



Amt für Umwelt
Kanton Solothurn

Regendatenauswertung *Aktualisierung 2021*

Technischer Bericht

Objekt Nr. 1422.13
Winterthur, 03. November 2021

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: Regendatenauswertung
Teilprojekt: Aktualisierung 2021
Erstelldatum: 02. November 2021
Letzte Änderung: 03. November 2021
Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch
Martin Rüdisüli (v2016)
Koref. Markus Gresch (v2016)
Philipp Beutler (v2021)
Koref. Rahel Buss (v2021)

Datei:

Q:\Projekte\1000\1400\1422\1422.13 - Regendaten\290 Berichte (490)\211 103-1422.13_Regendaten_SO_v2021.docx



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Ziele	3
2.1	Projekt 2015/2016	3
2.2	Projekt 2021: Aktualisierung der Daten und Analysen	3
3	Grundlagen	3
4	Vorgehen	4
5	Verwendete Regendaten	5
6	Auswertungsroutine	8
6.1	Grundlage der Analyse	8
6.2	R-Skripte	8
6.3	Exportierte Regenserien und Regenkatalog	9
6.4	Graphische Ausgaben	12
7	Vergleich der Extremwertstatistiken	12
8	Ausblick zukünftige VSA Empfehlung «Hydraulische Beurteilung von Entwässerungssystemen»	13
9	Anhang	14

1 Einleitung

Im Kanton Solothurn gibt es mehrere Messstationen, die seit Jahren hochaufgelöste Regendaten aufzeichnen. In der Vergangenheit standen diese lokalen Regendaten der Siedlungsentwässerung nicht in geeigneter Form zur Verfügung. Stattdessen wurden Daten der SMA MeteoSchweiz oder Niederschläge basierend auf den Auswertungen von Hörler und Rhein (1962) verwendet. Diese „importierten“ Regendaten waren jedoch nur bedingt repräsentativ für die lokalen Gegebenheiten im Kanton Solothurn und genügen deshalb den Ansprüchen einer modernen Siedlungsentwässerung nicht mehr (Maurer et al., 2012). Aus diesem Grund sollen in Zukunft die vorhandenen, lokalen Regendaten in der Siedlungsentwässerung des Kantons Solothurn verwendet werden.

Eine erste Analyse der Regendaten der Solothurner Messstationen fand im Jahr 2015 statt. Neben einem kurzen Bericht wurden die Analyseergebnisse sowie Regenserien zur Anwendung in verschiedenen Simulationsprogrammen bereitgestellt (z. B. REBEKA, SWMM). Alle Daten sind seit 2016 auf der Webseite der Abteilung Wasser des Amts für Umwelt Kanton Solothurn zugänglich¹.

2 Ziele

2.1 Projekt 2015/2016

Im ersten Projekt wurde eine Routine zur Auswertung von Regendaten aus dem Kanton Solothurn erstellt. Sie basiert auf einem R-Skript (Haas, 2013) und der Richtlinien für die Extremregenauswertung (DWA, 2012) sowie der Erstellung von Modellregenserien (DWA, 2006) erstellt. Die neue Routine soll eine grosse Funktionalität bezüglich des Einlesens von Regendaten (SMA MeteoSchweiz und Regendaten Solothurn) sowie dem Export von Modellregen für Anwendungen in gängigen Softwarepaketen (z.B. SWMM, MikeUrban, REBEKA, etc.) aufweisen.

2.2 Projekt 2021: Aktualisierung der Daten und Analysen

Der Wert von Regendaten nimmt mit der Länge des durchgehenden Messzeitraums zu. Das heisst zum Beispiel, dass die Unsicherheiten der Extremwertstatistiken geringer werden. Aus diesem Grund wurden nach fünf Jahren die Regendaten der Solothurner Messstationen aktualisiert und erneut analysiert. Gleichzeitig wurde die Analyse auf die aktuell im Kanton Solothurn vorhandenen Messstationen ausgeweitet. Zusätzlich wurde neben den generierten Modellregen auch ein Regendatenkatalog für jede Messstation zur Verfügung gestellt (inkl. Regenserie für modelltechnische Anwendungen).

3 Grundlagen

Für die Erarbeitung des Projekts standen die folgenden Grundlagen und Referenzen zur Verfügung:

- Fukutome, S., Schindler, A., Capobianco, A.: «MeteoSwiss extreme value analyses: User manual and documentation.» Technical Report MeteoSwiss No. 255, 3rd edition (2018).
- Rüdüsüli, M., Gresch, M. (2016). «Regendatenauswertung. Technischer Bericht», Amt für Umwelt Kanton Solothurn.
- Haas, A. (2013): „Entwicklung von Modellregenserien unter Einfluss des Klimawandels“, Bachelorarbeit am Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich.

¹ <https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/umweltdaten/wasser/hydrometrie/daten/>

- Maurer, M., Chawla, F., von Horn, J. und Staufer, P. (2012): „Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz“, Siedlungshydrologie, Schriftenreihe der Eawag, Nr. 21 (Dübendorf).
- DWA (2011): DWA-A 531 „Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer“. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA Regelwerk; korrigierte Fassung Mai 2017.
- DWA (2006). DWA-A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA Regelwerk.
- Rauch, W., Gujer, W. und Krebs, P. (2002). „Grundlagen der Siedlungsentwässerung“, Vorlesungsskript, ETH Zürich.
- Coles, S. (2001). „An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values“, Springer Serie in Statistics.
- Hörler, A. und Rhein, H. (1962): „Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz“. Schweizerische Zeitung für Hydrologie, 24: 291-352.

4 Vorgehen

Das Projekt wurde folgendermassen bearbeitet:

