

Überprüfung der hydrologischen Grundlagen an der Pfaffnern in Pfaffnau unter Berücksichtigung der Ereignisse im Jahr 2021



Pfaffnern beim Zusammenfluss mit dem Hohriedbach (rechts) und der Abzweigung des Mülikanals (nach links) beim Hochwasser vom 24. Juni 2021 (Bild StorMe).

Auftraggeber:
Kanton Luzern
Verkehr und Infrastruktur, Naturgefahren

Bericht: 22/300

Reinach, September 2022

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
1.1 Problemstellung.....	3
1.2 Vorgehen.....	3
1.3 Gewährspersonen.....	3
1.4 Gebietskennwerte.....	4
2 Verwendete Daten und Unterlagen.....	6
3 Ereignisanalyse der Ereignisse vom 24. Juni und 8. Juli 2021.....	8
3.1 Das Niederschlagsgeschehen am 24. Juni und am 8. Juli 2021.....	8
3.2 Wetterlage am 24. Juni und am 8. Juli 2021.....	10
3.3 Vorgeschichte des Ereignisses.....	11
3.4 Niederschlagsverteilung vom 24.6.2021.....	14
3.5 Niederschlagsverteilung vom 8.7.2021.....	16
3.6 Einordnung des auslösenden Niederschlags.....	18
3.7 Folgerungen.....	22
3.8 Abschätzung der Abflussspitzen bei den Hochwassern vom 24.6.2021 und 8.7.2021.....	22
4 Abflussmessungen.....	24
4.1 Pfaffnern – HRB Schiessstand Pfaffnau.....	24
4.2 Pfaffnern – Vordemwald.....	26
5 Historische Hochwasser.....	28
5.1 Einleitung.....	28
5.2 Hinweise aus den schriftlichen Quellen.....	28
5.3 Schlussfolgerung aus den historischen Erkundungen.....	30
6 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets.....	32
6.1 Einleitung.....	32
6.2 Geologie und Hydrogeologie.....	32
6.3 Böden.....	33
6.4 Abflussprozesse und Abflusstypen auf natürlichen Flächen.....	33
6.5 Abflussreaktion der Siedlungsgebiete.....	37
6.6 Abflussreaktionskurven.....	37
7 Abflussberechnungen.....	39
7.1 Einleitung.....	39
7.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea ⁺	39
7.3 Verifikation des Modells.....	41
7.4 Niederschlags-Szenarien.....	44

7.5 Abflussberechnungen.....	46
<i>8 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit.....</i>	<i>48</i>
8.1 Einleitung.....	48
8.2 Pfaffnern bei der Kantonsgrenze (BP 14).....	48
8.3 Hochwasserabflüsse.....	50
8.4 Optimierung Rückhaltebecken Schiessstand Pfaffnau.....	51
<i>Anhang.....</i>	<i>52</i>

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Gemeinde Pfaffnau ist am 24.6.2021 und 8.7.2021 aufgrund starker Niederschläge von Hochwasser der Pfaffnern und der Seitenbäche betroffen worden. Am oberen Dorfrand (Bemesungspunkt BP6, Abb. 1.1) befindet sich seit 1993 ein Hochwasserrückhaltebecken (HRB). Die Pfaffnern entwässert bis dahin ein Einzugsgebiet (EZG) von 4.7 km². Unterhalb des Dorfes (BP14) beträgt das EZG ca. 12 km². Seitlich fliessen v.a. im Dorf Pfaffnau verschiedene Bäche zu. Von Osten ist es der Burgbach, der teilweise auch in das HRB entwässert, der Muttibach und der Chrützstutzbach. Von Westen fliessen der Hohriedbach und der Diechselbach zu.

Beim grösseren der beiden Ereignisse 2021 (24.6.2021) regnete es zwischen 17 und 20 Uhr stark (70 mm/3 h), wobei während der intensivsten Phase ca. 50 mm in einer Stunde fielen. Dies löste ein Hochwasser aus und das HRB wurde stark eingestaut. Die Abflüsse wurden gedrosselt ins Dorf abgegeben, so dass es bis zur Einmündung des Hohriedbachs nur Überflutungen auftraten, die keine Schäden verursachten. Die Seitenbäche sorgten jedoch unterhalb des HRB für grossen Zufluss, so dass sie angrenzende Häuser und Quartiere überfluteten und später auch die Pfaffnern überborden liessen. Unterhalb des Parkweihers floss die Pfaffnern breit im Talboden. Zudem wurde an den Hängen vielerorts auch Oberflächenabfluss beobachtet, der zusammen mit den überflutenden Bäche enorme Schäden anrichtete.

Öko-b AG et al. (2009) erstellten die Gefahrenkarte für Pfaffnau. Gemäss des technischen Berichts zur Gefahrenkarte und STORME war die Pfaffnern am 31. Juli 1984, am 16. Juni 1986, am 1. September 1987 und am 7./8.8.2007 von Hochwasser betroffen. Die Frage stellt sich, wie sich die neusten Hochwasser von 2021 einordnen lassen.

1.2 Vorgehen

Der vorliegende Bericht stellt die Resultate der durchgeführten Untersuchungen dar. Im Kapitel 2 sind die verwendeten Daten und Unterlagen zusammengestellt. Das Kapitel 3 beinhaltet die Analyse der Entstehung der beiden Hochwasser im Jahr 2021. Kapitel 4 zeigt die Resultate der Pegelmessungen der kantonalen Messstation am HRB in Pfaffnau und der Abflussmessstation des Kt. AG an der Pfaffnern in Vordemwald mit einem EZG von 38.8 km². Kapitel 5 zeigt die aus den Erkundungen der historischen Hochwasser gewonnenen Erkenntnisse. In Kapitel 6 wird das EZG nach seiner Abflussbereitschaft beurteilt. Darauf aufbauend erfolgen die Berechnungen mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell (Kap. 7). Im Kapitel 8 werden die Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit hergeleitet, indem sämtliche Resultate in einem Frequenzdiagramm zusammengefügt werden.

1.3 Gewährspersonen

- Fischer Phillipp, Chef Werkhof
- Graf Marcel, Feuerwehr-Kommandant
- Hiltbrunner Eva (1967), aufgewachsen in Pfaffnau, Anwohnerin Schäfmoos seit 2012
- Köppli Fritz (1951), in Feuerwehr 1981-2000, Anwohner Hohriedbach
- Leimgruber Hermann (1938), Anwohner Pfaffnern
- Schwizer Sepp, ehem. Feuerwehr-Kommandant, in Feuerwehr 1978-2000

1.4 Gebietskennwerte

Diese Kennwerte beziehen sich auf das in Abbildung 1.1 aufgeführte untersuchte EZG der Pfaffnern.

Tab. 1.1: Gebietskennwerte des untersuchten EZG Pfaffnern.

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (Breitwald)	733 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (Pfaffnern Kantonsgrenze)	472 m ü. M.
EZG oberhalb BP 1: Pfaffnern bei Roggliswil	3.38 km ²
EZG oberhalb BP 2: Burgbach bei Entlastungsleitung zum HRB	1.51 km ²
EZG oberhalb BP 3: Burgbach ohne Entlastung zum HRB; $Q_{\max}=0.3 \text{ m}^3/\text{s}$	1.51 km ²
EZG oberhalb BP 4: Entlastungsleitung Burgbach zum HRB	1.51 km ²
EZG oberhalb BP 5: Burgbach bei der Mündung in die Pfaffnern ohne Entlastung	0.30 km ²
EZG oberhalb BP 6: Pfaffnern Ausfluss aus HRB	6.25 km ²
EZG oberhalb BP 7: Pfaffnern oberhalb Mündung mit Hohriedbach	6.72 km ²
EZG oberhalb BP 8: Hohriedbach oberhalb Mündung mit Pfaffnern	0.89 km ²
EZG oberhalb BP 9: Muttibach oberhalb Mündung mit Chrützstutzbach	1.09 km ²
EZG oberhalb BP 10: Chrützstutzbach oberhalb Mündung mit Muttibach	0.25 km ²
EZG oberhalb BP 11: Muttibach oberhalb Mündung mit Pfaffnern	1.54 km ²
EZG oberhalb BP 12: Pfaffnern oberhalb Mündung mit Diechselbach	9.43 km ²
EZG oberhalb BP 13: Diechselbach oberhalb Mündung mit Pfaffnern	0.93 km ²
EZG oberhalb BP 14: Pfaffnern bei Kantonsgrenze	11.9 km ²

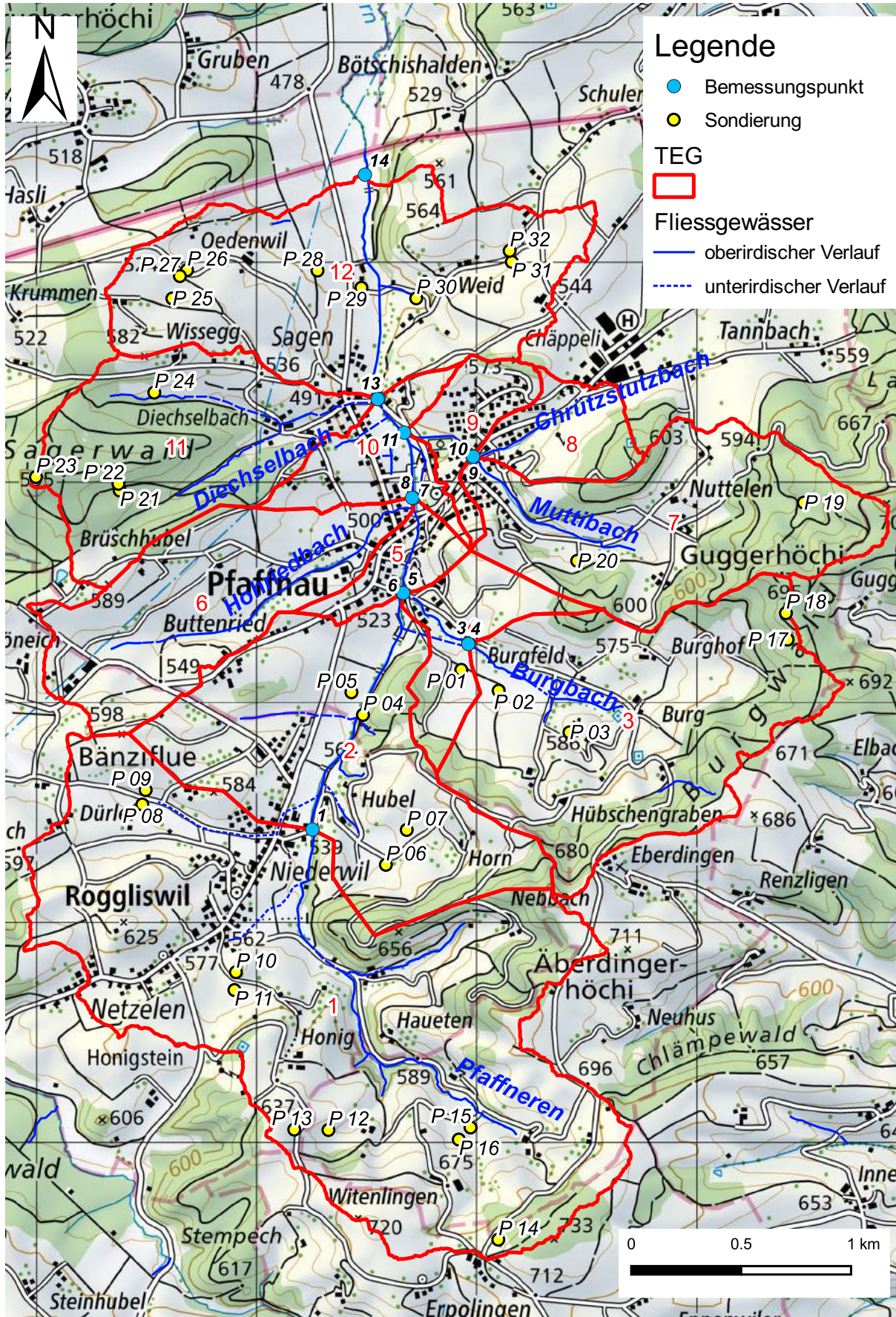


Abb. 1.1: Übersicht des Einzugsgebiets der Pfaffern und der Teileinzugsgebiete mit den nummerierten Bemessungs- und Sondierungspunkten.

2 Verwendete Daten und Unterlagen

- ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG (2009): Gefahrenkarte Pfaffnau, Bericht und Anhang.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2022): Naturereigniskataster StorMe. Web-Applikation Verwaltung und Analyse von Naturgefahrenereignissen <https://bafu.admin.ch/naturereigniskataster-storme/>.
- GIUB (1998): Information zur Datenbank der Schadenereignisse in der Schweiz. Gruppe für Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern GIUB; Gees A., Weingartner R..
- Hegner A.G. (1852): Die Wassernoth in der Schweiz, im Herbstmonat 1852. Winterthur.
- Jäckli H., Kempf Th. (1972): Hydrogeologische Karte der Schweiz, 1 : 100'000, Blatt Bözberg-Beromünster, Erläuterungen, Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission.
- Kanton Luzern (1991): Sanierung der Pfaffnernn und Zuflüsse, Hochwasserrückhaltebecken Schiessstand an der Pfaffnernn, Hydraulische Berechnungen Detailprojekt. Kant. Tiefbauamt, Abt. Brücken- und Wasserbau. Feb. 1991.
- Kanton Luzern (2003): Projekt Entlastungsleitung Burgbach, Sanierung der Pfaffnernn und Zuflüsse. Hydraulische Berechnungen. Proj.Nr. 1513, Reg. Nr. B 070.9402.031. Verkehrs- und Tiefbauamt des Kt. LU, Abteilung Bau.
- Kienzler P., Naef F. (2008): Subsurface storm flow formation at different hillslopes and implications for the 'old water paradox'. *Hydrological Processes*, 22, 104–116.
- Lanz-Stauffler, H. und C. Rommel (1936): Elementarschäden und Versicherung. Studie des Rückversicherungsverbandes kantonalschweizerischer Feuerversicherungsanstalten zur Förderung der Elementarschadenversicherung, Band 2. Selbstverlag des Rückversicherungsverbandes. Bern.
- Meier J. (1939): Die Unwetter in der Schweiz 1900 – 1950.
- MeteoSchweiz: 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.
- Röthlisberger G., Geiger H., Zeller J. (1992): Starkniederschläge im Schweizer Mittelland und Jura. Band 9 Thurgau, Schaffhausen, Aargau, Nördliche Teile von Zürich und Luzern. Herausgeber: WSL.
- Scherrer AG (2004): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz.
- Scherrer AG (2014): Hydrologische Grundlagen für den Hürnbach in Dagmersellen unter Berücksichtigung des Hochwasserrückhalts im Einzugsgebiet. Auftraggeber: Kt. LU, vif. Bericht 13/176.
- Scherrer AG (2018): Massgebende Hochwasserabflüsse am Dorfbach in Altbüron Beurteilung der Wirkung des HWRB Isebahnloch. Auftraggeber: Kt. LU, vif. Bericht 17/234.
- 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): A decision scheme to indicate dominant flow processes on temperate grassland. In: *Hydrological Processes*, 17, 391-401.
- StorMe (2022): Naturereigniskataster der Kantone.
- Sturmarchiv Schweiz (2022): Swiss Severe Weather Database SSWD <https://www.sturmarchiv.ch/>
- Swisstopo, Bundesamt für Landestopographie (2018): Diverse Layer, Luftbilder, geocover, etc. <https://map.geo.admin.ch/>.
- U.S. Army Corps of Engineers (2021): Hydrologic Engineering Center, River Analysis System (HEC-RAS), Version 6.0.
- WSL, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2022): Schadendatenbank

der Gemeinden Pfaffnau, Roggliswil und Vordemwald (1972–2020).

- Zeller J., Röthlisberger G. (1987): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1986. Wasser, Energie, Luft. 1987, Heft 10.
- Zschokke Th. (1852): Die Überschwemmungen in der Schweiz im September 1852. Aarau.
- Zeitungen, verschiedene (Luzerner Zeitung, Neue Zürcher Zeitung, Tagblatt der Stadt Biel, Zofinger Tagblatt etc.)

3 Ereignisanalyse der Ereignisse vom 24. Juni und 8. Juli 2021

3.1 Das Niederschlagsgeschehen am 24. Juni und am 8. Juli 2021

3.1.1 Einleitung

Für die Analyse des Hochwassers spielt der zeitliche Verlauf des Niederschlags, die räumliche Verteilung des Niederschlags und die beobachteten Niederschlagsspitzen und natürlich die tatsächlich aufgetretenen Abflussspitzen eine wesentliche Rolle. Verschiedene klimatische Aspekte - vor allem im Vorfeld des Ereignisses - sind aber auch von grossem Interesse.

Die Wetterlage (Kap. 3.2) und die klimatische Vorgeschichte des Ereignisses (Kap. 3.3) wird beschrieben. Für jedes der beiden Ereignisse werden der zeitliche Verlauf mit den beobachteten Niederschlagsintensitäten, die räumliche Niederschlagsverteilung mit den gefallen Mengen und die Einordnung des beobachteten Niederschlag untersucht.

Abbildung 3.1 zeigt die für diese Analysen verwendeten Niederschlagsstationen. Es sind Daten öffentlicher Stationen (MeteoSchweiz (Kürzel mit Grossbuchstaben), NABEL¹, Kantone (Kürzel beginnend mit AG, resp. LU), aber auch etlicher privater Stationen (z.B. Meteomedia (Kürzel beginnend mit MM), die gesammelt und ausgewertet wurden, um ein gutes Bild des Niederschlagsgeschehens zu erhalten.

1 NABEL: Nationales Beobachtungsnetz für Luftschadstoffe.

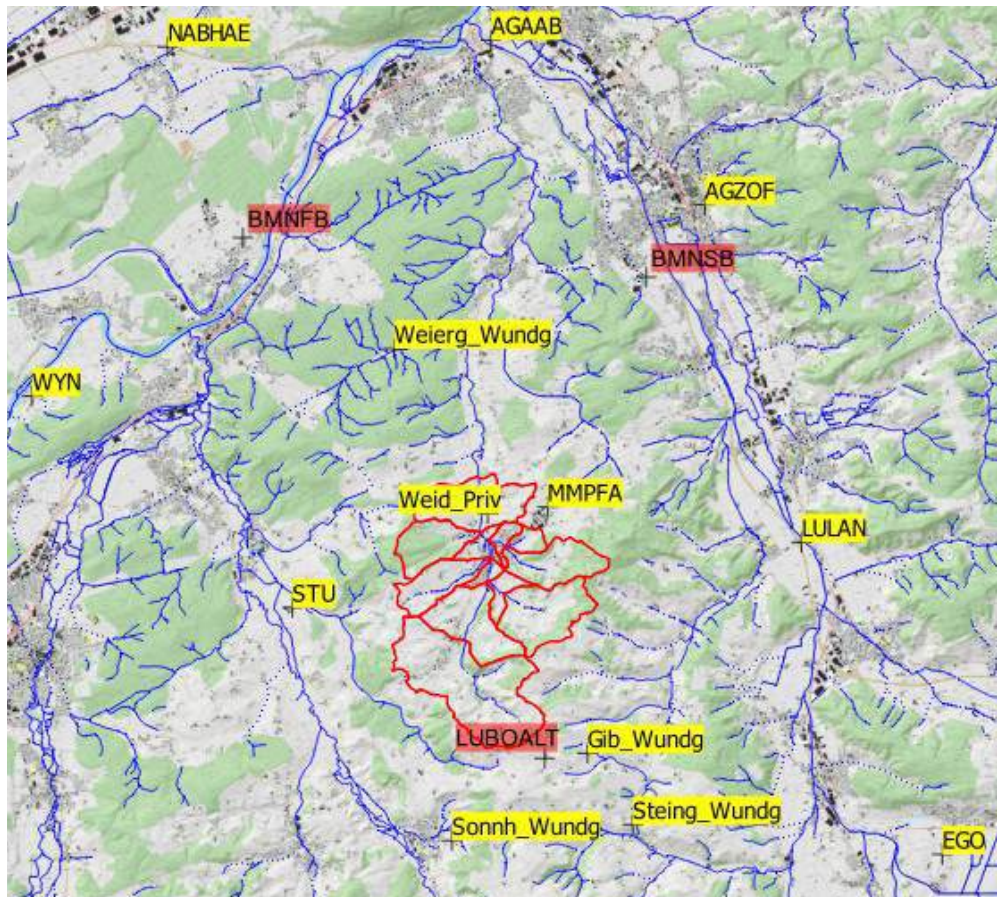


Abb. 3.1: Die für die Untersuchung verwendeten Niederschlagsmessstationen (gelb) und die Bodenfeuchte-Messstationen (rosa).

3.2 Wetterlage am 24. Juni und am 8. Juli 2021

Das Klimabulletin von MeteoSchweiz beschreibt die allgemeine Wetterlage im **Juni 2021** wie folgt:

Im Verlauf der anhaltenden Gewitterlage mit mildfeuchter Luft aus Südwesten wurden vom 20. bis am 24. sowie am 28. Juni mehrere Regionen der Schweiz von Unwettern heimgesucht. Lokal fielen innerhalb von 30 Minuten oder einer Stunde Regenmengen, die über lange Zeit betrachtet nur alle 30 bis 50 Jahre erreicht oder überschritten werden.

Die höchsten Stundensummen erreichten auf der Alpennordseite knapp über 40 mm, auf der Alpensüdseite knapp 40 mm. An mehreren Orten auf der Alpennordseite fiel innerhalb einer Stunde, zum Teil sogar innerhalb einer halben Stunde, ein Drittel einer durchschnittlichen Juni-Regensumme.

Als Folge der grossen Regenmengen in kurzer Zeit hatten mehrere Gebiete auf der Alpennordseite zwischen dem 20. und dem 24. Juni mit Überschwemmungen zu kämpfen, wie zum Beispiel die Region Cressier, das Oberbaselbiet und die Regionen Zug und Aarau. Mehrere Erdrutsche unterbrachen lokal den Bahnverkehr. Viele Schadensmeldungen gab es erneut am 28. Juni. [...]

An einzelnen Messstandorten fiel mehr als das Doppelte einer durchschnittlichen Juni-Regensumme. [...] In Buchs-Aarau fielen 277 mm Regen. Der bisherige Junirekord von 216,7 mm stammt aus dem Jahr 1986. Buchs-Aarau erlebte den nassesten Monat seit Messbeginn 1959 [...]

Insgesamt verzeichneten 24 Messstandorte neue Rekorde bei der Juni-Niederschlagssumme. Einige dieser Messreihen reichen 60 Jahre oder weiter zurück. [...] Der Juni brachte nördlich der Alpen und entlang des nördlichen Alpenrandes verbreitet Niederschlagssummen zwischen 130 und 190 %, lokal auch zwischen 200 und knapp 250 % der Norm 1981–2010.

Nachdem die beiden Vormonate bereits regenreich waren, begann auch der **Juli 2021** nass.:

Nach den zwei regenreichen Monaten Mai und Juni fielen in der ersten Julihälfte abermals grosse Regenmengen und vielerorts Hagel. Gegen Monatsmitte kam es an mehreren Flüssen und Seen zu Hochwasser und Überschwemmungen. [...] Der Juli war schliesslich an zahlreichen Messstandorten in der Nord- und Zentralschweiz einer der niederschlagsreichsten, im landesweiten Mittel sogar der niederschlagsreichste seit Messbeginn.

Für die Messstationen mit langen Messreihen in St. Urban (122 Jahre), Zofingen (139 Jahre) und Egolzwil (48 Jahre) sind in Tab. 3.1 die Monatsniederschläge zwischen Mai und Juli 2021, sowie der Rang dargestellt. In Zofingen mit der längsten Messreihe war der Juni der zweit nasseste Monat, der Juli lag auf Rang 4. In Zofingen war auch der Mai sehr nass, Rang 8 in 139 Jahren. In St. Urban lag der Juni auf Rang 2 und der Juli auf Rang 5. In Egolzwil war der Juli der nasseste Monat der gesamten Messperiode.

Tab. 3.1: Monatsniederschläge und Rang der Monate Mai bis Juli 2021.

	Messreihe	Monats N-Summe [mm]			Rang		
		Mai	Juni	Juli	Mai	Juni	Juli
St. Urban	1900-2021	161.8	242.7	236.3	13	2	5
Zofingen	1883-2021 ¹⁾	173.9	230.2	236.4	8	2	4
Egolzwil	1974-2021	126.9	178.7	290.2	16	4	1

¹⁾ Jan. 1982-Jan. 1991 Station Oftringen

3.3 Vorgeschichte des Ereignisses

3.3.1 Einleitung

Die Vorgeschichte liefert oft wesentliche Informationen über die Hochwasser-Entstehung. Hier werden die im Vorfeld gefallenen Niederschläge dargestellt, um die vorgängige Benetzung des Gebietes festzustellen. Zudem wurden Daten gesucht, um die Vorbenetzung des Bodens zu beschreiben.

3.3.2 Das Niederschlagsgeschehen im Vorfeld der beiden Hochwasser

In den 30 Tagen vor dem Ereignis am 24.6.2021 regnete es im EZG der Pfaffnern rund 100 - 150 mm (Abb. 3.2), zwischen dem 25.6. und dem 7.7. kamen nochmals 80 – 100 mm dazu. Die Tage zwischen dem 9. und dem 19.6. waren nahezu ohne Niederschlag.

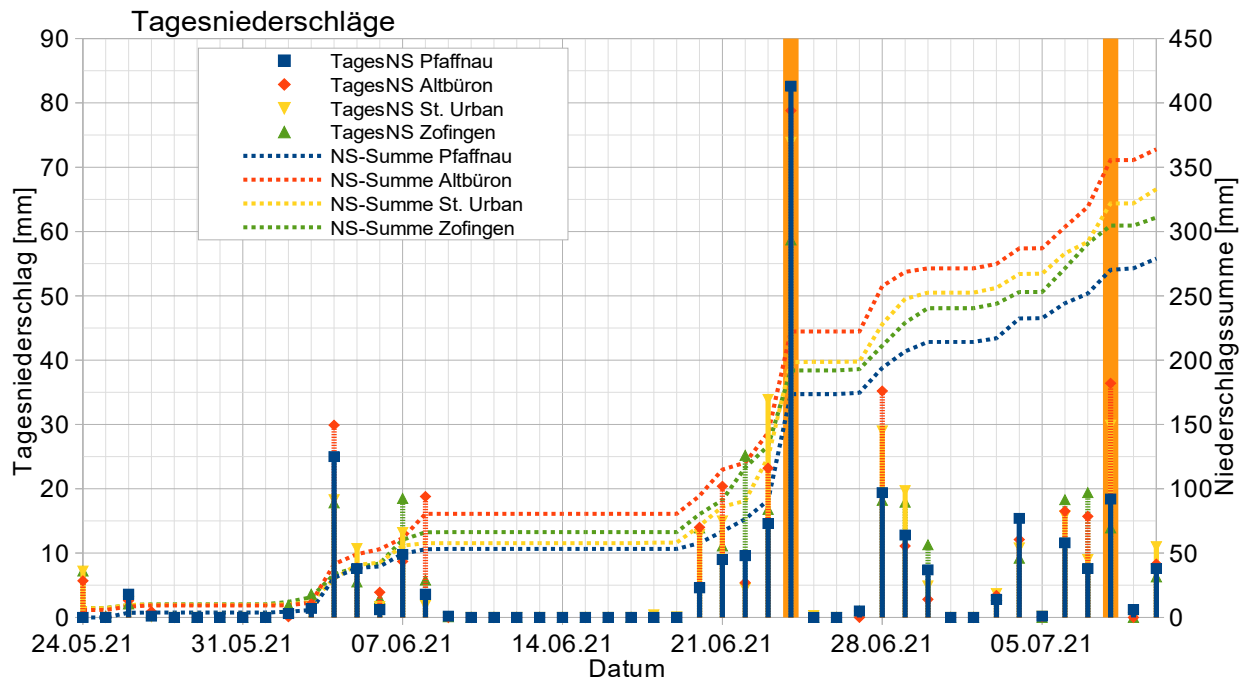


Abb. 3.2: Tagesniederschläge in Pfaffnau, Altbüron, St. Urban und Zofingen. Die beiden orangenen Balken zeigen die beiden Ereignistage vom 24.6. und vom 8.7.21 (NS=Niederschlag).

3.3.3 Bodenfeuchte

Der Kanton Luzern betreibt seit 2017 eine automatische Bodenfeuchte-Messstation, die in 20, 35 und 60 cm Tiefe die Saugspannung des Bodens in cbar registriert. Die Saugspannung ist ein Mass für die Bodenfeuchte.

Abbildung 3.3 zeigt die Bodenfeuchte, die aus der oben beschriebenen feucht-nassen Witterung resultierte. Seit Anfang Juni lag die Saugspannung im Unterboden in 60 cm Tiefe im nassen Bereich (Kategorie 0 - 6 cbar), nur wenige Tage zwischen dem 19. und 24. Juni war es weniger nass (Kategorie sehr feucht 6 - 10 cbar). In 35 cm Tiefe fiel die Saugspannung nach den Niederschlägen vom 23. Juni dauernd unter 6 cbar, d. h. in den nassen Bereich. Im Oberboden in 20 cm Tiefe reichten die Niederschläge des 20. und 21. Juni aus, um die Saugspannung in den feuchten Bereich zu verschieben. Mit den Niederschlägen vom 23. Juni sank die Saugspannung unter 6 cbar (nass). Nach dem Hochwasser vom 24.6.2021 trocknete auch der Oberboden nicht mehr ab.

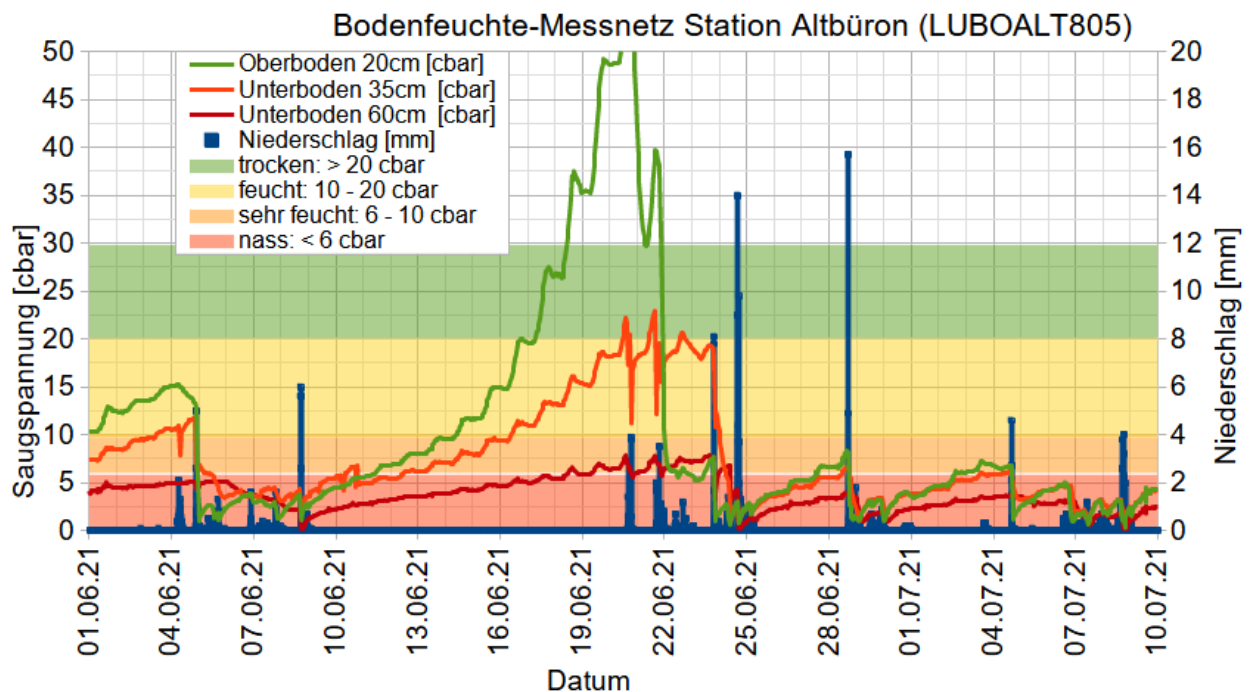


Abb. 3.3: Saugspannung im Ober- und Unterboden, sowie Niederschläge an der Station Altbüron.

Insgesamt waren die Ausgangsbedingungen bezüglich Vorbenetzung sowohl beim Ereignis vom 24.6 und auch 8.7.2021 sehr ungünstig, Die z.T. über alle Bodenhorizonte nasse Bodenmatrix zieht eine stark erhöhte Abflussbereitschaft nach sich.

Sowohl an der 6 km nördlich des EZG gelegenen Bodenmessstation **Strengelbach** (Abb. 3.4), als auch an der 6 km nordwestlich gelegenen Station **Fulenbach** (Abb. 3.5) zeigt sich ein vergleichbares Bild.

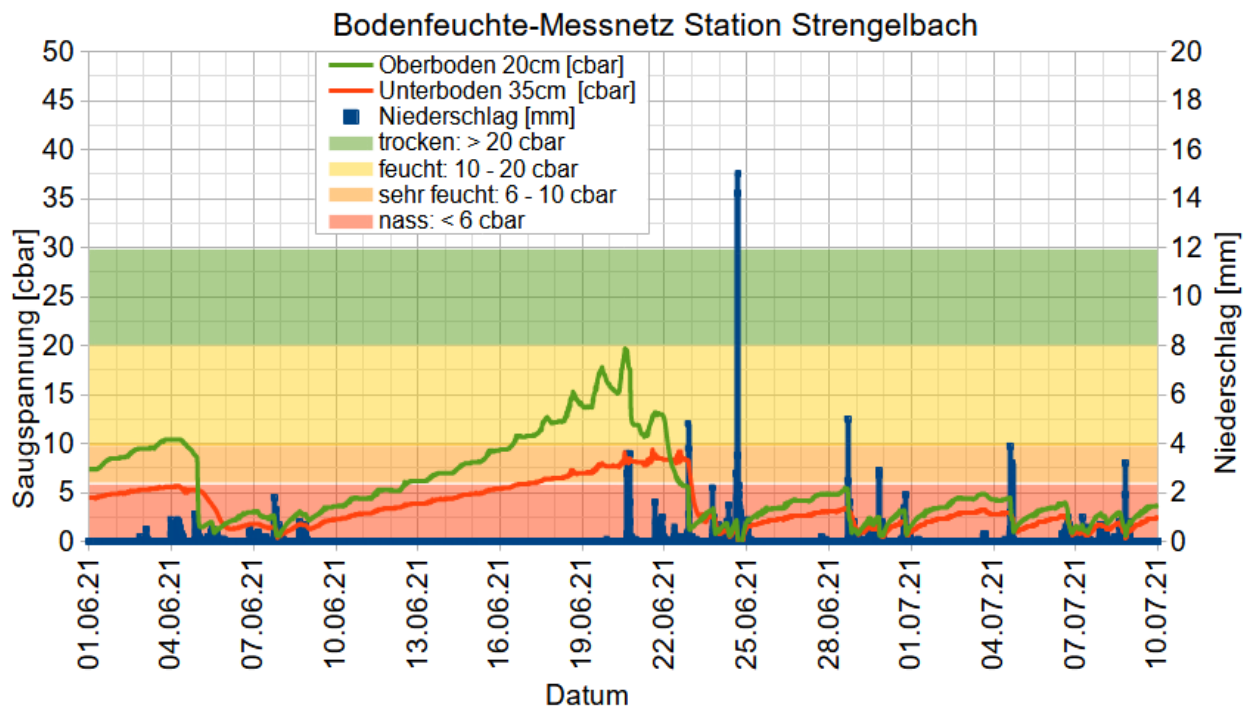


Abb. 3.4: Saugspannung im Ober- und Unterboden, sowie Niederschläge an der Station Strengelbach.

