

Überprüfung der hydrologische Grundlagen für die Erneuerung der Gefahrenkarte am Steinibach in Kriens (Kt. LU)



*Hochwasserrückhaltebecken Steinibach nach dem Hochwasser 2005
(Bild: www.horw.ch)*

Auftraggeber:
Verkehr und Infrastruktur des Kt. Luzern (vif)
Abteilung Naturgefahren

Bericht 15 / 210

Reinach, Mai 2016

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	2
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Vorgehen.....	2
1.3 Gebietskennwerte.....	2
1.4 Gewährsleute.....	4
2 Verwendete Daten und Unterlagen.....	5
3 Historische Hochwasser.....	7
3.1 Einleitung.....	7
3.2 Ausbaugeschichte des Steinibachs und Veränderungen im EZG.....	7
3.3 Pegelmessungen am HRB Schlund- und Steinibach.....	8
3.4 Die historischen Hochwasser am Steinibach.....	9
3.5 Schlussfolgerung.....	9
4 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets.....	11
4.1 Einleitung.....	11
4.2 Geologie und Tektonik.....	11
4.3 Böden.....	11
4.4 Abflussprozesse und Abflusstypen auf natürlichen (nicht überbauten) Flächen.....	12
4.5 Abflussreaktion der Siedlungsgebiete.....	12
4.6 Abflussreaktionskurven.....	13
5 Abflussberechnungen.....	18
5.1 Einleitung.....	18
5.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea.....	18
5.3 Modellverifikation.....	20
5.4 Niederschlag-Szenarien.....	22
5.5 Abflussberechnungen.....	23
6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit.....	25
6.1 Einleitung.....	25
6.2 Steinibach beim HRB Steinibach (BP 5).....	25
7 Anhang.....	28

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Das Einzugsgebiet (EZG) des Steinibachs ist ca. 2.9 km² gross und schliesst südlich an den Schlossbach an. Das Gebiet reicht bis auf 1'200 m ü.M. In der Ebene mündet zuerst der Schloss-/Schlimbach in den Steinibach, unmittelbar oberhalb der Querung der Bahn werden die Hochwasser direkt in den Vierwaldstättersee entlastet. Die Nieder- und Mittelwasser unterqueren die Bahnlinie und münden kurz darauf in den Dorfbach von Horw (ca. 440 m ü.M.). Der Untergrund besteht im obersten Teil des EZG aus Moräne der Rissvergletscherung. Der Mittelteil ist aus Mergeln der Unteren Süsswassermolasse, teilweise aus verrutschter Würm-Moräne aufgebaut und ist stellenweise vernässt. Den Unterlauf bilden Bach-Schwemmkegel.

Die unterschiedliche Abflussbereitschaft die EZG-Flächen und ihr komplexes Zusammenwirken im Starkregenfall muss bei einer Hochwasserabschätzung berücksichtigt werden. Das Schadenspotenzial ist im Unterlauf gross.

Für die Revision der Gefahrenkarten sind die hydrologischen Grundlagen wesentlich. Wird die Abflussreaktion der Bäche grob unter- oder überschätzt, schlägt sich dies in der Einschätzung der Hochwassergefahr und in den nachfolgenden Hochwasserschutzprojekten nieder. Deshalb besteht ein grosses Interesse nach verlässlichen Hochwasserabflüssen unterschiedlicher Jährlichkeit. Die bestehenden hydrologischen Grundlagen sollen daher mit einer detaillierten Untersuchung überprüft werden.

1.2 Vorgehen

Der vorliegende Bericht stellt die Resultate der durchgeführten Untersuchungen dar. Im Kapitel 2 sind die verwendeten Daten und Unterlagen zusammengestellt. Kapitel 3 zeigt die aus den Erkundungen der historischen Hochwasser gewonnenen Erkenntnisse. In Kapitel 4 wird das EZG nach seiner Abflussbereitschaft beurteilt. Auf der Abflussbereitschaft aufbauend wurde ein Niederschlag-Abflussmodell aufgebaut und damit erfolgten die Berechnungen (Kap. 5). Im Kapitel 6 werden die Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit hergeleitet.

1.3 Gebietskennwerte

Diese Kennwerte beziehen sich auf die in Abbildung 1.1 aufgeführten Teileinzugsgebiete.

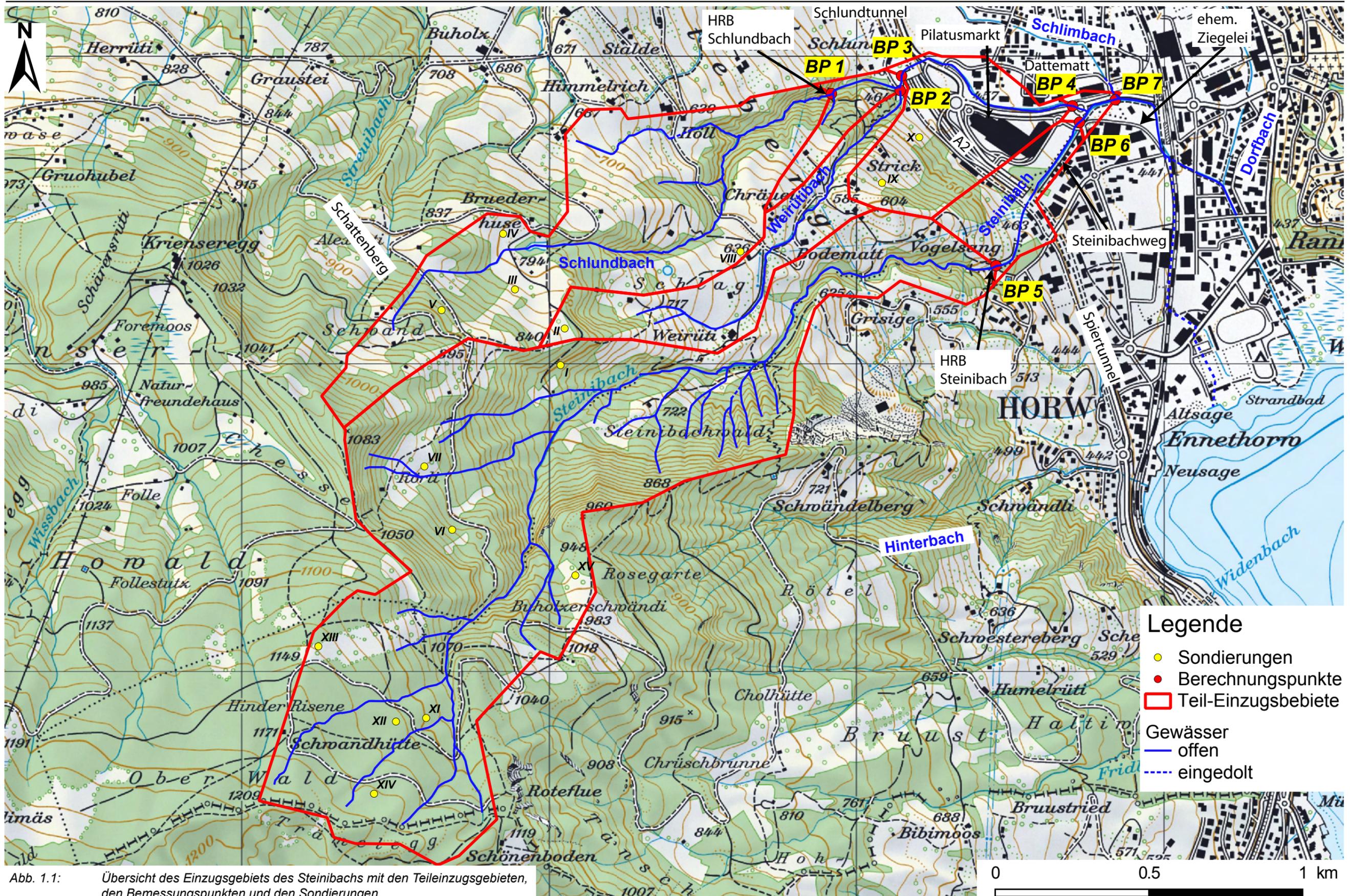


Abb. 1.1: Übersicht des Einzugsgebiets des Steinbachs mit den Teileinzugsgebieten, den Bemessungspunkten und den Sondierungen.

Tab. 1.1: Gebietskennwerte

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (EZG): Trämelegg	1'209 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (EZG): Mündung Schlimbach	443 m ü. M.
EZG oberhalb BP 1: Schlundbach, HRB	0.65 km ²
EZG oberhalb BP 2: Weirütibach, Chräuelbach	0.22 km ²
EZG oberhalb BP 3: Schlundbach, Querung A2	0.93 km ²
EZG oberhalb BP 4: Schlundbach, oberhalb Mündung Steinibach	1.15 km ²
EZG oberhalb BP 5: Steinibach, HRB	1.61 km ²
EZG oberhalb BP 6: Steinibach, oberhalb Mündung Schlundbach	1.72 km ²
EZG oberhalb BP 7: Steinibach, oberhalb Mündung Schlimbach	2.88 km ²

1.4 Gewährsleute

Folgende Personen haben uns bei unseren Untersuchungen mit Informationen zu Hochwasser in Kriens, resp. Horw unterstützt:

- Brechbühl Jörg, Kriens, Stv. Bachmeister seit 4 J. (überblickt 7 Jahre)
- Buholzer Fritz, Kriens, ehemaliger Feuerwehr(FW)-Kommandant (1983-1992)
- Bünter Christoph, Horw, Förster, Wuhraufseher (seit mehr als 20 J.)
- Fankhauser Hans, Kriens, Stv. Werkhofleiter, ehemaliger FW-Offizier (überblickt 23 J.)
- Heer Roman, Horw, Brunnenmeister und Anwohner Steinibach (überblickt 60 J.)
- Lisibach Erwin (Jg. 1952), Kriens, Werkhofleiter (überblickt 55 J.)
- Meyer Beat, FW-Kommandant Horw (überblickt ca. 15 J.)
- Müller Paul (Jg. 1931), Kriens, Mitglied FW 1952-1981, ab 1970 als Kommandant
- Renggli Marcel, Kriens, ehemaliger langjähriger Bachmeister
- Schnüriger Markus, Kriens, Bachmeister seit 7 J. (überblickt 15 J.)
- Strebel Urs, Sachbearbeiter Tiefbau Gde. Horw (60-jährig)

2 Verwendete Daten und Unterlagen

- Botschaft 1201 des Bundesrates an die Bundesversammlung betreffend Bewilligung eines Bundesbeitrages an den Kanton Luzern für die Korrektur des Horwbaches und seiner Zuflüsse bei Horw. (Vom 23. Januar 1920.), Bundesblatt Nr. 4 , 72. Jg. Band I, 28.1.1920.
- Bundesamt für Landestopographie (2015): Geocover-Daten Swisstopo. <https://map.geo.admin.ch/>
- FAL, Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau (1988): Bodenkarte Luzern mit Erläuterungen, 1 : 25'000.
- Gees A. (1997): Analyse historische und seltener Hochwasser in der Schweiz - Bedeutung für das Bemessungshochwasser. Geographisches Institut der Universität Bern. Geographica Bernensia G53.
- IHW-ETH Zürich, Scherrer AG (2002): Der Einfluss der Siedlungsentwicklung auf die extremen Hochwasser der Glatt (ZH), Bericht 01/24, Dez. 2002.
- Ingenieurbüro Maggia (1998a): HW-Rückhaltebecken Schlundbach, Detailprojekt, Technischer Bericht, A2 Abschnitt 6 Arsenal Kt.- Grenze LU/NW. Registernr. B 049.8157.084.
- Ingenieurbüro Maggia (1998b): HW-Rückhaltebecken Steinibach, Detailprojekt, Technischer Bericht, A2 Abschnitt 6 Arsenal Kt.- Grenze LU/NW, Registernr. B 045.8159.027.
- Kanton Luzern (2015): Niederschlagsdaten von verschiedenen Stationen.
- Kopp J. (1962): Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Luzern mit Erläuterungen. Hrsg. Schweiz. Geologischen Kommission.
- Lanz-Stauffer, H. und Rommel C. (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. Kant. Tiefbauamt Luzern.
- MeteoSchweiz: Niederschlagsdaten verschiedener Starkregenereignisse. Witterungsberichte und Annalen, diverse Jahre.
- Naef F., Scherrer S., Zurbrügg C. (1999): Grosse Hochwasser – unterschiedliche Reaktion von Einzugsgebieten auf Starkregen. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Blatt 5.7.
- Naef F., Scherrer S., Frauchiger R. (2004): Wie beeinflusst die Siedlungsentwicklung von Zürich-Nord die Hochwasser der Glatt? Wasser Energie Luft. 96. Jg., Heft 11/12, S. 331-338.
- OLV Luzern (1993): Orientierungslaufkarte Krienseregg, Massstab 1: 15'000, Aequidistanz 5 m.
- Regierungsrat Kt. LU (2008): Botschaft des Regierungsrates an den Kantonsrat zum Entwurf eines Dekrets über einen Sonderkredit für den Ausbau des Talackerbachs und des Schlossbachs, Gemeinde Kriens. B 71. 26. August 2008. Luzern.
- Röthlisberger G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte WSL, Berichtnummer 330.
- Scherrer AG (2004): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz.
- Scherrer AG (2009): Abschätzung seltener Hochwasser an der Kleinen Schliere in Alpnach (Kt. OW); Auftraggeber: Wuhrgenossenschaft der Kleinen Schliere; Bericht 09/110, Juni 2009.
- Scherrer AG (2015): Hydrologische Grundlagen für den Götzentalbach in Dierikon (Kt. LU) unter Berücksichtigung des Hochwassers vom 7. Juni 2015. Auftraggeber vif Kt. LU, Bericht 15/202, August 2015.
- Scherrer AG (2016a): Hydrologische Grundlagen für die Überprüfung des Hochwasserschutzes und die Erneuerung der Gefahrenkarte am Krienbach in Kriens (Kt. LU). Auftraggeber vif Kt. LU, Bericht 15/206, März 2016.

