



GVRZ GEP IM EINZUGSGEBIET DES GVRZ

SAMMLUNG UND AUSWERTUNG VON REGENDATEN
(NACHFÜHRUNG MIT DATEN 2000 BIS 2017)

Altdorf, den 19. Oktober 2018 (rev.)
MT00092.118

MONITRON 
MESSEN UND VERSTEHEN

MONITRON
Rynächtstrasse 13
CH-6460 Altdorf
t +41 041 874 77 88
f +41 041 874 77 89
e altdorf@monitron.ch
www.monitron.ch

INHALTSVERZEICHNIS

1. AUSGANGSLAGE	5
2. AUFTRAG	5
2.1 Aufgabestellung	5
2.2 Erwartete Resultate	6
2.3 Vorgehen	6
3. AUSGEFÜHRTE ARBEITEN	7
3.1 Recherchen	7
3.2 Sammlung der vorhanden Regendaten	7
3.2.1 Kriterien Messstellenauswahl und verwendete Messstellen	7
3.2.2 vorhandene und verwendete Datenreihen	8
3.3 Auswertungen und Interpretationen	9
3.3.1 Methodik der statistischen Auswertungen der Regensummen	9
3.3.2 Extremalverteilung	9
3.3.3 Regenhöhen-Wiederkehrperioden	9
3.3.4 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve	9
3.3.5 Auswahl der Ereignisse	10
3.3.6 Dimensionierungsszenarien	10
3.3.7 Synthetisierte Datensätze	10
4. BEARBEITUNG DER REGENDATEN	11
4.1 Auswertungen der Regensummen	11
4.1.1 Messstation SMN 4859 Cham	11
4.1.2 Messstation Kanton Luzern LUNS03 Root	12
4.1.3 Messstation Aegeriwetter ZGNS01 Unterägeri	13
4.2 Vergleich der Messstationen SMN 4859 Cham und LUNS03 Root	14
4.2.1 Vergleich der Auswertungen Intensitäten	14
4.2.2 Vergleich der langjährigen Monatssummen	15
4.2.3 Schlussfolgerungen	15
5. INTERPRETATION UND REGIONALE BEURTEILUNG	16
5.1 Regionale Betrachtung der Niederschlagsverteilung	16
5.2 Einordnung der statistischen Auswertungen LUNS03 Root und ZGNS01	17
5.2.1 Regenhöhen-Wiederkehrperioden	17
5.2.2 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve	17
5.3 Regionalisierung der Datensätze für GEP-Bemessungsregen	18
6. STATISTISCHE AUSWERTUNGEN	19
6.1 Regenhöhen-Wiederkehrperioden LUNS03 Root	19
6.2 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve LUNS03 Root	20

6.3	Regenhöhen-Wiederkehrperioden ZGNS01 Unterägeri	21
6.4	Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve ZGNS01	22
7.	DIMENSIONIERUNGSSZENARIOEN	23
7.1.1	Frontalgewitter, Maximum am Anfang	24
7.1.1.1	Region Nord-West (Messstation LUNS03)	24
7.1.1.2	Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)	24
7.1.2	Frontalgewitter, Maximum in der Mitte	25
7.1.2.1	Region Nord-West (Messstation LUNS03)	25
7.1.2.2	Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)	25
7.1.3	Landregen, Maximum am Anfang	26
7.1.3.1	Region Nord-West (Messstation LUNS03)	26
7.1.3.2	Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)	26
7.1.4	Landregen, Maximum in der Mitte	27
7.1.4.1	Region Nord-West (Messstation LUNS03)	27
7.1.4.2	Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)	27
7.1.5	Belastungsszenario / Belastungstest	28
7.1.5.1	Region Nord-West (Messstation LUNS03)	28
7.1.5.2	Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)	28
8.	SYNTHETISIERTE REGENEREIGNISSE	29
9.	RÜCKMELDUNGEN TESTS MIT REELLEN EREIGNISSEN	29
9.1.1	Tests mit der vorhandenen Ereignissen	29
9.1.2	Ergänzende Daten und Auswertungen	29

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1	Verwendete Regendatenreihen für die statistischen Auswertungen	9
Tabelle 4.1	Statistische Auswertungen Niederschlagsintensitäten SMN 4859 Cham 2000 bis 2015	11
Tabelle 4.2	Statistische Auswertungen Niederschlagsintensitäten LU03 Root 2000 bis 2017	12
Tabelle 4.3	Statistische Auswertungen Niederschlagsintensitäten LU03 Root 2000 bis 2015	13
Tabelle 5.1	1-Stunden Starkniederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrperiode von 2.33 Jahre im Siedlungsgebiet GVRZ gemäss HADES	16
Tabelle 5.2	1-Stunden Starkniederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrperiode von 2.33 Jahre: Vergleich HADES zu Barth (2009)	17
Tabelle 5.3	Verwendete Regendatenreihen für die Dimensionierungsszenarien GVRZ	18
Tabelle 6.1	Statistische Regenhöhen - Wiederkehrperioden LUNS03 Root 2000 bis 2017	19
Tabelle 6.1	Statistische Regenhöhen - Wiederkehrperioden ZGNS01 Unterägeri 2002 bis 2017	21

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 4.1	Vergleich der 10 grössten Intensitäten 10-Minuten-Summen und 1-Stunden-Summen SMN 4859 und LUNS03 2000 bis 2015	14
Abbildung 4.2	Vergleich der Monatssumme Januar 2010 bis August 2015 SMN 4859 und LUNS03	15
Abbildung 5.1	Auszug aus HADES (1996): extreme Punktregen Niederschlagsdauer 1 Stunde, Wiederkehrperiode 2.33 Jahre. Isohypsen in mm / Stunde.	16
Abbildung 6.1	Diagramm Regenhöhen - Wiederkehrperioden LUNS03 Root 2000 bis 2017	19
Abbildung 6.2	IDF-Diagramm LUNS03 Root (2000 bis 2017) Wiederkehrperiode T=2 Jahre	20
Abbildung 6.3	IDF-Diagramm LUNS03 Root (2000 bis 2017) Wiederkehrperiode T=5 Jahre	20
Abbildung 6.1	Diagramm Regenhöhen - Wiederkehrperioden ZGNS01 Unterägeri 2002 bis 2017	21
Abbildung 6.2	IDF-Diagramm ZGNS01 Unterägeri (2002 bis 2017) Wiederkehrperiode T=2 Jahre	22
Abbildung 6.3	IDF-Diagramm ZGNS01 Unterägeri (2002 bis 2017) Wiederkehrperiode T=5 Jahre	22
Abbildung 7.1	Raster Dimensionierungsszenarien	23

ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Stationsbeschreibungen SMN 4859 Cham LUNS03 Root, ZGNS01 Unterägeri
Anhang B	Statistische Auswertungen (Jahrbuchseiten „Ereignisse“ und „Intensitäten“ 2017) SMN 4859 Cham LUNS03 Root, ZGNS01 Unterägeri
Anhang C	nur digital: Datenreihen Dimensionierungsszenarien LUNS03
Anhang D	nur digital: Datenreihen Dimensionierungsszenarien ZGNS01
Anhang E	nur digital: synthetisierte Dimensionierungsszenarien LUNS03

PRÄAMBEL

Monitron bestätigt hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

Monitron geht davon aus, dass

- ihr seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnt Monitron gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch Monitron jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

1. AUSGANGSLAGE

Zwecks einer einheitlichen Handhabung innerhalb des Verbandsgebietes (relevant für das Verbands-GEP) sollen die hydrologischen Grundlagen von der Gesamtleitung GEP-GVRZ den GEP-Ingenieuren der Verbandsgemeinden zur Verfügung gestellt werden.

Dazu ist pro Gemeinde eine repräsentative Messstation zu bezeichnen, von welcher die massgebenden Regendaten für die hydraulischen Berechnungen verwendet werden können. Falls keine geeignete Station in der Nähe liegt, erfolgt mittels geostatistischer Methoden eine Annäherung anhand der umliegenden Messstationen (z.B. inverse Distanzgewichtung).

2. AUFTRAG

MONITRON AG erhielt den Auftrag die entsprechenden Regendaten zu sammeln, auszuwerten und in geeigneter Form abzugeben.

Der Auftrag basiert auf dem universellen Pflichtenheft des GEP im Einzugsgebiet GVRZ (Kost + Partner AG, Sursee, 2015) und den darin formulierten „Anforderungen an die den GEP-Ingenieuren zur Verfügung zu stellenden Regendaten“ vom 28.05.2014, der Offerte MONITRON vom 25.06.2015 und der Auftragserteilung am 07.07.2015 durch den GVRZ.

Damit eine statistische Einordnung von ausgewählten Ereignisse möglich ist, wurde im Jahr 2017 in einer Ergänzung des Auftrags die Regenhöhen-Wiederkehrperioden und Wiederkehr-Dauer-Häufigkeitskurven für die Messstation LUNS03 Root ausgeführt.

Im Mai 2018 wurde zudem beschlossen, alle Ergebnisse auf den aktuellen Stand zu bringen und in einem Dokument zusammenzufassen. Zudem wurden die weiteren Empfehlungen aus dem Jahr 2016 (Synthetisierung und Bewertung von Tests, Überprüfung der ausgewählten Ereignisse) durchgeführt.

Der vorliegende Bericht ersetzt den Bericht vom 21. April 2016 und die Stellungnahme vom 10. Juli 2017.

2.1 Aufgabestellung

Die Regendaten werden für folgende Zwecke benötigt:

A) Daten für die Langzeitsimulation der Entlastungsbauwerke (HE und RÜB)

- Historische Regenreihe
- Zeitraum: >10 Jahre, idealerweise bis zum Jahre 2017 (für Modellkalibrierung und -validierung anhand aktueller Abflussmessdaten im GVRZ-Kanalnetz)
- Auflösung: 10 Minuten

B) Daten für die Berechnung der Netzauslastung (Kapazitätsnachweis)

Die Kalibrierung und Validierung der Kanalnetzmodelle erfolgt anhand historischer Starkniederschlagsereignisse. Überlastungen im Modell können mit Aufzeichnungen von Schäden (Feuerwehr, Gebäudeversicherung, Anwohnerinterviews etc.) verglichen werden.

Der Kapazitätsnachweis selbst erfolgt mittels vorgegebener Dimensionierungsereignisse, welche statistisch mit einer bestimmten Jährlichkeit (z.B. Wiederkehrperiode $z=5$ Jahre, bzw. 10 Jahre in städtischem Gebiet) auftreten.

2.2 Erwartete Resultate

Als Resultat sollen pro repräsentativer Messstelle folgende Regendatenreihen erarbeitet werden:

- Datenreihen von 5 historischen Starkniederschlagsereignissen
 - Zeitraum: 1 Tag vor bis 3 Tage nach Ereignis
 - Auflösung: 10 Minuten, optimal 1 Minute
- Datenreihen von 4 relevanten Dimensionierungsszenarien:
 - kurzzeitiger Starkregen mit hoher Intensität
 - Landregen mit geringerer Intensität und längerer Dauer
 - Jeweils mit einem Maximum am Anfang und in der Mitte des Ereignisses
 - Die Dimensionierungsszenarien können historisch sein oder auch synthetisch erstellt werden
- Statistische Auswertungen, Berechnung von Regenhöhen-Wiederkehrperioden und Wiederkehr-Dauer-Häufigkeitskurven
- Statistische Einordnung der Dimensionierungsszenarien.

