

Aktualisierung der hydrologischen Grundlagen für die Revitalisierung der Seewag



Foto: HRB Hackbrätt (3.8.2024)

*Auftraggeber:
Kanton Luzern, Verkehr und Infrastruktur (vif)
Naturgefahren*

Bericht: 24/328

Reinach, Juli 2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
1.1 Problemstellung.....	4
1.2 Gebietskennwerte.....	5
1.3 Gewährpersonen.....	7
2 Verwendete Daten und Unterlagen	8
3 Historische Hochwasser	10
3.1 Einleitung.....	10
3.2 Gemessene Wasserstände an den Pegeln der Rückhaltebecken.....	10
3.2.1 Einleitung.....	10
3.2.2 Auswertung der Pegelmessung am HRB Hackbrätt (LUP48).....	10
3.2.3 Auswertung der Pegelmessung am HRB Rickenbach (LUP47).....	12
3.3 Analyse relevanter Hochwasser seit 2012.....	13
3.3.1 Ereignis vom 28.7.2014.....	13
3.3.2 Ereignis vom 13.7.2021.....	14
3.4 Rekonstruktion von Abflussspitzen für die Verifikation des Niederschlag-Abflussmodells im Unterlauf der Seewag.....	16
3.5 Schlussfolgerungen.....	19
4 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets	20
4.1 Einleitung.....	20
4.2 Ergänzende Kartierung der Abflusstypen 2024.....	20
4.3 Abflussreaktionskurven.....	23
5 Abflussberechnungen	25
5.1 Einleitung.....	25
5.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea+.....	25
5.3 Modellanpassungen, berücksichtigte Bauwerke und Anmerkungen.....	25
5.4 Verifikation des Modells.....	28
5.5 Niederschlags-Szenarien.....	31
5.5.1 Einleitung.....	31
5.5.2 Extremwertanalyse der Niederschlagsstation Napf:.....	31
5.5.3 Extremniederschlagswerte von Hydromaps:.....	31
5.5.4 Zeitliche Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensitäten.....	31
5.5.5 Räumliche Niederschlagsverteilung.....	32
5.6 Abflussberechnungen.....	35
5.6.1 Szenarien NAP:.....	35
5.6.2 Szenarien Hydromaps.....	35

6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit.....	36
6.1 Einleitung.....	36
6.2 Hochwasserabflüsse am Stegbach.....	37
6.3 Hochwasserabflüsse am Riedtalbach bei Daiwil (BP9).....	38
6.4 HQ_x für die untersuchten Bemessungspunkte.....	40
7 Anhang.....	42

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Kanton Luzern plant im Einzugsgebiet der Seewag verschiedene Revitalisierungsprojekte. Dieses Gebiet wurde im 2013 bereits im Zusammenhang mit dem geplanten Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Rickenbach (Hinter Ricken) untersucht (Scherrer AG, 2014), welches in der Zwischenzeit (2013 - 2016) realisiert wurde und dem bestehenden HRB Hackbrätt (erstellt 2008/2010). Seit 2022 stehen neue Niederschlagsstatistiken Hydromaps (Frei & Fukutome, 2022) für die Abschätzung seltener Hochwasser zur Verfügung.

Bei der Untersuchung 2013 wurde ein Niederschlag-Abflussmodell (NAM) eingesetzt. Die Niederschlagsdaten der Station Napf 1978 - 2011 (MeteoSchweiz) wurden statistisch ausgewertet, um die Niederschlagsszenarien (Niederschläge unterschiedlicher Dauer und Jährlichkeit) herzu-leiten und schliesslich die Abflüsse zu berechnen. Bei der Aktualisierung der HQ_x sollen sowohl diese Niederschlagsstatistik von Napf aktualisiert (1978 – 2023) und verwendet werden als auch jene von Frei & Fukutome (2022). Die beiden HRB sollen gemäss ihrer heutigen Beckencharakteristik (bestehende Volumen, aktuelle Drosselwassermengen) ins NAM eingebaut werden. Die beiden HRB (BP2 und 4) verfügen seit 2018 je über einen Pegel, der für die Verifizierung des Modells (neue Version QArea⁺) verwendet werden könnte.

Parallel zu den damaligen NAM-Berechnungen wurden auch in Scherrer AG (2014) die historischen Hochwasser bis ins Jahr 2013 erkundet. Auf der Grundlage der damaligen Erkundung soll die Hochwassergeschichte aktualisiert werden (auch mit den HRB-Pegelmessungen), um einerseits eine breitere Basis für die Verifikation des NAM zu schaffen und andererseits die NAM-Berechnungen im Frequenzdiagramm besser mit beobachteten Hochwassern abzustützen.

1.2 Gebietskennwerte

Diese Kennwerte beziehen sich auf die in Abb. 1.1 aufgeführten Teil-EZG.

Tab. 1.1: Gebietskennwerte und Bemessungspunkte (BP) des untersuchten EZG.

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (Buechehübeli)	983 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (Ischlagmatt)	555 m ü. M.
EZG oberhalb BP1: Seewag Tuetesee	3.17 km ²
EZG oberhalb BP2: Seewag HRB Hackbrätt	5.21 km ²
EZG oberhalb BP3: Seewag vor Zufluss Rickenbach	5.95 km ²
EZG oberhalb BP4: Rickenbach bei HRB	1.9 km ²
EZG oberhalb BP5: Rickenbach in Menznau	2.32 km ²
EZG oberhalb BP6: Seewag nach Zufluss Rickenbach	8.27 km ²
EZG oberhalb BP7: Seewag unterhalb Swiss Krono	10.94 km ²
EZG oberhalb BP8: Seewag vor Zufluss Riedtalbach	11.94 km ²
EZG oberhalb BP9: Riedtalbach in Daiwil	5.75 km ²
EZG oberhalb BP10: Seewag nach Zufluss Riedtalbach	17.69 km ²
EZG oberhalb BP11: Seewag vor Zufluss Rot	18.97 km ²

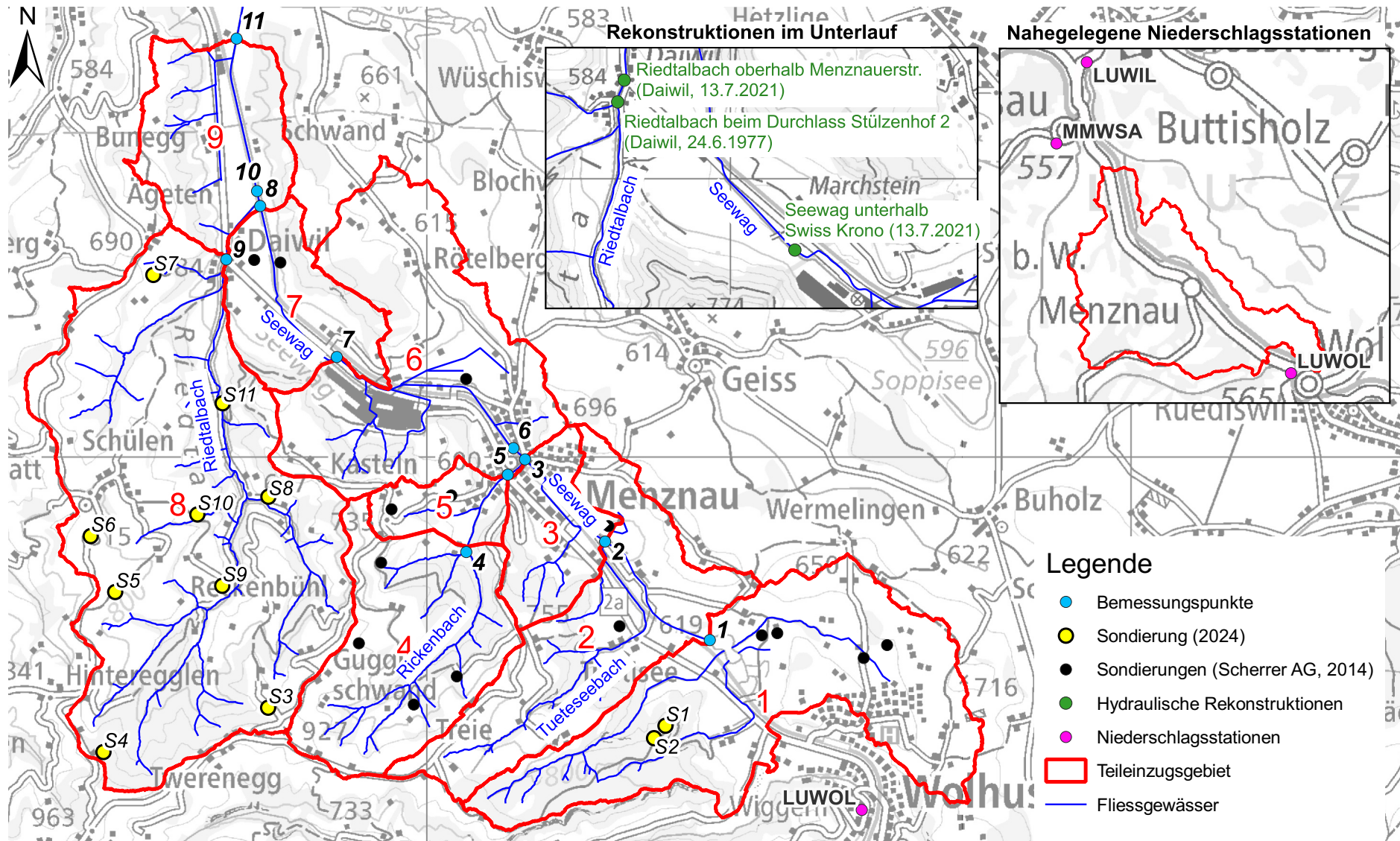


Abb. 1.1: Übersicht des Einzugsgebiets der Seewag und der Teileinzugsgebiete mit den nummerierten Berechnungspunkten.

0 1 2 km

1.3 Gewährpersonen

Folgende Personen haben uns bei unseren Untersuchungen mit Informationen zu den historischen Hochwassern unterstützt:

- Hodel Marco, Leiter Sicherheit / Brandschutz Swiss Krono AG
- René Nietlispach, Feuerwehr Kommandant Menznau
- Rudolf Aregger, Landwirt (Daiwil)
- Hans Kohler, Landwirt (Daiwil)
- Leo Birrer, (Betreiber Sägerei)

2 Verwendete Daten und Unterlagen

- AF (2011): Verbauung Rickenbach, Gemeinde Menznau – Hochwasserrückhaltebecken. Bericht Bauprojekt 1944.101. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Ernst Basler und Partner, Geotest, Iteco und Hydrotec (2006): Gefahrenkarte Wigger. Gemeinde Willisau und Hergiswil. Technischer Bericht. Auftraggeber: Gemeinde Willisau, Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Frei C., Fukutome S. (2022): B04 Extreme Punktniederschläge. Hydrologischer Atlas der Schweiz. Abgerufen in Dez. 2023 über <https://hydromaps.ch>.
- HADES (1992): Hydrologischer Atlas der Schweiz. Extreme Gebietsniederschläge unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1981-1993 (Kap. 2.5).
- Holinger AG (2018): Plan 10162 (Seewag): Massnahme Md Ufererhöhung – Menznau, Abschnitt: Swiss Krono AG. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Holinger AG (2014): Hydraulik Durchlassbauwerk HWRB Hackbrätt. Technischer Kurzbericht. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Holinger AG (2015): Integrales Schutzkonzept (ISK) Seewag, Menznau. Technischer Bericht. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Holinger AG (2018): Hochwasserrückhaltebecken Hackbrätt, Menznau. Reglement für die Überwachung, den Betrieb und den Unterhalt der Anlage. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- J. Auchli (2012): Tueteseebach / Hochwasser-Rückhaltebecken. Plan des ausgeführten Werkes (2111-242a). Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Kienzler P., Naef F. (2008): Subsurface storm flow formation at different hillslopes and implications for the 'old water paradox'. *Hydr. Processes* 22, 104–116 (2008).
<http://scherrer-hydrol.ch/expertise/publikationen/kienzler.php>
- MeteoSchweiz (2021): Bundesamt für Klimatologie. Niederschlagsdaten. Witterungsberichte und Annalen, diverse Jahre.
- Naef F., Scherrer S., Zurbrügg C. (1999): Grosse Hochwasser – unterschiedliche Reaktion von Einzugsgebieten auf Starkregen. *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Blatt 5.7.
- Naef F., Scherrer S., Frauchiger R. (2004): Wie beeinflusst die Siedlungsentwicklung von Zürich-Nord die Hochwasser der Glatt? *Wasser Energie Luft*, 96, 11/12, 331-338.
- Oeko-b (2014): Ereignisdokumentation Unwetter 28. Juli 2014 in Menznau. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Oeko-b (2016): Gefahrenkarte Menznau, 1. revision. Technischer Bericht. Auftraggeber: Kanton Luzern - Verkehr und Infrastruktur (vif).
- Scherrer AG (2004): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz.
<http://scherrer-hydrol.ch/expertise/publikationen/scherrer.php>
- Scherrer AG (2014): Hydrologische Grundlagen für das Hochwasserschutzkonzept Menznau (LU) – Seewag. Auftraggeber: Verkehr und Infrastruktur des Kt. Luzern (vif), Abteilung Naturgefahren.
- Scherrer S. (1997): Abflussbildung bei Starkniederschlägen – Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. In: Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 147.
- Scherrer S., Naef F. (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten - Praxishilfe. Hrsg. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. Berichte des BWG, Serie Wasser – Nr. 4 – Bern 2003. M. Spreafico, R. Weingartner, M. Barben, A. Ryser, S. 25-32. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen->

wasser/hochwasserabschaetzung-schweizerischen-einzugsgebieten.html

- StorMe (2024): Naturereigniskataster - Bundesamt für Umwelt BAFU. Web-Applikation Verwaltung und Analyse von Naturgefahrenereignissen <https://bafu.admin.ch/naturereigniskataster-storme/>.
- Swisstopo, Bundesamt für Landestopographie (2024): Diverse Layer, Luftbilder, Geocover, etc. <https://map.geo.admin.ch/>
- WSL, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2024): Schadendatenbank der Gemeinde Biberist, Lohn-Ammannsegg, Lüterkofen, Ichertswil (1972–2021).

3 Historische Hochwasser

3.1 Einleitung

Die historischen Hochwasser der Seewag wurden in Scherrer AG (2014) ausführlich dargestellt und analysiert. Dabei zeigte sich, folgendes:

- Durch die Recherchen über historische Hochwasser eröffnet sich ein Beobachtungszeitraum von ca. 180 Jahren.
- Ausschliesslich Gewitter erzeugten an der Seewag und ihren Zuflüssen grosse Hochwasser.
- Lang andauernde Niederschläge wie im August 2005 führten zu keinen grossen Hochwassern.
- Die grössten Hochwasser am Rickenbach und an der Seewag in Menznau der vergangenen 180 Jahre ereigneten sich am 19. August 1917 und am 8. Juni 2007. Am 8. Juni 2007 wurde eine (damals ungedämpfte) Abflussspitzen von 7 – 8 m³/s am Rickenbach (BP 5) und 3 – 3.5 m³/s (BP 3) resp. 10 – 11 m³/s (oberhalb BP 6) an der Seewag abgeschätzt.
- Das Hochwasser vom 7. Juni 2003 mit einer am Rickenbach in Menznau (damals ungedämpften) abgeschätzten Abflussspitze von 3 – 6 m³/s war das drittgrösste im Beobachtungszeitraum.
- Am Riedtalbach und an der Seewag unterhalb Menznau konnten keine Hochwasserspitzen abgeschätzt werden.

Die Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Hackbrätt und Rickenbach wurden 2010 bzw. 2015/2016 in Betrieb genommen. Seit 2012 sind in Menznau keine grösseren Hochwasserereignisse dokumentiert. Als letztes wahrnehmbares Ereignis wurde am 28.7.2014 ein Gewitter registriert (Anhang 1).

3.2 Gemessene Wasserstände an den Pegeln der Rückhaltebecken

3.2.1 Einleitung

Die Pegel am HRB Hackbrätt (LUP47) und HRB Rickenbach (LUP48) zeigen den Wasserstand der Becken seit dem 9.7.2018 bzw. ab dem 29.7.2019 mit einer zeitlichen Auflösung von 10 min¹.

Derzeit verfügt nur das HRB Hackbrätt über ein Betriebsreglement (Holinger, 2018). Während der Messperiode hat der Wasserstand im Becken die Alarmkote (597.5 m ü. M.) nie erreicht. Auch am Pegel im HRB Rickenbach wurden bisher nur relativ niedrige Wasserstände gemessen.

3.2.2 Auswertung der Pegelmessung am HRB Hackbrätt (LUP48)

Die fünf höchsten Wasserstandsmessungen im HRB Hackbrätt sind in Tabelle 3.1 aufgeführt. Seit Beginn der Messungen ist der Wasserstand am 13.7.2021 der höchste und entspricht einer Füllung von ca. 15 % des Beckenvolumens (oder 65 % der Höhe).

1 Beim HRB Hackbrätt liegt der Nullpunkt bei 594.78 m ü. M. (Sohle des Drosselbauwerkes). Beim HRB Rickenbach liegt der Nullpunkt bei 616.2 m ü. M. (ca. 60 cm über der Sohle des Drosselbauwerkes).

Tab. 3.1: Die fünf höchsten Pegelstände im HRB Hackbrätt (seit 9.7.2018). Die Alarmkote beträgt 2.72 m (597.5 m ü. M., Holinger, 2018). Max. Stauhöhe: 3.42 m. Max. Volumen: 40'400 m³.

Datum	Pegel [m]	Füllungsgrad nach Höhe	Füllungsgrad nach Volumen
13.07.2021	2.23	65%	15%
14.07.2021	1.86	54%	4%
09.06.2021	1.74	51%	2%
07.06.2021	1.61	47%	1%
08.07.2021	1.55	45%	1%

Das Hochwasserrückhaltebecken ist als offenes, ungesteuertes Bauwerk konzipiert. Gemäss Holinger (2018) sollte die Öffnung des Drosselbauwerkes $H=0.51$ m und $B=0.60$ m sein, um bei Erreichen des Stauzieles (Kote 598.05 m ü. M.) einen Abfluss von $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ zu gewährleisten. Die entsprechende Speichervolumen-Abfluss-Beziehung (V-Q-Beziehung) ist in Abbildung 3.1 dargestellt (gestrichelte Linie). Die blaue Linie in Abb. 3.1 zeigt die Speichervolumen-Stauhöhen-Beziehung (V-H-Beziehung) nach Holinger (2015).

Gemäss internen Messungen und Notizen des Kantons Luzern (E-Mail Kommunikation mit vif) seit Oktober 2018 wurde die Schützöffnung zwischen 0.3 m und 0.5 m eingestellt². Für den Zeitraum von Oktober 2018 bis November 2022 betrug sie 0.4 m. Als Referenz zeigt die gepunktete Linie in Abb. 3.1 die berechnete V-Q-Beziehung, für eine Öffnung von $0.4 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}^3$.

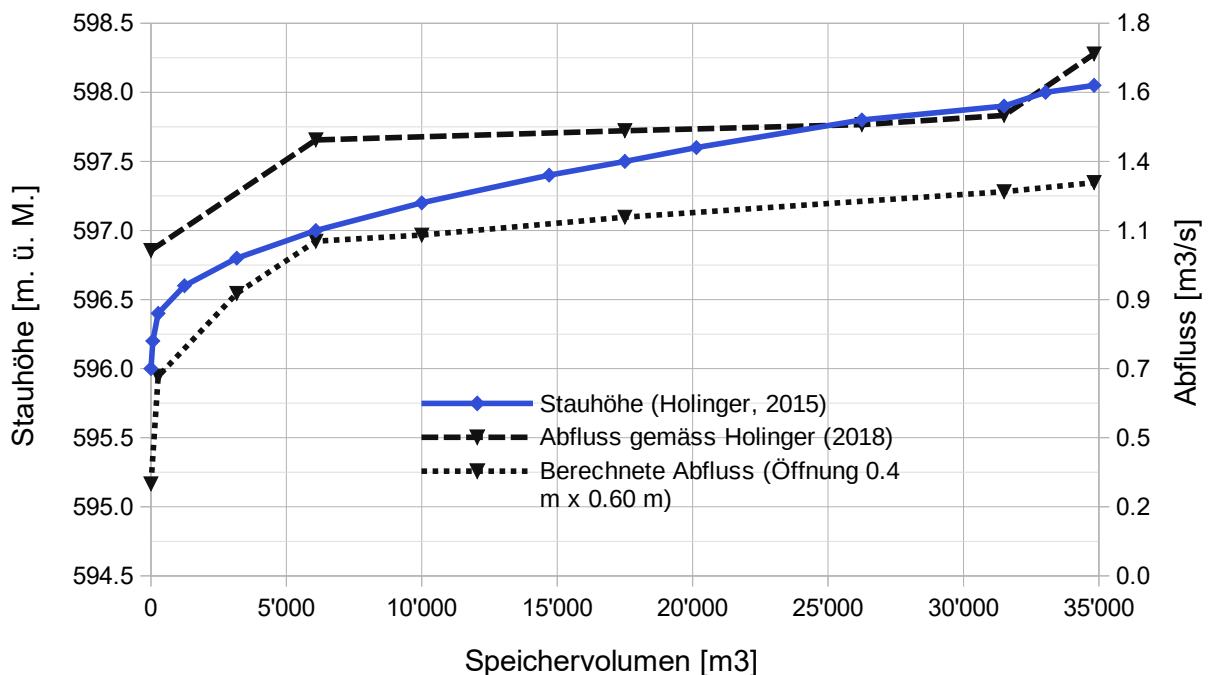


Abb. 3.1: Speichervolumen-Höhen-Abflussbeziehung (V-H-Q) am HRB Hackbrätt. Die gestrichelte Linie zeigt die V-Q Beziehung gemäss Holinger (2018) (Öffnung Höhe: 0.51 m). Die blaue Linie die V-H Beziehung gemäss Holinger (2015). Die gepunktete Linie zeigt die in diesem Bericht berechnete V-Q Beziehung (Öffnung Höhe: 0.4 m).