- Scherrer AG (2016b): Überprüfung der hydrologische Grundlagen für die Erneuerung der Gefahrenkarte am Schlossbach in Kriens (Kt. LU). Auftraggeber vif Kt. LU, Entwurfsbericht 15/209, April 2016.
- 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.
- WSL, Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2015): Ereignisdokumentation Hochwasserschäden in den Gemeinden Luzern, Kriens und Horw (1972-2014). Unwetterschadens-Datenbank der Schweiz. http://www.wsl.ch/fe/gebirghydrologie/HEX/projekte/schadendatenbank/index_DE (Zugriff 17.11.15).
- Zeitungen, diverse: Luzerner Tagblatt, Vaterland, Volksbote/Katholischer Volksbote, Willisauer Bote
- Zeller J., Geiger H., Röthlisberger G. (1978): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Bd. 3, Hrsg. von der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

3 Historische Hochwasser

3.1 Einleitung

Es liegen kurze Pegelstandsmessungen an den beiden Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Steinibach und am Schlundbach vor. Ansonsten gibt es keine Abflussmessungen an den Bächen. Mit der Untersuchung historischer Hochwasser können aber Hinweise über Häufigkeit, Grösse und Verlauf von Hochwasserereignissen gesammelt werden. Durch Informationen aus Zeitungen, Archiven und verbürgten Angaben konnte die Hochwassergeschichte des Steinibaches und Schlundbaches in Kriens und Horw mit einem Beobachtungszeitraum von rund 65 Jahren zusammengetragen werden. Zudem werden die Verteilung grosser Niederschläge ausgewertet und dargestellt (Anhang 2 und 3). Dies zeigt wie stark das EZG von grossen Niederschlägen in den letzten Jahren getroffen wurde.

3.2 Ausbaugeschichte des Steinibachs und Veränderungen im EZG

Um historische Hochwasser vergleichen zu können, ist die Kenntnis des früheren Verlaufes, der Gerinnegeometrie sowie der Kapazität eines Baches erforderlich. Die Ausbaugeschichte der Bäche im EZG des Schlundbaches, respektive Steinibaches kann mittels Literatur und aus alten Landkarten beschrieben werden.

Zwischen dem Hangfuss des Schlundbaches und der Mündung in den Steinibach stand bereits im 19. Jht. einzig im Bereich des heutigen südlichen Schlundtunnelportals ein Gebäude. In den 1970er-Jahren kamen im Bereich der Dattematt drei Gebäude dazu, welche aber bereits in den 1990er-Jahren wieder abgebrochen wurden und einer Erschliessungsstrasse Platz machten. Mit der Tieferlegung der A2 erfuhr das gesamte Gebiet zwischen Hangfuss und Steinibachmündung erneut grosse Terrainveränderungen, der Schlundbach wurde umgelegt und die Hochwasser des Schloss-/Schlimbaches entlasten in den Steinibach (Scherrer AG, 2016b).

Südlich des Steinibachs zwischen Hangfuss, resp. A2 und der Schlundbachmündung entstand rechtsseitig in den frühen 1950er-Jahren eine Siedlung mit rund 10 Gebäuden (Steinibachweg, Kapazität des Gerinnes rund 10 m³/s). Auf der gegenüberliegenden Bachseite entstanden ab den späten 1960er Jahren diverse Lagergebäude, welche mehrheitlich Ende der 1980er-Jahre wieder abgebrochen wurden. Nach der Tieferlegung der A2 wurde vor 10 Jahren der Pilatusmarkt zwischen beiden Bächen errichtet.

Ebenfalls im Zusammenhang mit der Tieferlegung der A2 wurden im Jahr 2000 die beiden HRB am Schlund und am Steinibach erstellt (siehe auch Kap. 3.3). Sie dienen mit einem Volumen von 9'400 m³ (Schlundbach), resp. 17'000 m³ (Steinibach) neben der Abflussdrosselung auch dem Geschiebe- und Schwemmhölzrückhalt zur Verhinderung von Überflutungen der beiden Autobahntunnels (Schlund-, resp. Spiertunnel). Nur wenige Meter unterhalb des Schlundbaches mündet der Schlimbach in den Steinibach. Vor der Querung der Bahnlinie wurde in den 1990er-Jahren ein Entlastungsstollen gebaut, welcher die Hochwasser, welche früher beim Zusammenfluss mit dem Dorfbach zu Hochwasser führten, in einem neuen Gerinne direkt in den See führt. Die Nieder- und Mittelwasser unterqueren die Bahnlinie und münden kurz darauf in den Dorfbach von Horw (ca. 440 m ü.M.).

3.3 Pegelmessungen am HRB Schlund- und Steinibach

Abbildung 3.1 zeigt die beiden HRB am Schlund- und Steinibach, welche 2000 in Betrieb genommen wurden. Seit 2008 liegen Pegelmessungen vor.

Das HRB Schlundbach (Ingenieurbüro Maggia, 1998a) hat mit einem Stauvolumen von 9'400 m³ eine Nutzhöhe von 16 m und einen Durchlass von 0.4 x 0.35 m (B x H). Das HRB Steinibach (Ingenieurbüro Maggia, 1998b) hat trotz einer geringeren Nutzhöhe von 13 m und einem Durchlass von 0.5 x 0.55 m (B x H) ein deutlich grösseres Stauvolumen (17'000 m³).

Die Hochwasserentlastung führt bei beiden HRB über die Mauer und der Durchlass wird durch einen Rechen geschützt.



Abb. 3.1a: HRB Schlundbach (<https://ssl.panoramio.com/photo/50363051.jpg>)

Abb. 3.1b: HRB Steinibach (<https://ssl.panoramio.com/photo/85333132>)

Die maximalen Füllstände sind in der folgenden Tabelle 3.1 dargestellt. In den vergangenen 8 Jahren haben sich die beiden Becken einzig am 14.7.2014 vollständig gefüllt.

Tab. 3.1: Jahresmaximum der Füllstände der beiden HRB Schlund- und Steinibach

Jahr	HRB Schlundbach			HRB Steinibach		
	Datum	Vol. [m ³]	Q _{max} [m ³ /s]	Datum	Vol. [m ³]	Q _{max} [m ³ /s]
2008		0		03.07.2008	11'180	3.25
2009	26.06.2009	1'320	1.46	26.06.2009	7'990	3.05
2010	01.08.2010	1'370	1.47	01.08.2010	6'790	2.95
2011		0		30.06.2011	3'540	2.63
2012	25.08.2012	330	1.15	01.09.2012	6'550	2.93
2013		0		01.06.2013	3'780	2.66
2014	14.07.2014	9'400	>1.59	14.07.2014	17'000	> 3.55
2015	23.06.2015	360	1.21	04.05.2015	7'590	3.02

Aus den Messungen lässt sich nur bedingt etwas über die Abflüsse sagen, da der Pegelstand nur aufgezeichnet wird, wenn der Wasserstand zwischen dem Mindestwasserstand von 1 m und dem Anspringen der Hochwasserentlastung liegt. Daraus können die Drosselwassermengen bestimmt werden. Kleine Abflüsse können deshalb nicht aufgezeichnet werden. Auch wenn das Becken überläuft, ist keine Abflusschätzung möglich.

Weiter ist bekannt, dass am 22.8.2005 die beiden HRB ebenfalls vollständig gefüllt waren (siehe Titelblatt).

3.4 Die historischen Hochwasser am Steinibach

Im Anhang 1 sind sämtliche Informationen über historische Hochwasser im und um das EZG des Steinibachs detailliert zusammengetragen.

Horw wird 1865 erstmals im Zusammenhang mit Unwettern erwähnt.

Weder der Steinibach, noch der Schlundbach führten damals durch besiedeltes Gebiet, so dass Überschwemmungen in Horw sich meist auf den Horwbach (Dorfbach) beziehen, auch wenn vielleicht durch die Bäche vom Schattenberg ebenfalls Überflutungen verursacht wurden. Am **15.5.1921** wird der Steinibach und der südlich des Steinibachs gelegene Hinterbach erstmals namentlich erwähnt, als ein Gewitter mit wolkenbruchartigem Regen zu einem gewaltigen Hochwasser führt. Bei der Ziegelfabrik und um den Bahnhof Horw bildet sich ein See. Ein heftiges Gewitters führte am **6.7.1937** zu einem grossen Hochwasser mit grösseren Erdrutschen.

Am **23.6.1974** und am **14.7.1977** führten Gewitter zu leichten Hochwasser in Horw.

Der Dauerregen vom **7.8.1978** führte zu zahlreichen Bachausbrüchen in Kriens und Horw, wobei weder Schlund- noch Steinibach namentlich erwähnt werden.

Das Gewitter vom **1./2.6.1979¹**, welches insbesondere am Hergiswiler Steinibach grosse Schäden verursachte, führte auch in Kriens zu Schäden in Millionenhöhe.

Am **21.8.1992** kam es infolge eines Gewitters in Horw zu Überschwemmungen und Rutschungen. Beim Gewitter vom **23.6.1993** werden der Dorf- und Steinibach explizit erwähnt.

Erneute Gewitter führten zu überschwemmten Kellern und Kulturland, sowie zu vollen Kies-sammeln, so am **5.7.1993, 11.6.1997, 21./22.7.1998, 13.6.1999, 20.8.2001**.

Am **3.5.2002** kam es infolge eines Gewitters im Horwer Schlund zu einem Wassereinbruch in den Spiertunnel der Autobahn A2 (wahrscheinlich durch Steinibach verursacht).

Die Gewitter am **22.7.2010** führten nicht nur zu überfluteten Kellern sondern im Gebiet Unterstrick auch zu einem kleineren Hangrutsch. Das Gewitter vom 8.6.2012 führte zu einem Wassereinbruch am Hangfuss rund 500 m südlich des Steinibachs.

Das Gewitter am **14.7.2014** führte weder am Schlund-, noch am Steinibach zu Problemen.

Die Gewährspersonen C. Bünter, R. Heer, B. Meyer und U. Strebel berichten einstimmig, dass ihnen keine Probleme des Steinibachs oder des Schlundbachs oberhalb ihres Zusammenflusses bekannt sind. Auch im Bereich der Bahnlinie haben sich die Probleme seit dem Bau des Entlastungskanals und auch mit dem Bau der HRB signifikant verbessert.

3.5 Schlussfolgerung

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Der Schlund- und Steinibach erfuhren eine bewegte Ausbaugeschichte mit vielen Veränderungen, welche die Vergleichbarkeit der Hochwasser erschwert: Dadurch gibt es keinen eindeutig überblickbaren Zeitraum und es konnten keine Rekonstruktionen durchgeführt werden.
- Es sind viele Informationen über historische Hochwasser vorhanden, welche sich vorwiegend auf die problematischen Stellen unterhalb der Schlimbachmündung bis zum Horwer Dorfbach beschränken.

¹Frau Urfer (Anwohnerin an der Riedstrasse) erwähnt ein Hochwasser zwischen 1965 und 1985, welches das grösste in der überblickbaren Periode gewesen sein soll, kann sich aber nicht an mehr Details erinnern. Vermutlich handelte es sich um dasjenige vom 1./2.6.1979.

- Entlang des Steinibachwegs sind seit dem Bau in den früheren 1950er-Jahren keine Überflutungen bekannt. Die Kapazität des Steinibachs liegt dort bei rund 10 m³/s. In den letzten 65 Jahren ereigneten sich daher keine katastrophalen Hochwasser.
- Sowohl am Schlundbach, als auch am Steinibach wurden im Zusammenhang mit der Tieferlegung der A2 im Jahre 2000 ein HRB in Betrieb genommen. Beim Hochwasser vom 21./22.8.2005 und am 14.7.2015 füllten sich beide HRB. Seit 2008 werden die Pegelstände gemessen. Leider werden Füllstände nur ab einem Minimalstand bis zum Überlaufen aufgezeichnet. Daraus können die Drosselwassermengen bestimmt werden. Die Abflüsse der Hochwasserentlastung werden leider nicht erfasst.

4 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets

4.1 Einleitung

Wie viel Wasser bei Starkregen in den Boden eindringt und vorübergehend zurückgehalten wird und wie viel Wasser sofort abfließt, hängt von der Gebietsausstattung ab (Geomorphologie, Geologie, Böden, Vegetation, Landnutzung). Welche Abflussprozesse bei Starkregen ablaufen, wurde detailliert mittels Berechnungsversuchen untersucht (Scherrer, 1997; Naef et al., 1999). Darauf aufbauend wurde ein Bestimmungsschlüssel entwickelt, der die Identifikation hochwasserrelevanter Flächen erlaubt (Scherrer AG, 2004). Die Beurteilung des EZG des Steinibachs nach der Abflussbereitschaft lehnt sich eng an diesen Bestimmungsschlüssel an.

4.2 Geologie und Tektonik

Die geologischen und tektonischen Grundlagen stammen aus Kopp (1962) sowie aus Bundesamt für Landestopographie (2015).

Anhang 4.1 zeigt einen groben Überblick der geologischen Situation. Im Steinibach-EZG treten folgende Schichten auf: Die Untere Süsswassermolasse (USM) tritt im unteren Gebietsteil vor allen in Tobeln auf. Sie besteht zum überwiegenden Teil aus Sandstein und Mergel. Vielerorts ist das Festgestein von Würm-Moräne des Aare-Brüniggletschers überdeckt. In vielen dieser Moränengebiete liegen heute noch Sümpfe. Die starke Vernässung deutet darauf hin, dass es sich oft um Grundmoräne handeln dürfte. Der Steilhang im Steinibachwald (Mitte der Südagrenzung des EZG) besteht aus Unterer Meeresmolasse mit Tonmergel. Im obersten Teil des EZG geht die Würmmoräne in die noch ältere Rissmoräne über. Auch dort treten Nassböden und ein dichtes Gerinnenetz auf. Im untersten Teil des EZG, am Fusse des Hanges, liegen Bachschotter.

Tektonisch befindet sich das Untersuchungsgebiet im Bereich der Subalpinen Molasse. Der kleine Ausschnitt des Profils A-B in Anhang 4.1 zeigt die komplexe Lagerung der Gesteinschichten.

Die Gesteine verwittern und bilden je nach Zusammensetzung unterschiedliche Ausgangsmaterialien für die Bodenbildung.

4.3 Böden

Für einen grossen Teil des Steinibach-EZG gibt es eine Bodenkarte (FAL, 1988; Massstab 1 : 25'000), die in groben Zügen über die Beschaffenheit der Böden Auskunft gibt. Die kartierten Areale umfassen verschiedene Böden unterschiedlicher hydrologischer Eigenschaften. So sind beispielsweise Braunerden, Regosole und Gleye in einer Klasse zusammengefasst. Die Bodenkarte weist Regosole, pseudogvergleyte Braunerden, gleyige Braunerden bis Fahlgleye aus. Die Areale sind recht gross und daher stark generalisiert. Die speicherfähigsten dieser Böden, die Braunerden, haben den geringsten Anteil am Gebiet.