- Aktualisierung und Anpassung des bestehenden R-Skripts von Rüdüsli (2016) zum Einlesen von Regendaten aus dem Kanton Solothurn und von SMA MeteoSchweiz.
- Anpassung /Ergänzung des bestehenden R-Skripts von Rüdüsli (2016) zur Auswertung von Regendaten mittels der Extremwertstatistik gemäss DWA-A 531.
- Erstellung von Modellregen mit definierten Jährlichkeiten und Dauern (z. B. Chicago-Regen, Euler-Regen, historische Regen).
- Export der Modellregen als Inputfile für die Softwareprogramme SWMM (MikeUrban²) und REBEKA.
- Analyse der historischen Regenserien: Berücksichtigt / Identifiziert wurden für alle Regenstationen die drei stärksten Regenintensitäten für die Dauerstufen $D = \{5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120\}$ Min. Für die MeteoSchweiz Station Wynau wurden die fünf stärksten Regenintensitäten für die Dauerstufen $D = \{10, 20, 30, 60, 90, 120\}$ Min. identifiziert. Die Zusammenstellung der Ereignisse erfolgte pro Regenmessstation.
- Zusammenstellung eines Regenkatalogs für jede Messstation bestehend aus den drei (fünf) stärksten Regenintensitäten und den dazugehörigen, historischen Regenereignissen. Diese stehen als Einzelregenereignisse mit und ohne «Vorbelastung» (d. h. einem künstlichen Vorregen zur Befüllung der Benetzungs- und Muldenverluste) zur Verfügung.
- Ein kurzer, methodischer Vergleich für Anwenderinnen und Anwender von in diesem Projekt erarbeiteten Regendatenanalysen zur Einordnung der Unterschiede/ Ähnlichkeiten der Extremwertanalyse gemäss DWA-A 531 und der Extremwertstatistik von MeteoSchweiz.
- Ausblick auf die aktuelle Erarbeitung einer VSA- Empfehlung zur «Hydraulische Beurteilung von Entwässerungssystemen» und den damit einhergehenden Veränderungen im Umgang mit Regendaten bei der Dimensionierung und dem Nachweis der Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen.

² SWMM Inputfiles können auch direkt in MikeUrban als Inputfiles verwendet werden.

5 Verwendete Regendaten

Die in Tabelle 1 aufgelisteten Regendaten wurden von der Gruppe Hydrometrie des AfU Solothurn aufbereitet und am 01.06.2021 für die Regendatenanalyse zur Verfügung gestellt. 12 der 13 Messstationen befinden sich im Kanton Solothurn (AfU SO) und eine Station (Wynau, MeteoSchweiz) im Kanton Bern.

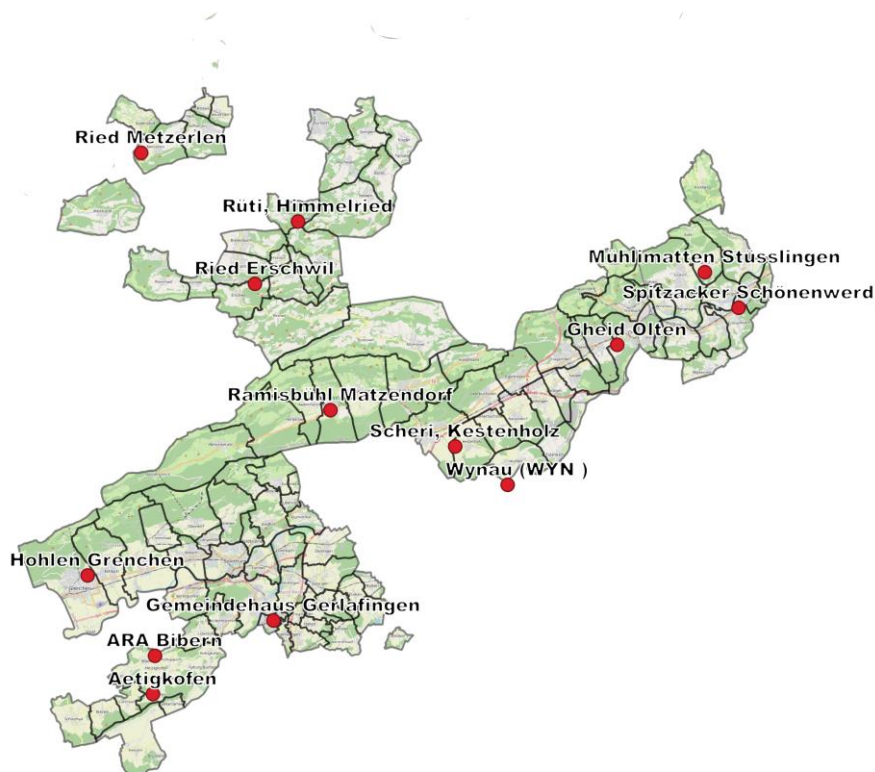


Abbildung 1: Übersicht Standorte der verwendeten Regenmessstationen.

Tabelle 1: Berücksichtigte Messstationen und Zeiträume der Regendaten. (*) Messstationen wurden in der Analyse im Jahr 2015 bereits berücksichtigt. (**) Die Regendaten dieser Messstationen werden vom AfU SO nicht mehr betrieben. Bodennetz = Bodennetz Nordostschweiz.

	Typ	Messstation	Auflösung	Zeitraum	Länge
1	AfU SO (Bodennetz)	Aetigkofen	5 Min.	01.01.2012 bis 01.06.2021	9.5 Jahre
2	AfU SO	ARA Bibern (*, **)	5 Min.	01.01.1999 bis 05.10.2013	14.8 Jahre
3	AfU SO	Gemeindehaus Gerlafingen (*)	5 Min.	01.01.2007 bis 09.03.2021	14.2 Jahre
4	AfU SO	Gheid Olten (*)	5 Min.	01.01.1999 bis 30.04.2021	22.3 Jahre

	Typ	Messstation	Auflösung	Zeitraum	Länge
5	AfU SO	Hohlen Grenchen (*, **)	5 Min.	01.01.2000 bis 29.06.2015	15.5 Jahre
6	AfU SO (Bodenmessnetz)	Mühlimatten Stüsslingen	5 Min.	30.11.2011 bis 01.06.2021	9.5 Jahre
7	AfU SO	Ramisbühl Matzendorf (*)	5 Min.	01.01.2000 bis 31.05.2021	21.4 Jahre
8	AfU SO	Ried Erschwil (*)	5 Min.	01.01.2007 bis 01.06.2021	14.4 Jahre
9	AfU SO	Ried Metzleren	5 Min.	01.01.2007 bis 01.06.2021	14.4 Jahre
10	AfU SO	Rüti, Himmelried (*)	5 Min.	01.01.2007 bis 01.06.2021	14.4 Jahre
11	AfU SO (Bodenmessnetz)	Scheri, Kestenholz	5 Min.	01.01.2012 bis 01.06.2021	9.4 Jahre
12	AfU SO	Spitzacker Schönenwerd (*)	5 Min.	01.01.2007 bis 20.04.2021	14.3 Jahre
13	SMA MeteoSchweiz	Wynau (WYN) (*)	10 Min.	01.01.1981 bis 31.12.2020	40 Jahre

Die Regendaten wurden in 5-Min.-Auflösung durch das AfU SO für die Analyse bereitgestellt. Die ursprünglichen Messungen sind jedoch je nach Station und Periode z. T. in unterschiedlichen Auflösungsintervallen aufgezeichnet worden (1-Min., 5-Min., 10-Min., 15-Min.). Für diese Stationen und Messzeiträume waren (Dis-)Aggregationen der Messwerte durch die Hydrometrie-Gruppe des AfU SO notwendig. Detaillierte Auskünfte zu den Methoden können dort angefragt werden.