2.3 Vorgehen

Das Vorgehen sah folgende Schritte vor:

- Recherchen hinsichtlich der verschiedenen vorhandenen Niederschlagsmessstationen (Meteo-Schweiz, Kantone, Gemeinden, Verbände), Abklärungen bei kantonalen Fachstellen
- Sammeln der Regendatenreihen und Ablage als Rohdaten
- Sichtung und Erstbeurteilung der Regendaten
- Datenumwandlung und Import in hydrometrische Datenbank
- Auswertung der Intensitäten und Ereignisse mittels automatisierten Auswertungen (für jedes Jahr und über die gesamte Periode) für die Jahre 2000 bis 2017.
- Definition und Datenerarbeitung von 5 Starkniederschlagsereignissen aufgrund der Auswertungen
- Definition und Datenerarbeitung von 4 Dimensionierungsszenarien (kurzzeitige Starkregen, Landregen; je mit maximaler Intensität am Anfang und in der Mitte des Ereignisses).

3. AUSGEFÜHRTE ARBEITEN

3.1 Recherchen

Neben der Aufbereitung der bekannten Datensätzen (MeteoSchweiz, Kanton Luzern und GVRZ) wurden verschiedene Abklärungen zu weiteren brauchbaren Regendaten und Inputs zu den angestrebten Auswertungen durchgeführt:

- Peter Keller, Amt für Umweltschutz Kanton Zug:
Keine kantonalen Messstationen vorhanden; allenfalls Messstationen von Agroscope (konnten schlussendlich nicht gebraucht werden aufgrund Messmethode und v.a. Auflösung von 1-h).
- Daniel Bollinger, Amt für Wald und Naturfahren Kanton Schwyz:
Keine weiteren Messstationen bekannt, welche die Bedingungen erfüllen. Jedoch wichtige Arbeit zu Starkniederschlagsereignisse (Überprüfung Starkniederschlagsereignisse durch Ingenieurbüro Barth AG aus dem Jahr 2009) geliefert.
- Oliver Blumer, Holinger AG, Hünenberg:
Begrüsst die Erarbeitung von Regendatenreihen für Modelle der Siedlungsentwässerung. Normalerweise wurden für GEP-Berechnungen in der Region statische Regenspende von 360 l/(s*ha) respektive 390 l/(s*ha) (z=5 oder mehr) verwendet). Im Einzugsgebiet GVRZ wurde nie mit Modellregen, respektive echten Regenereignisse gerechnet.
- Herr Meier, BG Ingenieure, Baar (früher ARP Baar):
Keine Verwendung von dynamischen Modelle bekannt. Bereit, aufbereitete Regendaten im Rahmen von künftigen Projekten einzusetzen und zu prüfen.
- Armin Büeler, De Ruyter + Partner AG:
Ist bereit, erarbeitete Regendatenreihen im Rahmen des GEP Arth im Frühling 2016 zu prüfen. Verwendet (wie alle übrigen angefragten GEP-Ingenieure der Region) MIKE URBAN.
- Christoph Müller, Geozug Ing. AG:
Konnte den Hinweis zu den Regendaten von Aegeriwetter machen. Geozug griff diverse Male auf diese Daten zurück.
- Roland Käser, Aegeriwetter:
Betreibt eine private Wetterstation in Unterägeri. Konnte Regendaten ab Sommer 2002 bis Ende 2015 liefern (Auflösung 10-Minutenwerte).

3.2 Sammlung der vorhanden Regendaten

3.2.1 Kriterien Messstellenauswahl und verwendete Messstellen

Anhand der Aufgabenstellung wurde entschieden, dass die Regendaten folgende Kriterien erfüllen sollen:

- Zeitraum 10 Jahre oder mehr
- aktuelle Messreihe (Datensätze bis 2017)
- Auflösung von 10 Minuten, idealerweise 1-Minuten-Summen.

Bei Projektbeginn wurde davon ausgegangen, dass neben der MeteoSchweiz-Station 4859 Cham und der Messstation LUNS03 Root noch von rund 1 bis 2 weiteren Niederschlagsmessstationen im weiteren

Einzugsgebiet des GVRZ für GEP-Regenreihen in Fragen kommen könnten. Unter anderem soll auch eine Sichtung der Messdaten des GVRZ (Messgeräte Parsivel) vorgenommen werden.

3.2.2 vorhandene und verwendete Datenreihen

Bekannte und gut dokumentierte Datenreihen liegen von der MeteoSchweiz-Station 4859 Cham (Auflösung 10-Minutenschritte) und der Messstation LUNS03 Root des Kantons Luzern vor.

- **MeteoSchweiz, 4859 Cham:**

Die MeteoSchweiz betreibt seit vielen Jahren eine Regenmessstation in Cham. Bis 31.08.2001 lag die Messstation in der Nähe des Zugersees (Stations-Nr./Indikativ: 4860). Seit 01.09.2001 wird die Messstelle am heutigen Standpunkt betrieben (siehe Anhang A und Tabelle 3.1).

Am 01.07.2014 wurde das Messgerät ausgetauscht. Seither wird eine Niederschlagswaage Typ Pluvio2 (Hersteller Ott Hydrometrie) betrieben. Die Umstellung von der alten Kippwaage auf das Wägesystem hatte einen erheblichen Einfluss auf die Regenmessung (siehe Kapitel 4.2). Aufgrund dieser Tatsache wurden die Auswertungen ab 31.08.2015 nicht mehr weitergeführt.

- **Kanton Luzern, uwe, LUNS03 Root ARA Rontal:**

Der Kanton Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie betreibt seit dem Jahr 2000 zusammen mit dem Kanton Aargau ein Regenmessnetz mit gemeinsam rund 20 Messstationen. Seit dem 01.01.2000 werden die Regensummen durch ein Wägesystem Pluvio (Hersteller Ott Hydrometrie) gemessen.

Bereits in der Periode 1991 bis 1999 wurde am selben Standort eine Regenmessstation mittels Kippwaage betrieben. Diese Daten wurden für die vorliegenden Auswertungen nicht verwendet.

- **Aegeriwetter, Private Messstation (Herr Roland Käser, Unterägeri):**

Herr Roland Käser betreibt seit Sommer 2002 eine private Klimastation mit Regensammler. Seit dem 01.10.2007 werden die Regensummen durch eine Kippwaage Davis Vantage (Hersteller Davis Instruments Corp.) gemessen.

Die verschiedenen Recherchen zu den Regendaten im Einzugsgebiet des GVRZ zeigten, dass keine weiteren verwendbaren Regendatenreihen vorhanden sind.

- **GVRZ-Messstationen:**

Der GVRZ besitzt vier Regenmesser vom Typ Parsivel (Hersteller Ott Hydrometrie), welche an vier Standorten im Verbandsgebiet bei Anlagen des GVRZ stehen (Greppen, Unterägeri, Zug – Siebach, ARA Schönau) und seit ca. 01.01.2006 Regendaten mittels einem optischen Messverfahren aufzeichnen. Es ist bekannt, dass die Regensummen über längere Zeiträume eher zu hohe bis massiv zu hohe Werte liefern. Insbesondere bei Schneefall oder starkem Wind sind die Fehlmessungen erheblich.

Eine vertiefte Analyse der vom GVRZ gelieferten Daten (10-Minuten-Summen) zeigt:

- bei Regenereignissen von Frühling bis Herbst grundsätzlich Daten vorhanden, die möglicherweise plausibel sind.
- im Vergleich zu den stärkeren Regenereignissen von LUNS03 Root und 4859 Cham jedoch oft zweifelhaft, respektive mit erheblichen Unsicherheiten behaftet (entweder einiges grössere oder meist verhältnismässig recht tiefe Summen).

Die vorhandenen Regenmesser des GVRZ zeigen verlässlich an, wenn es regnet. Die Regensummen und vor allem hohen Intensitäten müssen angezweifelt werden. Die Regendaten sind daher für die vorliegende Aufgabenstellung nicht brauchbar.

Es wurden daher folgende Datenreihen ausgewertet (Tabelle 3.1):

Station Nr.	Ort	Koordinaten	Datenherr	Periode	Auflösung	Messsystem Niederschlag
4859	Cham	677'758 / 226'878	MeteoSchweiz	01.01.2000 bis 31.08.2015	10 min	Kippwaage (bis 04.14) Wägesystem (ab 07.14)
LUNS03	Root	672'060 / 218'910	uwe Kanton Luzern	01.01.2000 bis 31.12.2017	1 min	Wägesystem
ZGNS01	Unterägeri	686'910 / 220'682	Aegeriwetter Roland Käser	01.07.2002 bis 31.12.2017	10 min	Kippwaage

Tabelle 3.1 Verwendete Regendatenreihen für die statistischen Auswertungen

3.3 Auswertungen und Interpretationen

3.3.1 Methodik der statistischen Auswertungen der Regensummen

Die statistischen Auswertungen basieren auf den Auswertungen, welche im Zusammenhang mit dem Hydrografischen Jahrbuch Kanton Luzern vorgenommen werden (Auswertungen für die Jahre 2000 bis 2017 für LUNS03, respektive 2002 für ZGNS01 bis 2017; siehe Anhang B).

Dabei werden die hochaufgelösten Regendaten (1-Min- oder 10-Minutensummen) pro Jahr automatisch zu Summen zusammengefügt. Einerseits bei der Auswertung „Jahrbuchseite Ereignisse“ zu den grössten drei Niederschlagssummen pro Jahr mit einem Unterbruch von weniger als 30 Minuten. Andererseits bei der Auswertung „Jahrbuchseite Intensitäten“ zu den 10 grössten Summen in den verschiedenen Zeitschritten 10 Minuten, 20 Minuten, 30 Minuten, 60 Minuten, 2 Stunden und 4 Stunden.

Bei allen drei Auswertungen werden zudem die 10 grössten Summen über die gesamte Auswerteperiode (2000/2002 bis 2015/2017) aufgeführt.

3.3.2 Extremalverteilung

Die jährlichen maximalen Niederschlagshöhen der Jahre 2000 bis 2017 wurden extremwertstatistisch analysiert, und zwar in den Zeitschritten von 10 Minuten, 20 Minuten, 30 Minuten, 60 Minuten, 2 Stunden, 4 Stunden, 6 Stunden, 12 Stunden, 24 Stunden und 72 Stunden. Als Verteilungsfunktionen wurde die 1. Extremalverteilung (Gumbelverteilung, siehe dazu auch Erläuterungen in HADES) angewandt.

Teilweise würde wohl die 2. Extremalverteilung ein höheres Bestimmtheitsmass liefern. Aufgrund der erwarteten kleinen Veränderungen und der noch kurzen Auswerteperiode wurde darauf verzichtet.

3.3.3 Regenhöhen-Wiederkehrperioden

Mit Hilfe der in Kapitel 3.1 bezeichneten Methode wurden die Regenhöhen bei bestimmten Wiederkehrperioden anhand der Regendaten der Jahre 2000 bis 2017 berechnet.

