu stellen, dass zwei aufeinander folgende Werte nicht zu dem gleichen Regenereignis gehören. Hierzu wurde bei allen hier vorgenommenen Untersuchungen einheitlich das Kriterium verwendet, dass der Abstand zwischen zwei Ereignissen der partiellen Serien gleich oder größer als die jeweilige Dauerstufe sein muss, mindestens aber 4h betragen muss.

Bezüglich der Bereichseinteilung der u - und w -Werte über die Dauer und die zu verwendenden Ausgleichsfunktionen innerhalb der Bereiche gibt es Hinweise, aber keine Vorschriften im Arbeitsblatt. Für den Ausgleich der Parameter im Bereich unter 60 min wird für u der hyperbolische Ansatz und für den Parameter w der doppelt-logarithmische Ansatz empfohlen, weil sich in diesem Bereich mit den anderen Ansätzen tendenziell zu kleine Werte ergeben können.

Vergleichende Berechnungen mit verschiedenen Bereichseinteilungen und Ausgleichsfunktionen zeigten, dass für die u -Werte keine Bereichsunterteilung und ein doppelt-logarithmischer Ausgleich in allen Fällen die beste Anpassung ergab.

Bei den w -Werten war die Entscheidung nicht so eindeutig (siehe auch Abbildung 4.1). Die ungleichmäßige Zunahme der w -Werte über die Dauer – besonders bei den großen Dauerstufen – ermöglichte mehrere Kombinationen von Bereichseinteilung und Ausgleichsfunktion. Als beste und plausibelste Lösung wurde schließlich der Verzicht auf mehrere Bereiche und eine einfach-logarithmische Ausgleichsfunktion festgelegt. Diese mit der 60-jährigen Zeitreihe gefundenen Lösung zeigt sich auch bei fast allen weiteren Untersuchungen als geeignet. Nur in wenigen Fällen erwies sich eine doppel-logarithmische Ausgleichsfunktion als sinnvoller.

4. Bemessungsregen für Hamburg 2020

Für die Festlegung des Bemessungsregens wurden verschiedene, in DWA-A531 vorgesehene Auswertungsvarianten durchgeführt und verglichen. Hierzu wurden für den Ausgleich der Parameter u und w über die Dauer die Bereichsgrenzen und Regressionsansätze (linear, logarithmisch oder hyperbolisch) variiert. Bei der Berücksichtigung aller Dauerstufen von 5 min bis 5 Tage ergaben sich die plausibelsten Ausgleiche ohne Unterteilung in Dauerstufenbereiche mit einem linearen Ausgleich für w -Werte und einem logarithmischen Ausgleich für die u -Werte.

Zum Vergleich mit den Ergebnissen des Bemessungsregens 2003 sind in Abbildung 4.1 auch die Ausgleichsfunktionen der dort verwendeten fünf Bereiche eingezeichnet (gestrichelte Linien).

Die größere Variation der w -Werte (Steigung der Ausgleichsgeraden der Niederschlagshöhen der jeweiligen Dauerstufe über die logarithmierte geschätzte Wiederkehrzeit) ist besonders bei den höheren Dauerstufen auf die Zufälligkeit des Auftretens oder Fehlens größerer Niederschlagshöhen zurückzuführen.

Die Abbildungen 4.2 und 4.3 zeigen, wie unterschiedlich die Zunahme der Niederschlagshöhen über die Wiederkehrzeit ist.

Bei den größten vier Werten aller Dauerstufen gibt es die größten und kleinsten Unterschiede. Bis $D=45$ min nehmen die Werte vom fünftgrößten bis zum größten kaum zu, während bei den höheren Dauerstufen größere Zunahmen vorhanden sind, allerdings von Werte zu Wert und von Dauerstufe zu Dauerstufe sehr unterschiedlich.

Es fällt vor allen Dingen auf, dass bei den zweitgrößten Werten von $D=90$ min bis $D=480$ min (8h) nur geringe Unterschiede von 2 mm vorhanden sind (48,9 bis 50,9), während die Differenz von $D=45$ min bis $D=90$ min 14,5 mm beträgt. Bei den zweit-, dritt- und viertgrößten Werten sind die Werte von 120 min und 150 min identisch. Bei den weiteren Auswertungen wurden diese Unregelmäßigkeiten nicht berücksichtigt, die Regressionen der Form $hN = u + w * \ln T$ wurden mit den dargestellten Werten durchgeführt und führte zu den Ergebnissen in Tabelle 4.1.

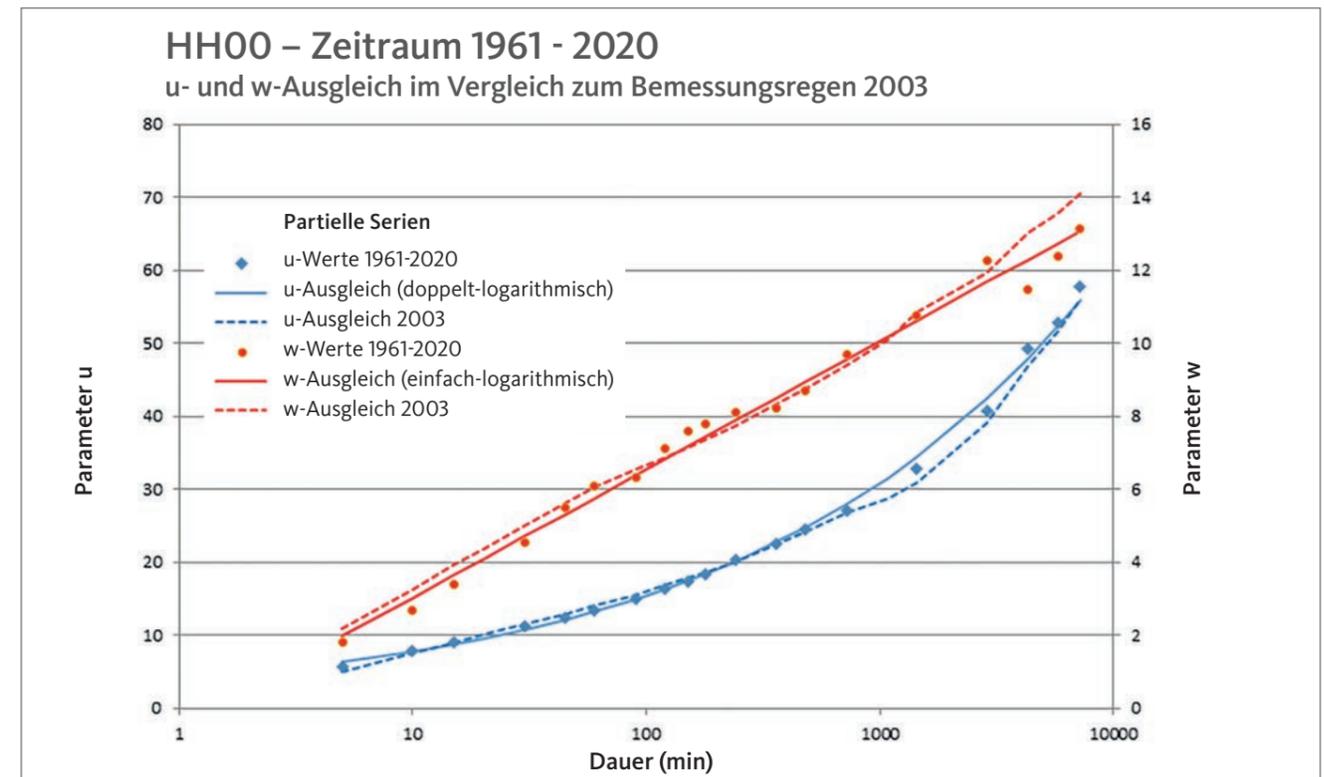


Abbildung 4.1: u - und w -Parameter in Abhängigkeit von der Dauer mit Ausgleichsfunktionen, ergänzt mit den Funktionen des Bemessungsregens 2003

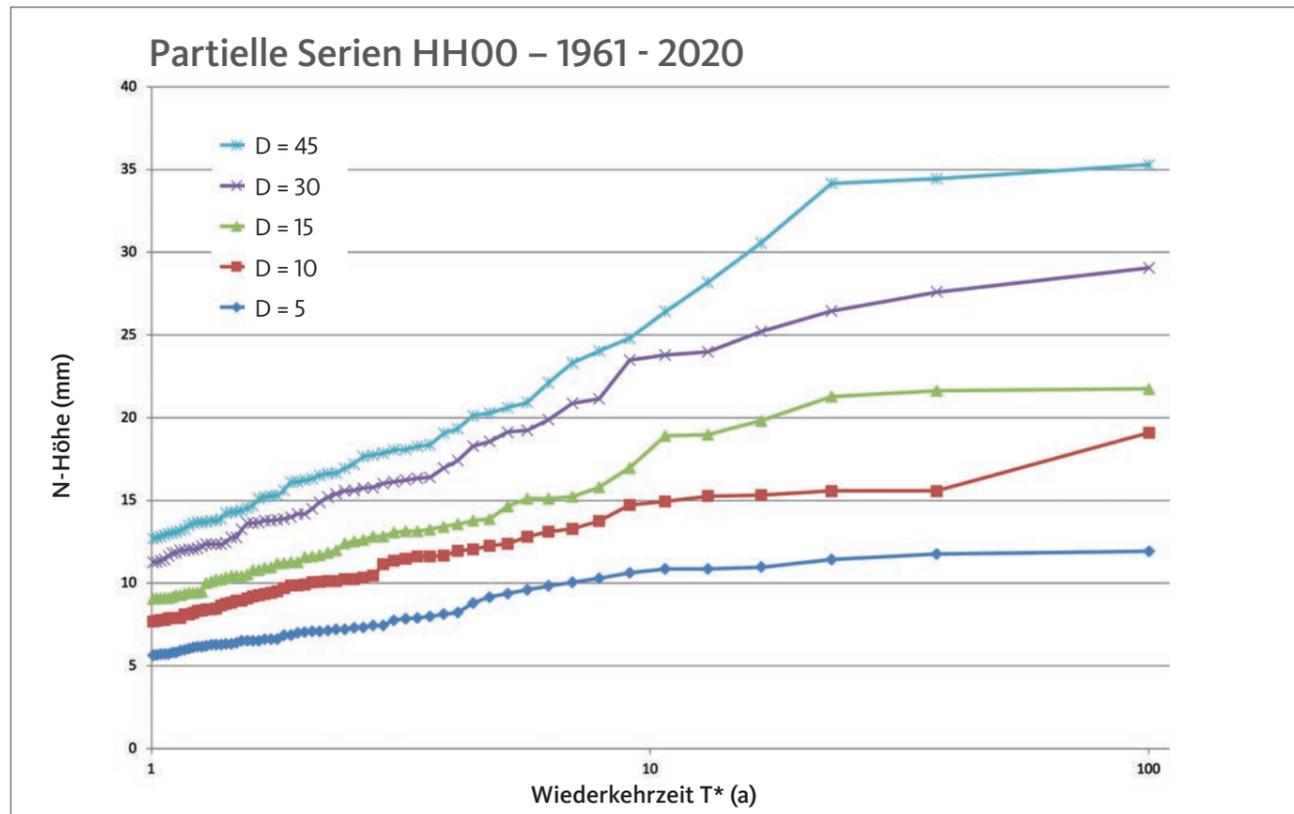


Abbildung 4.2: Partielle Serien der N-Höhen in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (kurze Dauerstufen)