Seit 2020 werden in Absprache mit MeteoSchweiz für alle Messstationen (ausser Gemeindehaus Gerlafingen) einheitlich nur noch 10-Min.-Niederschlagsintervalle aufgezeichnet. Stationen des Bodenmessnetzes Nordostschweiz³ zeichnen in 1-Min.-Intervallen auf, jedoch werden die Messungen beim AfU SO nur in 10-Min.-Intervallen gespeichert. Die Messwerte der Station Gheid (Olten) werden von der Wasserversorgung übernommen und liegen nur in 15-Min.-Intervallen vor.

Der Wert von Regendaten nimmt mit der Länge des durchgehenden Messzeitraums zu. Gemäss DWA-A 531 (2011) sind für allgemeine Anwendungen lückenlose Aufzeichnungen von min. 30 Jahren notwendig. Im Bereich der Siedlungsentwässerung, wo kürzere Wiederkehrintervalle zwischen 1 bis 10 Jahren relevant sind, können auch kürzere Regenmessreihen (20 bis 30 Jahre) ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Bei Datenreihen von unter 20 Jahren Länge könnten grössere Fehler auftreten, da die Daten ggf. zeitlich nicht ausreichend repräsentativ sind. Beispielsweise kann die Repräsentativität der Regendaten einer zeitlich kurzen Messreihe einer Station A zu unsicher sein, obwohl sie räumlich die am nächsten gelegene und repräsentativste Regenmessstation für eine Berechnung ist. Abhilfe kann ggf. durch den Parametervergleich zu einer Messstation B geschaffen werden, deren Regenreihe deutlich länger ist. Nähere Angaben zum Vorgehen finden sich im DWA-A 531 (2011).

³ <https://www.bodenmessnetz.ch/>

Bis auf die Messstation in Wynau von MeteoSchweiz zeigen die berücksichtigten Stationen im Kanton Solothurn kurze Messzeitreihen auf (Abbildung 2, Tabelle 1). Dafür sind die Solothurner Messstationen räumlich repräsentativer für regionale Anwendungen als die Station in Wynau. Für Untersuchungen (z. B. hydrodynamische Modellierungen) auf Basis der historischen Regenereignisse (Kap. 6.3.3) gilt daher folgende Empfehlung: Es ist sinnvoll, die Untersuchungen nicht nur auf einer, räumlich weit entfernten und damit ggf. nicht repräsentativen Regenmessstation zu basieren, obwohl diese eine ausreichend lange Messzeitreihe vorweisen kann. Zusätzlich kann auf historische Regenereignisse einer räumlich nah gelegenen Messstation zurückgegriffen werden, selbst wenn deren auswertbare Zeitreihe noch keine repräsentative Messlänge aufweisen kann. Bei diesem Vorgehen kann über zwei massgebende Regenereignisse die räumliche Repräsentativität und die zeitlich-statistisch Robustheit abgesichert werden. Selbstverständlich besteht die Möglichkeit, Regendaten von mehr als zwei Ereignissen bzw. Messstationen zu verwenden, um die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse weiter zu steigern. Es ist empfohlen, in jedem Fall die finale Wahl des massgebenden Regenereignisses und der massgebenden Regenstation(en) mit der kantonalen Behörde abzusprechen.

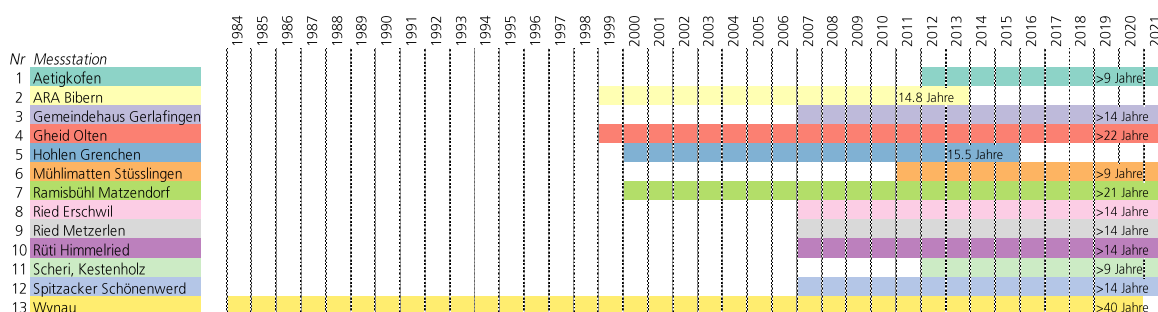


Abbildung 2: Übersicht berücksichtigte Messstationen und Zeiträume der gemessenen Regenreihen. Details in Tabelle 1.

Für fehlende Einzelmessungen in den Regendaten wurden für die Auswertung der Regenserien jeweils Niederschlagshöhen von 0 mm angenommen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht fehlende Einzelmessungen der 13 berücksichtigten Regenmessstationen. Für fehlende Einzelmessungen wurde für die Analyse vereinfacht angenommen, dass kein Regen gefallen ist, auch wenn dadurch ein systematischer, allerdings kleiner Fehler in Kauf genommen werden musste.

	Typ	Messstation	Anzahl Messwerte	Fehlende Messwerte	Anteil [%]
1	AfU SO (Bodenmessnetz)	Aetigkofen	990'516	2'342	0.24
2	AfU SO	ARA Bibern	1'552'893	0	0
3	AfU SO	Gemeindehaus Gerlafingen	1'492'130	0	0
4	AfU SO	Gheid Olten	2'348'925	15	0.001
5	AfU SO	Hohlen Grenchen	1'629'585	0	0
6	AfU SO (Bodenmessnetz)	Mühlimatten Stüsslingen	999'492	155	0.016
7	AfU SO	Ramisbühl Matzendorf	2'252'450	97'480	4.3

	Typ	Messstation	Anzahl Messwerte	Fehlende Messwerte	Anteil [%]
8	AfU SO	Ried Erschwil	1'516'396	28'112	1.9
9	AfU SO	Ried Metzerlen	1'516'412	234	0.015
10	AfU SO	Rüti, Himmelried	1'516'408	98'595	6.5
11	AfU SO (Bodenmessnetz)	Scheri, Kestenholz	990'552	2'611	0.26
12	AfU SO	Spitzacker Schönenwerd	1'504'406	0	0
13	SMA MeteoSchweiz	Wynau (WYN)	2'103'840	4'083	0.19

6 Auswertungsroutine

6.1 Grundlage der Analyse

Die Auswertung der Regendaten erfolgte gemäss der Richtlinie DWA-A 531 (DWA, 2011 bzw. Aktualisierung von 2017). Die folgenden Bestandteile der Richtlinie sind in R-Skripten umgesetzt (vgl. Kap. 6.2):

- Auswertung für „jährliche“ und für „partielle“ Regenserien (Standard: „partiell“⁴)
- Korrekturfaktoren für Regenhöhen unter Berücksichtigung der Intervalllänge
- Ausgleich innerhalb eines Dauerstufenbereichs mit dem doppelt-logarithmischen Ansatz
- Ausgleich über die Dauerstufen mit Bereichen $D < 60$ Min. und $D > 60$ Min. mit kontinuierlichem Schnittpunkt bei $D = 60$ Min.