Daraus ergeben sich Regenhöhen in Millimeter pro Regendauer und Wiederkehrperioden.

3.3.4 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve

Mit den berechneten Regenhöhen für die 2-jährige Wiederkehrperiode $T=2$ und die 5-jährige Wiederkehrperiode $T=5$ wurde im Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurven (IDF) Diagramm ein graphischer Vergleich mit der Norm 640 350 (Regedaten ANETZ-Stationen 1985 bis 1995) und der Regenintensitätskurve Luzern (1959 bis 1979) vorgenommen. Bei der Norm 640 350 sind je nach Standort die Kurven für die Voralpen oder das Mittelland dargestellt.

Sowohl bei der Norm 640 350 als auch bei der Regenintensitätskurve Luzern kommt die Formel von Talbot zur Anwendung, wobei die Koeffizienten a_T und b_T sich nach Jährlichkeit unterscheiden. Für die Berechnung wurden unterschiedliche Werte gewählt. Zudem wird die Zeit t bei der Norm 640 350 in Stunden und bei der Regenintensitätskurve Luzern in Minuten eingesetzt:

Formel von Talbot:
$$i(t, T) = \frac{a_T}{t + b_T}$$

3.3.5 Auswahl der Ereignisse

Die Auswahl der Ereignisse gemäss Kapitel 1 für mögliche historische Dimensionierungsregen wurde in erster Linie aufgrund der Wiederkehrperiode (Intensitäten nach Zeitschritten) vorgenommen. Es gibt mit Bestimmtheit einige andere Ereignisse, die je nach Aufgabestellung besser auf die beschriebenen Ereignisszenarien passen würden. Anhand der in Anhang A dargestellten periodischen Intervalle lässt sich nach bestimmten Ereignissen suchen. Diese können auf Verlangen nachgeliefert werden.

3.3.6 Dimensionierungsszenarien

Mit Hilfe der automatisch generierten Jahrbuchseiten wurden die grössten Ereignisse detektiert und in einer hydrometrischen Datenbank als einzelne Ereignisse mit dem Zeitraum von 1 Tag vor bis 3 Tage nach dem Ereignis in der originalen Auflösung abgespeichert. Die Daten wurden nochmals kontrolliert und validiert.

Als weiterer Bearbeitungsschritt wurden die Dimensionierungsszenarien generiert (Kapitel 7).

3.3.7 Synthetisierte Datensätze

Aus den statistischen Auswertungen der Messstation LUNS03 und ZGNS01 wurden synthetisierte Datensätze für eine Wiederkehrperiode von $z = 5$ Jahren geniert:

- Frontalgewitter, Maximum nach 20 Minuten, Ereignis 4 Stunden
- Landregen, Maximum nach 30 Minuten, Ereignis 6 Stunden.

4. BEARBEITUNG DER REGENDATEN

4.1 Auswertungen der Regensummen

4.1.1 Messstation SMN 4859 Cham

Die nachfolgend dargestellte Auswertung der Niederschlagsintensitäten über 16 Jahre (2000 bis 2015) zeigt (Tabelle 4.1):

- die höchsten 10-Minuten-Summen liegen bei 16.1 mm bis 9.3 mm.
- die höchsten 60-Minuten-Summen liegen bei 27.8 mm bis 18.8 mm.
- die höchsten 4-Stunden-Summen liegen bei 37.0 bis 26.7 mm.

2000 - 2015	Niederschlagsintensitäten in der Periode 2000 - 2015								
	10-Min-Intervall			20-Min-Intervall			30-Min-Intervall		
	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]
1. Rang	16.10	09.06.2007 14:20	268.33	21.20	13.07.2011 03:20	176.67	23.30	13.07.2011 03:20	129.44
2. Rang	14.00	25.08.2009 16:30	233.33	18.80	25.08.2009 16:30	156.67	22.50	25.08.2009 16:30	125.00
3. Rang	13.70	13.07.2011 03:20	228.33	18.20	12.06.2003 20:00	151.67	21.90	12.06.2003 20:00	121.67
4. Rang	10.60	12.06.2003 20:10	176.67	16.50	09.06.2007 14:10	137.50	21.50	24.07.2004 01:40	119.44
5. Rang	10.40	26.05.2009 14:00	173.33	15.90	24.07.2004 01:40	132.50	20.00	26.05.2009 14:00	111.11
6. Rang	10.00	01.07.2008 18:50	166.67	15.40	26.05.2009 14:00	128.33	18.30	10.08.2014 22:00	101.67
7. Rang	9.90	20.08.2002 16:20	165.00	14.90	05.06.2000 15:50	124.17	17.70	31.08.2002 19:00	98.33
8. Rang	9.90	18.06.2009 21:30	165.00	14.90	20.08.2002 16:10	124.17	17.10	01.07.2008 18:40	95.00
9. Rang	9.40	24.07.2004 01:50	156.67	14.70	19.05.2003 14:40	122.50	16.90	05.06.2000 15:50	93.89
10. Rang	9.30	21.07.2007 16:30	155.00	14.00	10.08.2014 22:00	116.67	16.60	09.06.2007 14:10	92.22
2000 - 2015	60-Min-Intervall			2-Std-Intervall			4-Std-Intervall		
	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]
	1. Rang	27.80	24.07.2004 01:40	77.22	28.90	24.07.2004 01:00	40.14	37.00	10.08.2014 22:00
2. Rang	26.70	25.08.2009 16:20	74.17	28.40	25.08.2009 16:00	39.44	35.90	05.06.2000 15:00	24.93
3. Rang	24.80	13.07.2011 03:10	68.89	25.90	10.08.2014 22:00	35.97	32.50	24.07.2004 01:00	22.57
4. Rang	23.20	26.05.2009 14:00	64.44	25.70	05.06.2000 16:00	35.69	32.20	27.04.2015 23:00	22.36
5. Rang	22.60	31.08.2002 18:50	62.78	25.30	20.08.2002 16:00	35.14	32.20	25.08.2009 16:00	22.36
6. Rang	22.40	10.08.2014 22:00	62.22	24.90	13.07.2011 03:00	34.58	31.20	08.08.2007 16:00	21.67
7. Rang	22.30	12.06.2003 19:40	61.94	24.00	31.08.2002 19:00	33.33	29.80	20.08.2002 16:00	20.69
8. Rang	21.30	05.06.2000 15:50	59.17	23.70	26.05.2009 14:00	32.92	27.90	26.05.2009 14:00	19.38
9. Rang	20.40	20.08.2002 16:10	56.67	22.30	12.06.2003 19:00	30.97	27.20	09.09.2005 21:00	18.89
10. Rang	18.80	01.07.2008 18:40	52.22	21.50	05.06.2003 20:00	29.86	26.70	27.07.2009 21:00	18.54

Zeit entspricht Intervallbeginn

Datengrundlage: 10-Min-Intervall bis 60-Min-Intervall: 10-Min-Werte; ab 2-Std-Intervall: 1-Std-Werte

Datengrundlage: MeteoSchweiz

Datenauswertung ab 01.01.2000

Auswertung: MONITRON

Tabelle 4.1 Statistische Auswertungen Niederschlagsintensitäten SMN 4859 Cham 2000 bis 2015

Allgemein fällt auf, dass die Intensitäten verhältnismässig und im Vergleich zur relativ nahe gelegenen Messstation LUNS03 (Kapitel 4.1.2) gering sind.

4.1.2 Messstation Kanton Luzern LUNS03 Root

Die nachfolgend dargestellte Auswertung der Niederschlagsintensitäten über 18 Jahre (2000 bis 2017) zeigt (Tabelle 4.2):

- die höchsten 10-Minuten-Summen liegen bei 26.3 mm bis 12.1 mm.
- die höchsten 60-Minuten-Summen liegen bei 48.1 mm bis 28.7 mm.
- die höchsten 4-Stunden-Summen liegen bei 65.1 bis 39.3 mm.

Niederschlagsintensitäten in der Periode 2000 - 2017									
2000 - 2017	10-Min-Intervall			20-Min-Intervall			30-Min-Intervall		
	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]
1. Rang	26.27	20.08.2005 08:30	437.83	36.29	20.08.2005 08:30	302.42	40.70	20.08.2005 08:30	226.11
2. Rang	25.42	18.08.2017 17:50	423.67	32.28	18.08.2017 17:50	269.00	37.46	18.08.2017 17:40	208.11
3. Rang	20.31	22.07.2010 15:10	338.50	30.17	22.07.2010 15:00	251.42	32.82	05.07.2006 18:30	182.33
4. Rang	18.15	04.07.2005 13:20	302.50	27.20	08.08.2009 12:00	226.67	31.43	12.06.2014 18:30	174.61
5. Rang	17.40	07.06.2012 18:50	290.00	25.48	05.07.2006 18:40	212.33	30.81	22.07.2010 15:00	171.17
6. Rang	17.30	05.07.2006 18:40	288.33	25.29	12.06.2014 18:30	210.75	30.78	08.08.2009 11:50	171.00
7. Rang	16.99	12.06.2014 18:40	283.17	23.52	04.07.2005 13:10	196.00	28.47	25.08.2009 16:30	158.17
8. Rang	16.46	08.08.2009 12:00	274.33	23.33	07.06.2012 18:50	194.42	27.12	07.06.2012 18:50	150.67
9. Rang	13.17	25.08.2009 16:30	219.50	21.75	25.08.2009 16:30	181.25	26.72	04.07.2005 13:10	148.44
10. Rang	13.01	30.05.2017 19:50	216.83	19.28	21.06.2006 16:00	160.67	24.42	06.06.2003 21:00	135.67
2000 - 2017	60-Min-Intervall			2-Std-Intervall			4-Std-Intervall		
	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]
1. Rang	48.10	20.08.2005 08:20	133.61	50.78	20.08.2005 08:00	70.53	65.05	31.08.2002 18:00	45.17
2. Rang	41.64	18.08.2017 17:30	115.67	43.89	07.06.2012 18:00	60.96	53.55	07.06.2012 18:00	37.19
3. Rang	37.99	05.07.2006 18:30	105.53	42.13	18.08.2017 17:00	58.51	53.53	02.08.2007 23:00	37.17
4. Rang	37.16	07.06.2012 18:30	103.22	39.19	31.08.2002 18:00	54.43	53.19	20.08.2005 08:00	36.94
5. Rang	36.79	12.06.2014 18:10	102.19	38.67	05.07.2006 18:00	53.71	47.91	27.04.2015 21:00	33.27
6. Rang	34.26	08.08.2009 11:40	95.17	37.24	12.06.2014 18:00	51.72	43.74	18.08.2017 16:00	30.38
7. Rang	32.82	25.08.2009 16:30	91.17	36.05	25.08.2009 16:00	50.07	43.41	05.07.2006 18:00	30.15
8. Rang	31.36	22.07.2010 15:00	87.11	35.54	08.08.2009 11:00	49.36	42.71	08.08.2009 10:00	29.66
9. Rang	29.64	06.06.2003 20:50	82.33	33.25	02.08.2007 23:00	46.18	40.26	25.08.2009 16:00	27.96
10. Rang	28.72	26.06.2009 11:50	79.78	33.14	27.04.2015 22:00	46.03	39.32	22.07.2010 15:00	27.31

Zeit entspricht Intervallbeginn Datengrundlage: 10-Min-Intervall bis 60-Min-Intervall: 10-Min-Werte; ab 2-Std-Intervall: 1-Std-Werte

Tabelle 4.2 Statistische Auswertungen Niederschlagsintensitäten LU03 Root 2000 bis 2017

Die Intensitäten sind im Vergleich zu SMN4859 (Kapitel 4.1.1) markant höher. Ein Vergleich mit nahegelegenen Messstationen des Kantons Luzern und ZGNS01 Unterägeri zeigt ähnliche Intensitäten wie in Root.