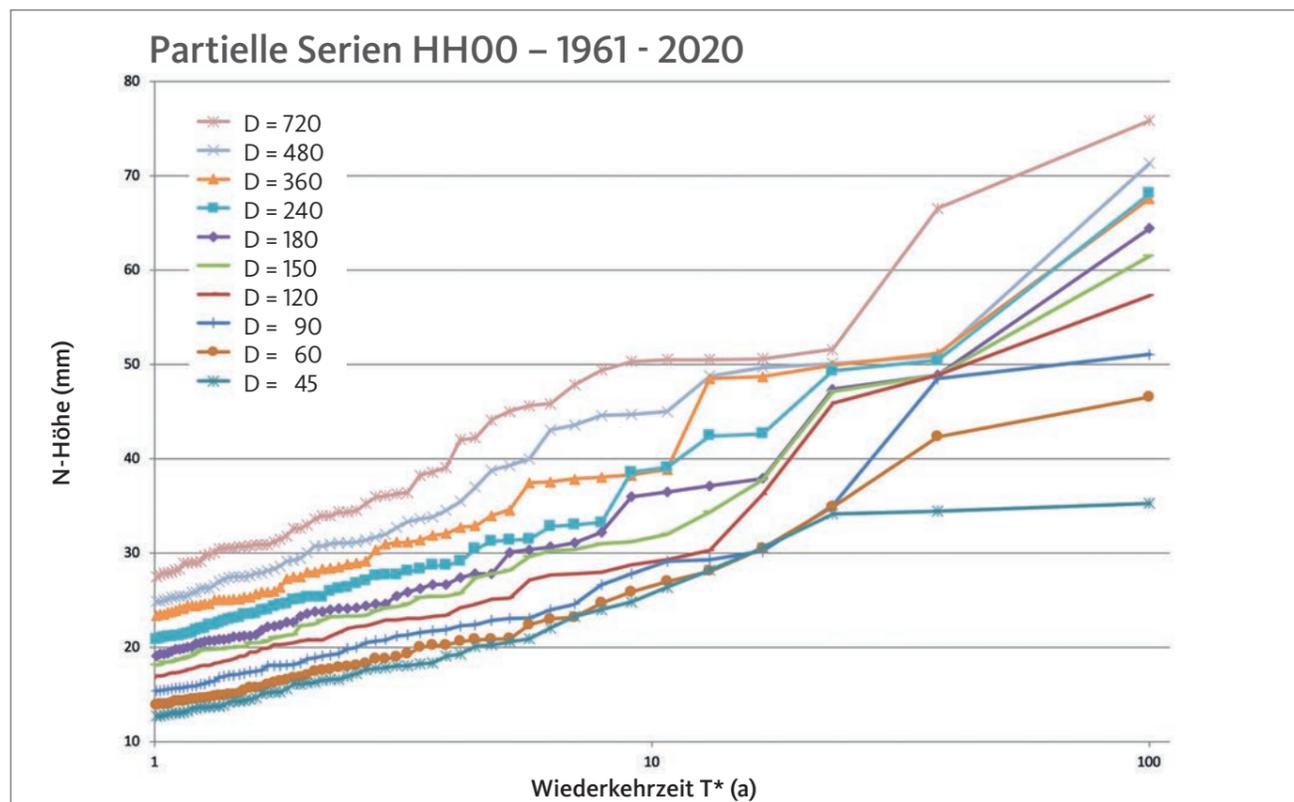


Abbildung 4.3: Partielle Serien der N-Höhen in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (längere Dauerstufen)

Wiederkehrzeit T =	1 a	2 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
Dauer D								
5 min	6,3	7,6	9,5	10,8	12,2	13,0	14,0	15,4
10 min	7,7	9,8	12,6	14,7	16,8	18,1	19,6	21,7
15 min	8,7	11,3	14,6	17,1	19,7	21,2	23,0	25,6
20 min	9,5	12,4	16,1	18,9	21,8	23,4	25,5	28,4
30 min	10,8	14,0	18,3	21,6	24,9	26,8	29,2	32,4
45 min	12,2	15,8	20,7	24,4	28,1	30,3	33,0	36,7
60 min	13,2	17,2	22,5	26,5	30,5	32,9	35,8	39,8
90 min	15,0	19,4	25,2	29,7	34,1	36,7	40,0	44,4
120 min	16,3	21,1	27,3	32,0	36,8	39,5	43,0	47,8
150 min	17,5	22,4	29,0	34,0	38,9	41,8	45,5	50,5
3 h	18,4	23,6	30,4	35,6	40,7	43,8	47,6	52,7
4 h	20,1	25,6	32,8	38,3	43,7	46,9	50,9	56,4
6 h	22,7	28,6	36,4	42,3	48,2	51,6	56,0	61,9
8 h	24,8	31,0	39,1	45,3	51,5	55,2	59,7	65,9
12 h	28,0	34,6	43,4	50,0	56,6	60,5	65,4	72,0
18 h	31,6	38,7	48,0	55,0	62,1	66,2	71,4	78,5
24 h	34,5	41,8	51,5	58,9	66,3	70,6	76,0	83,3
2 d	42,4	50,5	61,2	69,3	77,4	82,1	88,1	96,2
3 d	47,9	56,5	67,7	76,2	84,8	89,7	96,0	104,5
4 d	52,3	61,1	72,8	81,6	90,4	95,6	102,1	110,9
5 d	55,9	65,0	76,9	86,0	95,1	100,4	107,0	116,1

Tabelle 4.1: Niederschlagshöhen für 2020 in mm

Mit den dort dargestellten Ausgleichsfunktionen ergeben sich die Bestimmungsgleichungen für die Niederschlagshöhen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer zu

$$h_N(D,T) = u(D) + w(D) \cdot \ln T$$

mit

$$u(D) = e^{(-1,352761 + 0,300695 \cdot \ln D)}$$

$$w(D) = -0,478822 + 1,525676 \cdot \ln D$$

und eingesetzt als vollständige Bestimmungsgleichung

$$h_N(D,T) = e^{(-1,352761 + 0,300695 \cdot \ln D)} + (-0,478822 + 1,525676 \cdot \ln D) \cdot \ln T$$

mit

D = Dauer in Minuten

T = Wiederkehrzeit in Jahren

Durch Anwendung dieser Formel für verschiedene Wiederkehrzeiten und Dauerstufen ergibt sich der Bemessungsregen

2020 mit den Werten in Tabelle 4.1. Eine längere Tabelle mit mehr Dauerstufen befindet sich im Anhang.

Nachfolgend sind die Verläufe der Niederschlagshöhen über die Dauer für ausgewählte Wiederkehrzeiten dargestellt. Zum Vergleich sind die Verläufe des Bemessungsregens 2003 als gestrichelte Linien angegeben. Die in den Kurven vorhandenen Knicke und unregelmäßigen Verläufe des Bemessungsregens 2003 liegen an der Unterteilung des gesamten Dauerstufenumfangs in fünf Bereiche, für die jeweils andere Regressionsgleichungen für u und w gelten.

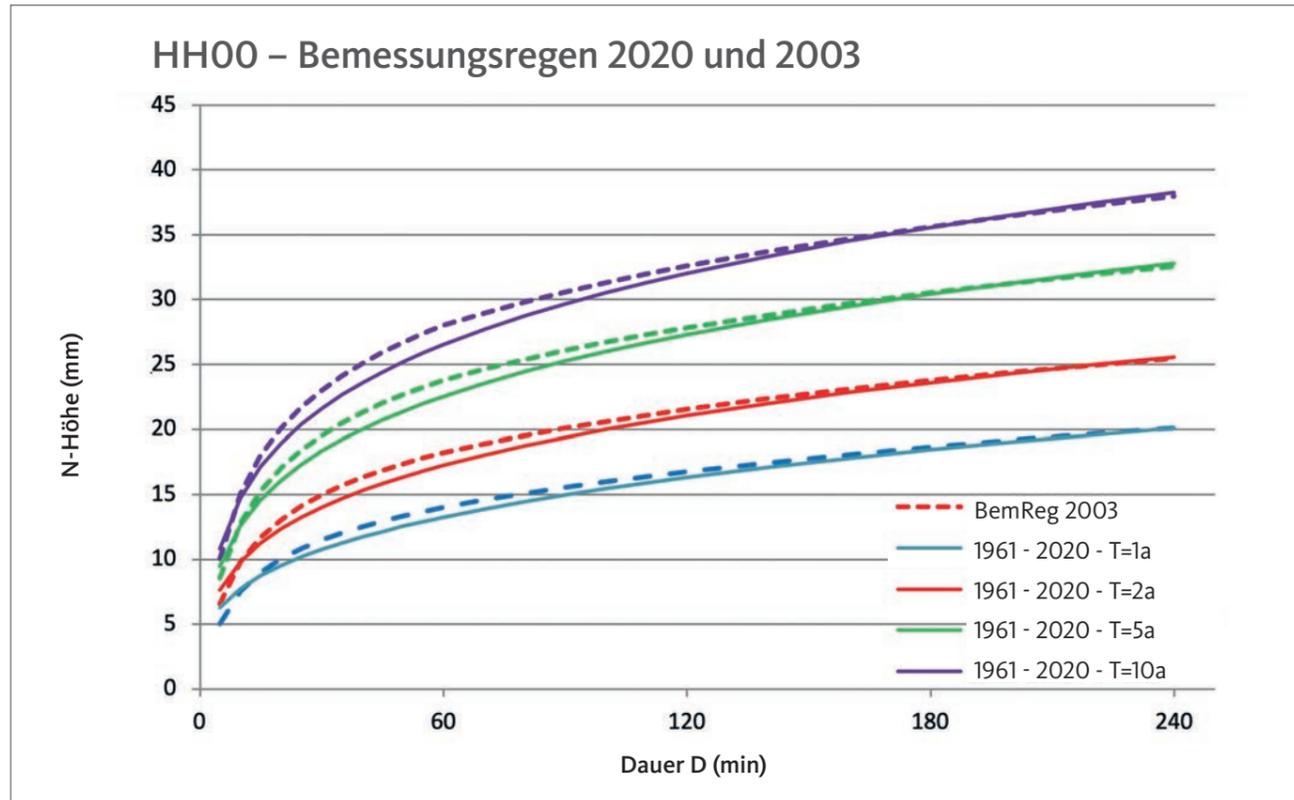


Abbildung 4.4: Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (kurze Dauern, kleine Wiederkehrzeiten)

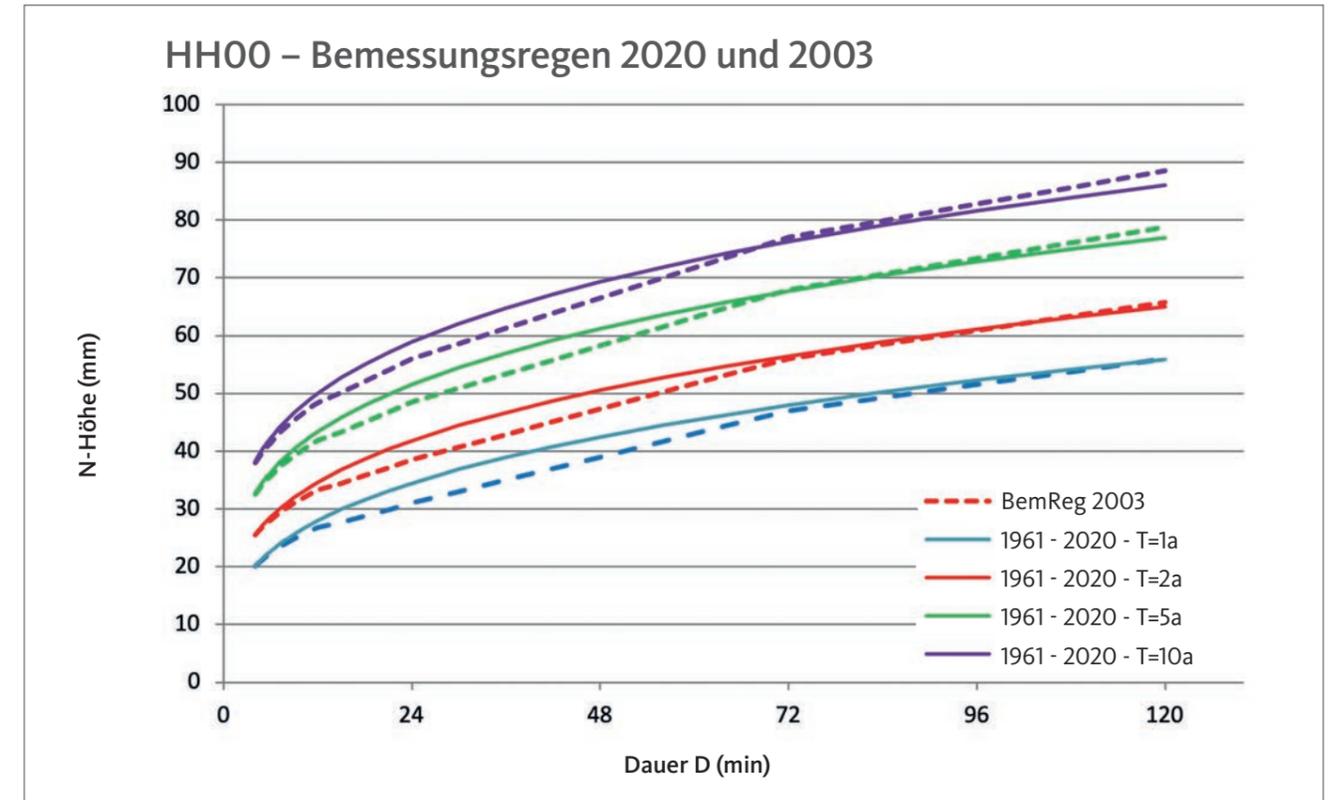


Abbildung 4.6: Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (lange Dauern, kleine Wiederkehrzeiten)