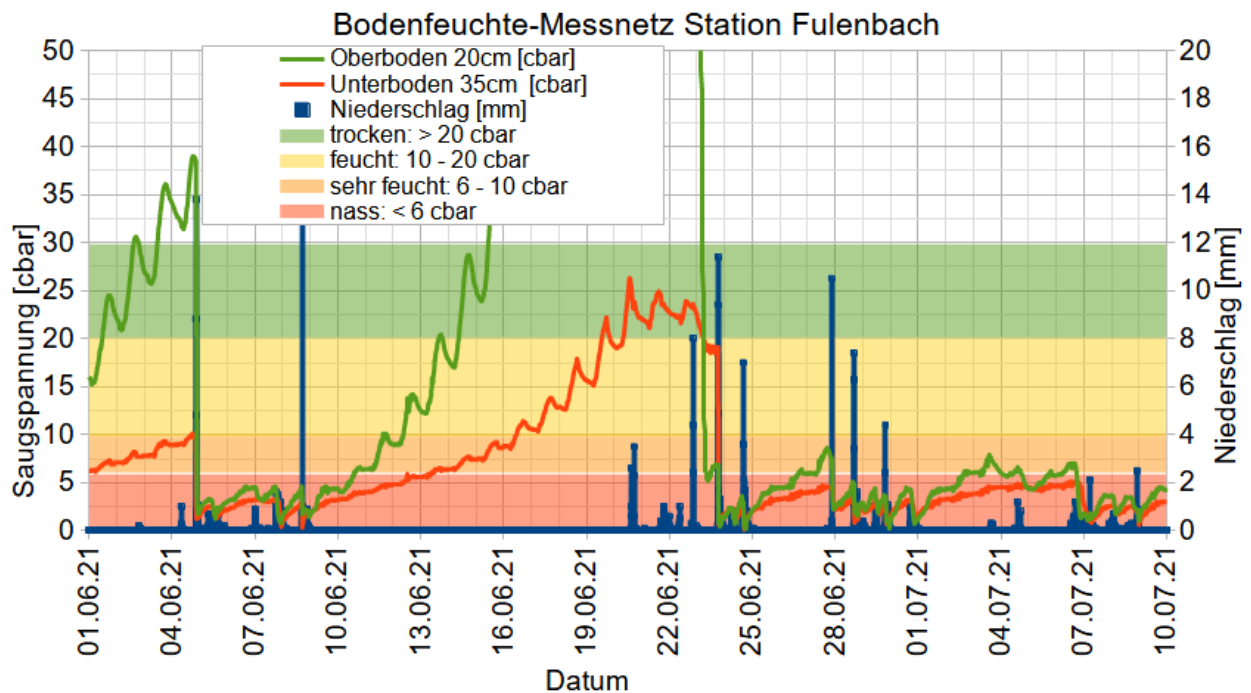


Abb. 3.5: Saugspannung im Ober- und Unterboden, sowie Niederschläge an der Station Fulenbach.

3.4 Niederschlagsverteilung vom 24.6.2021

Für beide Ereignisse (24.6.2021 und 8.7.2021) wird der zeitliche Niederschlagsverlauf anhand der Niederschlag-Summenkurven aufgezeigt. Dargestellt ist eine Auswahl der im Gebiet und in der Umgebung liegenden Niederschlagsstationen mit hoher zeitlicher Auflösung. Für die räumliche Verteilung werden die Tagessummen in einem weiteren Umkreis gezeigt und die aufsummierten Niederschlagsmengen der Radarmessungen der MeteoSchweiz.

Abbildung 3.6 zeigt den zeitlichen Niederschlagsverlauf anhand der Niederschlag-Summenkurven vom 24. Juni 2021.

Am Donnerstagvormittag des 24. Juni 2021 fiel ein erster Niederschlag von 5 zu 20 mm. Am Nachmittag setzte intensiver Regen ein, wobei zwischen 16 und 20 Uhr an der Station Pfaffnau 70 mm Niederschlag registriert wurde. Der von Südwest nach Nordost ziehende heftige Gewitterzug² hatte seine intensivste Phase zwischen 17 und 19 Uhr. An der Station Pfaffnau (MMPFA) wurden dabei 30 mm in 30 Min. resp. 50.4 mm in 1 h registriert. An der Station in Ebersecken waren es gar 37.8 mm in 30 Min. . Dieser Gewitterimpuls führte zu Überflutungen entlang der Pfaffnern und an mehreren Seitenbäche.

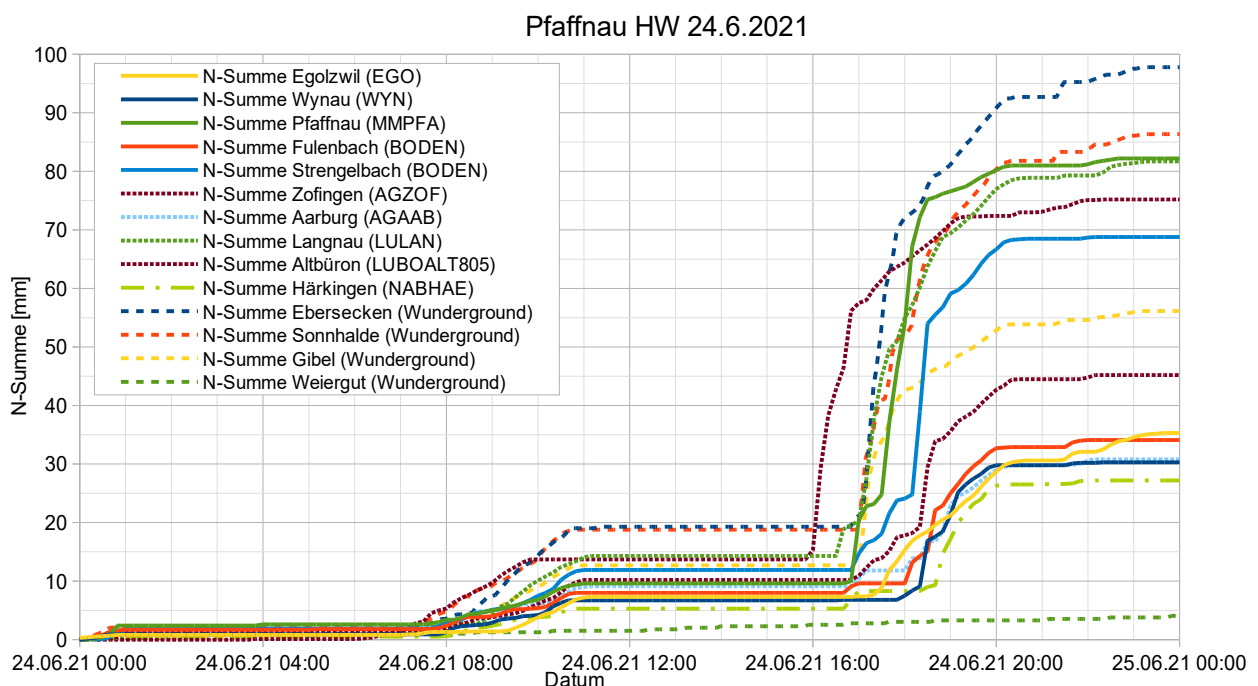


Abb. 3.6 Zeitlicher Verlauf der Niederschlagssumme [mm] an verschiedenen Niederschlagsmessstationen beim Ereignis vom 24. Juni 2021.

Abbildung 3.7 zeigt die an den Bodenstationen gemessenen Niederschlagssummen zwischen dem 24.6.2021 07:00 Uhr und 25.6.2021 07:00 Uhr (MESZ). Die an den Bodenstationen gemessenen Niederschlagssummen wurden dabei mittels Kriging interpoliert. Die grössten Niederschlagssummen sind südöstlich des EZG im Bereich Ebersecken (95 mm) auszumachen. Die Niederschlagsverteilung ist ziemlich gleichmässig über das gesamte EZG verteilt mit einer Niederschlagssumme von rund 80 mm.

In Abbildung 3.8 ist die Niederschlagsverteilung anhand des Radars dargestellt. Sie korrespon-

2 https://www.sturmarchiv.ch/index.php?title=20210624_01_Flood_Pfaffnau_LU

diert relativ gut mit den an den Niederschlagsmessstationen gemessenen Werten. Das Zentrum des Niederschlags anhand der Radarwerte wird dabei einige Kilometer zu weit nördlich verortet. Die maximalen Niederschläge liegen zwischen 74 und 102 mm. Um eine genauere Aussage zu erhalten wäre jedoch eine Radaranalyse³ notwendig, was angesichts der gleichmässigen räumlichen Verteilung und den vielen Bodenstationen um das EZG jedoch nicht erforderlich ist.

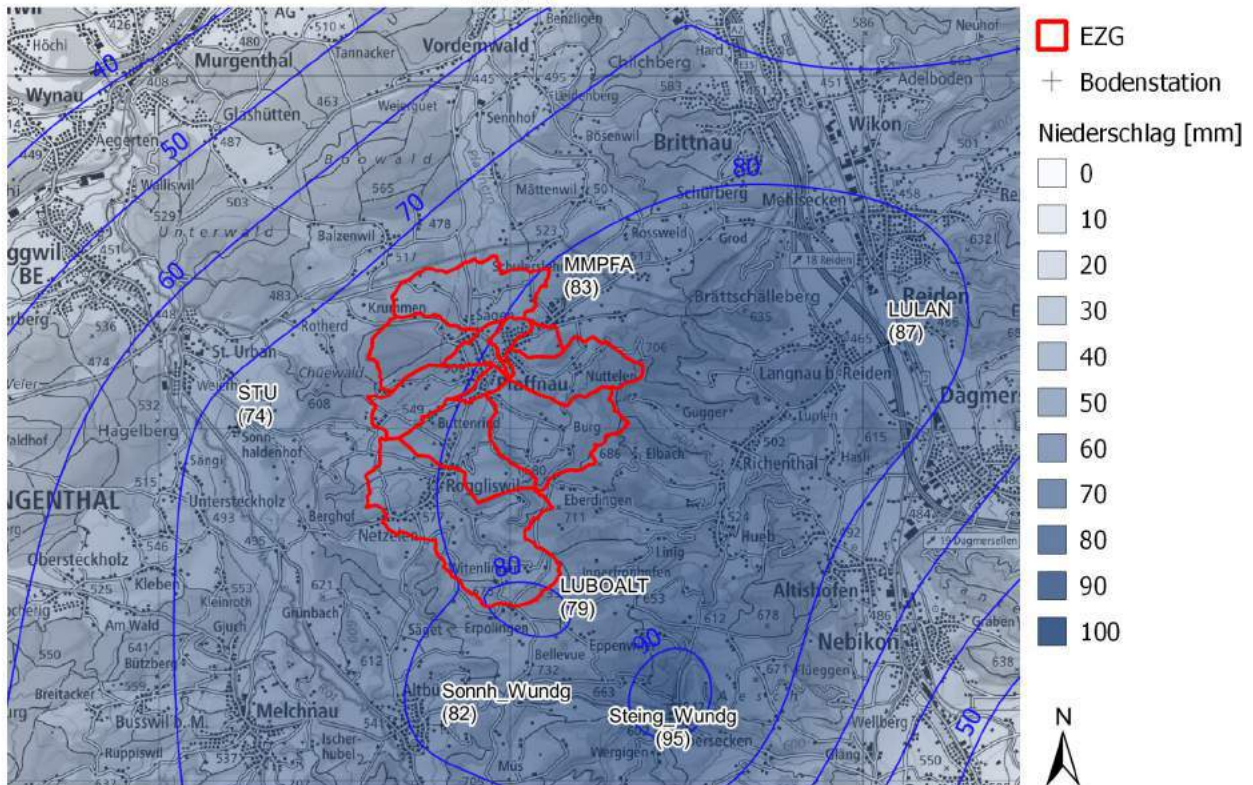


Abb. 3.7: Räumliche Niederschlagsverteilung vom 24.6.2021 anhand der Bodenstationen (7 – 7 h).

3 MeteoSchweiz bietet solche Analysen an. Da der Radar eine Ausmittlung auf der Rasterzelle (1 km x 1 km) vornimmt, ist es durchaus möglich, dass lokal wesentlich höhere Intensitäten auftraten. Trotz jahrzehntelanger, intensiver Forschung bleibt die Niederschlagsmessung mit dem Radar schwierig. Er bietet sich aber an, um Aussagen über die Bewegung der Gewitterzellen und die räumliche Ausdehnung zu machen.

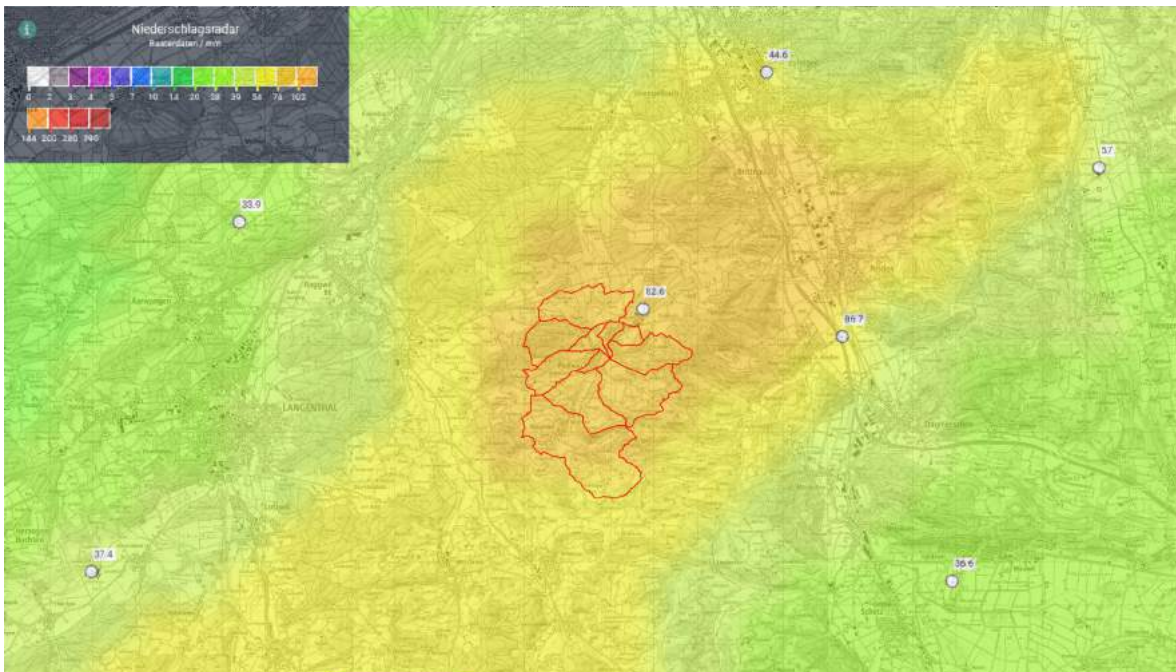


Abb. 3.8: Räumliche Niederschlags-Verteilung vom 24.6.2021 anhand der Radar-Akkumulation (7 – 7 h).

3.5 Niederschlagsverteilung vom 8.7.2021

Abbildung 3.9 zeigen den zeitlichen Niederschlagsverlauf anhand der Niederschlagssummen vom 8. Juli 2021.

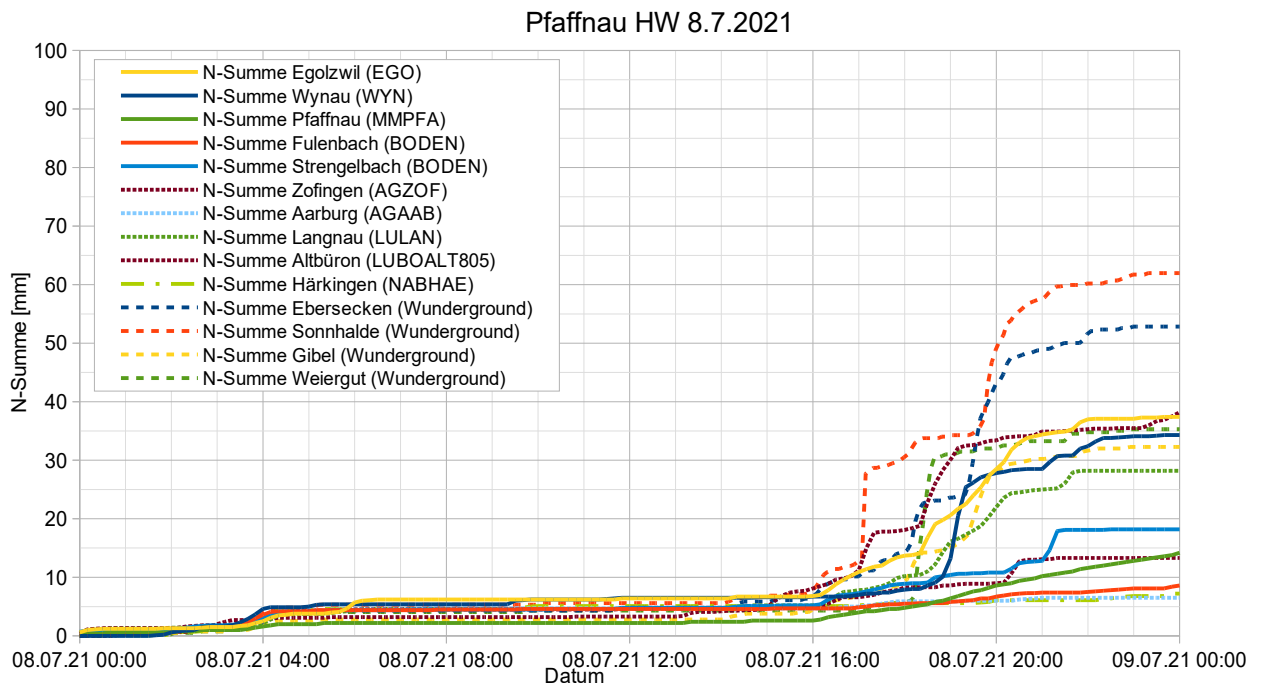


Abb. 3.9: Zeitlicher Verlauf der Niederschlagssumme [mm] an verschiedenen Niederschlagsmessstationen beim Ereignis vom 8. Juli 2021.

Am 8.7.2021 regnete es in der Nacht bis zum Nachmittag vereinzelt. Zwischen 16 und 21 Uhr regnete es stellenweise intensiv. In Ebersecken fielen in 30 Min. 15.8 mm, in 1 h 23.4 mm, im Weiergut (Vordemwald) 24.4 mm in 30 Min. Diese vergleichsweise geringen Niederschläge können nicht alleine verantwortlich sein, dass die Pfaffnern erneut ein grosses Hochwasser erzeugte und über die Ufer trat. Diese unerwartet starke Abflussreaktion muss im Zusammenhang mit den äusserst nassen Vorbedingungen, wie sie im Kapitel 3.3 dargestellt wurden, gesehen werden.

Abbildung 3.10 zeigt die Niederschlagssummen, die sich aus den Bodendaten zwischen dem 8.7.2021 07:00 Uhr und 9.7.2021 07:00 Uhr (MESZ) ergeben. Die grössten Niederschlagssummen sind südlich des EZG im Bereich Altbüron (60 mm) und Ebersecken (53 mm) auszumachen. Die Niederschlagsverteilung nimmt nach Norden stark ab und verzeichnet an der Meteomedia-station Pfaffnau (MMPFA) nur noch eine Niederschlagssumme von 18 mm.

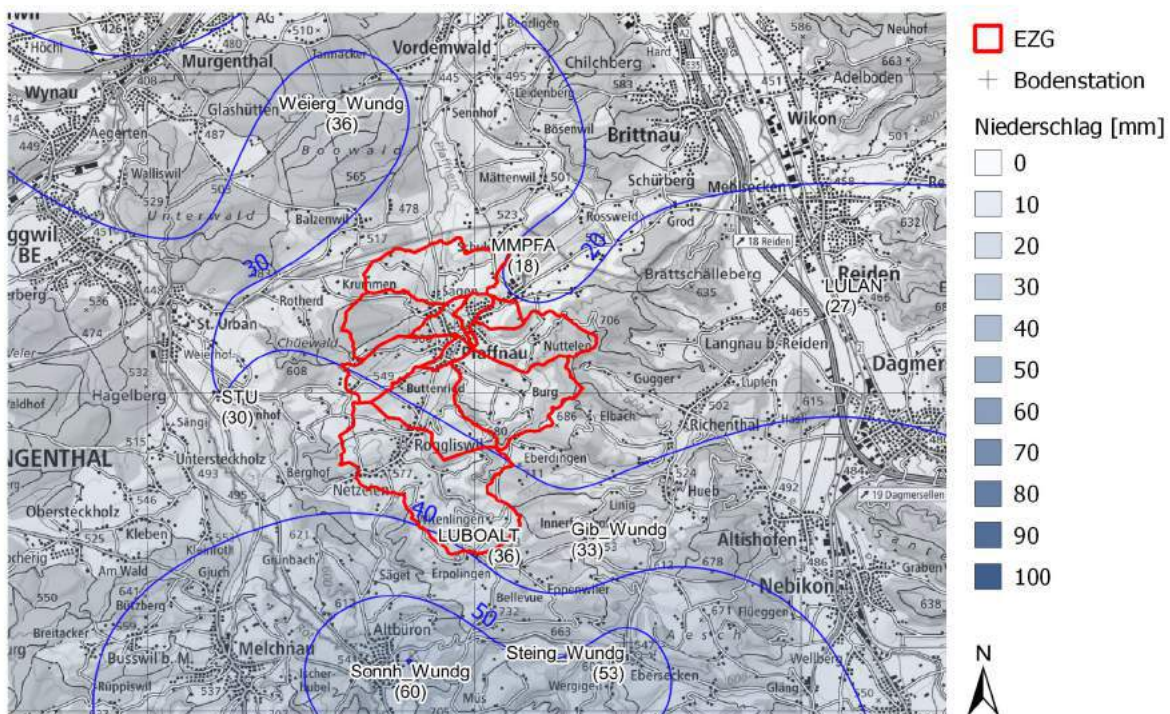


Abb. 3.10 Räumliche NS-Verteilung vom 8.7.2021 anhand der Bodenstationen (7 – 7 h).

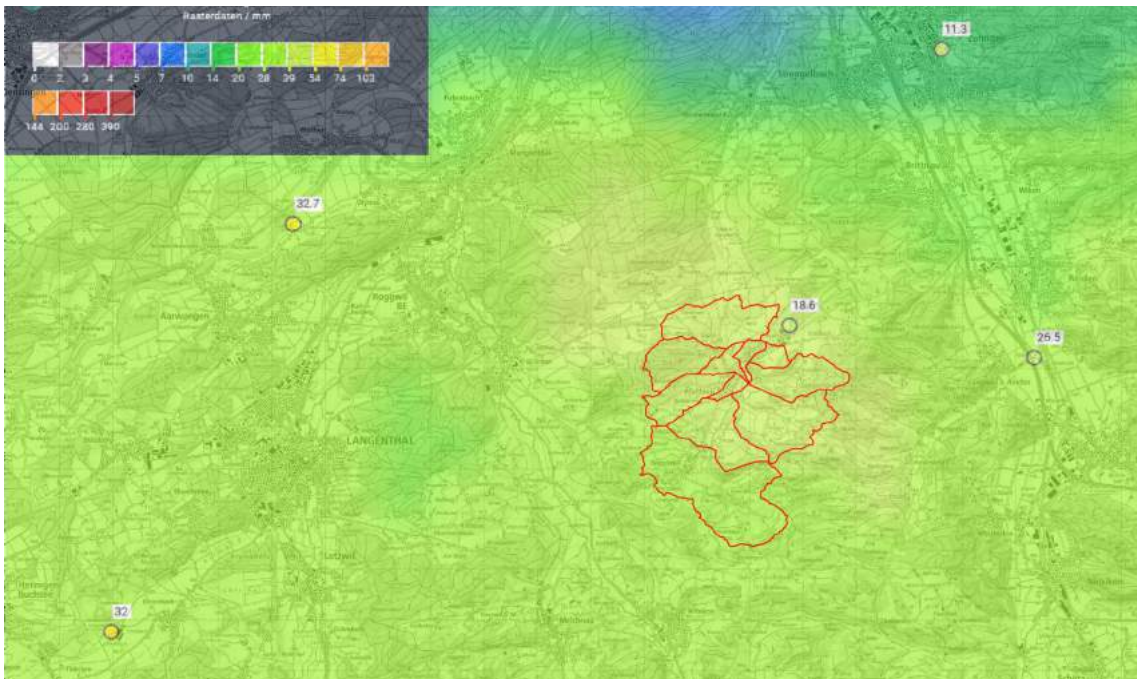


Abb. 3.11: Räumliche NS-Verteilung vom 8.7.2021 anhand der Radar-Akkumulation (7 – 7 h).

In Abbildung 3.11 ist die Niederschlagsverteilung anhand des Radars dargestellt. Sie korrespondiert relativ gut mit den an den Niederschlagsmessstationen gemessenen Werten. Das Zentrum des Niederschlags anhand der Radarwerte wird dabei einige Kilometer zu weit nördlich verortet. Die maximalen Niederschläge liegen zwischen 39 und 54 mm.

3.6 Einordnung des auslösenden Niederschlags

In diesem Kapitel werden die auslösenden Niederschläge in einem ersten Schritt statistisch ein-geordnet (Kap. 3.6.1). Die am 8.7.2021 gemessenen Niederschläge sind so gering, dass sie sich nicht statistisch einordnen lassen. Weil die hydrologischen Ausgangsbedingungen (Vorbedingungen aufgrund der Bodenfeuchte) aus der Sicht des Hochwasserschutzes ungünstig waren, wird in einem 2. Schritt versucht, diese "statistisch" einzuordnen.

3.6.1 Einordnung des auslösenden Niederschlags

In der Schweiz wird mancherorts seit 1860 Niederschlag als Tageswerte gemessen. Die zeitlich hochaufgelösten Stationen der MeteoSchweiz wurden erst in den 1980er-Jahren eingerichtet. Dies bedeutet, dass Niederschlagsdaten kurzer Dauer (< 24 h) nur von verhältnismässig kurzen Messperioden verfügbar sind, um extremwertstatistische Auswertungen kurzer Ereignisse (< 1 Tag) durchzuführen. Die nächst gelegene Station mit einer Extremwertstatistik und einer zeitlichen Auflösung des Niederschlags von 10 Min. ist 7 km entfernt und liegt in Wynau.

Die Extremwertanalyse der MeteoSchweiz (2021) umfasst die Jahre von 1982 bis 2020 und ist in Abbildung 3.12 dargestellt. Die Statistiken kurzer Niederschläge sind aufgrund der kürzeren Messdauer weniger gut abgestützt, als die längere Messperioden umfassenden Statistiken der Tageswerte.

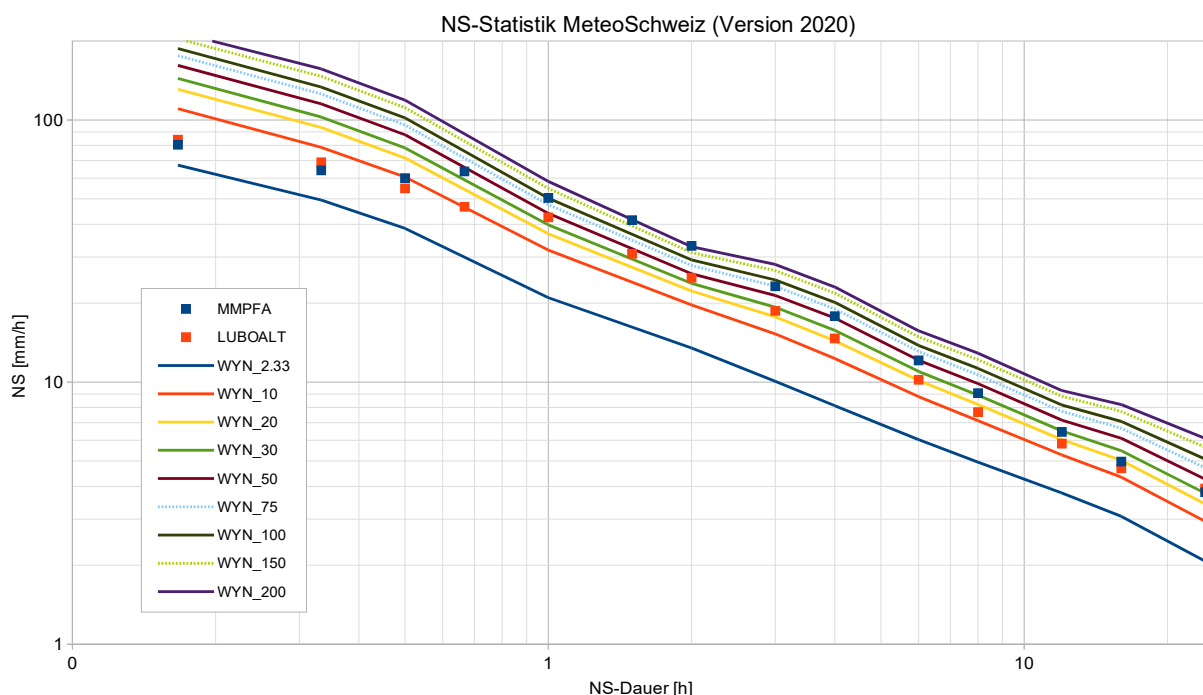


Abb. 3.12: Vergleich der am 24.6.2021 gemessenen Niederschläge mit der Extremwertstatistik der MeteoSchweiz 2021) an der Station Wynau (WYN). Die Zahlen hinter dem Stationskürzel geben die Wiederkehrperiode in Jahren an. Die an den Stationen Pfaffnau (MMPFA), und Altbüron (LUBOALT805) gemessenen Werte sind als Quadrate eingetragen.

Abbildung 3.12 zeigt die Intensitäten unterschiedlicher Jährlichkeiten (Linien) nach der Extremwertstatistik der Niederschlagstation in Wynau (MeteoSchweiz, 2021): Für **Pfaffnau** (MMPFA) bewegt sich die Wiederkehrperiode des beobachteten Niederschlags bis zu einem 200-jährlichen Ereignis. Am seltensten sind dabei die 1.5 und 2 stündigen Niederschläge. An der nahe gelegenen kantonalen Bodenmessstation **Altbüron** (LUBOALT805) bewegen sich die Jährlichkeiten der 1 bis 3 stündigen Niederschläge zwischen 30 und 50 Jahren.

3.6.2 Einordnung der Vorgeschichte anhand der Analyse der Niederschlagsdaten von St. Urban

Im Kapitel 3.2 und 3.3 werden die hohen Monatsniederschläge erwähnt, die 2021 in bestimmten Gebieten gefallen sind. Es stellt sich die Frage, wie die über Monate andauernde Feuchtephase des Sommers 2021 zu werten ist. Dies kann helfen, das Ereignis vom 24.6.2021 und 8.7.2021 und die dabei beobachteten Abflüsse besser einzuordnen. Die Aufzeichnung der Bodenfeuchte resp. Saugspannungen im benachbarten Altbüron geht jedoch nur bis ins Jahr 2017 zurück, was keine statistische Auswertung ermöglicht.

Deshalb muss ein Vorgehen gewählt werden, das Rückschlüsse auf die Vorbedingungen zulässt.

Die Niederschlagsmessreihe der Stationen St. Urban (1900 - 2021)⁴ reicht rund 120 Jahre zurück und eignet sich für eine vereinfachte Analyse der aufgetretenen Feuchtephasen (siehe Tab. 3.2). Folgendes Vorgehen wurde gewählt:

- Es wurden die Niederschlags-Monatssummen für die Monate April bis Oktober gebildet.
- Die Monatssummen wurden mit der gesamten Messreihe verglichen und klassifiziert, indem zum Beispiel ein Monat April als „nass“ klassifiziert wird, wenn die Niederschlagssumme

4 Dieselbe Auswertung wurde für die Station Zofingen durchgeführt (Zofingen: 1883- 2021; Datenlücke 1982 - 1990).

grösser oder gleich dem 85%-Quantil ist (Tab. 3.2, St. Urban: 124.4 mm), ein Mai gilt in St. Urban dagegen erst ab einer Niederschlagssumme grösser oder gleich 152.2 mm als nass.

- Schliesslich wurde die Häufigkeit aufeinanderfolgender nasser Monate ausgezählt.

Aus der Analyse der Feuchtephasen lässt sich folgendes herauslesen:

- In den vergangenen 122 Jahren kam es in St. Urban nur zwei mal vor, dass drei Monate hintereinander „nass“ waren. Einmal im Jahr 2016 in den Monaten April-Mai-Juni und einmal 2021 in den Monaten Mai-Juni-Juli. Bei der Feuchtephase, welche die beiden sehr grossen Hochwasser im Juni und Juli 2021 einschliesst, handelt sich also um ein seltenes Vorkommnis, das sich im Durchschnitt nur ca. alle 60 - 70 Jahre ereignet.
- Zwei aufeinanderfolgende Monate, welche als „nass“ klassiert wurden, kamen in St. Urban in den letzten 122 Jahren häufiger vor. Am häufigsten „nass“ waren Juni-Juli (7 mal) und April-Mai. Mai-Juni, August-September und September-Oktober waren je 4 mal "nass" und Juli-August 3 mal.

Die historischen Hochwasser wurden in Kapitel 5 zusammengestellt. Von den 10 während der Niederschlagsmessreihe in St. Urban bekannten Hochwasserereignissen ereigneten sich alle in feuchten bis nassen Monaten, 5 davon sogar in nassen Monaten. Dies ist ein Hinweis, dass das Gebiet üblicherweise eine schwache Abflussreaktion hat (siehe Kap. 6) und dass feuchte Vorbedingungen das Gebiet wesentlich stärker reagieren lassen.

Es wurden weitere Versuche zur Untersuchung und Einordnung der Vorbedingungen unternommen, die aber weniger erfolgreich waren⁵.

5 Die Einschätzung der Vorfeuchte anhand des Vorregenindex,

Auswertungen an Bodenmessstation Altbüron (Messreihe 3.5.2017 – 20.4.2022) für die Sommermonate April bis September. Darstellung der Saugspannungen im Vergleich zu 5-Tages-Niederschlagssumme bis zur Messung der Saugspannung. Ebenfalls untersucht mit 10- und 20-Tages N-Summe und Vorregenindex VNS5, VNS10, VNS21, VNS30. Daraus resultierte keine eindeutige Abhängigkeit, allerdings standen nur eine kurze Datenreihe über 5 Sommer zur Verfügung (siehe dazu Anhang 3).

Jahresmaximum des 1-Tagesniederschlags bestimmen und die 5-Tages-Niederschlagssummen vor dem grössten Ereignis auswerten: Jährlichkeit eines 50 mm 5-TagesNS vor dem Ereignis ca. 7 Jahre (30 mm: 3.3 Jahre).

Tab. 3.2: Klassifizierung von Niederschlags-Monatssummen in St. Urban (1900 – 2021). Rot umrandet sind Monate mit bekannten Hochwasserereignissen.