4.1.3 Messstation Aegeriwetter ZGNS01 Unterägeri

Die nachfolgend dargestellte Auswertung der Niederschlagsintensitäten über 18 Jahre (2000 bis 2017) zeigt (Tabelle 4.3):

- die höchsten 10-Minuten-Summen liegen bei 21.8 mm bis 13.2 mm.
- die höchsten 60-Minuten-Summen liegen bei 49.0 mm bis 26.0 mm.
- die höchsten 4-Stunden-Summen liegen bei 80.2 bis 38.8 mm.

Niederschlagsintensitäten in der Periode 2002 - 2017									
2002 - 2017	10-Min-Intervall			20-Min-Intervall			30-Min-Intervall		
	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]
1. Rang	21.78	04.07.2005 14:30	363.00	36.08	04.07.2005 14:20	300.67	42.02	04.07.2005 14:20	233.44
2. Rang	19.58	07.09.2006 21:10	326.33	30.14	05.07.2006 19:50	251.17	37.80	04.07.2009 19:00	210.00
3. Rang	18.92	05.07.2006 19:50	315.33	28.80	10.07.2010 19:50	240.00	36.96	05.07.2006 19:40	205.33
4. Rang	18.20	10.07.2010 19:50	303.33	25.74	07.09.2006 21:10	214.50	36.80	10.07.2010 19:50	204.44
5. Rang	18.04	16.07.2003 15:10	300.67	25.60	04.07.2009 19:00	213.33	32.50	06.06.2003 21:00	180.56
6. Rang	16.72	22.07.2003 22:50	278.67	25.30	06.06.2003 21:00	210.83	28.16	22.07.2003 22:40	156.44
7. Rang	15.00	04.08.2014 19:40	250.00	24.86	22.07.2003 22:40	207.17	27.72	07.09.2006 21:00	154.00
8. Rang	14.50	06.06.2003 21:10	241.67	22.66	16.07.2003 15:10	188.83	23.10	19.07.2007 19:10	128.33
9. Rang	14.30	04.07.2005 14:20	238.33	22.66	19.07.2007 19:10	188.83	22.66	16.07.2003 15:00	125.89
10. Rang	13.20	03.06.2017 20:50	220.00	21.40	22.07.2010 16:10	178.33	22.66	13.08.2003 21:50	125.89
2002 - 2017	60-Min-Intervall			2-Std-Intervall			4-Std-Intervall		
	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]	N [mm]	Datum Zeit	Intensität [l/(s*ha)]
1. Rang	49.00	04.07.2009 18:50	136.11	61.05	06.06.2003 21:00	84.79	80.20	29.06.2011 21:00	55.69
2. Rang	46.75	06.06.2003 20:40	129.86	49.20	04.07.2009 18:00	68.33	75.90	06.06.2003 20:00	52.71
3. Rang	45.76	05.07.2006 19:40	127.11	47.52	04.07.2005 14:00	66.00	49.60	04.07.2009 17:00	34.44
4. Rang	42.90	04.07.2005 14:20	119.17	46.42	05.07.2006 19:00	64.47	49.50	05.07.2006 19:00	34.38
5. Rang	40.80	10.07.2010 19:40	113.33	42.40	29.06.2011 23:00	58.89	48.62	04.07.2005 14:00	33.76
6. Rang	29.60	24.07.2016 21:10	82.22	41.00	10.07.2010 19:00	56.94	48.18	22.08.2005 06:00	33.46
7. Rang	29.48	07.09.2006 21:00	81.89	33.44	22.08.2005 08:00	46.44	44.22	02.06.2004 20:00	30.71
8. Rang	29.04	22.07.2003 22:20	80.67	33.40	24.07.2016 21:00	46.39	41.20	10.07.2010 19:00	28.61
9. Rang	28.40	29.06.2011 22:50	78.89	32.56	02.06.2004 22:00	45.22	39.00	24.07.2016 21:00	27.08
10. Rang	25.96	22.08.2005 04:00	72.11	30.50	19.05.2003 17:00	42.36	38.80	07.06.2012 19:00	26.94

Tabelle 4.3 Statistische Auswertungen Niederschlagsintensitäten LU03 Root 2000 bis 2015

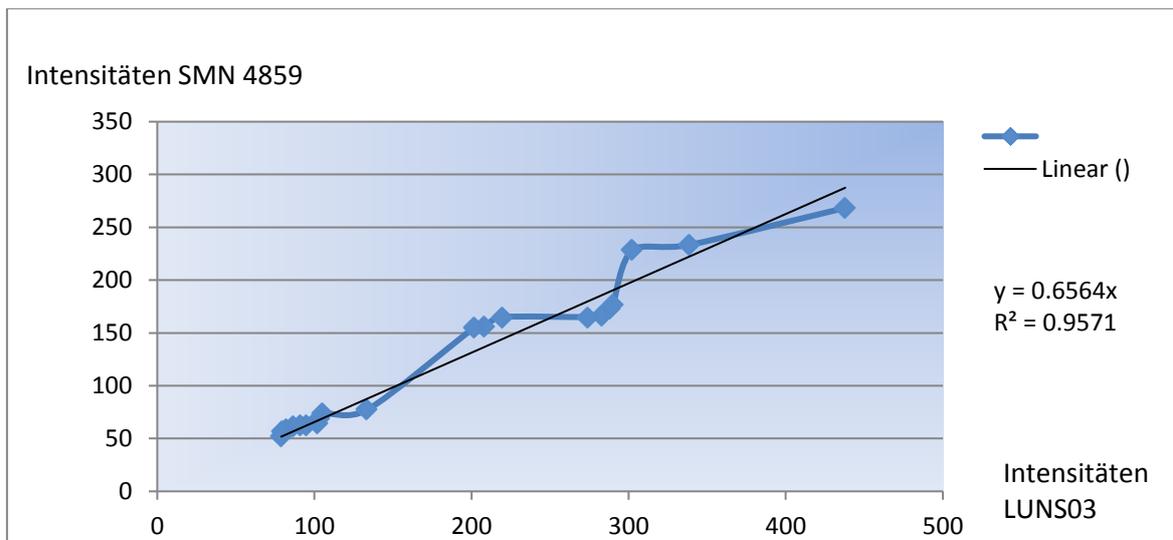
Die Intensitäten sind im Vergleich zu SMN4859 (Kapitel 4.1.1) markant höher, jedoch ähnlich wie LUNS03 Root. Einzig die zwei höchsten Intensitäten der 2- und 4-Stunden-Intervalle sind deutlich höher. Es handelt sich hier um zwei Frontalregen, welche gemäss Recherchen den Zug Rigi – Walchwil – Unterägeri nahm.

4.2 Vergleich der Messstationen SMN 4859 Cham und LUNS03 Root

4.2.1 Vergleich der Auswertungen Intensitäten

Der Vergleich der Auswertungen Intensitäten in den Jahren 2000 bis 2015 zeigen:

- dass die grösste Intensität pro Intervall bei SMN 4859 bei einem Faktor von rund 0.55 bis 0.61 gegenüber LUNS03 liegen.
- Auch der Vergleich der 10 grössten Intensitäten im 10-Minuten- und 1-Stunden-Intervall zeigt einen deutlichen Unterschied (siehe Tabelle 4.1) mit einem hohen Bestimmtheitsmass bei einer linearen Regression.



4.2.2 Vergleich der langjährigen Monatssummen

Der Vergleich der Monatssummen über mehrere Jahre (Abbildung 4.2) zeigt:

- eine grössere Abweichung in den Sommermonaten bis zur Umstellung des Messgeräts im Sommer 2014.
- zwischen Januar 2010 und Sommer 2014 beträgt der Faktor der Monatssummen zwischen SMN 4859 und LUNS03 85.6, nach Sommer 2014 99.4. D.h. seit der Umstellung sind die Monatssummen praktisch identisch, vorher waren die Abweichungen v.a. in den Sommermonaten (mit den intensiveren Niederschlägen) teils erheblich.

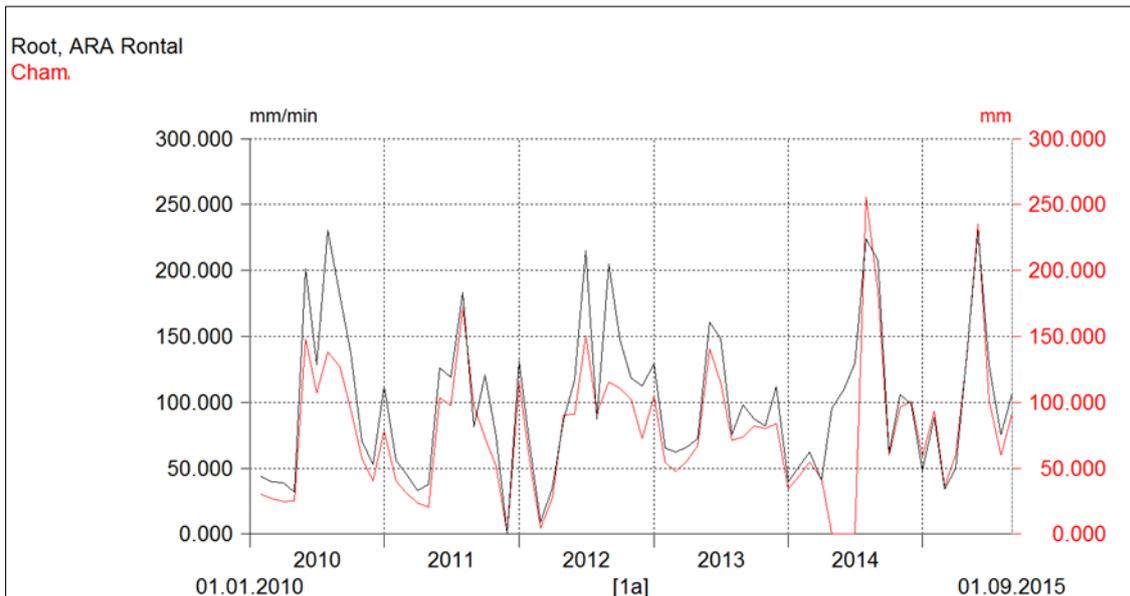


Abbildung 4.2 Vergleich der Monatssumme Januar 2010 bis August 2015 SMN 4859 und LUNS03

4.2.3 Schlussfolgerungen

Es können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- die Regensummen der alten Kippwaage bei SMN 4859 sind zu hinterfragen, insbesondere die Starkniederschläge.
- daher wird vorgeschlagen, nur mit den Regendaten von LUNS03 Root und ZGNS01 Unterägeri die weiteren Bearbeitungsschritte durchzuführen.