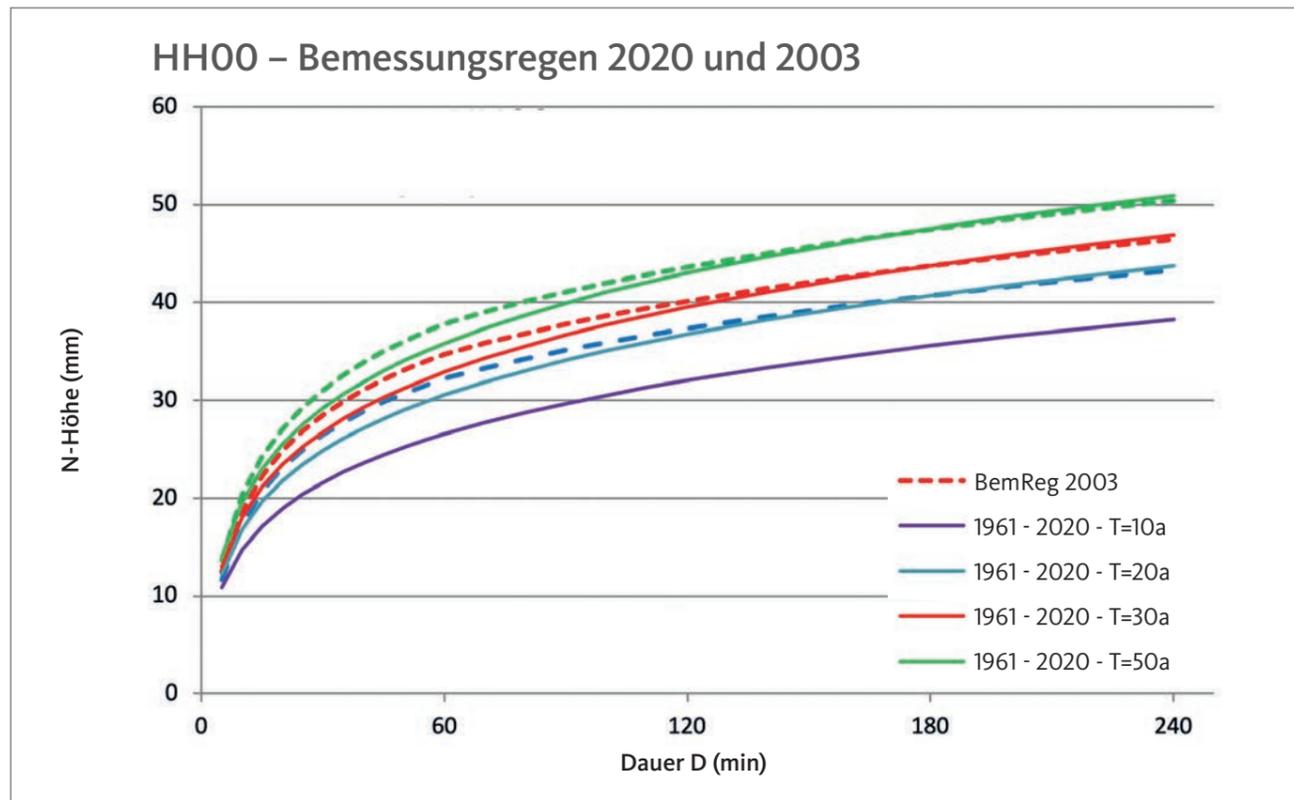


Abbildung 4.5: Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (kurze Dauern, große Wiederkehrzeiten)

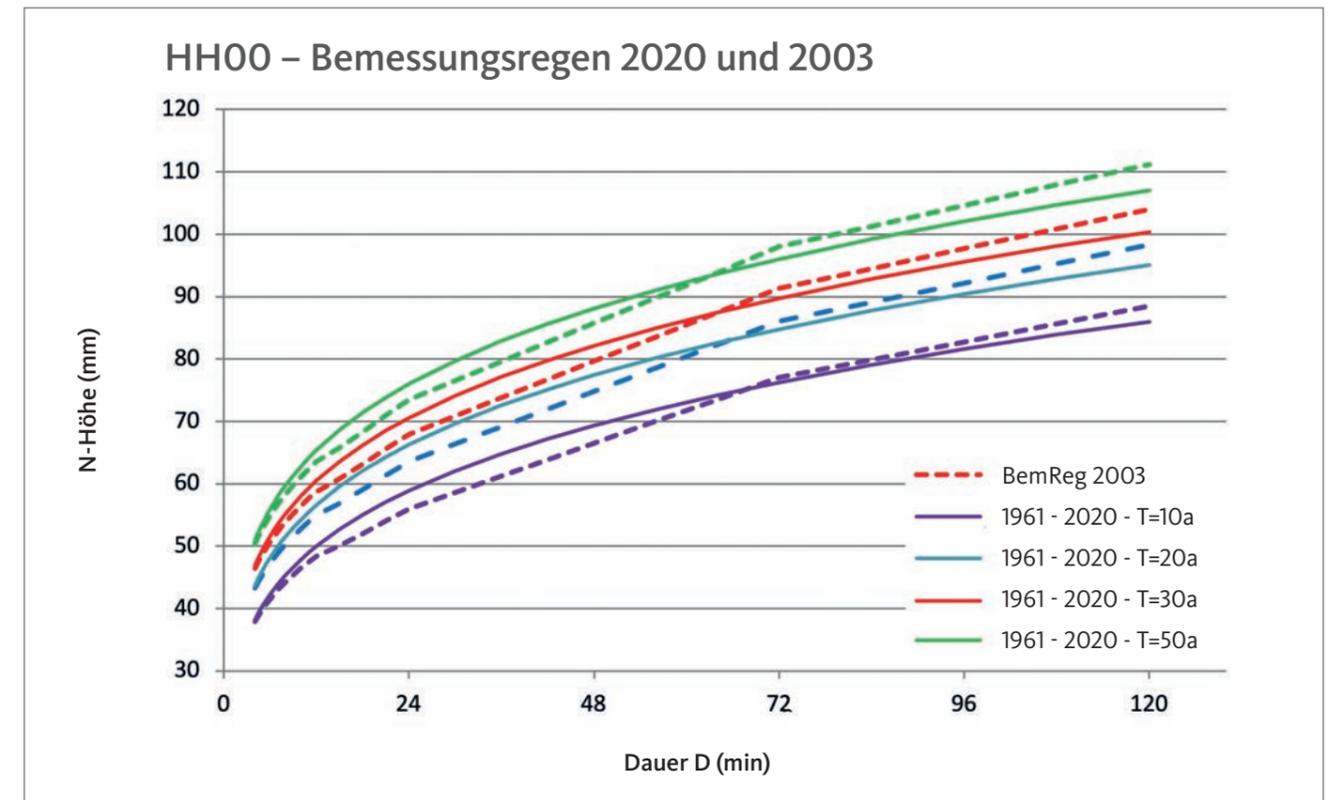


Abbildung 4.7: Vergleich der Bemessungsregen 2020 und 2003 (lange Dauern, große Wiederkehrzeiten)

Wiederkehrzeit T =	1	2	5	10	20	30	50	100
Dauer D								
5 min	25,5	15,8	10,0	7,2	5,2	4,0	3,0	1,8
10 min	3,1	0,3	-1,5	-2,5	-2,8	-3,5	-3,4	-4,0
15 min	-3,0	-3,7	-4,5	-4,8	-5,0	-5,1	-5,3	-5,4
20 min	-4,8	-5,7	-5,8	-5,8	-5,7	-5,9	-5,8	-5,8
30 min	-6,5	-6,5	-6,0	-6,1	-6,2	-6,0	-5,9	-5,9
45 min	-6,5	-6,2	-5,8	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7
60 min	-5,4	-5,2	-5,3	-5,3	-5,2	-5,3	-5,3	-5,2
90 min	-4,1	-3,5	-3,3	-3,0	-2,9	-2,9	-2,8	-2,7
120 min	-2,9	-2,1	-1,8	-1,7	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3
150 min	-2,0	-1,2	-1,1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5
3 h	-1,4	-0,9	-0,3	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
4 h	0,0	0,3	0,6	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1
6 h	1,4	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	1,9	1,9
8 h	2,7	2,5	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4
12 h	4,4	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9	2,8
18 h	9,3	7,7	6,1	5,4	4,9	4,6	4,2	3,9
24 h	11,1	8,6	6,3	5,2	4,3	3,9	3,4	2,9
2 d	8,8	6,8	5,2	4,2	3,5	3,2	2,8	2,3
3 d	2,0	0,8	-0,4	-1,0	-1,4	-1,7	-2,0	-2,3
4 d	1,5	0,3	-0,7	-1,3	-1,9	-2,2	-2,4	-2,7
5 d	-0,2	-1,3	-2,2	-2,8	-3,3	-3,5	-3,7	-4,1

Tabelle 4.2: Prozentuale Abweichungen des Bemessungsregens 2020 gegenüber 2003

Die optisch vorhandenen Unterschiede zum Bemessungsregen 2003 werden in Tabelle 4.2 in Prozent angegeben. Hellgrün (positiv) und hellrot (negativ) sind die Unterschiede von 5% bis 10% dargestellt, dunkelgrün die Unterschiede von mehr als 10%.

Abgesehen davon, dass die Unterschiede z.T. von den unterschiedlichen Arten der Ausgleichsfunktionen für u und w abhängen, sind die Unterschiede bis auf das Ergebnis für 5min und T=1 alle kleiner als $\pm 20\%$ und somit nicht signifikant.

Die sich jetzt ergebenden höheren Werte für die kleinere Dauerstufen sind als realistischer einzuschätzen, da erst nach den Auswertungen für den Bemessungsregen 2003 für den Be-

reich der kleineren Dauerstufen der hyperbolische Ansatz für die u-Werte empfohlen wurde (vgl. Abschnitt 3).

Wegen des gleichmäßigeren Verlaufs und der wesentlich größeren Datenbasis (60 Jahre gegenüber 30 Jahren) wird empfohlen, für zukünftige Bemessungen die Werte für 2020 zu verwenden. Für vorhandene Berechnungen, die auf dem Bemessungsregen 2003 beruhen, ist aber eine Neuberechnung wegen der nicht signifikanten Unterschiede nicht erforderlich.