	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
nass >= 85%-Quantil	124.4	152.2	172.0	172.0	166.4	125.0	130.9
sehr feucht >= 70%-Quantil	95.5	120.5	138.3	132.2	141.0	107.8	101.3
feucht >= Median	67.7	94.3	108.6	107.9	102.0	73.0	62.2
trocken < Median							
jähriges Monatsmittel	74.3	93.3	106.2	104.9	105.5	79.4	73.3
entspricht % über Mittel	167%	163%	162%	164%	158%	157%	179%
Limit für „nassen“ Monat	124.4	152.2	172.0	172.0	166.4	125.0	130.9

Jahr	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1900	trocken	trocken	trocken	sehr feucht	sehr feucht	trocken	feucht
1901	nass	trocken	feucht	feucht	feucht	sehr feucht	feucht
1902	feucht	nass	trocken	feucht	nass	feucht	nass
1903	trocken	trocken	sehr feucht	nass	sehr feucht	trocken	sehr feucht
1904	sehr feucht	nass	feucht	trocken	trocken	nass	trocken
1905	sehr feucht	sehr feucht	feucht	trocken	nass	sehr feucht	sehr feucht
1906	trocken	sehr feucht	feucht	trocken	trocken	trocken	trocken
1907	sehr feucht	trocken	feucht	trocken	trocken	trocken	trocken
1908	feucht	sehr feucht	trocken	feucht	trocken	nass	trocken
1909	trocken	trocken	nass	sehr feucht	trocken	trocken	feucht
1910	feucht	feucht	nass	nass	sehr feucht	feucht	trocken
1911	trocken	trocken	feucht	trocken	trocken	sehr feucht	trocken
1912	trocken	sehr feucht	sehr feucht	trocken	nass	trocken	nass
1913	feucht	trocken	trocken	feucht	trocken	sehr feucht	trocken
1914	trocken	sehr feucht	feucht	sehr feucht	sehr feucht	feucht	trocken
1915	sehr feucht	feucht	sehr feucht	nass	feucht	sehr feucht	trocken
1916	sehr feucht	trocken	nass	sehr feucht	trocken	feucht	sehr feucht
1917	sehr feucht	trocken	feucht	sehr feucht	nass	trocken	nass
1918	feucht	trocken	sehr feucht	trocken	trocken	nass	feucht
1919	nass	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken
1920	feucht	trocken	trocken	trocken	trocken	feucht	trocken
1921	trocken	feucht	trocken	trocken	sehr feucht	trocken	trocken
1922	nass	trocken	sehr feucht	feucht	nass	feucht	sehr feucht
1923	trocken	sehr feucht	trocken	trocken	trocken	feucht	nass
1924	nass	sehr feucht	sehr feucht	feucht	feucht	trocken	sehr feucht
1925	sehr feucht	trocken	trocken	feucht	feucht	sehr feucht	trocken
1926	trocken	nass	nass	sehr feucht	trocken	trocken	nass
1927	nass	trocken	feucht	sehr feucht	nass	nass	trocken
1928	trocken	nass	trocken	trocken	feucht	feucht	feucht
1929	sehr feucht	trocken	trocken	feucht	trocken	trocken	sehr feucht
1930	nass	nass	trocken	nass	sehr feucht	trocken	nass
1931	feucht	sehr feucht	trocken	nass	nass	trocken	feucht
1932	trocken	sehr feucht	trocken	nass	trocken	trocken	nass
1933	trocken	sehr feucht	nass	feucht	trocken	feucht	sehr feucht
1934	trocken	trocken	sehr feucht	trocken	feucht	feucht	feucht
1935	nass	sehr feucht	trocken	trocken	feucht	nass	nass
1936	nass	trocken	feucht	nass	trocken	nass	feucht
1937	nass	trocken	feucht	trocken	trocken	nass	trocken
1938	trocken	sehr feucht	feucht	nass	nass	trocken	trocken
1939	feucht	nass	feucht	sehr feucht	feucht	sehr feucht	nass
1940	feucht	feucht	sehr feucht	nass	trocken	nass	trocken
1941	feucht	feucht	trocken	feucht	nass	trocken	sehr feucht
1942	feucht	sehr feucht	sehr feucht	feucht	trocken	feucht	trocken
1943	trocken	trocken	feucht	sehr feucht	trocken	sehr feucht	trocken
1944	trocken	trocken	feucht	nass	feucht	nass	sehr feucht
1945	trocken	feucht	sehr feucht	trocken	nass	nass	trocken
1946	trocken	feucht	nass	feucht	sehr feucht	sehr feucht	trocken
1947	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken
1948	feucht	trocken	nass	nass	feucht	trocken	trocken
1949	sehr feucht	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken
1950	sehr feucht	feucht	trocken	trocken	feucht	sehr feucht	trocken
1951	trocken	trocken	feucht	feucht	sehr feucht	feucht	feucht
1952	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	sehr feucht	nass
1953	feucht	feucht	nass	nass	trocken	trocken	trocken
1954	feucht	trocken	feucht	trocken	nass	nass	feucht
1955	trocken	sehr feucht	nass	nass	trocken	sehr feucht	trocken
1956	feucht	nass	trocken	sehr feucht	nass	trocken	sehr feucht
1957	trocken	trocken	nass	nass	trocken	nass	trocken
1958	trocken	trocken	nass	sehr feucht	sehr feucht	feucht	sehr feucht
1959	feucht	trocken	sehr feucht	trocken	trocken	trocken	feucht
1960	trocken	feucht	trocken	feucht	nass	sehr feucht	sehr feucht

Jahr	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1961	sehr feucht	trocken	trocken	sehr feucht	trocken	trocken	feucht
1962	feucht	nass	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken
1963	trocken	trocken	feucht	feucht	sehr feucht	trocken	feucht
1964	trocken	feucht	trocken	trocken	feucht	trocken	feucht
1965	nass	sehr feucht	trocken	nass	sehr feucht	nass	trocken
1966	sehr feucht	feucht	trocken	feucht	nass	trocken	trocken
1967	trocken	nass	trocken	trocken	trocken	feucht	trocken
1968	feucht	trocken	trocken	trocken	nass	nass	trocken
1969	sehr feucht	trocken	nass	trocken	sehr feucht	trocken	trocken
1970	nass	feucht	trocken	trocken	sehr feucht	trocken	feucht
1971	trocken	feucht	nass	trocken	sehr feucht	trocken	trocken
1972	sehr feucht	feucht	nass	nass	trocken	trocken	trocken
1973	feucht	trocken	sehr feucht	sehr feucht	trocken	feucht	sehr feucht
1974	trocken	feucht	sehr feucht	feucht	trocken	feucht	nass
1975	feucht	feucht	nass	trocken	sehr feucht	feucht	trocken
1976	trocken	trocken	trocken	feucht	trocken	sehr feucht	trocken
1977	nass	trocken	feucht	feucht	sehr feucht	trocken	feucht
1978	trocken	feucht	feucht	trocken	feucht	trocken	trocken
1979	feucht	trocken	feucht	trocken	sehr feucht	feucht	feucht
1980	trocken	feucht	nass	sehr feucht	trocken	trocken	nass
1981	trocken	sehr feucht	trocken	sehr feucht	trocken	nass	nass
1982	trocken	trocken	nass	feucht	nass	trocken	nass
1983	nass	nass	trocken	trocken	trocken	sehr feucht	trocken
1984	trocken	nass	trocken	feucht	trocken	nass	trocken
1985	nass	nass	trocken	trocken	feucht	trocken	trocken
1986	nass	sehr feucht	sehr feucht	feucht	feucht	trocken	sehr feucht
1987	trocken	nass	nass	trocken	trocken	nass	trocken
1988	trocken	trocken	trocken	feucht	feucht	feucht	nass
1989	nass	trocken	trocken	sehr feucht	feucht	trocken	sehr feucht
1990	feucht	trocken	nass	trocken	trocken	nass	nass
1991	trocken	feucht	sehr feucht	trocken	trocken	sehr feucht	feucht
1992	feucht	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	nass
1993	feucht	feucht	sehr feucht	nass	nass	sehr feucht	sehr feucht
1994	sehr feucht	nass	feucht	trocken	sehr feucht	sehr feucht	feucht
1995	trocken	nass	trocken	trocken	nass	sehr feucht	trocken
1996	trocken	feucht	trocken	trocken	sehr feucht	trocken	feucht
1997	feucht	trocken	sehr feucht	trocken	trocken	feucht	trocken
1998	sehr feucht	trocken	trocken	feucht	trocken	nass	nass
1999	nass	sehr feucht	sehr feucht	trocken	sehr feucht	nass	trocken
2000	trocken	feucht	trocken	nass	feucht	feucht	feucht
2001	nass	trocken	sehr feucht	feucht	trocken	sehr feucht	feucht
2002	trocken	feucht	trocken	trocken	feucht	nass	sehr feucht
2003	trocken	trocken	trocken	feucht	trocken	trocken	nass
2004	trocken	feucht	trocken	trocken	feucht	trocken	nass
2005	sehr feucht	trocken	trocken	trocken	feucht	trocken	feucht
2006	nass	sehr feucht	trocken	trocken	nass	sehr feucht	feucht
2007	trocken	nass	sehr feucht	sehr feucht	nass	feucht	trocken
2008	nass	trocken	trocken	feucht	sehr feucht	feucht	sehr feucht
2009	trocken	trocken	feucht	nass	feucht	trocken	trocken
2010	trocken	nass	trocken	sehr feucht	nass	trocken	feucht
2011	trocken	trocken	feucht	sehr feucht	trocken	feucht	trocken
2012	sehr feucht	trocken	sehr feucht	trocken	feucht	feucht	feucht
2013	sehr feucht	nass	trocken	sehr feucht	trocken	feucht	sehr feucht
2014	sehr feucht	trocken	trocken	nass	feucht	trocken	sehr feucht
2015	sehr feucht	nass	feucht	trocken	trocken	trocken	trocken
2016	nass	nass	nass	sehr feucht	trocken	trocken	feucht
2017	feucht	sehr feucht	trocken	trocken	trocken	feucht	trocken
2018	trocken	feucht	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken
2019	trocken	sehr feucht	trocken	trocken	feucht	trocken	nass
2020	trocken	feucht	feucht	trocken	feucht	trocken	sehr feucht
2021	trocken	nass	nass	nass	trocken	trocken	trocken

3.7 Folgerungen

- Mai, Juni und die erste Julihälfte waren regenreich. An einzelnen Messstandorten fiel mehr als das Doppelte einer durchschnittlichen Juni-Regensumme. Dies widerspiegelt sich auch an den hohen Bodenfeuchten in der Gegend der Pfaffnern, wo im nahen Altbüron durchwegs feucht-nasse Verhältnisse im Ober- und auch im Unterboden beobachtet wurden. So lagen bereits vor dem Ereignis am **24.6.2021** nasse Verhältnisse vor. Durch die Niederschläge vermochten die Böden vor dem Ereignis vom **8.7.2021** nicht mehr abzutrocknen und die Böden blieben nass.
- Die Feuchtephasen der letzten 120 Jahre konnten anhand der Niederschlagsstation St. Urban vereinfacht identifiziert werden. Daraus ging hervor, dass es in den letzten 120 Jahren nur zwei mal vorkam, dass drei Monate hintereinander „nass“ waren. Einmal im Jahr 2016 in den Monaten April-Mai-Juni und einmal 2021 in den Monaten Mai-Juni-Juli. Bei der Feuchtephase Juni und Juli 2021 handelt sich also um ein seltenes Vorkommnis, das sich im Durchschnitt nur ca. alle 60 - 70 Jahre ereignet. Die Vorbedingungen der beiden Hochwasser waren aus Sicht des Hochwasserschutzes sehr ungünstig.
- **Ereignis vom 24.6.2021:** Nach einem ersten Niederschlag (5 zu 20 mm) am Vormittag, setzte nachmittags in Pfaffnau zwischen 16 und 20 Uhr intensiver Regen ein und es fielen 70 mm Niederschlag. Zwischen 17 und 19 Uhr wurde dabei 30 mm in 30 Min. resp. 50.4 mm in 1 h registriert.
Nach der Extremwertstatistik der MeteoSchweiz (Version 2020) für die Station Wynau (1982 – 2020) hatten die Niederschläge mit 90 Min. und 2 h Dauer eine Wiederkehrperiode von rund 200 Jahren, die 4 und 6-stündigen Niederschläge waren immer noch seltener als 50 jährlich.
- **Ereignis vom 8.7.2021:** Am 8.7.2021 regnete es in der Nacht bis zum Nachmittag vereinzelt. Zwischen 16 und 21 Uhr regnete es stellenweise intensiv, allerdings sind die im EZG registrierten Mengen mit dem vorangegangenen Starkregenereignis vom 24.6.2021 nicht zu vergleichen. Die grössten Niederschlagssummen sind südlich des EZG im Bereich Altbüron (60 mm) und Ebersecken (53 mm) auszumachen und die Niederschlagsmengen nahmen nach Norden stark ab. Die beobachteten Abflüsse (Kap. 3.8) lassen sich daher nur mit den seltenen Vorbedingungen und den kleinen Saugspannungen in allen Tiefen einigermaßen erklären.

3.8 Abschätzung der Abflussspitzen bei den Hochwassern vom 24.6.2021 und 8.7.2021

Für die beiden Hochwasser vom 24.6. und vom 8.7. wurden an verschiedenen Orten Abschätzungen der Abflussspitzen vorgenommen. Sie basieren auf Grundlagen wie Fotos der Gemeinde Pfaffnau, StorMe (2022), Angaben aus den Befragungen und weiteren zusammengetragenen Informationen (siehe Anhang 1). Auch Kapazitätsangaben aus der Gefahrenkarte (ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG, 2009) und Grundlagen zum HRB des Kanton Luzern (2003) wurden einbezogen.

Es gelang entlang der Pfaffnern und der Seitenbäche etliche Schätzungen vorzunehmen, die insgesamt für beide Ereignisse ein konsistentes Bild ergaben. Die Abflussspitzen wurden nach Möglichkeit anhand mehrerer Methoden rekonstruiert (Normalabfluss, Druckabfluss in Rohr, Auslauf aus Speicherbecken, Geschwindigkeitshöhe in Kurven, Zuschlagen bei Durchlässen).

Erschwert wurden die Arbeiten durch sich verändernde Querprofile (Erosion, Ablagerungen, sowie Schwemmholz und Geschiebe), so das Fliessspuren, welche üblicherweise die Energiehöhe markieren, sorgfältig beurteilt werden müssen. In Tabelle 3.3 sind die abgeschätzten Spitzenabflüsse aufgeführt. Zusätzlich sind die Abflussspitzen der Pegels an der Pfaffnern in Vordemwald angegeben.

Tab. 3.3: Abflussschätzungen bei den Ereignissen vom 24.6. und vom 8.7.2021

Ereignis		24.06.21		08.07.21	
Ort	EZG [km ²]	Qmin	Qmax	Qmin	Qmax
Burgbach, Entlastungskanal zum HRB	1.5	1.0	2.0		
Burgbach, Zinggen	1.8		2.4		
Burgbach, Eindolung Burgstrasse	1.8	1.5	1.9	1.9	2.5
Pfaffnern, Hurtweg	6.6	2.5	4.2		
Pfaffnern, Schmitten	6.7	4.5	6.0	4.0	5.0
Pfaffnern, oberhalb Zufluss mit Hohriedbach	6.7	4.5	6.0		
Hohriedbach, Spielhof	0.9			2.4	3.0
Hohriedbach, Spielhof Hohriedstrasse	0.9			2.5	3.0
Hohriedbach, Sagenstrasse	0.9			2.5	3.3
Hohriedbach, AmSteg QP2	0.9	4.0	4.5	2.4	2.8
Hohriedbach, AmSteg QP3	0.9			2.6	3.2
Chrütstutzbach, Altweg	0.25	0.5	0.7	0.2	0.3
Muttibach, Tennisplatz	1.5	3.6	5.1		3.6
Pfaffnern, Parkweg-Stegmatt (ohne ausgetretenen Abfluss in Richtung Mülikanal)	7.6			5.0	5.5
Diechselbach, Sagen	0.9		1.0		1.1
Pfaffnern, Weidstrasse Schäfmoos	11.1	15.0	18.0	12.0	15.0
Pfaffnern-Vordemwald, Pegel Kt. AG	38.8	60.1		43.5	

Für die Pfaffnern im Bereich der Brücken Weidstrasse und Schäfmoos (11.1 km²) wird das Vorgehen für die Abschätzung der Abflussspitze exemplarisch anhand des Hochwassers vom 24.6.2021 aufgezeigt.

Die vorhandene **Kapazität** liegt nach den Angaben des Kanton Luzern (2003) im Abschnitt unterhalb der Mündung des Diechselbachs bis zur Brücke Weidstrasse bei 23 m³/s (ohne Freibord), resp. bei 16 m³/s mit 30 cm Freibord, unterhalb davon bis zur Kantonsgrenze sind es 13, resp. 9 m³/s. Eigene Abschätzungen zwischen den beiden Brücken zeigen, dass mit der vorhandenen Verbuschung bei einem Abfluss grösser als 11 m³/s mit einer Überlastung des Gerinnes zu rechnen ist, was bei beiden Ereignissen auch beobachtet wurde.

Beim Hochwasser vom 24.6.2021 flossen aus dem Hohriedbach (0.9 km²) 4.0 bis 4.5 m³/s ab, die Pfaffnern zwischen dem HRB und der Mündung des Hohriedbachs (6.7 km²) brachte 4.5 bis 6.0 m³/s, aus dem Muttibach (1.5 km²) flossen 3.6 bis 5.1 m³/s ab. Die Abflussspitze im Diechselbach (0.9 km²) war kleiner als 1.0 m³/s. Das Zwischen-EZG der Pfaffnern zwischen der Mündung des Hohriedbachs und dem Sägemeos beträgt etwas mehr als 1.0 km², mit einem spezifischen Abfluss entsprechend dem Diechselbach ergibt sich eine Abflussspitze aus dem Zwischen-EZG von 1 m³/s. Unter der Annahme, dass sich alle Abflussspitzen überlagerten ergibt sich für die Pfaffnern im Bereich der Brücken Weidstrasse und Schäfmoos ein Abfluss von 15 bis 18 m³/s. Mit diesen Annahmen sind auch Unsicherheiten eines grösseren Abflusses aus dem Zwischen EZG (z.B. spez. Abfluss vergleichbar Muttibach) abgedeckt, da die Abflussspitze der Pfaffnern aufgrund des grösseren Fliessweges wahrscheinlich später eintraf.

4 Abflussmessungen

4.1 Pfaffnern – HRB Schiessstand Pfaffnau

Für die Eichung des Niederschlag-Abflussmodells und die Gesamtsicht des Abflussverhalten des EZG sind Pegelaufzeichnungen in dieser Untersuchung wichtig. Deshalb werden die Pegelaufzeichnungen in diesem Kapitel gewürdigt.

Das HRB Pfaffnern – Schiessstand Pfaffnau wurde 1992/93 oberhalb der Mündung mit dem Burgbach gebaut. Es zeigte sich nach Anlage des HRB, dass das Becken die Abflüsse durch Pfaffnau nicht genügend drosselte. Deshalb wurde im Jahr 2003 eine Teil-Überleitung des Burgbachs in das HRB gebaut. Das HRB hat beim Anspringen der Hochwasserentlastung auf 508.00 m ü. M. ein Volumen von 57'000 m³. Die Dammkrone liegt noch 2 m höher.

Gegen Ende 2015 wurde eine Pegelmessstelle zur Erfassung des Füllstands des HRB errichtet. Der seither grösste gemessene Füllstand wurde am 24.6.2021 mit 506.72 m ü. M. erreicht, dies entspricht einem Volumen von 36'400 m³. Auf Rang 2 liegt das Ereignis vom 12.7.2016 mit 503.19 m ü. M., dabei war das Becken nur mit 1'600 m³ gefüllt.

Tab. 4.1 Jahresmaxima des Pegelstandes im HRB Pfaffnern - Schiessstand Pfaffnau.

Jahr	Datum	Pmax	Rang
2015	31.12.2015	501.25	7
2016	12.07.2016	503.19	2
2017	03.06.2017	501.73	4
2018	31.05.2018	502.71	3
2019	28.07.2019	501.63	6
2020	16.08.2020	501.70	5
2021	24.06.2021	506.72	1

Abbildung 4.1 zeigt das teilweise gefüllte Becken während des Ereignisses vom 24.6.2021. Auf dem linken Bild ist die Überleitung des Burgbachs bei der Gehölzgruppe am Rande des eingestauten Bereiches noch zu erkennen. Auf dem rechten Bild ist am rechten Bildrand die Hochwasserentlastung knapp erkennbar.



Abb. 4.1: Füllung des HRB Pfaffnern - Schiessstand Pfaffnau beim Ereignis vom 24.6.2021.

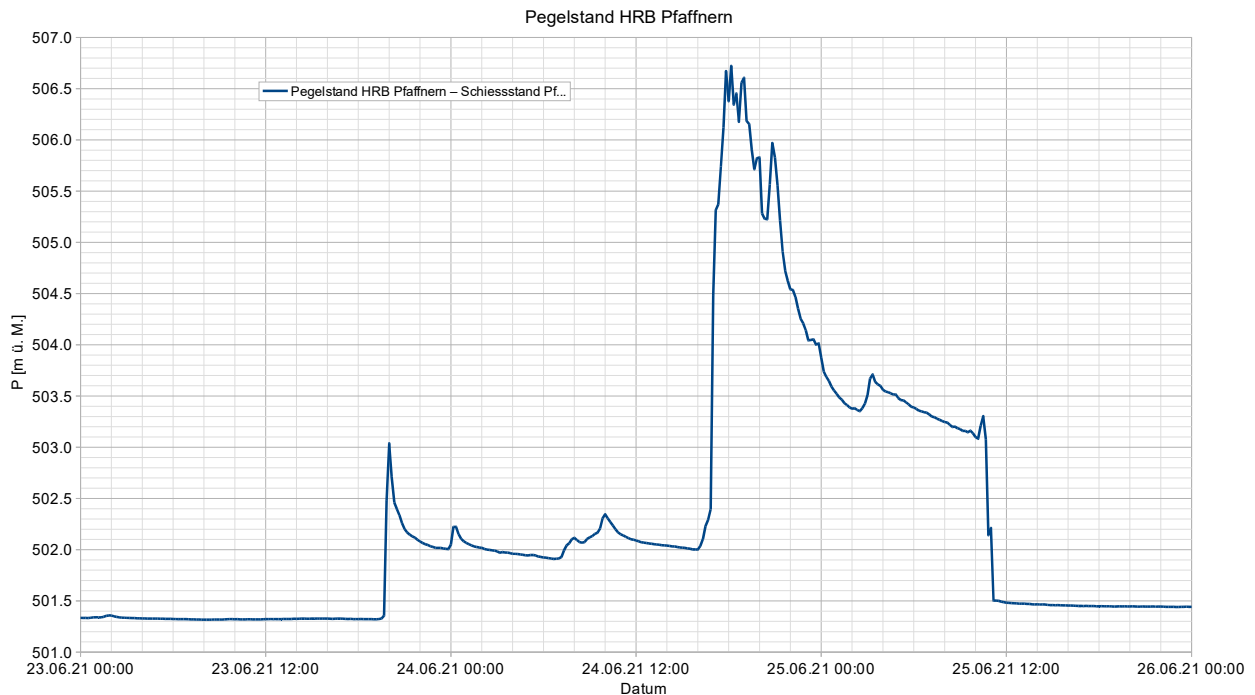


Abb. 4.2: *Ganglinie des Wasserstands im HRB Pfaffnern - Schiessstand Pfaffnau beim Ereignis vom 24.6.21.*

Abbildung 4.2 zeigt die Ganglinie des Füllstands beim HRB Pfaffnern – Schiessstand Pfaffnau beim Ereignis vom 24.6.2021. Bereits am frühen Abend des Vortages wurde ein kleiner Einstau des HRB beobachtet. Mit dem Einsetzen der Niederschläge am Nachmittag des 24.6.2021 füllte sich das Becken rasch und erreichte gegen 18 Uhr seinen maximalen Füllstand von 506.72 m ü. M. Anschliessend entleerte es sich ebenfalls ziemlich schnell wieder. Kurz nach 20 Uhr stieg der Pegelstand nochmals um 75 cm an, bevor die Entleerung während der Nacht weiterging. Ob eine Auflösung eines Rückstaus durch Schwemmmaterial um 11 Uhr des 25.6.2021 den schnellen Rückgang des Pegelstands um 1.8 m verursachte oder nicht, lässt sich nicht eruieren.

Die Abbildung 4.3 zeigt den Aufstau im HRB Pfaffnau während des Ereignisses vom 7.8.2021. Die Kote des horizontalen Gitters über dem Einlauf liegt auf einer Höhe von 504.80 m ü. M., der grösste gemessene Pegelstand lag aber bei nur 502.91 m ü. M. Die Messung hat hier offensichtlich versagt.



Abb. 4.3: *Füllung des HRB Pfaffnern - Schiessstand Pfaffnau beim Ereignis vom 7.8.2021.*

4.2 Pfaffnern – Vordemwald

Der Pegel Pfaffnern – Vordemwald des Kantons Aargau umfasst ein EZG von 38.8 km² und wurde 1979 in Betrieb genommen. Die Jahreshochwasser sind in Tabelle 4.2 und in Abbildung 4.4 dargestellt. Das grösste Jahreshochwasser ereignete sich am 24.6.2021 mit einem Abfluss von 60.1 m³/s. Das zweitgrösste Hochwasser vom 25.12.1995 hatte eine Abflussspitze von 47.9 m³/s. Am 1.5.2015 ereignete sich das drittgrösste Jahreshochwasser (39.3 m³/s).

Im vergangenen Jahr ereignete sich am 8.7.2021 ein weiteres grosses Hochwasser mit einem Abfluss von 43.5 m³/s. Es handelt sich somit um das drittgrösste gemessene Hochwasser am Pegel in Vordemwald.

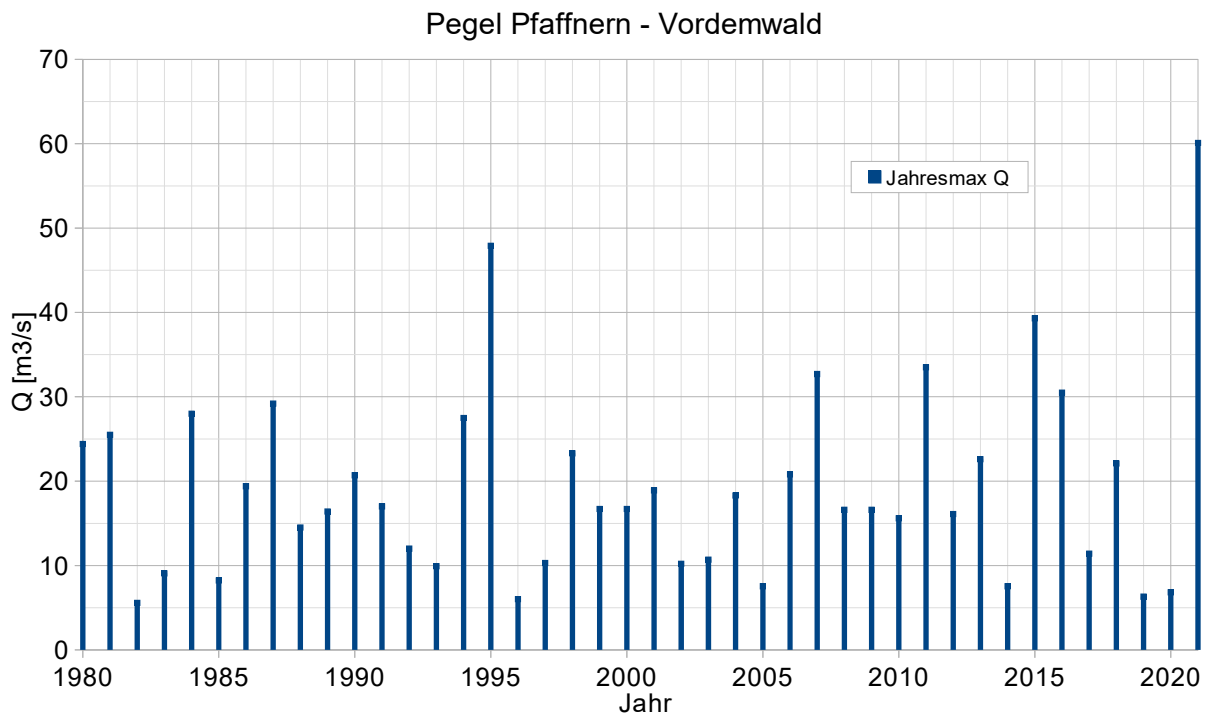


Abb. 4.4: Jahresmaximum des Abflusses am Pegel Pfaffnern - Vordemwald.

Tab. 4.2: Jahreshochwasser am Pegel Pfaffnern – Vorderwald.

Jahr	Datum	Qmax	Rang
1980	04.02.1980	24.4	11
1981	11.10.1981	25.5	10
1982	07.01.1982	5.6	42
1983	27.11.1983	9.1	35
1984	07.02.1984	28.0	8
1985	08.04.1985	8.2	36
1986	19.12.1986	19.4	17
1987	26.09.1987	29.2	7
1988	24.03.1988	14.5	28
1989	27.08.1989	16.4	25
1990	14.02.1990	20.7	16
1991	22.12.1991	17.0	20
1992	16.11.1992	12.0	29
1993	10.08.1993	9.9	34
1994	20.06.1994	27.5	9
1995	25.12.1995	47.9	2
1996	30.11.1996	6.0	41
1997	05.07.1997	10.3	32
1998	04.11.1998	23.3	12
1999	13.05.1999	16.7	21
2000	09.02.2000	16.7	21
2001	12.03.2001	18.9	18
2002	11.11.2002	10.2	33
2003	02.01.2003	10.7	31
2004	13.01.2004	18.3	19
2005	12.02.2005	7.5	37
2006	10.04.2006	20.8	15
2007	09.08.2007	32.7	5
2008	01.08.2008	16.6	23
2009	04.07.2009	16.6	23
2010	28.08.2010	15.6	27
2011	05.09.2011	33.5	4
2012	10.10.2012	16.1	26
2013	28.05.2013	22.6	13
2014	13.02.2014	7.5	37
2015	01.05.2015	39.3	3
2016	12.07.2016	30.5	6
2017	08.07.2017	11.4	30
2018	22.01.2018	22.1	14
2019	14.01.2019	6.3	40
2020	01.03.2020	6.8	39
2021	24.06.2021	60.1	1

5 Historische Hochwasser

5.1 Einleitung

Durch die Untersuchung historischer Hochwasser lassen sich Hinweise über Häufigkeit, Grösse und Verlauf von Hochwasserereignissen zusammentragen. Durch das Zusammentragen von Informationen aus Zeitungen, Archiven und Angaben von Gewährsleuten kann der Beobachtungszeitraum ausgedehnt werden. Dadurch können im Normalfall sowohl gemessene als auch überlieferte Hochwasser statistisch besser eingeordnet werden.

In Pfaffnau sind Hochwasser der Pfaffnern und deren Seitenbäche als Folge starker Niederschlägen bekannt. Als Massnahme gegen zukünftige Hochwasserereignisse wurde 1993 ein HRB mit einem Volumen von 57'000 m³ in Betrieb genommen und seit 2003 werden die Hochwasserabflüsse aus dem Burgbach ebenfalls ins HRB geleitet.

5.2 Hinweise aus den schriftlichen Quellen

Die untersuchten schriftlichen Quellen (Ortschroniken, Zeitungen, Berichte von Versicherungen, Schadendatenbank WSL etc.) reichen bis ins Jahr 1852 zurück. Die erkundeten Hochwasser sind in der Tabelle 5.1 aufgeführt und nach Grösse eingeschätzt. Dabei gilt für die Wertung *gross*: grossflächige Überschwemmung mit grossen Schäden an Brücken und Häusern; *mittel*: grossflächige Überschwemmung mit lokalen Schäden und *klein*: Hochwasser erwähnt, lokale Überschwemmungen ohne grössere Schäden.

Tab. 5.1: *Einschätzung der Hochwasser in Pfaffnau anhand der schriftlichen Quellen, wobei **gross**: grossflächige Überschwemmung mit grossen Schäden, **mittel**: grossflächige Überschwemmung mit lokalen Schäden; **klein**: Hochwasser erwähnt, lokale Überschwemmungen). Angaben können vor 1900 lückenhaft sein.*

Pfaffnern	Seitenbäche	Bemerkung zum Niederschlag In Klammern Tagesniederschlag von St. Urban [mm/d]	Ausmass HW
17./18.09.1852	17./18.09.1852	Dauerregen, gewaltige Regengüsse	mittel
30.03.1888	-	Dauerregen	mittel
10.06.1915	-	Dauerregen, Gewitter über mehrere Tage (4)	klein
31.07.1984	-	Gewitter (55)	klein
16./17.06.1986	16./17.06.1986	Gewitter, kurzer Starkregen (45 min), Folgetag nochmals Gewitter (29)	gross
20.06.1986	-	18:00 kleine Gewitter, ab 19:00 grosses Gewitter 45-Minuten (21)	mittel
01.09.1987	-	Gewitter, intensiver Niederschlag (41) ²	mittel
21.08.2005	-	Dauerregen (31)	klein
08.08.2007	08.08.2007	Dauerregen (55)	klein
4.07.2009	04.07.2009	Gewitter, kurzer intensiver Regenfall (11)	klein
24.06.2021	24.06.2021	Gewitter intensiver Regen innert 4 h (74)	gross
08.07.2021	08.07.2021	Gewitter (27)	mittel

Die wesentlichen Informationen zu den historischen Hochwasser sind im Anhang 1 zusammengestellt. Anhang 2 zeigt die in der Umgebung der Pfaffnern gemessenen Niederschlagsmengen. Nachfolgend werden die historischen Hochwasser in Pfaffnau kurz zusammengefasst.

Nach einem Dauerregen und gewaltigem Niederschlag kam es am **17./18. September 1852** in Pfaffnau zu einem mittleren Hochwasser durch die Pfaffnern und deren Seitenbäche. Die Brücke über die Pfaffnern bei Vordemwald wurde zerstört.

Am **30. März 1888** trat die Pfaffnern, wegen einem Dauerregen, über die Ufer. Dabei wurden grosse Flächen überschwemmt (mittleres Hochwasser).

Am **10. Juni 1915** und **31. Juli 1984** führte die Pfaffnern wegen Gewitter Hochwasser, so dass die Pfaffnern stellenweise über die Ufer trat (beide klein).

Nach Herrn Leimgruber (Jg. 1938) soll sich 1934 oder 1935 ebenfalls ein Hochwasser an der Pfaffnern ereignet haben, weitere Informationen wurden aber nicht gefunden. Evtl. handelt es sich um das Gewitter vom 25.6.1936, das insbesondere in Altbüron zu grossen Schäden führte (Scherrer AG, 2018).

Am **16./17. Juni 1986** kam es zu einem starken Gewitter im Nordwesten des Kantons Luzern, welches zu enormen Unwetterschäden führte. Pfaffnau wurde schwer getroffen, die Pfaffnern lief über und überschwemmte grosse Teile. Dabei hat sie viel Geröll und sogar Bäume mitgeführt. Auch die Seitenbäche traten über die Ufer. Einige Liegenschaften haben Wasserschaden erlitten, dabei wurden Keller mit Wasser gefüllt und Brücken mitgerissen (grosses Hochwasser).

Am **20. Juni 1986** ereignete sich gerade nochmals ein Hochwasser in Pfaffnau. Die Ursache dafür war ein Gewitter von 45 Minuten Dauer. Abläufe und Kanalisationen wurden verstopft, so dass Keller überflutet wurden (mittel).