Um ein detaillierteres Bild über den Aufbau der Böden zu erhalten, wurden 15 Sondierungen (ST I – ST XV) mit der Schlagsonde nach Pürckhauer (Kerndurchmesser 2 cm) abgeteufelt. Die Lage der Sondierungen ist in Abbildung 1.1 eingetragen und die Profile sind im Anhang 4.3b-c dargestellt und im Anhang 4.3a kurz beschrieben. Diese Profile wurden nach Infiltration, Speichervermögen und zu dem erwartendem Abflussprozess beurteilt und bilden die Grundlage für die Kartierung des Gebiets nach der Abflussbereitschaft. Aufgrund der geologischen Karte, der Bodenkarte, der Orientierungslaufkarte (OLV Luzern, 1993) und den Sondie-

rungen ergab sich ein Bild über die räumliche Verteilung und Eigenschaften der Böden im EZG.

Im unteren Teil des EZG wurden siltig-lehmige bis sandig-lehmige Braunerdeböden angetroffen (ST VIII – ST X). In der oberen Hälfte des EZG wurden in Muldenlagen alle Schattierungen von Braunerde-Gleye, Buntgleye und Gleye aufgeschlossen (ST III, ST IV, ST V, ST VII, ST XII, ST XIII, ST XIV) erbohrt. Selbst in steileren Hängen können die Böden bei Hangwassereinfluss versumpft sein (ST III, ST VII, ST XV), das sich an typischen Riedflächen zeigt. Auf Rippen, Rücken und in Steilhängen drainieren die Böden besser und es werden Braunerden unterschiedlicher Mächtigkeit angetroffen (ST I, ST II, ST V, ST VI, ST VIII, ST IX, ST X, ST XI). Die Braunerden sind in Regel sandig-schluffig, teilweise sandig-lehmig. Ihre Durchlässigkeit und ihr Infiltrationsvermögen sind gut. Das Speichervermögen ist je nach Mächtigkeit mässig bis gross.

Die verbreiteten Böden mit Stauwasser- oder Hangwassereinfluss sind weniger durchlässig, zeigen leicht gehemmte bis gehemmte Infiltration und ihr Speichervermögen ist wesentlich geringer.

4.4 Abflussprozesse und Abflusstypen auf natürlichen (nicht überbauten) Flächen

Die Beurteilung der natürlichen Flächen stützt sich im Wesentlichen auf die geologische Karte und vor allem auf die Bodensondierungen. Gemäss den in Tabelle 4.1 aufgeführten Kriterien wurden Prozesse, welche einen ähnlich starken Beitrag zur Entstehung von Hochwasser leisten, kartiert und zu sog. Abflusstypen zusammengefasst (Abb. 4.1). Diese dienen als Grundlage für die Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell QArea.

Nassflächen werden rasch gesättigt (Prozess: Oberflächenabfluss aufgrund rasch sich sättigender Flächen, SOF1) und tragen wie undurchlässige Flächen (Oberflächenabfluss aufgrund Infiltrationshemmnissen, HOF1, 2) rasch zum Abfluss bei. Solche Flächen sind im EZG wenige vorhanden, beispielsweise in nassen Quellmulden (Abflusstyp 1: 2.6 % Flächenanteil).

Feuchte Mulden und die unteren Teile langer Hänge weisen in Bachnähe ein geringes Feuchtedefizit auf und sättigen sich bei Starkregen (verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund der Sättigung: SOF2). Drainierte Flächen an Hängen, oder bewaldete, sehr flachgründige Böden in Steilhängen lösen raschen Abfluss im Boden aus (SSF1). Diese Flächen tragen leicht verzögert zur Entstehung von Hochwasser bei (Abflusstyp 2, 23.2 %).

Mässig tiefgründige Böden mit mässiger bis guter Durchlässigkeit oder Böden mit Vergleungsanzeichen werden gesättigt und es bildet sich verzögerter Oberflächenabfluss (SOF2 - 3). In bewaldeten Hängen mit flachgründigen Böden oder mit stau- oder hangwasserbeeinflussten Böden entsteht verzögerter Abfluss im Boden (SSF2). Sie alle gehören dem Abflusstyp 3 an (38.8 %), welcher den grössten Anteil einnimmt.

In von Stauwasser- oder Hangwasser unbeeinflussten Gebieten konnten sich speicherfähige Böden entwickeln, die erst nach sehr ergiebigen Niederschlägen gesättigt werden (Oberflächenabfluss aufgrund sich langsam sättigender Flächen, SOF3; stark verzögerter Abfluss im Boden SSF3). Solche Flächen tragen daher stark verzögert und nur mässig zum Hochwasser bei (Abflusstyp 4, 30.3 %). Flächen, wo das Niederschlagswasser in den durchlässigen Untergrund sickert (Tiefensickerung, DP, Abflusstyp 5), sind keine vorhanden.

4.5 Abflussreaktion der Siedlungsgebiete

Die überbauten Flächen im EZG machen 5 % aus, liegen allesamt im untersten Gebietsteil im Bereich der Autobahn und der Gewerbezone. Die Beurteilung basiert auf den Erfahrungen der Glattstudie (IHW / Scherrer AG, 2002; Naef et al., 2004). Wichtige Kriterien waren dabei die

Bebauungsdichte und die Geländeneigung. Die Siedlungsflächen wurden in drei verschiedene Abflusstypen mit unterschiedlicher Abflussreaktion unterteilt (Tab. 4.2), welche ebenfalls als Grundlage für die Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell QArea dienen.

Die Abflusstypen 1-3 und die Siedlungstypen machen insgesamt 69.6 % des EZG aus. Die Abflussreaktion des Steinibachs wird daher als stark bis sehr stark beurteilt.

4.6 Abflussreaktionskurven

Abbildungen 4.2a und 4.2b zeigen 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. Letztere zeigen, dass von den flächenmässig dominierenden Abflusstypen 2 und 3 der natürlichen Flächen (23.2 % resp. 38.8 % des EZG) bei einem Niederschlag von 100 mm rund 50 % resp. 30 % abfließt.

Für die Herleitung von Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen besteht eine grosse Erfahrung aus zahlreichen Studien. Vergleichbare Erfahrungen für besiedelte Flächen existieren hingegen weniger. Die Abflussreaktionskurven der Siedlungsgebiete beruhen im Wesentlichen auf Erkenntnissen, die im Rahmen der Glatstudie gewonnen wurden (IHW / Scherrer AG, 2002). Demnach fließen vom Siedlungs-Abflusstyp S1 (3.9 % des EZG) bei einem Niederschlag von 100 mm rund 85 % ab, bei S2 (1.1 % des EZG) 42 %.

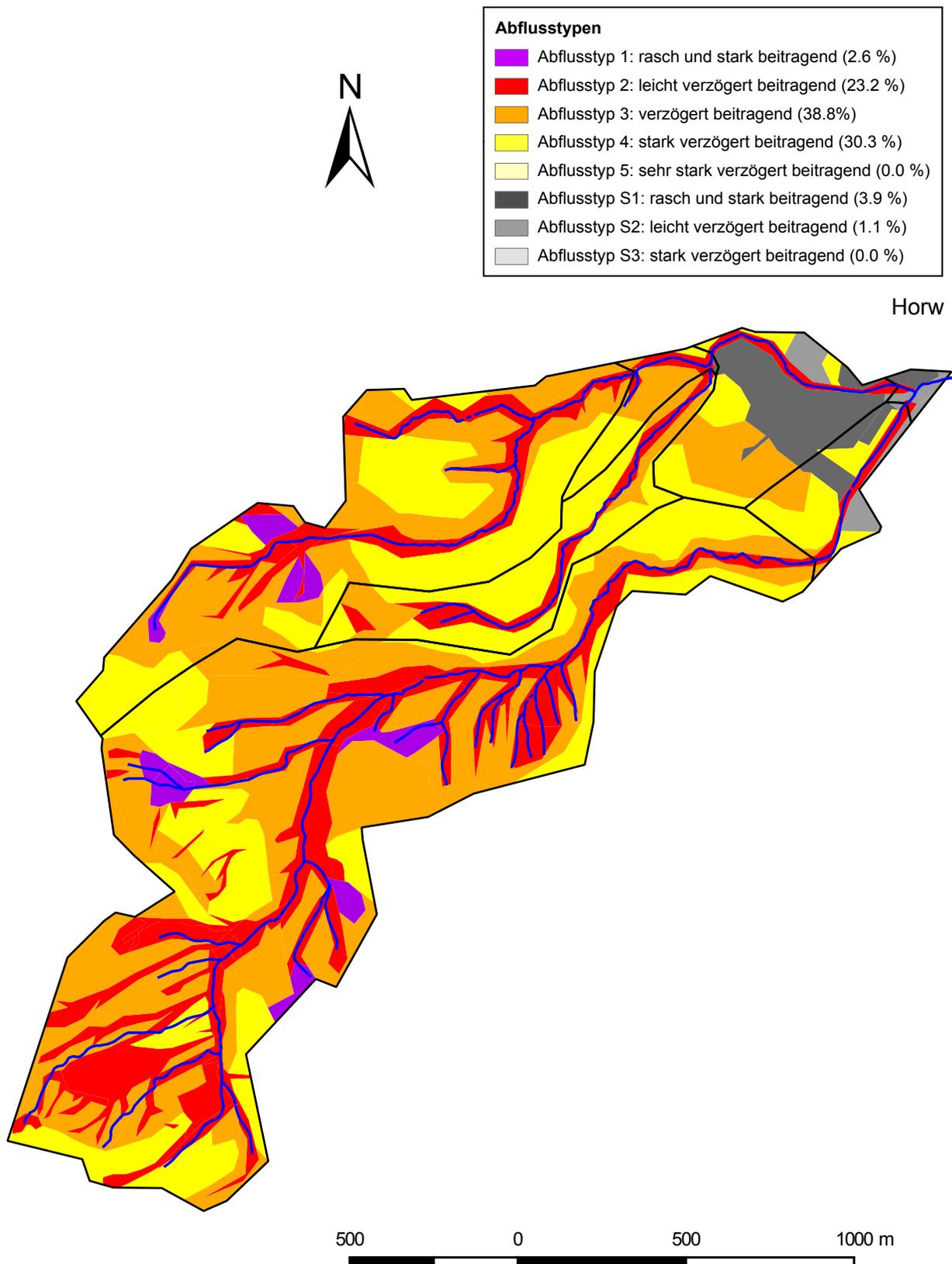


Abb. 4.1: Flächen ähnlicher Abflussbereitschaft (Abflusstypen) im Einzugsgebiet des Steinibachs.

Tab. 4.1: Dominante Abflussprozesse, Gebietseigenschaften und Abflusstypen im EZG des Steinibachs.

Abflusstyp	Abflussreaktion	Dominante Abflussprozesse	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil am EZG	
				(km ²)	(%)
1	Rasch und stark beitragende Flächen	Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (HOF1)	Schwach durchlässige Böden mit Gefälle, verrutschte Gerinneflanken.	0.08	2.6
		Sofortiger gesättigter Oberflächenabfluss (SOF1)	Feuchtfelder		
2	Leicht verzögert beitragende Flächen	Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (HOF2)	Schwach durchlässige Böden mit geringem Gefälle.	0.67	23.2
		Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sich langsam sättigender Flächen (SOF2)	Vernässte Böden im Bereich von Quellmulden, Moore an geneigter Lage.		
		Rascher Abfluss im Boden (SSF1)	Flachgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen über schwach durchlässigem Fels mit grossem Gefälle, drainierte Flächen in Hanglage.		
3	Verzögert beitragende Flächen	Verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sehr langsam sich sättigender Böden (SOF2 - SOF3)	Mässig tiefgründige Böden mit mässiger bis guter Durchlässigkeit, locker bebauete Siedlungsflächen. Nasse Flächen in ebener Lage.	1.12	38.8
		Verzögerter Abfluss im Boden (SSF2)	Mässig tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen über Fels oder Moräne, Flächen in Gerinnenähe, drainierte Böden in flacher Lage.		
4	Stark verzögert beitragende Flächen	Sehr stark verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sehr langsam sich sättigender Böden (SOF3)	Tiefgründige Böden mit guter Durchlässigkeit.	0.87	30.3
		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 (Moräne, Schotter).	0.00	0.0
		Sehr stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3)	Tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen, gerinnefern.		
Total				2.73	95

Tab. 4.2: Klassierung der Siedlungsflächen nach Abflusstypen.

Abflusstyp	Abflussreaktion	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil	
			(km ²)	(%)
S1	rasch und stark beitragend	sehr dicht bebaute Flächen leicht geneigte, dicht bebaute Flächen stark geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.11	3.9
S2	leicht verzögert beitragend	ebene, dicht bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen geneigte, locker bebaute Flächen	0.04	1.1
S3	verzögert beitragend	geneigte, locker bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.0	0.0
Total			0.15	5.0