Die Hochwasserentlastung springt ab der Kote 598.05 m ü. M. mit folgenden Kapazitäten an:

- 2 Bei der Begehung der Scherrer AG am 8.3.2024 war die Öffnungshöhe auf 0.3 m eingestellt.
- 3 Standard Ausfluss unter Schützen mit einem Abflussbeiwert von ca. 0.60.

Tab. 3.2: Abflusskapazität der Hochwasserentlastung des HRB Hackbrätt (Holinger, 2018).

Kote [m. ü. M]	Kumm. Volumen [m ³]	Abfluss [m ³ /s]
598.05	34820	0.0
598.10	37010	1.9
598.15	38705	5.5
598.20	40400	9.8

3.2.3 Auswertung der Pegelmessung am HRB Rickenbach (LUP47)

Die fünf höchsten Wasserstandsmessungen im HRB Rickenbach sind in Tabelle 3.3 aufgeführt. Wie beim HRB Hackbrätt wurde der höchste Wasserstand am 13.7.2021 gemessen. Der entsprechende Füllungsgrad ist jedoch noch geringer.

 Tab. 3.3: Die fünf höchsten Pegelstände im HRB Rickenbach (seit 29.7.2019). Max. Stauhöhe: 9.88 m. Max. Volumen: 30000 m³.

Datum	Pegel korr* [m]	Füllungsgrad nach Höhe	Füllungsgrad nach Volumen
13.07.2021	1.38	14%	1%
28.06.2021	1.31	13%	1%
01.07.2020	0.97	10%	1%
25.07.2021	0.90	9%	1%
16.07.2021	0.89	9%	1%

* Pegelwerte + 0.58 m

Das Hochwasserrückhaltebecken ist ebenfalls als offenes, ungesteuertes Bauwerk konzipiert. Abbildung 3.2 zeigt die verfügbaren V-Q- und V-H-Beziehungen. Die Beziehung von Oeko-b (2016) ergibt vor allem im unteren Bereich höhere Abflüsse. Für beide Kurven liegt der maximale Drosselabfluss bei ca. 3.6 m³/s.

Nach AF (2011) könnten durch die Hochwasserentlastung ca. 11 m³/s bei einer Wassertiefe von 0.55 m abfließen.

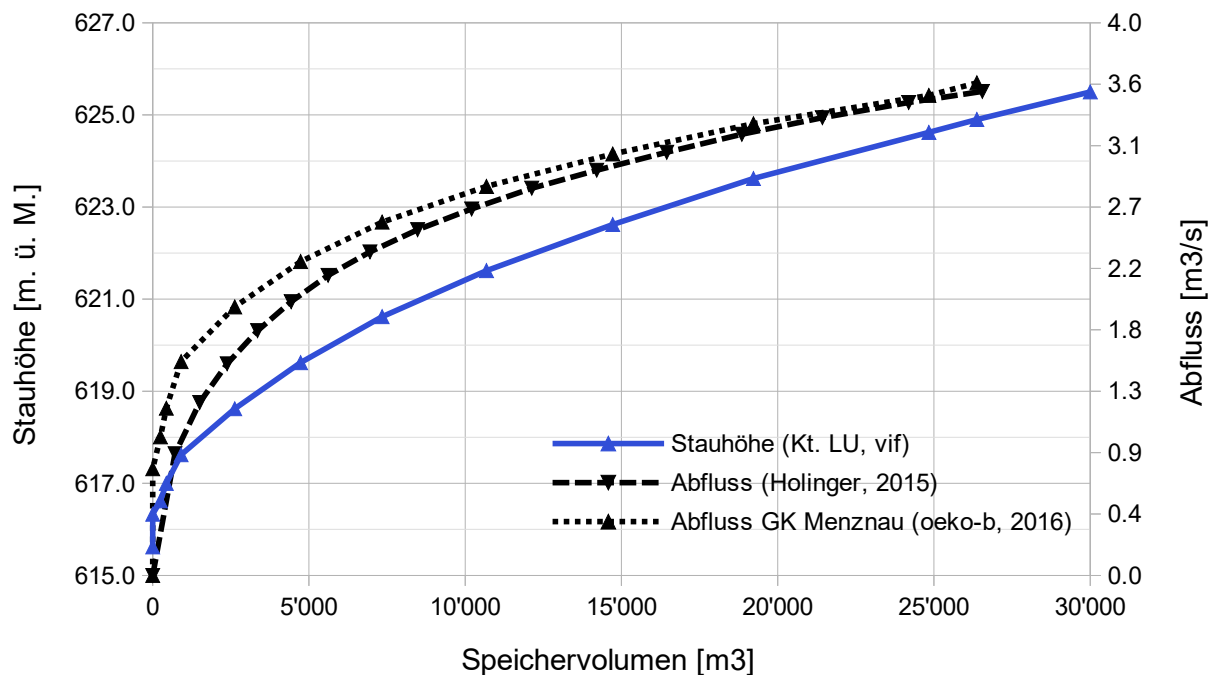


Abb. 3.2: Speichervolumen-Höhen-Abflussbeziehung (V-H-Q) am HRB Rickenbach. Die gestrichelte Linie zeigt die V-Q-Beziehung gemäss Holinger (2015). Die blaue Linie die V-H-Beziehung gemäss Kt. Luzern (wurde von vif per E-Mail zugestellt). Die gepunktete Linie zeigt die V-Q-Beziehung von Oeko-b (2016).

3.3 Analyse relevanter Hochwasser seit 2012

3.3.1 Ereignis vom 28.7.2014

Das Ereignis wurde von Oeko-b (2014) dokumentiert. Es handelt sich um ein Gewitter mit ca. 60 mm Niederschlag in 2 Stunden (Oeko-b, 2014). Die Überschwemmungen wurden hauptsächlich von den Seitenbächen verursacht. Besonders betroffen waren u.a. die Gebiete Rüdel, Lihrenmoos, Vorderricke und Zopf. Auch am Rickenbach wurden Ausbrüche gemeldet. An verschiedenen Stellen wurden Rutschungen ausgelöst.

Zeitliche Niederschlagsverteilung: Der Niederschlagsverlauf an den Bodenstationen Willisau (LUWIL) und Wolhusen (LUWOL) ist in Abbildung 3.3 dargestellt (siehe auch Abb. 1.1). Insgesamt fielen innerhalb von 4 Stunden ca. 25 mm Niederschlag. Der höchste 10-Minuten-Wert betrug ca. 5 mm.

Vorfeuchte: gemäss den Messstationen LUWIL und LUWOL fielen in den 5 Tagen vor dem Ereignis ca. 6 mm Niederschlag. Die Niederschlagssumme für die 14 Tage vor dem Ereignis betrug ca. 70 mm. Diese Niederschlagssummen deuten auf relativ trockene Vorbedingungen vor dem Ereignis hin.

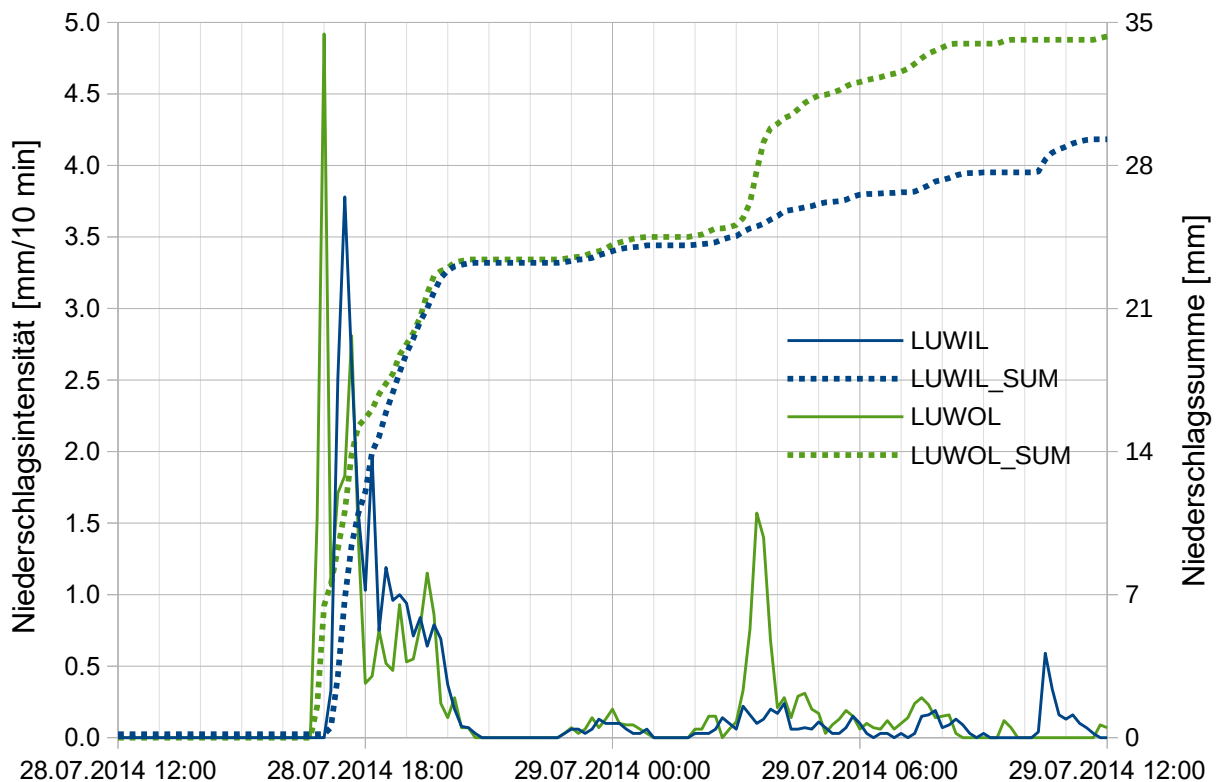


Abb. 3.3: Verlauf des Niederschlags und der -Summe vom 28. Juli 2014 gemäss Bodenstation Willisau (LUWIL) und Wolhusen (LUWOL).

3.3.2 Ereignis vom 13.7.2021

Das Ereignis dauerte ca. 12 Stunden. Im Unterlauf der Seewag wurden Ausuferungen beobachtet (bei Swiss Krono und im Bereich Sänti, siehe Anhang 1).

Räumliche Niederschlagsverteilung: Die räumliche Verteilung der Niederschläge wurde anhand von Bodenstationen ermittelt (Abb. 3.4). Der interpolierte Tagesniederschlag (vom 12.7.2021 um 7 Uhr bis 14.7.2021 um 7 Uhr) nimmt in Richtung Südwesten zu. Der mittlere Gebietsniederschlags betrug 62 mm.

Zeitliche Niederschlagsverteilung: Der Niederschlagsverlauf an den Bodenstationen in Willisau (LUWIL, MMWSA) und Wolhusen (LUWOL) ist in Abbildung 3.5 dargestellt (siehe auch Abb. 1.1). Insgesamt fielen innerhalb von 12 Stunden zwischen 55 und 68 mm Niederschlag, wobei am 13.7.2021 zwischen 02:00 und 12:00 Uhr ca. 45 mm des Gesamtniederschlags niederging. Der höchste 10-Minuten-Wert betrug ca. 12 mm.

Pegeler Verlauf: Der Pegel am HRB Hackbrätt bildet den Niederschlagsverlauf mit drei Spitzen ab (Abb. 3.5). Der höchste Wasserstand von ca. 2.2 m wurde am 13.7.2021 gegen 12 Uhr erreicht.

Am HRB Rickenbach wurden deutlich niedrigere Wasserstände gemessen. Der höchste Wasserstand betrug ca. 0.8 m (entspricht ca. 1.4 m nach Nullpunktkorrektur).

Vorfeuchte: Gemäss den Messstationen LUWIL und LUWOL fielen in den 5 Tagen vor dem Ereignis ca. 70 mm Niederschlag, während der 14 Tagen vor dem Ereignis 138 mm. Diese Vorbedingungen sind als nass einzustufen.

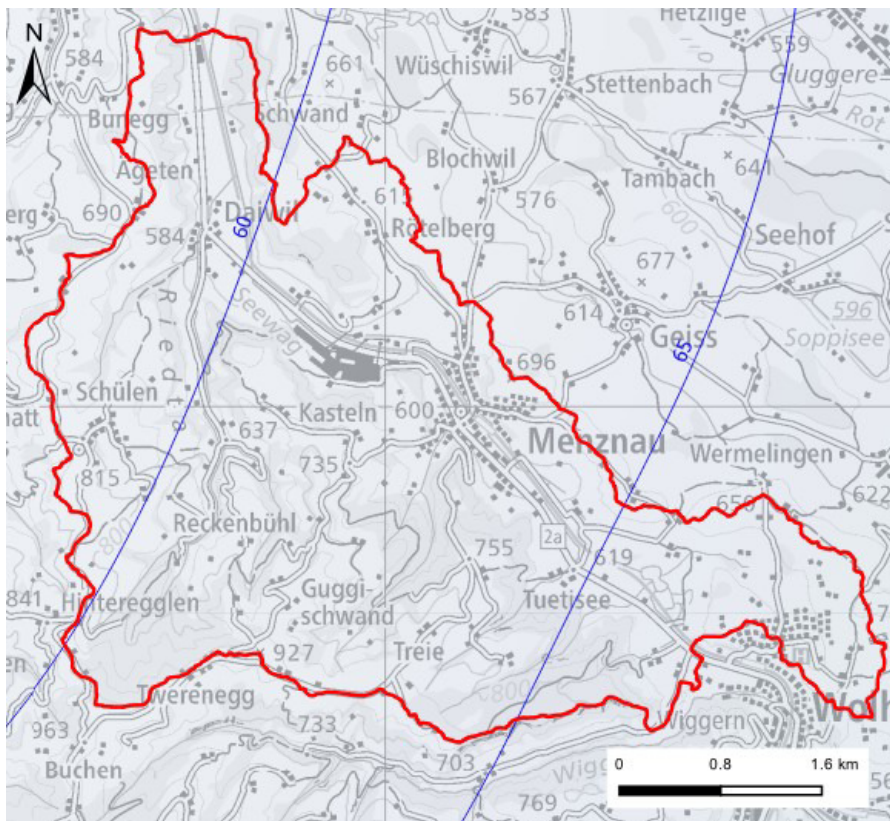


Abb. 3.4: Die räumliche Verteilung des Niederschlags [mm] beim Hochwasser vom 12.-14. Juli 2021 (7 bis 7 Uhr) basierend auf den Messungen an den Bodenstationen.

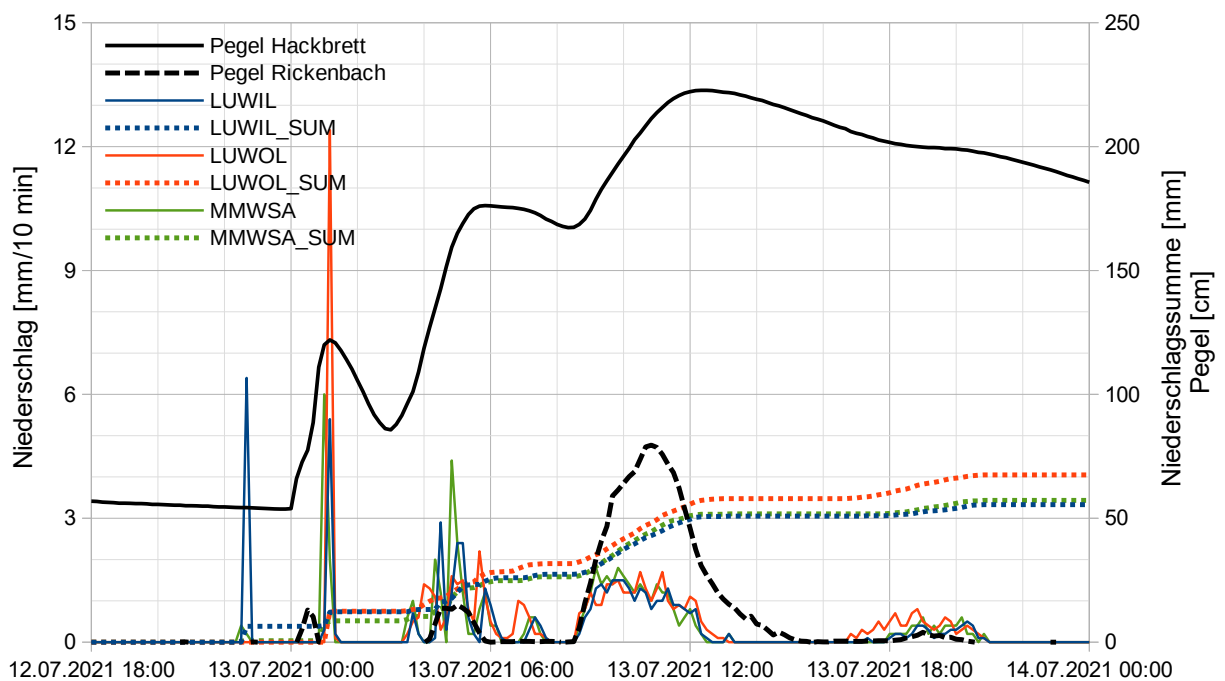


Abb. 3.5: Pegelverläufe während des Hochwassers vom 13. Juli 2021 am HRB Hackbrätt und HRB Rickenbach mit dem Verlauf des Niederschlags und der -summe gemäss Bodenstationen.

3.4 Rekonstruktion von Abflussspitzen für die Verifikation des Niederschlag-Abflussmodells im Unterlauf der Seewag

Anhand von Fotos des Ereignisses vom 13.7.2021 konnten die folgenden hydraulischen Rekonstruktionen durchgeführt werden:

Seewag unterhalb Swiss Krono:

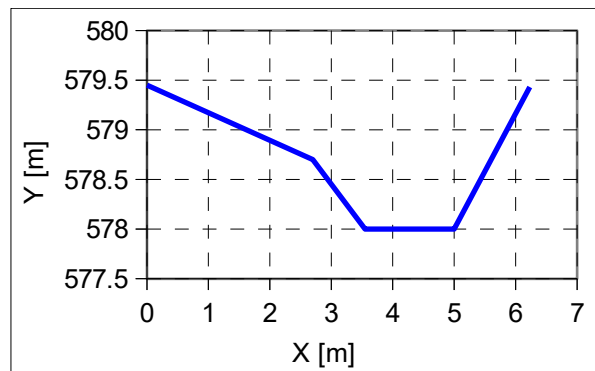
Tab. 3.4: Abschätzungen der Abflussspitzen an der Seewag bei Marchstein (BP7, siehe Abb. 1.1) beim Ereignis vom 13.7.2021.

Hochwasser	13.7.2021	Abschätzung oberirdischer Abfluss	3.0 – 4.5 m ³ /s
Bach	Seewag	Abschätzung unterirdischer Abfluss	
Situation/Ort	BP7	Kommentare	Abschätzungen mittels Normalabfluss (k _{st} = 25 m ^{1/3} /s, J = 3.2 ‰).

Grundlage



Ausuferungen an der Seewag bei Swiss Krono.
Quelle: StorMe (2021-W-10130)



Querprofil.
Quelle: Holinger (2018).