Herr Leimgruber bezeichnet das Ereignis vom Juni 1986 als das grösste an das er sich erinnert. Bei der Sägerei bachaufwärts der Dorfstrasse sei viel Schwemmholz weggeschwemmt worden und die 30 m unterhalb der Dorfstrasse gelegene Brücke "Schmitte" wurde weggeschwemmt, das Wasser sei 50 cm über der Brücke gestanden.

Am **1. September 1987** führte ein Gewitter dazu, dass die Pfaffnern stellenweise über die Ufer trat. Auch die Seitenbächen führten Hochwasser. Bei Durchlässen kam es wegen Verkläuerung zu Überschwemmung (mittel).

Der ehem. Feuerwehrkommandant Hr. Schwizer (70 jährig) bezeichnet die Ereignisse von 1986 und 1987 als die grössten, an die er sich erinnern kann, das Niederschlagszentrum habe zwischen Roggliswil und der Dorfmitte gelegen. Die beiden Ereignisse im Jahr 2021 seien vergleichbar gewesen. Bei einem ehemaligen Damm am Diechselbach, südlich von Wissegg sei im Jahr 2001 seines Wissens zum ersten Mal Wasser gestanden⁶.

Nach Herr Köppli (Jg. 1951) war das Ereignis von 1986 grösser als dasjenige von 1987, die beiden Ereignisse von 2021 können nicht damit verglichen werden, da das HRB nun in Betrieb ist.

Der Dauerregen vom **21. August 2005** führte zu privaten Schäden wegen Hochwasser in Pfaffnau (klein).

Am **8. August 2007** kam es wieder zu Überflutungen in Pfaffnau wegen eines anhaltenden Niederschlags (kleines Hochwasser). Wegen Verkläuerung trat der Hohreidbach in der Nähe der Hohriedstrasse über die Ufer, so dass in der Sagenstrasse eine 20 m lange Barriere errichtet wur-

⁶ Auch bei Rotherd am Groppenbach ca. 1 km ausserhalb des Pfaffnern EZG berichtet ihm ein 80 jähriger von einem einmaligen Rückstau infolge der Niederschläge vom 24.6.2021 an einem ehemaligen Weiher aus dem 17. Jh.

de um die Ladenlokalitäten vor dem Hochwasser zu schützen.

Am **4. Juli 2009** kam es nach einem kurzem Gewitter zu Überschwemmungen in Pfaffnau, vor allem in Nuttelen und im Industriegebiet, weil der Muttibach und der Chrützstuzbach über die Ufer trat (klein).

Am **24. August 2011** gab es nach Herrn Köppli ein Ereignis im Hohriedbach und am Muttibach, die Pfaffnern war davon nicht betroffen. Im HRB kam es damals zu einem Rückstau.

Am **24. Juni 2021** nach einem starken Regen in Pfaffnau, traten alle Bäche über die Ufer (grosses Hochwasser). Dabei wurde das halbe Dorf überflutet. Bei der Pegelstation in Vordemwald wurde an der Pfaffnern ein Rekordabfluss von $60 \text{ m}^3/\text{s}$ gemessen. Die Pfaffnern trat stellenweise über die Ufer und es kam zu kleineren Erdrutschungen und Ablagerungen von Geröll auf den Strassen. Das HRB wurde durch die Pfaffnern, Entlastungsrohr des Burgbachs und Oberflächenabflüsse mit Wasser gefüllt. Dabei wurde der höchste Pegelstand seit Inbetriebnahme des HRB gemessen. Auch der Hohriedbach überflutete Strassen und trat über die Ufer. Zudem trat auch der Chrützstuzbach über die Ufer. Dabei setzte der Muttibach, nach der Einmündung des Chrützstuzbach, die Müllmatte und andere Stellen unter Wasser. Unterhalb des Parkweihers floss die Pfaffnern breit im Talboden.

Am **8. Juli 2021** kam es gerade nochmals zu einem Hochwasser in Pfaffnau (mittel). Dabei wurden wie zwei Wochen zuvor grosse Teile überschwemmt, jedoch nicht im gleichen Ausmass. Die Pfaffnern und die Seitenbächen traten stellenweise über. Die Pfaffnern und das Entlastungsrohr des Burgbachs haben das HRB mit Wasser gefüllt, jedoch wurde hier der Pegelstand vom 24.06.2021 nicht übertroffen. Der Burgbach lief beim Einlass zur Mündung der Pfaffnern über die Ufer. Weiter trat die Pfaffnern bsp. auf dem Hurtweg stellenweise über die Ufer. Auch der Hohriedbach führte Hochwasser und trat stellenweise über die Ufer beispielsweise bei der Hohriedstrasse. Wieder wurde die Stelle bei der Mülistrasse durch die Pfaffnern und deren Seitenbäche überflutet.

5.3 Schlussfolgerung aus den historischen Erkundungen

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Durch die Recherchen über historische Hochwasser konnten dokumentierte Hochwasserereignisse bis 1852 zurückverfolgt werden.
- Bei den älteren Ereignissen sind exakte Abflussschätzungen nicht möglich, weil die vorliegenden Informationen nicht ausreichen. Zudem hat das seit 1993 in Betrieb genommene HRB einen Einfluss auf das Ausmass der Ereignisse. Dennoch kann eine quantitative Einschätzung getroffen werden. Es wurden in dieser Periode zwei grosse Hochwasser erkundet (1986, 2021).
- Durch ein starkes kurzes Gewitter kam es am **16./17. Juni 1986** zu einem grossen Hochwasser mit grossflächigen Überschwemmungen durch die Pfaffnern. Nach den Angaben der Gewährsleute war dies das grösste Ereignis, da zwischenzeitlich das HRB (1993) gebaut wurde, und Abflussschätzung wegen aufgetretenen Verklausungen nicht möglich waren, ist ein Vergleich mit dem Hochwasser vom 24. Juni 2021 schwierig. Ihm wird Rang 1 bis 2 der vergangenen 170 Jahre zugeordnet (Wiederkehrperiode 85 – 170 Jahre).
- Ein ähnlich grosses Hochwasser (Rang 1 oder 2) ereignete sich am **24. Juni 2021**. Durch ein intensives Gewitter wurden grosse Flächen in Pfaffnau überflutet. Auch die Seitenbäche traten über die Ufer. Dabei wurde an der Messstation Pfaffnern-Vordemwald (seit 1979) der grösste Abfluss gemessen, auch im HRB wurde der höchste Pegelstand seit In-

betriebsnahme im Jahr 2015 erreicht.

- Den Hochwassern **1987, 20. Juni 1986 und 8. Juli 2021** werden die Ränge 3 bis 5 zugewiesen (Wiederkehrperiode 34 - 57 Jahre).
- Die 10 Hochwasser, die sich seit Bestehen der Niederschlagstation St. Urban ereigneten, traten alle in feuchten bis nassen Monaten auf (siehe Kap. 3.6.2), 5 davon sogar in nassen Monaten. Diese Vorbedingungen müssen bei der Szenarienbildung resp. bei den Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell berücksichtigt werden.

6 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets

6.1 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 Abflussreaktion 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.

Um zu beurteilen, wie sich EZG bei extremem Starkregen verhalten, sind Kenntnisse über die Abflussreaktion notwendig. Die Abflussreaktion eines EZG hängt neben dem Niederschlag vor allem davon ab, wie viel Wasser bei Starkregen in den Boden eindringt und vorübergehend zurückgehalten wird und wie viel Wasser sofort abfliesst (Abflussprozesse). Dies ist von der Gebietsausstattung abhängig (Geologie, Böden, Geomorphologie, Vegetation, Landnutzung u. a.). Welche Abflussprozesse bei Starkregen an natürlichen Hängen ablaufen, wurde detailliert mittels Beregnungsversuchen untersucht (Scherrer, 1997; Naef et al., 1999, Scherrer & Naef, 2003, Kienzler & Naef, 2008). Kienzler führte südlich von Reiden im Sertel und Lutertal zwei Beregnungsversuche, die sich durch die stark verzögerte Abflussreaktion auszeichneten. Darauf aufbauend wurde ein Bestimmungsschlüssel entwickelt, der die Identifikation hochwasserrelevanter Flächen erlaubt (Scherrer AG, 2004). Die Beurteilung der Abflussreaktion des Untersuchungsgebiets lehnt sich eng an diesen Bestimmungsschlüssel an.

6.2 Geologie und Hydrogeologie

Für den geologischen Aufbau des EZG der Pfaffnern resp. für die hydrogeologische Einschätzung wurden folgende Quellen gesichtet: geocover 2022, Gerber (1994), Bundesamt für Landestopographie (2022, Jäckli und Kempf (1972), Müller et al. (1984), geoportal Kt. LU (2022).

Geologie: Die Obere Meeresmolasse (OMM) bildet zum überwiegenden Teil den geologischen Untergrund des Pfaffnern-EZG. Die OMM unterteilt sich in die Luzernerschichten, aus der der untere Teil der der Hänge aufgebaut ist. Die St.Gallerschichten liegen höher als etwa 670 m ü. M. und bilden den oberen Teil der Hänge und die Kuppenlage. Luzerner- und St.Gallerschichten bestehen aus durchlässigen Sandsteinen, wobei letztere stärker verwittert und noch durchlässiger sind. Beide Formationen sind meist von geringmächtiger, ebenfalls meist durchlässiger Moräne überdeckt.

Unterhalb von Roggliswil befindet sich ein etwa 200 - 400 m breiter Talboden, der aus abgetragenem und abgelagertem sandigem bis kiesigem Material besteht. Unterhalb von Pfaffnau, auf der westliche Talseite liegt ebenfalls unter geringmächtiger Moräne die Untere Süsswassermolasse (USM), die aus Sandstein, Mergelstein oder Siltstein besteht.

Hydrogeologie: Die Talfüllungen bestehen aus Schottern und Sanden der Bäche. Darin zirkuliert unterhalb Pfaffnau Grundwasser.

Aufgrund der Durchlässigkeit der Böden und des Sandsteins der Oberen Meeresmolasse verwundert es nicht, dass viele Mulden und kleine Täler nebst den Eindolungen ohne Fliessgewässer sind und ein Grossteil des Niederschlags versickert. Etliche gefasste Quellen liegen an den Hängen im Bereich der Oberen Meeresmolasse, aber auch der Unteren Süsswassermolasse.

6.3 Böden

Nur im obersten Teil des EZG sind auf kleiner Fläche bodenkundliche Informationen verfügbar. Diese Grundlage wurde mit 32 Sondierungen von 1 m Tiefe ergänzt, die mit einer Schlagsonde nach Pürckhauer (Kerndurchmesser 2 cm) abgeteuft wurden oder es sind Aufschlüsse, die untersucht und beschrieben wurden. Die Lage der Sondierungen sind in Abbildung 1.1 eingetragen. Im Anhang 4 wurden die Lage der Sondierungen, die Bodenprofile abgebildet und beschrieben. Die Sondierstandorte wurden mittels einer EZG-Analyse mit dem Ziel ausgewählt, typische Standorte zu erfassen, welche für die Abflussbildung bedeutend sind. Daher wurden beispielsweise etliche Sondierungen in Mulden abgeteuft, um den Vernässungsgrad der Böden in solchen Lagen zu erkunden. Anhand der Bodenprofile wurden das Infiltrations- und Speichervermögen beurteilt und die zu erwartenden Abflussprozesse hergeleitet.

Die räumlich dominierende Obere Meeresmolasse verwittert stark und es bleibt ein siltig-sandiges Ausgangsmaterial zurück. Die stellenweise über der OMM liegende Moräne ist ebenfalls meist sandig. Darauf entwickeln sich meistens durchlässige, tiefgründige Braunerden (Sondierung P3, P4, P8, P12, P14, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22). Aus den Erfahrungen früherer Untersuchungen in Gebieten mit OMM-Geologie zeigte sich, dass aufgrund der intensiven Verwitterung dieses Molassegesteins die Mächtigkeit der Böden in Steilhängen stets beachtlich ist (z.B. P4 und P5) und dass flachgründige Böden nur an den allersteilsten Hängen vorkommen.

Über Molasse resp. Moräne waren nur gerade einzelne untersuchte Mulden vernässt resp. von Stauwasser beeinflusst z.B. Buntgley (P5), Pseudogley (P6, P15). Etliche Muldenstandorte auf dieser Geologie zeigten hingegen keine Anzeichen von Staunässe. Dies spricht für die gute Durchlässigkeit der OMM:

Im NW Teil des EZG liegt USM. Dort waren die Böden lehmiger und in Mulden, teilweise auch an Hängen traten von Stauwasser beeinflusste Böden auf wie z.B. Pseudogley (P24) oder Braunerde-Pseudogley (P25, P28, P29) aber auch besser durchlässige Braunerden (P27, P30).

6.4 Abflussprozesse und Abflusstypen auf natürlichen Flächen

Abflussprozesse

Tabelle 6.1 zeigt die Kriterien zur Klassifizierung der Abflussbereitschaft. Die Beurteilung und Kartierung der Flächen stützt sich im wesentlichen auf die Bodenkarte, die geologische Karte und Erhebungen im Gelände. Folgende Abflussprozesse wurden unterschieden:

Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (Hortonian Overland Flow, HOF) kann im EZG kleinflächig auf Strassen und Felsflächen erwartet werden (HOF1). Verzögerter HOF2 tritt auf wenig geneigten Strassenflächen und auf schwach durchlässigen Böden auf.

Gesättigter Oberflächenabfluss (Saturation Overland Flow, SOF) tritt nach Sättigung des Bodens auf. Man unterscheidet zwischen raschem gesättigtem Oberflächenabfluss (SOF1), verzögertem (SOF2) oder stark verzögertem Oberflächenabfluss (SOF3). Dies gilt analog bei den anderen Abflussprozessen. Auf flachgründigen Böden mit darunterliegender Stauschicht oder feucht-nassen Böden an Hängen mit geringem Speichervermögen erfolgt die Sättigung besonders rasch (SOF1).

Abfluss im Boden (Sub-Surface Flow, SSF) ist zu erwarten, wenn im Boden hoch durchlässige Schichten über einer Stauschicht liegen oder Makroporen dem Wasser ein rasches laterales Fliesen ermöglichen. Günstige Bedingungen für raschen und wenig verzögerten Abfluss im Boden

(SSF1, SSF2) sind im EZG v.a. auf steilen Flächen mit flachgründigen, durchlässigen Böden zu erwarten. Stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3) kommt auf steilen, mittelgründigen Böden vor. Abfluss im Böden dominiert auf Waldflächen.

Ist sowohl der Boden als auch der geologische Untergrund gut durchlässig, kann auch während Starkregen über die *Tiefensickerung* (Deep Percolation DP) viel Wasser in Boden und Geologie eindringen. Vor allem bei tiefgründigen, durchlässigen Böden über sandiger Moräne oder Schotter versickert ein Grossteil des Niederschlags in den tieferen Untergrund, ohne wesentlich zum Hochwasserabfluss beizutragen.

Abflusstypen

Gemäss den in Tabelle 6.1 aufgeführten Kriterien wurden Abflussprozesse, welche einen ähnlich starken Beitrag zur Entstehung von Hochwasser leisten, kartiert und zu sogenannten Abflusstypen zusammengefasst. Diese dienen als Grundlage für die Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell QArea⁺. Abbildung 6.1 zeigt die Abflussbereitschaft im EZG.

Abflusstyp 1 und 2 besitzen sehr rasche und rasche Abflussreaktion, während Abflusstyp 4 und 5 stark bis sehr stark verzögert reagieren. Flächen des Abflusstyps 1 (Feucht- und Nassflächen und stark vernässte Böden an Hanglagen) sind im Gebiet keine vorhanden (0%). Die Flächen des Abflusstyps 2 (2.9%) sind bachnahe Flächen oder Flächen mit einem geringen Sättigungsdefizit. Dem Abflusstyp 3 (18.1%) gehören beispielsweise Flächen mit Infiltrationshemmnissen oder Steilflächen im Freiland und in Wäldern an. Abflusstyp 4 sind Flächen mit durchlässigen und speicherfähigen Böden oder durchlässige Böden mit durchlässigem Untergrund, diese machen den Grossteil des EZG aus (73.3%). Flächen des Abflusstyp 5 sind keine vorhanden.

Im ganzen Untersuchungsgebiet gehören 73.3% dem stark verzögert reagierenden Abflusstypen 4 an. Den rasch bis verzögert reagierenden Flächen des Abflusstyps 1 – 3, resp. Siedlungsabflusstypen 1 – 3 (siehe Tab. 6.2) gehören hingegen nur 26.7% an. Aufgrund dieser Verteilung kann die Abflussbereitschaft der Pfaffnern als mässig beurteilt werden.

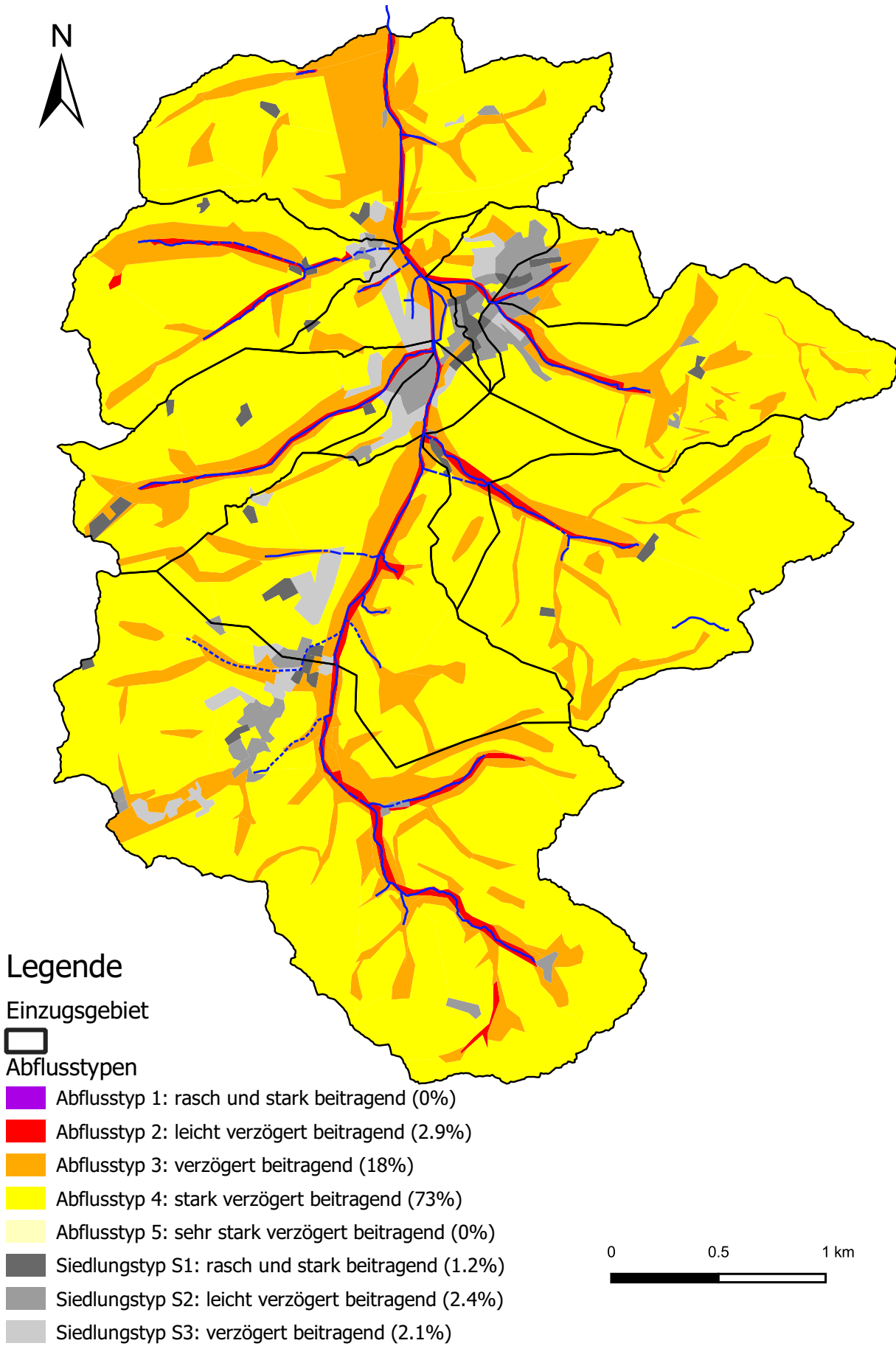


Abb. 6.1: Flächen ähnlicher Abflussbereitschaft (Abflusstypen) im EZG der Pfaffern.

Tab. 6.1: Dominante Abflussprozesse, Gebietseigenschaften und Abflusstypen der natürlichen Flächen im EZG der Pfaffnern.

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, steile Gerinneflanken	0.00	0.0
		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	0.34	2.9
		Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sich langsam sättigender Flächen (SOF2)	Vernässte Böden im Bereich von Quellmulden und von Galeriewäldern, 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	2.15	18.1
		Verzögerter Abfluss im Boden (SSF2)	Mässig tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen über Fels 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	8.69	73.3
		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	0.00	0.0
		Sehr stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3)	Tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen, gerinnenfern. Ebene Flächen mit durchlässigen Böden über durchlässiger Geologie		
Total				11.18	94.3

6.5 Abflussreaktion der Siedlungsgebiete

Die Siedlungsflächen wurden gesondert kartiert. Die Beurteilung basiert auf den Erfahrungen der Glatstudie (Naef et al., 2004). Wichtige Kriterien waren dabei die Bebauungsdichte und die Geländeneigung. Die Siedlungsflächen machen rund 5.7% des Untersuchungsgebiets aus.

Tab. 6.2: Klassierung der Siedlungsflächen nach Abflusstypen.

Abflusstyp	Abflussreaktion	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil am EZG	
			(km ²)	(%)
S1	rasch und stark beitragend	sehr dicht bebaute Flächen leicht geneigte, dicht bebaute Flächen stark geneigte, dicht bebaute Flächen	0.14	1.2
S2	leicht verzögert beitragend	ebene, dicht bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen geneigte, locker bebaute Flächen	0.28	2.4
S3	verzögert beitragend	geneigte, locker bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.25	2.1
Total			0.67	5.7

6.6 Abflussreaktionskurven

Abbildung 6.2 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 (rund 73% des Untersuchungsgebiet) fliessen bei 100 mm Niederschlag etwas über 10% ab.

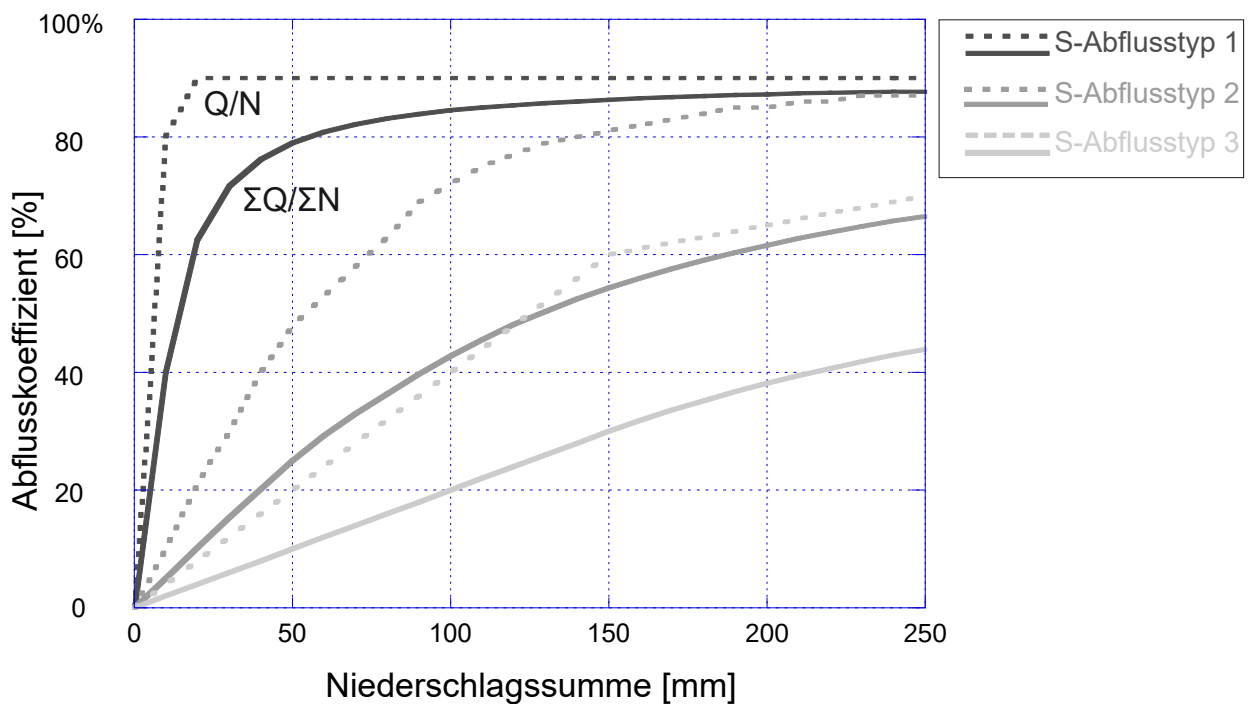
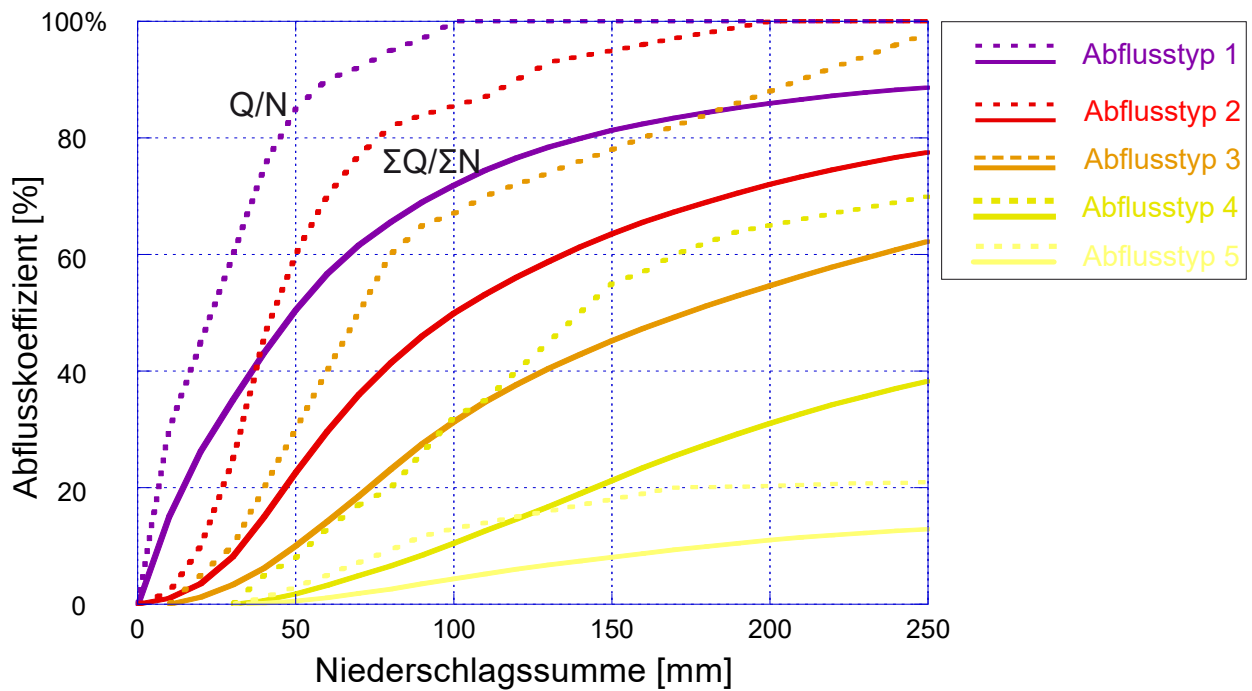


Abb. 6.2: Die Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen (oben) und für Siedlungsflächen (unten). Sie definieren den Anteil des abfließenden Niederschlags in Abhängigkeit der Niederschlagssumme. Eingezeichnet ist der Spitzenabflusskoeffizient (Q/N , gestrichelt) und der Volumenabflusskoeffizient ($\Sigma Q/\Sigma N$, ausgezogene Linie).

7 Abflussberechnungen

7.1 Einleitung

Das hier eingesetzte Niederschlag-Abfluss-Modell (NAM) QArea⁺ wurde am Institut für Hydro-mechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich entwickelt. Im Jahr 2020 wurde es im Zuge der Übersetzung in eine modernere Programmiersprache neu strukturiert und hinsichtlich Modellaufbau und -auswertung optimiert. Es 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.

7.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea⁺

Die Abbildung 7.1 zeigt die Grundlagen des NAM QArea⁺. Das Modell wurde den Verhältnissen entsprechend für die Pfaffnern erstellt. Zusammenfassend die wichtigsten Grundlagen und Eigenschaften des Modells QArea⁺:

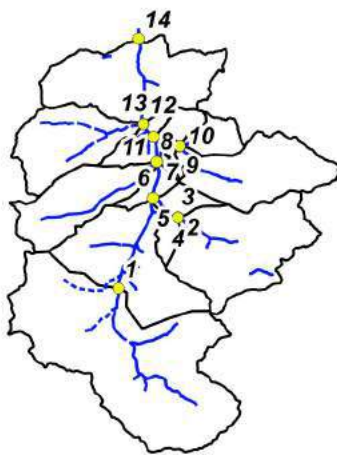
- Das NAM basiert auf der Klassifizierung der **Abflussbereitschaft** der Teileinzugsgebietsflächen (Abflusstypen, Abb. 7.1b) und den dazugehörigen Abflussreaktionen (Abflussreaktionskurven, Abb. 7.1d).
- Die **Fliesszeiten** bis zum Teileinzugsgebietsausgang (Isochronen) und die Fliesszeiten in den Gerinnen wurden berücksichtigt (Abb. 7.1c).
- **Niederschläge**: Zur Simulation von Landregen aber auch kurzen Gewitterniederschlägen kann das Gebiet gleichmässig überregnet werden oder auch nur Teile davon. Aufgrund der Einzugsgebietsgrösse der Pfaffnern wird angenommen, dass Gewitterniederschläge das gesamte Einzugsgebiet betreffen können.

Ein Schema des eingesetzten Modells ist in Anhang 5 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 Abflusstypen 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.

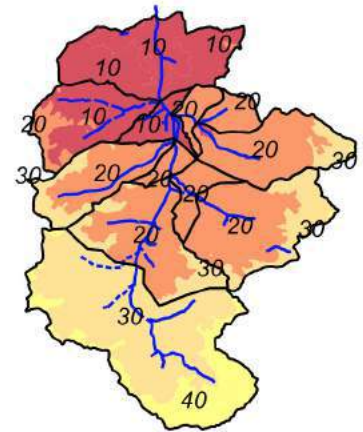
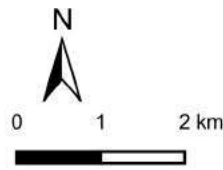
Beim BP 6 liegt das HRB Pfaffnern - Schiessstand, das über ein Rückhaltevolumen von rund 57'000 m³ verfügt. Die Ausfluss-Volumenbeziehung des HRB wurde basierend auf den hydraulischen Berechnungen des Kt. Luzerns (1991) für das Detailprojekt erstellt.

2003 wurde eine Entlastungsleitung aus dem Burgbach in das HRB Schiessstand mit einer Dimensionierungswassermenge von 4.0 m³/s⁷ gebaut. Sie springt an, sobald der Abfluss 0.3 m³/s übersteigt.

7 Ohne Berücksichtigung eines Abflusses unter Druck, beträgt die maximale Kapazität mit einem Durchmesser von 1.2 m, einem Gefälle von J=1.4%, und mit k= 50 m^{1/3}/s für eine ungleichmässige Betonfläche, wie sie im Falle von Geschiebetransport mit verschmutztem Wasser plausibel ist, nur 3.2 m³/s.

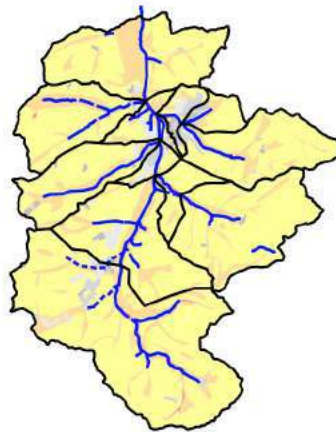


a) Teileinzugsgebiete



c) Fliesszeiten in Minuten (Isochronen)

b) Abflusstypen



d) Abflussreaktionskurven

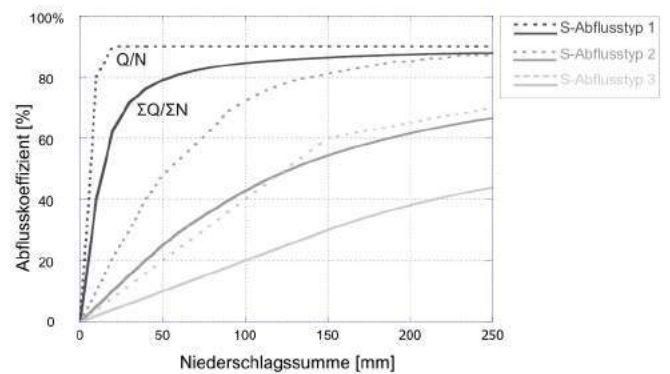
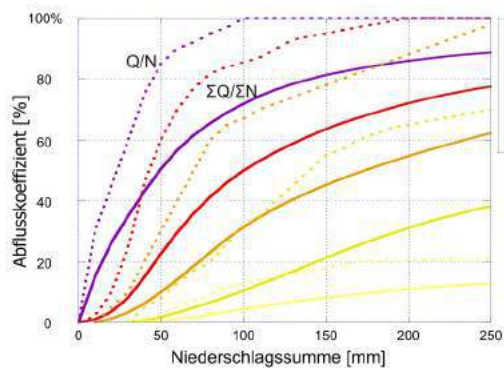


Abb. 7.1: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QArea
a) Die Teileinzugsgebiete mit den Berechnungspunkten,
b) die Abflusstypen,
c) die Fliesszeiten in Minuten (Isochronen),
d) die Abflussreaktionskurven

7.3 Verifikation des Modells

Für die Modelleichung wurden die Hochwasser vom 24. Juni 2021 (Abb. 7.1a) und vom 8. Juli 2021 (Abb. 7.1b) nachgerechnet. Bei diesen Hochwasserereignissen waren folgende Voraussetzungen für eine Modelleichung gegeben:

- Es waren Niederschlagsereignisse, welche die ganze Region betrafen, so dass aufgrund der vorliegenden Daten der umliegenden Tagessammler, von privaten und kantonalen Messnetzen die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden konnte (Kap. 3).
- Es konnte die zeitliche Niederschlagsverteilung der hoch aufgelöst messenden Station Pfaffnau (MMPFA), resp. Altbüron (LUBOALT) für den Niederschlagsinput verwendet werden.

Die Abflüsse dieser Hochwasser konnten unter Berücksichtigung eines Vorregens⁸ nach Verlauf, Abflussvolumen und Abflussspitze gut nachgerechnet werden.

Insgesamt ergibt das Modell plausible Ergebnisse und kann für die Abflussberechnungen (Kap. 7.5) eingesetzt werden.

8 HW 24.6.21 mit 13 mm Vorregen, entsprechend dem Niederschlag des Vortages an der Station Pfaffnau. HW 8.7.21 mit 50 mm Vorregen, entsprechend dem 5-Tagesniederschlag der Station Altbüron (45 mm) zur Berücksichtigung der höheren Bodenfeuchte vor dem Ereignis.