Die Schlussfolgerungen wurden am 04.11.2015 in einer Sitzung beim GVRZ besprochen und dem Vorschlag des weiteren Vorgehens (keine weitere Verwendung der Messstation SMN 4859) zugestimmt.

5. INTERPRETATION UND REGIONALE BEURTEILUNG

5.1 Regionale Betrachtung der Niederschlagsverteilung

Da im gesamten Einzugsgebiet des GVRZ nur zwei Messstationen mit plausiblen und brauchbaren Regendaten für Dimensionierungsereignisse existiert, ist eine regionale Betrachtung und Einordnung notwendig. Zudem ist in einer späteren Phase eine Überprüfung der Kanalnetzdaten mit den historischen Datenreihen angezeigt. Für die regionale Betrachtung stehen zwei Grundlagen zur Verfügung:

- HADES (1996): Hydrologischer Atlas der Schweiz, extreme Punktregen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901-1970, Niederschlagsdauer 1 Stunde, Wiederkehrperiode 2.33 Jahre (Abbildung 5.1).
- Überprüfung Starkniederschläge für den Kanton Schwyz (Ingenieure Barth AG, 2009) aufgrund der Auswertungen in HADES; Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes 1970 bis 1992.

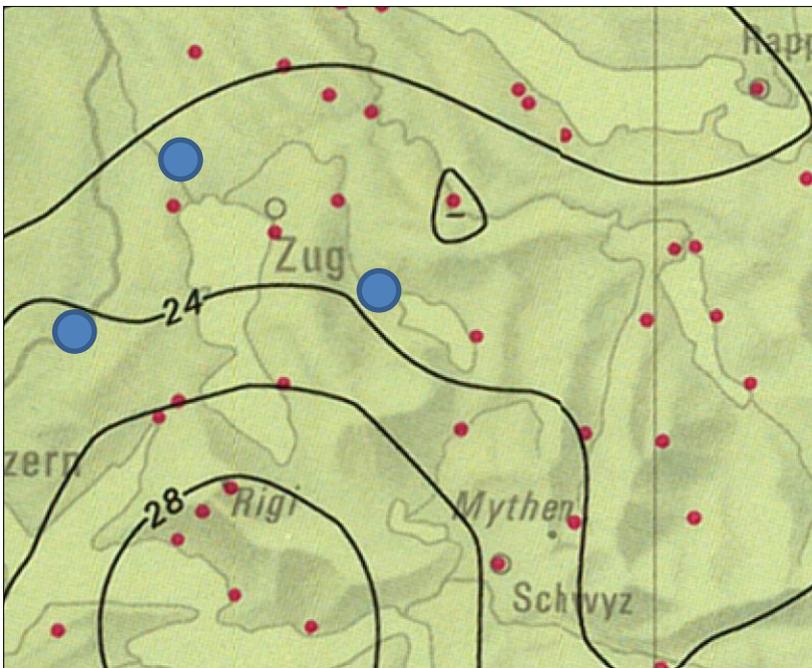


Abbildung 5.1 Auszug aus HADES (1996): extreme Punktregen Niederschlagsdauer 1 Stunde, Wiederkehrperiode 2.33 Jahre. Isohypsens in mm / Stunde.

Gemäss HADES (Abbildung 5.1) kann das Einzugsgebiet des GVRZ hinsichtlich der regionalen Siedlungsentwässerung grob in 3 Teilgebiete unterteilt werden (Tabelle 5.1):

Teilgebiet	Gemeinden	mm / h	l / (s*ha)
Süd	Arth, Greppen, Küssnacht	26 - 28	72 - 78
Mitte	Meierskappel, Walchwil, Teile von Risch	24 - 26	67 - 72
Nord	Baar, Cham, Hünenberg, Menzingen, Steinhausen, Unter- und Oberägeri, Zug, Teile von Risch	22 - 24	61 - 67

Tabelle 5.1 1-Stunden Starkniederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrperiode von 2.33 Jahre im Siedlungsgebiet GVRZ gemäss HADES

Die vertiefte Analyse von Barth zeigt leicht höhere 1-Stunden-Intensitäten bei 2.33 Jahren als HADES, jedoch nur geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen oben genannten Teilgebiete innerhalb des GVRZ (Tabelle 5.2).

Gemeinden	mm / h HADES /WSL	mm / h Bart 2009, 1. Extremalverteilung
Küssnacht	26.1	26.5
Sattel-Ägeri	25.0	27.1
Zugerberg	24.0	31.1
Lorzentobel	24.1	27.5
Cham	23.0	26.9
Sihlbrugg	23.0	27.0
Schwyz	26.0	27.1
Luzern	26.0	26.2

Tabelle 5.2 1-Stunden Starkniederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrperiode von 2.33 Jahre: Vergleich HADES zu Barth (2009)

Im Siedlungsgebiete GVRZ liegen die (1-h/2.33 a) bei rund 26.5 mm/h bis 27.1 mm/h (73.6-75.3 l/(s*ha)).

5.2 Einordnung der statistischen Auswertungen LUNS03 Root und ZGNS01

Die statistischen Auswertungen LUNS03 (Tabelle 4.2) und ZGNS01 (Tabelle 4.3) zeigen, dass rund 10 Ereignisse höher als 27 mm/h liegen.

In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass aus statistischen Starkniederschlagswerten nicht per se die historischen Niederschlagsereignisse abgeleitet oder direkt verglichen werden können. Die statistischen Werte liefern jedoch wertvolle Hinweise über Intensitäten und Zeitpunkte der historisch relevanten Ereignisse. Zudem geben sie wichtige Informationen zur Datenqualität.

Für eine statistische Einordnung sind spezifische statistische Berechnungen und entsprechend lange Datenreihen in hoher Qualität notwendig. Generell müssen die Datenperioden von 16 respektive 18 Jahre als kurz betrachtet werden.

5.2.1 Regenhöhen-Wiederkehrperioden

Die jährlichen maximalen Niederschlagshöhen der Jahre 2000 bis 2017 wurden extremwertstatistisch analysiert, und zwar in den Zeitschritten von 10 Minuten, 20 Minuten, 30 Minuten, 60 Minuten, 2 Stunden, 4 Stunden, 6 Stunden, 12 Stunden, 24 Stunden und 72 Stunden. Als Verteilungsfunktionen wurde die 1. Extremalverteilung (Gumbelverteilung, siehe dazu auch Erläuterungen in HADES: www.hydrologischeratlas.ch) angewandt.

Mit Hilfe dieser Methode wurden die Regenhöhen bei bestimmten Wiederkehrperioden anhand der Regendaten der Jahre 2000 bis 2017 berechnet. Daraus ergeben sich Regenhöhen in Millimeter pro Regendauer und Wiederkehrperioden.

5.2.2 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve

Mit den berechneten Regenhöhen für die 2-jährige Wiederkehrperiode $T=2$ und die 5-jährige Wiederkehrperiode $T=5$ wurde im Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurven (IDF) Diagramm ein graphischer Vergleich mit der Norm 640 350 (Regedaten ANETZ-Stationen 1985 bis 1995) und der Regenintensitätskur-

ve Luzern (1959 bis 1979) vorgenommen. Bei der Norm 640 350 sind je nach Standort die Kurven für die Voralpen oder das Mittelland dargestellt.

5.3 Regionalisierung der Datensätze für GEP-Bemessungsregen

Es wurden folgende Messstationen für die Bemessungsregen entsprechender Gemeinden bestimmt (Tabelle 5.3):

Station Nr.	Ort	Koordinaten	Datenherr	Periode	Auflösung	Bemessungsregen für Gemeinden im GVRZ
LUNS03	Root	672'060 / 218'910	uwe Kanton Luzern	01.01.2000 bis 31.12.2017	1 min	Region Nord-West: Baar, Cham, Hünenberg, Menzingen, Steinhausen, Zug, Risch
ZGNS01	Unterägeri	686'910 / 220'682	Aegeriwetter	01.06.2002 bis 31.12.2017	10 min	Region Süd-Ost: Arth, Greppen, Küssnacht, Un- ter- und Oberägeri, Walchwil

Tabelle 5.3 Verwendete Regendatenreihen für die Dimensionierungsszenarien GVRZ

6. Statistische Auswertungen

6.1 Regenhöhen-Wiederkehrperioden LUNS03 Root

Mit Hilfe der in Kapitel 3.1 bezeichneten Methode wurden die Regenhöhen bei bestimmten Wiederkehrperioden für die Regendaten LUNS03 der Jahre 2000 bis 2017 berechnet (Abbildung 6.1):

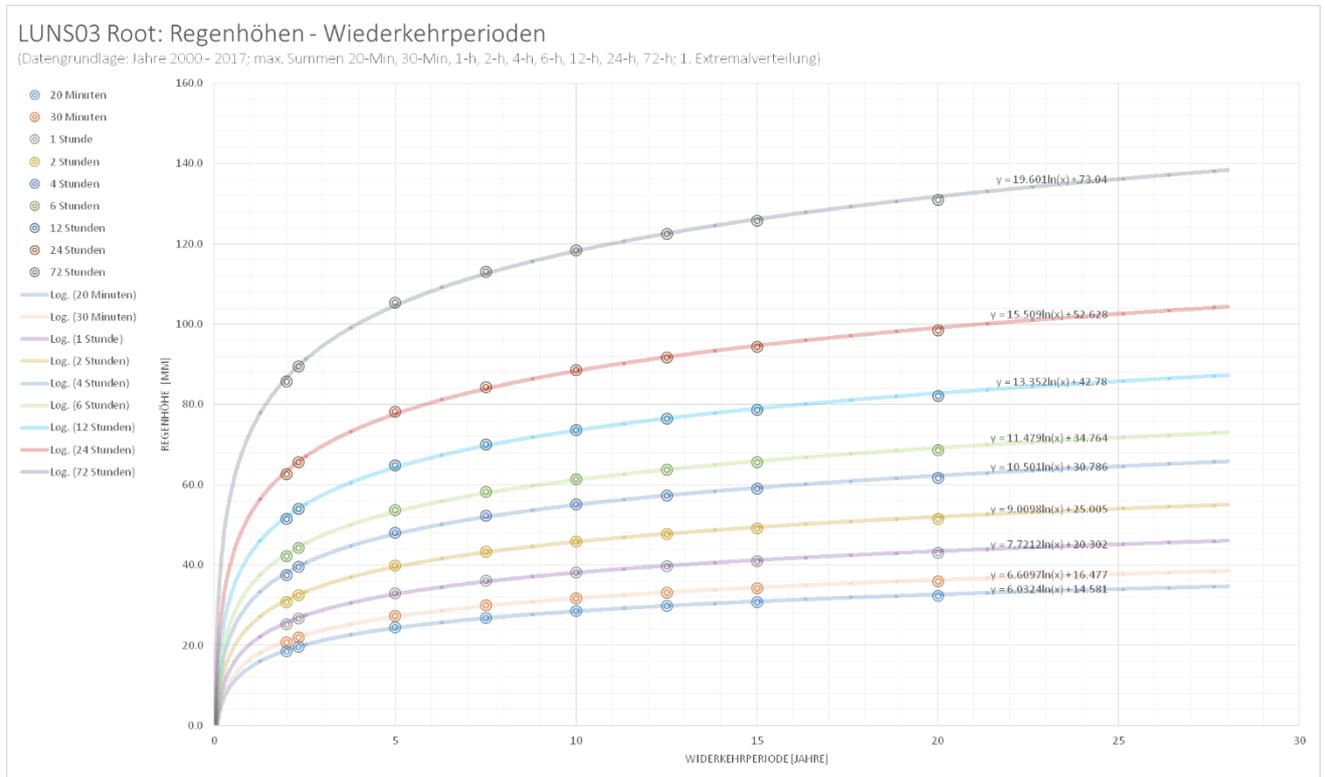


Abbildung 6.1 Diagramm Regenhöhen - Wiederkehrperioden LUNS03 Root 2000 bis 2017

Daraus ergeben sich für folgende Regendauer und Wiederkehrperioden die folgenden Regenmengen in Millimeter (Tabelle 6.1).