6.2 R-Skripte

Die Routinen für die Auswertung der Regendaten sind in mehreren R-Skripts implementiert. Die allgemeinen Einstellungen der Auswertung erfolgen im Master-Skript „00_Batch_Process.R“. Das Master-Skript steuert in einzelnen Schritten untergeordnete «Source»-Skripte an, die die einzelnen Analysen starten. Die genaue Funktionsweise und Handhabung der R-Skripte sind direkt in den Skriptdateien als Kommentare hinterlegt. Folgende R-Skripte wurden verwendet:

- «00_Batch_Process.R» # Master-Skript zur Steuerung der Auswertung
- source("01_Import_Data.R") # Regendaten werden eingelesen und bearbeitet
- source("02a_Create_Part.R") # „Partielle“ Regenreihe wird erstellt
- source("02b_Create_Jahr.R") # „Jährliche“ Regenreihe wird erstellt

⁴ Für die Auswertungen 2015 und für die Aktualisierung im Jahr 2021 wurden jeweils «partielle» Regenserien ausgewertet. Darauf basierend erfolgte auch die Generierung der IDF-Kurven. Jährliche Serien können gemäss DWA A-531 (2011) nur dann verwendet werden, wenn Messreihen mit einer Länge von mehr als 20 Jahren vorliegen. In Abbildung 2 ist ersichtlich, dass dies derzeit nur für zwei Regenstationen möglich wäre.

- `source("03a_Analyse_Part.R")` # „Partielle“ Regenreihe wird analysiert
- `source("03b_Analyse_Jahr.R")` # „Jährliche“ Regenreihe wird analysiert
- `source("04_Interpolate.R")` # Analyse der Daten mit doppelt-logarithmischem Ansatz
- `source("05_IDF.R")` # Berechnung der IDF-Kurven
- `source("06a_Euler.R")` # Berechnung und Export der Euler-Modellregen
- `source("06b_Chicago.R")` # Berechnung und Export des Chicago-Modellregens
- `source("07a_EVT_Part.R")` # IDF-Berechnung mit alternativem Ansatz (GPD)
- `source("07b_EVT_Jahr.R")` # IDF-Berechnung mit alternativem Ansatz (GEV)
- `source("08a_REBEKA_Langzeit.R")` # Export von historischen Langzeitregen für REBEKA («.kmd»)
- `source("08b_SWMM_Langzeit.R")` # Export von historischen Langzeitregen für SWMM («.dat»)

Das Master-Skript und alle „Source“-Skripte wurden zusammen mit den ausgewerteten Regenserien und allen graphischen Ergebnisausgaben dem AfU Solothurn in aktualisierter Form zur Verfügung gestellt.

Die Routinen zur Selektion der Einzelregenereignisse aus den Regenserien und Ausgabe der verwendbaren Regenkataloge wurden durch die Hunziker Betatech AG ebenfalls in R programmiert. Diese sind jedoch nicht Bestandteil des Abgabedossiers, sondern verbleiben bei der Hunziker Betatech AG.

6.3 Exportierte Regenserien und Regenkatalog

6.3.1 Modellregen

Standardmässig wird durch das verwendete R-Skript der Chicago-Modellregen (CDS⁵) für die Dauerstufen $D = \{15, 30, 45, 60, 90, 120\}$ Min. sowie die Jährlichkeiten $z = \{2, 5, 10\}$ Jahre ausgegeben. Die Modellregen werden als eine Zeitreihe generiert und jedes Regenereignis startet jeweils am nachfolgenden Tag. Die Regenzeitreihe wird exportiert im „.dat“-Format (anwendbar in SWMM und Mike Urban) sowie im „.kmd“-Format für REBEKA. Optional können auch die Euler-I, Euler-II und Euler-III-Modellregen ausgegeben werden. Der Euler-II-Modellregen entspricht dabei dem Chicago-Modell-Regen.

6.3.2 Historische Langzeitregen

Neben den Euler-Modellregen werden die gemessenen Regendaten auch als historische Langzeitregenserien für die Softwarepakete SWMM („.dat“) und REBEKA („.kmd“) ausgegeben. In der Langzeitregendatei werden dabei nur Zeitpunkte exportiert, bei denen ein Niederschlag > 0 mm gemessen wurde. Die Exportdateien verbrauchen dadurch weniger Speicherplatz. Für Analysen ausserhalb der hier angedachten Verwendung sind ggf. die «Nullmessungen» wieder aufzufüllen.

6.3.3 Regenkataloge für die Messstationen

Neben der Verwendung von Modellregen können alternativ auch historische Regenereignisse einer repräsentativen Regenmessstation für die Erstellung von Dimensionierungsregen verwendet werden (vgl. Kap. 5). Zu diesem Zweck wurde für jede der 13 berücksichtigten Messstationen ein Regenkatalog bestehend aus historischen Regenereignissen erstellt.

⁵ Engl.: Chicago Design Storm

Da die Messreihe für die MeteoSchweiz-Messstation Wynau mit mehr als 40 Jahren einen langen Messzeitraum aufweist, sind unter den stärksten Regenereignissen bereits extreme Niederschlagsintensitäten enthalten ($> 500 \text{ l/(s*ha)}$). Um neben diesen auch typische Dimensionierungsregen zu erhalten, wurden für Wynau die jeweils fünf stärksten Regenintensitäten aus historischen Niederschlagsereignissen im Regenkatalog zur Verfügung gestellt.

Für die zwölf Regenmessstationen im Kanton Solothurn standen Regendaten in einer Auflösung von 5-Minuten-Intervallen zur Verfügung. Die stärksten Regenintensitäten wurden für die folgenden Dauerstufen analysiert: $D = \{5, 10, 15, 30, 60, 90, 120\}$ Min. Für die Messstation Wynau standen die Regendaten nur mit einer Auflösung von 10 Min. zur Verfügung. Für diese Station wurden daher folgende Dauerstufen analysiert: $D = \{10, 20, 30, 60, 90, 120\}$ Min.