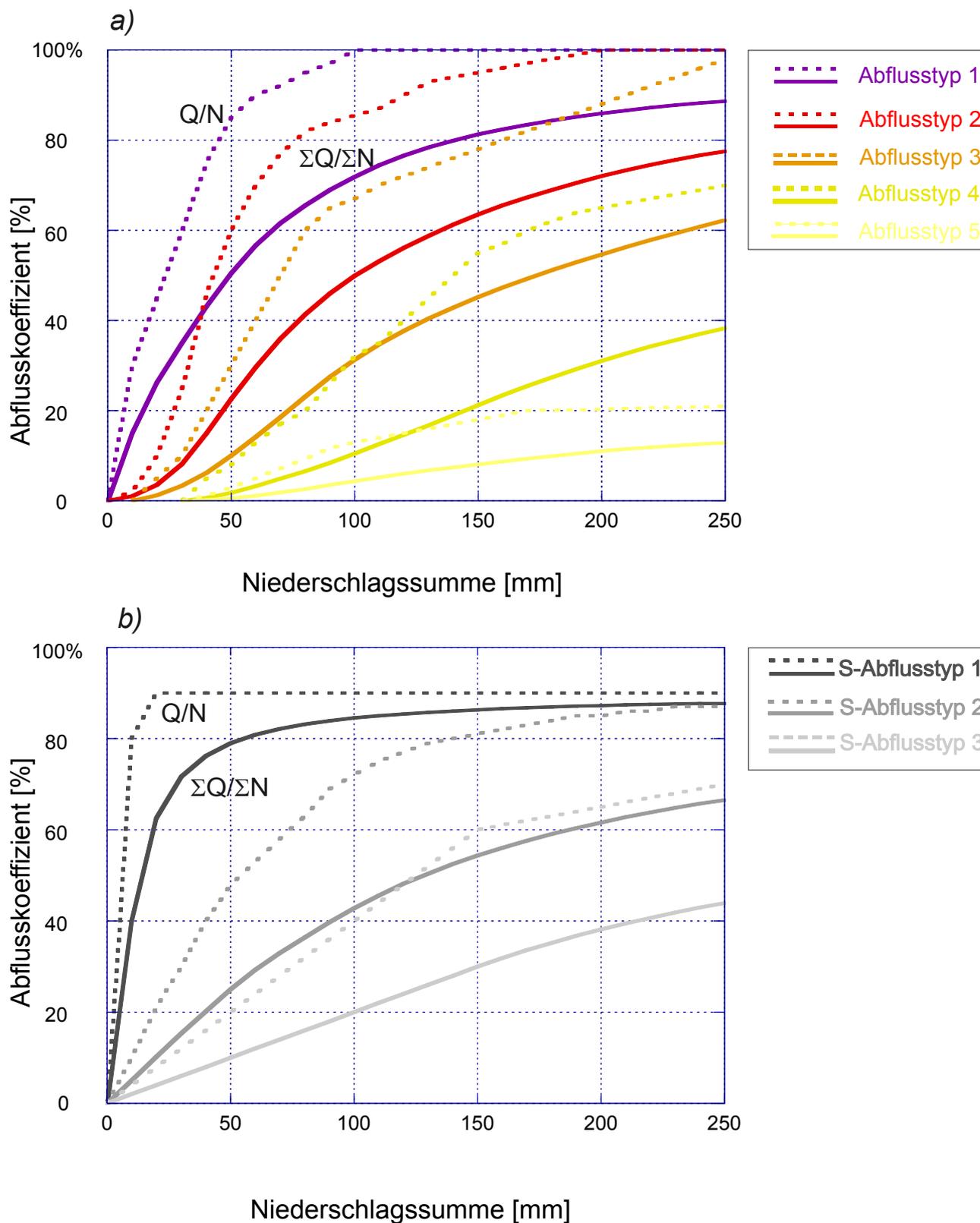


Abb. 4.2: Die Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen (Abb. 4.2a) und für Siedlungsflächen (Abb. 4.2b). Sie definieren den Anteil des abfließenden Niederschlags in Abhängigkeit der Niederschlagssumme. Eingetragen ist der Spitzenabflusskoeffizient (Q/N , strichliert) und der Volumenabflusskoeffizient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

5 Abflussberechnungen

5.1 Einleitung

Das hier eingesetzte Niederschlag-Abfluss-Modell (NAM) Q_{AREA} wurde am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich entwickelt und erfasst die bei der Hochwasserentstehung beteiligten Abflussprozesse. Dieses Modell ist ein Hilfsmittel, das erlaubt, das Abflussverhalten des EZG auf verschiedene Starkniederschläge rechnerisch zu simulieren und die Reaktion auf seltene meteorologische Bedingungen (Niederschlags-Szenarien) abzuschätzen. Die Wirkung von Rückhaltebecken kann ebenfalls nach entsprechender Anpassung des Modells untersucht werden.

5.2 Grundlagen und Aufbau des Modells Q_{AREA}

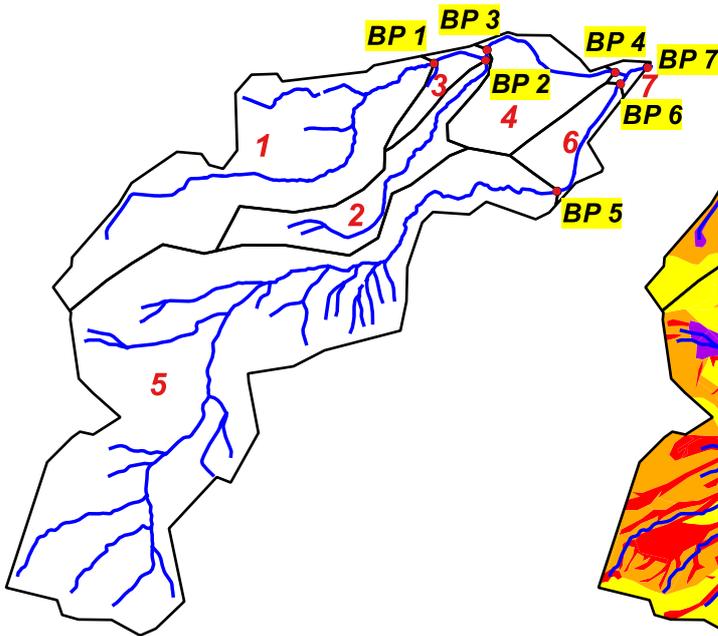
Die Abbildung 5.1 zeigt die Grundlagen des NAM Q_{AREA} . Das Modell wurde den Verhältnissen entsprechend für den Steinibach erstellt. Zusammenfassend die wichtigsten Grundlagen und Eigenschaften des Modells Q_{AREA} :

- Das NAM ist aus Teileinzugsgebieten aufgebaut mit Bemessungspunkten (BP, Abb. 5.1a)
- Das NAM basiert auf der Klassifizierung der **Abflussbereitschaft** der Teileinzugsgebietsflächen (Abflusstypen, Abb. 5.1b) und den dazugehörigen Abflussreaktionen (Abflussreaktionskurven, Abb. 5.1c, Kap. 4.6).
- Die **Fliesszeiten** bis zum Teileinzugsgebietsausgang (Isochronen) und die Fliesszeiten in den Gerinnen wurden berücksichtigt (Abb. 5.1d).
- **Niederschläge:** Zur Simulation von Landregen aber auch kurzen Gewitterniederschlägen kann das Gebiet gleichmässig überregnet werden oder auch nur Teile davon.

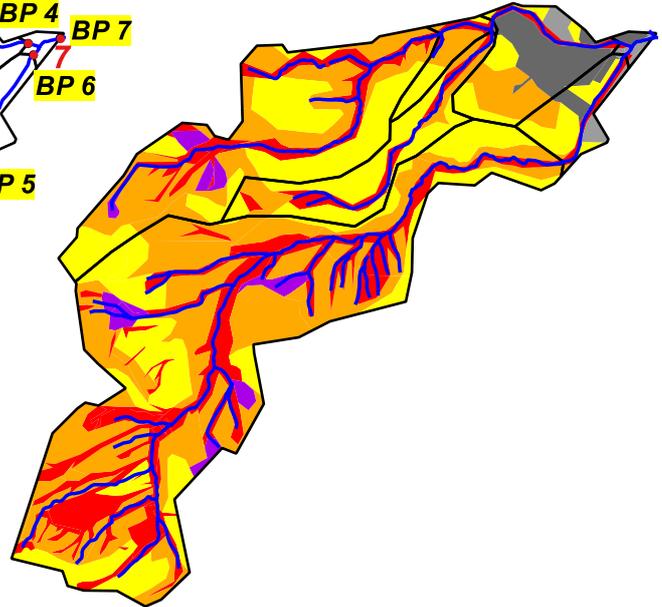
Ein Schema des eingesetzten Modells ist im Anhang 5 zu finden. Der gefallene Niederschlag wird aufgeteilt in Direktabfluss und in den Boden infiltrierendes Wasser. Das infiltrierte Wasser wird im Boden gespeichert und verzögert wieder abgegeben. Die Reaktion dieser Bodenspeicher wird mit linearen Speichern 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.

Die beiden HRB Schlund- (BP 1) und Steinibach (BP 5) können im Modell mit einer einstauabhängigen Drosselcharakteristik berücksichtigt werden.

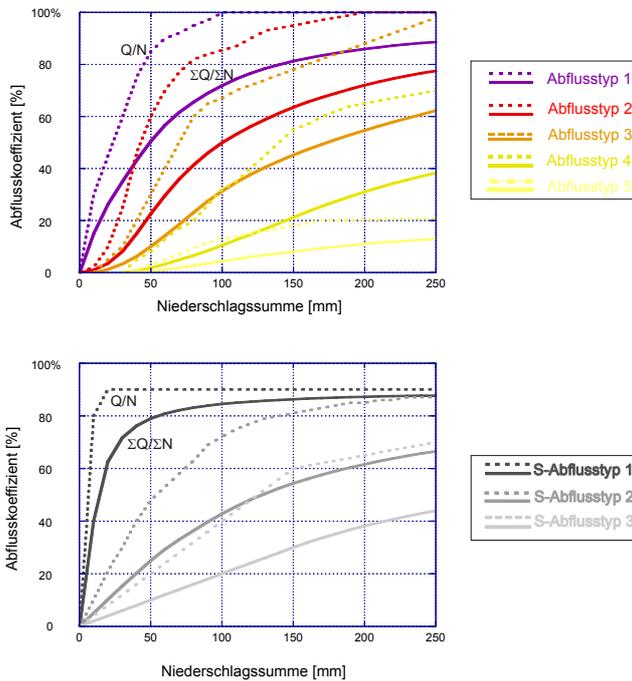
a) Teileinzugsgebiete



b) Abflusstypen



c) Abflussreaktionskurven



d) Fließzeiten in Minuten (Isochronen)

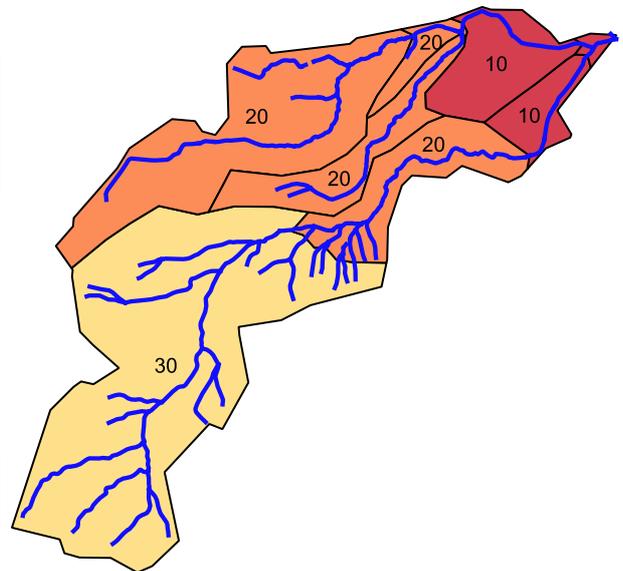


Abb. 5.1: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QAREA
a) Die Teileinzugsgebiete mit den Berechnungspunkten,
b) die Abflusstypen,
c) die Abflussreaktionskurven,
d) die Fließzeiten in Minuten (Isochronen).

5.3 Modellverifikation

Für die Modelleichung wurden die Hochwasser vom 21./22. August 2005 (Abb. 5.2a) und vom 8. August 2007 (Abb. 5.2b) nachgerechnet. Bei diesen Hochwasserereignissen waren folgende Voraussetzungen für eine Modelleichung gegeben:

- Es waren Niederschlagsereignisse, welche die ganze Region betrafen. Es wurden die zeitlichen Niederschlagsverteilungen der hoch aufgelöst messenden Station Pilatus für den Niederschlagsinput verwendet.
- Aufgrund der vorliegenden Daten der umliegenden Tagessammler konnte die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden (Anhang 3).

Die Abflussspitzen der Hochwasser 2005 und 2007 sind nicht bekannt. 2005 wurden beide HRB gefüllt. Anhand der Modellrechnungen überläuft nur das HRB Steinibach, das HRB Schlundbach wird nur halb gefüllt. 2007 werden beide HRB teilweise gefüllt, überlaufen aber nicht, was den Beobachtungen entspricht. Entlang des Steinibachwegs lagen die Abflüsse deutlich unterhalb der vorhandenen Kapazitäten. Die beiden Nachrechnungen sind in Abbildung 5.2 a und b dargestellt. Daher ergab die Nachrechnung des Hochwassers 2005 und 2007 plausible Resultate.

Vom Hochwasser vom 14.7.2014, das durch ein Gewitter ausgelöst wurde, sind die Volumen-Ganglinien der beiden HRB bekannt², aber die Niederschlagsverteilung konnte wegen fehlender Angaben aus dem EZG nur ungenügend rekonstruiert werden. Für den zeitlichen Abfluss standen neben den MeteoSchweiz-Stationen in Luzern und auf dem Pilatus, eine durch die Schubiger AG im Auftrag der Gemeinde Hergiswil betriebene Station bei Fräkmünt, auch private Stationen in Kriens, Eichhof (Luzern) und die kantonale Messstelle in Malers zur Verfügung. Am Geeignetsten für die Verifikation war die Station Fräkmünt. Die Messungen zeigten bei beiden HRB eine vollständige Füllung, welche mit dem NAM (Teilfüllung beider HRB von 15%) nicht nachvollzogen werden konnte.

Das Modell ergab bei guter Datenlage einigermaßen plausible Ergebnisse. Es wird für die Abflussberechnungen (Kap. 5.5) eingesetzt.

²Beim HRB Schlund wurde eine grössere Zeitverschiebung von rund 13.5 Std. festgestellt.