NS Höhe [mm]	Dauer									
	0.17	0.33	0.5	1	2	4	6	12	24	72
2	15.2	18.5	20.8	25.3	30.9	37.6	42.2	51.5	62.8	85.9
2.33	16.2	19.6	22.0	26.8	32.6	39.6	44.4	54.0	65.7	89.5
5	20.4	24.6	27.4	33.1	39.9	48.2	53.8	64.9	78.3	105.5
7.5	22.4	26.9	30.0	36.1	43.5	52.3	58.3	70.1	84.4	113.2
10	23.8	28.6	31.8	38.2	45.9	55.2	61.4	73.8	88.6	118.5
12.5	24.9	29.8	33.2	39.8	47.8	57.3	63.8	76.5	91.8	122.6
15	25.7	30.8	34.3	41.1	49.3	59.1	65.7	78.8	94.4	125.9
20	27.1	32.4	36.0	43.1	51.6	61.8	68.7	82.3	98.5	131.0

Tabelle 6.1 Statistische Regenhöhen - Wiederkehrperioden LUNS03 Root 2000 bis 2017

6.2 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve LUNS03 Root

Graphischer Vergleich mit den berechneten Regenhöhen für die 2-jährige Wiederkehrperiode $T=2$ (Abbildung 6.2) und die 5-jährige Wiederkehrperiode $T=5$ (Abbildung 6.3) mit der Norm 640 350 (Regedaten ANETZ-Stationen 1985 bis 1995) und der Regenintensitätskurve Luzern (1959 bis 1979) im Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurven (IDF) Diagramm.

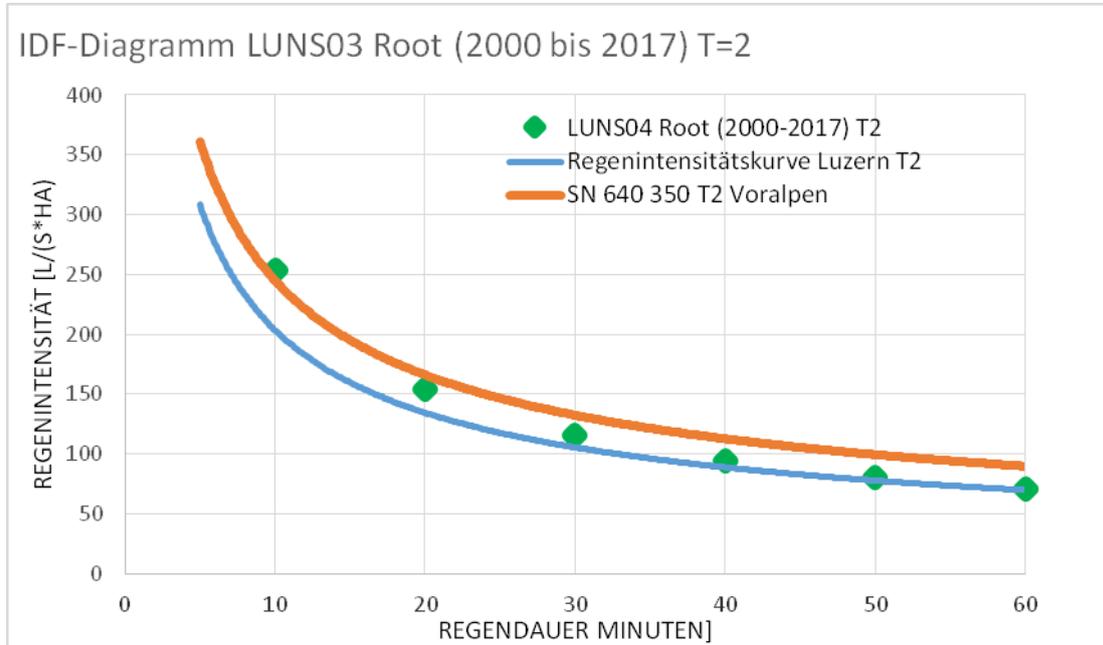


Abbildung 6.2 IDF-Diagramm LUNS03 Root (2000 bis 2017) Wiederkehrperiode $T=2$ Jahre

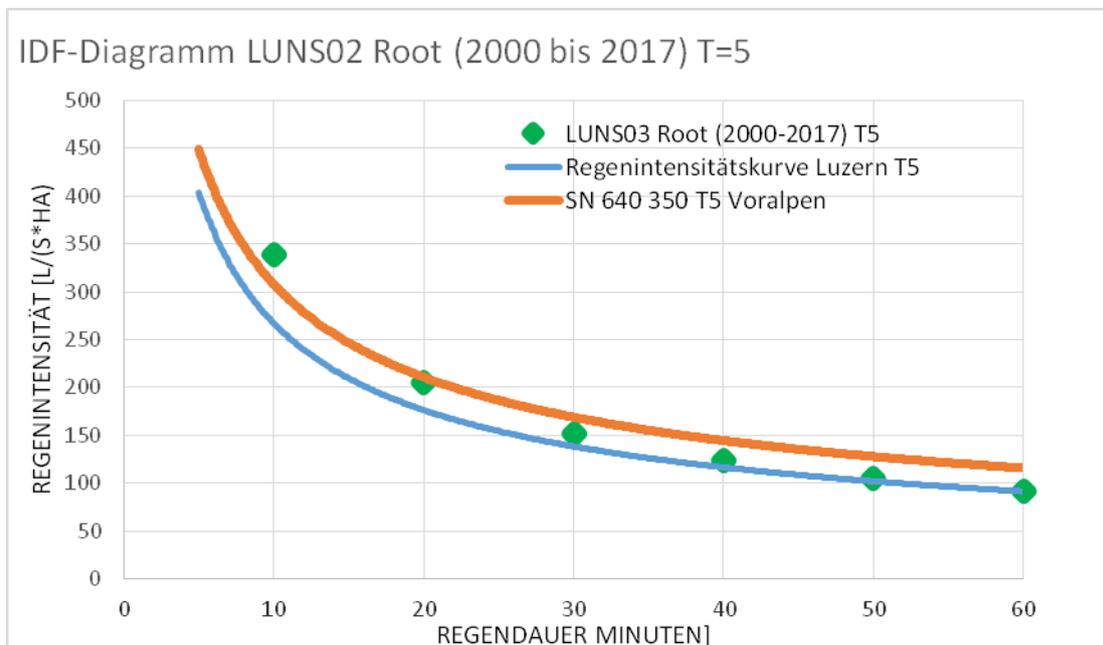


Abbildung 6.3 IDF-Diagramm LUNS03 Root (2000 bis 2017) Wiederkehrperiode $T=5$ Jahre

6.3 Regenhöhen-Wiederkehrperioden ZGNS01 Unterägeri

Mit Hilfe der in Kapitel 3.1 bezeichneten Methode wurden die Regenhöhen bei bestimmten Wiederkehrperioden für die Regendaten ZGNS01 der Jahre 2002 bis 2017 berechnet (Abbildung 6.1):

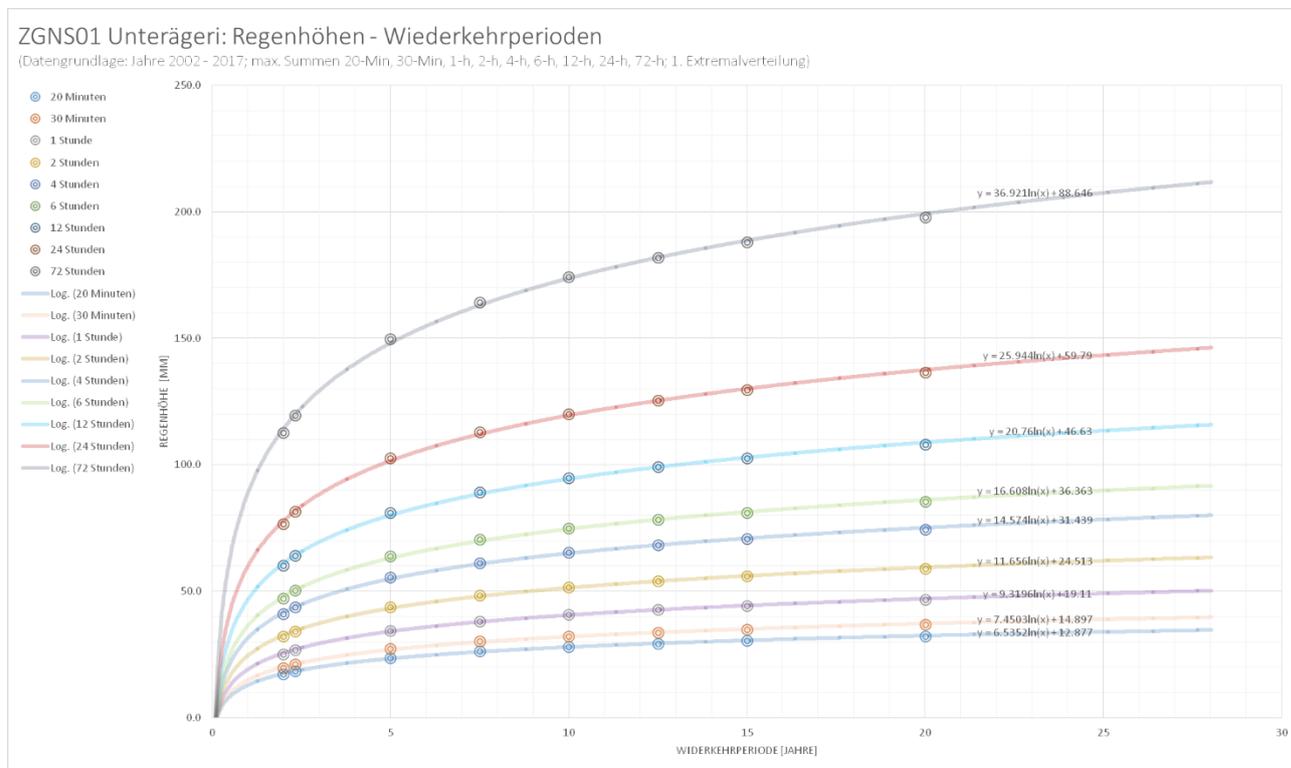


Abbildung 6.4 Diagramm Regenhöhen - Wiederkehrperioden ZGNS01 Unterägeri 2002 bis 2017

Daraus ergeben sich für folgende Regendauer und Wiederkehrperioden die folgenden Regenmengen in Millimeter (Tabelle 6.1).