5. Vergleich statistischer Werte für 30-jährige Zeiträume ab 1961

Zu der Fragestellung, inwieweit sich die statistischen Werte über die Zeit von 1961 bis 2020 verändert haben, wurden die überlappenden 30-jährigen Zeiträume innerhalb der Gesamtzeitreihe von 1961-2020 nach den gleichen Verfahren ausgewertet wie die Gesamtreihe. Die Länge von 30 Jahren wurde gewählt, da empfohlen wird, für statistische Auswertungen mindestens Zeitreihen dieser Länge zu verwenden. Insofern war zu erwarten, dass sich die statistischen Ergebnisse der vier Zeiträume nicht wesentlich unterscheiden.

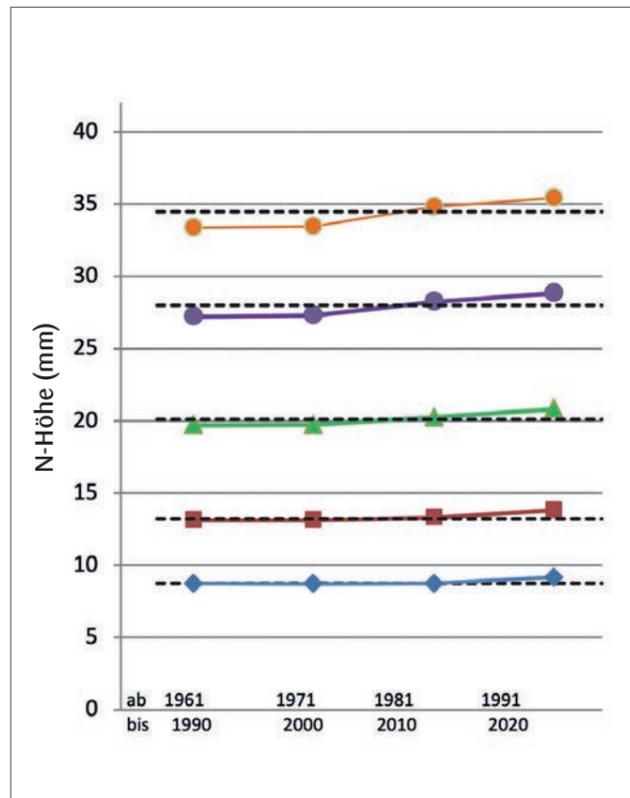
In Abbildung 5.1 sind die Ergebnisse für ausgewählte Dauerstufen und Wiederkehrzeiten im Vergleich zu den Werten der gesamten 60-jährigen Zeitreihe (Statistik 2020) dargestellt.

Im Vergleich der statistischen Regenhöhen für fünf Dauerstufen in vier Grafiken mit ausgewählten Wiederkehrzeiten zeigen sich aber deutliche Unterschiede. Diese sind aber nicht für alle Kombinationen gleich groß. Während sich für $T=1a$ nur sehr geringe Unterschiede zeigen, nehmen diese mit zunehmender Wiederkehrzeit zu. Außerdem sind die Unterschiede mit zunehmender Dauer größer.

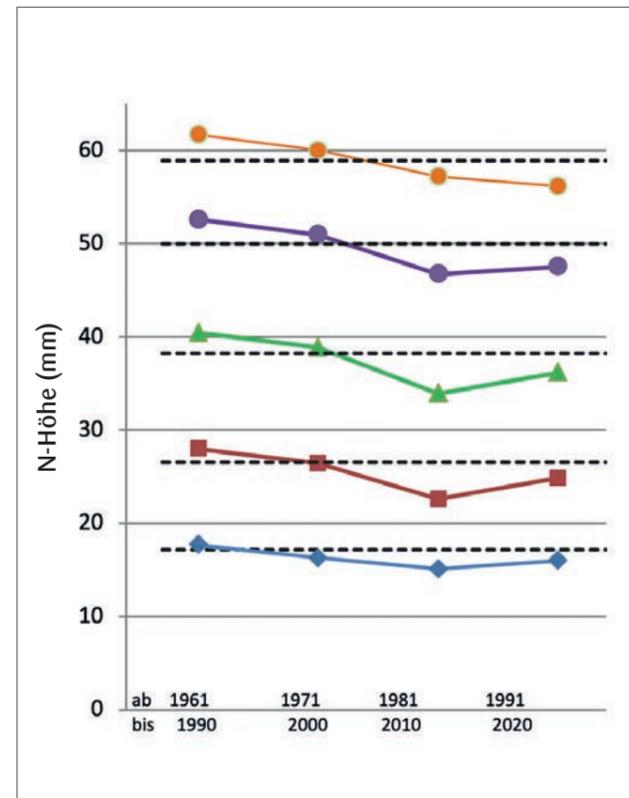
Es ist auffällig, dass die größten statistischen Werte in den ersten 30 Jahren von 1961 bis 1990 auftreten, während die niedrigsten im letzten Zeitraum bzw. in den letzten beiden Zeiträumen zu finden sind.

Dieses wird besonders deutlich, wenn der erste Zeitraum mit dem letzten, also ohne Überlappung, verglichen wird. Die Regenhöhenlinien über die Dauer unterscheiden sich mit zunehmender Wiederkehrzeit deutlich (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3).

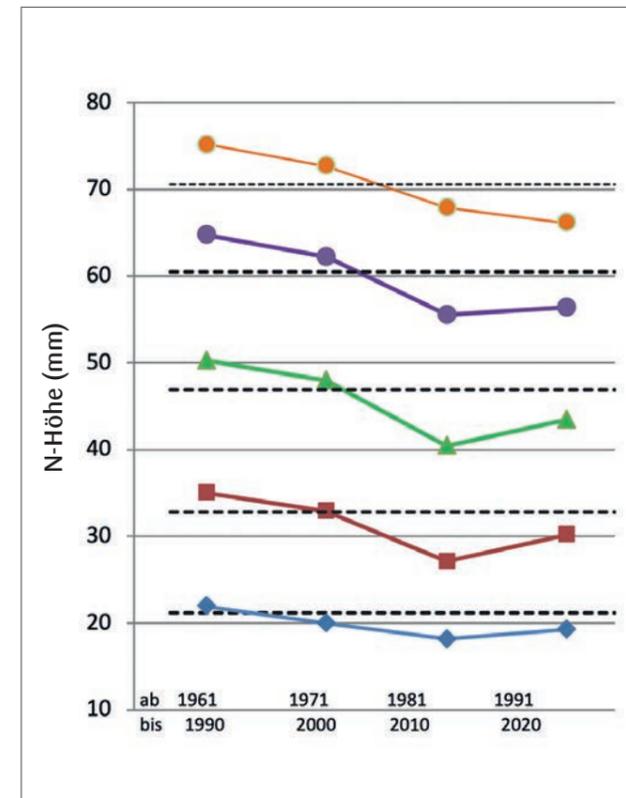
30-jährige Zeitreihen $T = 1a$



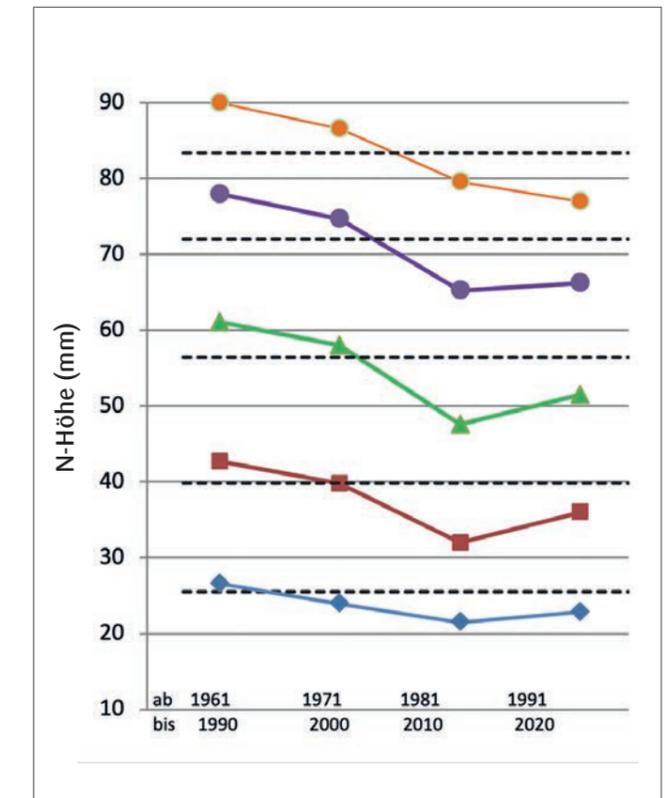
30-jährige Zeitreihen $T = 10a$



30-jährige Zeitreihen $T = 30a$



30-jährige Zeitreihen $T = 100a$



Abbildungen 5.1: Statistische N-Höhen von 4 überlappenden 30-jährigen Zeitreihen im Vergleich zu denen der Zeitreihe 1981-2010

--- Statistik 2020 ● D = 24h ● D = 12h
 ▲ D = 4h ■ D = 60min ◆ D = 15min

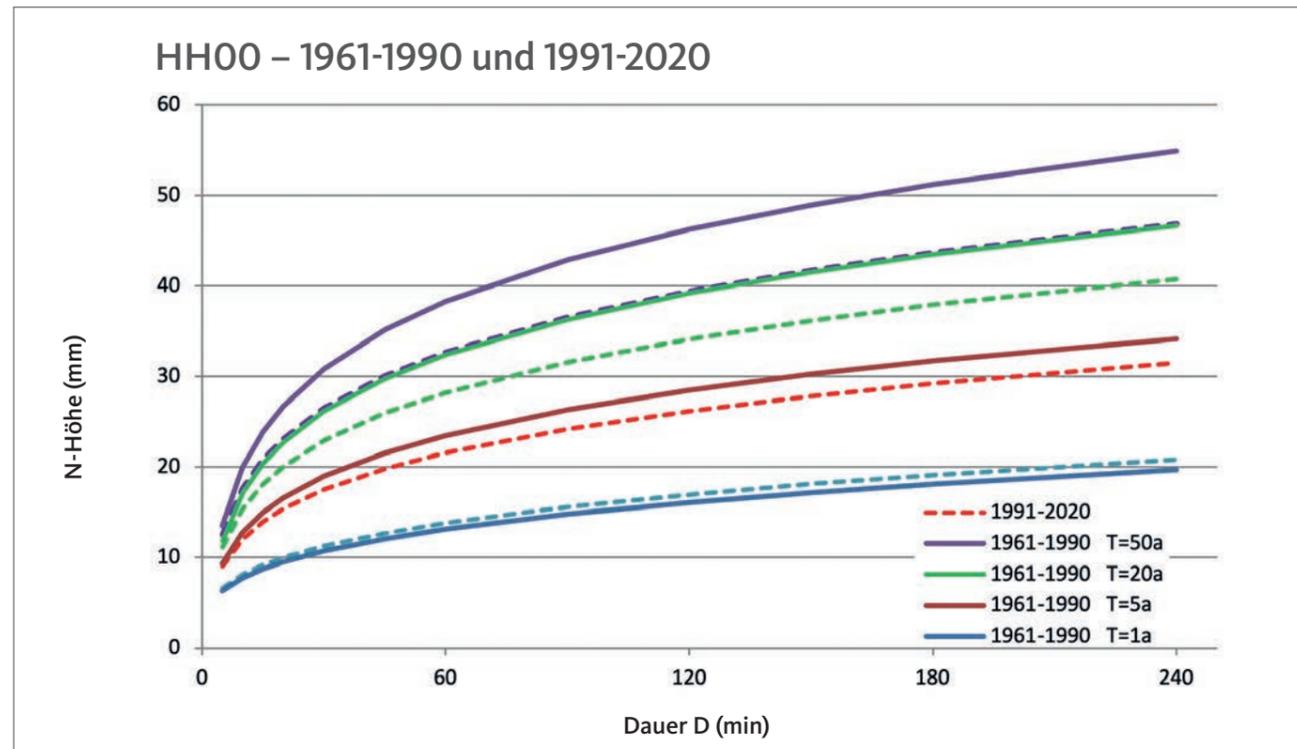


Abbildung 5.2: Regenhöhenlinien der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 (D bis 4h)