Zu jedem Regenkatalog gehören folgende Dateien:

- Eine Übersichtstabelle («.csv», «.xlsx»), die die drei bzw. fünf stärksten Regenintensitäten pro Dauerstufe sowie weitere Auswertungsparameter auflistet.
Beispiel: «01_HBSOa3709_Aetigkofen_Stand2021_TOP3.xlsx»
- 84 Dateien mit Einzelregenereignissen («.csv», «.dat»), z. B. als Grundlage für eine hydrodynamische Simulation für jedes der drei bzw. fünf identifizierten Regenereignisse pro Dauerstufe. Jedes Ereignis liegt als Eingangsdatei für eine Simulation mit oder ohne Vorbelastung vor (je 42 Dateien für die Solothurner Stationen und je 60 Dateien für die MeteoSchweiz-Station).
Bsp. ohne Vorregen: «01_HBSOa3709_Aetigkofen_Stand2021_Regen_Nr_1_D5min.csv»
Bsp. mit Vorregen: «01_HBSOa3709_Aetigkofen_Stand2021_Regen_Nr_1_D5min_2mm.csv»
- Der Ordner «Regenkatalog» im Abgabedossier enthält zusätzlich eine erläuternde «_READ_ME»-Datei, um die Benennung der einzelnen Dateien nachvollziehen zu können und die passenden Regendaten zu identifizieren.

Beispiel:

Die Jährlichkeiten der identifizierten Einzelereignisse im Regenkatalog können mit Hilfe der Analysen (Kap. 6.2) und ausgegeben Grafiken (z. B. Abbildung 3 aus dem Abgabedossier) eingeordnet und ausgelesen werden. Beispielsweise zeigte sich für die Messstation Aetigkofen das historische Regenereignis vom 08. Sept. 2013 zwischen 20:10 Uhr und 22:25 Uhr als dasjenige mit der stärksten Niederschlagsintensität für die Dauerstufe $D = 15$ Min.: 17.8 mm/15 Min bzw. einer Gebietsabflusspende von umgerechnet 198 l/(s*ha) . Vergleicht man diesen Wert mit den Angaben in Abbildung 3 zeigt sich, dass dieses Ereignis eine zwischenzeitliche Niederschlagsintensität aufweist, die für $D = 15$ Min. einem 10-jährlichen Ereignis entspricht. Aufgrund der kurzen Länge der Regenmessreihen einiger der Regenstationen sind die Unsicherheiten gross (d. h. Abweichungen der Regenintensität nach oben oder unten möglich). Jedoch sind diese Werte die derzeit besten, die für die lokalen Stationen und die begrenzten Regenmessreihen zur Verfügung stehen.

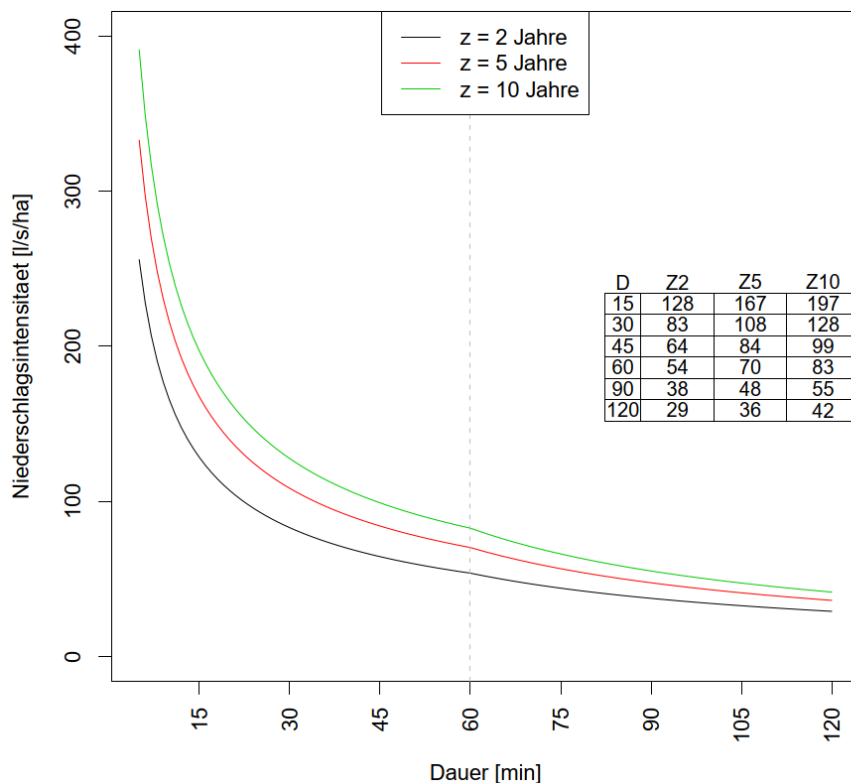


Abbildung 3: Beispiel für die Intensitäts-Dauer-Häufigkeits-Kurve (IDF) der Regenmessstation in Aetgikofen und den daraus resultierenden Jährlichkeiten.

6.3.4 Anwendungshinweise Regenkatalog

Einige der typischen Dimensionierungsregen sind innerhalb der analysierten Messreihen nicht verfügbar. Daher wurden Regenereignisse aufgelistet, die die jeweils grössten Intensitäten für die jeweilige Dauerstufe hatten, auch wenn das Regenereignis selbst länger andauerte (z. B. grösste Intensität für D = 10 Min. in einem Regenereignis, das 60 Min. insgesamt gedauert hat). Für sehr kurze, intensive Regenereignisse, deren Niederschlag kurz nach dem Auftreten der Intensitätsspitzen aussetzt oder schnell abschwächt, muss auf Modellregen zurückgegriffen werden. Jedoch bietet die Verwendung historischer Regenereignisse ein deutlich realistisches Bild für das Abflussgeschehen in der Kanalisation.

Für Einzeluntersuchungen, z. B. in hydrodynamischen Modellen, wurden die selektierten historischen Regenereignisse noch einmal als Einzelregenserien zur Verfügung gestellt (Formate: ".csv" und ".dat"). Es steht für jedes Regenereignis eine Version «ohne Vorbelastung» sowie «mit Vorbelastung» zur Verfügung. Als «Vorbelastung» wurde ein künstliches, homogenes Regenereignis (Vorregen) mit einer Regensumme von 2 mm angenommen, das drei Stunden vor dem eigentlichen Regenereignis zu Ende geht. Die zeitliche Pause von drei Stunden ermöglicht in den meisten Fällen ein ausreichend langes Abfliessen des Niederschlags in der Kanalisation. Dadurch kommt es trotz Vorregen zu möglichst keiner oder nur einer sehr geringen, künstlichen Erhöhung der Abflussspitze beim eigentlichen Regenereignis.