Riedtalbach oberhalb des Durchlasses Menznauerstrasse (Daiwil):

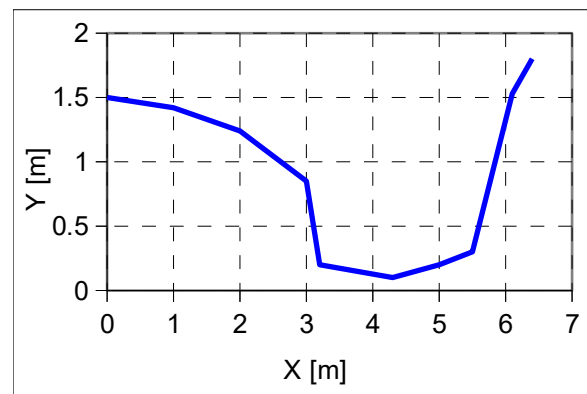
Tab. 3.5: Abschätzungen der Kapazität am Riedtalbach bei Daiwil (BP9, siehe Abb. 1.1) beim Ereignis vom 13.7.2021.

Hochwasser	13.7.2021	Abschätzung oberirdischer Abfluss	3.0 m ³ /s
Bach	Riedtalbach	Abschätzung unterirdischer Abfluss	
Situation/Ort	BP9	Kommentare	Abschätzungen mittels Normalabfluss (k _{st} = 25-30 m ^{1/3} /s, J = 1.1%).

Grundlage



Aussage von Gewährsperson: Kapazität des Gerinnes war knapp.




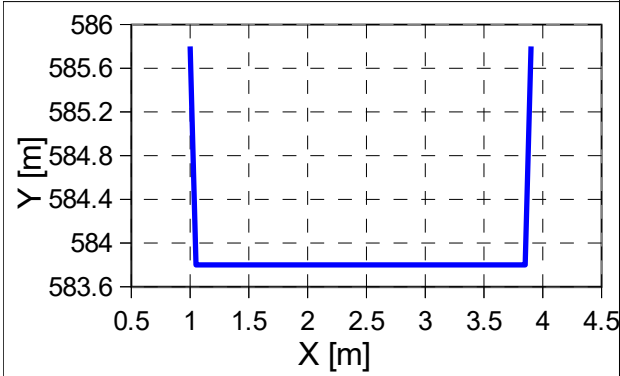
Querprofil.
Quelle: Profil vor Ort aufgenommen (Juni 2024).

Anhand der Aussagen von Gewährspersonen wurde die Abflussspitze am Riedtalbach (bei Dai-

wil) während des Ereignisses vom (vermutlich) 24.6.1977 wie folgt abgeschätzt⁴:

Riedtalbach beim Durchlass Stützenhof 2 (Daiwil):

Tab. 3.6: Abschätzungen der Spitzenabfluss am Durchlass Stützenhof 2 (BP9, siehe Abb. 1.1) während des Ereignisses vom (vermutlich) 24.6.1977.

Hochwasser	24.6.1977	Abschätzung oberirdischer Abfluss	6.5-8 m ³ /s
Bach	Riedtalbach	Abschätzung unterirdischer Abfluss	
Situation/Ort	BP9	Kommentare	Abschätzungen mittels Normalabfluss (k _{st} = 27 m ^{1/3} /s, J = 6 ‰).
Grundlage			
			
<p>Aussage von Gewährsperson: Kapazität des Durchlasses war knapp. Quelle: Foto Google Maps.</p>		<p>Querprofil. Quelle: Profil vor Ort aufgenommen.</p>	

4 Eine Gewährsperson mit Jahrgang 1947 erwähnt ein auffälliges Ereignis Ende der 1970er Jahre. Gemäss der historischen Erkundung in Scherrer AG (2014) ist vermutlich das Ereignis vom 24.6.1977 gemeint. Die Aussage suggeriert, dass die Kapazität des Durchlasses bei Stützenhof 2 nahezu ausgeschöpft war.

3.5 Schlussfolgerungen

In Tabelle 3.7 sind die nach ihrer Dauer sortierten grössten Niederschlagsmengen ab dem Jahr 2012 der Stationen LUWIL und LUWOL zusammengestellt (siehe auch Abb. 1.1). Daraus könne die folgenden Schlüsse im Zusammenhang mit den beobachteten Hochwasserereignissen gezogen werden:

- Die relativ wenigen Hochwasserereignisse in Menznau ab 2012 deuten darauf hin, dass sich die Optimierung des HRB Hackbrätt (Holinger, 2014) und der Bau des HRB Rickenbach positiv auswirken.
- Das Ereignis vom 28.7.2014 zeigt, dass die Nebengewässer auch zu Überschwemmungen führen können.
- Das Ereignis vom 13.7.2021 stellt die möglichen Ausuferungen der Seewag bei Dauerregen insbesondere im Unterlauf des EZG dar.
- Die schwache Reaktion des Gebietes bei Regenereignissen mit ungünstigen Vorbedingungen (z.B. im Juli 2021) gibt Hinweise darauf, dass die Seewag nur geringfügig auf hohe Vorfeuchte reagiert.

Tab. 3.7: Kennwerte der grössten Niederschlagsereignisse seit 2012 nach Dauer an der Bodenstationen LUWIL und LUWOL.

Dauer	Datum	Niederschlag [mm]	Station	Vorfeuchte Ns5T* [mm]
0.5h	25.07.2021	33	LUWOL	23
1h	08.08.2018	38	LUWOL	9
2h	10.05.2018	39	LUWIL	23
4h	10.05.2018	45	LUWIL	23
6h	10.05.2018	46	LUWIL	23
8h	15.12.2017	47	LUWIL	87
12h	13.07.2021	58	LUWOL	68
1T	14.12.2017	61	LUWOL	28
2T	25.07.2021	68	LUWOL	23

* Ns5T: 5-Tages-Niederschlagssumme vor dem Ereignis (Mittelwerte der Stationen LUWIL und LUWOL)

Am Riedtalbach konnte der Spitzenabfluss während des Ereignisses vom (vermutlich) 24.6.1977 abgeschätzt werden. Nach Aussagen von Gewährspersonen wird ein Abfluss von 7-8 m³/s mit einer Jährlichkeit von 50 bis 70 Jahren zugeordnet.

4 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets

4.1 Einleitung

Bei einem Starkregen fliesst ein Teil des Niederschlags schnell ab. Das übrige Wasser infiltriert in den Boden, wo verschiedene Fliesswege vorhanden sind, die mit unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten durchflossen werden. Die Hochwasserreaktion eines Baches auf Starkregen kann rasch bis verzögert verlaufen, je nachdem, wie viel Wasser sofort abfliesst und welche Fliesswege der infiltrierte Niederschlag im Boden nimmt.

Die Reaktionsweise der Seewag auf Starkregen wurde in Scherrer AG (2014) untersucht, wobei die Flächen ähnlicher Abflussbereitschaft (sog. Abflusstypen) räumlich differenziert kartiert wurden. Es wurden geologische und hydrogeologische Grundlagen analysiert, zudem wurden in einer Feldkampagne 15 Bodensondierungen sog. Pürkhauer-Bohrungen durchgeführt (Schlagsonde mit Kerndurchmesser 2 cm; Lage siehe Abb. 1.1).

Aufgrund der damals winterlichen Bedingungen konnten nicht alle Gebiete erreicht werden. Im Gebiet des Riedtals wurden deshalb im Rahmen der vorliegenden Untersuchung weitere 11 Sondierungen abgeteuft. Diese wurden v.a. in Steilhängen (Fragestellung: Mächtigkeit der Böden) und in Mulden (Fragestellung des Vernässungsgrads) durchgeführt.

In den Steilhängen, wo die Sondierungen S1, S8 und S11 abgeteuft wurden, konnten verhältnismässig tiefgründige Braunerden aufgeschlossen werden. Nur bei S3 über Nagelfluh, war der Fels oberflächennah.

Die Standorte S4, S5, S6, S7 und S10 lagen allesamt in Mulden. Ausser der letzten Sondierung, welche starke Vernässung zeigte (Buntgley), lagen bei den übrigen Braunerden vor. Letztere sind Böden, die speicherfähig sind und nach Niederschlägen rasch entwässern.

4.2 Ergänzende Kartierung der Abflusstypen 2024

Das Gebiet des Riedtals wurde aufgrund der aus den Sondierungen gewonnenen Erkenntnisse steile Hanglagen und Muldenlagen neu klassifiziert (Abb. 4.1). Tabelle 4.1 beschreibt von den Abflusstypen 1 - 5 die entsprechende Reaktionsweise, die dominanten Abflussprozesse, die massgebenden Gebietseigenschaften und zeigt den Anteil des EZG. Tabelle 4.2 zeigt dies für die Siedlungstypen S1 - S3.

95.8% des EZG gehören den natürlichen Flächen (Landwirtschafts- und Waldflächen) an. Die Siedlungsflächen machen nur 4.2% des EZG aus. Dem stark beitragenden Abflusstyp 1 gehören nur 0.6% des EZG an, 8.9% macht der Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend) aus. Dem Abflusstyp 3 (verzögert beitragend) wurden 31% zugewiesen. Abflusstyp 4 (stark verzögert beitragend) 50.1% und dem Abflusstyp 5 (sehr stark verzögert beitragend) gehören 5.2% des EZG an.

Siedlungstypen S1 - S3 machen 4.5% des EZG aus. Dem rasch und stark beitragenden Siedlungstyp S1 wurden 1.9% des EZG zugewiesen, dem Siedlungstyp S2 (leicht verzögert beitragend) 0.9%, dem Siedlungstyp S3 (verzögert beitragend) 1.7%.

Die für die Hochwasserentstehung massgebenden Abflusstypen (rasch, leicht verzögert und verzögerten Abflusstypen 1 - 3 und S1 - 3) machen 44.7% des EZG aus. Aufgrund dieser Verteilung kann die Abflussreaktion des EZG der Seewag auf Starkregen als vergleichsweise mässig (bis stark) beurteilt werden.

Tab. 4.1: Dominante Abflussprozesse, Gebietseigenschaften und Abflusstypen der natürlichen Flächen im EZG der Seewag (Siedlungsabflusstypen sind in Tab. 4.2 erhalten).

Abflusstyp	Abflussreaktion	Dominante Abflussprozesse	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil am EZG	
				(km ²)	(%)
1	Rasch und stark beitragende Flächen	Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (HOF1)	Felsflächen mit Gefälle, sehr steile Gerinneflanken	0.11	0.6
		Sofortiger gesättigter Oberflächenabfluss (SOF1)	Feucht- und Nassflächen und stark vernässte Böden an Hanglagen		
2	Leicht verzögert beitragende Flächen	Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (HOF2)	Schwach durchlässige Böden mit geringem Gefälle	1.67	8.9
		Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sich langsam sättigender Flächen (SOF2)	Vernässte Böden im Bereich von Quellmulden, Flachmoore und Galeriewälder an geneigter Lage, Bachflanken und Gerinnesäume		
		Rascher Abfluss im Boden (SSF1)	Flachgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fliesswegen über schwach durchlässigem Untergrund mit grossem Gefälle, bewaldete Bachflanken		
3	Verzögert beitragende Flächen	Verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sehr langsam sich sättigender Böden (SOF3)	Mässig tiefgründige, leicht hydromorphe Böden mit mässiger bis guter Durchlässigkeit	5.89	31
		Verzögerter Abfluss im Boden (SSF2)	Mässig tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fliesswegen über Fels, Hangschutt oder Moräne in Gerinnenähe		
4	Stark verzögert beitragende Flächen	Sehr stark verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sehr langsam sich sättigender Böden (SOF3)	Tiefgründige Böden mit guter Durchlässigkeit	9.5	50.1
		Stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3)	Tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fliesswegen		
5	Sehr stark verzögert beitragende Flächen	Tiefensickerung (DP)	Tiefgründige gut durchlässige Böden oder flachgründige, gut durchlässige Böden auf durchlässiger Geologie (Moräne, Hangschutt und Bergsturzmaterial)	0.98	5.2
		Sehr stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3)	Tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fliesswegen, gerinnefern		
Total				18.17	95.8

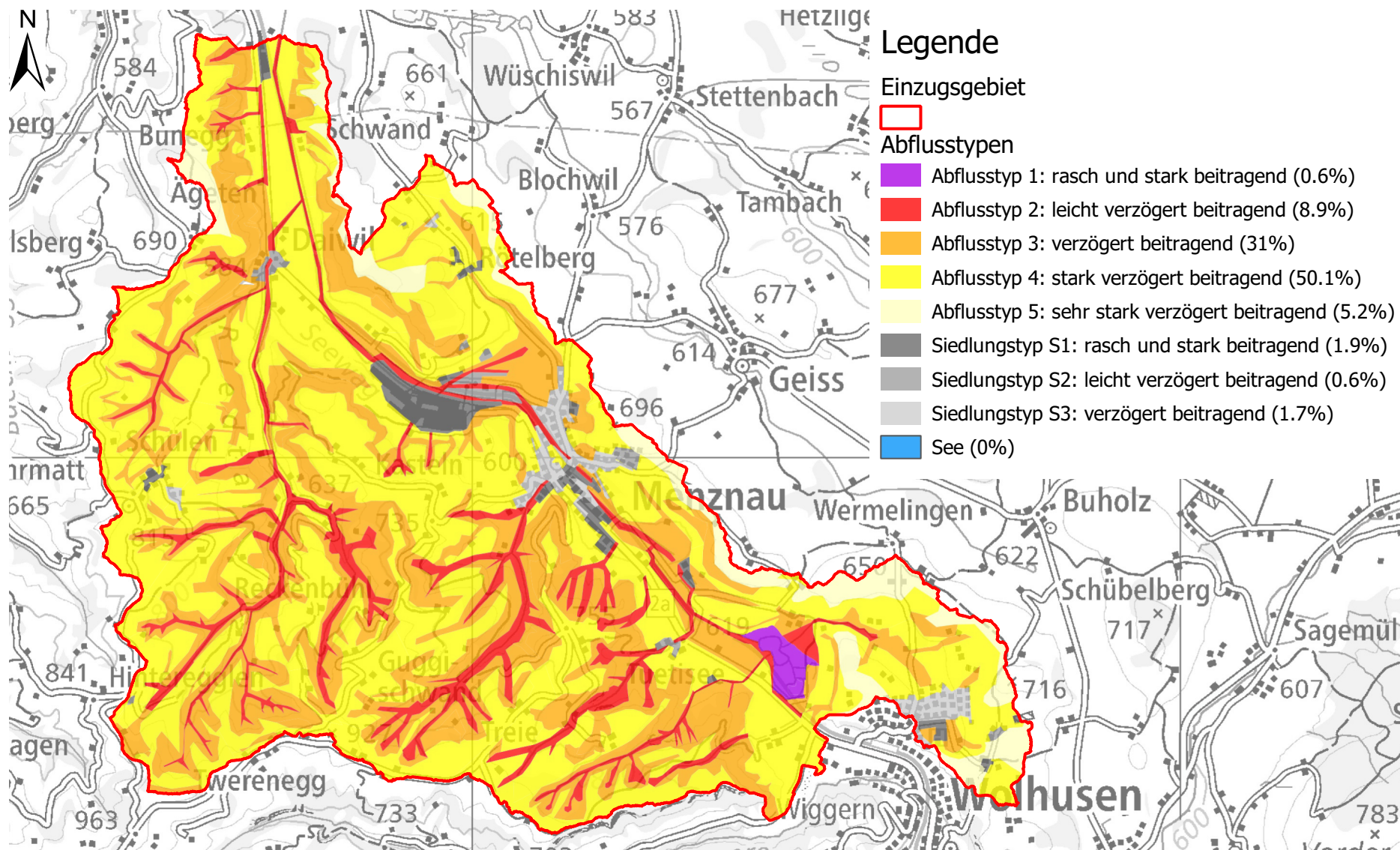
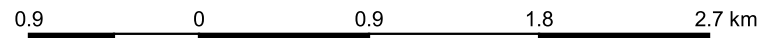


Abb. 4.1: Flächen ähnlicher Abflussbereitschaft (Abflusstypen) im EZG der Seewag.



Tab. 4.2: Klassierung der Siedlungsflächen nach Abflusstypen im EZG der Seewag.

Abflusstyp	Abflussreaktion	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil im EZG	
			(km ²)	(%)
S1	rasch und stark beitragend	sehr dicht bebaute Flächen leicht geneigte, dicht bebaute Flächen stark geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.36	1.9
S2	leicht verzögert beitragend	ebene, dicht bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen geneigte, locker bebaute Flächen	0.11	0.6
S3	verzögert beitragend	geneigte, locker bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.32	1.7
Total			0.8	4.2

4.3 Abflussreaktionskurven

Abbildung 4.2 zeigt die Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen und Siedlungsgebiete. Auf der Grundlage von Beregnungsversuchen (Scherrer, 1997) wurden den fünf Abflusstypen der natürlichen Flächen je eine Abflussreaktionskurve zugeordnet. Die Kurven beschreiben den Anteil des abfliessenden Niederschlags in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge. Eingetragen sind die Spitzen- und die Volumenabflusskoeffizienten. Bei den flächenmässig dominierenden Flächen des Abflusstyps 4 (ca. 50.1% des EZG der Seewag) fliessen bei 100 mm Niederschlag nur ca. 10% ab. Bei den ebenfalls stark vertretenen Abflusstypen 3 (31% des EZG) fliessen bei einem Niederschlag von 100 mm rund 30%.

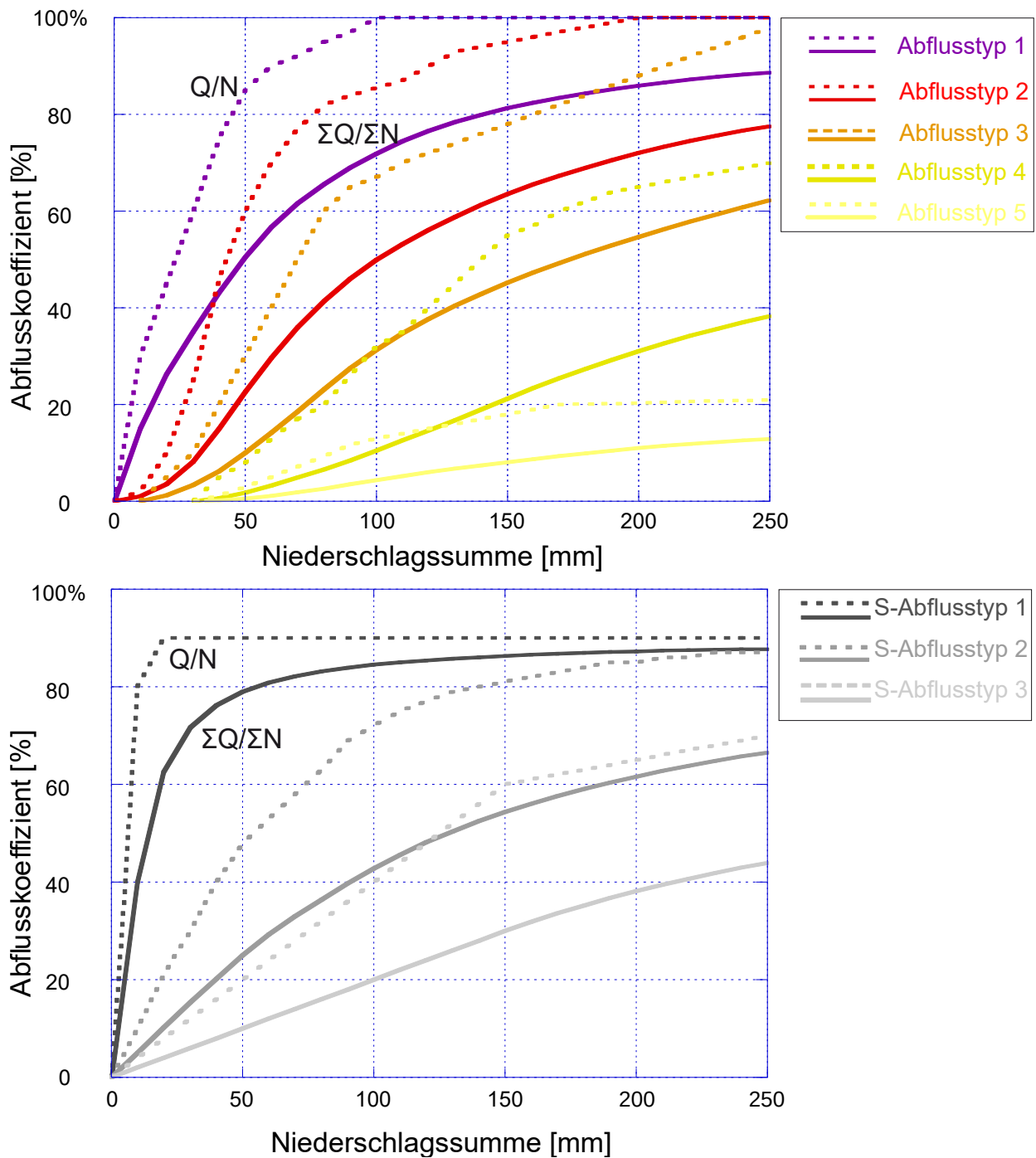


Abb. 4.2: Die Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen (oben) und für Siedlungsflächen (unten). Sie definieren den Anteil des abfließenden Niederschlags in Abhängigkeit der Niederschlagssumme. Eingetragen ist der Spitzenabflusskoeffizient (Q/N , gestrichelt) und der Volumenabflusskoeffizient ($\Sigma Q/\Sigma N$, ausgezogene Linie).