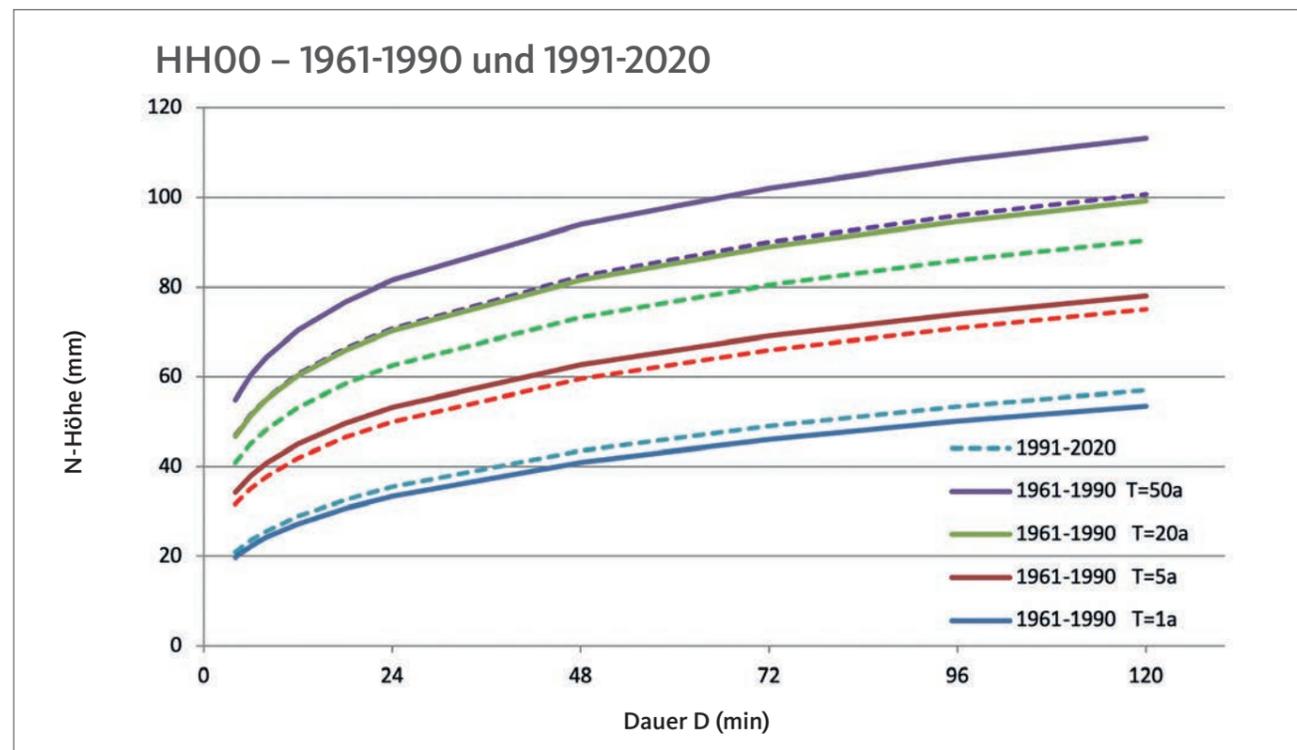


Abbildung 5.3: Regenhöhenlinien der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 (D bis 5d)

Besonders auffällig sind die Unterschiede für die Wiederkehrzeiten von $T=20a$ und $T=50a$. Der Verlauf der Regenhöhenlinie für $T=50a$ aus der Zeitreihe 1991-2020 ist fast identisch mit demjenigen für $T=20a$ aus dem Zeitraum 1961-1990.

Im Vergleich der beiden Zeiträume zum Gesamtzeitraum sind die prozentualen Abweichungen der statistischen Werte zu den Werten der Statistik 2020 in Abschnitt fünf in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 dargestellt. Abweichungen von 5% bis 10%

sind hellgrün (positiv) oder hellrot (negativ) unterlegt, Abweichungen größer als 10% in den gleichen dunkleren Farben.

Für die Wiederkehrzeit $T \geq 10a$ liegen die meisten Werte aus den ersten 30 Jahren mehr als 5% über denen der langjährigen Zeitreihe, während sich für die letzten 30 Jahre das entgegengesetzte Bild ergibt mit negativen Abweichungen, die auch noch höher liegen als die positiven Abweichungen in Tabelle 5.1.

Wiederkehrzeit T =	1	2	5	10	20	30	50	100
Dauer D								
5 min	0,9	-0,5	-1,7	-2,3	-2,8	-3,0	-3,3	-3,6
10 min	0,4	0,9	1,4	1,6	1,8	1,9	1,9	2,0
15 min	0,1	1,4	2,5	3,0	3,4	3,6	3,8	4,0
20 min	-0,1	1,6	3,0	3,7	4,2	4,5	4,7	5,0
30 min	-0,4	1,8	3,6	4,5	5,1	5,4	5,8	6,1
45 min	-0,7	1,9	4,0	5,0	5,8	6,1	6,5	6,9
60 min	-0,9	1,9	4,2	5,3	6,1	6,5	6,9	7,4
90 min	-1,2	1,9	4,3	5,5	6,4	6,9	7,3	7,8
120 min	-1,4	1,8	4,4	5,6	6,6	7,0	7,5	8,1
150 min	-1,6	1,7	4,4	5,7	6,7	7,1	7,6	8,2
3 h	-1,7	1,6	4,3	5,7	6,7	7,2	7,7	8,3
4 h	-1,9	1,5	4,2	5,7	6,7	7,2	7,7	8,4
6 h	-2,2	1,2	4,1	5,5	6,6	7,2	7,7	8,4
8 h	-2,4	1,0	3,9	5,4	6,6	7,1	7,7	8,4
12 h	-2,7	0,7	3,7	5,2	6,4	6,9	7,6	8,3
18 h	-3,0	0,4	3,3	4,9	6,1	6,7	7,4	8,1
24 h	-3,2	0,1	3,1	4,7	5,9	6,5	7,2	8,0
2 d	-3,7	-0,5	2,4	4,1	5,3	6,0	6,7	7,5
3 d	-4,0	-0,9	2,0	3,6	4,9	5,6	6,3	7,1
4 d	-4,2	-1,2	1,7	3,3	4,6	5,3	6,0	6,9
5 d	-4,3	-1,4	1,4	3,1	4,4	5,0	5,8	6,6

Tabelle 5.1: Prozentuale Abweichungen der Regenhöhen für 1961-1990 gegenüber denen für 1961-2020

Wiederkehrzeit T =	1	2	5	10	20	30	50	100
Dauer D								
5 min	5,4	0,3	-4,2	-6,6	-8,5	-9,4	-10,4	-11,6
10 min	5,1	-0,2	-4,5	-6,7	-8,3	-9,1	-9,9	-10,9
15 min	4,9	-0,4	-4,5	-6,6	-8,2	-8,9	-9,7	-10,5
20 min	4,7	-0,5	-4,5	-6,5	-8,0	-8,7	-9,5	-10,3
30 min	4,6	-0,5	-4,5	-6,4	-7,9	-8,5	-9,3	-10,1
45 min	4,4	-0,6	-4,4	-6,3	-7,7	-8,3	-9,0	-9,8
60 min	4,2	-0,6	-4,3	-6,2	-7,5	-8,2	-8,8	-9,6
90 min	4,0	-0,6	-4,2	-6,0	-7,3	-7,9	-8,6	-9,4
120 min	3,9	-0,6	-4,1	-5,9	-7,2	-7,8	-8,4	-9,2
150 min	3,8	-0,6	-4,0	-5,8	-7,0	-7,7	-8,3	-9,1
3 h	3,7	-0,5	-4,0	-5,7	-6,9	-7,5	-8,2	-8,9
4 h	3,6	-0,5	-3,8	-5,5	-6,8	-7,4	-8,0	-8,8
6 h	3,4	-0,5	-3,7	-5,3	-6,5	-7,1	-7,8	-8,5
8 h	3,2	-0,5	-3,6	-5,2	-6,4	-7,0	-7,6	-8,3
12 h	3,1	-0,4	-3,4	-5,0	-6,1	-6,7	-7,4	-8,1
18 h	2,9	-0,4	-3,2	-4,7	-5,9	-6,5	-7,1	-7,8
24 h	2,7	-0,4	-3,1	-4,6	-5,7	-6,3	-6,9	-7,6
2 d	2,4	-0,3	-2,9	-4,2	-5,3	-5,9	-6,5	-7,2
3 d	2,2	-0,3	-2,7	-4,1	-5,1	-5,6	-6,2	-6,9
4 d	2,1	-0,3	-2,6	-3,9	-5,0	-5,5	-6,1	-6,7
5 d	2,0	-0,3	-2,5	-3,8	-4,8	-5,4	-5,9	-6,6

Tabelle 5.2: Prozentuale Abweichungen der Regenhöhen für 1991-2020 gegenüber denen für 1961-2020

Aus dieser Gegenüberstellung wird deutlich, dass selbst statistische Werte aus 30-jährigen Zeitreihen keine zuverlässigen Rückschlüsse auf die langjährigen Werte zulassen und aus Unterschieden keineswegs verlässlich auf Trends geschlossen werden kann.

Eine Begründung für diese Unterschiede findet man, wenn man die Maximalwerte der Dauerstufen aus den partiellen Serien des Gesamtzeitraums 1961-2020 und den beiden 30-jährigen Zeitreihen 1961-1990 und 1991-2020 vergleicht (Abbildung 5.4).

Die Maximalwerte des ersten Zeitraums sind bis auf die Dauerstufe 60min mit denen der Gesamtzeitreihe identisch, während die des zweiten Zeitraums ab 4h deutlich darunter liegen. Dieses Fehlen der größeren Werte wirkt sich dann entsprechend auf die Größe der w-Werte aus, die die Zunahme der Regenhöhe mit der Wiederkehrzeit bestimmen.