NS Höhe [mm]	Dauer									
Wiederkehrperiode	0.17	0.33	0.5	1	2	4	6	12	24	72
2	13.4	17.1	19.8	25.2	32.1	40.9	47.2	60.2	76.7	112.7
2.33	14.4	18.4	21.2	26.9	34.3	43.7	50.3	64.1	81.6	119.7
5	18.7	23.7	27.2	34.5	43.8	55.6	63.9	81.0	102.7	149.8
7.5	20.7	26.3	30.2	38.2	48.4	61.3	70.4	89.2	112.9	164.3
10	22.2	28.0	32.2	40.7	51.6	65.3	74.9	94.8	120.0	174.3
12.5	23.2	29.4	33.7	42.7	54.0	68.3	78.3	99.1	125.3	181.9
15	24.1	30.5	35.0	44.2	55.9	70.7	81.1	102.6	129.7	188.1
20	25.5	32.2	36.9	46.7	59.0	74.5	85.5	108.0	136.5	197.8

Tabelle 6.2 Statistische Regenhöhen - Wiederkehrperioden ZGNS01 Unterägeri 2002 bis 2017

6.4 Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurve ZGNS01

Graphischer Vergleich mit den berechneten Regenhöhen für die 2-jährige Wiederkehrperiode $T=2$ (Abbildung 6.2) und die 5-jährige Wiederkehrperiode $T=5$ (Abbildung 6.3) mit der Norm 640 350 (Regedaten ANETZ-Stationen 1985 bis 1995) und der Regenintensitätskurve Luzern (1959 bis 1979) im Intensitäts-Dauer-Häufigkeitskurven (IDF) Diagramm.

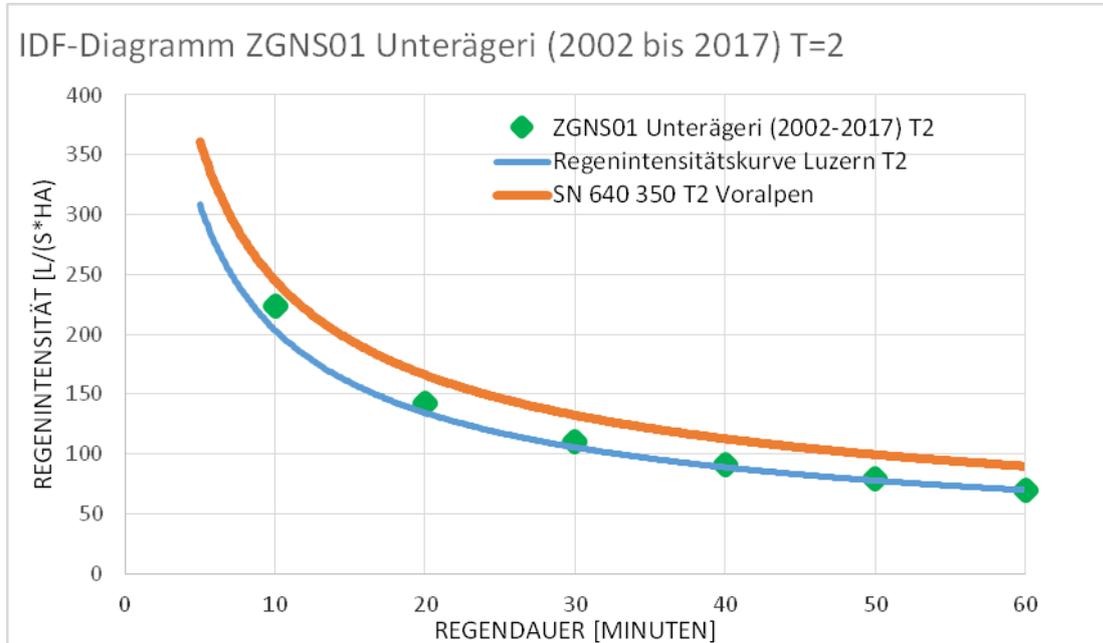


Abbildung 6.5 IDF-Diagramm ZGNS01 Unterägeri (2002 bis 2017) Wiederkehrperiode $T=2$ Jahre

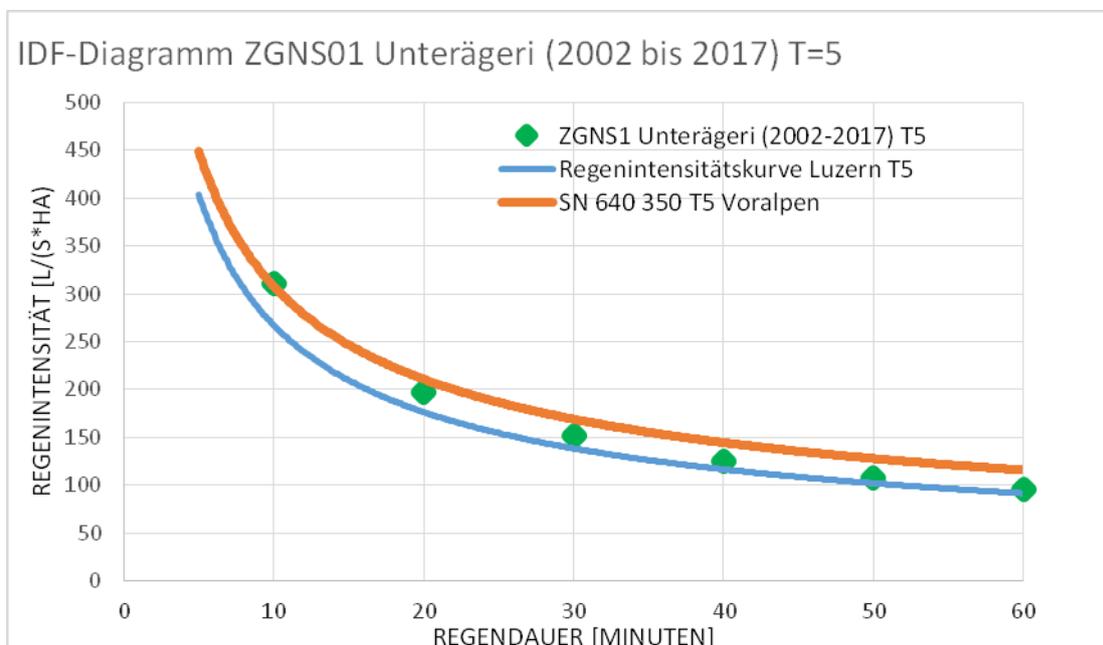


Abbildung 6.6 IDF-Diagramm ZGNS01 Unterägeri (2002 bis 2017) Wiederkehrperiode $T=5$ Jahre

7. Dimensionierungsszenarien

Um die historischen Regendaten auch mit den entsprechenden Abflussdaten aus dem Kanalnetz vergleichen zu können, wurden, wenn es möglich war, die gleichen Ereignisse als Dimensionierungsszenarien ausgewählt. Dadurch ist die Chance grösser, dass auch Siedlungsgebiete mit grösseren Abständen zu den Messstationen eine bessere Übereinstimmung der Daten Regen versus Kanalabfluss aufweisen.

Die vier Dimensionierungsszenarien decken folgende Regenereignisse ab:

- kurzzeitiger Starkregen mit hoher Intensität
- Landregen mit geringerer Intensität und längerer Dauer
- Jeweils mit einem Maximum am Anfang und in der Mitte des Ereignisses

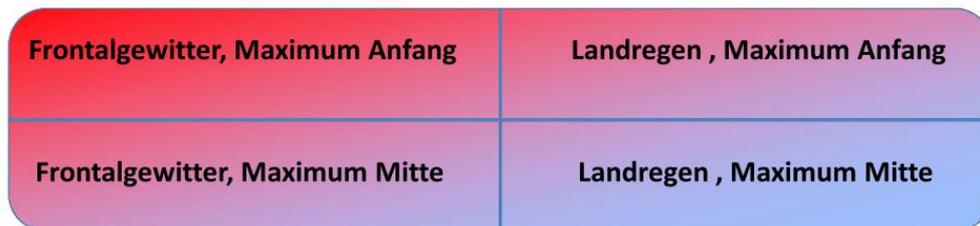


Abbildung 7.1 Raster Dimensionierungsszenarien

Zusätzlich wurde das Extremereignis vom 20.08.2005 bis 22.08.2005 als mögliches Ereignis für Belastungstests ausgewählt. Die Anwendung dieses Szenarios muss sehr bewusst erfolgen, da die Jährlichkeiten dieses Ereignis sehr hoch sind. Sie sind nur sehr bedingt zur Dimensionierung von Entwässerungsleitungen brauchbar.

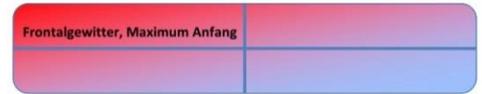
Es wurden nachfolgende Regenereignisse bestimmt. Die entsprechenden Ereignisse sind in der digitalen Beilage als ASCII-File beigelegt (aperiodisches Text-File und Import-Format MIKE URBAN).

Die Zeitreihen beginnen jeweils am Tag vor dem Ereignis und dauern bis 3 Tage über das Ereignis hinaus. Bei Bedarf können die Zeitreihen manuell gekürzt werden.

Die Daten der Messstation LUNS03 Root liegen als 1-Minuten-Daten und als 10-Minuten-Daten vor. Sie sind im Anhang C (nur in der digitalen Version) abgelegt.

Die Daten der Messstation ZGNS01 Unterägeri liegen als 10-Minuten-Daten vor. Sie sind im Anhang D (nur in der digitalen Version) abgelegt.

7.1.1 Frontalgewitter, Maximum am Anfang



7.1.1.1 Region Nord-West (Messstation LUNS03)

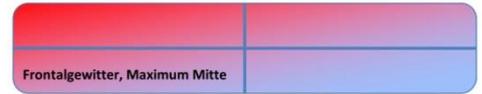
Datum	05.07.2006
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Intensitäten im Bereich von 10 Minuten bis 120 Minuten ■ Maximale Intensität 10-Minuten-Summe: 288 l/(s*ha) ■ Maximale Intensität 1-Stunden-Summe: 106 l/(s*ha) ■ Dauer Ereignis (Hauptniederschlag): ca. 2.5 h
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Root, ARA Rontal Sensor: 10-Minuten-Summen</p>
Statistische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ bis ca. 30 Minuten: 3- bis 4-jähriges Ereignis ■ bei ca.1 Stunde: 7.5-jähriges Ereignis ■ ab ca. 2 bis 3.5 Stunden: 5-jähriges Ereignis

7.1.1.2 Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)

Datum	05.07.2006
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Intensität 10 Minuten bis 120 Minuten ■ Maximale Intensität 10-Minuten-Summe: 315 l/(s*ha) ■ Maximale Intensität 1-Stunden-Summe: 130 l/(s*ha) ■ Dauer Ereignis (Hauptniederschlag): ca. 2.5 h
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Unterägeri Ennermatt Sensor: Niederschlag 10 Min-Summe</p>
Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ bis ca. 30 Minuten: 20-jähriges Ereignis ■ bei ca.1 Stunde: 15-jähriges Ereignis ■ ab ca. 2 bis 3.5 Stunden: 5-jähriges Ereignis

Es handelt sich um das gleiche Ereignis und dürfte daher grossflächig aufgetreten sein.