5 Abflussberechnungen

5.1 Einleitung

Das hier eingesetzte Niederschlag-Abfluss-Modell (NAM) QArea⁺ wurde am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich entwickelt und erfasst die bei der Hochwasserentstehung beteiligten Abflussprozesse. Dieses Modell ist ein Hilfsmittel, das erlaubt, das Abflussverhalten des EZG auf verschiedene Starkniederschläge rechnerisch zu simulieren und die Reaktion auf seltene meteorologische Bedingungen (Niederschlags-Szenarien) abzuschätzen.

Im Vergleich zu dem in Scherrer AG (2014) verwendeten Modell wurde das aktuelle Modell in der Zwischenzeit verbessert. Einige Grundlagen aus Scherrer AG (2014) wurden für das aktuelle Modell übernommen, andere wurden entsprechend angepasst (Kap. 5.3).

5.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea⁺

Die Abbildung 5.1 zeigt die Grundlagen des NAM QArea⁺. Das Modell wurde den Verhältnissen entsprechend für die Seewag erstellt. Zusammenfassend die wichtigsten Grundlagen und Eigenschaften des Modells QArea⁺:

- Das NAM basiert auf der Klassifizierung der **Abflussbereitschaft** der Teileinzugsgebietsflächen (Abflusstypen, Abb. 5.1b) und den dazugehörigen Abflussreaktionen (Abflussreaktionskurven, Abb. 5.1e).
- Die **Fliesszeiten** bis zum Teileinzugsgebietsausgang (Isochronen) und die Fliesszeiten in den Gerinnen werden berücksichtigt (Abb. 5.1c).
- **Niederschläge**: Zur Simulation von Landregen aber auch kurzen Gewitterniederschlägen kann das Gebie gleichmässig überregnet werden oder auch nur Teile davon (Abb. 5.1d).

Ein Schema des eingesetzten Modells ist in Anhang 3 zu finden. Der gefallene Niederschlag wird aufgeteilt in Direktabfluss und in den Boden infiltrierendes Wasser. Das infiltrierte Wasser wird im Boden gespeichert und verzögert wieder abgegeben. Die Reaktion dieser Bodenspeicher wird mit linearen Speichern modelliert. Für jeden Abflusstyp wird eine eigene Speichercharakteristik angenommen. Der Direktabfluss erfährt auf dem Weg ins Gerinne eine Verzögerung durch Retention (Oberflächenspeicher), welche ebenfalls mit einem linearen Speicher simuliert wird.

5.3 Modellanpassungen, berücksichtigte Bauwerke und Anmerkungen

- **Rückhaltebecken Hackbrätt**: Das Rückhaltebecken am BP2 ist seit 2010 in Betrieb. Es wurde als ungesteuertes Rückhaltebauwerk mit einem maximalen Drosselabfluss von 1.7 m³/s konzipiert (Holinger 2014, 2015, 2018). Gemäss Betriebsreglement (Holinger, 2018) ist eine Schützöffnung von 0.5 m erforderlich, um diese Drosselung zu gewährleisten. Aufgrund der Abweichung in der tatsächlichen Stellung der Klappe des Drosselbauwerks muss jedoch die V-Q-Beziehung für die Modellverifizierung angepasst werden. Gemäss Holinger (2015) wurde ein maximales Rückhaltevolumen von 40'400 m³ festgelegt.
- **Rückhaltebecken Rickenbach**: Das Rückhaltebecken am BP4 ist seit 2015/2016 in Betrieb. Es wurde als ungesteuertes Rückhaltebauwerk mit einer V-Q-Beziehung mit maximalem Drosselabfluss von 3.5 m³/s berücksichtigt (oeko-b, 2016). Gemäss Holinger

(2015) wurde ein maximales Rückhaltevolumen von ca. 30'000 m³ festgelegt.

- **Tuetisee:** Der Tuetisee wurde im Modell als "Rückhaltenbecken" mit einem Drosselabfluss von 0.5 m³/s abgebildet (Scherrer AG, 2014).

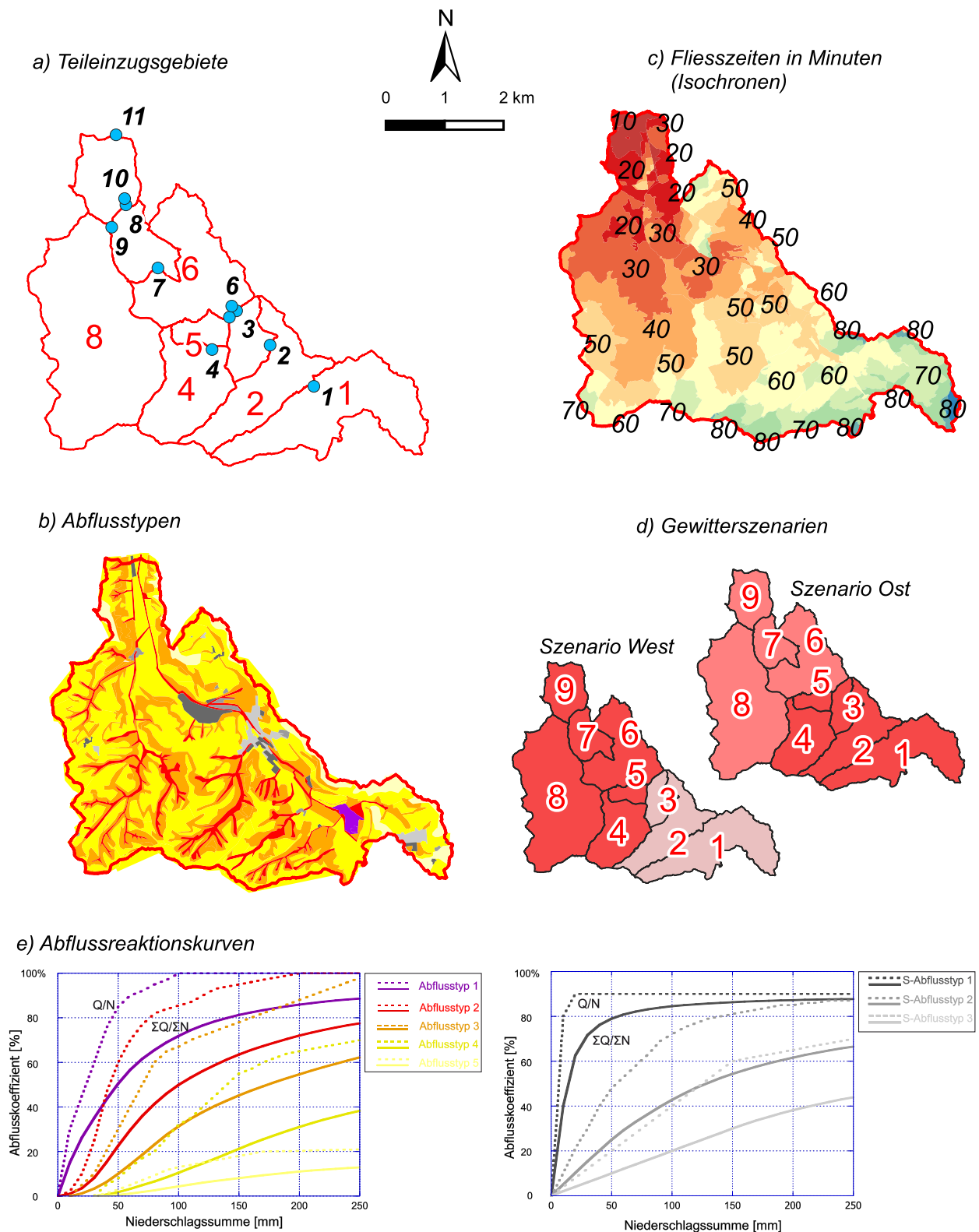


Abb. 5.1: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells Q_{AREA}^+
 a) die Teileinzugsgebiete mit den Berechnungspunkten,
 b) die Abflusstypen,
 c) die Fließzeiten in Minuten (Isochronen),
 d) Gewitterszenarien,
 e) die Abflussreaktionskurven

5.4 Verifikation des Modells

Für die Modelleichung wurden zwei Regenereignisse nachgerechnet: 13. Juli 2021 (Abb. 5.2) und 8. Juni 2007 (Abb. 5.4). Das Ereignis vom Juli 2021 ist das einzige, das seit der Einrichtung der Pegel zur Verifizierung des Modells herangezogen werden kann⁵. Das Ereignis vom Juni 2007 ist das grösste Hochwasser in Menznau gemäss der historischen Erkundung und dient als Referenz für die Bewertung der ungedämpften Reaktion des Einzugsgebiets mit dem neuen Modell.

Bei diesen Hochwasserereignissen waren folgende Voraussetzungen für eine Modelleichung gegeben:

- **13.7.2021:** Die an den beiden Rückhaltebecken gemessenen Wasserstände wurden mittels der vorhandenen V-H-Beziehung in Volumina umgerechnet und mit der modellierten Beckenfüllung verglichen. Gemäss internen Notizen des Kantons Luzern wurde die Schützöffnung am HRB Hackbrätt bei diesem Ereignis auf ca. 0.4 m eingestellt. Die verwendete V-Q-Beziehung ist in Abb. 3.1 dargestellt (gepunktete Linie). Für das HRB Rickenbach wurde die V-Q-Beziehung von oeko-b (2016) verwendet (Abb. 3.2, gepunktete Linie). Die räumliche und zeitliche Niederschlagsverteilung sind in Kap. 3.3.2 beschrieben.
- **8.6.2007:** Da es sich um ein Gewitter handelt, ist eine detaillierte räumliche und zeitliche Auflösung der Niederschläge erforderlich. In Scherrer AG (2014) wurde der Niederschlagsverlauf und die Niederschlagsverteilung aus Bodenstationen und Radardaten rekonstruiert. Diese Grundlage wurde in der vorliegenden Studie übernommen.

Der Vergleich berechnetes / beobachtetes Volumen an beiden Pegeln für das Ereignis vom **13.7.2021** ist in der Abbildung 5.2 dargestellt (Auflösung 10 Minuten). Das Modell kann den Verlauf und die Spitze des gefüllten Volumens in beiden Becken gut nachbilden, wobei das Volumen am Ende des Ereignisses überschätzt wird.

Anhand von Fotos konnten die Abflussspitzen bei Swiss Krono (BP7) und der oberen Grenze des Spitzenabflusses am Riedtalbach in Daiwil (BP9) rekonstruiert werden (Kap. 3.4).

Abbildung 5.3 zeigt die berechneten Abflüsse an ausgewählten BP für das Ereignis vom **13.7.2021**. Das gelbe Rechteck stellt den Bereich der rekonstruierten Abflussspitze am BP7 dar (Tab. 3.4). Der Vergleich mit der orangen Linie zeigt, dass das Modell innerhalb des Bereichs der Rekonstruktion bleibt. Am BP9 (Riedtalbach oberhalb des Durchlasses Menznauerstrasse in Daiwil) war die Kapazität gemäss Aussagen der Gewährspersonen ausreichend (gestrichelte violette Linie gemäss Tab. 3.5). Der Vergleich mit der durchgezogenen violetten Linie zeigt, dass das Modell unter der abgeschätzten Kapazität bleibt und somit mit der Aussage übereinstimmt.

5 Für die anderen Ereignisse sind das gefüllte Volumen und die Wasserstände zu klein.

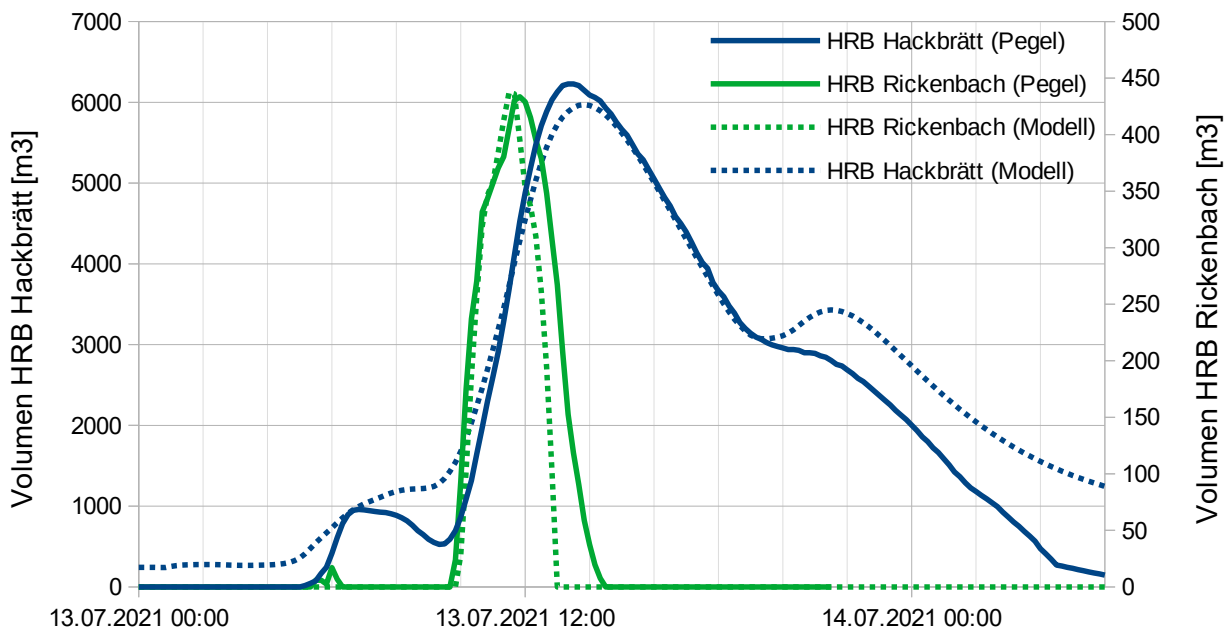


Abb. 5.2: Die Validierung des NAM-Modells für das Regenereignis vom 13.7.2021. Die durchgezogenen Linien zeigen die beobachteten gefüllten Volumina an den beiden Pegeln. Die gepunkteten Linien zeigen die entsprechenden berechneten Werte.

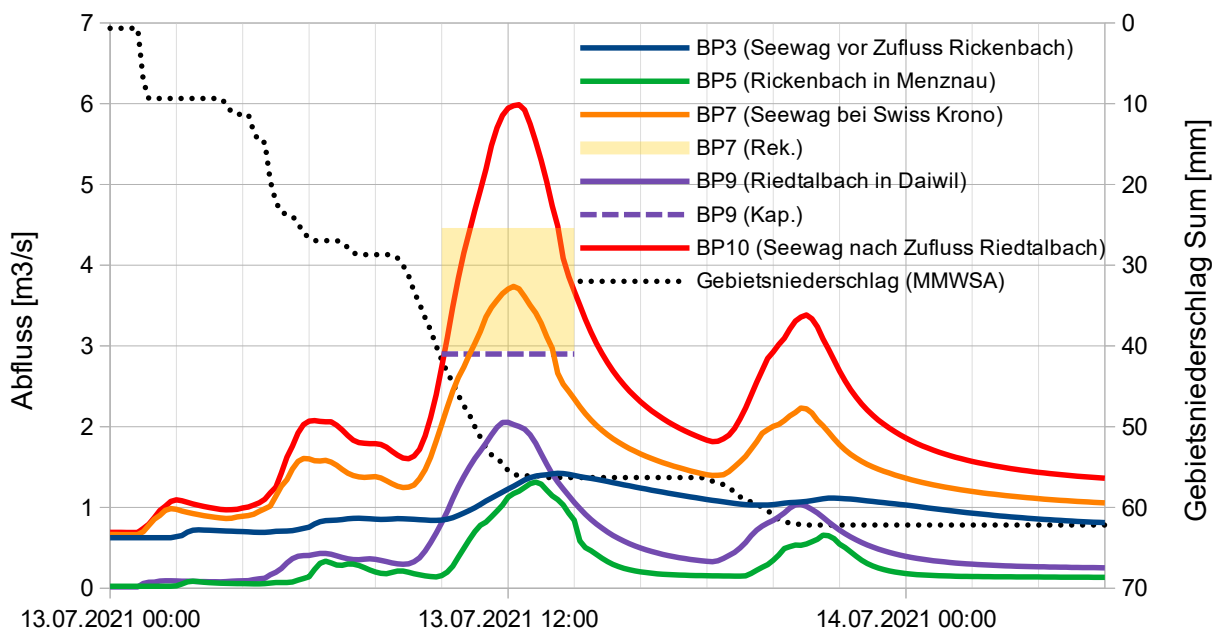


Abb. 5.3: Die Validierung des NAM-Modells für das Regenereignis vom 13.7.2021. Die durchgezogenen Linien zeigen die berechneten Abflüsse an den entsprechenden Bemessungspunkten (BP). Das gelbe Rechteck stellt den rekonstruierten Bereich der Abflussspitzen am BP7 dar (siehe Tab. 3.4). Die gestrichelte Linie entspricht der Kapazität des Riedtalbachs bei Daiwil (BP9, Tab. 3.5). Die gepunktete Linie zeigt den Verlauf des kumulierten Gebietsniederschlags anhand der Niederschlagsstation MMWSA (Willisau).

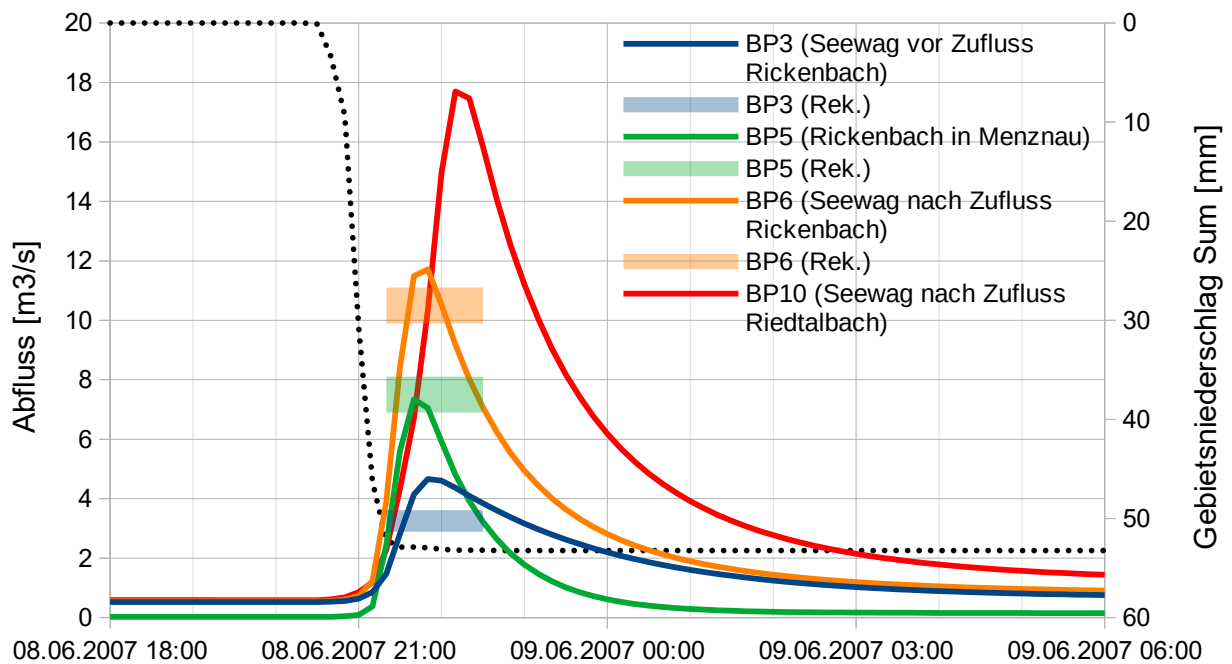


Abb. 5.4: Die Validierung des NAM-Modells für das Regenereignis vom 8.6.2007. Die durchgezogenen Linien zeigen die berechneten Abflüsse an den entsprechenden Bemessungspunkten (BP). Die farbigen Rechtecke stellen den rekonstruierten Bereich der Spitzenabflüsse dar (Scherrer AG, 2014). Die gepunktete Linie zeigt den Verlauf des kumulierten Gebietsniederschlags anhand der Niederschlagsstation LUWOL (Wolhusen).