Die Einzelregen mit Vorbelastung können genutzt werden, wenn der Effekt der Anfangsverluste (Benetzungs- und Muldenverluste) analysiert werden soll (Vgl. Abfluss-/Entlastungssituation). Für die Verwendung der Einzelereignisse mit Vorbelastung ist wichtig, dass die Anwenderin oder der Anwender die Entleerung der Benetzungs- und Muldenverluste durch Evapotranspiration im Modell deaktiviert. Anderenfalls regenerieren sich die Verlustbeiwerte über die Zeit.

Für die Auswahl eines Dimensionierungsereignisses aus dem Regenkatalog müssen die lokalen Randbedingungen der Kanalisation bzw. des ARA-Einzugsgebiets unbedingt berücksichtigt werden.

Neben den kurzen, intensiven Ereignissen, die typischerweise für eine Dimensionierung genutzt werden (z. B. 10-minütiger Regen mit einer Jährlichkeit $z = 10$ Jahre) ist für die Untersuchung der Auswirkung voluminöser, lang andauernder Regen die Einzugsgebietsgrösse und damit die Fliesszeit in der Kanalisation bei Regenwetter massgebend (z. B. Verhalten der Entlastungsbauwerke). Entsprechend dieser Fliesszeit sollte ein Regenereignis mit ausreichend grosser Dauerstufe gewählt werden. Für grosse Kanalisationen mit Fliesszeiten von deutlich über zwei Stunden sollten in Absprache mit der kantonalen Aufsichtsbehörde zusätzliche Regenereignisse gewählt werden.

6.4 Graphische Ausgaben

Die Auswertungsroutinen (Kap. 6.2) liefern verschiedene graphische Auswertungen, durch die ein Überblick zu den Eigenschaften der Regenmessungen möglich ist (siehe auch die Beispiele im Anhang). Die graphischen Auswertungen können wahlweise in der Einheit „l/(s*ha)“ oder „mm“ dargestellt werden (Standard: „l/(s*ha)“ bzw. „l/s/ha“).

- Komplette Zeitreihe der Regendaten («Zeitreihe_lsha.pdf»)
- Jahresniederschlagssummen («Jahresniederschlagssumme.pdf»)
- Intensitäts-Dauer-Häufigkeits-(IDF)-Kurven («IDF_lsha.pdf»)
- Beurteilung des Gültigkeitsbereichs der verwendeten IDF-Kurven («Pareto_vs_DWA» & «Partielle_Serie» bzw. «Jaehrliche_Serie.pdf»)
- Validierung des doppelt-logarithmischen Regressionsansatzes («Regressionsansaeetze_Original_loglog.pdf»)
- Chicago-Modellregen für alle Dauern und alle Jährlichkeiten (z. B. «Chicago_lsha_15_10.pdf»)

7 Vergleich der Extremwertstatistiken

Die in diesem Projekt angewendeten methodischen Grundlagen basieren u. a. aus dem aus Deutschland stammenden technischen Regelwerksblatt DWA-A 531 (2011). Die Extremwertanalyse von Niederschlagsdaten in der Schweiz durch MeteoSchweiz ist in Fukutome et al. (2018) beschrieben. In diesem Kapitel werden beide Methoden ohne detaillierte Darstellung der dahinterliegenden Statistik kurz verglichen.

Beide methodische Vorgehen basieren auf den beobachteten Messwerten einer stationsspezifischen Regenserie. Dafür werden die jährlichen bzw. bei MeteoSchweiz zusätzlich die saisonalen 24 h-Tagesmaxima identifiziert. Die identifizierten Tagesmaxima dienen als Grundlage, um eine bzw. verschiedene Extremwertverteilungen (Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen) möglichst gut an den Datensatz anzupassen (d. h. zu parametrisieren). Gemäss MeteoSchweiz führt die Verwendung der saisonalen Maxima zu einer leicht besseren Abschätzung der Parameter der resultierenden Extremwertverteilung. Dies gelingt, indem zuerst mit Hilfe Bayes'scher Inferenz die saisonalen Maxima analysiert und anschliessend die jährlichen Maxima aus der saisonalen Analyse rekonstruiert werden.

Die Starkregenanalyse nach DWA-A 531 erfolgt für partielle Serien mit Hilfe der Exponentialverteilung und für jährliche Serien mit Hilfe der Gumbel-Verteilung. MeteoSchweiz nutzt die Generalisierte Extremwertverteilung (GEV) als Ausgangsfunktion. Die beiden, zwei-parametrischen Verteilungen aus dem DWA-A 531 gehören zur Gruppe der Extremwertverteilungen, die in allgemeiner Form durch die GEV repräsentiert und aus dieser abgeleitet werden können. Die GEV erfasst auch die Weibull- und die Fréchet-Verteilung. Mathematisch können diese Funktionen ineinander überführt werden und entsprechen damit einem Grundtyp, der GEV.

Beide Methoden sind sehr ähnlich im Vorgehen, in der verwendeten Datengrundlage und in der Anwendung statistischer Zwischenschritte. Für die Anwendung der Ergebnisse aus beiden Methoden



ergeben sich in der Praxis der Dimensionierung von Anlagen der Siedlungsentwässerung in der Schweiz keine relevanten Unterschiede. Durch methodische Feinheiten in beiden Ansätzen können minimal unterschiedliche Zahlenwerte erfolgen (z. B. bei den Maximalwerten für die Dauerstufen bei gleichen Jährlichkeiten). Diese sind aber vernachlässigbar im Vergleich zu den deutlich grösseren Unsicherheiten aus nicht ausreichend langen Regenmessreihen der verwendeten Regendaten.

8 Ausblick zukünftige VSA Empfehlung «Hydraulische Beurteilung von Entwässerungssystemen»

Zurzeit wird eine neue VSA-Empfehlung zum Thema «Hydraulische Beurteilung von Entwässerungssystemen» erarbeitet (Stand Sommer 2021). Die Empfehlung soll zu Beginn 2022 in die Vernehmlassung gehen und im Verlauf des Jahres 2022 publiziert werden.