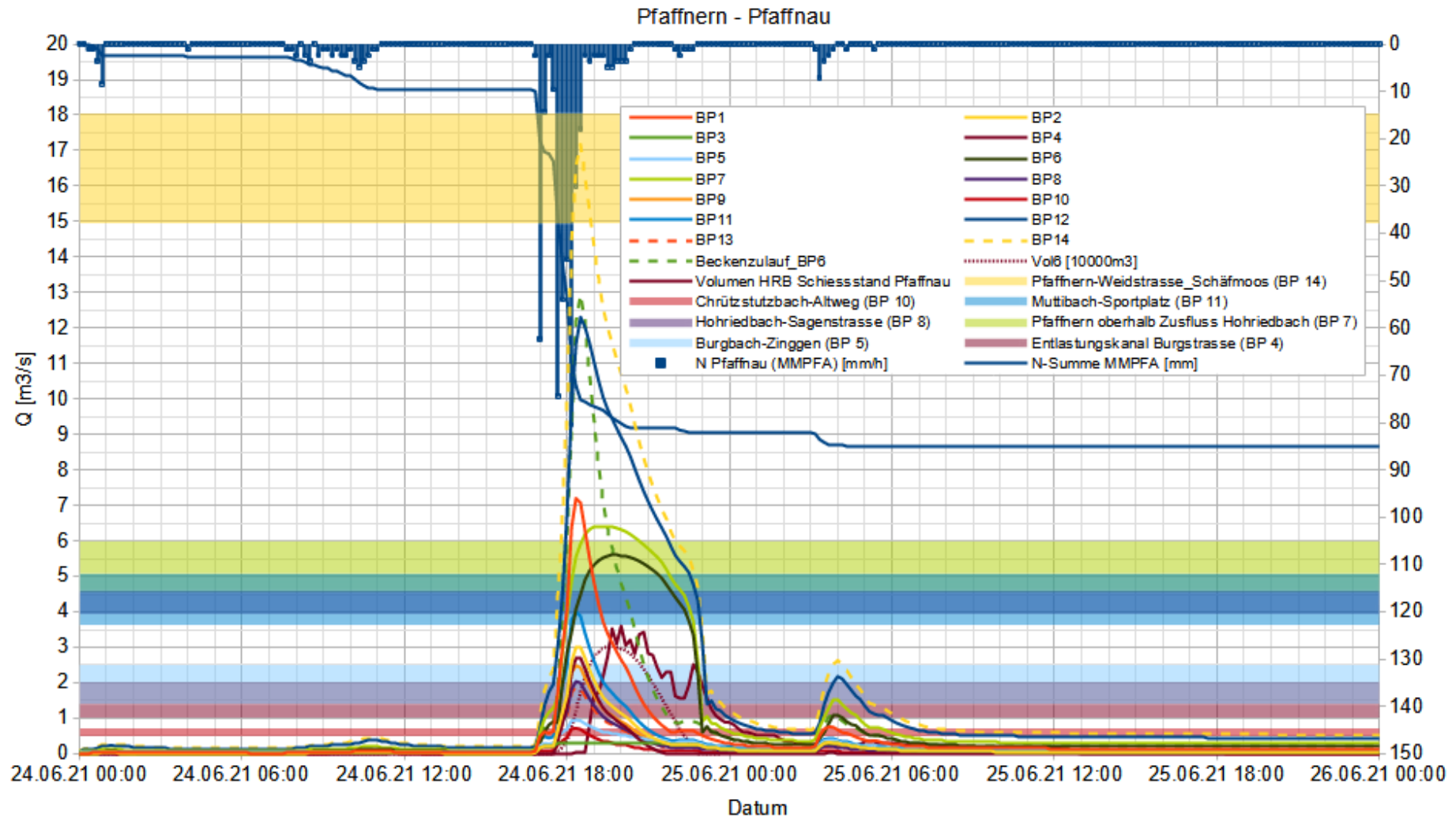


Abb. 7.1a: Modellverifikation Hochwasser vom 24.06.2021.

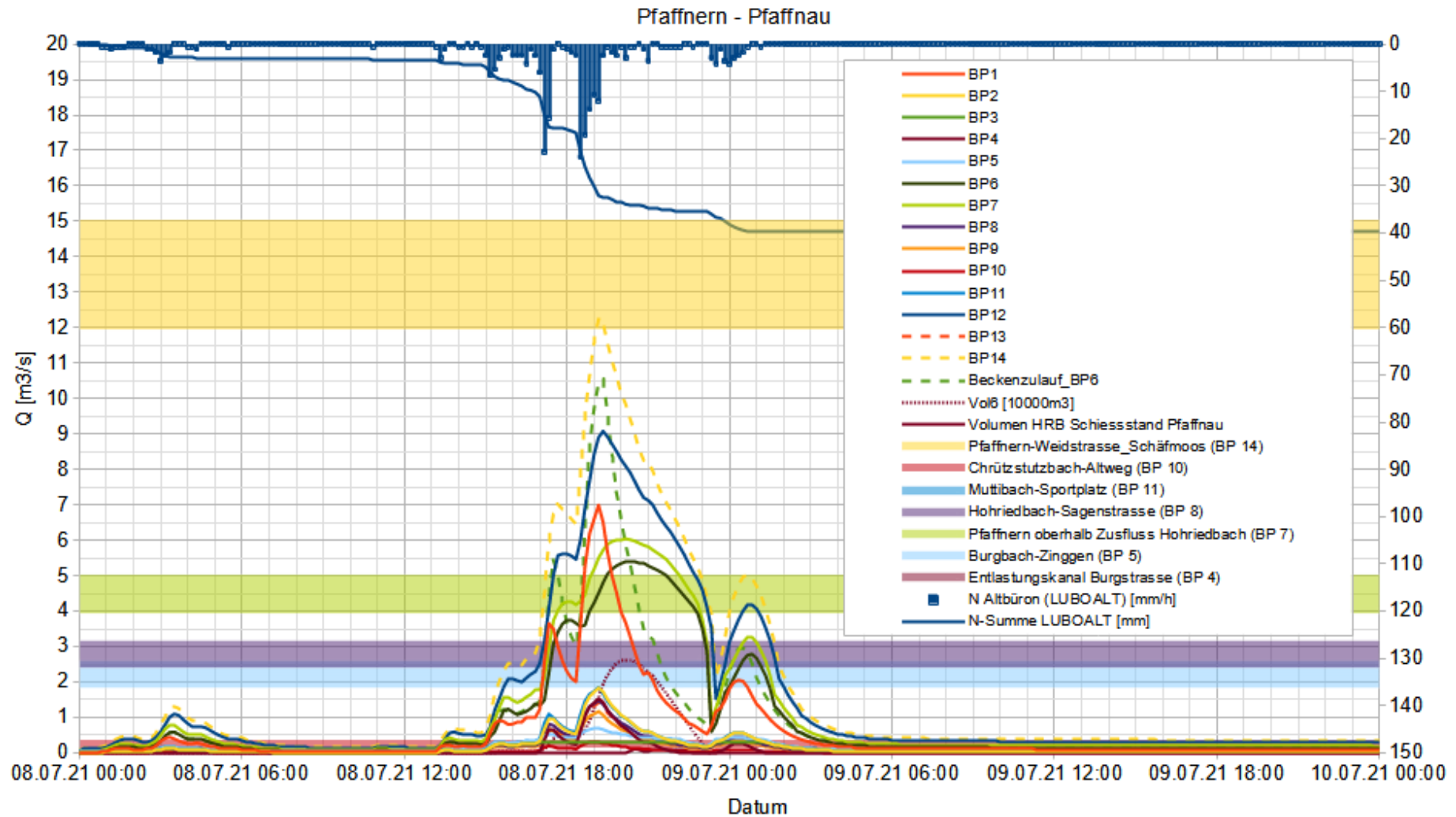


Abb. 7.1b: Modellverifikation Hochwasser vom 8.07.2021.

7.4 Niederschlags-Szenarien

7.4.1 Räumliche Niederschlagsverteilung

Niederschläge haben eine zeitliche (Dauer und Intensität des Niederschlags) und eine räumliche Verteilung (Überregnung des Gebiets). Sowohl für kurze Starkniederschläge, als auch für lang andauernde Niederschlagsereignisse (> 6 h Dauer) wurde angenommen, dass das ganze 11.9 km^2 grosse EZG der Pfaffnern gleichmässig überregnet wird.

7.4.2 Zeitliche Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensitäten

Für die Modellrechnungen wurden verschiedene Niederschlagszenarien mit unterschiedlicher Dauer und Intensität berücksichtigt (Tab. 7.1). Zur Festlegung der jeweiligen Niederschlagsmenge, bzw. Niederschlagsintensität wurden die lokal vorhandenen Niederschlagsmessungen analysiert. In der näheren Umgebung des EZG Pfaffnern liegen mehrere Niederschlagsmessstationen der MeteoSchweiz sowie kantonale Messstationen. An der Regenmessstation St. Urban (ca. 4 km SW von Pfaffnau) werden seit 1900 bis heute Tagesniederschläge aufgezeichnet, an der Station Zofingen (ca. 6 km NE von Pfaffnau) sogar schon seit 1883. Diese beiden Stationen eignen sich aufgrund der langen Messreihen gut für eine extremwertstatistische Auswertung. Allerdings gibt es in Zofingen eine Datenlücke von 1982 – 1990, wodurch das grosse Ereignis vom September 1987 nicht erfasst wurde, während in St. Urban erst ab 1900 gemessen wurde, wodurch das grosse Ereignis vom Oktober 1888 nicht erfasst wurde. Daher wurden beide Stationen ausgewertet und das Mittel der erhaltenen Werte verwendet. Beide Stationen zeichnen nur Tagesniederschläge auf und die extrapolierten Niederschlagsintensitäten für Messintervalle < 24 Stunden sind unsicher. Daher wurde für kurze Niederschläge mit ≤ 12 h Dauer die Messstation Wynau (ca. 8 km NW von Pfaffnau) berücksichtigt, an der seit 1981 Niederschläge mit hoher zeitlicher Auflösung gemessen werden. Die statistische Auswertung ist im Anhang 6 dargestellt.

Tabelle 7.1 zeigt die für die Modellrechnungen verwendeten Werte. Bei kurzen Niederschlags-Szenarien bis 4 h Dauer wurde eine zeitliche Dreiecksverteilung angenommen mit der Niederschlagspitze nach einem Drittel der Niederschlagsdauer. Für die Niederschläge mit einer Dauer von mehr als 6 h wurde eine gleichmässige zeitliche Verteilung (Blockregen) verwendet.

Tab. 7.1: Die für die Modellrechnungen verwendeten Niederschlagswerte (Station Zofingen, Tageswerte 1883 – 2021; Station St. Urban, Tageswerte 1900 – 2021; Station Wynau, 10-Min. Werte 1981 – 2021).

Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlagsdauer [h]	Wiederkehrperiode [Jahre]	Zeitliche Verteilung des Niederschlags	Niederschlagsmenge [mm]	Max. Niederschlagsintensität [mm/h]
0.5h30j	0.5	30	Dreieck	39	78
1h30j	1	30	Dreieck	46	46
2h30j	2	30	Dreieck	53	27
4h30j	4	30	Dreieck	66	17
6h30j	6	30	Blockregen	69	11
8h30j	8	30	Blockregen	72	9.0
12h30j	12	30	Blockregen	78	6.5
24h30j	24	30	Blockregen	88	3.7
48h30j	48	30	Blockregen	116	2.4
0.5h100j	0.5	100	Dreieck	47	94
1h100j	1	100	Dreieck	56	56
2h100j	2	100	Dreieck	64	32
4h100j	4	100	Dreieck	80	20
6h100j	6	100	Blockregen	82	14
8h100j	8	100	Blockregen	87	11
12h100j	12	100	Blockregen	94	7.8
24h100j	24	100	Blockregen	108	4.5
48h100j	48	100	Blockregen	143	3.0
0.5h300j	0.5	300	Dreieck	54	108
1h300j	1	300	Dreieck	64	64
2h300j	2	300	Dreieck	73	37
4h300j	4	300	Dreieck	92	23
6h300j	6	300	Blockregen	93	16
8h300j	8	300	Blockregen	100	13
12h300j	12	300	Blockregen	110	9.2
24h300j	24	300	Blockregen	129	5.4
48h300j	48	300	Blockregen	173	3.6

7.4.3 Kombination von Vorfeuchte und Starkregen

In Tabelle 7.2 sind die HW-Ereignisse und deren Grösse für die Perioden dargestellt, für die es Niederschlagsmessungen gibt. Für die Stationen Zofingen (ZOF) und St. Urban (STU) wurden die Mehrtagesniederschläge bis zum Vortag des Ereignisses zusammengestellt und das 85%-Quantil der gesamten Messreihe (ZOF 1883-2021 und STU: 1900-201) als «nass» klassiert, das 70%-Quantil gilt als untere Grenze als «sehr feucht». Bei Überschreiten des Medians wird von «feuchten» Bedingungen ausgegangen.

Tab. 7.2: Hochwasserereignisse und Mehrtagesniederschläge.

		ZOF			STU		
		5	10	20	5	10	20
0.95	95%-Quantil	49.5	80.4	133.2	49.5	81.4	134.7
nass >=	85%-Quantil	31.7	56.2	100.8	30.9	55.8	101.1
sehr feucht >=	70%-Quantil	19.2	38.9	75.6	17.8	37.3	74.6
feucht >=	Median	9.2	23.9	53.2	7.2	21.1	49.5

Ereignisgrösse	Ereignisdatum						
mittel	30.03.1888	nass	nass	nass			
klein	10.06.1915	feucht	feucht	feucht	sehr feucht	sehr feucht	feucht
klein	31.07.1984	sehr feucht	feucht	feucht	sehr feucht	feucht	trocken
gross	16.06.1986	sehr feucht	sehr feucht	nass	sehr feucht	sehr feucht	nass
mittel	20.06.1986	nass	nass	nass	nass	nass	nass
mittel	01.09.1987	trocken	sehr feucht	feucht	trocken	sehr feucht	feucht
klein	21.08.2005	nass	sehr feucht	sehr feucht	sehr feucht	nass	sehr feucht
klein	08.08.2007	feucht	feucht	nass	sehr feucht	nass	nass
klein	04.07.2009	feucht	feucht	sehr feucht	feucht	trocken	sehr feucht
gross	24.06.2021	nass	nass	nass	nass	nass	nass
mittel	08.07.2021	nass	nass	nass	nass	nass	nass

Mit Ausnahme des Ereignisses vom 1.9.1987 traten alle mittleren und grossen Ereignisse bei nassen oder sehr feuchten Vorbedingungen auf. Nasse Vorbedingungen ergeben sich für den 5-Tages Niederschlag in Zofingen und St. Urban bei einem Vorregen grösser als 30 mm. Im Sinne einer pragmatischen Schätzung werden die nassen oder sehr feuchten Vorbedingungen bei den Abflussberechnungen (Kap. 7.5) daher mit 30 mm Vorregen simuliert.

7.5 Abflussberechnungen

Die Resultate der Modellberechnungen basierend auf den verschiedenen Niederschlagszenarien, welche in der Tabelle 7.1 dargestellt sind. Die daraus berechneten Abflussspitzen unter Berücksichtigung eines Vorregens von 30 mm sind in Tabelle 7.3 aufgeführt.

Massgebend für die Hochwasserspitzen der Pfaffnern sind für sämtliche Wiederkehrperioden je nach Berechnungspunkt die kurzen Gewitterszenarien mit einer Dauer von 1 h, resp. 4 h.

Tab. 7.3: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM QArea⁺. Fett eingetragen sind die maximalen Werte für die untersuchten Wiederkehrperioden.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Dauer des Niederschlags [h]	Niederschlagszenario	Abflussspitzen [m³/s] bei den Berechnungspunkten															
			BP01	BP02	BP03	BP04	BP05	Becken- auslauf BP06	BP07	BP08	BP09	BP10	BP11	BP12	BP13	BP14	Becken- zulauf BP6	Vol6
30	0.5	Gewitter	5.47	2.07	0.30	1.77	0.80	4.58	5.29	1.63	1.74	0.55	2.93	9.00	1.59	12.62	9.20	13'285
	1	Gewitter	5.74	2.18	0.30	1.88	0.82	4.93	5.67	1.71	1.82	0.57	3.06	10.00	1.67	14.15	9.95	17'526
	2	Gewitter	5.23	2.02	0.30	1.72	0.76	5.09	5.86	1.54	1.65	0.51	2.74	10.15	1.51	14.08	9.16	20'107
	4	Gewitter	5.03	1.97	0.30	1.67	0.74	5.46	6.26	1.46	1.59	0.47	2.57	10.44	1.44	14.11	8.79	27'624
	6	gleichmässig	3.85	1.55	0.30	1.25	0.64	4.80	5.50	1.09	1.23	0.34	1.93	8.79	1.10	11.68	6.60	15'982
	8	gleichmässig	3.33	1.35	0.30	1.05	0.59	4.52	5.20	0.94	1.06	0.30	1.66	8.08	0.95	10.56	5.71	12'531
	12	gleichmässig	2.64	1.08	0.30	0.78	0.54	4.07	4.75	0.74	0.84	0.23	1.32	7.06	0.75	9.02	4.50	7'192
	24	gleichmässig	1.73	0.72	0.30	0.42	0.46	2.84	3.39	0.48	0.56	0.15	0.86	4.90	0.49	6.17	2.86	1'872
48	gleichmässig	1.48	0.63	0.30	0.33	0.44	2.40	2.92	0.40	0.47	0.12	0.71	4.17	0.41	5.25	2.41	1'259	
100	0.5	Gewitter	7.47	2.86	0.30	2.56	0.97	5.22	6.01	2.20	2.37	0.72	3.92	11.12	2.17	16.09	12.69	22'741
	1	Gewitter	7.84	3.01	0.30	2.71	1.00	5.56	6.38	2.30	2.49	0.75	4.09	12.61	2.27	18.28	13.73	29'619
	2	Gewitter	7.18	2.82	0.30	2.52	0.93	5.82	6.65	2.08	2.26	0.67	3.67	12.56	2.06	17.85	12.68	34'938
	4	Gewitter	7.02	2.80	0.30	2.50	0.91	6.44	7.35	2.00	2.22	0.63	3.52	12.99	2.00	18.15	12.43	50'067
	6	gleichmässig	5.18	2.12	0.30	1.82	0.76	5.70	6.50	1.45	1.65	0.45	2.55	10.91	1.47	14.76	9.02	32'467
	8	gleichmässig	4.48	1.85	0.30	1.55	0.70	5.49	6.30	1.24	1.43	0.38	2.20	10.12	1.27	13.44	7.80	28'331
	12	gleichmässig	3.60	1.50	0.30	1.20	0.62	5.09	5.86	0.99	1.15	0.31	1.76	8.93	1.02	11.58	6.25	20'124
	24	gleichmässig	2.46	1.04	0.30	0.74	0.52	4.01	4.67	0.67	0.79	0.21	1.19	6.76	0.69	8.56	4.19	6'448
48	gleichmässig	2.01	0.87	0.30	0.57	0.48	3.36	3.95	0.54	0.65	0.16	0.96	5.64	0.56	7.10	3.40	3'614	
300	0.5	Gewitter	9.49	3.65	0.30	3.35	1.14	5.74	6.57	2.76	3.01	0.90	4.91	13.26	2.75	19.59	16.22	33'348
	1	Gewitter	10.07	3.92	0.30	3.62	1.19	6.21	7.12	2.92	3.20	0.94	5.19	15.01	2.91	22.31	17.79	43'910
	2	Gewitter	9.22	3.67	0.30	3.37	1.10	6.50	7.42	2.64	2.91	0.84	4.64	14.90	2.63	21.77	16.37	51'667
	4	Gewitter	9.00	3.64	0.30	3.34	1.08	13.30	14.53	2.54	2.85	0.79	4.45	19.64	2.55	24.31	16.02	63'307
	6	gleichmässig	6.50	2.69	0.30	2.39	0.87	6.50	7.42	1.80	2.07	0.55	3.17	12.90	1.84	17.72	11.42	51'767
	8	gleichmässig	5.73	2.39	0.30	2.09	0.81	6.40	7.32	1.58	1.83	0.48	2.78	12.14	1.61	16.37	10.08	49'092
	12	gleichmässig	4.74	2.00	0.30	1.70	0.72	6.10	6.98	1.29	1.52	0.39	2.28	10.94	1.33	14.40	8.32	41'104
	24	gleichmässig	3.30	1.42	0.30	1.12	0.60	5.12	5.87	0.89	1.06	0.27	1.57	8.64	0.92	11.04	5.75	20'811
48	gleichmässig	2.57	1.12	0.30	0.82	0.53	4.32	4.99	0.69	0.83	0.20	1.21	7.13	0.72	9.00	4.43	10'203	

8 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit

8.1 Einleitung

Um die massgebenden Hochwassermengen 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.

8.2 Pfaffnern bei der Kantonsgrenze (BP 14)

Aus den **Erkundungen historischer Hochwasser** lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Durch die Recherchen über historische Hochwasser konnten dokumentierte Hochwasserereignisse bis 1852 zurückverfolgt werden.
- Bei den älteren Ereignissen sind exakte Abflussschätzungen nicht möglich, weil die vorliegenden Informationen nicht ausreichen. Zudem hat das seit 1993 in Betrieb genommene HRB einen Einfluss auf das Ausmass der Ereignisse. Dennoch kann eine quantitative Einschätzung getroffen werden. Es wurden in dieser Periode zwei grosse Hochwasser erkundet (1986, 2021).
- Durch ein starkes kurzes Gewitter kam es am **16./17. Juni 1986** zu einem grossen Hochwasser mit grossflächigen Überschwemmungen durch die Pfaffnern. Nach den Angaben der Gewährsleute war dies das grösste Ereignis. Da zwischenzeitlich das HRB (1993) gebaut wurde, und Abflussschätzung wegen aufgetretenen Verklausungen nicht möglich waren, ist ein Vergleich mit dem Hochwasser vom 24. Juni 2021 schwierig. Ihm wird Rang 1 bis 2 der vergangenen 170 Jahre zugeordnet (Wiederkehrperiode 85 – 170 Jahre).
- Ein ähnlich grosses Hochwasser (Rang 1 oder 2) ereignete sich am **24. Juni 2021**. Durch ein intensives Gewitter wurden grosse Flächen in Pfaffnau überflutet. Auch die Seitenbäche traten über die Ufer. Dabei wurde an der Messstation Pfaffnern-Vordemwald (seit 1979) der grösste Abfluss gemessen, auch im HRB wurde der höchste Pegelstand seit Inbetriebnahme im Jahr 2015 erreicht.
- Den Hochwassern **1987, 20. Juni 1986 und 8. Juli 2021** werden die Ränge 3 bis 5 zugewiesen (Wiederkehrperiode 34 - 57 Jahre).
- Die 10 Hochwasser, die sich seit Bestehen der Niederschlagstation St. Urban ereigneten, traten alle in feuchten bis nassen Monaten auf (siehe Kap. 3.6.2), 5 davon sogar in nassen Monaten. Diese Vorbedingungen wurden bei der Szenarienbildung resp. bei den Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell berücksichtigt, indem ein Vorregen von 30 mm angenommen wurde.

Die **Berechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell** erweitern die Erkenntnisse aus den historischen Hochwassern und sind in Abbildung 6.1 violett dargestellt. Die Modellregen ermöglichen die Abschätzung seltener Hochwasser.

Die roten Linien markieren den Unsicherheitsbereich für die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Ein HQ_{100} liegt beim BP 14 demnach im Bereich von 16 – 19 m³/s.

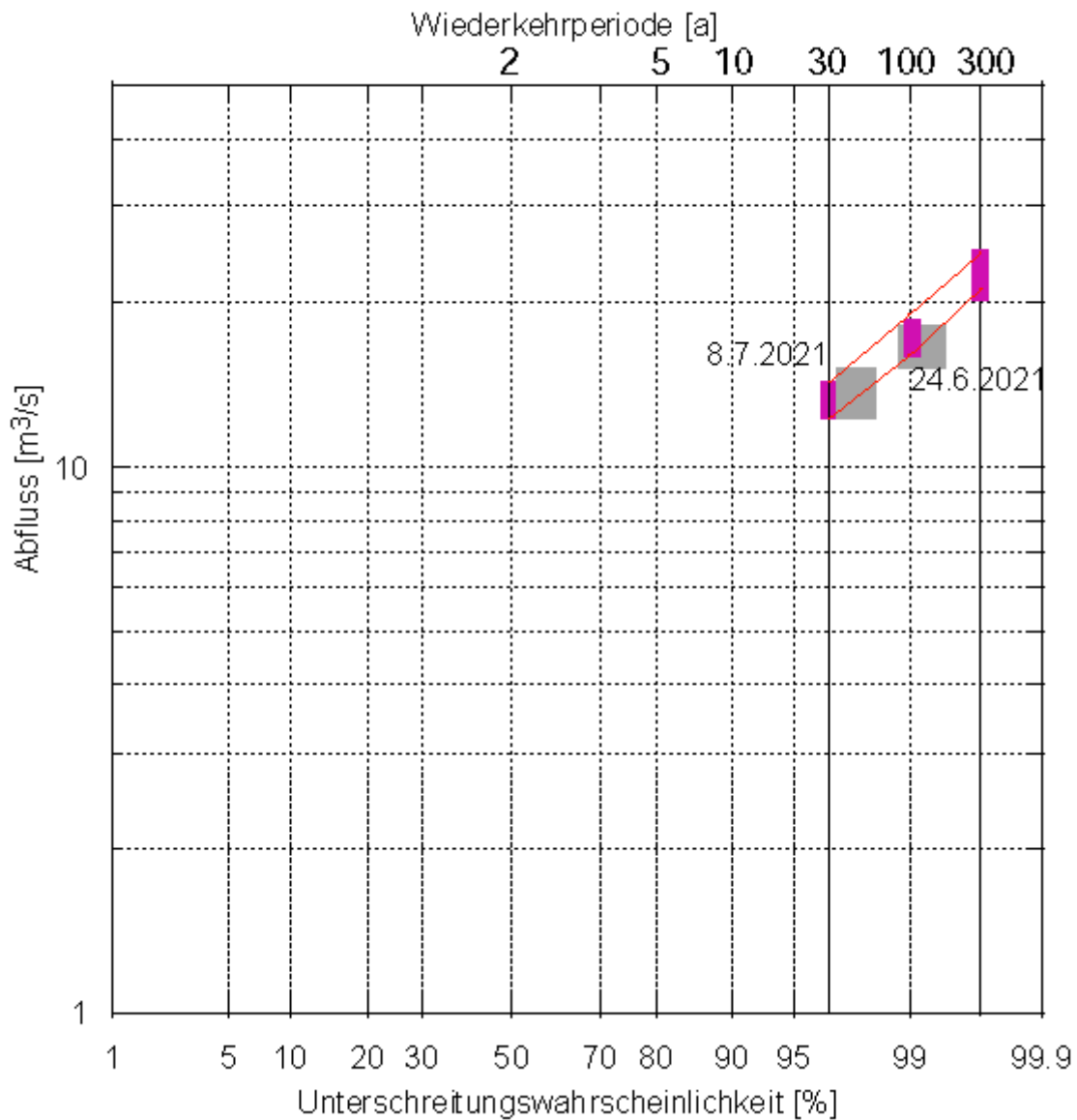


Abb. 8.1: Frequenzdiagramm der Pfaffnern am BP 14. Eingetragen sind die Ereignisses vom 24.6. und vom 8.7.2021 (graue Rechtecke) und die Resultate der Modellrechnungen (violett). Die roten Linien markieren den Unsicherheitsbereich für die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

8.3 Hochwasserabflüsse

Unter Berücksichtigung der Modellrechnungen konnten die Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit für die übrigen Bemessungspunkte festgelegt werden (Tabelle 8.1).

Während sich die 30-jährlichen Hochwasserabflüsse auch auf die Beobachtung historischer Hochwasser stützen, basiert die Festlegung der 100- und 300-jährlichen Hochwasserabflüsse auf den Jährlichkeiten der Niederschläge. Diese sind gut abgestützt, weil die Statistik auf einem Beobachtungshorizont von 139 Jahren basiert. Die Berechnung der 300-jährlichen Ereignisse stützt sich auf der Extrapolation der Niederschlagsstatistik ab und ist mit grösserer Unsicherheit behaftet.

Tab. 8.1: Die an der Pfaffnern ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

BP	zugeordneter Gerinneabschnitt	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]
1	Pfaffnern bei Roggliswil (3.4 km ²)	5.0 – 6.0	7.0 – 8.0	9.0 – 10.0
2	Burgbach bei Entlastungsleitung zum HRB (1.5 km ²)	2.0 – 2.5	2.5 – 3.0	3.5 – 4.0
3	Burgbach ohne Entlastung zum HRB; Q _{max} =0.3 m ³ /s (1.5 km ²)	0.3	0.3	0.3
4	Entlastungsleitung Burgbach zum HRB (1.5 km ²)	1.5 – 2.0	2.5 – 3.0	3.5 – 4.0
5	Burgbach bei der Mündung in die Pfaff- nern ohne Entlastung (0.3 km ²)	0.6 – 0.8	0.8 – 1.0	1.0 – 1.5
6	Pfaffnern Ausfluss aus HRB (6.2 km ²)	4.5 – 5.5	5.5 – 6.5	11.5 – 13.5
7	Pfaffnern oberhalb Mündung mit Hohriedbach (6.7 km ²)	5.5 – 6.5	6.5 – 7.5	12 – 15
8	Hohriedbach oberhalb Mündung mit Pfaffnern (0.9 km ²)	1.5 – 2.0	2.0 – 2.5	2.5 – 3.0
9	Muttibach oberhalb Mündung mit Chrütz- stutzbach (1.1 km ²)	1.5 – 2.0	2.0 – 2.5	3.0 – 3.5
10	Chrützstutzbach oberhalb Mündung mit Muttibach (0.25 km ²)	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8	0.8 – 1.0
11	Muttibach oberhalb Mündung mit Pfaff- nern (1.5 km ²)	3.0 – 3.5	4.0 – 4.5	4.5 – 5.5
12	Pfaffnern oberhalb Mündung mit Diech- selbach (9.4 km ²)	8.5 – 10.5	11 - 13	17 – 20
13	Diechselbach oberhalb Mündung mit Pfaffnern (0.9 km ²)	1.5 – 2.0	2.0 – 2.5	2.5 – 3.0
14	Pfaffnern bei Kantonsgrenze (11.9 km ²)	12 – 14	16 – 19	21 – 24

Die Hochwasserabflüsse in Tabelle 8.1 sind als Bereiche angegeben. Damit soll den Unsicherheiten, welche bei der Hochwasserabschätzung bestehen, Rechnung getragen werden.

8.4 Optimierung Rückhaltebecken Schiessstand Pfaffnau

Das HRB Pfaffnern - Schiessstand Pfaffnau hat ein Rückhaltevolumen von 57'000 m³. Die Berechnungen mit dem NAM (Tab. 7.3) zeigen, dass beim HQ₁₀₀ das Becken nahezu gefüllt wird (50'000 m³). Beim HQ₃₀₀ springt die Notentlastung (Mönch) an (Gefahrenstufe 1) und das Becken staut bis zu einem Volumen von 63'500 m³ ein. Dieser Wert liegt noch unterhalb der Gefahrenstufe 2,⁹ wo die Notentlastung voll eingestaut wird. Unseres Erachtens ist eine Anpassung der Schieberstellung nicht notwendig, da das HRB beim HQ₁₀₀ nahezu optimal gefüllt ist und beim HQ₃₀₀ die Gefahrenstufe 2 nicht erreicht wird.

Bei den Ereignissen des Jahres 2021 hat sich aber folgendes gezeigt:

- Am 8.7.2021 versagte die Messung des Pegelstandes. Die Gründe hierfür sollten untersucht werden.
- Fotos zeigen Schwemmholzablagerung an den Gittern des Einlaufbauwerks, sowie Geschiebeablagerungen im Bereich des Einlaufbauwerks. Bei beiden Ereignissen erfolgte auch die Überleitung des Burgbachs in das HRB infolge Schwemmholz nicht vollständig.

Die Lösung dieser Problematik ist zentral für ein einwandfreies Funktionieren der Entlastungsorgane des HRB.

Scherrer AG
Hydrologie und Hochwasserschutz



Dr. Simon Scherrer



Dr. Daniel Näf Huber

Reinach, 5. September 2022

Sachbearbeiter: Dr. Daniel Näf-Huber, Dipl. Bau. Ing. ETH Zürich
Dr. Simon Scherrer, Dipl. Geograph Uni Basel
Dr. Peter Kienzler, Dipl. Hydrologe Uni Freiburg i. Br.
Karim Chouffaï, B. Sc. Geographie Uni Basel

⁹ Gefahrenstufe 1 (UK Mönch) bei 508.00 m ü. M. ; Gefahrenstufe 2 (OK Mönch) bei 508.60 m ü. M.; Gefahrenstufe 3 (Dammkrone) bei 510.00 m ü. M.