Abbildung 5.4 zeigt den Vergleich der berechneten und rekonstruierten Spitzenabflüsse für das Hochwasser vom **8.6.2007** (damals ohne Rückhaltenbecken). Wie auch in Scherrer AG (2014) stimmen Modell und Beobachtungen gut überein.

Ausgehend von den vier untersuchten Hochwassern kann gefolgert werden, dass das Modell plausible Ergebnisse ergibt und für die Abflussszenarien (Kap. 5.5) eingesetzt werden kann.

5.5 Niederschlags-Szenarien

5.5.1 Einleitung

Für die Modellrechnung mit Szenarien sind Niederschlagswerte unterschiedlicher Dauer und Jährlichkeit erforderlich. Im vorliegenden Bericht werden die Extremniederschlagsstatistiken aus der Station Napf (NAP) sowie aus Hydromaps (Frei & Fukutome, 2022) betrachtet und verglichen.

Die Abschätzung des Gebietsniederschlags anhand der punktuellen Extremniederschlagswerte erfolgte mit einem Abminderungsfaktor, der von der Grösse der EZG, der Niederschlagsdauer und der geographischen Zone abhängt (HADES, 1992). Für Niederschlagsszenarien mit einer Dauer von mehr als 4 Stunden wurden Abminderungsfaktoren zwischen 0.91 und 0.98 angenommen.

5.5.2 Extremwertanalyse der Niederschlagsstation Napf:

Die Niederschlagsstation Napf (NAP) liegt südwestlich des EZG, ca. 12 km von Menznau entfernt. Die Station misst Tageswerte seit 1978 und zeitlich hoch aufgelöst (10- Minutenwerte) seit 1981 (ca. 40 Jahre). Eine Extremniederschlagsstatistik wurde in Scherrer AG (2014) erstellt und in der vorliegenden Studie aktualisiert (Anhang 2).

Ein Vergleich der 100-jährlichen Niederschläge mit einer Dauer von mehr als 4 Stunden (Dauerregenszenarien) zeigt, dass die aktualisierten Werte (Tabelle 5.1) bis zu 9% unter den Scherrer AG (2014)-Werten liegen. Bei den Gewitterszenarien (Dauern \leq 4h) ist der Unterschied gering.

5.5.3 Extremniederschlagswerte von Hydromaps:

Im Jahr 2022 erschien im Hydrologischen Atlas der Schweiz das neue Blatt (B04) "Extreme Punktniederschläge" (Fukutome & Frei, 2022), das Auskunft gibt über 1 h- und 24 h-Niederschläge unterschiedlicher Jährlichkeit. Die Aktualisierung des bisherigen Blattes 2.22 aus dem Jahre 1997 war schon lange fällig. Allerdings beinhaltet das neue Blatt aktuell bezüglich Ereignisdauern nur 1 h- und 24 h-Werte. Zudem umfasst die Datengrundlage nur gerade die Niederschläge der letzten 60 Jahre, obwohl an gewissen Stationen der Schweiz seit 1864 (158 Jahre) Niederschlag gemessen wird.

Für die Hydromaps-Szenarien wurden die Niederschlagsintensitäten, welche unter <https://hydromaps.ch> verfügbar sind verwendet. Die Werte sind für Wiederkehrperioden von 2 bis 300 Jahren und Regendauern von 1 und 24 Stunden verfügbar. Um die anderen Dauern zu berücksichtigen, wurden die Niederschlagswerte aus Hydromaps interpoliert oder extrapoliert⁶. Da die Niederschlagswerte räumlich leicht schwanken, wurden die Mittelwerte verwendet.

Ein Vergleich der 100-jährlichen Extremniederschläge zeigt, dass die Werte von Hydromaps für die Dauer von 4 bis 12 Stunden bis zu 8% höher sind als die von NAP. Für die übrigen Dauern sind die Werte von NAP um bis zu 16% höher.

5.5.4 Zeitliche Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensitäten

Szenarien NAP:

Tabelle 5.1 zeigt die für die Modellrechnungen verwendeten Werte. Bei kurzen den Niederschlag-Szenarien bis 4 h Dauer wurde eine zeitliche Dreiecksverteilung angenommen mit der

6 Dies wurde durchgeführt, obwohl Interpolation und Extrapolation der Hydromaps-Werte gemäss Autoren nicht zulässig sind (Frei und Fukutome, 2022).

Niederschlagsspitze nach einem Drittel der Niederschlagsdauer. Für die Niederschläge mit einer Dauer von 6 h und länger wurde eine gleichmässige zeitliche Verteilung (Blockregen) verwendet.

Szenarien Hydromaps:

Tabelle 5.2 zeigt die Niederschlagswerte, die für die Hydromaps-Szenarien verwendet wurden. Auch hier wurden bei den kurzen Niederschlag-Szenarien bis 4 h Dauer eine zeitliche Dreiecksverteilung angenommen mit der Niederschlagsspitze nach einem Drittel der Niederschlagsdauer. Für die Niederschläge mit einer Dauer von 6 h und länger wurde eine gleichmässige zeitliche Verteilung (Blockregen) verwendet.

5.5.5 Räumliche Niederschlagsverteilung

Niederschläge haben eine zeitliche (Dauer und Intensität des Niederschlags) und eine räumliche Verteilung (Überregnung des Gebiets). Bei lang andauernden Niederschlagsereignissen (> 4 h Dauer) wurde angenommen, dass das ganze rund 18.9 km² grosse EZG gleichmässig überregnet wird.

Die Zentren von Konvektionszellen, in denen die Niederschlagsmaxima von kurzen Starkniederschlägen (≤ 4 h Dauer) fallen, sind auf wenige km² begrenzt. Daher wurden zwei massgebende Gewitterszenarien für die Niederschläge mit einer Dauer von vier Stunden oder weniger festgelegt (Abb. 5.1d).

- Gewitterszenario Ost: Die Teileinzugsgebiete 1 bis 5 werden voll überregnet. Die restlichen, nicht voll überregneten Teileinzugsgebiete werden zu 50%⁷ beregnet.
- Gewitterszenario West: Die Teileinzugsgebiete 4 bis 9 werden voll überregnet. Die restlichen, nicht voll überregneten Teileinzugsgebiete werden zu 10%⁷ beregnet.
- Blockscenario: Das gesamte EZG ist gleichmässig überregnet.

7 Bei Analysen von extremen Gewitterzellen zeigte sich, dass diese meist einen "Kern" mit sehr hohen Intensitäten aufweisen und die angrenzenden Bereiche geringere Niederschläge erhalten (VAW, 1995). Dies wird berücksichtigt, indem der angrenzende Bereich mit 50% beregnet wird. Bei Gewitterszenario werden die nicht voll beregneten TEZG zwischen 10% und 50% beregnet. So ist gewährleistet, dass trotz unterschiedlicher Grösse des überregneten Haupt-Niederschlagsgebiets bei allen Szenarien gleich viel Niederschlag auf das gesamte EZG fällt.

Tab. 5.1: Niederschlags-Szenarien basierend auf der Niederschlagstatistik von NAP. Die Werte für die Dauer ab 6 Stunden wurden gemäss HADES (1992) reduziert.

Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-dauer [h]	Wiederkehrperiode [Jahre]	Zeitliche Verteilung des Niederschlags	Niederschlags-menge [mm]	Max. Niederschlagsintensität [mm/h]
05h30j	0.5	30	Dreieck	47.2	141.6
1h30j	1	30	Dreieck	54.8	95.9
2h30j	2	30	Dreieck	61.5	57.6
4h30j	4	30	Dreieck	69.8	33.8
6h30j	6	30	Block	69.0	11.5
8h30j	8	30	Block	76.6	9.6
12h30j	12	30	Block	87.2	7.3
24h30j	24	30	Block	118.6	4.9
48h30j	48	30	Block	152.1	3.2
72h30j	72	30	Block	184.5	2.6
05h100j	0.5	100	Dreieck	63.0	189.1
1h100j	1	100	Dreieck	72.2	126.3
2h100j	2	100	Dreieck	79.4	74.4
4h100j	4	100	Dreieck	88.2	42.7
6h100j	6	100	Block	85.0	14.2
8h100j	8	100	Block	93.5	11.7
12h100j	12	100	Block	106.7	8.9
24h100j	24	100	Block	146.0	6.1
48h100j	48	100	Block	185.3	3.9
72h100j	72	100	Block	228.7	3.2
05h300j	0.5	300	Dreieck	81.8	245.3
1h300j	1	300	Dreieck	92.3	161.5
2h300j	2	300	Dreieck	99.6	93.4
4h300j	4	300	Dreieck	108.3	52.5
6h300j	6	300	Block	102.1	17.0
8h300j	8	300	Block	111.3	13.9
12h300j	12	300	Block	127.3	10.6
24h300j	24	300	Block	175.1	7.3
48h300j	48	300	Block	220.3	4.6

Tab. 5.2: Niederschlagswerte für die Hydromaps-Szenarien (*). Die Werte für die Dauer ab 6 Stunden wurden gemäss HADES (1992) reduziert.

Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlagsdauer [h]	Wiederkehrperiode [Jahre]	Zeitliche Verteilung des Niederschlags	Niederschlagsmenge [mm]	Max. Niederschlagsintensität [mm/h]
05h30j	0.5	30	Dreieck	40.8	122.3
1h30j	1	30	Dreieck	<u>48.8</u>	85.5
2h30j	2	30	Dreieck	58.5	54.9
4h30j	4	30	Dreieck	70.1	34.0
6h30j	6	30	Block	72.5	12.1
8h30j	8	30	Block	80.2	10.0
12h30j	12	30	Block	89.7	7.5
24h30j	24	30	Block	<u>106.3</u>	4.4
48h30j	48	30	Block	130.1	2.7
72h30j	72	30	Block	144.6	2.0
05h100j	0.5	100	Dreieck	54.4	163.2
1h100j	1	100	Dreieck	<u>64.4</u>	112.6
2h100j	2	100	Dreieck	76.1	71.4
4h100j	4	100	Dreieck	90.0	43.6
6h100j	6	100	Block	92.4	15.4
8h100j	8	100	Block	101.7	12.7
12h100j	12	100	Block	112.8	9.4
24h100j	24	100	Block	<u>132.0</u>	5.5
48h100j	48	100	Block	159.5	3.3
72h100j	72	100	Block	175.9	2.4
05h300j	0.5	300	Dreieck	70.7	212.2
1h300j	1	300	Dreieck	<u>82.5</u>	144.4
2h300j	2	300	Dreieck	96.3	90.3
4h300j	4	300	Dreieck	112.3	54.4
6h300j	6	300	Block	114.3	19.1
8h300j	8	300	Block	125.2	15.6
12h300j	12	300	Block	137.7	11.5
24h300j	24	300	Block	<u>159.0</u>	6.6
48h300j	48	300	Block	189.4	3.9
72h300j	72	300	Block	207.3	2.9

* Die unterstrichenen Werte geben die von Hydromaps (Frei und Fukutome, 2022) bereitgestellten Niederschlagsmengen an. Die übrigen Werte wurden interpoliert oder extrapoliert).

5.6 Abflussberechnungen

Die Resultate der Modellrechnungen an den Bemessungspunkten des EZG basierend auf den verschiedenen Niederschlagsszenarien sind in Anhang 4 (NAP-Szenarien) und Anhang 5 (Hydromaps-Szenarien) dargestellt. Die angenommenen V-Q-Beziehungen für die HRB Hackbrätt und Rickenbach wurden von Holinger (2018) bzw. oeko-b (2016) übernommen (siehe Abb. 3.1 und Abb. 3.2). Die maximale Füllung der HRB Hackbrätt und Rickenbach ist ebenfalls in Anhang 4 resp. Anhang 5 angegeben.

5.6.1 Szenarien NAP:

Aus der Modellrechnung ergeben sich folgende Punkte:

- Das massgebende 100-jährliche Szenario am HRB Hackbrätt (BP2) ist ein 24-stündiger Dauerregen. Bei diesem Szenario überschreitet das gefüllte Beckenvolumen (ca. 35'900 m³) die Kapazität von 35'000 m³ geringfügig, wodurch die Hochwasserentlastung anspringt. Dies führt zu einem Spitzenabfluss an der Seewag bei BP3 (Menznau vor Zufluss Rickenbach) von rund 3.5 m³/s.
- Am HRB Rickenbach (BP4) wird das maximale gefüllte Beckenvolumen bei einem 300-jährlichen Gewitter mit einer Dauer von 2 Stunden erreicht. Mit ca. 26'000 m³ liegt es unter dem zur Verfügung stehenden Volumen von 26'400 m³. Der maximale 100-jährliche Spitzenabfluss am Rickenbach in Menznau (BP5) beträgt 3.7 m³/s (1-stündiges Gewitter).
- Am BP6 (Seewag nach Zufluss Rickenbach in Menznau) und am BP10 (Seewag nach Zufluss Riedtalbach) erreichen die maximalen 100-jährlichen Spitzenabflüsse 6.5 m³/s bzw. 18.8 m³/s. An beiden Bemessungspunkten ist das Gewitterszenario mit einer Dauer von 2 Stunden massgebend.

5.6.2 Szenarien Hydromaps

Im Vergleich zu den NAP-Szenarien (Kap. 5.6.1) sind folgende Punkte zu bemerken:

- Das massgebende 100-jährliche Szenario am HRB Hackbrätt (BP2) ist ebenfalls ein 24-stündiger Dauerregen. Das gefüllte Beckenvolumen überschreitet mit ca. 30'000 m³ das zur Verfügung stehende Rückhaltevolumen (35'000 m³) nicht. Aufgrund der ausbleibenden Entlastung ist der Spitzenabfluss am BP3 geringer (2.9 m³/s).
- Am HRB Rickenbach (BP4) und am BP5 unterscheiden sich die Ergebnisse nur geringfügig. Das maximal gefüllte Beckenvolumen beim 300-jährlichen Gewitterszenario ist mit rund 27'000 m³ leicht höher, der maximale 100-jährliche Spitzenabfluss am Rickenbach in Menznau (4-stündiges Gewitter) beträgt 3.6 m³/s.
- Am BP6 und BP10 sind die maximalen 100-jährlichen Spitzenabflüsse ebenfalls sehr ähnlich: 6.5 m³/s am BP6 für das 4-stündige Gewitter und 18.7 m³/s am BP10 für den 8-stündigen Dauerregen.

6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit

6.1 Einleitung

Um die massgebenden Hochwasserspitzen festzulegen, wurden im Sinne einer Synthese die Erkenntnisse aus den historischen Hochwassern und die Resultate der Modellrechnungen in einem Frequenzdiagramm zueinander in Beziehung gesetzt. Dies liefert ein Gesamtbild und zeigt den Unsicherheitsbereich der Hochwasserabschätzung auf. Bei der Festlegung der massgebenden Abflüsse verspricht dieses Vorgehen eine grössere Verlässlichkeit.

Erkundung historischer Hochwasser:

- Mit Ausnahme des Hochwassers vom 14.7.2014 sind in Menznau und im Unterlauf des EZG seit 2012 relativ wenig Hochwasser zu verzeichnen. Bemerkenswert ist die schwache Hochwasserreaktion auf den Niederschlag vom 13.7.2021.
- Anhand der gemessenen Niederschlagsmaxima unterschiedlicher Dauer an den Stationen Wilisau und Wolhusen konnten die entsprechenden Niederschlagsmengen mit Jährlichkeiten zwischen 2 und 10 Jahren zugeordnet werden (Statistik Napf/Hydromaps). Die Vorbedingungen vor diesen Ereignissen deuten darauf hin, dass das EZG nicht empfindlich auf die Vorfeuchte reagiert.
- Am Riedtalbach konnte der Spitzenabfluss während des Ereignisses vom 24.6.1977 abgeschätzt werden. Nach Aussagen von Gewährspersonen wird dem Abfluss von 6.5 - 8 m³/s eine Jährlichkeit von 50 bis 70 Jahren zugeordnet.
- Die historische Erkundung weist darauf hin, dass die Seewag nur geringfügig auf hohe Vorfeuchte reagiert.

Abflussreaktion des EZG auf Starkregen:

- 95.8% des EZG gehören den natürlichen Flächen (Landwirtschafts- und Waldflächen) an. Die Siedlungsflächen machen nur 4.2% des EZG aus. Dem stark beitragenden Abflusstyp 1 gehören nur 0.6% des EZG an, 8.9% macht der Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend) aus. Dem Abflusstyp 3 (verzögert beitragend) wurden 31% zugewiesen. Der Abflusstyp 4 (stark verzögert beitragend) und der Abflusstyp 5 (sehr stark verzögert beitragend) machen 55.3% des EZG aus. Siedlungstypen S1 - S3 machen 4.5% des EZG aus.
- Die für die Hochwasserentstehung massgebenden Abflusstypen (rasch, leicht verzögert und verzögerten Abflusstypen 1 - 3 und S1 - 3) machen 44.7% des EZG aus. Aufgrund dieser Verteilung kann die Abflussreaktion des EZG der Seewag auf Starkregen als vergleichsweise mässig (bis stark) beurteilt werden.

Resultate der Abflussberechnungen:

- Das HRB Hackbrätt (BP2) mit einer Schutzöffnung von 0.5 m x 0.6 m und entsprechender V-Q-Beziehung nach Holinger (2018) ist für das massgebende 100-jährliche Niederschlagsszenario knapp bemessen. Eine Anpassung der Drosselöffnung auf 0.6 m x 0.6 m, wie in Holinger (2015) vorgeschlagen, wäre sinnvoll.
- Am BP5 (Rickenbach in Menznau), BP6 (Seewag nach Zufluss Rickenbach) und BP10 (Seewag nach Zufluss Riedtalbach) sind die 100-jährlichen Spitzenabflüsse bei beiden Niederschlagsszenarien Napf und Hydromaps ähnlich. Die Drosselung des HRB ist bis

zu den 300-jährlichen Szenarien wirksam.

6.2 Hochwasserabflüsse am Stegbach

Das Frequenzdiagramm in Abbildung 6.1 fasst die Ergebnisse der historischen Erkundung und der Modellrechnung am BP6 zusammen.

- Die Linienfarbe zeigt an, ob die beide Rückhaltebecken (HRB) berücksichtigt (blau) oder nicht berücksichtigt wurden (schwarz). Die Werte ohne Retention dienen als Referenz für den Vergleich mit historischen Hochwassern.
- Die gestrichelten Linien stellen die maximalen Abflüsse mit der Niederschlagsstatistik Napf dar, die durchgezogenen Linien stehen für die Niederschlagsstatistik Hydromaps.
- Werden die grössten Abflussspitzen durch Dauerregen (Blockregen) verursacht, sind diese durch ausgefüllte Kreise dargestellt. Werden die grössten Abflüsse durch Gewitterregen ausgelöst, sind sie durch Dreiecke markiert.
- Das Ereignis vom 8.6.2007 ist durch das graue Rechteck nach Scherrer AG (2014) dargestellt. Das Ereignis dient zur Überprüfung der ungedämpften Abflussberechnungen.
- Unter der Annahme, dass die HRB uneingeschränkt funktionieren (blaue Linien), ergibt das Modell ein HQ_{100} von etwa $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Vernachlässigt man die Wirkung der HRB, könnten die Spitzenabflüsse zwischen $8 \text{ m}^3/\text{s}$ und $13 \text{ m}^3/\text{s}$ erreichen (Statistik Napf), was der hydraulisch rekonstruierten Abflussspitze des Hochwassers vom 8.6.2007 mit einer Wiederkehrperiode von 90 - 180 Jahren entspricht.
- Der rote Bereich markiert die vorgeschlagenen HQ_x , mit der Angabe eines Bereichs soll der Unsicherheit der Hochwasserabschätzung Rechnung getragen werden. Ein HQ_{100} beträgt demnach am BP6 zwischen 6 und $7 \text{ m}^3/\text{s}$, wobei von funktionierenden Becken ausgegangen wird.