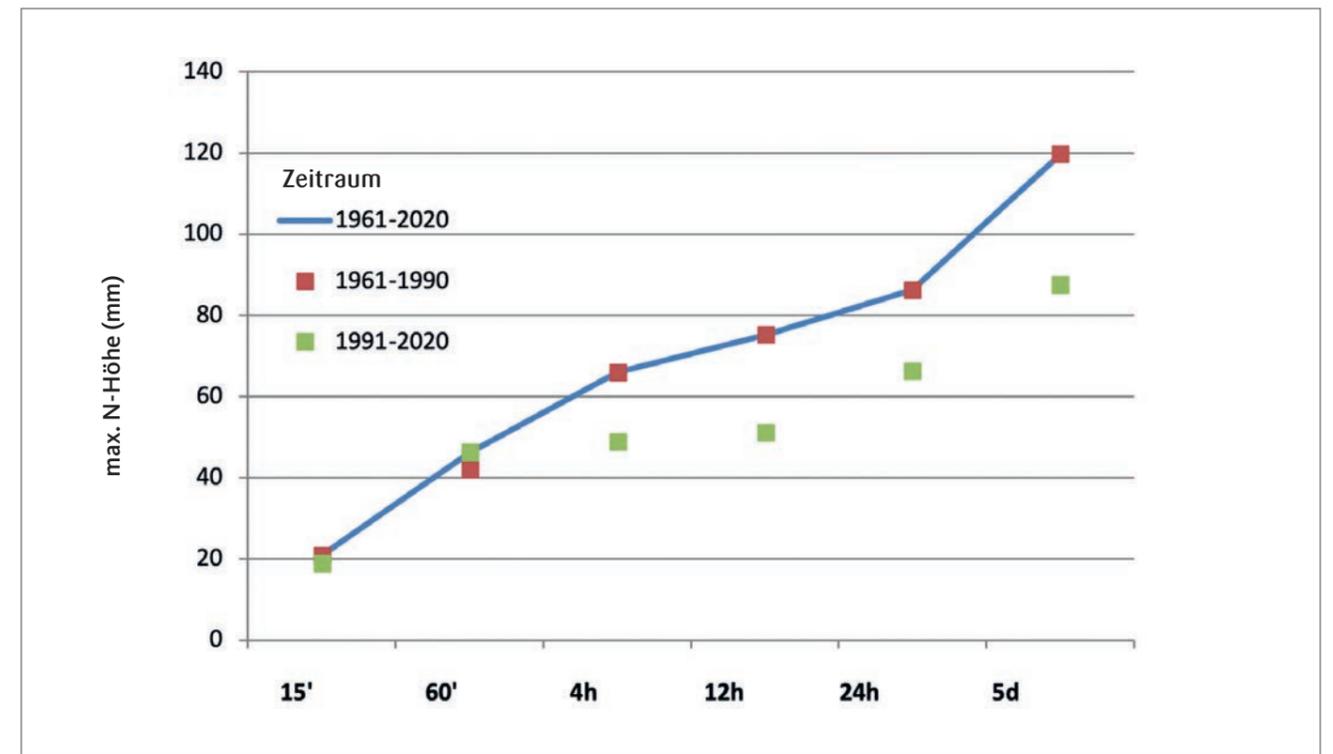


Abbildung 5.4: Maximalwerte der partiellen Serien zweier nicht überlappender 30-jähriger Zeitreihen im Vergleich zur Gesamtzeitreihe von 60 Jahren

6. Vergleich der Bemessungswerte von 1948 bis 2020

Die ersten statistischen Regenspenden und Regenhöhen für Hamburg wurden bereits 1948 festgelegt, allerdings nur für die Häufigkeit $n=1$ (Wiederkehrzeit $T=1a$). Weitere Untersuchungen und Festlegungen erfolgten 1973 und 1985, allerdings nur bis zu einer Häufigkeit von $n=0,1$ ($T=10a$). Der Auswertung für 1973 lagen fünf Stationen, für 1985 insgesamt zwölf Stationen im Hamburger Stadtgebiet zu Grunde.

Weitere Auswertungen bezogen sich auf die Jahre 2000 und 2010. Sämtliche Daten für die Statistiken wurden von HAMBURG WASSER zur Verfügung gestellt.

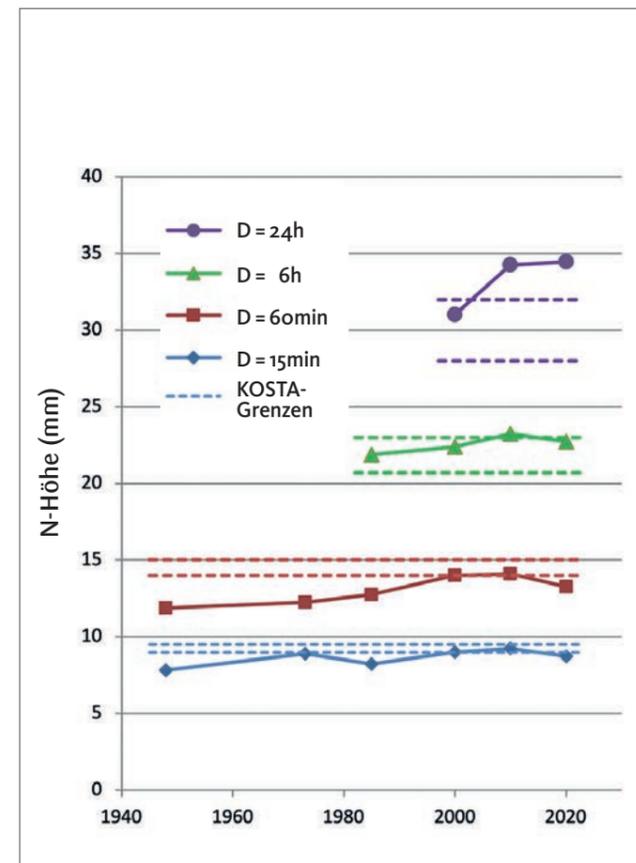
Die Werte für das Jahr 2000 sind mit denen des Bemessungsregens 2003 identisch, diese Werte werden nachfolgend für das Jahr 2000 dargestellt.

Für eine Auswahl an Dauerstufen und Wiederkehrzeiten wurden die statistischen Regenwerte von 1948 bis 2020 miteinander verglichen, dazu wurden auch die Werte für Hamburg aus KOSTRA-DWD 2010R mit oberer und unterer Grenze berücksichtigt. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Verläufe der statistischen Werte über die Jahre dargestellt.

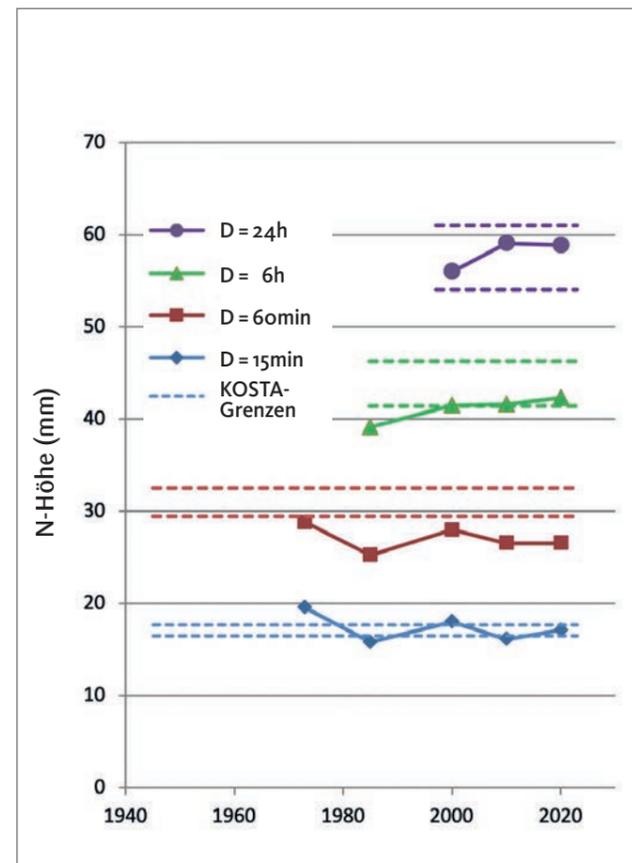
Während die ältesten statistischen Werte nur als Zahlenwerte für Dauerstufe $< 6h$ und Wiederkehrzeiten bis $T=10a$ (außer 1948) vorlagen, wurden die vorhandenen funktionalen Zusammenhänge für die Wiederkehrzeiten $T=30a$ und $50a$ und für die Dauer von $D=6h$ extrapoliert, auch wenn Daten für diese Dauerstufe wahrscheinlich nicht in die Auswertungen einbezogen wurden und die Gültigkeit der Funktionen deshalb fraglich ist. Dieses zeigen auch die Darstellungen in Abbildung 6.1 (für $T=30$ und $T=50$), in denen die Werte viel niedriger sind als bei den anderen Auswertungen.

Abgesehen von diesen fraglichen Werten ist kein Trend zu erkennen, vielmehr ist fast überall ein leichter Zickzack-Verlauf zu sehen. Die Unterschiede der statistischen Ergebnisse für die einzelnen Auswertungen können auch in den unterschiedlichen Verfahren zur statistischen Auswertung begründet sein.

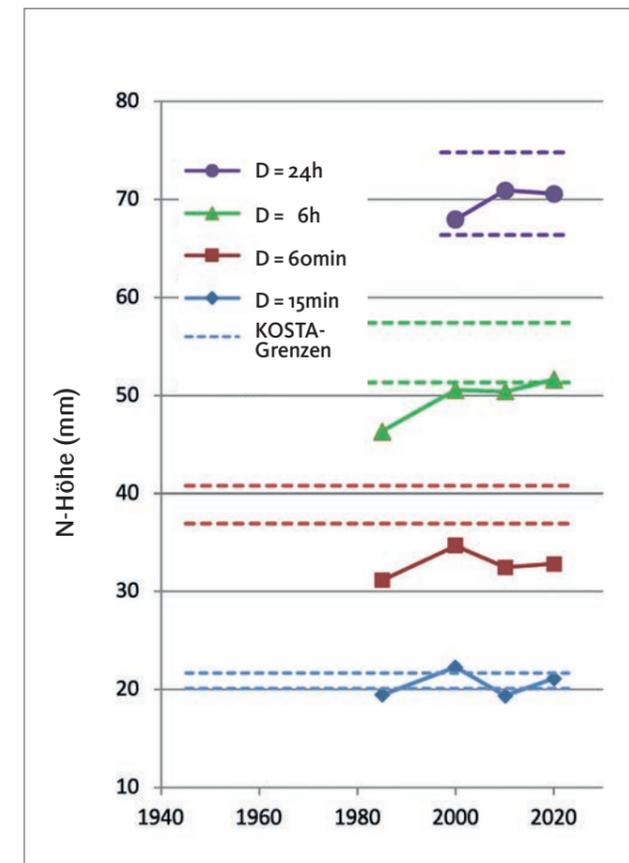
T = 1a



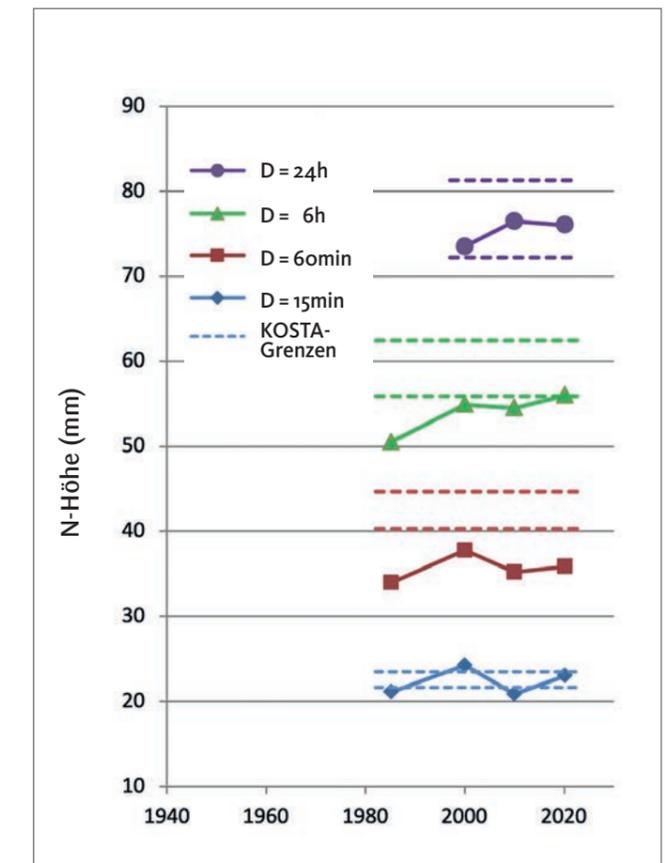
T = 10a



T = 30a



T = 50a



Abbildungen 6.1: Statistische N-Höhen der Bemessungswerte seit 1948 und die Bereiche von KOSTRA-DWD 2010R im Vergleich für 4 Wiederkehrzeiten

7. Statistische Werte verschiedener Stationen in Hamburg im Vergleich

Für Aussagen über eine evtl. vorhandene Variation der statistischen Regenwerte über dem Stadtgebiet von Hamburg wurden die Zeitreihen von 1971 bis 2020 für fünf Stationen ausgewertet. Die Ergebnisse für die Stationen wurden mit dem neuen Bemessungsregen für HH00 verglichen (Zeitreihe 1961 bis 2020). Bei den Vergleichen ist zu berücksichtigen, dass die Länge der Zeitreihen unterschiedlich sind (50 Jahre bei den fünf Stationen, 60 Jahre bei HH00) und dass die Zeitreihen der fünf Stationen z.T. eine größere Anzahl von Ausfalltagen aufweisen. Während bei R011 und R013 die Ausfalltage mit 16 bzw. 2 Tagen gering sind, sind es bei R005 und R029 etwas

mehr als 800 und bei R016 über 2000 Tage. Bei den statistischen Auswertungen wurde der Wert für die Länge der Zeitreihe (50 Jahre) um die Ausfalltage gekürzt. Dennoch verbleibt die Unsicherheit, ob das nicht erfasste Regengeschehen die Auswertungen wesentlich verändert hätte.