7.1.2 Frontalgewitter, Maximum in der Mitte



7.1.2.1 Region Nord-West (Messstation LUNS03)

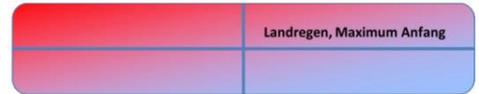
Datum	07.06.2012
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Intensitäten im Bereich von 10 Minuten bis 240 Minuten ■ Maximale Intensität 10-Minuten-Summe: 290 l/(s*ha) ■ Maximale Intensität 1-Stunden-Summe: 103 l/(s*ha) ■ Dauer Ereignis (Hauptniederschlag): ca. 5.5 h
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Root, ARA Rontal Sensor: 10-Minuten-Summen</p> <p>Maximum: 17.40 07.06.2012 19:00:00</p> <p>Minimum: 0.00 07.06.2012 12:10:00</p> <p>Summe: 87.99 Werte: 144 [144]</p>
Statistische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei ca. 30 Minuten: 3- bis 4-jähriges Ereignis ■ bei ca. 1 Stunde: 7.5-jähriges Ereignis ■ ab ca. 2 Stunde: 10-jähriges Ereignis

7.1.2.2 Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)

Datum	04.07.2009
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Intensität 10 Minuten bis 120 Minuten ■ Maximale Intensität 10-Minuten-Summe: 315 l/(s*ha) ■ Maximale Intensität 1-Stunden-Summe: 130 l/(s*ha) ■ Dauer Ereignis (Hauptniederschlag): ca.2.5 h
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Unterägeri Ennermatt Sensor: Niederschlag 10 Min-Summe</p> <p>Maximum: 13.00 04.07.2009 19:20:00</p> <p>Minimum: 0.00 04.07.2009 12:10:00</p> <p>Summe: 50.00 Werte: 144 [144]</p>
Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei ca. 30 Minuten: 7.5-jähriges Ereignis ■ bei ca. 1 Stunde: 20-jähriges Ereignis ■ ab ca. 2 Stunde: 7.5-jähriges Ereignis

Die beiden Ereignisse sind hinsichtlich der Länge und der Gesamtniederschlagssumme nicht ganz vergleichbar, hinsichtlich der Niederschlagssumme im Bereich von ca. 0.5 bis 3 Stunden schon.

7.1.3 Landregen, Maximum am Anfang



7.1.3.1 Region Nord-West (Messstation LUNS03)

Datum	31.08.2002 bis 01.09.2002	
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Intensitäten im Bereich von 120 Minuten bis 240 Minuten ■ Maximale Intensität 1-Stunden-Summe: 79 l/(s*ha) ■ Maximale Intensität 4-Stunden-Summe: 45 l/(s*ha) ■ Dauer Ereignis (Hauptniederschlag): ca. 5.0 h 	
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Root, ARA Rontal Sensor: 10-Minuten-Summen</p> <p>Maximum: 11.86 31.08.2002 18:20:00 Minimum: 0.00 31.08.2002 12:10:00 Summe: 93.47 Werte: 144 [144]</p>	
Statistische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei ca. 2 Stunden: 5-jähriges Ereignis ■ bei ca. 3 Stunden: 7.5-jähriges Ereignis ■ ab ca. 4 Stunden: grösser als 10-jähriges Ereignis 	

7.1.3.2 Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)

Datum	29.06.2011 bis 30.06.2011	
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Intensität von 120 Minuten bis 240 Minuten ■ Maximale Intensität 1-Stunden-Summe: 79 l/(s*ha) ■ Maximale Intensität 4-Stunden-Summe: 56 l/(s*ha) ■ Dauer Ereignis (Hauptniederschlag): ca.5.5 h 	
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Unterägeri Ennermatt Sensor: Niederschlag 10 Min-Summe</p> <p>Maximum: 7.80 29.06.2011 21:10:00 Minimum: 0.00 29.06.2011 12:10:00 Summe: 102.40 Werte: 144 [144]</p>	
Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei ca. 2 Stunden: 3 bis 4-jähriges Ereignis ■ bei ca. 3 Stunden: 15-jähriges Ereignis ■ ab ca. 4 Stunden: grösser als 10-jähriges Ereignis 	

Es handelt sich um ein vergleichbares Ereignis.

7.1.4 Landregen, Maximum in der Mitte



7.1.4.1 Region Nord-West (Messstation LUNS03)

Datum	07.08.2007 bis 09.08.2007
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Geringe Intensität ■ zwei Ereignisse je ca. 24 Stunden ■ anhaltende Niederschläge 07.08.bis 09.08.2007: rund 127 mm
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Root. ARA Rontal Sensor: 10-Minuten-Summen</p> <p>Summe: 127.29 Werte: 432 [432]</p>
Statistische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ ca. 24 Stunden: 1-jähriges Ereignis ■ ca. 24 bis 48 Stunden: 20-jähriges Ereignis ■ über ca. 24 bis 48 Stunden: 10- bis 20-jähriges Ereignis

7.1.4.2 Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)

Datum	07.08.2007 bis 09.08.2007
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Geringe Intensität ■ zwei Ereignisse je ca. 24 Stunden ■ anhaltende Niederschläge 07.08.bis 09.08.2007: rund 139 mm
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Unterägeri Ennerratt Sensor: Niederschlag 10 Min-Summe</p> <p>Summe: 139.04 Werte: 445 [445]</p>
Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ ca. 24 Stunden: 10-jähriges Ereignis ■ ca. 24 bis 48 Stunden: 5-jähriges Ereignis ■ über ca. 24 bis 48 Stunden: 5-jähriges Ereignis

Es handelt sich um das gleiche Ereignis und dürfte daher grossflächig aufgetreten sein.

7.1.5 Belastungsszenario / Belastungstest



7.1.5.1 Region Nord-West (Messstation LUNS03)

Datum	19.08.2005 bis 23.08.2005
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Summe über 4 Tage: 182 mm ■ Front am 20.08.2005 ■ Vorregen ■ langanhaltende Niederschläge am 20.08. bis 21.08.2005: rund 182 mm
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Root, ARA Rontal Sensor: 10-Minuten-Summen</p>
Statistische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ ca. 2 Stunden (20.08.05, 8-10): 20-jähriges Ereignis ■ ca. 24 Stunden (20.08.05): 4- bis 5-jähriges Ereignis ■ über ca. 48 bis 72 Stunden: massiv höher als 20-jähriges Ereignis

7.1.5.2 Region Süd-Ost (Messstation ZGNS01)

Datum	19.08.2005 bis 23.08.2005
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Summe über 4 Tage: 182 mm ■ Front am 20.08.2005 ■ Vorregen ■ langanhaltende Niederschläge am 20.08. bis 21.08.2005: rund 284 mm
Grafik: 10-Minuten-Summen	<p>Gebiet: » Alle Messstellen « Einzelwerte Messstelle: Unterägeri Ennermatt Sensor: Niederschlag 10 Min-Summe</p>
Statistische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ■ ca. 2 Stunden (20.08.05, 9-12): 12.5-jähriges Ereignis ■ ca. 24 Stunden (19.08.05, 20 bis 20.08.05, 20): 2-jähriges Ereignis ■ über ca. 48 bis 72 Stunden: höher als 20-jähriges Ereignis

Es handelt sich um das gleiche Ereignis und ist großflächig aufgetreten sein.

8. SYNTHETISIERTE REGENEREIGNISSE

Eine weitere Form von zusätzlichen Szenarien und Dimensionierungsregen ist die Erstellung von synthetisierten Regenereignisse.

Aus den statistischen Auswertungen der Messstationen LUNS03 und ZGNS01 wurden je zwei synthetisierte Datensätze generiert, welchen den statistischen Intensitäten über die verschiedene Zeitintervalle entsprechen:

- für eine Wiederkehrperiode von $z = 5$ Jahren je:
- ein Frontalgewitter, Maximum nach 20 Minuten, Ereignis 4 Stunden und
- ein Starkregen, Maximum nach 40 Minuten, Ereignis 6 Stunden.

Die vier Datensätze in der digitalen Beilage vorhanden.

9. RÜCKMELDUNGEN TESTS MIT REELLEN EREIGNISSEN

9.1.1 Tests mit der vorhanden Ereignissen

Die Dimensionierungsszenarien wurden bereits vereinzelt mit GEP-Berechnungen getestet. Es zeigt sich, dass der Belastungsregen zwar gute Hinweise auf Schwächen im System liefern kann, jedoch nicht direkt für die Dimensionierungen von Entwässerungsleitungen verwendet werden sol. Die Resultate sind fachtechnisch zu interpretieren und relativieren.

Dafür wurden die Datensätze in der digitalen Beilage zu verwenden.

9.1.2 Ergänzende Daten und Auswertungen

Bei Bedarf können die Daten auch spezifisch aufbereitet werden (z.B. in einem anderen Datenformat oder weitere synthetische Regenereignisse).

Die Auswertungen der Regendaten (ca. 2-monatliche Validierung, definitive Ablage und jährliche Erstellung von Jahrbuchseiten) sollen weitergeführt werden. Dadurch ist es möglich, zukünftige Ereignisse rasch zu beurteilen und den GEP-Ingenieuren zur Verfügung zu stellen.

MONITRON AG



Michael Fuchs
Geschäftsleiter



ppa. Lorenz Fanger
Koreferent

Altdorf, den 19. Oktober 2018 (rev.)

BETEILIGTE MITARBEITENDE

Michael Fuchs (Projektleiter, Sachbearbeiter)

Lorenz Fanger (Koreferent)

W:_MONITRON\MT\Aufträge\MT0001 bis 01000\MT00092 Regendaten GVRZ\Sekretariat\Berichte\118 Synthese Regendaten\MT00092 Bericht Auswertung Regendaten GVRZ.docx

**ANHANG A STATIONSBESCHREIBUNGEN SMN 4859 CHAM
LUNS03 ROOT, ZGNS01 UNTERÄGERI**

ANHANG B AUSWERTUNGEN DER REGENDATEN

Jahrbuchseiten „Ereignisse“ und „Intensitäten“

SMN 4859 Cham aus dem Jahr 2015

LUNS03 Root aus dem Jahr 2017

ZGNS01 Unterägeri aus dem Jahr 2017

ANHANG C DATENREIHEN DIMENSIONIERUNGSSZENARIEN LUNS03

Nur in der digitalen Form als ASCII-Files vorhanden.

ANHANG D DATENREIHEN DIMENSIONIERUNGSSZENARIEN ZGNS01

Nur in der digitalen Form als ASCII-Files vorhanden.

ANHANG E SYNTHETISIERTE DIMENSIONIERUNGSSZENARIEN LUNS03

Nur in der digitalen Form als ASCII-Files vorhanden.