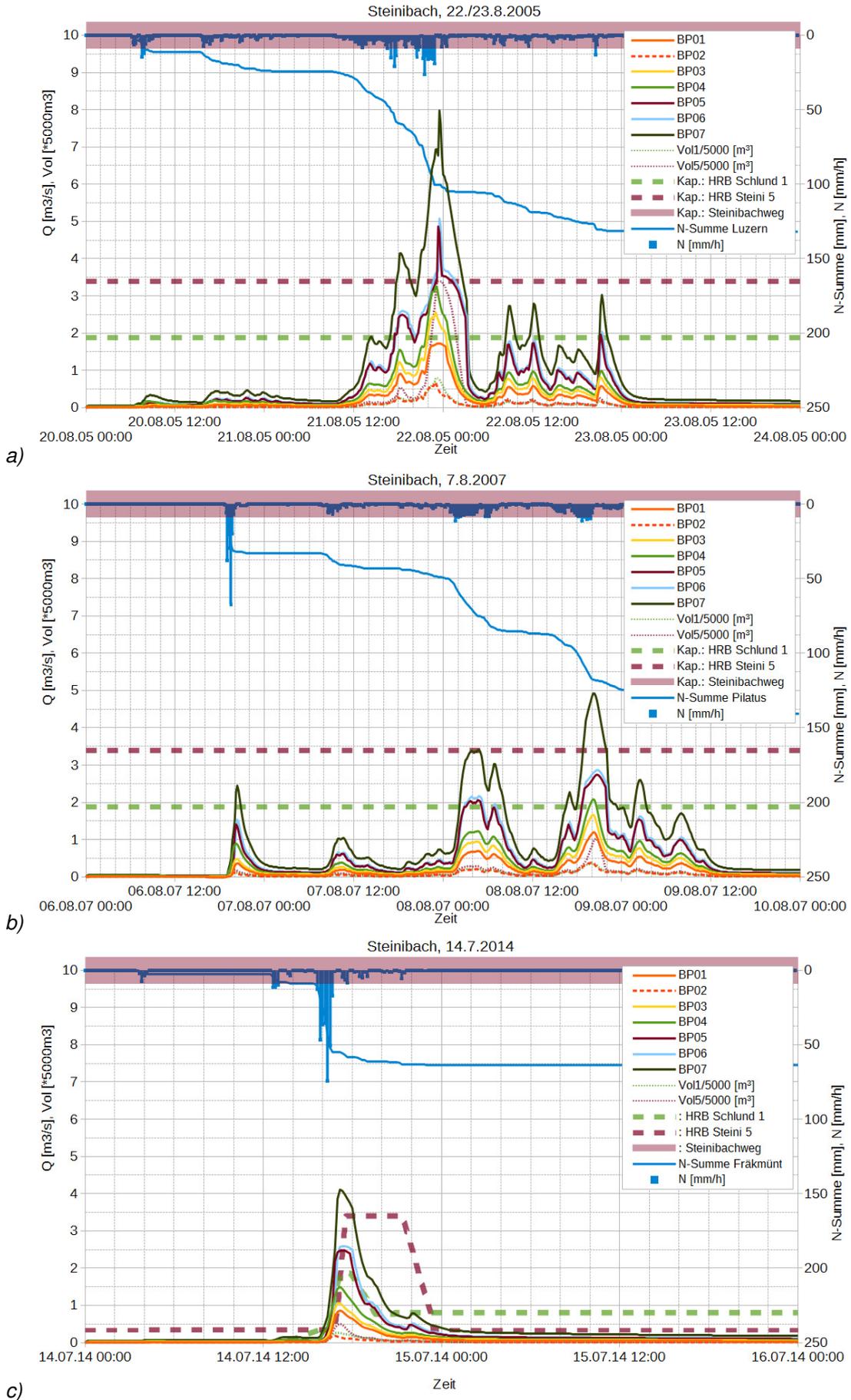


Abb. 5.2: Modellverifikation a) 21./22.8.2005, b) 8.8.2007, c) 14.7.2014.

5.4 Niederschlag-Szenarien

5.4.1 Räumliche Niederschlagsverteilung

Niederschläge haben eine zeitliche (Dauer und Intensität des Niederschlags) und eine räumliche Verteilung (Überregnung des Gebiets). Die Zentren von Konvektionszellen, in denen die Niederschlagsmaxima von kurzen Starkniederschlägen (≤ 4 h Dauer) fallen, sind auf wenige km^2 begrenzt. Weil aber die Fläche des EZG mit ca. $2,9 \text{ km}^2$ klein ist, können auch kurze Starkniederschläge das Gebiet voll überregnen. Daher wurde eine gleichmässige räumliche Niederschlagsverteilung angenommen.

5.4.2 Zeitliche Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensitäten

Für die Auswahl von Niederschlägen unterschiedlicher Dauer und Jährlichkeit ist eine Station mit Niederschlagsstatistik erforderlich, die möglichst den Gegebenheiten am Ort der Untersuchung entspricht. In der direkten Umgebung des Steinibachs liegen die Niederschlagsstationen Eigenthal (4 km SW des EZG) und Luzern (2 km N des EZG), die sowohl über eine lange Messdauer und über eine aktualisierte Statistik verfügen³. Die Station Eigenthal weist eine lange Messreihe seit 1883 auf. Für diese Messreihe gibt es eine statistische Auswertung (Scherrer AG, 2009; Anhang 6)⁴. Da die Statistik auf Extrapolation von Tageswerten beruht, sind die hergeleiteten Niederschlagsintensitäten für Messintervalle < 24 Stunden unsicher. Für 300-jährliche Niederschläge kurzer Dauer ergeben sich in dieser Statistik von Eigenthal kaum beobachtete, extrem hohe Werte. Aus diesem Grund wurden analog zu Scherrer AG (2009) und Scherrer AG (2016a und b) etwas reduzierte Werte für die 300-jährlichen Regen mit einer Dauer von weniger als 4 h für die Berechnungen mit dem NAM verwendet (Tab. 5.1).

In Scherrer AG (2015) wurden zusätzlich die hoch aufgelösten Niederschlagsdaten der Station Luzern der Jahre 1981 bis 2014 ausgewertet. Bei dieser Station ergeben sich markant tiefere Werte (z.B. 120 mm für den 100jährigen 24 h-Regen im Vergleich zu 190 mm bei Eigenthal).

Die Höhe des EZG und die Exposition am Fusse der Krienseregg sprechen für die Verwendung der Station Eigenthal gegenüber der in der Ebene liegenden Station Luzern⁵.

Bei kurzen Niederschlägen bis 4 h Dauer wurde eine zeitliche Dreiecksverteilung angenommen mit der Niederschlagsspitze nach einem Drittel der Niederschlagsdauer. Für die 12 h-, 24 h- und 48 h-Niederschläge wurde eine gleichmässige zeitliche Verteilung (Blockregen) verwendet. Tabelle 4.1 zeigt die für die Modellrechnungen verwendeten Werte.

³Die Station Pilatus, welche ebenfalls über eine Statistik verfügt, wird in Zeller et al. (1978) aber als inhomogen und unsicher beschrieben und ist mit dem Hinweis „nicht repräsentativ für das Pilatusgebiet“ versehen.

⁴Die Extremwertanalysen der Meteoschweiz (2015) für die Messperiode 1901-2014 beurteilt die Zuverlässigkeit der 1-TagsNS als schlecht und verzichtet daher auf eine Angabe der Wiederkehrwerte (<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klima-extreme/extremwertanalysen.html>).

⁵Auch bei den benachbarten Krienbach und Steinibach-EZG wurde die Station Eigenthal verwendet.

Tab. 5.1: Die für die Modellrechnungen verwendeten Niederschlagswerte (Eigenthal 1883 – 2008). *reduzierte Werte

Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-dauer [h]	Wiederkehr periode [Jahre]	Zeitliche Verteilung des Niederschlags	Niederschlags-menge [mm]	Max. Niederschlags-intensität [mm/h]
0.5h30j_dreieck	0.5	30	Dreieck	52.5	159.0
1h30j_dreieck	1	30	Dreieck	62.9	110.1
2h30j_dreieck	2	30	Dreieck	75.4	70.7
4h30j_dreieck	4	30	Dreieck	90.4	43.8
12h30j_block	12	30	Blockregen	120	10.0
24h30j_block	24	30	Blockregen	144	6.0
48h30j_block	48	30	Blockregen	182	3.8
0.5h100j_dreieck	0.5	100	Dreieck	78.4	235.2
1h100j_dreieck	1	100	Dreieck	91.9	160.8
2h100j_dreieck	2	100	Dreieck	107.8	101.0
4h100j_dreieck	4	100	Dreieck	126.4	61.2
12h100j_block	12	100	Blockregen	163	13.6
24h100j_block	24	100	Blockregen	190	7.9
48h100j_block	48	100	Blockregen	235	4.9
0.5h300j_dreieck*	0.5	300	Dreieck	102.4	307.1
1h300j_dreieck*	1	300	Dreieck	120.0	210.0
2h300j_dreieck*	2	300	Dreieck	140.8	131.9
4h300j_dreieck*	4	300	Dreieck	165.1	79.9
12h300j_block	12	300	Blockregen	214	17.8
24h300j_block	24	300	Blockregen	245	10.2
48h300j_block	48	300	Blockregen	298	6.2

5.5 Abflussberechnungen

Tabelle 5.2 zeigt die Resultate der Modellrechnungen. Fett gedruckt sind die grössten Abflüsse, resp. Füllvolumen der HRB. Die Berechnungen zeigen, dass Gewitterniederschlägen von 1 bis 4 Stunden Dauer die grössten Abflussspitzen erzeugen.

Beide HRB werden bei einem HQ_{30} teilweise gefüllt und überlaufen bei einem HQ_{100} . Ebenfalls dargestellt in Tab. 5.2 sind die berechneten Abflussspitzen ohne die beiden HRB an den BP 1 und 5. Während die Drosselung beim HRB Steinibach für das HQ_{30} von 5.1 auf 3.3 m^3/s gross ist, wird die Abflussspitze beim HRB Schlundbach nur gerade von 1.8 auf 1.6 m^3/s gedrosselt.

Zur Abschätzung der Wirkung der beiden HRB sind im Anhang 7 die vollständigen Resultate der Modellrechnungen ohne die beiden HRB dargestellt.

Tab. 5.2: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM Q_{aREA} . Fett eingetragen sind die maximalen Werte für die untersuchten Wiederkehrperioden. Das Nutzvolumen beim HRB Schlundbach beträgt 9'400 m³, beim HRB Steinibach 17'000 m³.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-szenario	Abflussspitzen [m ³ /s] bei den Berechnungspunkten							HRB Schlundbach [m ³]	HRB Steinibach [m ³]	BP 1 ohne HRB	BP 5 ohne HRB
			BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	BP 7				
30	0.5h30j_dreieck	Dreieck	1.1	0.4	1.5	2.2	2.7	2.9	5.1	1'600	4'400	1.5	4.3
	1h30j_dreieck	Dreieck	1.3	0.5	1.8	2.7	2.9	3.0	5.6	2'000	6'300	1.7	4.9
	2h30j_dreieck	Dreieck	1.6	0.5	2.2	3.1	3.1	3.3	6.3	2'500	9'200	1.8	5.1
	4h30j_dreieck	Dreieck	1.6	0.5	2.3	3.1	3.3	3.5	6.6	2'500	12'400	1.7	5.0
	12h30j_block	gleichmässig	1.2	0.4	1.6	2.1	2.9	3.0	5.2	1'800	6'500	1.2	3.2
	24h30j_block	gleichmässig	0.8	0.3	1.2	1.5	2.2	2.3	3.8	1'300	1'500	0.8	2.2
	48h30j_block	gleichmässig	0.6	0.2	0.8	1.1	1.5	1.6	2.7	900	1'000	0.6	1.5
100	0.5h100j_dreieck	Dreieck	1.8	1.0	2.8	4.4	5.4	5.7	8.9	5'200	17'000	3.7	10.3
	1h100j_dreieck	Dreieck	1.9	1.1	3.1	4.9	8.2	8.7	12.8	6'700	17'000	3.8	10.8
	2h100j_dreieck	Dreieck	2.0	1.1	3.2	4.9	10.3	10.8	15.6	8'500	17'000	3.7	10.4
	4h100j_dreieck	Dreieck	2.4	0.9	3.4	4.5	9.0	9.6	14.3	9'400	17'000	3.2	9.0
	12h100j_block	gleichmässig	1.7	0.6	2.5	3.1	4.9	5.2	8.4	3'500	17'000	1.9	4.9
	24h100j_block	gleichmässig	1.2	0.4	1.7	2.1	3.0	3.2	5.4	1'800	7'800	1.2	3.1
	48h100j_block	gleichmässig	0.8	0.3	1.2	1.4	2.1	2.2	3.7	1'200	1'400	0.8	2.1
300	0.5h300j_dreieck	Dreieck	3.8	1.8	5.2	6.7	14.4	15.1	21.2	9'400	17'000	6.2	17.0
	1h300j_dreieck	Dreieck	5.0	1.9	6.9	8.9	16.1	16.8	25.9	9'400	17'000	6.3	17.5
	2h300j_dreieck	Dreieck	5.9	1.7	8.1	10.5	16.3	17.3	27.9	9'400	17'000	5.9	16.3
	4h300j_dreieck	Dreieck	5.1	1.5	7.1	9.2	13.9	14.8	24.1	9'400	17'000	5.1	13.9
	12h300j_block	gleichmässig	2.7	0.9	3.8	4.8	7.0	7.4	12.3	9'400	17'000	2.7	7.0
	24h300j_block	gleichmässig	1.6	0.5	2.3	2.9	4.3	4.6	7.5	2'500	17'000	1.7	4.3
	48h300j_block	gleichmässig	1.0	0.3	1.5	1.8	2.7	2.9	4.7	1'600	4'500	1.0	2.7

6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit

6.1 Einleitung

Im Sinne einer Synthese werden die Erkenntnisse der Untersuchung der Abflussreaktion, der historischen Hochwasser und der Resultate der Modellrechnungen zusammengeführt. Letztere beiden werden in einem Frequenzdiagramm zueinander in Beziehung gesetzt, um die massgebenden Hochwassermengen festzulegen. Dies liefert ein Gesamtbild und zeigt den Unsicherheitsbereich der einzelnen Untersuchungen und der Hochwasserabschätzung auf. Bei der Festlegung der massgebenden Abflüsse verspricht dieses Vorgehen eine grössere Verlässlichkeit.

6.2 Steinibach beim HRB Steinibach (BP 5)

Die wesentlichen Punkte der einzelnen Untersuchungen sind:

Ergebnisse der Erkundung historischer Hochwasser (Kap. 3):

- Es sind viele Informationen über historische Hochwasser vorhanden, welche sich vorwiegend auf die problematischen Stellen unterhalb der Schlimbachmündung bis zum Horwer Dorfbach beschränken.
- Entlang des Steinibachwegs sind seit dem Bau in den früheren 1950er Jahren keine Überflutungen bekannt. Die Kapazität des Steinibachs liegt dort bei rund 10 m³/s. In den letzten 65 Jahren ereigneten sich daher keine katastrophalen Hochwasser.
- Der Schlund- und Steinibach erfuhren eine bewegte Ausbaugeschichte mit vielen Veränderungen, welche die Vergleichbarkeit der Hochwasser erschwert: Dadurch gibt es keinen eindeutig überblickbaren Zeitraum und es konnten keine Rekonstruktionen durchgeführt werden.
- Sowohl am Schlundbach, als auch am Steinibach wurden im Zusammenhang mit der Tieferlegung der A2 im Jahre 2000 ein HRB in Betrieb genommen. Beim Hochwasser vom 21./22.8.2005 und am 14.7.2015 füllten sich beide HRB. Seit 2008 werden die Pegelstände gemessen. Leider werden Füllstände nur ab einem Minimalstand bis zum Überlaufen aufgezeichnet. Daraus können die Drosselwassermengen bestimmt werden. Die Abflüsse der Hochwasserentlastung werden nicht erfasst.