Ziel der VSA-Empfehlung ist die Etablierung eines neuen Paradigmas bei der Dimensionierung und dem Nachweis der Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen. Dabei soll ein Wechsel stattfinden, weg von der Verwendung von Regenereignissen mit einer bestimmten Jährlichkeit hin zu einem Ansatz mit Auftretenshäufigkeiten von Überstau- und Überflutungsereignissen aus der Kanalisation. Dieser Ansatz basiert auf der übergeordnet geltenden europäischen Norm EN-752. In Anlehnung an die gängige Praxis beim Umgang mit Naturgefahren soll dafür eine neue Schutzzieldefinition etabliert werden. Die Schutzzieldefinition gibt das erforderliche Schutzniveau (erlaubte Auftretenshäufigkeit eines Ereignisses einmal in z Jahren) bei definierten Belastungszuständen in der Kanalisation (Überstau, Überflutung) in Abhängigkeit von Schutzkategorien vor (z. B. ländliche Gebiete, Wohngebiete, Stadtzentren, Sonderobjekte). Eine Schutzzieldefinition wäre dann beispielsweise, dass ein Überstau in einem Wohngebiet einmal in zehn Jahren auftreten darf.

Als Grundlage für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems ist dann eine Langzeitsimulation erforderlich. Dafür sind Regendaten mit einer Länge von 20 bis 30 Jahren nötig. Die Langzeitsimulation kann durch einen geeigneten Regendatenkatalog ersetzt werden. In der VSA-Empfehlung wird die Methodik für die Erstellung eines geeigneten Regendatenkatalogs beschrieben. Gegebenenfalls kann der Kanton Solothurn zu einem späteren Zeitpunkt diesen Regendatenkatalog für die vorhandenen Regenmessstationen im Kantonsgebiet aufbereiten und den GEP-Ingenieuren zur Verfügung stellen.

9 Anhang

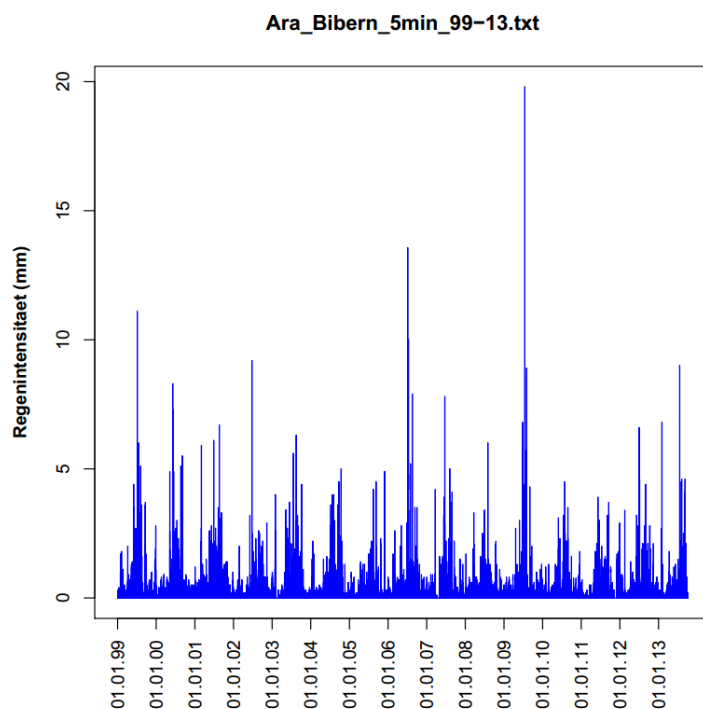


Abbildung 4: Komplette Zeitreihe der Regendaten für das Beispiel der Messstation auf der ARA Bibern (1999 – 2013).

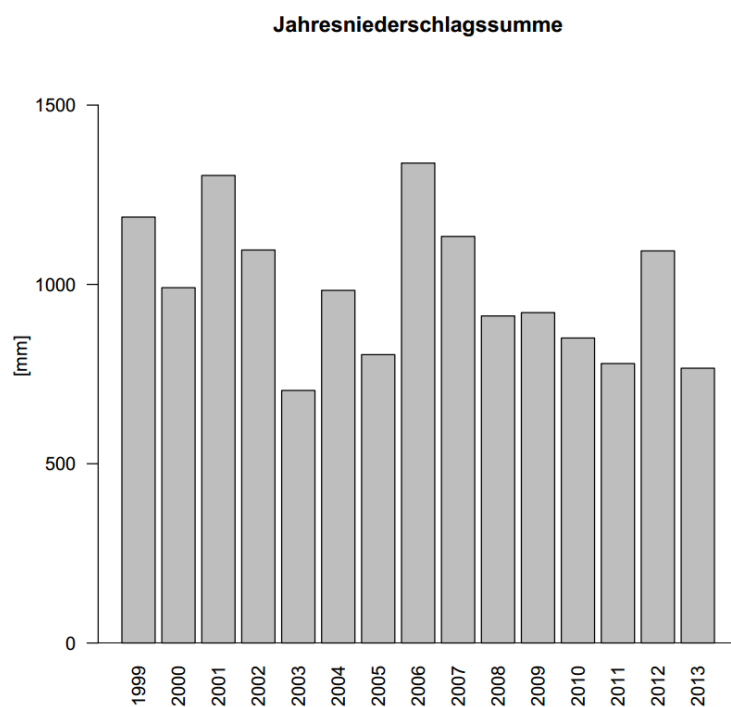


Abbildung 5: Jahresniederschlagssummen für das Beispiel der Messstation ARA Bibern (1999 – 2013).

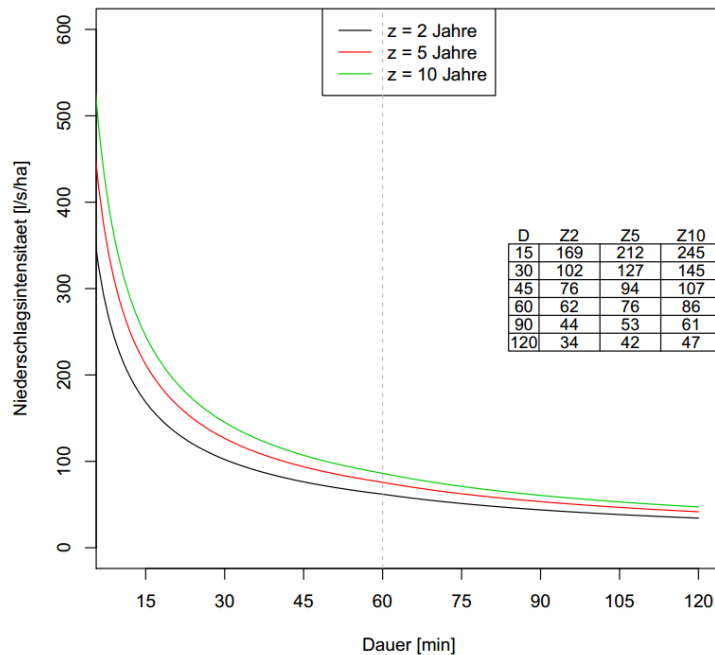


Abbildung 6: Intensitäts-Dauer-Häufigkeits-Kurven (IDF) für das Beispiel der Messstation ARA Bibern (1999 – 2013, partielle Regenreihe) mit tabellarischer Darstellung der wichtigen Dauerstufen und Jährlichkeiten.