Während für die Wiederkehrzeit $T=1a$ die statistischen Regenhöhen für alle Dauerstufen unter denen von HH00 liegen, zeigen sich für die anderen Wiederkehrzeiten qualitativ etwa die gleichen Unterschiede. Die Werte für R029 sind ab $D=60\text{min}$ gleich oder etwas höher als die von HH00. Nur etwas unter

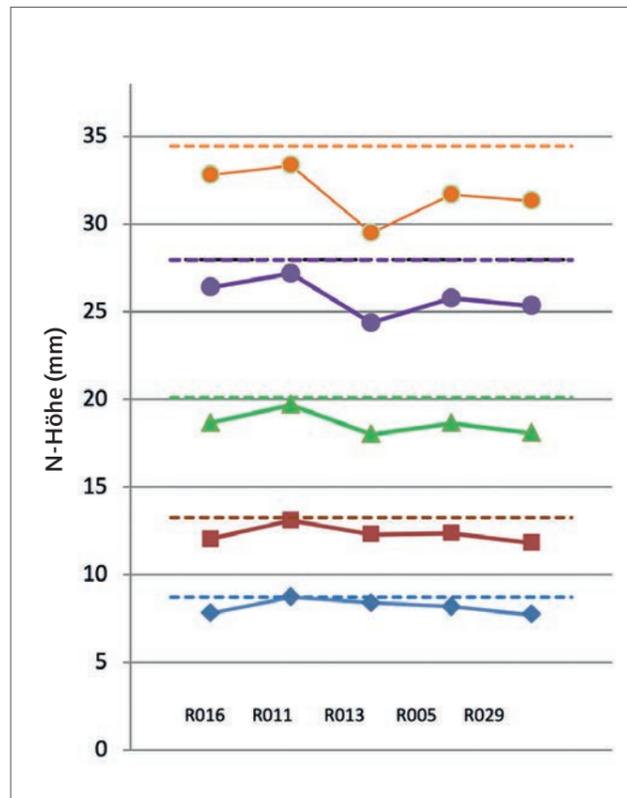
HH00 liegen die Ergebnisse für R016, während die Werte der beiden anderen Stationen deutlich unter denen von HH00 liegen.

Betrachtet man die Lage der Stationen, so sind die Werte im Südosten (R005 und R013) stets niedriger als für HH00, während die statistischen Regenhöhen am Elbufer in Blankenese höher sind als für HH00.

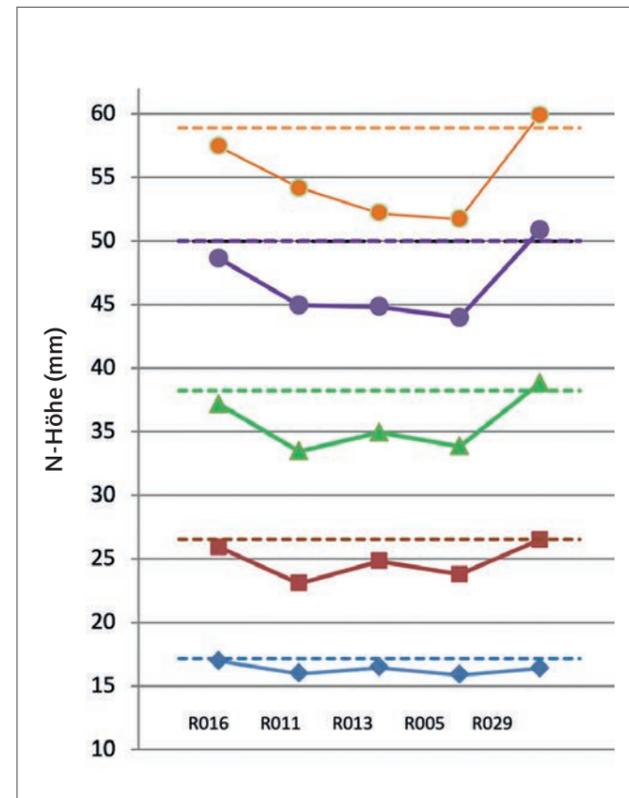
Erstaunlich ist, dass die Werte für R016 und R011, die nahe beieinander im Norden liegen, sich stark unterscheiden. Die Werte

für R011 sind wesentlich geringer als die für R016. Es ist möglich, dass dieses auf die vielleicht unterschiedliche Anzahl und Größe der Extremereignisse und die unterschiedliche Zahl der Ausfalltage zurückzuführen ist.

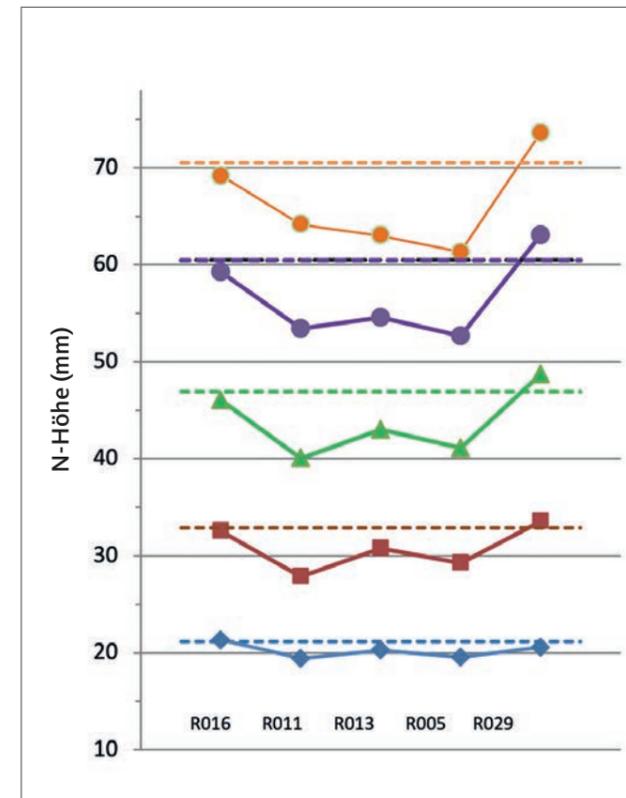
5 Stationen und HH00 T = 1a



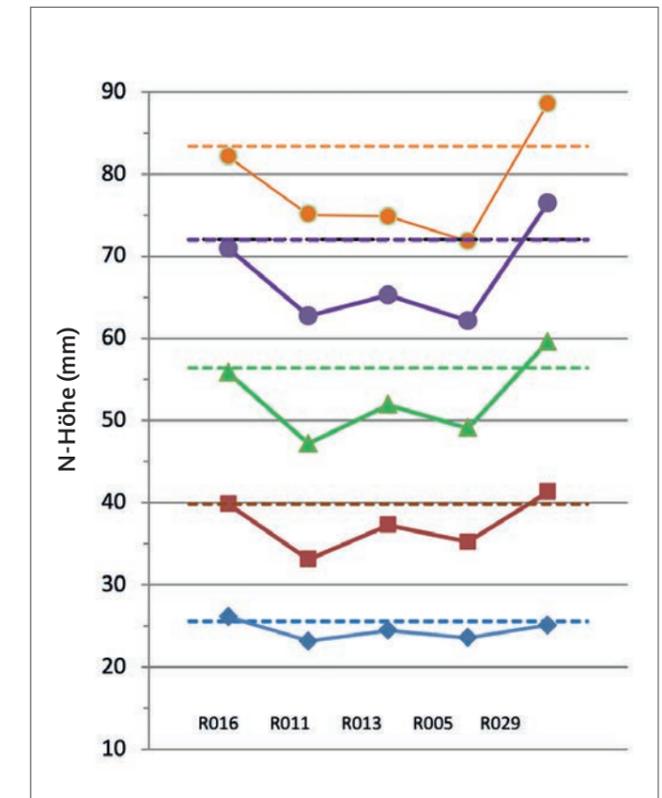
5 Stationen und HH00 T = 10a



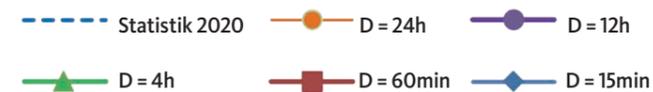
5 Stationen und HH00 T = 30a



5 Stationen und HH00 T = 100a



Abbildungen 7.1: Statistische Regenhöhen für HH00 und 5 Stationen im Stadtgebiet



8. Zusammenfassung und Bewertung

Der hier neu erstellte Bemessungsregen basiert auf der statistischen Auswertung der 60-jährigen lückenlosen Zeitreihe von 1961 bis 2020 für die fiktive Station HH00, die etwa in der Mitte des Stadtgebiets von Hamburg liegt.

Zu dem Bemessungsregen von 2003, der auf der Zeitreihe von 1968 bis 1997 basiert, ergeben sich Unterschiede (vgl. Abschnitt 4). Trotz unterschiedlicher Längen der Zeitreihen und anderen Auswertemethoden sind die Differenzen für alle Dauerstufen und Wiederkehrzeiten gering und innerhalb des Unsicherheitsbereichs der Auswertungen.

Wegen des gleichmäßigeren Verlaufs, der verbesserten Auswertemethodik und der wesentlich größeren Datenbasis (60 Jahre gegenüber 30 Jahren) wird empfohlen, für zukünftige Bemessungen die Werte für 2020 zu verwenden. Für vorhandene Berechnungen, die auf dem Bemessungsregen 2003 beruhen, ist aber eine Neuberechnung wegen der nicht signifikanten Unterschiede nicht erforderlich.

Ein Trend zu höheren statistischen Niederschlägen ist beim Vergleich der vier 30-jährigen Zeitreihen von 1961 bis 2020 bislang lediglich für geringe Wiederkehrzeiten zu erkennen. Dies deckt sich mit Ergebnissen der Trendanalyse von 2012 (vgl. Abschnitt 9).

Der Vergleich der statistischen Werte für fünf Auswertungen ab 1948 (vgl. Abschnitt 6) zeigt Unterschiede bis zur Auswertung 2003. Ein bis dahin zu vermutender Trend setzt sich ab diesem Zeitpunkt aber nicht fort. Die Unterschiede von 1948 bis 2003 sind in den Auswerteverfahren begründet. Daten sind deshalb auch nicht für alle Dauerstufen und Wiederkehrzeiten vorhanden. Im Vergleich zu den Werten von KOSTRA-DWD 2010R fällt auf, dass die statistischen Werte aller Auswertungen für $D=60\text{min}$ unterhalb des KOSTRA-Bereichs liegen. Für $D=6\text{h}$ liegen die Werte ab $T=10\text{a}$ unter oder an der unteren Bereichsgrenze, während für $D=24\text{h}$ alle Werte ab $T=10\text{a}$ im KOSTRA-Bereich liegen. Dagegen sind hier Werte für $T=1\text{a}$ und die letzten beiden Auswertungen deutlich größer als bei KOSTRA.