Ergebnisse der Berechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell (Kap. 5):

Die Berechnungen mit den Modellregen erweitern die spärlichen Fakten aus den historischen Hochwassern und sind in Abbildung 6.1 violett dargestellt. Sie ermöglichen die Abschätzung seltener Hochwasser. Grün dargestellt sind die Modellrechnungen ohne die beiden HRB. Die roten Linien markieren den Unsicherheitsbereich für die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Ein HQ₁₀₀ liegt unterhalb vom HRB Steinibach (BP 5) demnach im Bereich von 9.0 – 10.5 m³/s.

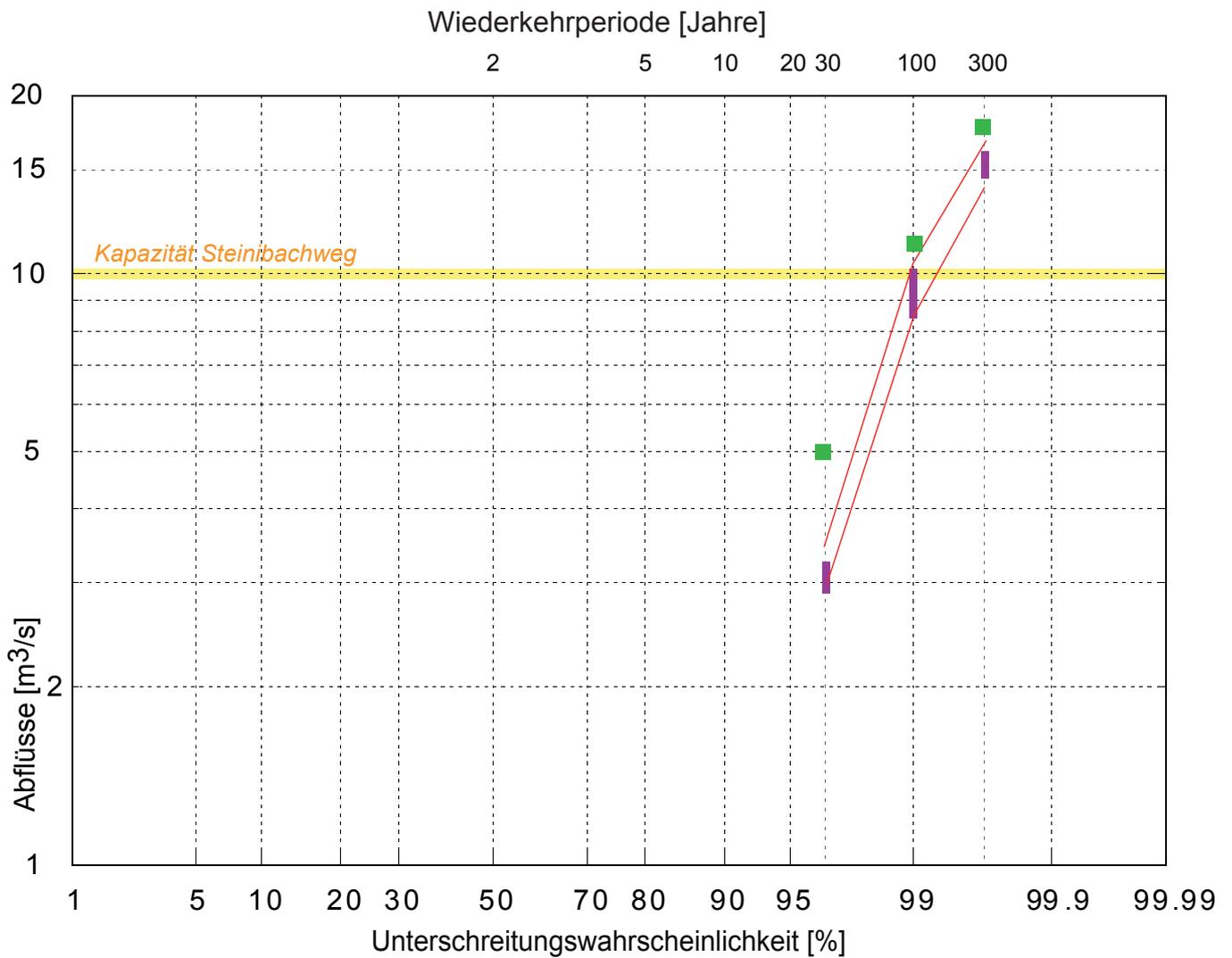


Abb. 6.1: Das Frequenzdiagramm des Steinibachs beim HRB Steinibach (BP 5, 1.61 km²). Eingetragen sind die Kapazität entlang des Steinibachwegs (gelb), und die Resultate der Berechnungen mit Modellregen mit (violett) und ohne (grün) die HRB Schlund- und Steinibach. Die roten Linien markieren den Unsicherheitsbereich für die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

Unter Berücksichtigung der Modellrechnungen konnten die Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit für die übrigen Berechnungspunkte in analoger Weise festgelegt werden (Tab. 6.1).

Tab. 6.1: Die im EZG des Steinibachs ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

BP	Zugeordneter Gerinneabschnitt	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]
1	Schlundbach, HRB (0.65 km ²)	1.5 - 1.7	2 - 2.5	5 - 6
2	Weirütibach, Chräuelbach (0.22 km ²)	0.5 - 0.6	1 - 1.2	1.8 - 2
3	Schlundbach, Querung A2 (0.93 km ²)	2 - 2.5	3 - 3.5	7.5 - 8.5
4	Schlundbach, oberhalb Mündung Steinibach (1.15 km ²)	2.9 - 3.3	4.5 - 5.5	9.5 - 11
5	Steinibach, HRB (1.61 km ²)	3 - 3.5	8.5 - 10.5	14 - 17
6	Steinibach, oberhalb Mündung Schlundbach (1.72 km ²)	3.5 - 4	9 - 11	15 - 18
7	Steinibach, oberhalb Mündung Schlimbach (2.88 km ²)	6 - 7	13.5 - 16	25 - 29

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sich das Umfeld des Steinibachs in den letzten 100 Jahren enorm verändert hat. Viele Hochwasser wurden in der Zeit beobachtet, ohne dass die vorhandenen Kenntnisse der topographischen Situation eine Beurteilung der Grösse der Abflussspitzen zugelassen hätte. Die Lage am Fusse des Pilatus und die starke Abflussbereitschaft löst bei Gewittern immer wieder grosse Abflüsse aus.

Die Pegelmessungen in den beiden HRB sollten dahingehend verbessert werden, dass die Datenaufzeichnung auch im Überlastfall gewährleistet ist, und der Überstau ebenfalls aufgezeichnet wird, damit der Gesamtabfluss auch dann abgeschätzt werden kann.

Wie bei den meisten Wildbächen gilt zu beachten, dass die vorhandenen Gerinnekapazitäten durch Geschiebetransport, Schwemmholz, Seitenerosion und Rutschungen beeinflusst werden können.

Scherrer AG
 Hydrologie und Hochwasserschutz

Dr. Simon Scherrer

Dr. Daniel Näf-Huber

Reinach, 25. Mai 2016

Sachbearbeiter:

Dr. Daniel Näf-Huber, Dipl. Bau-Ing, ETH Zürich

Dr. Simon Scherrer, Dipl. Geograph Uni Basel

Florian Howald, BSc Umwelt-Ing., ETH Zürich

7 Anhang

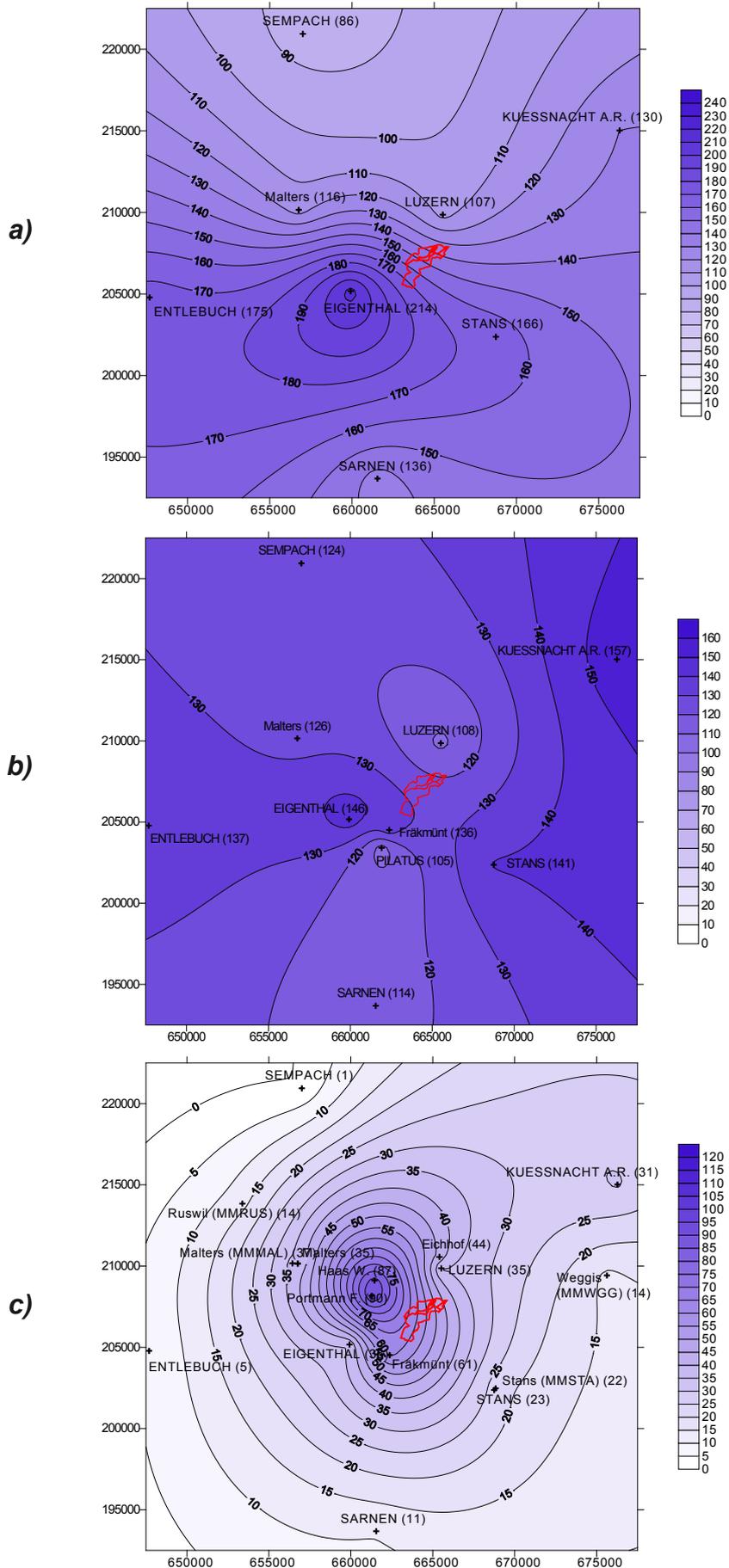
- Anhang 1: Historische Hochwasser
- Anhang 2: Tagesniederschläge
- Anhang 3: Räumliche Niederschlagsverteilung
- Anhang 4: Bodenprofile
- Anhang 5: Modellaufbau
- Anhang 6: Niederschlagsstatistik Eigenthal (1883 – 2008)
- Anhang 7: Modellrechnungen ohne HRB Schlund- und Steinibach

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
1865, 28.7.		Überschwemmungen und Erdschlipfe in Horw .	Lanz-Stauffer & Rommel (1936)
1880, 26.8.	Gewitter	Lokale Gewitter über dem östlichen Kantonsteil von Zug [...], der Pilatusgegend und im Thurgau.	Röthlisberger (1991)
1881, 2.9.	Dauerregen	[...] Der zweitägige Regen hat die Bächlein, Bäche und Flüsse stark anschwellt, so dass man von Überschwemmungen hören wird.	Luzerner Tagblatt
1881, 2.9.		Luzern. Ausserordentlicher Regenfall. Aus den hiesigen Beobachtungen des Regenmeisters und aus den Wetterberichten von Zürich entnehmen wir über die enormen Niederschläge, welche innerhalb einer Woche, vom 27. August bis 2 September, die Schweiz heimgesucht haben, folgende Zahlen: Luzern: Am 27. August 53 mm, am 28 August 39 mm, am 31. August 18 mm, am 1. September 62 mm, am 2. September 30 mm, Summe 202 mm. [...] Die obigen 202 mm Regenhöhe für Luzern machen 1/6 des ganzen mittleren Jahresniederschlages in Luzern aus.	Vaterland, 6.9.1881
1900, 29.7	Gewitter	Gewitter, wolkenbruchartiger Regen, Hagel und grosse Hochwasser über der Gegend von Rothenburg, Kriens , Luzern, Zell-Grossdietwil. Luzern 77 mm Niederschlag.	Meier (1939)
1910, 19.1.	Dauerregen, Schneeschmelze	Überschwemmungen vor allem in der Westschweiz infolge einsetzender Schneeschmelze verbunden mit reichlichen Niederschlägen. [...] In der Innerschweiz wurden die Kantone [...] (Entlebuch, Willisau, Sursee) getroffen.	Röthlisberger (1991)
		Überschwemmungen in vielen Gegenden des Kantons Luzern. Katastrophales Hochwasser in der Westschweiz, 3-tägiger Landregen von 100-200 mm.	Meier (1939)
		Horw . In der Nacht vom Dienstag auf Mittwoch hatten auch wir mit dem Wasser zu kämpfen. Der Horwbach, in Vereinigung mit dem Grützbach, ist bei der Wegscheide Rosenheim über das Ufer getreten und hat die anstossende schöne Matte des Herrn Kaufmann unter Wasser gesetzt. Die Kantonsstrasse von der Waldegg bis zur Sägerei und die anstossenden schönen Matten waren in einen Sumpf verwandelt. Die unteren Häuser an der Krienserstrasse wurden dabei arg mitgenommen. Keller und Parterrewohnung wurden zum Teil unter Wasser gesetzt. Doch glücklicherweise nur für kurze Zeit. Im Dorfe trat der Horwbach wieder über die Ufer, bahnte sich Bahn um das alte Schulhaus und gegen das Requisitenhaus. Auch da hörte man in den tiefen Kellern seltsame Töne, welche von den Fluten herrührten. Im Rank brach der Bach noch zum letzten Male über das Ufer und überschwemmte die Stasse nach Winkel. Wäre nicht die Korrektion des Horwbachs vorausgegangen, wäre die Sache schlimmer geworden.	Luzerner Tagblatt, 25.1.1910
1910, 14./15.6.	Dauerregen	Riesige Unwetterkatastrophe in der Schweiz (mit Ausnahme von Jurazone und Südschweiz). Rapide Schneeschmelze und wolkenbruchartiger Stauregen auf der Alpennordseite durch Zufuhr von feucht-warmen Luftmassen aus Nordeuropa. Verheerende Hochwasser führten: u.a. Kleine Emme. [...] Am 14. Juni auf dem Pilatus 138 mm Niederschlag.	Meier (1939)
		Auch in Horw hat das Unwetter arg gehaust. In der Nacht vom 14. auf 15. Juni musste ein Teil der Feuerwehr aufgeboden werden. Der Horwbach brachte eine Unmasse Wasser. Der ganze unter Teil des Dorfes war unter Wasser, das seinen Weg in Küchen und Keller und in die schönen Matten oberhalb der Wäscherei National fand. Das Hofmattbächli das im Dorf in einen Kanal fliesst, ergoss sich in die Kantonsstrasse. An der Krienserstrasse stand die ganze Reihe Häuser unter Wasser. Die Strasse musste an mehreren Stellen durchbrochen werden, um das Wasser durchzulassen. [...] Der Horwbach überschwemmt jeweilen die Kantonsstrasse, staut das Brütbächli und die ganze Krienserstrasse steht unter Wasser. Im Rank gegen Winkel ergoss sich der Horwbach wieder über die Ufer, in die Häuser und durch die Strasse gegen Winkel. Infolge des Anwachsens des Sees fand das Wasser keinen Abfluss mehr, der See stieg 40 Zentimeter über die Strasse.	Luzerner Tagblatt, 19.6.1910
		Eine schauerliche Heimsuchung erlitten verschiedene Gegenden der Schweiz durch die Hochwasser vom 15. und 16. Juni. [...] In der Stadt Luzern wurde in der Morgenfrühe vom 15. Juni Alarm gemacht. Die Reuss stieg von Viertelstunde zu Viertelstunde. Um 7 Uhr trat sie beim Theater bereits über die Ufer. Um 10 Uhr hatte sie den Hochwasserstand vom Juni 1877 erreicht. Allein noch immer nahm sie zu. Bis Donnerstag vormittags 11 Uhr stieg das Wasser noch 40 cm.[...]	Katholischer Volksbote, 18. Juni 1910
1910, 6.9.		Grosses Hochwasser in den Gegenden Kriens , Horw u.a.	Meier (1939)
1917, 9.6.		9.6: Wasser- + Rutschungsschäden in Horw . Schaden: 8'000 sFr.	Lanz-Stauffer & Rommel (1936)
1919, 5.7.	Gewitter	Gewitter, starker Regen, starker Hagel und Hochwasser im Pilatusgebiet bis Luzern u.a.	Meier (1939)