Seewag nach Zufluss Rickenbach (BP6)

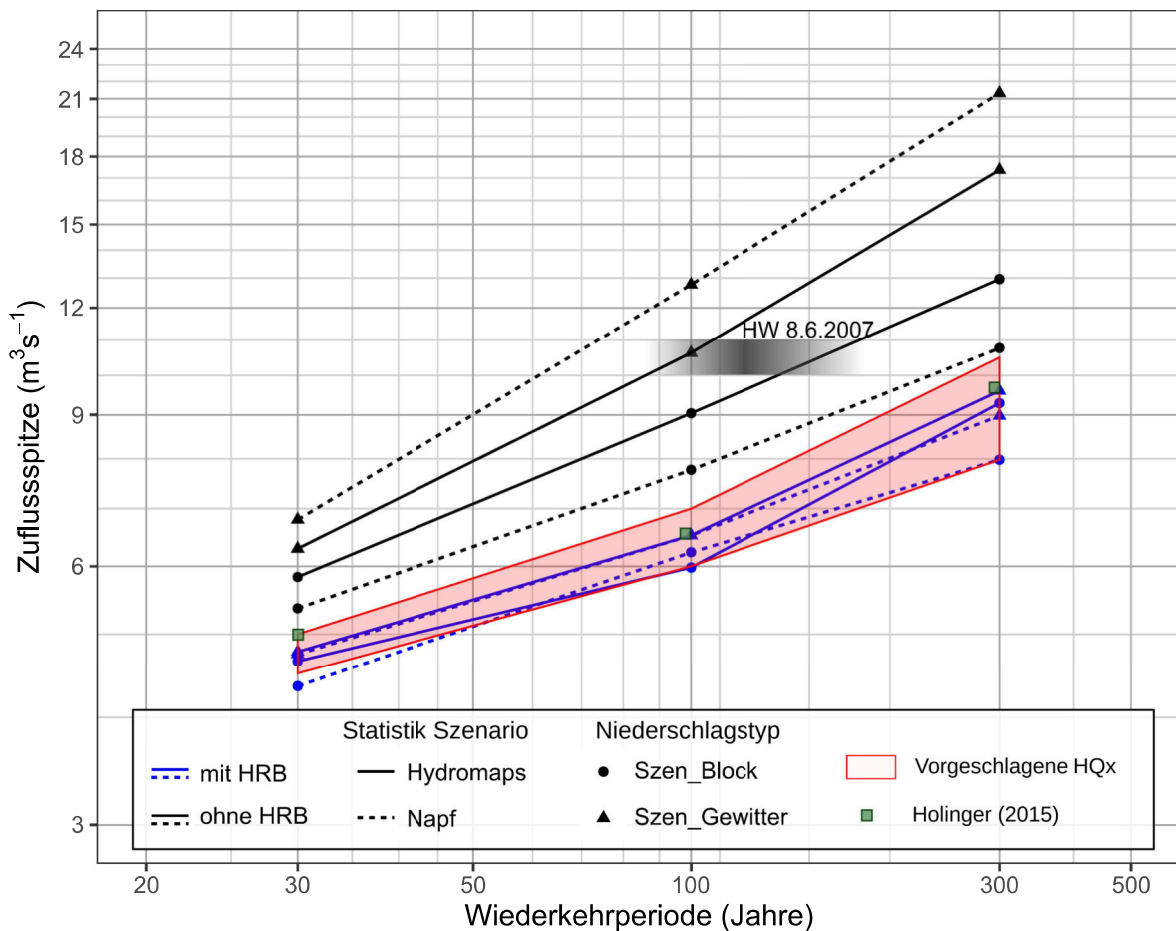


Abb. 6.1: Frequenzdiagramm der Seewag nach Zufluss Rickenbach (BP6; EZG: 8.26 km²). Das graue Rechteck zeigt das eingeordnete Ereignis vom 8.6.2007 (Scherrer AG, 2014). Die Linien zeigen die maximalen Spitzenabflüsse des Modells wie folgt an: Die blauen Linien zeigen die Ergebnisse unter der Annahme voll funktionsfähiger HRB und die schwarzen Linien ohne HRB. Die gestrichelten Linien zeigen Ergebnisse mit der Napf-Statistik und die durchgezogene Linie mit Hydromaps. Die Kreise stehen für massgebende Modellergebnisse aus dem Blockregen-Szenario und die Dreiecke für Gewitter. Der rote Bereich markiert die vorgeschlagenen HQ_x. Die grünen Quadrate stellen die Referenzwerte aus Holinger (2015).

6.3 Hochwasserabflüsse am Riedtalbach bei Daiwil (BP9)

Das Frequenzdiagramm in Abbildung 6.2 fasst die Ergebnisse der historischen Erkundung und der Modellrechnung zusammen.

- In Daiwil gab es in den letzten ca. 50 Jahren keine grossen Hochwasser. Das letzte auffällige Ereignis datiert vom 24.6.1977 und wurde als mindestens 50 bis 70-jährlich eingeordnet (graue Box).
- Die gestrichelten Linien stellen die maximalen Abflüsse mit der Niederschlagsstatistik Napf dar, die durchgezogenen Linien stehen für die Niederschlagsstatistik Hydromaps. Diese berechneten Szenarien stimmen mit historischen Hochwasserereignissen überein.
- Die Werte der Gefahrenkarte der Wigger (grüne Rechtecke gemäss Ernst Basler und Part-

ner et al. 2006) sind eher hoch und widersprechen den historischen Hochwassern.

- Der rote Bereich in Abbildung 6.2 markiert die vorgeschlagenen HQ_x . Ein HQ_{100} beträgt am BP9 zwischen $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ und $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Riedtalbach in Daiwil (BP9)

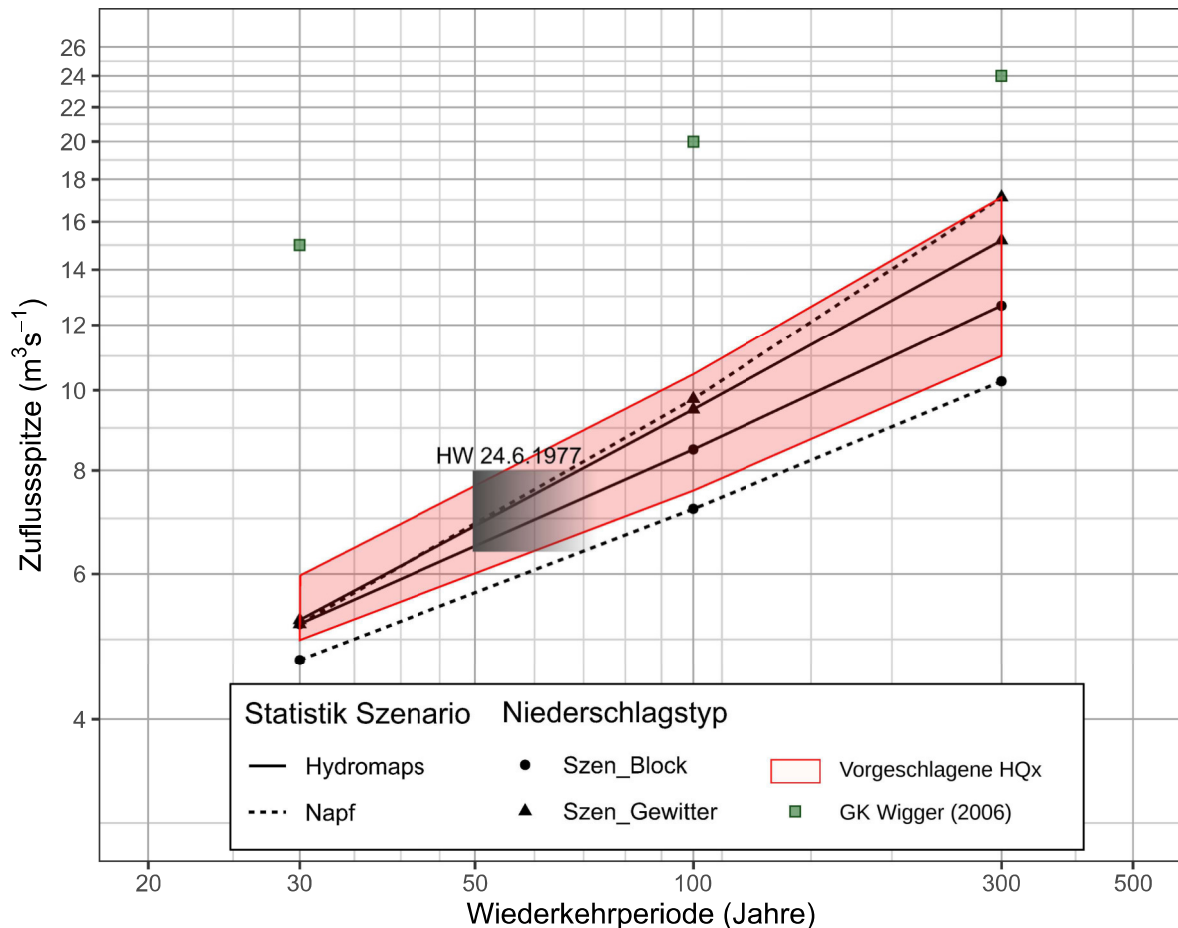


Abb. 6.2: Frequenzdiagramm des Riedtalbachs bei Daiwil (BP9; EZG 5.75 km^2). Die gestrichelten Linien zeigen Ergebnisse mit der Napf-Statistik und die durchgezogene Linie mit Hydromaps. Die Kreise stehen für massgebende Modellergebnisse aus dem Blockregen-Szenario und die Dreiecke für Gewitter. Der rote Bereich markiert die vorgeschlagenen HQ_x . Die grünen Quadrate zeigen die Werte der Gefahrenkarte Wigger (Ernst Basler und Partner et al. 2006).

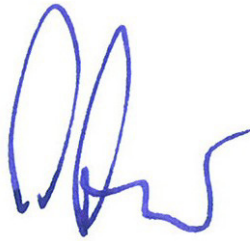
6.4 HQ_x für die untersuchten Bemessungspunkte

Die vorgeschlagenen HQ_x der weiteren Bemessungspunkte sind in Tabelle 6.1 aufgeführt. Die 100-jährlichen Hochwasserabflüsse in Tabelle 6.1 weichen geringfügig von den Werten in Scherrer AG (2014) ab. Die grössten Unterschiede finden sich am BP2 und BP3. Dies ist auf die geringeren Extremniederschläge und die verwendeten V-Q-Beziehungen zurückzuführen.

Tab. 6.1: Die im EZG der Seewag ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

BP	Bezeichnung	Fläche [km ²]	HQ_{30} [m ³ /s]	HQ_{100} [m ³ /s]	HQ_{300} [m ³ /s]
BP1	Seewag Tuetesee	3.17	0.5	0.5	0.5
BP2	Seewag HRB Hackbrätt	5.21	1.6 - 1.8	2.3 - 2.7	3.3 - 4
BP3	Seewag vor Zufluss Rickenbach	5.95	2.2 - 2.5	3 - 3.6	4.5 - 5.5
BP4	Rickenbach bei HRB	1.90	2 - 2.2	2.7 - 3	3.5 - 5.5
BP5	Rickenbach in Menznau	2.32	2.4 - 2.6	3.3 - 3.7	3.9 - 6.2
BP6	Seewag nach Zufluss Rickenbach	8.27	4.5 - 5	6 - 7	8 - 10.5
BP7	Seewag unterhalb Swiss Krono	10.94	6.3 - 7	8 - 9.5	9.5 - 13
BP8	Seewag vor Zufluss Riedtalbach	11.94	6.8 - 7.5	9.5 - 11	11 - 14.5
BP9	Riedtalbach in Daiwil	5.75	5 - 6	7.5 - 10.5	11 - 17
BP10	Seewag nach Zufluss Riedtalbach	17.69	12 - 13	18 - 21	24 - 31
BP11	Seewag vor Zufluss Rot	18.97	12.5 - 14	19 - 22	25 - 33

Scherrer AG
Hydrologie und Hochwasserschutz



Dr. Simon Scherrer



Dr. Jaime Rivera

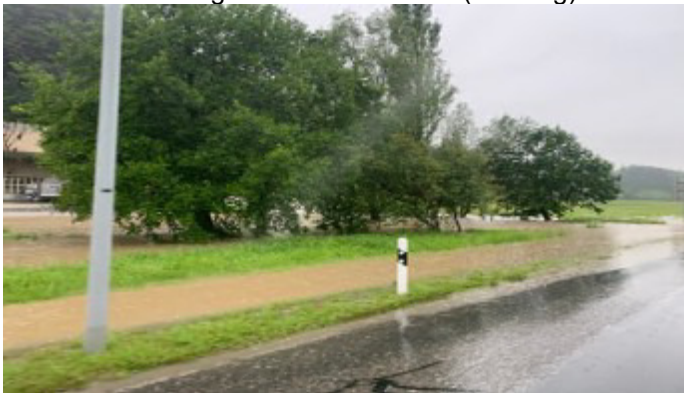

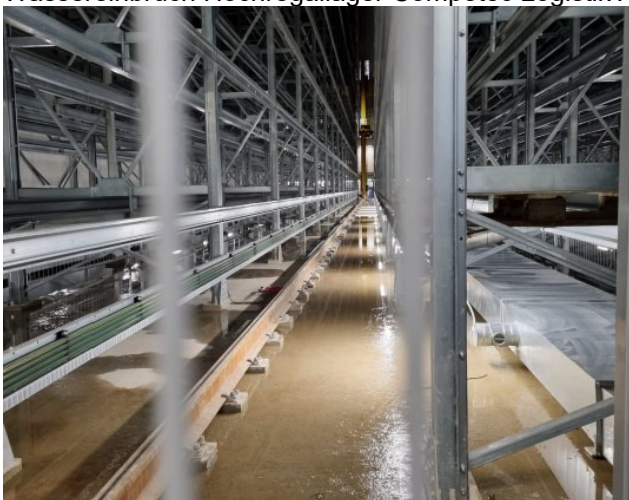

Reinach, 8. Juli 2024

Sachbearbeiter: Simon Scherrer, Dr. sc. nat. ETH, Dipl. Geograph Uni Basel
Jaime Rivera, Dr. sc. ETH, M. Sc Wasserwirtschaft, Uni Stuttgart.

7 Anhang

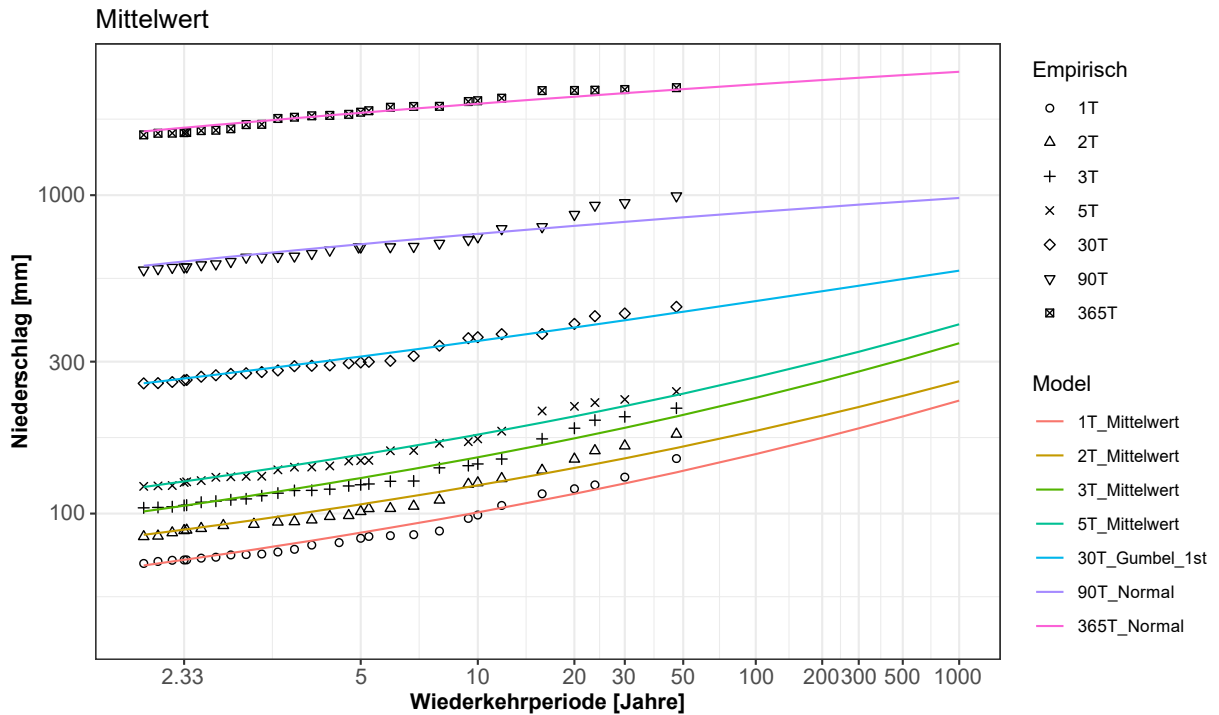
Anhang 1	Historische Hochwasser
Anhang 2	Niederschlagsstatistiken
Anhang 3	Modellaufbau
Anhang 4	Abflussberechnungen Niederschlagsszenarien NAP
Anhang 5	Abflussberechnungen Niederschlagsszenarien Hydromaps
Anhang 6	Sondierungen

Datum	Niederschlag	Ereignis	Quelle
28.7.2014		Über dem Kanton Luzern entluden sich am Nachmittag heftige Unwetter. Die Gebäudeschäden wurden auf über 1 Mio. CHF geschätzt. Menzna : Mehrere Bäche traten über die Ufer. 30 Schadensmeldungen gingen ein. Rund ein Dutzend Keller standen unter Wasser. Über die Ufer trat der Rüdelsbach. Treibholz wurde auf Ackerland abgelagert. Im Gebiet zwischen Menznau und Geiss am Honauerstutz gab es einen Erdrutsch. Die Strasse musste gesperrt werden. Das Gebiet der Firma Bächtold Landtechnik AG an der Wolhuserstrasse wurde beschädigt. Dort drang viel Wasser auf das Firmenareal und beschädigte Autos.	WSL (2024)
	60 mm / 2h	Überflutungen im Wolhuserstrasse (Wasserstand ca. 50 cm hoch)  Ausbruchsstelle des Rickenbachs bei der Brücke Bachreinstrasser 	Oeko-b (2014)
13.9.2018		Ein heftiges Gewitter zog über den Kanton Luzern. Bei der Luzerner Polizei gingen 52 Notrufe mit Schadensmeldungen wegen überfluteter Keller und Strassen ein, die meisten zwischen 18 und 19.30 Uhr. Betroffen waren die Gebiete Oberer Sempachersee, Rain, Hochdorf Oberseetal, Neuenkirch-Hellbühl, Menzna , Römerswil und Meggen. Etliche Keller, Garagen und Unterführungen seien ausgepumpt worden.	WSL (2024)
28.6.2021		Die Region war stark von heftigem Gewitter und starkem Hagel betroffen. Bei der Luzerner Polizei und Feuerwehr gingen über 520 Schadenmeldungen ein. Die Gebäudeversicherung Luzern geht nach ersten Schätzungen total von ca. 12000 Schadenfällen aus (inklusive Hagel). Dies entspricht einer Summe von rund 150 - 200 Mio. CHF. Vor allem betroffen waren die Gemeinden Wolhusen, Ruswil, Menzna , Buttisholz, Sempach, Beromünster, Gunzwil, Neudorf, Grosswangen, Nottwil, Eich, Römerswil und Schenkon.###Hauptsächlich Hagelschäden.	WSL (2024)
13.7.2021	67 mm / 24 h (LUWOL)	Ab dem 12. Juli 2021 folgte erneut kräftiger Regen, ausgelöst durch einen Kaltlufttropfen, welcher die Schweiz überquerte. Auf der Vorderseite des Tiefs fielen am 13. Juli 2021 die intensivsten Niederschläge auf der Alpensüdseite und in der Zentralschweiz. Nach einer kurzen Beruhigung verlagerte sich der Niederschlagsschwerpunkt auf der Rückseite des Tiefs am 15. Juli 2021 auf die Alpennordseite.	Meteoschweiz (2021)