Der Vergleich der statistischen Werte verschiedener Stationen im Hamburger Stadtgebiet (vgl. Abschnitt 7) zeigt, dass die statistischen Werte von HH00 im gesamten Stadtgebiet von Hamburg angewandt werden können, ohne das Regengeschehen zu unterschätzen. Lediglich für die Station Blankensee (R029) liegen die statistischen Werte für Wiederkehrzeiten ab $T=30$ und Dauerstufen ab $D=4\text{h}$ bis zu 6% höher als die Werte von HH00. In dem Gebiet kann ggf. ein entsprechender Zuschlag zu den Bemessungswerten von HH00 sinnvoll sein.

Ergänzend wird auf das laufende Forschungsprojekt MUNSTAR verwiesen (vgl. Abschnitt 9). Der Deutsche Wetterdienst plant, im Anschluss auf Basis der aus MUNSTAR gewonnenen Ergebnisse, den neuen KOSTRA-DWD 2020 erstellen. Eine Veröffentlichung ist für 2023 geplant. Ein Vorabvergleich prototypischer Starkniederschlagshöhen aus MUNSTAR mit denen der Regenreihen für Hamburg 2020 zeigte geringe Unterschiede innerhalb statistischer Unsicherheitsbereiche für alle Dauerstufen und Wiederkehrzeiten. Im Bereich der kürzeren Dauerstufen waren die Werte beider Auswertungen praktisch identisch. Es wird daher empfohlen, für zukünftige Bemessungen die Regenreihen für Hamburg 2020 zu verwenden, insbesondere wegen der höheren statistischen Werte für kurze Dauerstufen gegenüber früheren Auswertungen.

9. Literatur

DWA (2017): Arbeitsblatt DWA-A 531
– Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer – September 2012; Stand: korrigierte Fassung Mai 2017.
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef

Haberlandt, U. (2012):
Analyse von Trend und Änderungssignalen für Kurzzeitniederschläge in Hamburg. Untersuchung im Auftrag von HAMBURG WASSER

ITWH/DWD (2017):
KOSTRA-DWD 2010R – Software. ITWH Hannover

Haberlandt, U. (2022):
Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland (MUNSTAR),
Leibniz Universität Hannover (LUH), Deutscher Wetterdienst (DWD), Büro für Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG)

10. Anhang

10.1 Statistische Regenhöhen 2020

Bemessungs - Niederschlagshöhen (mm)
in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer

Dauerstufe	Wiederkehrzeit in a							
	1	2	5	10	20	30	50	100
5 min	6,3	7,6	9,5	10,8	12,2	13,0	14,0	15,4
6 min	6,6	8,2	10,3	11,8	13,4	14,3	15,5	17,0
7 min	6,9	8,7	11,0	12,7	14,4	15,4	16,7	18,4
8 min	7,2	9,1	11,6	13,4	15,3	16,4	17,8	19,6
9 min	7,5	9,5	12,1	14,1	16,1	17,3	18,7	20,7
10 min	7,7	9,8	12,6	14,7	16,8	18,1	19,6	21,7
11 min	8,0	10,2	13,1	15,3	17,5	18,8	20,4	22,6
12 min	8,2	10,5	13,5	15,8	18,1	19,4	21,1	23,4
13 min	8,4	10,7	13,9	16,3	18,7	20,0	21,8	24,2
14 min	8,6	11,0	14,3	16,7	19,2	20,6	22,4	24,9
15 min	8,7	11,3	14,6	17,1	19,7	21,2	23,0	25,6
16 min	8,9	11,5	14,9	17,5	20,1	21,7	23,6	26,2
17 min	9,1	11,7	15,3	17,9	20,6	22,1	24,1	26,8
18 min	9,2	11,9	15,6	18,3	21,0	22,6	24,6	27,3
19 min	9,4	12,2	15,8	18,6	21,4	23,0	25,1	27,9
20 min	9,5	12,4	16,1	18,9	21,8	23,4	25,5	28,4
21 min	9,7	12,6	16,4	19,3	22,1	23,8	26,0	28,8
22 min	9,8	12,7	16,6	19,6	22,5	24,2	26,4	29,3
23 min	9,9	12,9	16,9	19,8	22,8	24,6	26,8	29,8
24 min	10,1	13,1	17,1	20,1	23,1	24,9	27,2	30,2
25 min	10,2	13,3	17,3	20,4	23,5	25,3	27,5	30,6
26 min	10,3	13,4	17,5	20,6	23,8	25,6	27,9	31,0
27 min	10,4	13,6	17,7	20,9	24,1	25,9	28,2	31,4
28 min	10,5	13,7	17,9	21,1	24,3	26,2	28,6	31,7
29 min	10,6	13,9	18,1	21,4	24,6	26,5	28,9	32,1
30 min	10,8	14,0	18,3	21,6	24,9	26,8	29,2	32,4

Bemessungs - Niederschlagshöhen (mm)
in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer

Dauerstufe	Wiederkehrzeit in a							
	1	2	5	10	20	30	50	100
30 min	10,8	14,0	18,3	21,6	24,9	26,8	29,2	32,4
35 min	11,3	14,7	19,2	22,7	26,1	28,1	30,6	34,0
40 min	11,7	15,3	20,0	23,6	27,2	29,2	31,9	35,4
45 min	12,2	15,8	20,7	24,4	28,1	30,3	33,0	36,7
50 min	12,5	16,3	21,4	25,2	29,0	31,2	34,0	37,8
55 min	12,9	16,8	22,0	25,9	29,8	32,1	35,0	38,9
60 min	13,2	17,2	22,5	26,5	30,5	32,9	35,8	39,8
70 min	13,9	18,0	23,5	27,7	31,9	34,3	37,4	41,5
80 min	14,4	18,7	24,4	28,7	33,0	35,6	38,7	43,0
90 min	15,0	19,4	25,2	29,7	34,1	36,7	40,0	44,4
120 min	16,3	21,1	27,3	32,0	36,8	39,5	43,0	47,8
150 min	17,5	22,4	29,0	34,0	38,9	41,8	45,5	50,5
3 h	18,4	23,6	30,4	35,6	40,7	43,8	47,6	52,7
4 h	20,1	25,6	32,8	38,3	43,7	46,9	50,9	56,4
6 h	22,7	28,6	36,4	42,3	48,2	51,6	56,0	61,9
8 h	24,8	31,0	39,1	45,3	51,5	55,2	59,7	65,9
12 h	28,0	34,6	43,4	50,0	56,6	60,5	65,4	72,0
18 h	31,6	38,7	48,0	55,0	62,1	66,2	71,4	78,5
24 h	34,5	41,8	51,5	58,9	66,3	70,6	76,0	83,3
2 d	42,4	50,5	61,2	69,3	77,4	82,1	88,1	96,2
3 d	47,9	56,5	67,7	76,2	84,8	89,7	96,0	104,5
4 d	52,3	61,1	72,8	81,6	90,4	95,6	102,1	110,9
5 d	55,9	65,0	76,9	86,0	95,1	100,4	107,0	116,1

10. Anhang

10.2 Statistische Regenspenden 2020

Bemessungs - Regenspenden [l/(s*ha)]
in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer

Dauerstufe	Wiederkehrzeit in a							
	1	2	5	10	20	30	50	100
5 min	209,2	254,9	315,2	360,9	406,6	433,3	467,0	512,6
6 min	184,2	227,6	285,0	328,4	371,8	397,2	429,2	472,6
7 min	165,3	206,4	260,8	301,8	342,9	367,0	397,3	438,4
8 min	150,6	189,5	240,9	279,8	318,7	341,5	370,1	409,0
9 min	138,7	175,6	224,3	261,2	298,1	319,7	346,9	383,7
10 min	128,8	163,9	210,2	245,3	280,3	300,8	326,7	361,7
11 min	120,5	153,9	198,1	231,5	264,9	284,4	309,0	342,4
12 min	113,4	145,3	187,5	219,3	251,2	269,9	293,4	325,3
13 min	107,2	137,8	178,1	208,6	239,1	257,0	279,5	310,0
14 min	101,8	131,1	169,8	199,1	228,3	245,5	267,0	296,3
15 min	97,0	125,2	162,3	190,5	218,6	235,1	255,8	283,9
16 min	92,7	119,8	155,6	182,7	209,8	225,7	245,6	272,7
17 min	88,9	115,0	149,5	175,7	201,8	217,1	236,3	262,4
18 min	85,4	110,6	144,0	169,2	194,5	209,2	227,8	253,0
19 min	82,2	106,6	138,9	163,3	187,7	202,0	220,0	244,4
20 min	79,3	103,0	134,2	157,9	181,5	195,3	212,7	236,4
21 min	76,7	99,6	129,9	152,8	175,7	189,1	206,0	229,0
22 min	74,2	96,5	125,9	148,1	170,4	183,4	199,8	222,1
23 min	72,0	93,6	122,2	143,8	165,4	178,1	194,0	215,6
24 min	69,8	90,9	118,7	139,7	160,8	173,1	188,6	209,6
25 min	67,9	88,4	115,4	135,9	156,4	168,4	183,5	204,0
26 min	66,0	86,0	112,4	132,3	152,3	164,0	178,7	198,7
27 min	64,3	83,8	109,5	129,0	148,5	159,8	174,2	193,7
28 min	62,7	81,7	106,8	125,8	144,8	155,9	169,9	188,9
29 min	61,2	79,7	104,3	122,8	141,4	152,3	165,9	184,5
30 min	59,8	77,9	101,9	120,0	138,2	148,8	162,1	180,3

Bemessungs - Regenspenden [l/(s*ha)]
in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer

Dauerstufe	Wiederkehrzeit in a							
	1	2	5	10	20	30	50	100
30 min	59,8	77,9	101,9	120,0	138,2	148,8	162,1	180,3
35 min	53,7	70,0	91,6	107,9	124,2	133,7	145,8	162,1
40 min	48,9	63,7	83,4	98,3	113,1	121,8	132,8	147,7
45 min	45,0	58,7	76,8	90,4	104,1	112,1	122,2	135,9
50 min	41,8	54,5	71,3	83,9	96,6	104,0	113,4	126,1
55 min	39,1	50,9	66,6	78,4	90,3	97,2	105,9	117,7
60 min	36,8	47,9	62,6	73,7	84,8	91,3	99,5	110,6
70 min	33,0	42,9	56,0	66,0	75,9	81,7	89,0	98,9
80 min	30,1	39,1	50,9	59,9	68,8	74,1	80,7	89,6
90 min	27,7	35,9	46,8	54,9	63,1	67,9	74,0	82,2
120 min	22,7	29,2	37,9	44,5	51,1	54,9	59,7	66,3
150 min	19,4	24,9	32,2	37,7	43,2	46,5	50,5	56,1
3 h	17,1	21,8	28,2	32,9	37,7	40,5	44,0	48,8
4 h	14,0	17,8	22,8	26,6	30,4	32,6	35,4	39,2
6 h	10,5	13,2	16,8	19,6	22,3	23,9	25,9	28,6
8 h	8,6	10,7	13,6	15,7	17,9	19,2	20,7	22,9
12 h	6,5	8,0	10,0	11,6	13,1	14,0	15,1	16,7
18 h	4,9	6,0	7,4	8,5	9,6	10,2	11,0	12,1
24 h	4,0	4,8	6,0	6,8	7,7	8,2	8,8	9,6
2 d	2,46	2,92	3,54	4,01	4,48	4,75	5,10	5,57
3 d	1,85	2,18	2,61	2,94	3,27	3,46	3,70	4,03
4 d	1,51	1,77	2,11	2,36	2,62	2,77	2,95	3,21
5 d	1,29	1,50	1,78	1,99	2,20	2,32	2,48	2,69