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
1921, 15.5.	Gewitter	Gewitter, wolkenbruchartiger Regen und Gewaltiges Hochwasser im nördlichen und nordöstlichen Pilatusgebiet: Rümli, Renggbach, Steinibach und Hinterbach, bei Ziegelfabrik und Bahnhof Horw ein See. Eigenthal 109 mm	Meier (1939)
		Überschwemmung in Horw durch den Hinter- + Steinibach. Kulturen und Bodenschaden Fr. 13,000. 30 Betroffene.	Lanz-Stauffer & Rommel (1936)
1934, 9.9	Gewitter	Gewaltige Unwetterkatastrophe im zentral- und nordostschweizerischen Voralpengebiet. [...] Im Kanton Luzern wurden besonders die Seeorte am Rigi und das Pilatusgebiet schwer betroffen. Im Raume Hergiswald – Lifelen – Fischenbach – Eigental fielen wahrscheinlich um 200 mm Niederschlag, wovon von 17-19 Uhr alleine 120-150 mm. [...]	Meier (1939)
1935, 25.5.	Gewitter	Heftiges Gewitter, wolkenbruchartig, starker Hagel: Grosses Hochwasser südöstlich von Kriens (Himmelrich)	Meier (1939)
1937, 6.7.	Gewitter	Heftiges Gewitter, wolkenbruchartig: Grosses Hochwasser und grössere Erdrutschungen im nordöstlichen Pilatusgebiet; Gemeinde Kriens, Horw, Hergiswil, Alpnach; namentlich durch Schlossbach, Schlundbach, Hinterbach, Steinibach. Niederschlag (Pilatus): 50 mm, im Wolkenbruchgebiet wahrscheinlich 60-80 mm.	Meier (1939)
1953, 30.6.	Gewitter	Wolkenbruchartige Regenfälle führten in der Nordost- und Zentralschweiz zu bedeutenden Wasserschäden. Die Hochwasserstände erreichten teilweise diejenigen vom Juni 1910. [...] Ein weiterer Gewitterherd wütete über der Pilatusregion und der Stadt Luzern.	Röthlisberger (1991)
		Leichtes (<0.2 Mio CHF) Hochwasser in Horw (Krienbach).	Gees (1997)
1972, 26.7.	Gewitter	Ausbruch des Althoftobelbaches. Anmerkung: Im Gebiet (betroffene Orte: Luzern, Horw, Meggen (LU) und Merlischachen (SZ) Bachausbrüche (wahrscheinlich u.a.): Würzenbach, Althoftobelbach, Hofmattobelbach, Bodentobelbach. Überflutung von Kellern, Gärten, Strassen und Erdschlipfe. Ursache (Meteo): in der Station Luzern wurden 74 mm Niederschlag gemessen, davon ca. 70 mm innerhalb von ca. 2 h (Pluviograph versagte). Früheres Ereignis: im Jahre 1953 ähnliche Überschwemmungen in Horw.	WSL (2015)
1972, 23.11.	Dauerregen	Das anhaltende Regenwetter hat auch in Kriens die Feuerwehr und Räumungsmannschaften mobilisiert. Verschiedene Keller mussten leergeräumt werden, und auch die Strassenzüge, insbesondere die Hergiswaldstrasse, wurden in arge Mitleidenschaft gezogen. [...] Im Dorf selbst machte sich das viele Wasser ebenfalls im negativen Sinne bemerkbar. Verschieden Keller und andere Lokalitäten wurden unter Wasser gesetzt., so dass die Feuerwehr zu rund 30 Wasseralarmen ausrücken musste. Besonderes böse sah es zeitweise an der Wiggerhalde (oberhalb des Motels) und an der Weinhalde wie im Bereich der Waldheimstrasse aus. Schmutzigbraun wälzten sich die Fluten unaufhörlich durch Gärten, Wege und Strassen, um überall auch auf gepflegtem Kulturland ihre hässlichen Rückstände zu hinterlassen.	Luzerner Tagblatt, 24.11.1972
		Kriens: in Horw und Kriens (beide separat aufgenommen) Feuerwehreinsätze (Überschwemmungen).	WSL (2015)
1974, 23.6.	Dauerregen	Leichtes (<0.2 Mio CHF) Hochwasser in Horw, Kriens, Luzern.	Gees (1997)
1977, 14.7.	Gewitter	Horw: überschwemmte Keller und Strassen; Kanalisationen verstopft. In Kriens oder Horw Erdrutsch. Anmerkung: im Gebiet von 16:30 bis 16:45 Uhr heftiges Gewitter ohne Blitze und mit viel Regen.	WSL (2015)
		Leichtes (<0.2 Mio CHF) Hochwasser in Luzern, Kriens, Horw.	Gees (1997)
1978, 7.8.	Dauerregen	Kriens: in Kriens zahlreiche Keller und Strassen unter Wasser. Anmerkung: im Gebiet zahlreiche Bachausbrüche. Kriens/ Horw - Schlimbach: Ausbruch des Krienser Schlossbaches (Schlimbach oder Schliembach) und des Dorfbaches (beide Bäche separat aufgenommen).	WSL (2015)
1979, 1./2.6.	Gewitter	Heftige Gewitter in verschiedenen Landesteilen. Ein Ein-Stunden-Gewitter am Pilatus verursachte schwere Schäden im Steinibachgebiet bei Hergiswil (NW) und im oberen Renggbachgebiet bei Kriens (LU).	Röthlisberger (1991)
		[...] In der Nacht vom 1. auf den 2. Juni 1979 ging über der Zentralschweiz ein heftiges Unwetter nieder, das in Hergiswil so grosse Schäden anrichtete, dass sogar die Armee eingesetzt wurde, um die grössten Schäden zu beheben. Auch in Kriens richtete das Gewitter Schäden in Millionenhöhe an.	WSL (2015)
1992, 21.8.	Gewitter	Horw: Überschwemmungen und Rutschungen. Anmerkung: Hagelfront längs der Linie Romoos-Wolhusen-Malters-Luzern-Inwil-Adligenswil.	WSL (2015)
1993, 23.6.	Gewitter	Kriens: Überschwemmungen, 50 Schadenmeldungen von Wassereintrüben, Ausbrüche des Krienbach. Horw: weite Teile des Vorortes Horw überschwemmt, beträchtliche Gebäude- und Wasserschäden, Ausbrüche Dorf- und Steinibach. Anmerkung: Generell im Grossraum Luzern vermochten Kanalisationen Wasser nicht mehr zu schlucken, Schachtdeckel wurden abgehoben; Strassen verwandelten sich in Sturzbäche, schwere Verkehrsbehinderungen, Dauereinsätze von Feuerwehren.	WSL (2015)

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
		Am Mittwochabend verursachten starke Niederschläge zahlreiche Überschwemmungen. In Horw wurden unter anderem die Tiefgarage beim Gemeindehaus sowie verschiedene private Keller und Garagen überschwemmt. Daneben überflutete das Wasser mehrere Strassen, unter anderen auch die Kantonsstrasse (unser Bild). In Kriens waren zudem die Schulhäuser Obernau, Roggern und Amlehn vom Unwetter betroffen. In Horw wie auch in Kriens hatte die Feuerwehren alle Hände voll zu tun. [6 Unwetterbilder von Horw .]	Volksbote, 25.7.1993
1993, 5.7.	Gewitter	Kriens, Horw : Überschwemmungen, überschwemmte Keller.	WSL (2015)
1997, 11.6.	Gewitter	Gemeinde Horw : Der A2 - Anschluss der Gemeinde Horw wurde durch einen Bach überschwemmt. Allgemeine Lage: Heftige Sommergewitter mit Blitz, Donner und prasselnden Regengüssen führten zu Überschwemmungen und Verkehrsbehinderungen in den Kantonen Luzern, Obwalden und Bern. Ursache: Gewitter zogen in mehreren Schüben und stets auf den gleichen Bahnen von den klassischen Gewitterregionen Napf und Berner Oberland in Richtung Zentralschweiz. Dabei wurden folgende Niederschlagsmengen gemessen: Pilatus: 64 mm in 12 Stunden, Marbach: 106 mm in ? Stunden. Schäden: Es gab vor allem überschwemmte Keller und Kulturland, unterbrochene Verkehrswege sowie Hagelschäden. Zudem mussten zahlreiche Kiessammler und Wildbachläufe ausgebaggert werden. Der Zivilschutz kam auch zum Einsatz.	WSL (2015)
1998, 21./22.7.	Gewitter	Malters, Emmen, Kriens : Ein 20-Minuten-Hagelgewitter verursachte in Luzern und Agglomeration Millionenschäden. Es wurde eine bis zu 40 cm hohe Hagelschicht gemessen. Hagelkörner so gross wie Zwetschgen und Holz verstopften Einlaufschächte und Abläufe. Dies führte zu zahlreichen Überflutungen so z.B.: Autobahn A2, Strassen, Keller, Wohnungen, Büros, Restaurants und Unterführungen.	WSL (2015)
		Die Gewitterfront erreichte die Region Luzern kurz nach 16.00 Uhr. Gemessen wurden Windgeschwindigkeiten von über 100 km/h. Innert 20 Minuten fielen die Temperaturen um 12 Grad. Erfasst wurden die Stadt Luzern und der Agglomerationsgürtel mit den Gemeinden Malters, Schwarzenberg, Horw, Kriens , Emmen Rothenburg, Adligenswil und Meggen. Keller wurden überflutet, Bäume gefällt (...).	Willisauer Bote, 23.7.1998
2001, 20.8.	Gewitter	Am späteren Nachmittag zog über Kriens und Horw wieder einmal ein Pilatusgewitter hinweg, das grosse Niederschlagsmengen brachte. In Horw gingen bei der Feuerwehr 16 Meldungen ein. 42 Personen waren im Einsatz um Keller, Garagen und Liftschächte auszupumpen. Weiter waren die Kastanienbaumstrasse und die Kantonsstrasse zeitweise überschwemmt.	WSL (2015)
2002, 3.5.	Gewitter	Im Spiertunnel auf der Autobahn A2 kam es im Horwer Schlund zu einem Wassereinbruch. Der Verkehr Richtung Süden konnte über längere Zeit nur einspurig auf dem Pannestreifen geführt werden. Ausserdem entstanden in der Gemeinde zahlreiche Gebäudeschäden. Im Kanton Luzern ereigneten sich mehrere Erdbeben.	WSL (2015)
2009, 26.6.	Gewitter	Im Kanton Luzern kam es am Mittag zu heftigen Regenfällen. Neben Horw , Malters und Schüpfheim waren auch die Gemeinden Luzern, Kriens , [...] betroffen. In Kriens war die Feuerwehr im Gebiet Kuonimatt im Einsatz.	WSL (2015)
2010, 10.7.	Gewitter	Ein landesweites Gewitter sorgte auch im Kanton Luzern für Schäden. Zwischen 19 und 21 Uhr gingen bei der Einsatzzentrale der Luzerner Polizei rund 300 Meldungen wegen dem Gewitter in der Stadt Luzern und in Kriens ein. Wegen umgestürzten Bäumen (Sturm!), einigen überfluteten Kellern, Wasser auf der Fahrbahn sowie wegen kurzzeitigen Stromausfällen mussten zuständige Ereignisdienste aufgeboden werden.	WSL (2015)
2010, 22.7.	Gewitter	Der Gewitterzug (nachmittags) überquerte das Kantonsgebiet vom Entlebuch her in Richtung Zug. In Kriens gingen 21 Schadensmeldungen ein - sie betrafen v.a. umgestürzte Bäume (Sturm!) oder überflutete Keller. Auch die Untergeschosse eines Kindergartens und des Militärmuseums erlitten Wasserschäden. Zudem kam es im Gebiet Unterstrick zu einem kleineren Hangrutsch. Im Einsatz standen 22 Feuerwehrleute.	WSL (2015)
2012, 8.6.	Gewitter	Um die Mittagszeit zog ein heftiges Gewitter über Luzern. In der Region Luzern schüttete es stellenweise wie aus Kübeln. In Horw verzeichnete die Feuerwehr Wasser im Keller bei der Kleinwilhöhe.	WSL (2015)
2014, 14.7.	Gewitter	[...] Der Grossteil der Feuerwehreinätze fand in den westlichen Agglomerationen von Luzern und im Entlebuch statt. Die Gebäudeversicherung Luzern ging davon aus dass zwischen 50-70 Gebäude (Annahme: im Kanton) beschädigt wurden. Die geschätzte Schadenssumme betrage 0.5 Mio. CHF. Im Kanton LU standen 11 Feuerwehren im Einsatz.	WSL (2015)