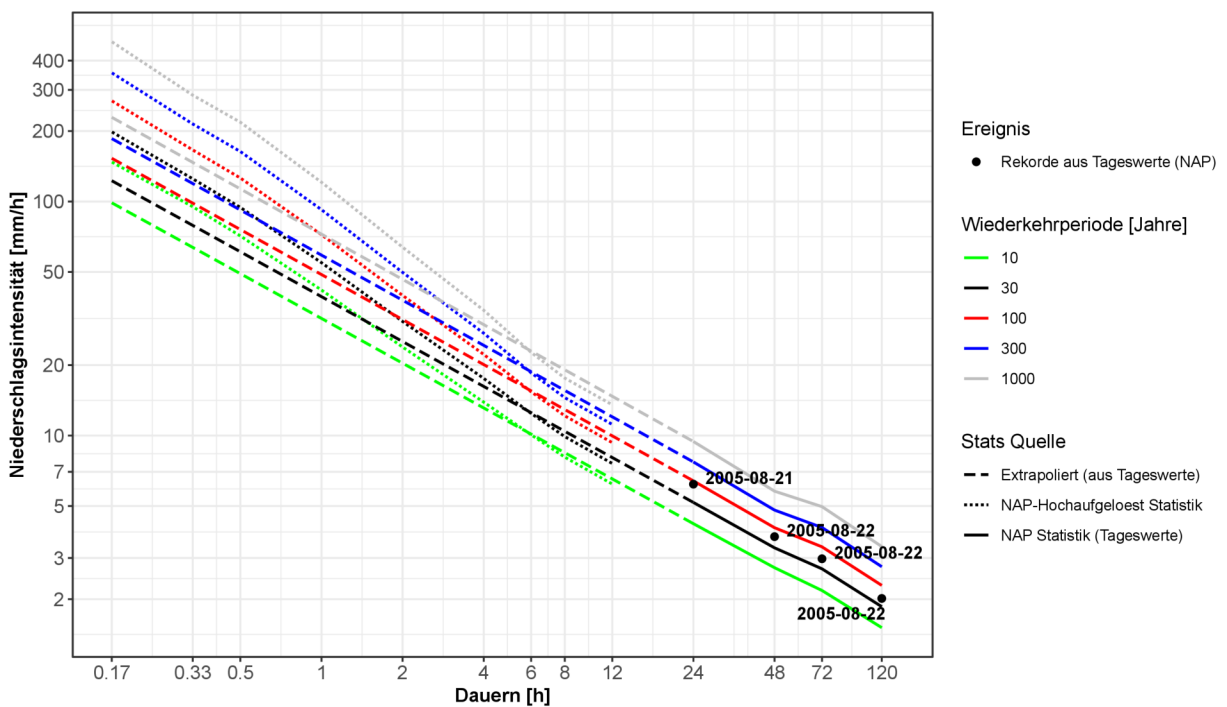
Datum	Niederschlag	Ereignis	Quelle	
		<p>In der Nacht auf den 13.7 zog ein heftiges Gewitter über die Schweiz und verursachte erhebliche Sturm-, Hagel- und Wasserschäden. Die folgenden Tage waren von starken Niederschlägen geprägt. Die Feuerwehr Willisau musste einige Keller auspumpen und mehrere Schutzvorkehrungen aufstellen. Unter anderem war die Feuerwehr auch beim Logistikzentrum des Onlinehändlers Brack im Einsatz; durch einen raschen Einsatz konnte grösseren Schaden verhindert werden. #Auch im Riedal, südlich von Daiwil, ereignete sich ein Hangrutsch; nennenswerte Sachschäden haben sich aber dadurch nicht ergeben.</p>	<p>WSL (2024)</p>	
		<p>Überschwemmungen am Swiss Krono (Seewag).</p> 	<p>Hochwasser bei Sänti (Seewag)</p> 	<p>StorMe (2021-W-10130)</p>
		<p>Wassereintrich Hochregallager Competec Logistik AG</p> 	<p>Riedtalbach in Daiwil</p> 	<p>Fuerwehr Willisau (Einsatz-Nr. 21-41)</p>

<h1>Napf</h1> <h2>1978-2023</h2> <p>Extremniederschlagsstatistik anhand von Tageswerte</p>	Regen und Schnee berücksichtigt.
	Mittelwert aus 1. und 2. Extremalverteilungen: 1-5 Tages- Maxima.
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

Mittelwert-Verteilung: Anpassung des Modells



Mittelwert-Verteilung: Kalendarisch Korrigierte Werte



Napf 1978-2023 Extremniederschlagsstatistik anhand von Tageswerte	Regen und Schnee berücksichtigt.
	Mittelwert aus 1. und 2. Extremalverteilungen: 1-5 Tages- Maxima.
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte
 Datengrundlage: 1-Tages-Werte Napf 1978 – 2023

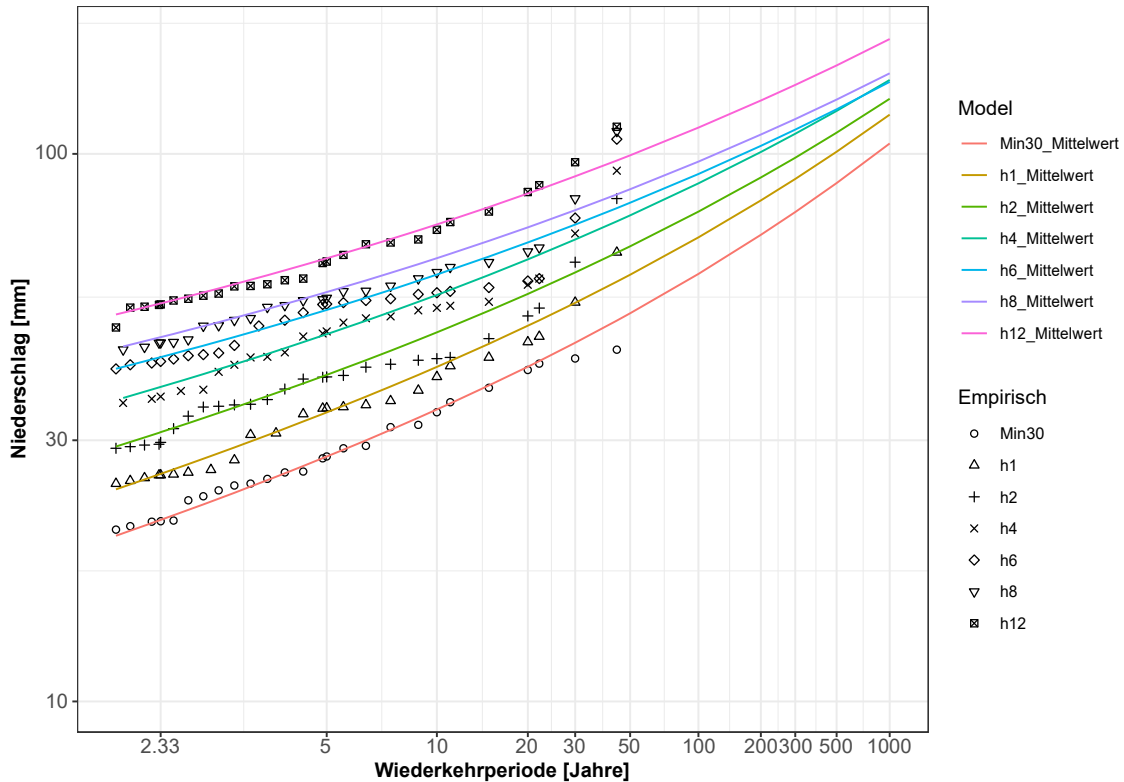
Rang	1 Tag		2 Tage		3 Tage	
	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum
1	149	21.08.2005	178	22.08.2005	214	22.08.2005
2	123	07.05.2023	158	14.02.1990	196	15.02.1990
3	115	13.02.1990	137	18.09.2006	172	13.05.1999
4	106	17.09.2006	129	12.05.1999	139	19.09.2006
5	97	18.05.1994	124	08.05.2023	127	03.06.2004
6	88	09.08.1984	110	08.08.2007	126	03.05.2015
7	86	23.12.2022	106	24.12.2022	124	09.08.2007
8	85	12.05.1999	104	10.08.1984	122	26.12.1995
9	85	08.08.2007	104	19.05.1994	119	25.07.1982
10	81	07.06.2012	99	02.06.2004	118	17.07.2002
Rang	5 Tage		1 Monat		3 Monate	
	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum
1	214	22.08.2005	446	Jul 2014	929	Mai-Jul 2007
2	196	14.05.1999	366	Jul 2007	796	Apr-Jun 1999
3	172	16.02.1990	366	Aug 2005	784	Mai-Jul 2014
4	139	21.05.1994	355	Mai 1999	724	Jul-Sep 2002
5	127	05.05.2015	337	Aug 2006	706	Apr-Jun 2016
6	126	17.07.2002	302	Jul 2000	690	Mai-Jul 2010
7	124	03.06.2004	300	Jun 2001	688	Mai-Jul 1993
8	122	26.12.1995	292	Mai 1994	687	Jul-Sep 2006
9	119	27.07.1982	291	Feb 1990	671	Jul-Sep 2005
10	118	10.07.2014	290	Mai 2010	655	Jun-Aug 2012

Niederschlagsintensitäten in mm/h für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern

RT	1T	2T	3T	5T	30T	90T
2.33	3.03	1.95	1.51	1.06	0.41	0.29
5	3.67	2.34	1.84	1.28	0.48	0.33
10	4.24	2.69	2.14	1.48	0.54	0.35
20	4.83	3.05	2.45	1.69	0.59	0.37
30	5.20	3.27	2.64	1.81	0.62	0.38
50	5.69	3.56	2.90	1.98	0.66	0.40
100	6.40	3.98	3.27	2.23	0.71	0.41
200	7.19	4.44	3.69	2.50	0.76	0.43
300	7.68	4.73	3.95	2.67	0.79	0.43
500	8.35	5.12	4.31	2.91	0.83	0.44
1000	9.35	5.69	4.85	3.25	0.88	0.45

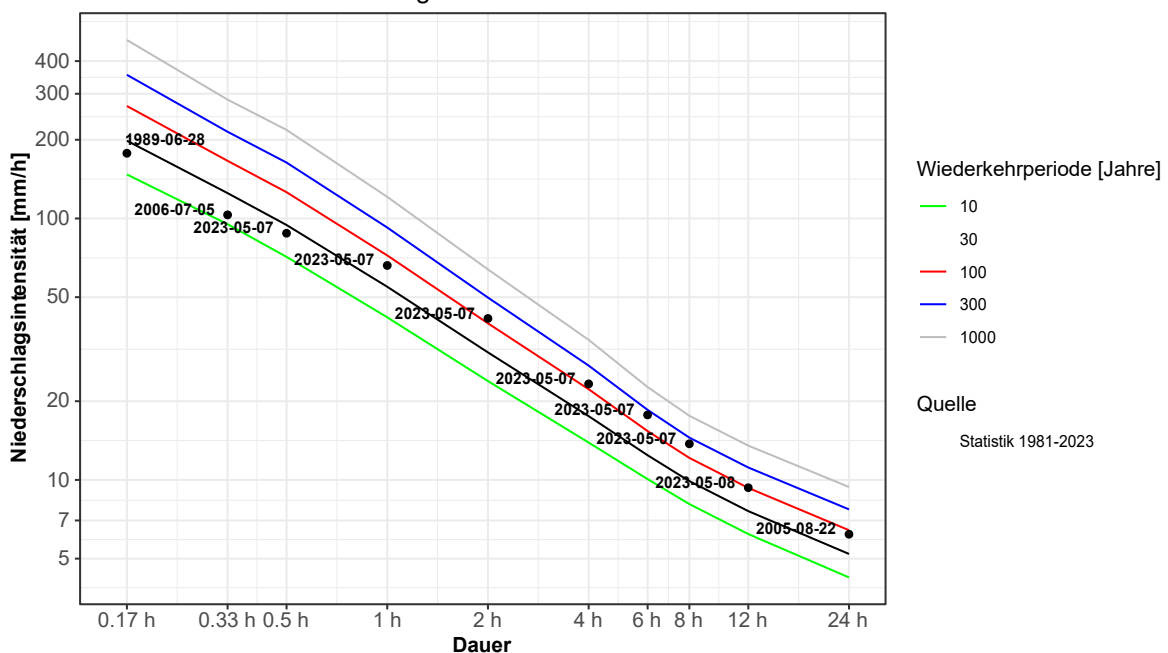
<h1>Napf</h1> <h2>1981-2023</h2> <p>Extremniederschlagsstatistik anhand 10-Minuten-Werte</p>	Regen und Schnee berücksichtigt.
	Mittelwert aus 1. und 2. Extremalverteilungen: 10-Min bis 12h-Maxima.

Mittelwert-Verteilung: Anpassung des Modells



Mittelwert-Verteilung: Kalendarisch Korrigierte Werte

Mittelwert aus Gumbel und log-Gumbel



Napf 1981-2023 Extremniederschlagsstatistik anhand 10-Minuten-Werte	Regen und Schnee berücksichtigt.
	Mittelwert aus 1. und 2. Extremalverteilungen: 10-Min bis 12h-Maxima.

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte
 Datengrundlage: 10-Minuten-Werte Napf 1981 - 2023

Rang	10-Min		20-Min		30-Min		1 h		2 h	
	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum
1	30	28.06.1989	34	05.07.2006	44	07.05.2023	66	07.05.2023	83	07.05.2023
2	27	26.05.2009	34	07.05.2023	41	05.07.2006	46	28.07.2006	52	05.07.2006
3	26	15.06.1992	33	05.07.2012	37	05.07.2012	43	05.07.2012	46	11.06.1988
4	24	05.07.2006	31	26.05.2009	35	26.05.2009	41	26.05.2009	43	05.07.2012
5	19	28.07.2013	31	28.06.1989	32	28.06.1989	37	10.06.1989	42	29.06.2008
6	18	09.06.2021	26	15.06.1992	32	18.05.1993	35	23.07.1982	41	26.05.2009
7	18	07.05.2023	25	28.07.2013	29	21.07.2017	35	11.07.1981	41	28.07.2014
8	18	05.07.2012	24	21.07.2017	29	23.07.1982	35	18.05.1993	39	10.06.1989
9	17	20.08.2003	24	29.06.2008	28	10.08.1996	34	11.06.1988	39	23.07.1982
10	17	08.02.1988	24	18.05.1993	26	28.07.2014	34	28.07.2014	39	11.07.1981
Rang	4 h		6 h		8 h		12 h		24 h	
	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum
1	93	07.05.2023	106	07.05.2023	110	07.05.2023	112	08.05.2023	149	22.08.2005
2	59	05.07.2006	59	05.07.2006	67	22.08.2005	88	22.08.2005	123	08.05.2023
3	54	28.07.2014	57	22.08.2005	63	08.06.2012	79	18.09.2006	115	14.02.1990
4	53	11.06.1988	56	16.09.2022	62	26.05.2009	75	19.05.1994	106	18.09.2006
5	52	08.06.2012	55	08.06.2012	59	05.07.2006	70	27.05.2009	97	19.05.1994
6	51	16.09.2022	54	28.07.2014	57	16.09.2022	69	14.02.1990	88	10.08.1984
7	50	16.07.2002	54	11.06.1988	56	28.06.1989	68	08.06.2012	86	24.12.2022
8	49	15.06.2019	54	28.06.1989	56	29.07.2014	65	16.09.2022	85	13.05.1999
9	47	30.06.2008	53	26.05.2009	54	19.05.1994	63	13.07.2021	85	09.08.2007
10	46	26.05.2009	51	16.07.2002	54	11.06.1988	59	28.06.1989	81	08.06.2012

Napf 1981-2023 Extremniederschlagsstatistik anhand 10-Minuten-Werte	Regen und Schnee berücksichtigt.
	Mittelwert aus 1. und 2. Extremalverteilungen: 10-Min bis 12h-Maxima.

Niederschlagsintensitäten in mm/h für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern

Jährlichkeit/ Dauer	10-Min	20-Min	30-Min	1h	2h
2.33	89.8	60.5	44.8	26.7	15.7
5	119.4	78.3	58.5	34.6	20.0
10	147.3	95.0	71.3	41.9	23.9
20	178.1	113.3	85.3	49.8	28.1
30	198.1	125.0	94.4	54.8	30.7
50	225.8	141.2	106.8	61.7	34.3
100	268.8	166.1	126.0	72.2	39.7
200	319.8	195.1	148.5	84.3	45.8
300	354.0	214.4	163.5	92.3	49.8
500	402.7	241.6	184.7	103.4	55.3
1000	480.7	284.6	218.2	120.9	63.8
Jährlichkeit/ Dauer	4h	6h	8h	12h	24h
2.33	9.5	7.1	6.0	4.5	3.0
5	11.8	8.7	7.2	5.4	3.7
10	13.9	10.0	8.3	6.2	4.2
20	16.1	11.5	9.4	7.0	4.8
30	17.5	12.4	10.1	7.6	5.2
50	19.3	13.5	11.0	8.3	5.7
100	22.0	15.2	12.4	9.3	6.4
200	25.1	17.1	13.8	10.4	7.2
300	27.1	18.3	14.7	11.1	7.7
500	29.8	19.9	15.9	12.0	8.4
1000	33.8	22.3	17.7	13.4	9.3

Anhang 4: Abflussberechnungen mit der NAP Statistik



Szenario	Dauern [h]	Abflussspitzen [m³/s] bei den Bemessungspunkten (BP)											Beckenvolumen	
		BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	BP7	BP8	BP9	BP10	BP11	MaxVol2	MaxVol4
30 Jahre														
Block (Dauerregen)	6	0.50	1.35	1.98	1.83	2.15	4.12	5.92	6.40	4.36	10.72	11.39	4912	2272
	8	0.50	1.42	2.11	1.90	2.25	4.35	6.23	6.79	4.72	11.45	12.20	6860	2501
	12	0.50	1.42	2.13	1.82	2.16	4.26	6.22	6.84	4.69	11.53	12.35	10362	2249
	24	0.50	1.46	2.12	1.67	2.01	4.13	6.06	6.76	4.56	11.32	12.20	19813	1763
	48	0.50	1.46	1.98	1.31	1.59	3.57	5.20	5.79	3.71	9.50	10.26	20241	775
	72	0.50	1.46	1.92	1.17	1.42	3.34	4.82	5.38	3.36	8.74	9.44	20328	543
Szen Ost	0.5	0.50	1.22	1.94	1.96	2.32	4.22	4.77	4.83	0.57	5.35	5.45	2652	2723
	1	0.50	1.28	2.04	2.07	2.51	4.53	5.14	5.22	0.68	5.81	5.94	3666	3482
	2	0.50	1.34	2.10	2.14	2.59	4.68	5.33	5.41	0.73	6.08	6.21	4733	3921
	4	0.50	1.42	2.18	2.16	2.58	4.74	5.37	5.47	0.80	6.26	6.41	6714	4059
Szen West	0.5	0.50	0.53	0.57	1.96	2.32	2.89	4.74	5.10	4.13	8.97	9.48	0	2723
	1	0.50	0.54	0.58	2.07	2.51	3.08	5.20	5.62	4.76	10.19	10.79	0	3482
	2	0.50	0.54	0.58	2.14	2.59	3.17	5.47	5.96	5.06	10.92	11.62	0	3921
	4	0.50	0.54	0.58	2.16	2.58	3.15	5.55	6.12	5.22	11.33	12.14	0	4059
100 Jahre														
Block (Dauerregen)	6	0.50	1.42	2.51	2.46	2.98	5.47	8.29	9.07	7.01	16.01	17.06	13878	6407
	8	0.50	1.45	2.38	2.49	3.01	5.33	8.25	9.13	7.19	16.31	17.49	17342	6685
	12	0.50	1.46	2.47	2.40	2.90	5.36	8.14	9.06	6.87	15.92	17.12	22978	5905
	24	0.50	2.66	3.53	2.24	2.72	6.23	8.82	9.79	6.44	16.05	17.28	35922	4568
	48	0.50	2.17	2.84	1.71	2.07	4.91	7.05	7.85	4.91	12.76	13.76	35356	1883
	72	0.50	1.99	2.59	1.52	1.85	4.44	6.36	7.10	4.42	11.51	12.43	35157	1295
Szen Ost	0.5	0.50	1.42	2.63	2.72	3.45	6.08	6.96	7.07	1.15	8.09	8.26	10608	9438
	1	0.50	1.41	2.79	2.85	3.70	6.49	7.47	7.61	1.39	8.86	9.07	13489	11409
	2	0.50	1.42	2.88	2.90	3.68	6.52	7.51	7.66	1.51	9.07	9.31	15376	12108
	4	0.50	1.45	2.82	2.90	3.54	6.36	7.36	7.54	1.56	9.09	9.36	18528	12199
Szen West	0.5	0.50	0.54	0.59	2.72	3.45	4.04	7.53	8.30	8.70	16.53	17.55	0	9438
	1	0.50	0.54	0.60	2.85	3.70	4.30	8.26	9.13	9.76	18.47	19.64	0	11409
	2	0.50	0.55	0.60	2.90	3.68	4.27	8.25	9.18	9.63	18.81	20.08	0	12108
	4	0.50	0.55	0.60	2.90	3.54	4.13	7.93	8.93	9.05	17.95	19.31	0	12199