Anhang





- Anhang 1: Historische Hochwasser
- Anhang 2: Tagesniederschläge
- Anhang 3: Bodenfeuchte
- Anhang 4: Bodenprofile
- Anhang 5: Modellaufbau
- Anhang 6: Niederschlagsstatistik St. Urban, Zofingen und Wynau (1883 - 2021)

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
1852, 17./18.9	Dauerregen	Im Überschwemmungsjahr 1852 führten auch verschiedene Flüsse im Kanton Luzern Wasserschäden herbei. Überschwemmungen ereigneten sich besonders im Nordwesten des Kantons im Gebiet der Roth, Pfaffnern und Wigger.	Lanz-Stauffer & Rommel (1936)
		Die Brücke über Roth bei St. Urban war stark beschädigt, diejenige über den Pfaffnern bei Vorderwald halb zerstört; die Bernerstrasse von Strengelbach bis St. Urban zum Teil unfahrbar gemacht.	Hegner (1852)
		Als eine der ungewöhnlichen meteorologischen Erscheinungen müssen die ausgebreiteten und gewaltigen Regengüsse betrachtet werden, welche in so weiter Erstreckung den 16. und 17. September des verflossenen Jahres über Mitteleuropa sich entleerten, und deren verheerende Folgen vorzüglich die ebene Schweiz so hart betrafen, wie es in einem Jahrhundert selten mehr als ein Mal der Fall ist. Die von den Überschwemmungen heimgesuchten Gegenden liegen an der Nordseite der Alpen, und ziehen sich von Schwaben bis Genf in einer Erstreckung von circa 100 Schweizerstunden. Sie bilden einen 8-12 Stunden breiten Gürtel, der von NO nach SW läuft, und von welchem gleichsam zwei Nebenarme ausgehen, der eine längs der Nordseite des Schwarzwaldes, der andere längs der Nordseite des Jura. Wenn wir diesem Überschwemmungsbezirke von Osten nach Westen folgen, so finden wir zwar schon den Inn etwas angeschwollen, jedoch noch nicht in dem Masse, dass er Verheerungen angerichtet hätte. Die Wigger, verbunden mit der vom Napfe herkommenden hoch angeschwollenen Luthern, begann schon im Kanton Luzern ihre Zerstörungen und setzte sie bis zu ihrer Einmündung in die Aare fort. Dasselbst wurde Aarburg, aber noch mehr durch den Dorfbach von Oftringen beschädigt. Ähnlich wütete die von Pfaffnau herkommende Pfaffnern und die Roth bei St. Urban. Ebenso floss die Langeten in einer Höhe durch die Strassen von Langenthal, die sie seit 1817 nie mehr erreicht hatte	Zschokke (1852)
1888, 30.03.	Dauerregen	Infolge anhaltenden Regenwetters, sind die Pfaffnern und Murg über die Ufer getreten und haben grosse Flächen Land überschwemmt. Dagegen war ein starkes Anschwellen der Wigger weniger bemerkbar.	Tagblatt der Stadt Biel (30.3.1888)
1915, 10.06.	Gewitter, 4 mm/d St. Urban	Hochwasser: Infolge der Gewitter in den letzten Tagen sind an verschiedenen Orten des Kantons Luzern, so in Pfaffnau , Buttisholz und Menznau, die Bäche über das Ufer getreten. An einigen Orten musste die Feuerwehr aufgeboden werden, Die Kulturen haben stark gelitten.	Neue Zürcher Zeitung (1915)
1936, 25.6.	Gewitter	1936, 25. Juni: Grosses Hochwasser im Raume von Fischbach – Grossdietwil – Altbüron – Roggliswil – Richenthal – Altishofen – Ebersecken. Grosse Schäden.	Meier (1939)
		Schwerer Unwetterschaden. Zwischen Zell, St. Urban, Altishofen ist am Donnerstagnachmittag ein Gewitter von ausserordentlicher, seit Jahren nicht erlebter Heftigkeit losgebrochen. Am stärksten mitgenommen wurde die Gegend östlich der Kantonsstrasse von Fischbach bis Altbüron mit den anschliessenden Hängen und Höhen gegen Ebersecken. Dreimal rasch aufeinanderfolgend und immer heftiger setzte der Gewittersturm mit Hagelschlag und Wolkenbruch ein und vernichtete innert 40 Minuten Kulturen in heute noch nicht zu schätzendem Werte.	Zofinger Tagblatt (27.6.1936)
1984, 31.07.	Gewitter, 55 mm/d St. Urban	Ganzes Gemeindegebiet Pfaffnau : Unwetterereignis mit Schwerpunkt Pfaffnau. Nach Bachausbrüchen Überflutung von Kulturland, Gewerbebetrieben und diversen Keller. Die Sägerei, Pfaffnau Dorf und das Gemeindezentrum waren die Hauptschadensgebiete. (StorMe 1984-W-0030 und 1984-W-0019))	ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG (2009)
		Pfaffnau : Überschwemmung und Kulturschäden, Gewerbebetriebe und Keller überschwemmt allein Schaden an einer Drogerie rund 100'000 Fr. Sägerei, Dorf und Gemeindezentrum unter Wasser. Hauptprozesse Rutschung Überschwemmung/Hochwasser.	StorMe (2022)
		Mittlere durch Wasser verursachte Schäden: Überschwemmungen, Überflutungen in Pfaffnau , Dagmersellen.	GIUB (1998)
		Pfaffnau : Überschwemmungen und Kulturschäden, Gewerbebetriebe und Keller überschwemmt; allein Schaden an einer Drogerie rund 100'000 Fr. Sägerei, Dorf und Gemeindezentrum unter Wasser. Im Bereich Pfaffnau-Dagmersellen (Schwerpunkt Pfaffnau) 60 Schadenmeldungen (im Gebiet auch Hagelschäden).	WSL (2022)
1986, 16.06.	Gewitter, Hagel, 29 mm/d St. Urban	Weitere vom Grosseignis betroffene Gemeinden: Pfaffnau . Ausbruch des Pfaffnerbaches weite Teile überschwemmt, enorme Schäden, Truppenaufgebot, Gebäude beschädigt wegen Überschwemmung, Brücken weggerissen. Räumung: Anschliessende Sanierung der Hauptstrasse (30 – 40 cm tief überflutet).	StorMe (2022)


Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
1986, 16.06., Forts.		<p>Enorme Schäden nach Unwetter in verschiedenen Regionen: Das Ende eines schönen Tages: Heftige Sommergewitter haben am Montagabend ein Todesopfer gefordert und vor allem in den Kantonen Bern und Luzern Schäden in Millionenhöhe angerichtet. Die starken Niederschläge liessen zahlreiche Bäche über die Ufer treten. Felder, Strassen, Bahnanlagen und Wohngebiete wurden überschwemmt. Besonders stark betroffen waren die Regionen um Zäziwil (BE), Jegenstorf (BE), wo ein zwölfjähriger Knabe in einem Bach ertrank, sowie die luzernischen Gemeinden Pfaffnau, Langnau und Richenthal. [...]</p> <p>Riesige Unwetterschäden im Nordwesten des Kantons Luzern: Ein besonders starkes Gewitter wütete am Montagabend in der Gegend von Pfaffnau und Richenthal. Die damit verbundenen starken Regenfälle liessen die Dorfbäche anschwellen und über die Ufer treten. In den Dörfern entstand immenser Sachschaden. Das Bild zeigt die Pfaffnern im Dorfkern von Pfaffnau, wo ihr gewöhnlich eine lediglich schmale Rinne zur Verfügung steht. Sie unterspülte die Ufer und brachte eine Mauer des Gebäudes der Sattlerei Studer und die gegenüberliegende Stützmauer zum Einsturz. [...]</p> <p>Die grössten Schäden entstanden in der nordwestlichen Ecke des Kantons Luzern, wo in zahlreichen Gemeinden Überschwemmungen eintraten. Die Feuerwehren waren mit allen verfügbaren Kräften an der Arbeit. Besonders prekär war die Lage in Pfaffnau. Dort konnte der Pfaffnern-Bach die Wassermassen nicht mehr schlucken und weite Teile der Gemeinde wurden überschwemmt. Durch zum Teil reissende Wasser wurden in einem Säge- und Hobelwerk zahlreiche Stämme weggeschwemmt. In der Anlage entstand dadurch beträchtlicher Schaden.</p> <p>Weite Teile von Pfaffnau unter Wasser</p> <p>Es war, als ob ein Strom durchs Dorf fließen würde», berichtete am Morgen nach der Hochwasserkatastrophe in Pfaffnau Sepp Ruckstuhl «Etwa um ein Viertel vor sieben kamen am Montagabend nach den ergiebigen Regenfällen im Luzerner Hinterland die Wasser» fuhr der Ex-Gemeinderat fort. Das Wasser der Pfaffnern überflutete weiträumig ganze Teile des Dorfes. Besonders stark in Mitleidenschaft gezogen wurden die Sägerei von Feuerwehrkommandant Anton Fuchs und die Gebäude in unmittelbarer Nähe des Baches. Der alte Teil der Sägerei wurde total unter Wasser gesetzt und der Neubau mit den frisch montierten Maschinen, die am kommenden Donnerstag hätten in Betrieb genommen werden sollen, stand ebenfalls meterhoch unter Wasser. In sämtliche Kellerräume der Häuser im Bereich der Pfaffnern floss das mit Geschiebe durchsetzte Wasser. Rund 50 Kubikmeter Holz, die von der Sägerei weggeschwemmt wurden, blockierten die Dorfstrasse. Kreuz und quer lagen die Stämme und Bretter herum. Bei der Sattlerei Studer drang das Wasserr in Laden und Werkstatt, und unter dem Einfluss der aussen vorbeifliessenden Pfaffnern stürzte eine Mauer des Lagergebäudes ein.</p> <p>Grauenhaft sah es in der Post aus: Posträume und Parterre wurden mit einer dicken Schlammschicht überdeckt. Überall sah man die vom Unheil betroffenen Leute an der Arbeit, vorerst einmal zu retten, was es noch zu retten gab. Dann aber auch schon bei ersten Aufräumarbeiten und es war nicht verwunderlich, dass man in vielen Augen Tränen sah ob den grauenhaften Verwüstungen, die das Unwetter über die betroffenen Pfaffnauer brachte. Im Einsatz standen die Feuerwehren von Pfaffnau und Roggliswil, der Zivilschutz und zwei Pumpen der Stützpunktfeuerwehr Zofingen.</p>	Zofinger Tagblatt (18.6.1986)
			

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
1986, 16.06., Forts.		Aus dem Kanton Luzern gingen über 400 Hilferufe ein. Speziell die Region Pfaffnau wurde durch den Pfaffnerbach in Mitleidenschaft gezogen. Millionenschäden gab es auch im Kanton Solothurn; so aus dem Bezirk Bucheggberg (u. a. Mühledorf), der Stadt Solothurn und der Region Grenchen. Nur einen Tag später zogen erneut heftige Gewitter über die Schweiz.	Zeller & Röthlisberger (1987)
		Pfaffnau: Ausbruch des Pfaffnerbaches ; weite Teile überschwemmt, enorme Schäden, Truppenaufgebot, Gebäude beschädigt wegen Unterspülung, Brücken weggerissen. Im Kanton LU über 400 Notrufe; Schäden dürften die Millionengrenze überschreiten; an insgesamt 250 bis 300 Gebäuden Schäden (Schäden auch an Strassen, Brücken und Bachufern). Gewitter z. T. mit Hagel.	WSL (2022)
		Roggliwil: Überschwemmungen, Bachausbrüche. Anmerkung: in der Region Pfaffnau Ausbruch des Pfaffnerbaches ; in der Folge weite Flächen überschwemmt, enorme Schäden.	
		Die Pfaffner trat über die Ufer und floss lawinenartig durch das Dorf. Über 20 Gebäude und Liegenschaften erlitten Wasserschäden, Keller wurden überflutet, grosse Steine, Bäume und ganze Uferpartien, sowie Brücken wurden mitgerissen. Das Parterre der dorfansässigen Sägerei stand einen Meter unter Wasser und sämtliche Maschinen wurden beschädigt. Insgesamt entstand damals ein Sachschaden von rund einer Million Schweizer Franken. Menschen mussten von der Feuerwehr aus ihren Häusern gerettet werden. (StorMe 1986-W-0022)	ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG (2009)
		Im Kanton Luzern führten die Unwetter zu enormen, vorläufig noch nicht abzuschätzenden Schäden. Das Gebiet nördlich der Stadt Luzern sowie der nordwestliche Kantonsteil wurden am stärksten in Mitleidenschaft gezogen. Zahlreiche Gebäude wurden überschwemmt, Bäume wurden umgerissen, Strassen mussten gesperrt werden. Bei der Luzerner Polizei gingen über 400 Hilferufe ein. In Pfaffnau trat der Dorfbach über die Ufer und überflutete zahlreiche Keller. In Triengen überschwemmten die Dorfbäche die Strassen mit Schlamm, Kies und Schutt.	Neue Zürcher Nachrichten (1986)
1986, 20.06.	Gewitter	Pfaffnau: Überschwemmungsschäden; Wasserschäden. Im Kanton Luzern insgesamt 112 Notrufe (vor allem im Luzerner Hinterland und im Wiggertal). Schäden in Millionenhöhe; 45-Minuten-Gewitterregen; "jeder Graben wurde zu einem Bach, Kanalisationen und Abläufe mit Geschiebe verstopft, Keller etc. überschwemmt. Anmerkung zu genereller Wetterlage von Ereignis 86.24 (aus TAGES ANZEIGER vom 23.06.1986): "Auf die Häufung von schweren lokalen Unwettern angesprochen, sagte ein Sprecher der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt in Zürich, dass die Schäden deshalb so gross seien, weil es während der Gewitter der letzten Tage und Wochen relativ windstill gewesen sei. Die Gewitterfront sei dadurch nicht wie üblich weitergezogen, sondern habe sich jeweils über einzelnen Regionen während längerer Zeit entladen. Zudem hätten eher östliche Winde geherrscht, was angesichts der Ausrichtung der Vegetation und baulicher Infrastruktur erfahrungsgemäss zu grösseren Schäden führe als die häufigeren Westwindgewitter."	WSL (2022)
		Langnau b. Reiden: Schon um 18 Uhr am Freitagabend setzten erste kleinere Gewitter ein. Kurz nach 19 Uhr ergoss sich aber während längerer Zeit ein wahrer Wolkenbruch über weite Gebiete des unteren Wiggertals. Blitze zuckten am düsteren Himmel und gewaltiges Donnern grollen verriet, dass man sich unmittelbar im Zentrum des Gewitterherdes befand.	Zofinger Tagblatt (23.6.1986)
		Ganzes Gemeindegebiet Pfaffnau: Ein 45-Minuten Gewitterregen führte zu Überschwemmungsschäden in Millionenhöhe. "Jeder Graben wurde zu einem Bach". Dies führte zu zahlreichen überfluteten Keller, verstopften Kanalisationen und Geschiebefracht. (StorMe 1986-W-0023)	ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG (2009)
		Mittlere durch Wasser verursachte Schäden: Überschwemmungen, Überflutungen, Rufen, Murgänge. Reiden, Langnau, Zell, Pfaffnau .	GIUB (1998)
1987, 01.09.	Gewitter, 41 mm/d St. Urban	Pfaffner trat bei Durchlässen über die Ufer. Die Sägerei wurde stark beschädigt. Die Wohnhäuser beim Durchlass Kantonsstrasse standen 1 m tief im Wasser. Verklauung durch Schwemmgut.	StorMe (2022)





Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
1987, 01.09., Forts.		<p>Nach intensiven Niederschlägen (40 l pro m²) trat die Pfaffnernn bei Brücken und Durchlässen über die Ufer. Bei der Sägerei verklebte der Durchlass durch das mitgeschwemmte Holz. Wiederum traf es die Sägerei am heftigsten. Maschinen wurden erneut beschädigt. Bei der Kantonsstrasse standen mehrere Gebäude 1m tief im Wasser. Der wirtschaftliche Schaden war, dank einigen wenigen wasserbaulichen Massnahmen, allerdings weniger gross als im Jahr zuvor. (StorMe PFA-1987-01)</p> <p>Burgbach: Nach intensiven Niederschlägen floss Wasser aus einem Graben im Burgwald aus dem Gerinne und überflutete die darunterliegende Liegenschaft auf Kote 607. (StorMe PFA-1987-02)</p> <p>Muttibach: Nach intensiven Niederschlägen staute sich das Wasser beim Durchlass der Kantonsstrasse zurück und überflutete das Gärtnereiareal, die Kantonsstrasse, sowie einige Häuser (StorMe PFA-1987-03)</p>	ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG (2009)
2005, 21.08.	44 mm/2d Station St. Urban	Private Schäden in Pfaffnau, wegen Hochwasser.	WSL (2022)
2007, 08.08.	Dauerregen, 55 mm/d 75 mm/2d St. Urban	<p>Die Pfaffnernn trat, nach einer Verklauung der Einlaufwerke bei Kote 587 (südöstlich Houete), über die Ufer und überflutete die Strasse und landwirtschaftliches Kulturland. (StorMe PFA-2007-01)</p> <p>Hohriedbach: Die Eindolung bei Kote 504 ist regelmässig überlastet. 2007 floss das Wasser über die Strasse in die Pfaffnernn. Einige Häuser, Strassen und landwirtschaftliches Kulturland waren von den Wassermassen betroffen. (StorMe PFA-2007-02)</p> <p>In den letzten Jahren uferte die Pfaffnernn, unterhalb des Rückhaltebeckens bei Kote 503, mehrmals nach links aus. Das landwirtschaftliche Kulturland stand jeweils unter Wasser, die Pfaffnernn floss wieder ins Gerinne zurück.</p> <p>Nach Verklauung des Hohriedbaches nahe Hohriedstrasse floss das Wasser über die Strassen in die Pfaffnern. Einige Häuser, Strassen und Kulturland waren betroffen.</p>	ARGE Oeko-B, Geotest, Kissling+Zbinden AG (2009)
		Anhaltender Regen hat in der Schweiz Flüsse über die Ufer treten lassen, Keller geflutet und Strassen überschwemmt. Der Kanton Luzern rief am Abend des 8.8.07 den Kantonalen Krisenstab zusammen. Mehr als 1500 Feuerwehrleute standen in der Nacht im ganzen Kanton im Einsatz. Am Mittag des 9.8.07 konnte der Krisenstab wieder Entwarnung geben. Die Gebäudeversicherung rechnete kurz nach dem Ereignis mit 600-800 Schadenfällen und einer Schadensumme von 6-8 Mio. Fr. Am stärksten betroffen waren die Gemeinde Littau und das Seetal. In Pfaffnau gab es zwei kleine Einsätze: Eine 20 m lange Barriere aus Schaltafeln mussten die 15 Feuerwehrleute an der Sagenstrasse errichten. Damit verhinderten sie, dass die Ladenlokaltäten des Migros-Detaillisten und ein Einfamilienhaus vom Wasser des Hohriedbaches in Mitleidenschaft gezogen wurden. Die Strasse von Pfaffnau nach St. Urban wurde wegen möglichem Aquaplaning vorsichtshalber mit Warnschildern versehen. Die Feuerwehr stand in St. Urban präventiv im Einsatz, es gab aber keine Schäden. In den Gebieten Birchmatt, Kleine Sonnhalde, Steckholzstr. wurden Motorspritzen und Sandsäcke eingesetzt.	WSL (2022)
2009, 04.07.	Gewitter, 11 mm/d St. Urban	Ein eigentlich nicht allzu heftiges Gewitter baute sich im Napfgebiet auf und ging am Abend über dem Kt. Luzern nieder (Richtung Sempachersee und Luzern). Bäche traten über die Ufer, Strassen wurden überschwemmt und Keller standen unter Wasser. Am schlimmsten betroffen war das Wiggertal. In der Gemeinde Pfaffnau gab es zwei überschwemmte Keller bei Nutteln. Ausserdem kam es in der Industrie zu Wasserschäden.	Zofinger Tagblatt (06.07.2009)
2021, 24.06.	Gewitter, 74 mm/d St. Urban	<p>Am Donnerstagabend ist ein Unwetter mit starkem Regen über den nördlichen Teil des Kantons Luzern gezogen. Bäche traten über die Ufer, Keller wurden überflutet.</p> <p>Bei der Einsatzleitzentrale der Luzerner Polizei sind in der Zeit zwischen 17:16 und 21:17 Uhr rund 190 Meldungen eingegangen, hauptsächlich wegen überfluteten Strassen, Kellern und Unterführungen, kleineren Erdrutschen und Geröll auf der Strasse, aber auch Wassermassen, die in Häuser flossen oder umgestürzten Bäumen. Insgesamt waren acht Feuerwehren mit 200 Frauen und Männer im Einsatz. Meldungen über verletzte Personen liegen nicht vor.</p> <p>Am stärksten betroffen waren die Gemeinden Pfaffnau, Roggliswil, Reiden, Dagmersellen, Altishofen, Nebikon, Schötz, Grossdietwil, Altbüron und Wikon wie Vinzenz Graf, Feuerwehrinspektor der Gebäudeversicherung, auf Anfrage sagte.</p>	Luzerner Zeitung (2021)

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle	
2021, 24.06., Forts.		<p>Nach einem starken Gewitter im Raum Reiden/Pfaffnau traten alle Bäche und Flüsse über die Ufer, Unmengen Wasser flossen ins Tal. Das halbe Dorf wurde überflutet. Die Pfaffnern brachte am frühen Abend plötzlich so viel Wasser wie nie zuvor. «Es wurde ein Rekordpegelstand von 2,75 Metern gemessen», sagt Gemeinderat Markus Schneiter. Normalerweise liege der Pegel unter einem Meter, sagt ein Fischer aus dem Dorf. Die Luzerner Polizei zieht am späten Donnerstagabend Bilanz zum Unwetter. In der Zeit von 17:16 bis 21:17 habe man 190 Meldungen über überschwemmte Strassen, Unterführungen und umgestürzte Bäume erhalten. Am stärksten betroffen waren die Gemeinden Reiden, Pfaffnau, Roggliswil, Altshofen, Wikon, Altbüren und Grossdietwil. Verletzte gab es keine. 200 Feuerwehrleute aus acht Feuerwehren standen am Abend im Einsatz.</p>	Sturmarchiv Schweiz (2022)	
		 <p>Pfaffnau: Hochwasser und Überschwemmung an vielen Stellen. Bild zeigt das vergangene Hochwasser am Chrützstutzbach.</p>	 <p>Hier ist die Pfaffnern beim Hurtweg nach dem Hochwasser 24.06.21 zu sehen. Dabei ist für diese Stelle in der Wiese die maximale Energiehöhe des Abflusses zu sehen.</p>	StorMe (2022)
		 <p>Das Bild zeigt die Überschwemmung auf dem Tennisplatz, die vom Muttibach verursacht wurde. Hier ist der Chrützstutzbach bereits in den Muttibach gemündet.</p>	 <p>Auf dem Bild ist der Rückstau des Burgbachs vom Hochwasser 24.06.21 zu sehen.</p>	

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
2021, 24.06., Forts.		<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Das Bild zeigt den Einlass des Burgbachs zur Pfaffnern nach dem Hochwasser vom 24.06.21.</p> <p>Das Bild ist vom Hohriedbach gleich vor der Mündung in die Pfaffnern nach dem Hochwasser vom 24.06.21.</p>	
		<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Hier ist die Pfaffnern am 24.06.21 zusehen. Das Bild wurde von der Schmitte gemacht.</p> <p>Bild zeigt den Ausbruch des Hohriedbachs vom 24.06.21 hinter dem Spielhof. Es ist ungewiss, ob es den maximalen Abfluss zeigt.</p>	

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle	
2021, 08.07.	Gewitter, 27 mm/d St. Ur- ban	Starkregen überschwemmt Pfaffnau zum zweiten Mal innert zwei Wochen Nach den starken Regenfällen gingen die Aufräumarbeiten auf dem Hof der Familie Witprächtiger am Freitagmorgen von vorne los. (Video mit Interview): Sandra Witprächtiger (Mülistr. 14): seit 2003 dort wohnhaft, seither 4 Überschwemmungen, wobei 24.6.21 grösste und 8.7.21 zweitgrösste war. Hochwasser am 8.7.21 kam sehr schnell.	Luzerner Zeitung (2021)	
				StorMe (2022)
		<p>Pfaffnau: einige Hochwasser. Grosse Teile Überschwemmt. Auf dem Bild ist der Uferübertritt des Chrützstutzbach am Altweg am Ereignis Tag zu sehen.</p>	<p>Bild zeigt den Uferübertritt der Pfaffnern an dem Hurtweg nach dem Hochwasser 08.07.21.</p>	
				
		<p>Das Bild zeigt den Burgbach nach dem Hochwasser vom 08.07.21 und den Einlass zur Pfaffnern.</p>	<p>Auf dem Bild ist das offene Gerinne des Burgbach vor dem Einlass zur Pfaffnern zu sehen. Der Abfluss hier ist abzüglich dem Entlastungsrohr am Burgbach weiter oben.</p>	

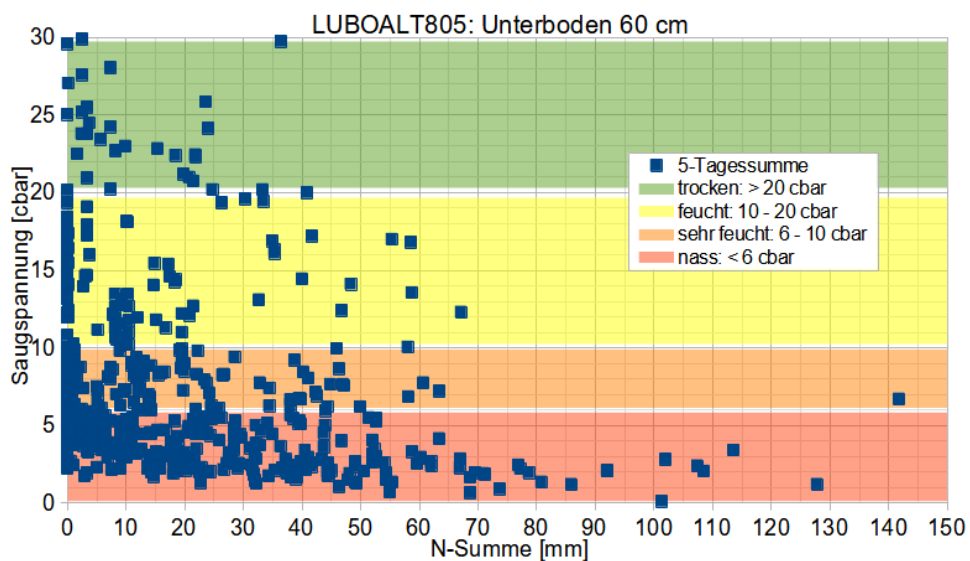
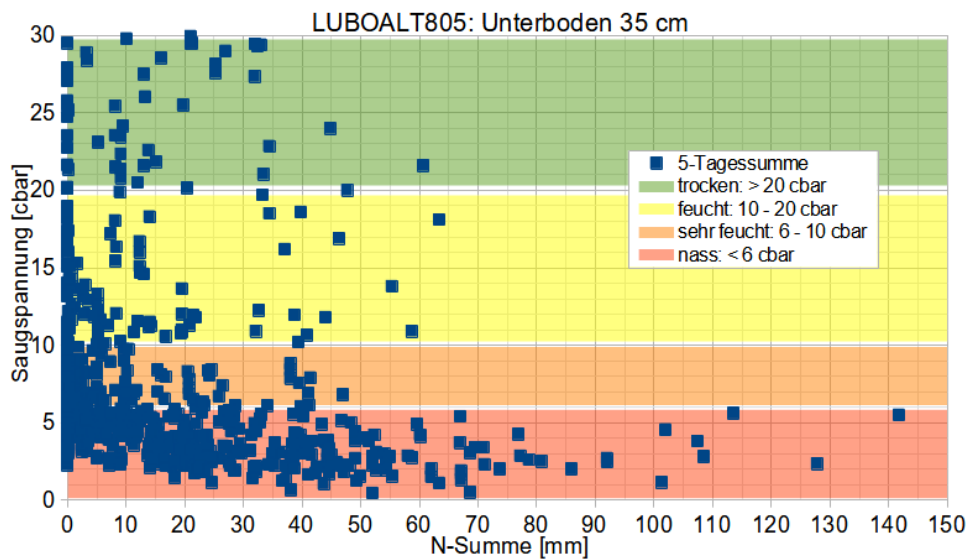
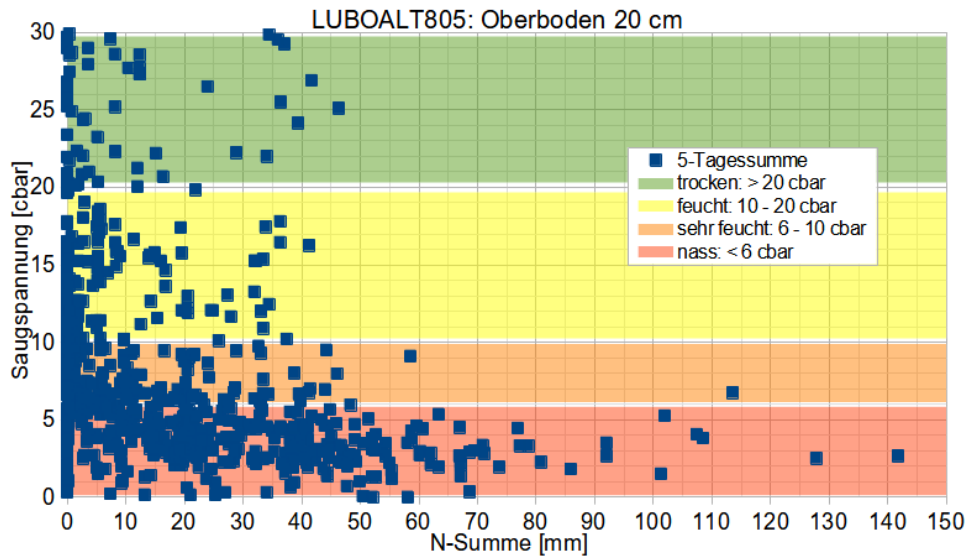
Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
2021, 08.07., Forts.		<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p data-bbox="430 740 1928 820">Das Bild zeigt den Hohriedbach am 08.07.21 gleich vor der Mündung Bild Zeigt die gleiche Stelle des Hohriedbachs nach dem Hochwasser in die Pfaffnern. Dabei ist unklar, ob es zum Zeitpunkt des höchsten ser vom 08.07.21. Abfluss war.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p data-bbox="430 1331 1178 1410">Hier ist die Überschwemmung bei der Mülistrasse zu sehen. Der Austritt bei der Dohle die hinten im Bild zu sehen ist, wird vom Diechselbach verursacht.</p> <p data-bbox="1187 1331 1928 1410">Das Bild zeigt die Pfaffnern nach der Einmündung des Hohriedbachs vom Hochwasser 08.07.21</p>	

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
			
		<p>Auf diesem Bild ist die Pfaffnern zu sehen auf der Höhe der Parkweier am 08.07.21. Die Einmündung des Hohriedbachs folgt kurz vor diesem Bild.</p>	<p>Auf diesem Bild ist der Hohriedbach zu sehen bei Spielhof-Hohriedstrasse vom Hochwasser 08.07.21.</p>
			
		<p>Das Bild zeigt den Hohriedbach hinter dem Spielhof, dabei ist unklar ob es den maximalen Abfluss zeigt.</p>	<p>Auf diesem Bild ist der Burgbach nach dem Hochwasser vom 08.07.21 zusehen. Zudem die Ablagerung von dem mitgeführten Material, welche die maximale Abflussenergiehöhe zeigt.</p>

NAT ABBR	WYN	MAD	STF	STU	WAU	EGO	ZOF	OFT	WEID_Priv	
Station	Wynau	Madiswil	Grossdietwil / Stampfi	St. Urban	Wauwil	Egolzwil	Zofingen	Ofringen	Weid (Priv)	
X	2626404	2627198	2633880	2631125	2644250	2642912	2638189	2638550	2634670	
Y	1233848	1223330	1222350	1230015	1226050	1225540	1236711	1239370	1231710	
Hoehe	422	542	710	491	506	521	432	414	505	
Zeitintervall	7-7	7-7	7-7	7-7	7-7	7-7	7-7	7-7	7-7	
Statistik	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	
25.03.1888							49.0			
26.03.1888							9.0			
27.03.1888							10.0			
28.03.1888							8.0			
29.03.1888							5.0			
30.03.1888							3.0			
31.03.1888							3.0			
07.06.1915				10.0			2.2			
08.06.1915				14.8			13.2			
09.06.1915				3.1			2.7			
10.06.1915				3.9			2.0			
11.06.1915				0.0			1.5			
22.06.1936				2.9			3.2			
23.06.1936				1.0			3.0			
24.06.1936				0.0			0.0			
25.06.1936				6.2			10.3			
26.06.1936				9.0			12.5			
28.07.1984	0.1	0.5		0.0	0.0	0.0		0.0		
29.07.1984	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
30.07.1984	0.0	9.0		18.2	0.5	0.5		15.6		
31.07.1984	26.7	70.0		54.9	36.0	36.0		46.3		
01.08.1984	1.1	0.3		0.1	0.0	0.0		0.2		
14.06.1986	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
15.06.1986	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
16.06.1986	6.9	17.0		28.6	12.5	12.5		4.5		
17.06.1986	6.4	2.1		9.2	3.1	3.1		3.9		
18.06.1986	0.2	0.2		0.0	0.2	0.2		0.7		
19.06.1986	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		38.2		
20.06.1986	8.0	21.1		6.3	33.0	33.0		15.1		
21.06.1986	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
29.08.1987	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
30.08.1987	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
31.08.1987	0.3	0.6		0.0	0.0	0.0		0.0		
01.09.1987	3.0	28.1		41.2	8.8	8.8		28.4		
02.09.1987	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		
16.08.2005	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.6	0.0			
17.08.2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0			
18.08.2005	49.1	10.3	11.5	19.8	37.3	37.3	6.7			
19.08.2005	2.9	3.4	30.0	3.2	36.1	36.1	8.6			
20.08.2005	4.6	6.3	12.2	5.4	10.1	10.1	2.4			
21.08.2005	24.2	41.3	36.6	31.3	45.7	45.7	26.2			
22.08.2005	7.9	11.7	20.8	13.0	15.5	15.5	14.3			
23.08.2005	2.1	0.4	0.2	0.0	0.5	0.5	0.0			
04.08.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
05.08.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
06.08.2007	10.9	13.5	3.7	5.0	3.9	3.9	1.7			
07.08.2007	6.9	27.0	24.2	20.8	21.6	21.6	16.5			
08.08.2007	71.5	60.1	62.8	54.5	76.0	76.0	79.4			
09.08.2007	8.1	8.0	4.9	12.3	7.3	7.3	6.8			
10.08.2007	2.4	1.9	1.8	2.1	3.3	3.3	4.5			
01.07.2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
02.07.2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8			
03.07.2009	7.0	0.6	0.4	9.1	12.0	12.0	13.4			
04.07.2009	17.8	0.6	0.6	11.3	13.8	13.8	0.6			
05.07.2009	17.0	24.0	14.9	16.7	11.2	11.2	7.0			
21.08.2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
22.08.2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
23.08.2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0
24.08.2011	13.0	29.3	27.4	24.3	14.8	12.9	58.4			64.0
25.08.2011	0.2	0.1	0.6	1.2	1.1	0.6	0.4			0.0
19.06.2021	0.0	0.1	0.0	0.1		0.0	0.0			
20.06.2021	12.9	18.3	11.2	12.9		20.9	13.9			
21.06.2021	12.0	14.5	23.6	15.0		9.3	11.1			
22.06.2021	5.2	6.7	6.9	4.5		3.2	25.2			
23.06.2021	50.9	16.2	7.1	33.9		4.5	16.8			29.0
24.06.2021	33.5	66.5	66.2	73.9		36.7	58.7			61.0
23.-24.6.2021	84.4	82.7	73.3	107.8		41.2	75.5			90.0
25.06.2021	0.0	0.5	0.0	0.3		0.1	0.0			0.0
03.07.2021	2.4	3.4	3.9	3.7		3.2	3.4			
04.07.2021	7.4	7.5	10.6	10.8		7.1	9.2			
05.07.2021	0.0	0.2	0.0	0.2		0.1	0.0			
06.07.2021	17.6	16.6	17.0	15.8		19.4	18.3			23.0
07.07.2021	8.4	12.7	17.7	9.0		21.0	19.4			39.0
08.07.2021	32.7	40.0	35.5	29.9		34.2	13.9			26.0
09.07.2021	0.0	0.1	0.0	0.0		0.0	0.0			

Anhang 2: In der Umgebung der Pfaffnern während grosser Hochwasser gemessene Niederschlagsmengen.
 5-jährliche und seltenere Werte sind speziell markiert.