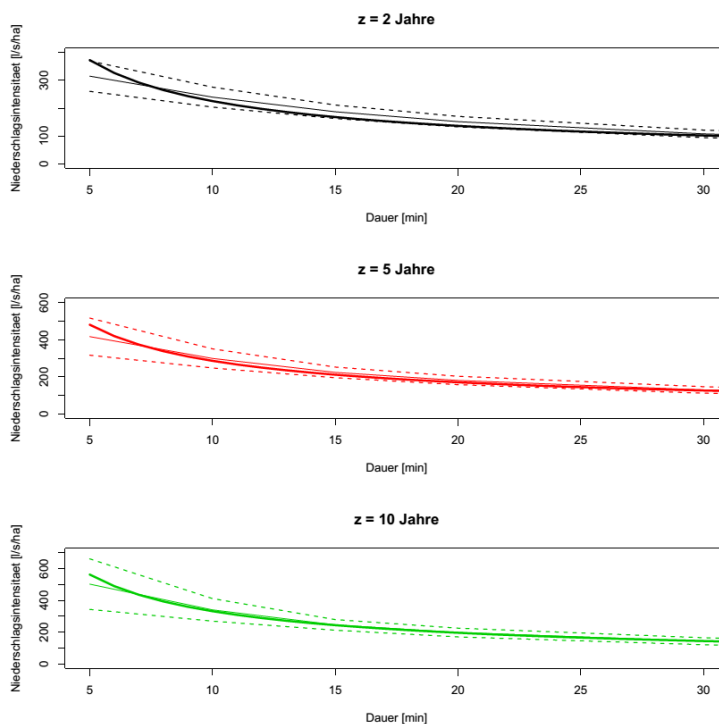


Abbildung 7: Beurteilung des Gültigkeitsbereichs und der Unsicherheit der verwendeten IDF-Kurven (fette, durchgezogene Linie) mit dem Mittelwert (feine, durchgezogene Linie) und dem 95%-Konfidenzintervall (feine, gestrichelte Linien) eines alternativen Berechnungsansatzes mit einer Verallgemeinerte Pareto-Verteilung (Coles, 2001) am Beispiel der Messstation ARA Bibern (1999 – 2013, partielle Regenreihe).

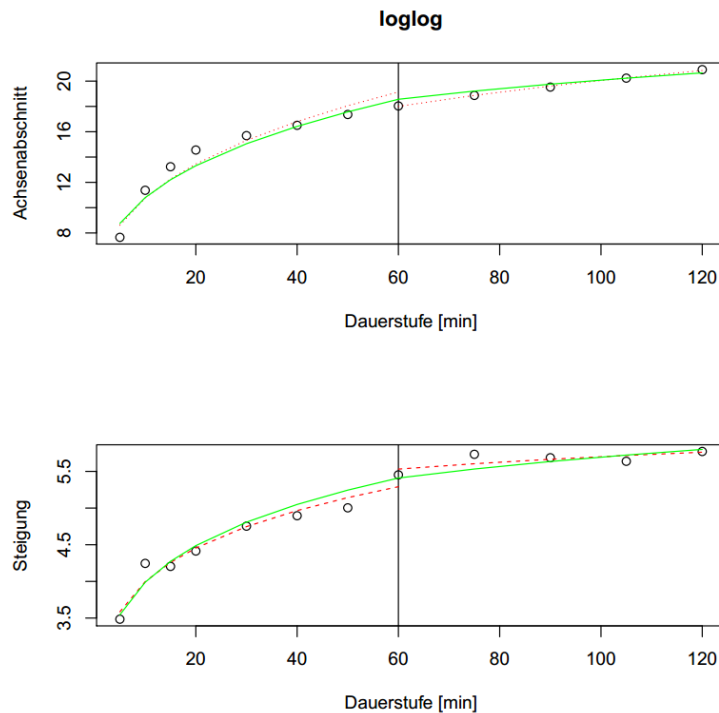


Abbildung 8: Doppelt-logarithmischer Ansatz für den Ausgleich der Regressionskoeffizienten (Achsenabschnitt und Steigung) innerhalb der Dauerstufenbereiche $D < 60$ min und $D > 60$ min (rote, gestrichelte Linien) und der gemeinsamen Regression mit Schnittpunkt bei $D = 60$ min (grüne, durchgezogene Linie) für das Beispiel der Messstation ARA Bibern (1999 – 2013, partielle Regenreihe).

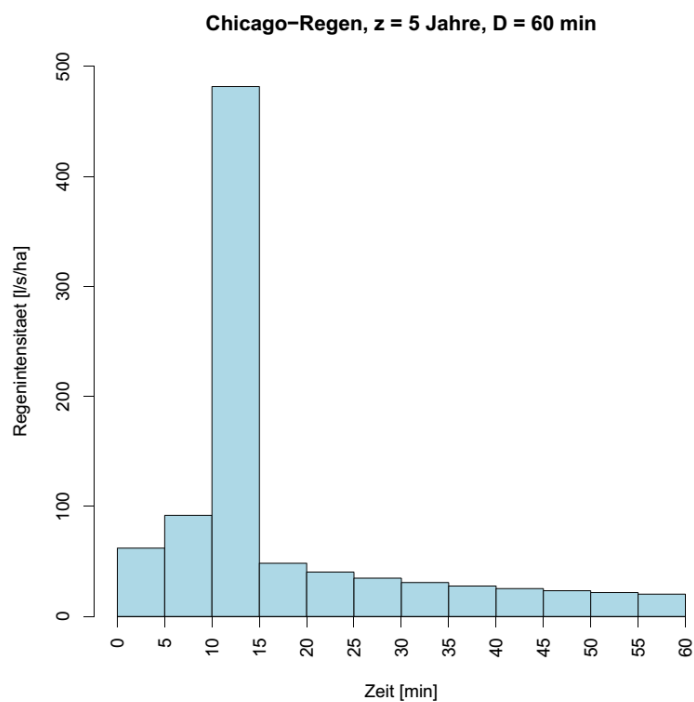


Abbildung 9: Chicago-Modellregen für die Dauerstufe $D = 60$ min und die Jährlichkeit $z = 5$ Jahre am Beispiel der Messstation ARA Bibern (1999 – 2013, partielle Regenreihe).