Anhang 4: Abflussberechnungen mit der NAP Statistik



Szenario	Dauern [h]	Abflussspitzen [m³/s] bei den Bemessungspunkten (BP)											Beckenvolumen	
		BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	BP7	BP8	BP9	BP10	BP11	MaxVol2	MaxVol4
300 Jahre														
Block (Dauerregen)	6	0.50	1.47	2.85	3.00	3.77	6.61	10.54	11.73	10.25	21.86	23.42	25638	13852
	8	0.50	1.50	2.91	3.00	3.73	6.64	10.63	11.88	10.01	21.80	23.44	30972	13928
	12	0.50	2.71	3.58	2.93	3.61	6.55	10.25	11.54	9.29	20.83	22.46	35975	12719
	24	0.50	3.38	4.54	2.82	3.45	7.98	11.65	13.00	8.55	21.54	23.21	36748	10839
	48	0.50	2.58	3.41	2.11	2.56	5.97	8.64	9.66	6.15	15.80	17.07	35828	3735
	72	0.50	2.38	3.12	1.91	2.32	5.44	7.87	8.80	5.59	14.39	15.56	35598	2541
Szen Ost	0.5	0.50	1.47	3.67	3.40	5.03	8.57	10.02	10.27	2.65	12.79	13.14	24853	22942
	1	0.50	1.48	3.88	3.53	5.17	8.98	10.53	10.80	2.92	13.48	13.87	28781	25879
	2	0.50	1.50	3.74	3.55	4.90	8.64	10.23	10.52	2.89	13.29	13.69	31058	26274
	4	0.50	1.68	3.41	3.53	4.50	7.85	9.29	9.59	2.72	12.31	12.76	34497	25769
Szen West	0.5	0.50	0.55	0.62	3.40	5.03	5.65	11.72	13.14	16.07	28.33	30.15	0	22942
	1	0.50	0.55	0.62	3.53	5.17	5.79	12.34	13.89	17.13	30.45	32.55	0	25879
	2	0.50	0.55	0.62	3.55	4.90	5.52	11.87	13.46	16.13	29.47	31.56	0	26274
	4	0.50	0.55	0.62	3.53	4.50	5.11	10.81	12.38	14.12	26.40	28.51	0	25769

Anhang 5: Abflussberechnungen mit der Hydromaps Statistik



Szenario	Dauern [h]	Abflussspitzen [m³/s] bei den Bemessungspunkten (BP)											Beckenvolumen	
		BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	BP7	BP8	BP9	BP10	BP11	MaxVol2	MaxVol4
30 Jahre														
Block (Dauerregen)	6	0.50	1.42	2.10	1.99	2.38	4.47	6.45	6.99	4.90	11.84	12.58	6140	2922
	8	0.50	1.42	2.23	2.02	2.42	4.65	6.74	7.36	5.22	12.51	13.34	9130	3154
	12	0.50	1.42	2.14	1.92	2.28	4.36	6.43	7.09	4.97	12.06	12.92	11937	2560
	24	0.50	1.42	1.95	1.43	1.72	3.55	5.17	5.75	3.84	9.59	10.35	12326	998
	48	0.50	1.42	1.84	1.05	1.26	3.10	4.35	4.81	2.88	7.70	8.28	6240	401
	72	0.50	1.29	1.62	0.85	1.03	2.65	3.70	4.08	2.39	6.47	6.96	3804	275
Szen Ost	0.5	0.50	1.11	1.70	1.49	1.79	3.49	3.96	4.01	0.42	4.39	4.47	832	1186
	1	0.50	1.17	1.82	1.71	2.03	3.84	4.38	4.45	0.52	4.93	5.03	1840	1879
	2	0.50	1.28	1.99	2.01	2.40	4.39	4.98	5.06	0.66	5.65	5.78	3768	3042
	4	0.50	1.42	2.19	2.18	2.59	4.77	5.40	5.51	0.81	6.30	6.45	6881	4158
Szen West	0.5	0.50	0.53	0.57	1.49	1.79	2.35	3.77	4.01	2.63	6.29	6.63	0	1186
	1	0.50	0.53	0.57	1.71	2.03	2.60	4.30	4.62	3.42	7.82	8.27	0	1879
	2	0.50	0.54	0.58	2.01	2.40	2.97	5.04	5.47	4.46	9.87	10.49	0	3042
	4	0.50	0.54	0.58	2.18	2.59	3.17	5.59	6.16	5.28	11.44	12.25	0	4158
100 Jahre														
Block (Dauerregen)	6	0.50	1.45	2.57	2.70	3.34	5.87	9.25	10.21	8.36	18.51	19.79	18302	9264
	8	0.50	1.46	2.62	2.73	3.36	5.98	9.30	10.35	8.48	18.74	20.13	23211	9664
	12	0.50	1.48	2.56	2.58	3.12	5.69	8.79	9.82	7.56	17.37	18.70	27773	7564
	24	0.50	1.49	2.26	1.96	2.37	4.62	6.95	7.80	5.45	13.24	14.30	29852	2725
	48	0.50	1.47	2.02	1.40	1.70	3.72	5.46	6.11	3.97	10.08	10.89	25324	909
	72	0.50	1.42	1.83	1.10	1.34	3.16	4.54	5.06	3.15	8.21	8.86	15943	435
Szen Ost	0.5	0.50	1.36	2.23	2.32	2.83	5.06	5.76	5.85	0.80	6.56	6.69	5130	5196
	1	0.50	1.42	2.43	2.56	3.16	5.59	6.40	6.51	1.00	7.41	7.57	7910	7305
	2	0.50	1.41	2.72	2.78	3.48	6.18	7.09	7.23	1.33	8.47	8.68	13372	10294
	4	0.50	1.46	2.90	2.97	3.63	6.52	7.57	7.76	1.66	9.41	9.69	19854	13301
Szen West	0.5	0.50	0.54	0.58	2.32	2.83	3.41	5.94	6.46	6.00	12.15	12.87	0	5196
	1	0.50	0.54	0.59	2.56	3.16	3.74	6.78	7.45	7.36	14.50	15.40	0	7305
	2	0.50	0.54	0.59	2.78	3.48	4.08	7.73	8.57	8.71	17.26	18.42	0	10294
	4	0.50	0.55	0.60	2.97	3.63	4.23	8.18	9.22	9.48	18.68	20.10	0	13301

Anhang 5: Abflussberechnungen mit der Hydromaps Statistik



Szenario	Dauern [h]	Abflussspitzen [m³/s] bei den Bemessungspunkten (BP)											Beckenvolumen	
		BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	BP7	BP8	BP9	BP10	BP11	MaxVol2	MaxVol4
300 Jahre														
Block (Dauerregen)	6	0.50	1.85	3.29	3.33	4.28	7.56	12.47	13.97	12.67	26.47	28.42	34986	20801
	8	0.50	3.19	4.25	3.35	4.26	7.69	12.42	13.97	12.31	26.23	28.26	36529	21436
	12	0.50	4.08	5.52	3.18	3.96	9.29	12.97	14.31	10.62	23.87	25.59	37225	17432
	24	0.50	2.99	4.01	2.51	3.06	7.06	10.22	11.38	7.39	18.77	20.21	36305	6923
	48	0.50	2.22	2.91	1.76	2.13	5.03	7.24	8.07	5.05	13.12	14.15	35412	2040
	72	0.50	1.69	2.20	1.35	1.64	3.84	5.54	6.19	3.91	10.09	10.90	34584	832
Szen Ost	0.5	0.50	1.41	3.04	3.03	4.04	7.08	8.14	8.29	1.59	9.71	9.94	16026	14379
	1	0.50	1.46	3.33	3.22	4.43	7.73	9.00	9.20	2.13	11.11	11.40	20351	18195
	2	0.50	1.48	3.64	3.43	4.70	8.27	9.75	10.01	2.62	12.54	12.91	28075	23621
	4	0.50	2.46	3.59	5.35	6.14	9.59	10.88	11.18	3.00	13.52	13.91	35689	27244
Szen West	0.5	0.50	0.55	0.60	3.03	4.04	4.64	9.21	10.23	11.56	21.16	22.49	0	14379
	1	0.50	0.55	0.61	3.22	4.43	5.04	10.22	11.42	13.31	24.17	25.81	0	18195
	2	0.50	0.55	0.62	3.43	4.70	5.32	11.24	12.71	14.98	27.60	29.54	0	23621
	4	0.50	0.56	0.62	5.35	6.14	6.75	11.62	13.10	15.19	28.21	30.47	0	27244

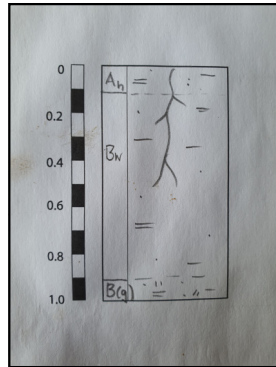
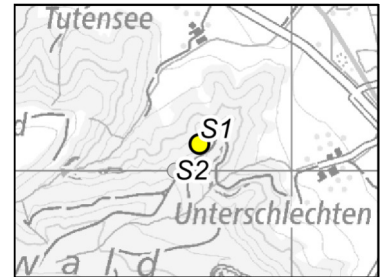
Sondierung-Nr.: S1

Datum Zeit: 08.03.2024 08:39

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mischwald
Situation: Oberhang
Geologie: Napf-Formation
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: normal
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3
Abflusstyp: 3, 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
10 cm	Ah	Ls	Braun	
90 cm	Bw	Lu	Beige	
100 cm	B(g)	Lu	Beige	

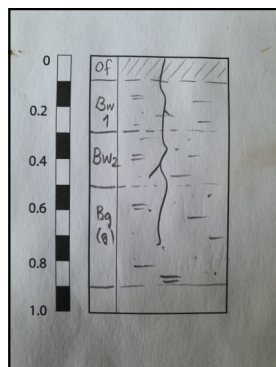
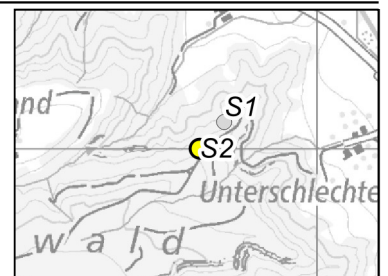
Sondierung-Nr.: S2

Datum Zeit: 08.03.2024 08:55

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mischwald
Situation: Rücken
Geologie: Napf-Formation
Bodentyp: Braunerde-Pyseudogley

Infiltration: normal
Speichervermögen: mässig - gross
dom. Abflussprozess: SSF3
Abflusstyp: 4
Bemerkung:

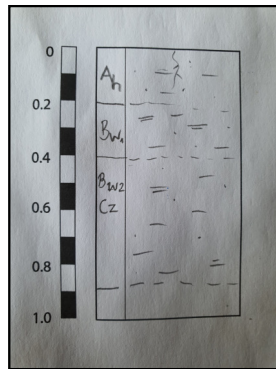
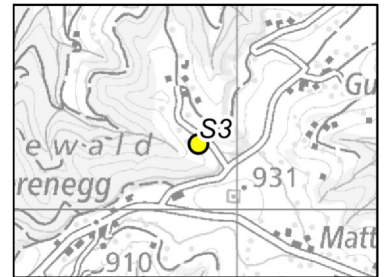


bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
13 cm	Of		Dunkelbraun	
30 cm	Bw1	Lu	Rötlich-braun	
50 cm	Bw2	Lu	Beige	
90 cm	Bg(g)	Ls	Beige	



Sondierung-Nr.: S3

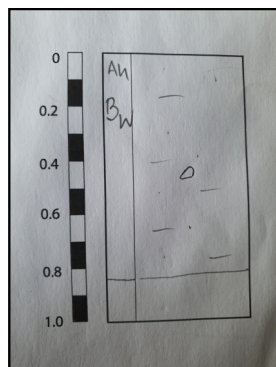
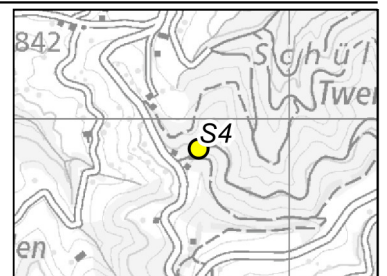
Datum Zeit: 08.03.2024 09:34
 Sondierung: Pürkhauer
 Landnutzung: Weide
 Situation: Steilhang
 Geologie: Napf-Formation. Nagelfluh
 Bodentyp: Braunerde
 Infiltration: normal
 Speichervermögen: mässig
 dom. Abflussprozess: SSF2, SOF2
 Abflusstyp: 3
 Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Us	Beige-braun	
40 cm	Bw1	Lt	Beige	
90 cm	Bw2/Cz	L	Beige-braun	

Sondierung-Nr.: S4

Datum Zeit: 08.03.2024 09:57
 Sondierung: Pürkhauer
 Landnutzung: Mischwald
 Situation: Mulde
 Geologie: Napf-Formation
 Bodentyp: Kultisol
 Infiltration: normal
 Speichervermögen: mässig
 dom. Abflussprozess: SOF2
 Abflusstyp: 3
 Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
90 cm	Ah/Bw	Us	Dunkelbraun	



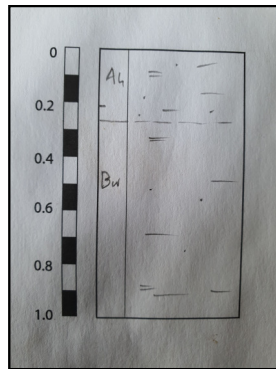
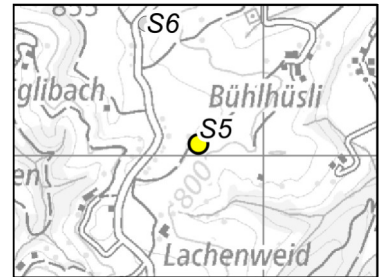
Sondierung-Nr.: S5

Datum Zeit: 08.03.2024 10:21

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Weide
Situation: Mulde
Geologie: Verwitterungslehme
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: normal
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SOF3
Abflusstyp: 3, 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Lu	Braun	
100 cm	Bw	Lu	Beige-braun	

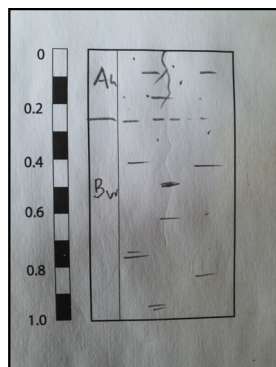
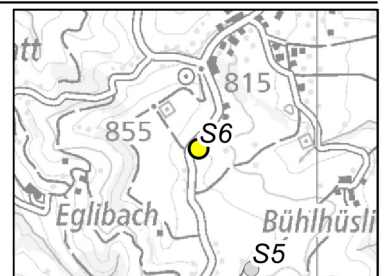
Sondierung-Nr.: S6

Datum Zeit: 08.03.2024 10:36

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Weide
Situation: Mulde
Geologie: Moräne
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: normal
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SOF3
Abflusstyp: 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
100 cm	Bw	Lu	Braun	



Sondierung-Nr.: S7

Datum Zeit: 08.03.2024 10:53

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese

Situation: Mulde

Geologie: Moräne

Bodentyp: Braunerde

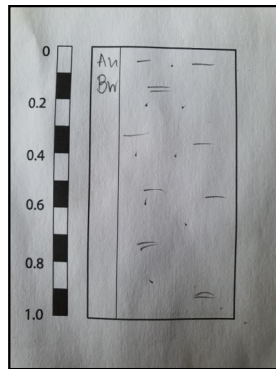
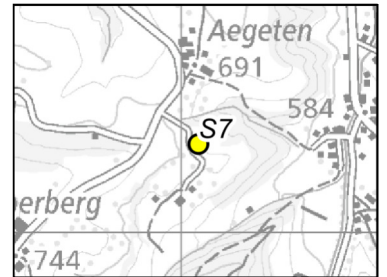
Infiltration: normal

Speichervermögen: gross

dom. Abflussprozess: SOF3

Abflusstyp: 4

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
80 cm	Ah/Bw	Lu	Braun	

Sondierung-Nr.: S8

Datum Zeit: 08.03.2024 11:15

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Weide

Situation: Steilhang

Geologie: Napf-Formation

Bodentyp: Braunerde

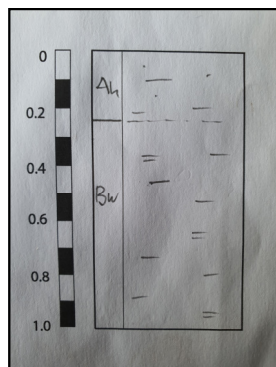
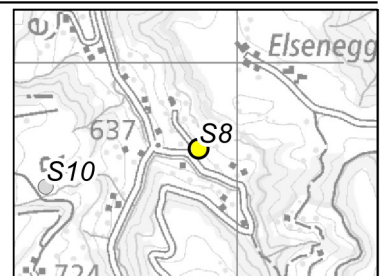
Infiltration: normal

Speichervermögen: mässig - gross

dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3

Abflusstyp: 3, 4

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
95 cm	Bw	Ut	Beige-braun	

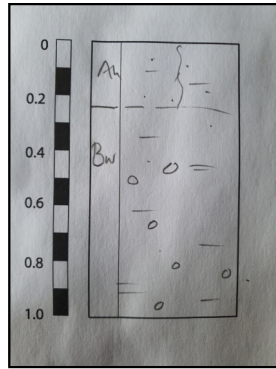
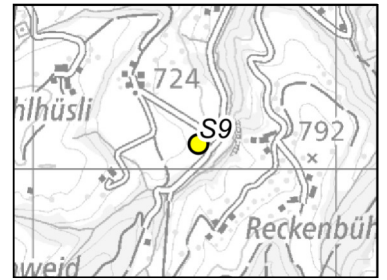
Sondierung-Nr.: S9

Datum Zeit: 08.03.2024 11:31

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese
Situation: Hang
Geologie: Napf-Formation
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: normal
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SOF3
Abflusstyp: 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
100 cm	Bw	Lu	Braun	

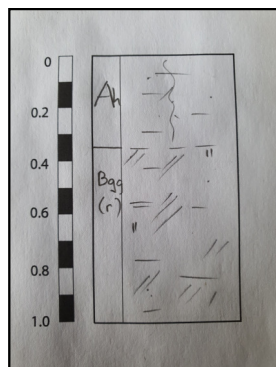
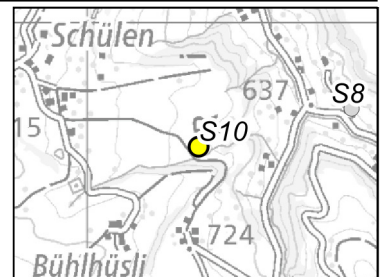
Sondierung-Nr.: S10

Datum Zeit: 08.03.2024 11:49

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese
Situation: Mulde
Geologie: Napf-Formation
Bodentyp: Buntgley

Infiltration: leicht gehemmt - normal
Speichervermögen: gering - mässig
dom. Abflussprozess: SOF2
Abflusstyp: 2, 3
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
35 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
100 cm	Bgg(r)	Ls	Beige-grau	



Sondierung-Nr.: S11

Datum Zeit: 08.03.2024 12:16

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Fichten-Mischwald

Situation: Steilhang

Geologie: Napf-Formation

Bodentyp: Braunerde

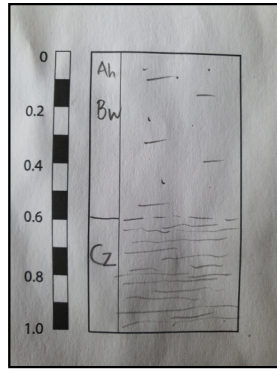
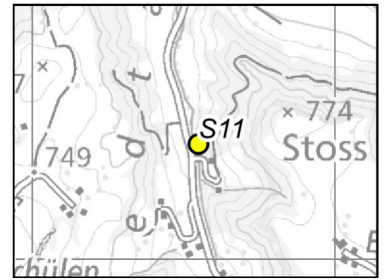
Infiltration: normal

Speichervermögen: mässig

dom. Abflussprozess: SSF2

Abflusstyp: 3

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
70 cm	Ah/Bw	Us	Braun	
100 cm	Cz	Verwitterter Mergel	Beige-grau	