Anhang 3: Bodenfeuchteauswertungen



Bodentypen

O	Regosol
F	Fluvisol
R	Rendzina
Rk	Ranker
K	Kalkbraunerde
B	Braunerde
T	Parabraunerde
Y	Braunerde-Pseudogley
I	Pseudogley
V	Braunerde-Gley
W	Buntgley
G	Fahlgley
A	Aueboden
N	Halbmoor
M	Moor

Körnung

· · ·	Sand (S), sandig (s)
— —	Silt (U), siltig (u)
= =	Ton (T), tonig (t)
= _ ·	Lehm (L), lehmig (l)
= ·	Ls
= · · ·	stark sandiger L (Ls4)
▽ ≡	Wasserspiegel

Haupthorizonte

O	org. Auflagehorizont
T	Torf/hydromorpher org. Horizont
A	organo-mineralischer Oberbodenhorizont
E	Eluvialhorizont
I	Illuvialhorizont
B	Mittelbodenhorizont
C	Untergrund (Ausgangsmaterial)
R	Felsunterlage

Unterteilung Haupthorizonte

Zustand org. Substanz

l	Streuzone
f	Fermentationszone
h	Humusstoffzone
a	Anmoor
org	organisches Material im Unterboden

Verwitterungszustand

ch	chem. vollständig verwittert
w	Verwitterungshorizont
z	Zersatz Muttergestein

Merkmale des Sauerstoffmangels

m	Marmorierungen
cn	punktförmige, schwarze Knöllchen
(g)	schwache Rostfleckung
g	mässige Rostfleckung
gg	Horizont mit starker Rostfleckung infolge periodischer Vernässung
r	dauernd, vernässter, stark reduzierter Horizont



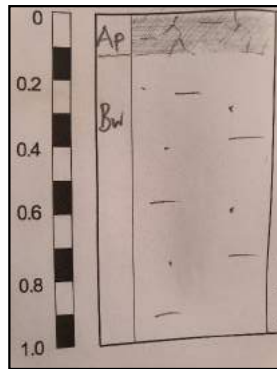
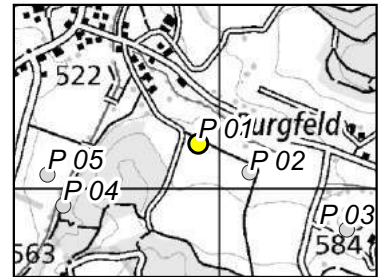
Sondierung-Nr.: P 01

Datum Zeit: 27.04.2022 07:47

Sondierung: Pürkhauer

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

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ap	Us	Braun	
100 cm	Bw	Us	Braun	

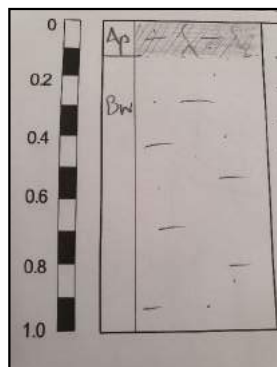
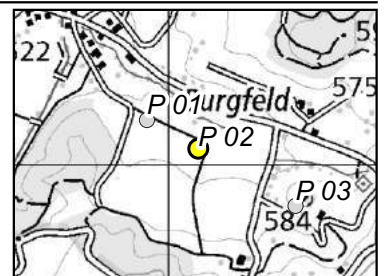
Sondierung-Nr.: P 02

Datum Zeit: 27.04.2022 07:54

Sondierung: Pürkhauer

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

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

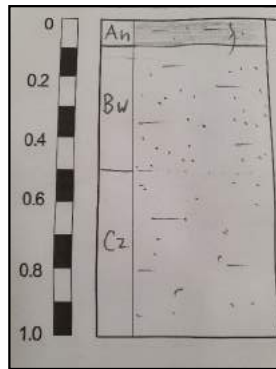
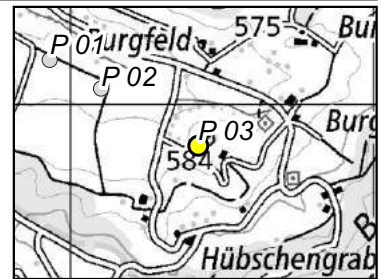


bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ap	Us	Braun	
100 cm	Bw	Us	Braun	Nach unten dichter werdend



Sondierung-Nr.: P 03

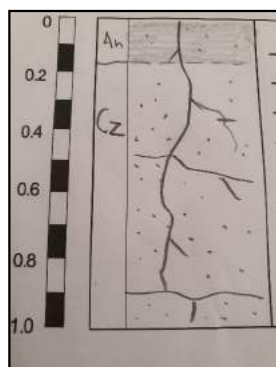
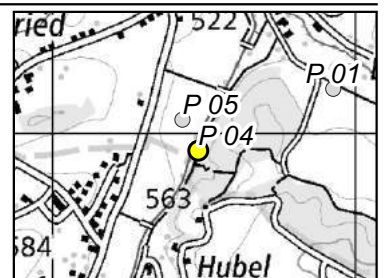
Datum Zeit: 27.04.2022 08:12
 Sondierung: Pürkhauer
 Landnutzung: Weide
 Situation: Steilhang
 Geologie: Obere Meeresmolasse (OMM)
 Bodentyp: Braunerde
 Infiltration: normal
 Speichervermögen: mässig
 dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3
 Abflusstyp: 3
 Bemerkung: Speichervermögen mässig-gross



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
10 cm	Ah	Us		
50 cm	Bw	Su	Braun	
90 cm	Cz	Su	Braun	

Sondierung-Nr.: P 04

Datum Zeit: 27.04.2022 08:32
 Sondierung: Aufschluss
 Landnutzung: Buchen-Mischwald
 Situation: Steilhang
 Geologie: OMM
 Bodentyp: Braunerde
 Infiltration: übermässig
 Speichervermögen: mässig
 dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3
 Abflusstyp: 3
 Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
115 cm	Cz	S	Beige	



Sondierung-Nr.: P 05

Datum Zeit: 27.04.2022 08:36

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese

Situation: Mulde

Geologie: OMM

Bodentyp: Buntgley

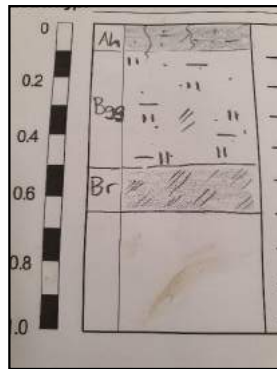
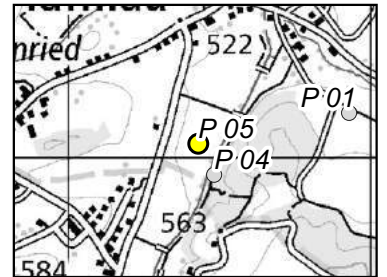
Infiltration: leicht gehemmt

Speichervermögen: gering

dom. Abflussprozess: SOF2

Abflusstyp: 2, 3

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
10 cm	Ah	Us	Braun	Sehr sandig
50 cm	Bgg	Us	Braun, Grau	Rost Fleckig, Us bis Su
60 cm	Br	Su		

Sondierung-Nr.: P 06

Datum Zeit: 27.04.2022 08:53

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese

Situation: Flache Mulde

Geologie: Moräne

Bodentyp: Pseudogley

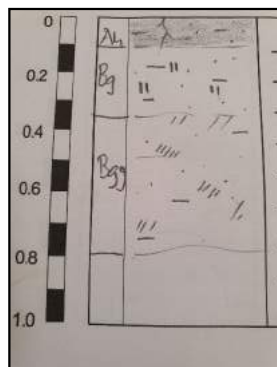
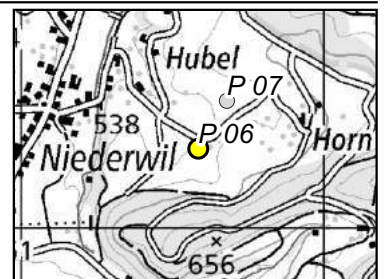
Infiltration: normal

Speichervermögen: mässig

dom. Abflussprozess: SOF2

Abflusstyp: 3

Bemerkung:

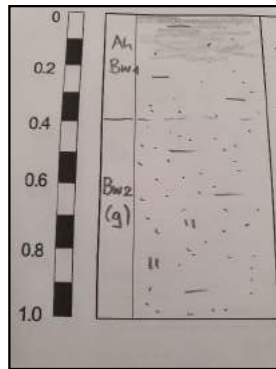
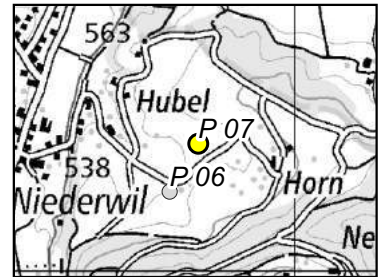


bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
10 cm	Ah	Us		
35 cm	Bg	Us		
80 cm	Bgg	Us		



Sondierung-Nr.: P 07

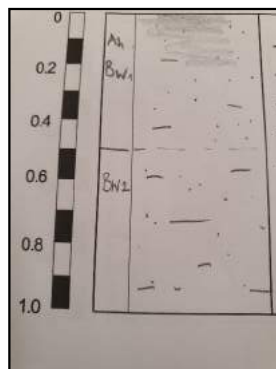
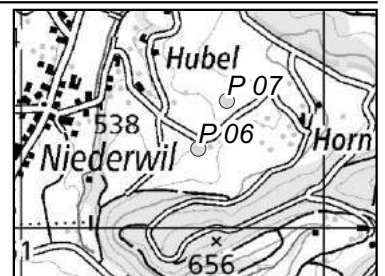
Datum Zeit: 27.04.2022 08:59
 Sondierung: Pürkhauer
 Landnutzung: Weide
 Situation: Mulde
 Geologie: Moräne
 Bodentyp: Braunerde, leicht pseudovergleyt
 Infiltration: normal
 Speichervermögen: mässig
 dom. Abflussprozess: SOF3
 Abflusstyp: 3, 4
 Bemerkung: Infiltration leicht gehemmt bis normal



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
40 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	Ah/Bw1
100 cm	Bw	Su	Braun	Bw2(g)

Sondierung-Nr.: P 08

Datum Zeit: 27.04.2022 09:19
 Sondierung: Pürkhauer
 Landnutzung: Mähwiese
 Situation: Flache Mulde
 Geologie: OMM, Moräne
 Bodentyp: Braunerde
 Infiltration: normal
 Speichervermögen: gross
 dom. Abflussprozess: SOF3
 Abflusstyp: 4
 Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
50 cm	Ah	Us	Braun	Bw1
90 cm	Bw	Us	Beige	Bw2



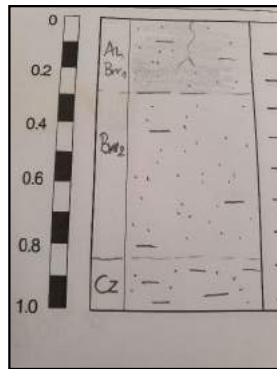
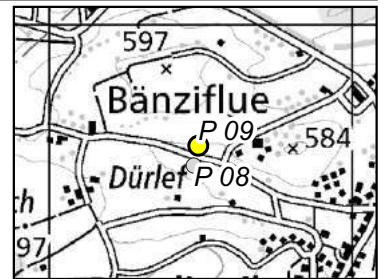
Sondierung-Nr.: P 09

Datum Zeit: 27.04.2022 09:29

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese
Situation: Unterhang
Geologie: Moräne
Bodentyp: Braunerde

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
30 cm	Ah	Su	Braun	Bw1
80 cm	Bw	Su	Beige	Bw2
95 cm	Cz	Us	Beige	

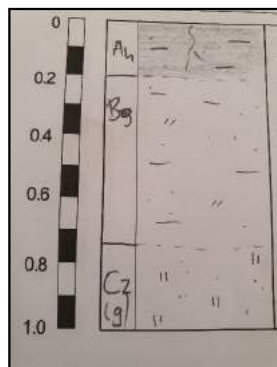
Sondierung-Nr.: P 10

Datum Zeit: 27.04.2022 09:52

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Weide
Situation: Hang und
Geologie: Moräne
Bodentyp: Braunerde

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Us	Braun	
75 cm	Bg	Us	Braun	Stellenweise grau fleckig
90 cm	Cz	Su	Braun	Leichte rostflecken (g)



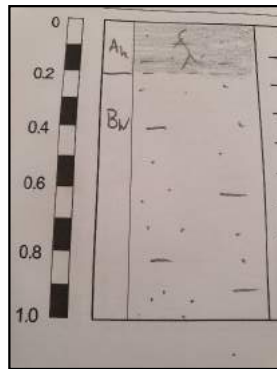
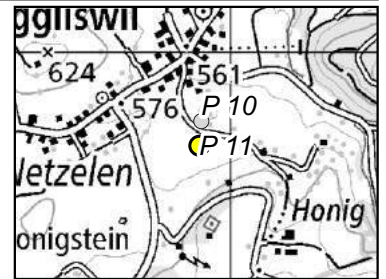
Sondierung-Nr.: P 11

Datum Zeit: 27.04.2022 09:52

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
20 cm	Ah	Us	Braun	
95 cm	Bw	Us		

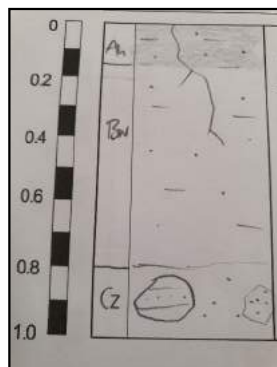
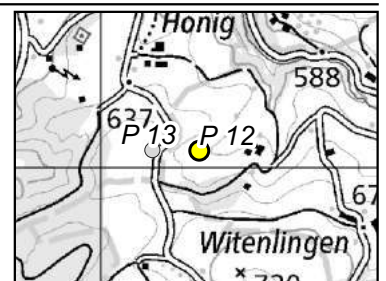
Sondierung-Nr.: P 12

Datum Zeit: 27.04.2022 10:19

Sondierung: Aufschluss

Landnutzung: Ödland
Situation: Steilhang
Geologie: OMM
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: normal
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SOF3, SSF3
Abflusstyp: 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
80 cm	Bw	Us	Beige	
110 cm	Cz	S	Beige	Mit Sandsteinblöcken



Sondierung-Nr.: P 13

Datum Zeit: 27.04.2022 10:19

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese

Situation: Mulde

Geologie: Moräne

Bodentyp: Braunerde

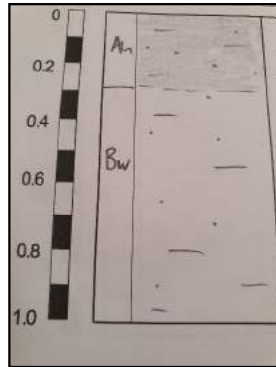
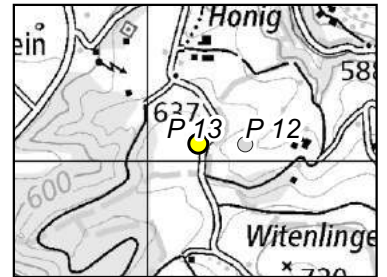
Infiltration: normal

Speichervermögen: gross

dom. Abflussprozess: SOF3

Abflusstyp: 3, 4

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
30 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
95 cm	Bw	Us	Braun	

Sondierung-Nr.: P 14

Datum Zeit: 27.04.2022 10:19

Sondierung: Aufschluss

Landnutzung: Weide

Situation: Hang

Geologie: OMM, Moräne

Bodentyp: Braunerde

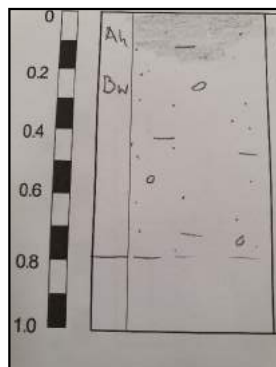
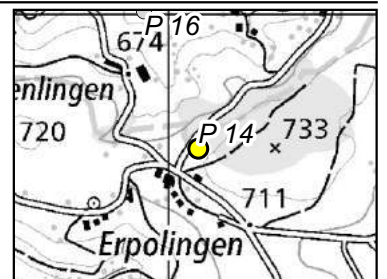
Infiltration: normal

Speichervermögen: gross

dom. Abflussprozess: SOF3

Abflusstyp: 4

Bemerkung: Gekappte Braunerde



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



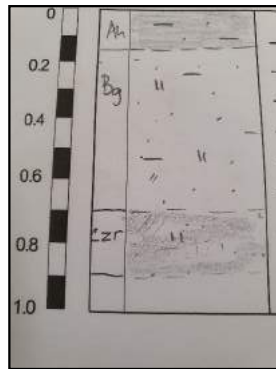
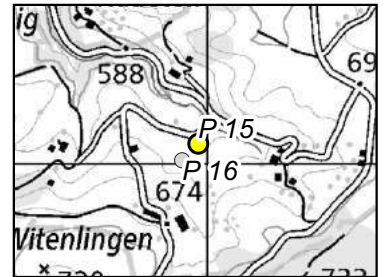
Sondierung-Nr.: P 15

Datum Zeit: 27.04.2022 10:19

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese
Situation: Mulde
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp: Pseudogley

Infiltration: leicht gehemmt
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SOF2
Abflusstyp: 3
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ah	Us	Braun	
70 cm	Bg	Su	Beige-braun	
90 cm	Czir	Us	Rot-grau-brau	

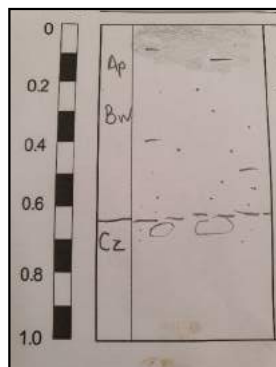
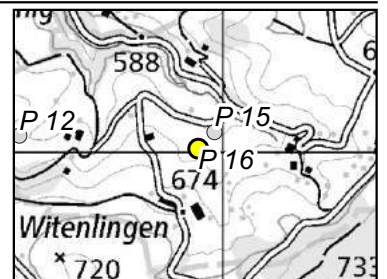
Sondierung-Nr.: P 16

Datum Zeit: 27.04.2022 11:04

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese
Situation: Flache Mulde
Geologie: Moräne
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: leicht gehemmt
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SOF3
Abflusstyp: 3
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
60 cm	Ap/Bw	Us		
80 cm	Cz	Us		



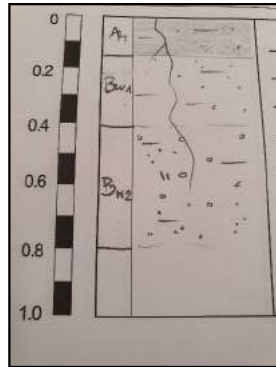
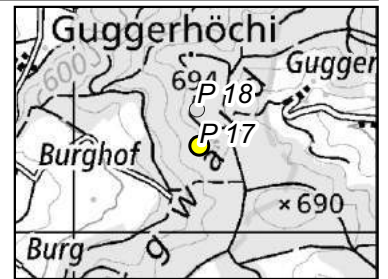
Sondierung-Nr.: P 17

Datum Zeit: 27.04.2022 11:25

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mischwald
Situation: Mulde
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: übermässig
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SSF3, DP
Abflusstyp: 4, 5
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ah	Us	Braun	
40 cm	Bw1	Us	Braun	Sehr sandig Us, rostflecken mit fein Kies
80 cm	Bw2	Us	Braun	

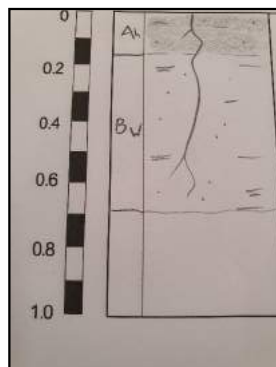
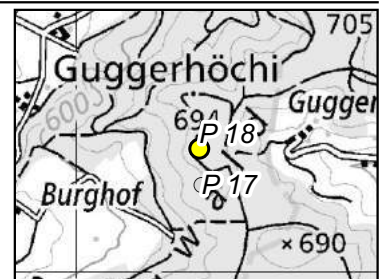
Sondierung-Nr.: P 18

Datum Zeit: 27.04.2022 11:38

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mischwald
Situation: Hang
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: übermässig
Speichervermögen: gross
dom. Abflussprozess: SSF3
Abflusstyp: 3
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ah	Lu	Dunkelbraun	
70 cm	Bw	Ls	Beige	



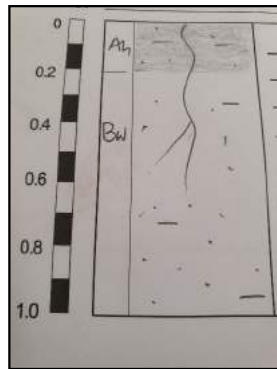
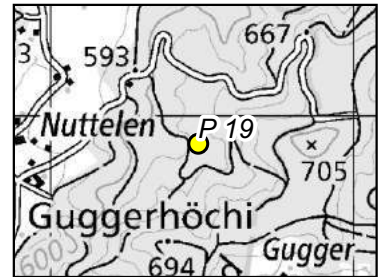
Sondierung-Nr.: P 19

Datum Zeit: 27.04.2022 11:54

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mischwald
Situation: Mulde
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp:

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
90 cm	Bw	Su	Braun	

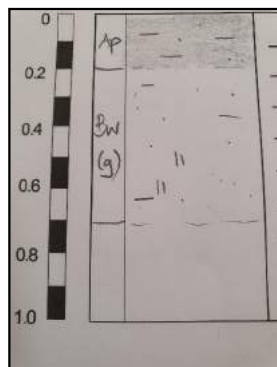
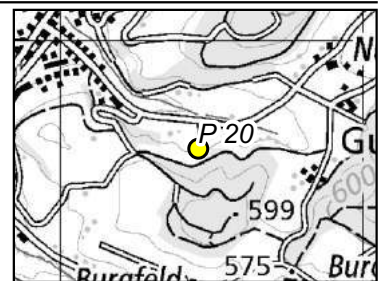
Sondierung-Nr.: P 20

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Acker
Situation: Flache Mulde
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp: Braunerde

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ap	Us	Braun	
70 cm	Bw(g)	Su	Braun	Bw(g), Rostflecken



Sondierung-Nr.: P 21

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Fichtenforst

Situation: Mulde

Geologie: Moräne

Bodentyp: Braunerde

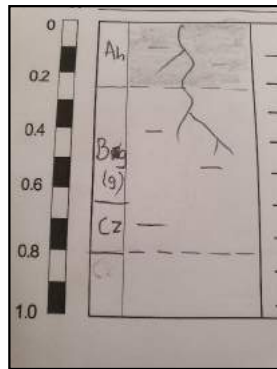
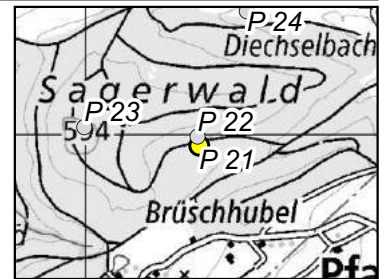
Infiltration: normal

Speichervermögen: mässig

dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3

Abflusstyp: 3

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
65 cm	Bg(g)	Su	Braun	
80 cm	Cz	Su	Beige	

Sondierung-Nr.: P 22

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Fichtenforst

Situation: Hang

Geologie: Moräne

Bodentyp: Braunerde

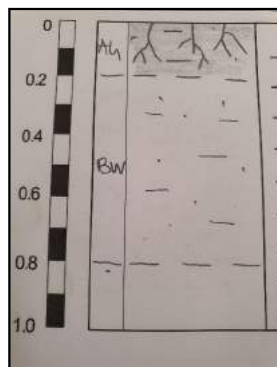
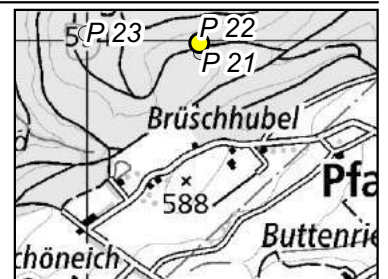
Infiltration: normal

Speichervermögen: gross

dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3

Abflusstyp:

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Us	Dunkelbraun	
80 cm	Bw	Us	Beige	Einzelne Rostflecken

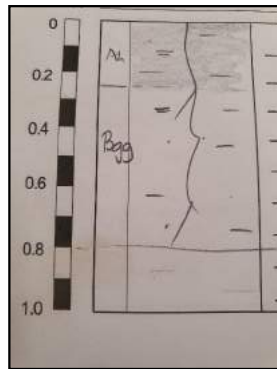
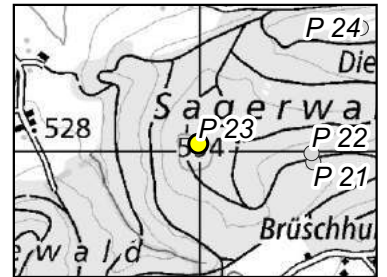
Sondierung-Nr.: P 23

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mischwald
Situation: Hochfläche
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp: Pseudogley

Infiltration: leicht gehemmt
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SSF2, SSF3
Abflusstyp: 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Lu	Dunkelbraun	
80 cm	Bgg	Lu	Hell beige	Marmorierung

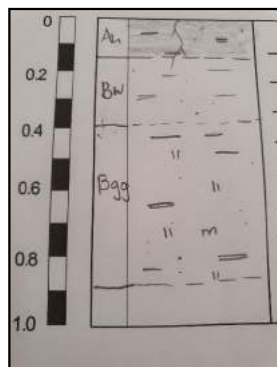
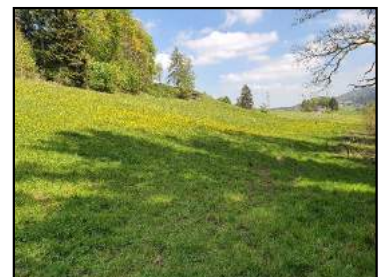
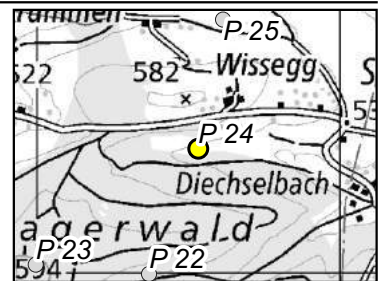
Sondierung-Nr.: P 24

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Weide
Situation: Hang
Geologie: Untere Süsswassermolasse (USM)
Bodentyp: Pseudogley

Infiltration: leicht gehemmt
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SOF2
Abflusstyp: 3
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ah	Lu	Dunkelbraun	
40 cm	Bw	Lu	Braun	Rostflecken
90 cm	Bg(g)	Lu	Braun leicht beige	



Sondierung-Nr.: P 25

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese

Situation: Mulde

Geologie: USM

Bodentyp: Braunerde-Pyseudogley

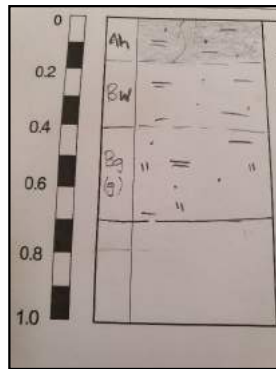
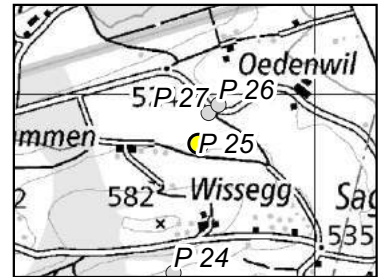
Infiltration: normal

Speichervermögen: mässig

dom. Abflussprozess: SOF3

Abflusstyp: 3, 4

Bemerkung: Speichervermögen mässig-gross



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
15 cm	Ah	Lu	Braun	
40 cm	Bw	Lu	Braun	
70 cm	Bg(g)	Lu	Braun	

Sondierung-Nr.: P 26

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Acker

Situation: Flachhang

Geologie: USM

Bodentyp: Kultisol

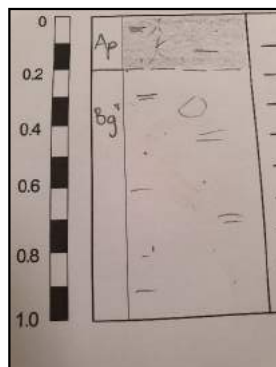
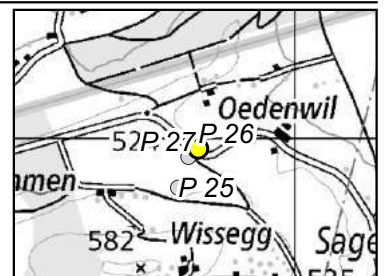
Infiltration: normal

Speichervermögen: gross

dom. Abflussprozess: SOF3

Abflusstyp: 3

Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ap	Lu	Braun	
90 cm	Bw(g)	Lu/Us gemischt		Evtl. künstliche Auffüllung



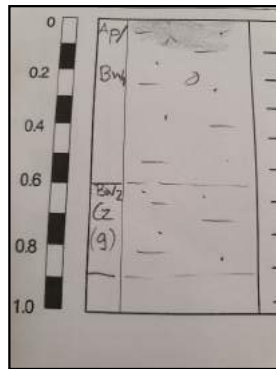
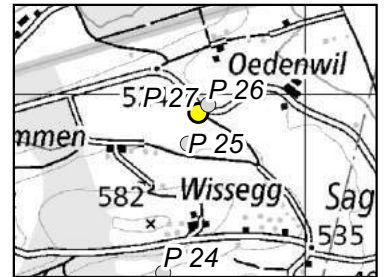
Sondierung-Nr.: P 27

Datum Zeit: 27.04.2022 13:08

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Acker
Situation: Hangfuss
Geologie: USM
Bodentyp: Braunerde

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
60 cm	Ap/Bw	Us	Braun	
90 cm	Bw/Cz (g)	Us		

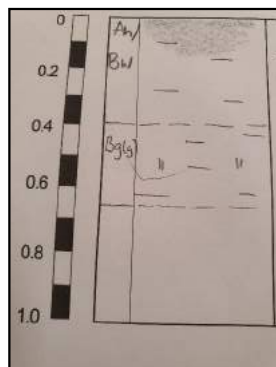
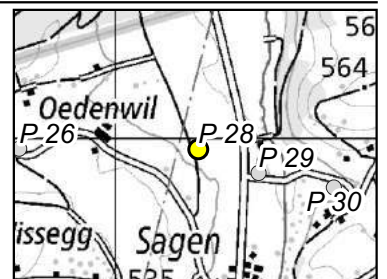
Sondierung-Nr.: P 28

Datum Zeit: 27.04.2022 15:00

Sondierung:

Landnutzung: Weide
Situation: Terasse
Geologie: USM
Bodentyp: Braunerde-Pyseudogley

Infiltration: normal
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SOF2, SOF3
Abflusstyp: 3
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
40 cm	Ah/Bw	Us	Braun	
65 cm	Bg(g)	U	Beige	



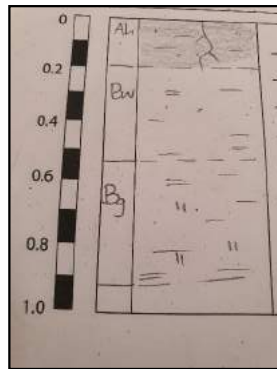
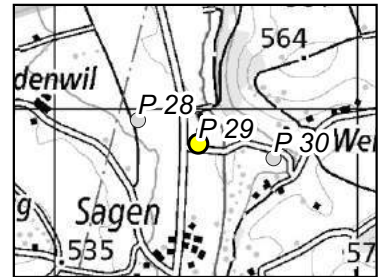
Sondierung-Nr.: P 29

Datum Zeit: 27.04.2022 15:10

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Weide
Situation: Hangfuss
Geologie: Alluvion
Bodentyp: Braunerde-Pyseudogley

Infiltration: normal
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SOF2, SOF3
Abflusstyp: 3, 4
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Us	Braun	Sandig
55 cm	Bw	Lu	Braun	
95 cm	Bg	Lu	Beige	Rostflecken leicht marmoriert

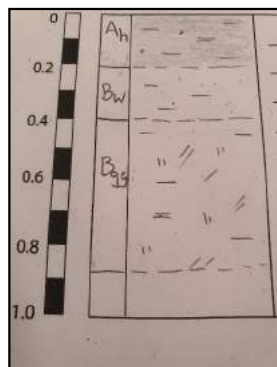
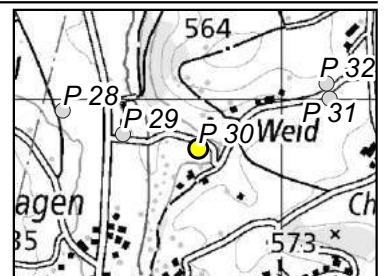
Sondierung-Nr.: P 30

Datum Zeit: 27.04.2022 15:23

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Mähwiese
Situation: Mulde
Geologie: USM
Bodentyp: Braunerde

Infiltration: normal
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SOF2
Abflusstyp: 3, 2
Bemerkung:



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
20 cm	Ah	Lu	Braun	
40 cm	Bw	Us	Braun	
90 cm	Bgg	U	Graubeige	



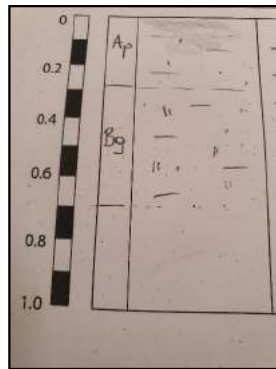
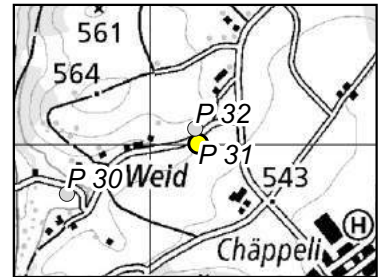
Sondierung-Nr.: P 31

Datum Zeit: 27.04.2022 15:39

Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Acker
Situation: Mulde
Geologie: OMM Moräne
Bodentyp: Braunerde

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



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
30 cm	Ap	Us	Braun	
70 cm	Bg	Us	Beige	Nach unten dichter gelagert

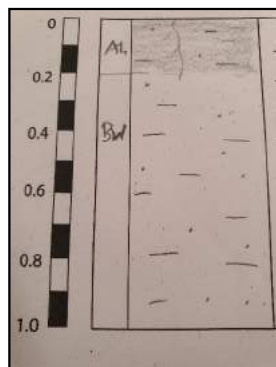
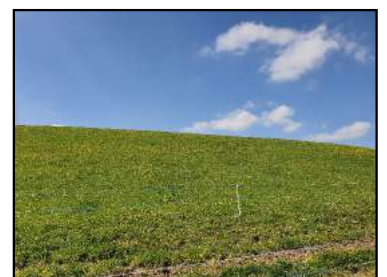
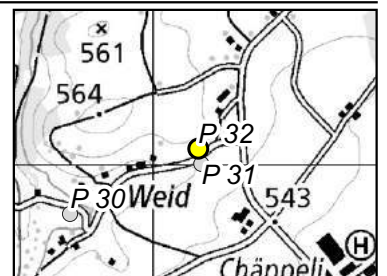
Sondierung-Nr.: P 32

Datum Zeit: 27.04.2022 15:43

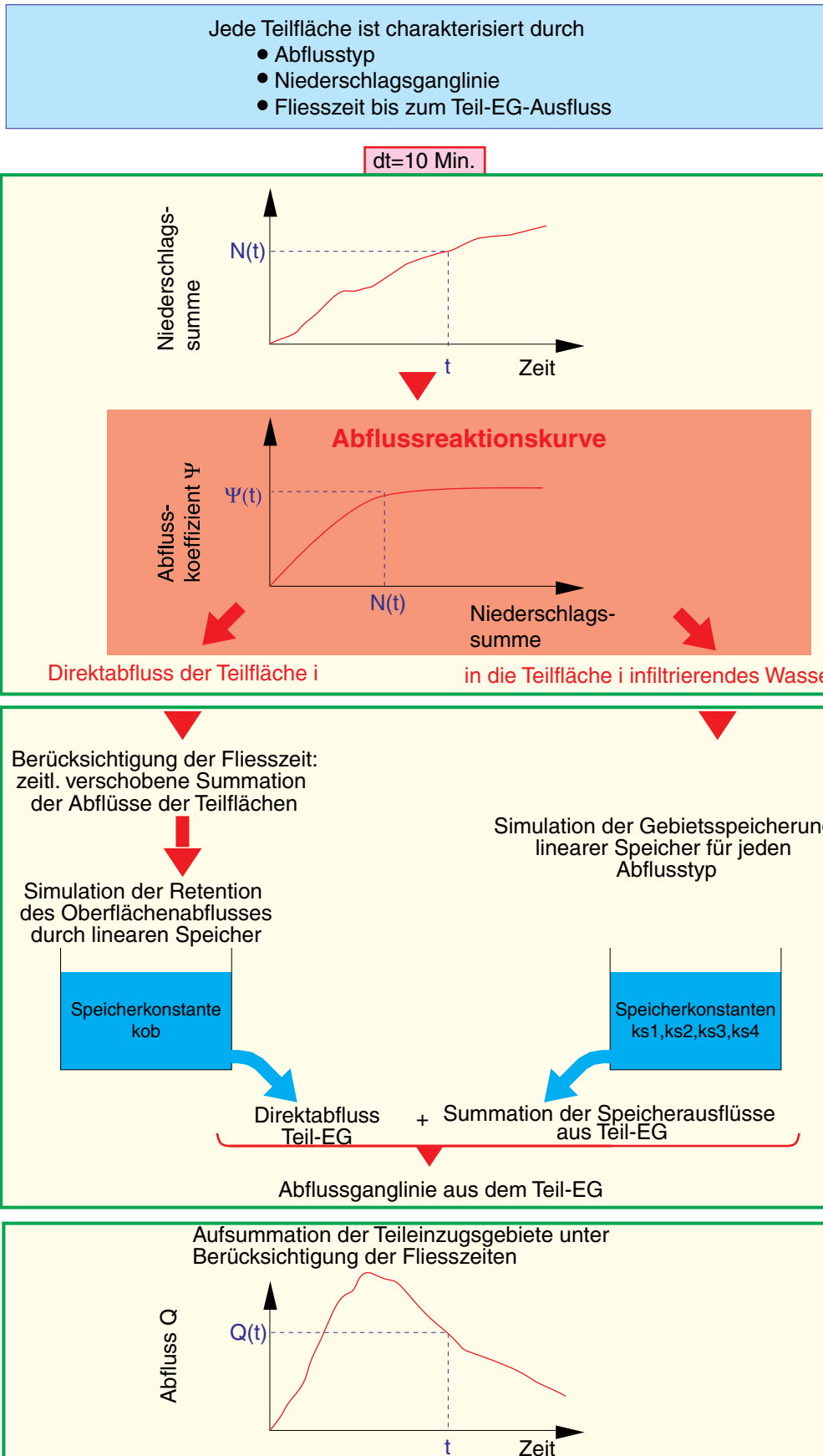
Sondierung: Pürkhauer

Landnutzung: Acker
Situation: Hang
Geologie: OMM, Moräne
Bodentyp:

Infiltration: normal
Speichervermögen: mässig
dom. Abflussprozess: SOF2
Abflusstyp: 3, 4
Bemerkung: Speichervermögen massig gross



bis Tiefe	Horizont	Bodenart	Farbe	Bemerkung
25 cm	Ah	Us	Braun	
95 cm	Bw	Us	Braun	



Anhang 5: Schematischer Aufbau des Niederschlags-Abfluss-Modells Q_{AREA} . Zentrales Element ist die Abflussreaktionskurve, die für jede Teilfläche die Beziehung zwischen Niederschlags-summe und Abflusskoeffizient beschreibt.

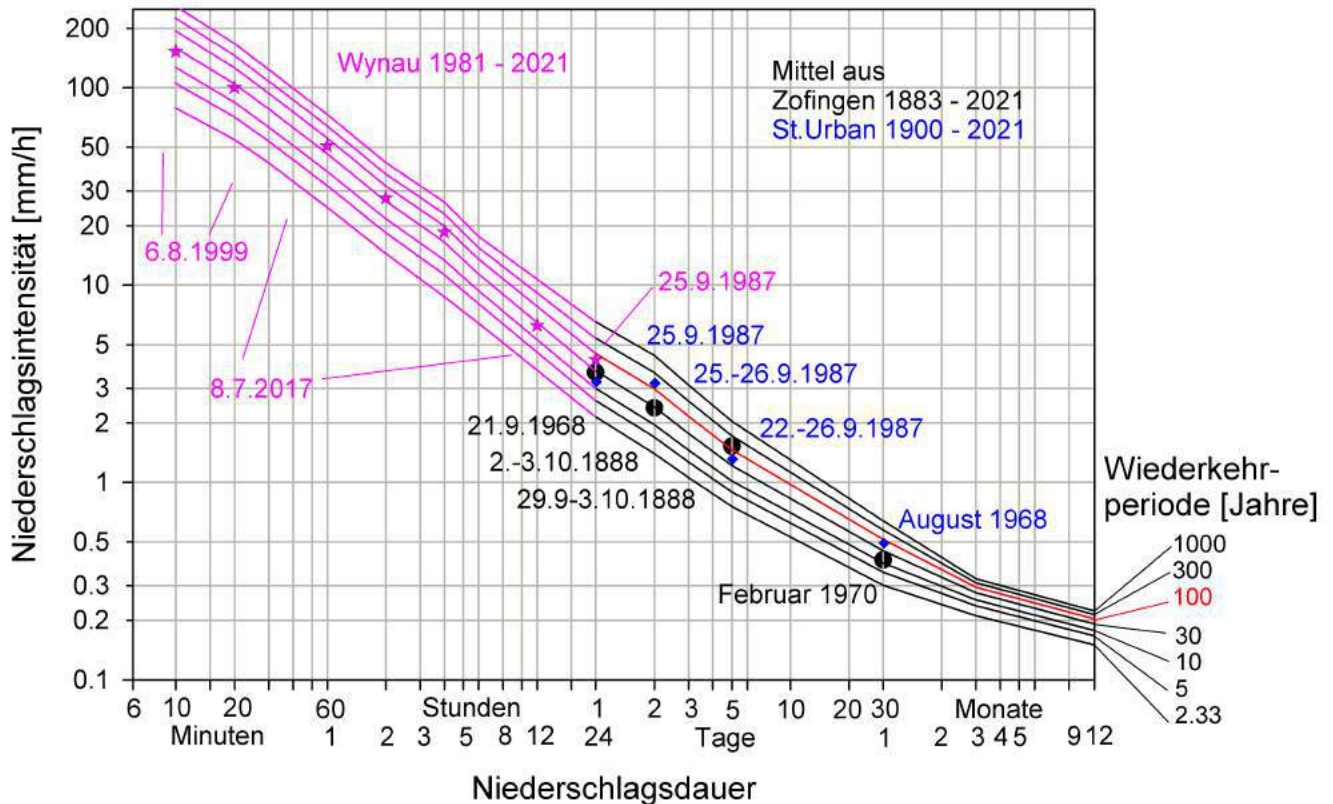
Zofingen 1883 - 2021
St.Urban 1900 - 2021
Wynau 1981 - 2021

Regen und Schnee berücksichtigt

1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima

1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima

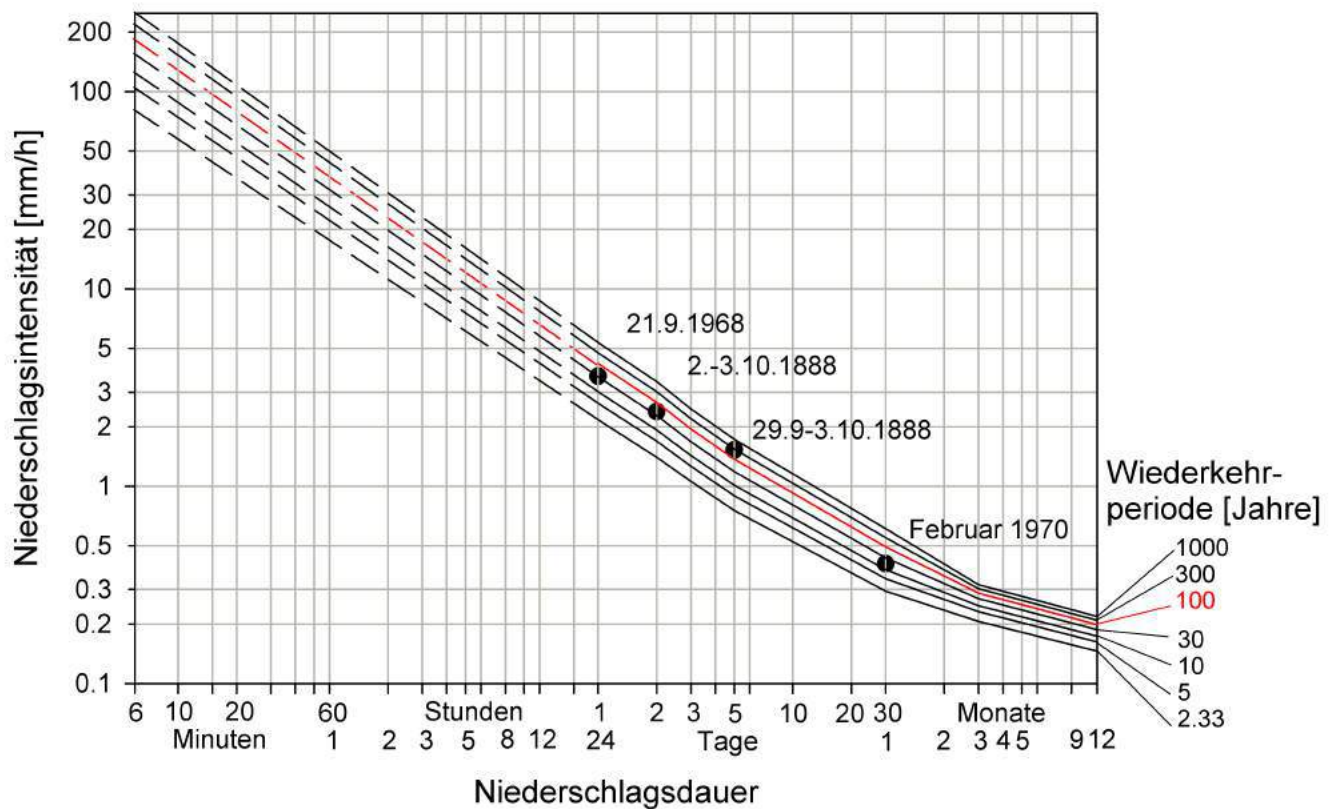
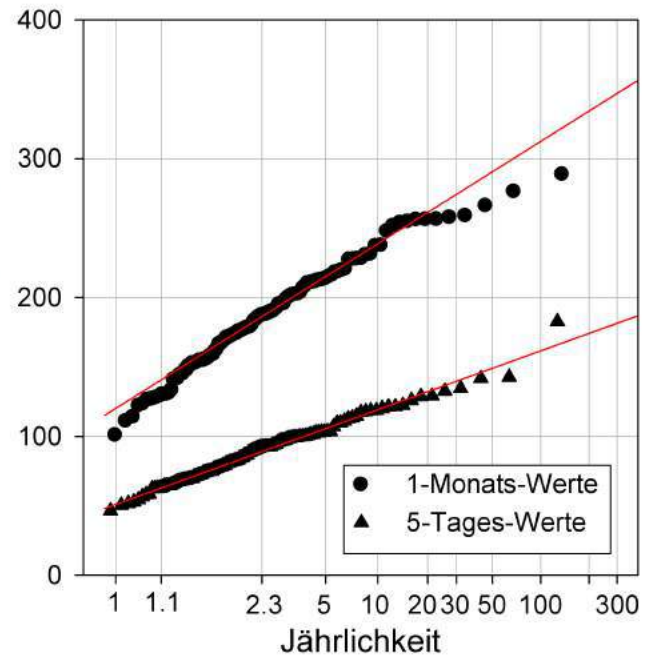
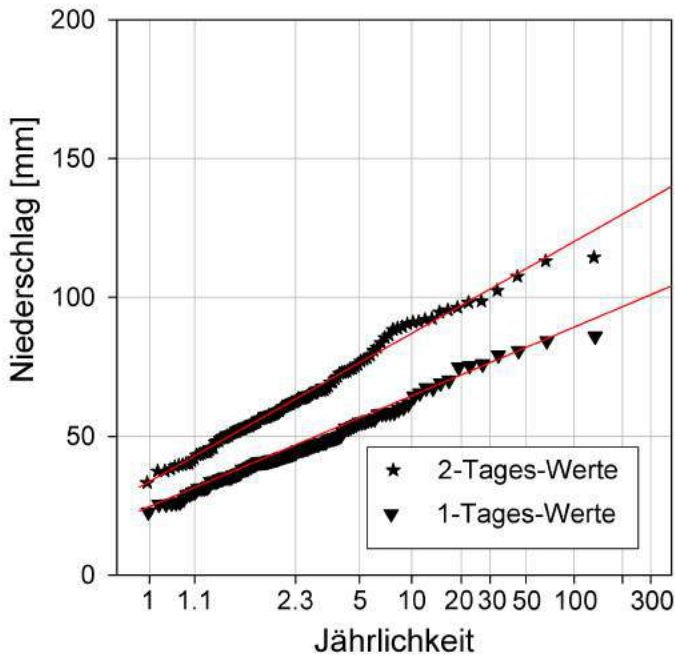
Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima



Interpolierte Niederschlagsintensitäten in mm/h für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern (auf der Grundlage der Station Wynau für Werte bis 12 h Dauer und der Stationen Zofingen und St.Urban für Werte ab 1 d)

Niederschlagsdauer	0.5h	1h	2h	4h	6h	8h	12h	1d	2d	3d	5d	1mt	3mt	1yr
Jährlichkeit														
2.33	42	25	14	9	6.4	5.1	3.7	2.2	1.4	1.1	0.8	0.30	0.21	0.15
5	54	32	18	11	8.1	6.4	4.6	2.6	1.7	1.3	0.9	0.35	0.24	0.17
10	63	38	22	13	9.4	7.4	5.3	3.0	2.0	1.5	1.0	0.39	0.25	0.18
20	73	43	25	15	10.7	8.4	6.0	3.4	2.2	1.7	1.1	0.43	0.27	0.19
30	78	46	27	17	11.4	9.0	6.5	3.7	2.4	1.8	1.2	0.45	0.28	0.19
50	85	50	29	18	12.4	9.8	7.0	4.0	2.6	1.9	1.3	0.48	0.28	0.20
100	94	56	32	20	13.6	10.8	7.8	4.5	3.0	2.2	1.5	0.52	0.30	0.20
200	103	61	35	22	14.8	11.9	8.7	5.0	3.4	2.4	1.6	0.55	0.31	0.21
300	108	64	37	23	15.6	12.5	9.2	5.4	3.6	2.6	1.7	0.57	0.31	0.21
500	115	68	39	24	16.5	13.3	9.8	5.8	3.9	2.8	1.9	0.60	0.32	0.22
1000	124	74	42	26	17.7	14.4	10.7	6.5	4.4	3.1	2.0	0.64	0.33	0.22

<h1>Zofingen</h1> <h2>1883 - 2021</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima



<h1>Zofingen</h1> <h2>1883 - 2021</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2- und 5-Tagesmaxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte

Rang	1 - Tag		2 - Tage		5 - Tage		1 - Monat		3 - Monate		1 - Jahr	
	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]
1	21.09.1968	86	02.-03.10.1888	114	29.09.-03.10.1888	182	Feb 1970	290	Mai-Jul 2021	641	1965	1488
2	11.07.2016	85	07.-08.11.1944	113	16.01.-20.01.1910	141	Aug 1968	277	Mai-Jul 2016	590	1910	1483
3	08.07.2017	81	11.-12.07.2016	107	05.03.-09.03.1896	132	Jul 1930	267	Jun-Aug 2007	586	1922	1476
4	08.08.2007	79	06.-07.08.1978	102	11.01.-15.01.1955	128	Nov 1950	260	Jul-Sep 1968	584	1981	1411
5	17.09.2006	76	01.-02.05.2015	98	20.06.-24.06.2021	126	Jul 1936	259	Jun-Aug 1910	541	1995	1400
6	26.09.1991	70	17.-18.09.2006	98	27.05.-31.05.2013	123	Nov 1972	257	Okt-Dez 1923	534	1939	1399
7	01.05.2015	69	07.-08.08.2007	96	05.11.-09.11.1944	122	Aug 2007	257	Jun-Aug 1914	532	2016	1378
8	17.05.1902	68	28.-29.07.2013	94	22.12.-26.12.1995	122	Dez 2011	256	Okt-Dez 1981	522	1999	1377
9	17.09.1946	66	19.-20.01.1910	92	19.06.-23.06.1973	121	Aug 1956	255	Sep-Nov 2002	515	2001	1376
10	07.08.1978	65	28.-29.04.1977	91	06.08.-10.08.1978	121	Jun 2016	252	Jul-Sep 1936	509	1966	1364

Interpolierte Niederschlagsintensitäten in mm/h für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern

Niederschlagsdauer	0.5h	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	2d	3d	5d	1mt	3mt	1yr
Jährlichkeit														
2.33	28	18	11	7	5.4	4.5	3.4	2.2	1.4	1.1	0.8	0.29	0.21	0.15
5	35	22	14	9	6.7	5.5	4.2	2.6	1.7	1.3	0.9	0.34	0.23	0.16
10	42	26	16	10	7.7	6.4	4.8	3.0	1.9	1.4	1.0	0.38	0.25	0.17
20	48	30	18	12	8.7	7.2	5.4	3.4	2.2	1.6	1.1	0.41	0.26	0.18
30	51	32	20	12	9.3	7.6	5.8	3.6	2.3	1.7	1.2	0.43	0.27	0.19
50	56	34	21	13	10.0	8.2	6.2	3.8	2.4	1.8	1.3	0.46	0.28	0.19
100	62	38	24	15	11.0	9.0	6.8	4.2	2.7	2.0	1.4	0.49	0.29	0.20
200	67	42	26	16	11.9	9.8	7.4	4.5	2.9	2.1	1.5	0.53	0.30	0.21
300	71	44	27	17	12.5	10.2	7.7	4.7	3.0	2.2	1.5	0.55	0.30	0.21
500	75	46	29	18	13.2	10.8	8.1	5.0	3.2	2.3	1.6	0.57	0.31	0.21
1000	81	50	31	19	14.2	11.6	8.7	5.4	3.4	2.5	1.7	0.61	0.32	0.22

St. Urban

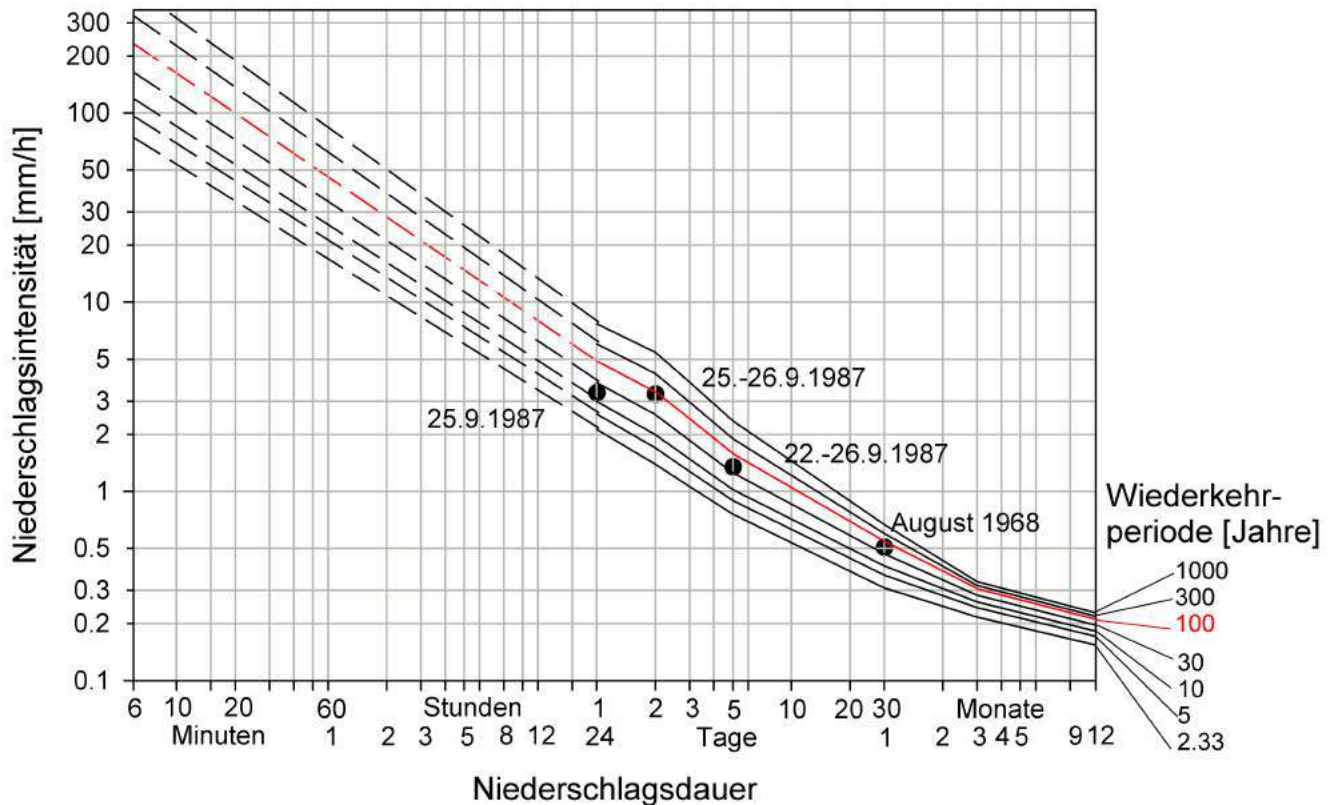
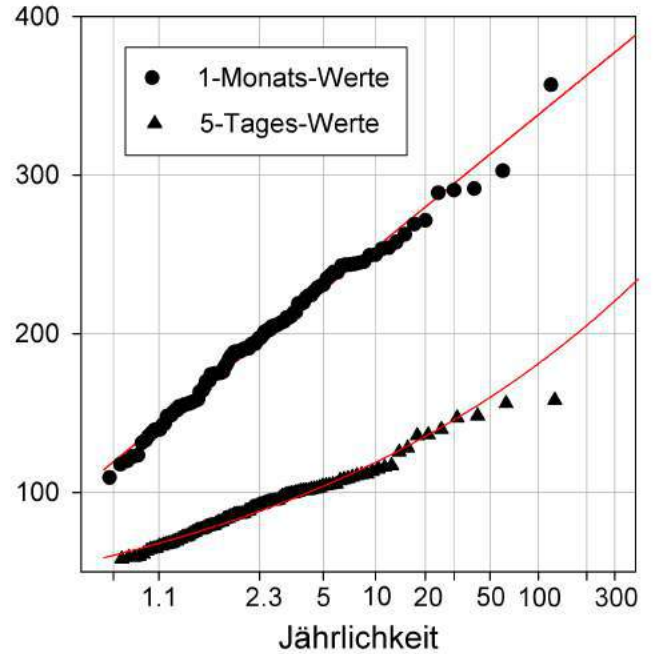
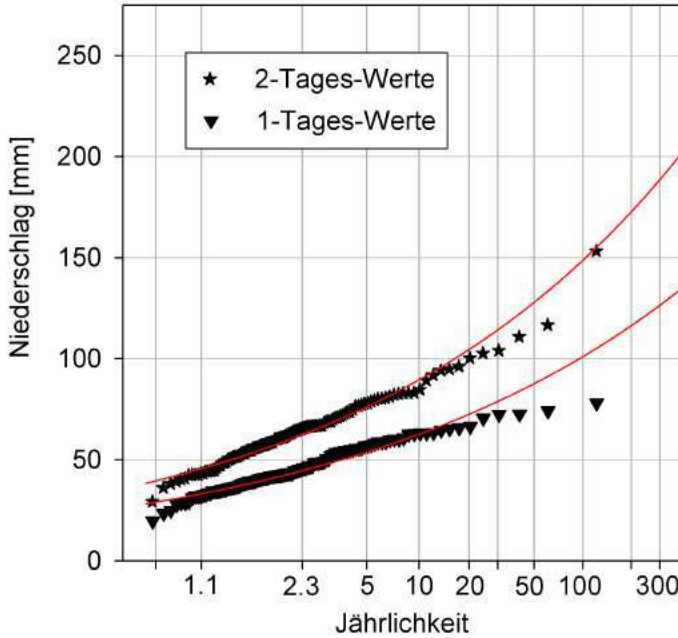
1900 - 2021

Regen und Schnee berücksichtigt

1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima

2. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima

Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima



<h1>St. Urban</h1> <h2>1900 - 2021</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima
	2. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte

Rang	1 - Tag		2 - Tage		5 - Tage		1 - Monat		3 - Monate		1 - Jahr	
	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]
1	25.09.1987	78	25.-26.09.1987	154	22.09.-26.09.1987	158	Aug 1968	357	Jul-Sep 1968	677	1965	1541
2	24.12.1995	74	07.-08.11.1944	117	17.01.-21.01.1910	147	Nov 1950	303	Mai-Jul 2021	641	1939	1530
3	24.06.2021	74	13.-14.02.1990	111	10.02.-14.02.1990	140	Feb 1970	291	Mai-Jul 1955	575	1910	1514
4	20.11.2015	73	23.-24.06.2021	108	29.08.-02.09.1944	139	Nov 1972	290	Feb-Apr 1970	566	1922	1498
5	07.11.1944	71	28.-29.07.2013	104	11.02.-15.02.1990	137	Nov 1944	289	Okt-Dez 1923	565	1999	1497
6	29.08.1964	66	24.-25.12.1995	103	12.11.-16.11.1972	136	Mrz 2001	271	Jun-Aug 1910	549	1952	1445
7	26.06.1945	66	30.-01.05.2015	101	29.04.-03.05.2015	133	Okt 1939	263	Okt-Dez 1952	541	1940	1442
8	11.07.2016	65	21.-22.11.1972	95	22.12.-26.12.1995	128	Aug 1956	258	Nov-Jan 1919	540	1986	1436
9	21.08.1954	65	19.-20.01.1910	94	21.06.-25.06.2021	128	Sep 1940	254	Feb-Apr 1937	539	1955	1424
10	21.09.1968	63	28.-29.04.1977	90	08.01.-12.01.2004	126	Dez 1919	253	Jul-Sep 1940	538	1981	1424

Interpolierte bzw. extrapolierte Niederschlagsintensitäten in mm/h für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern

Niederschlagsdauer	0.5h	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	2d	3d	5d	1mt	3mt	1yr
Jährlichkeit														
2.33	26	16	10	6.7	5.2	4.3	3.3	2.1	1.4	1.1	0.8	0.31	0.22	0.15
5	32	21	13	8.3	6.4	5.3	4.0	2.6	1.7	1.3	0.9	0.36	0.24	0.17
10	39	25	16	9.9	7.5	6.2	4.7	3.0	2.0	1.5	1.0	0.40	0.26	0.18
20	48	30	19	11.6	8.8	7.3	5.5	3.5	2.3	1.7	1.2	0.44	0.28	0.19
30	53	33	21	12.8	9.7	8.0	6.0	3.8	2.5	1.9	1.3	0.47	0.28	0.20
50	61	38	23	14.4	10.9	8.9	6.7	4.2	2.8	2.1	1.4	0.50	0.29	0.20
100	73	45	27	16.9	12.7	10.4	7.8	4.8	3.3	2.4	1.6	0.54	0.30	0.21
200	87	53	32	19.8	14.9	12.1	9.1	5.5	3.8	2.7	1.8	0.58	0.31	0.21
300	97	59	36	21.8	16.3	13.2	9.9	6.0	4.2	3.0	1.9	0.60	0.32	0.22
500	110	67	40	24.5	18.2	14.8	11.0	6.7	4.7	3.3	2.1	0.63	0.32	0.22
1000	132	79	48	28.7	21.3	17.2	12.8	7.7	5.4	3.8	2.4	0.67	0.33	0.23

Bemerkungen

Messbeginn 1899, Standortwechsel: 1953, 1955, 1958, 1983

Wynau

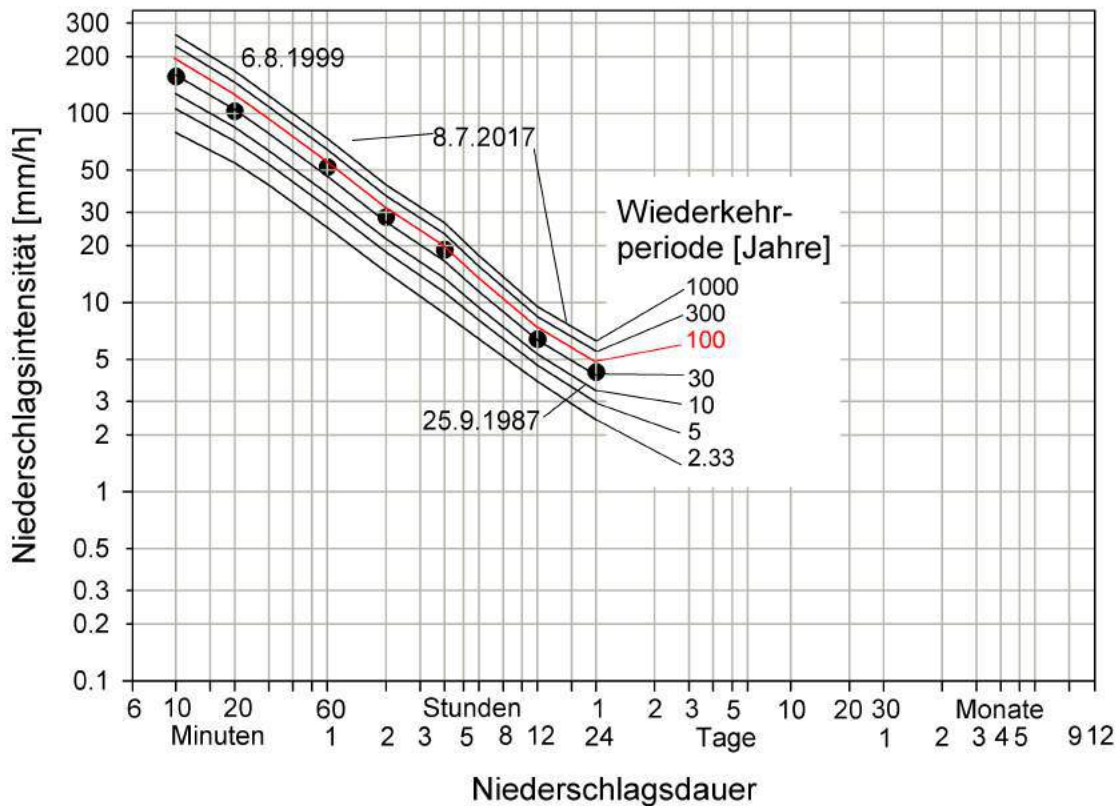
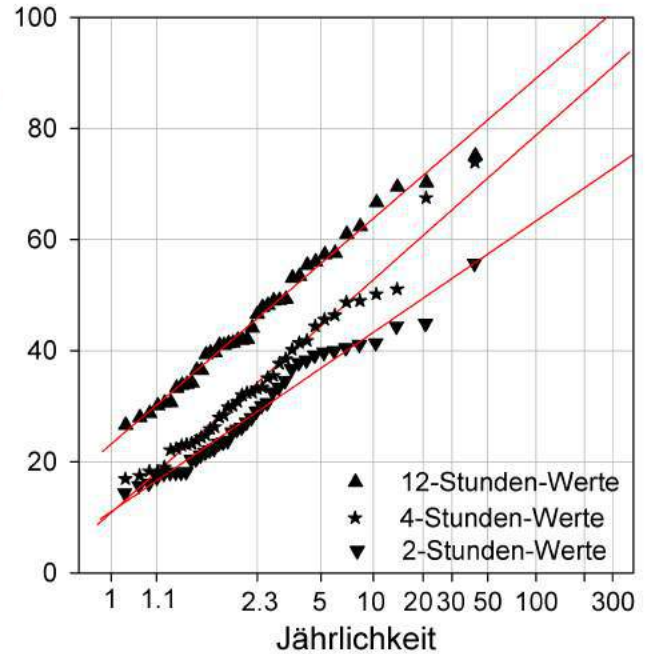
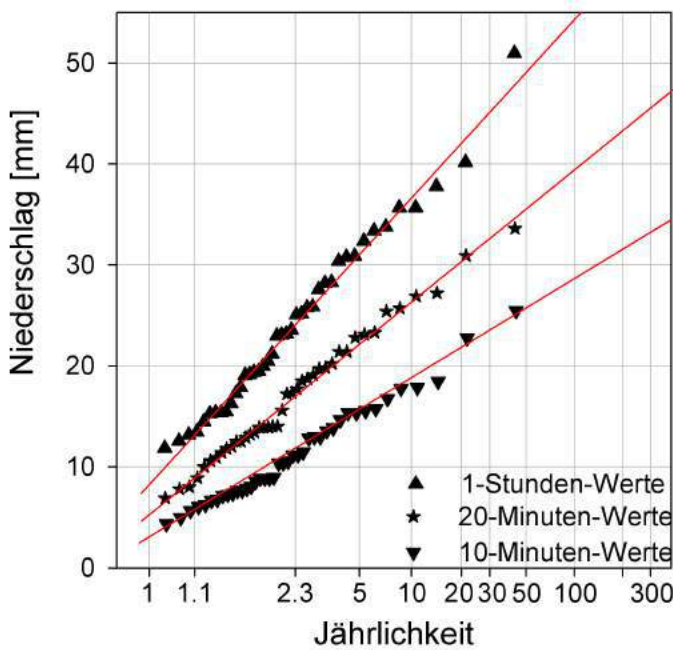
1981 - 2021

Regen und Schnee berücksichtigt

1. Extremalverteilung: 10-Min - 12-Stunden-Maxima

1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima

Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima



<h1>Wynau</h1> <h2>1981 - 2021</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 10-Min - 12-Stunden-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte
 Datengrundlage: 10-Minuten-Werte 1981 - 2021

Rang	10 Min.		20 Min.		1 h		4 h	
	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]
1	06.08.1999	25.5	06.08.1999	33.5	08.07.2017	44.7	08.07.2017	50.9
2	12.07.2011	22.8	08.07.2017	30.8	23.06.2021	37.4	23.06.2021	40.1
3	07.06.2007	18.5	23.06.2021	27.1	06.08.1999	35.1	01.08.2008	37.7
4	08.07.2017	17.9	08.10.2004	26.8	08.08.1995	32.9	06.08.1999	35.6
5	23.06.2021	17.8	08.08.1995	25.6	20.07.2014	30.8	08.08.1995	35.6
6	08.10.2004	16.8	30.07.1993	25.3	30.07.1993	30.6	08.10.2004	33.7
7	30.07.1993	15.8	12.07.2011	23.2	08.10.2004	29.5	30.06.1990	33.3
8	20.07.2014	15.6	20.07.2014	23.0	05.07.2006	28.2	20.07.2014	32.3
9	22.07.2003	15.4	07.06.2007	22.7	28.06.2021	27.1	30.07.1993	30.8
10	17.08.1982	15.4	03.09.2000	21.3	18.07.1994	26.6	18.08.2005	30.7

Interpolierte bzw. extrapolierte Niederschlagsintensitäten in mm/h
 für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern

Niederschlagsdauer	10m	20m	0.5h	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h
Jährlichkeit										
2.33	79	55	42	25	14	9	6.4	5.2	3.8	2.4
5	105	71	54	32	18	11	8.1	6.4	4.7	3.0
10	127	85	63	38	22	13	9.4	7.4	5.3	3.4
20	147	97	73	43	25	15	10.7	8.4	6.0	3.9
30	159	105	78	46	27	17	11.4	9.0	6.3	4.1
50	174	114	85	50	29	18	12.4	9.6	6.8	4.4
100	194	126	94	56	32	20	13.6	10.6	7.4	4.9
200	214	139	103	61	35	22	14.8	11.5	8.1	5.3
300	226	146	108	64	37	23	15.6	12.1	8.4	5.5
500	240	155	115	68	39	24	16.5	12.7	8.9	5.9
1000	260	168	124	74	42	26	17.7	13.7	9.5	6.3