Nr. Station	4340 WEGGIS	4360 IMMENSEE	4380 KUESSNACH T A.R.	4440 STANS	4445 STANS	4470 BUERGEN-STOCK	4560 SARNEN	4590 LUZERN	4600 PILATUS	4650 ENTLIBUCH	4662 WERTHEN-STEIN	4680 EIGENTHAL	6800 SEMPACH	LU 02 Malters	Fräkmünt
x	676230	677000	676270	670410	668750	671180	661550	665520	661910	647690	650520	659920	657010	656760	662375
Y	209420	216280	215020	201200	202370	205280	193680	209860	203410	204780	211550	205170	220940	210150	204517
Höhe	440	485	448	455	440	855	479	456	2106	725	594	1006	515	495	1288
Zeitintervall	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr
Messperiode	1893-1975	1964-1980	1882-1890, 1899-	1901, 1904-1975	1976-	1948-1986	1895-	1880-	1851-1959, 1981-	1882-	1935-1959	1882-1889, 1899-	1961-	2000-	1992-2003, 2007-
Statistik	WSL (1901-1970)	WSL (1964-1977)	MeteoSchweiz (1961-2014)	WSL (1904-1970)	WSL (1904-1970)	WSL (1948-1977)	MeteoSchweiz (1896-2014)	MeteoSchweiz (1881-2014)	WSL (1892-1959)	MeteoSchweiz (1883-2013)	WSL (1935-1959)	SAG (1883-2008)	WSL (1961-1987)	keine	keine
11.06.1910	9.0		5.3	13.5			11.0	6.4	8.2	11.5		4.5			
12.06.1910	12.0		3.1	6.3			4.7	4.0	20.4	5.7		12.0			
13.06.1910	28.5		19.7	34.8			6.0	10.4	17.2	8.5		7.3			
14.06.1910	125.0		84.5	135.0			48.8	80.5	138.0	92.0		101.5			
15.06.1910	16.0		23.3	15.0			15.9	18.3	15.8	17.3		19.3			
16.06.1910	0.0		0.0	0.0			0.0	0.2	0.0	0.0		0.0			
13.05.1921	1.5		1.0	0.0			0.7	0.0		1.8		0.2			
14.05.1921	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0		0.0		0.0			
15.05.1921	0.0		0.0	37.0			15.4	2.5		7.9		108.5			
16.05.1921	1.0		13.4	0.0			4.6	10.0		5.8		17.8			
03.07.1937	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0		0.0			
04.07.1937	5.3		3.6	16.0			12.8	2.1	6.9	2.1		45.9			
05.07.1937	25.0		0.6	7.3			2.4	0.0	14.1	5.8		11.2			
06.07.1937	5.0		10.0	20.0			11.8	0.2	49.5	0.5		0.0			
07.07.1937	4.0		6.9	5.3			14.7	7.4	16.0	3.4		2.0			
22.06.1974	2.2	2.2	4.8	7.0		1.3	0.9	4.4		6.2		3.2	0.2		
23.06.1974	30.8	52.5	55.6	29.5		55.2	25.8	27.2		39.8		66.1	25.8		
24.06.1974	10.2	18.5	0.0	0.9		24.8	3.0	1.5		0.0		5.0	0.4		
25.06.1974	1.4	1.9	1.7	0.4		0.6	0.3	2.0		1.8		6.4	4.1		
12.07.1977		0.0	0.0	0.1		0.3	0.5	0.0		0.0		0.0	0.0		
13.07.1977		13.5	13.7	10.2		25.6	22.6	36.5		7.2		47.8	4.4		
14.07.1977		19.5	23.2	14.4		13.2	10.4	38.9		4.5		17.2	3.2		
15.07.1977		0.0	0.0	0.0		0.3	0.0	0.0		0.0		0.8	0.0		
05.08.1978		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0		
06.08.1978		14.8	8.1		8.4	10.3	7.2	7.9		7.4		7.5	13.1		
07.08.1978		107.6	86.9		110.6	122.3	81.5	106.7		86.3		135.8	83.8		
08.08.1978		15.0	10.0		4.7	5.3	5.4	3.8		7.3		6.7	7.4		
09.08.1978		0.9	1.9		1.9	2.1	2.5	0.8		0.5		1.8	0.1		
29.05.1979		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0		
30.05.1979		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0		
31.05.1979		0.0	0.0		6.7	0.0	5.3	0.0		2.3		6.2	0.0		
01.06.1979		0.2	0.5		58.8	5.0	19.9	11.2		2.1		75.6	0.0		
02.06.1979		4.4	2.9		2.6	7.1	1.7	23.4		7.2		15.3	27.4		
03.06.1979		0.0	0.2		0.0	0.0	0.0	0.1		0.0		0.0	0.0		
19.08.1992			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
20.08.1992			0.2		13.3		41.7	6.0	10.3	3.9		4.3	1.6		
21.08.1992			31.4		23.5		25.2	41.3	23.0	86.7		42.2	47.0		
22.08.1992			5.7		3.3		7.3	11.7	14.8	28.1		17.2	36.0		
21.06.1993			15.8		20.9		14.9	10.9	23.2	21.9		57.3	7.7		
22.06.1993			11.8		8.8		9.7	9.8	12.9	15.5		4.6	12.4		
23.06.1993			47.1		53.2		23.1	72.7	57.2	24.9		24.0	19.9		
24.06.1993			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
25.06.1993			0.0		0.0		0.0	0.0	0.1	0.0		0.0	0.0		
03.07.1993			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.1		
04.07.1993			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
05.07.1993			64.6		95.6		54.8	94.4	74.3	67.7		61.8	40.5		
06.07.1993			0.3		3.2		1.2	0.0	12.0	7.2		7.9	0.0		
09.06.1997			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
10.06.1997			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
11.06.1997			36.0		53.3		78.6	41.6	63.9	47.0		66.1	13.2		
12.06.1997			10.3		9.9		16.5	10.9	6.2	19.5		13.9	30.9		
13.06.1997			20.1		11.4		4.4	18.3	15.3	4.8		16.9	9.5		
20.07.1998			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
21.07.1998			8.6		0.5		0.2	25.7	7.1	35.7		6.9	8.1		
22.07.1998			0.1		2.8		12.7	0.1	0.9	0.1		1.0	0.0		
23.07.1998			5.2		1.5		0.2	12.8	1.5	0.5		1.2	7.0		
10.06.1999			41.7		23.7		18.6	22.7	29.5	24.5		31.6	11.0		
11.06.1999			0.0		0.0		0.1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
12.06.1999			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		
13.06.1999			21.2		14.7		11.5	24.3	12.2	13.7		22.3	10.0		
14.06.1999			0.0		0.1		0.2	0.4	0.5	0.3		0.0	0.0		
18.08.2001			6.8		0.5		0.4	2.7	3.0	7.9		5.3	10.8	8.5	8.5
19.08.2001			13.8		20.6		18.1	24.0	16.6	7.2		9.7	12.6	19.8	19.8
20.08.2001			2.5		15.1		11.4	27.8	3.6	4.3		6.4	5.0	6.4	6.4
21.08.2001			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
01.05.2002			1.5		1.7		1.3	1.6	0.9	2.5		1.4	1.0	1.6	
02.05.2002			10.7		13.8		18.3	11.7	8.8	17.7		21.0	6.0	13.9	
03.05.2002			69.9		57.7		40.1	43.2	23.4	15.3		35.6	25.0	27.8	
04.05.2002			13.6		14.7		11.8	11.9	14.2	16.1		14.5	17.0	13.1	
18.08.2005			0.4		3.2		25.6	1.6	7.8	52.9		7.8	14.2	7.3	
19.08.2005			24.4		27.4		38.3	23.6	16.6	24.2		37.7	35.5	49.8	
20.08.2005			18.5		32.3		27.8	24.5	47.9	46.2		65.0	24.4	37.2	
21.08.2005			101.5		135.3		103.5	81.1	67.1	131.4		102.3	70.2	90.0	
22.08.2005			28.6		31.0		32.3	25.9	40.1	44.0		111.5	15.3	25.7	
21.-22.8.2005			130.1		166.3		135.8	107.0	107.2	175.4		213.8	85.5	115.7	
05.08.2007			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
06.08.2007			12.5		35.3		2.0	0.1	33.1	1.1		21.5	0.0	1.0	38.4
07.08.2007			82.5		75.5		58.9	50.7	51.3	64.5		69.7	48.3	54.9	65.2
08.08.2007			74.5		65.0		55.3	57.0	54.0	72.9		76.3	76.0	71.1	70.3
09.08.2007			4.8		1.7		3.5	4.6	2.2	7.0		2.8	6.7	5.1	3.4
7.-8.8.2007			157.0		140.5		114.2	107.7	105.3	137.4		146.0	124.3	126.0	135.5
20.07.2010			0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
21.07.2010			0.5		0.3		0.0	0.5	2.2	1.0		2.7	6.0	1.4	
22.07.2010			43.1		28.1		25.9	43.9	32.2	35.7		63.0	33.5	32.3	
23.07.2010			30.3		28.9		22.0	26.4	22.5	23.9		28.9	21.5	27.6	
24.07.2010			9.3		3.8		0.7	1.8	8.1	3.9		4.4	0.7	0.7	
11.07.2014			15.0		16.7		8.3	12.4	13.2	28.1		15.1	40.2	35.7	13.7
12.07.2014			16.7		10.2		6.2	25.9	23.1	21.8		34.0	15.6	24.1	25.3
13.07.2014			7.8		11.7		3.9	8.3	9.2	3.9		2.7	7.1	4.1	5.9
14.07.2014			30.5		23.3		10.5	34.5	44.4	5.3		35.5	0.7	35.1	60.9
15.07.2014			0.0		0.0		0.0	0.0	0.1	0.0		0.0	0.0		



Anhang 3: Niederschlagsverteilung am a) 21./22.8.2005, b) 7./8.8.2007 c) 14.7.2014. (Niederschlag in mm).



Anhang 4.1: Die geologische Karte (Bundesamt für Landestopographie, 2015) mit den Einzugsgebieten (1: Krienbach, 2: Schlossbach, 3: Steinibach) und den eingezeichneten geologischen Formationen. Die eingezeichnete Profilinie (A-B) ist oben als Schnitt abgebildet (Kopp, 1962) und zeigt die komplexe Lagerung der Schichten in der Subalpinen Molasse.

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

Anhang 4.3a: Die Eigenschaften der im Anhang 4.4b und c dargestellten Bodenprofile vom Steinibach (ST I-XV) mit der Einschätzung von Infiltration und Speichervermögen und Angabe des zu erwartenden dominanten Abflussprozesses.

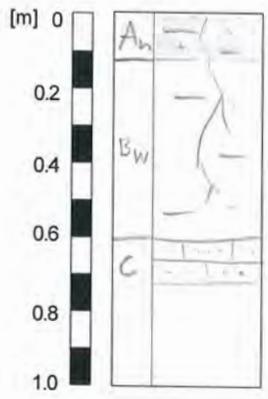
(Abkürzungen siehe auch Legende 4.1: U, u = Silt, siltig; L, l = Lehm, lehmig; S, s = Sand, sandig; A = Oberboden, B = Unterboden, C = Ausgangsmaterial, g = Rostfleckung, h = organisches Material, r = dauernd vernässt, w = Verwitterungshorizont, z = zersetzt. Prozesse: SSF (Subsurface Flow = Abfluss im Boden), SOF (Saturated Overland Flow = gesättigter Oberflächenabfluss), DP (Deep Percolation = Tiefsickerung), SOF1: rasch, SOF2: leicht verzögert, SOF3 stark bis sehr stark verzögert abfliessend). Würmmoräne: Würm-Moräne des Reuss-, Aare- und Brünigletschers; Rissmoräne: Riss-Moräne des Aare- und Brünigletschers; USM: Untere Süsswassermolasse; UMM: Untere Meeresmolasse; GM: Molasse der Giebellegg-Schuppe.

	Profilbeschreibung		Profilbeschreibung
ST I	Kriens, Chrummbachwiti Aufforstung Mischwald USM (Sandstein) Braunerde (B) Pürckhauer (Pürckh.) Ah: brauner Us Bw: brauner Us C: Sandstein Infiltrationsvermögen (Inf.): normal Speichervermögen (Spv.): mässig Prozesse (Proz.): SSF2	ST II	Kriens, Chrummbachwiti Mähwiese USM (Sandstein) B (Pürckh.) Ah: brauner Us Bw: brauner Lu Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SOF3
ST III	Kriens, Chrummbachwiti Mähwiese USM Gley (G) (Pürckh.) Ah: brauner Us Br: grauer Ls Inf.: gehemmt Spv.: gering Proz.: SOF1-2	ST IV	Kriens, Bruederhuse Mähwiese USM Braunerde – Buntgley (BW) (Pürckh.) Ah/Bw: brauner Us Bgg: grau-beiger Lu Br: grauer Ls Inf.: leicht gehemmt Spv.: mässig Proz.: SOF2
ST V	Kriens, GM Mischwald GM B (Pürckh.) Ah: brauner Lu Bw: brauner Lu Cz: rötlichbrauner Mergel (Lu) Inf.: normal Spv.: mässig Proz.: SSF2	ST VI	Kriens, I de Wiistanne Mischwald Würmmoräne B, umgelagert (Pürckh.) Ah1/Bw: brauner Lu Ah2: dunkelbrauner Lu Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SSF3
ST VII	Kriens, Rörli extensive Weide Quartäre Lehme Hanggley (Pürckh.) Ah: dunkelbrauner Lu Bgg: brauner Lu Br: grauer Lu Inf.: gehemmt Spv.: gering Proz.: SOF1	ST VIII	Kriens, Kreuel Mähweise Mergel B (Pürckh.) Ah: dunkelbrauner Lu Bw/Cz: braun-rötlicher Lu Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SOF3

	Profilbeschreibung		Profilbeschreibung
ST IX	Kriens, Ober Strick Mähwiese USM B (Pürckh.) Ah: brauner Ls Bw: brauner Ls Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SOF3 / SSF2	ST X	Kriens, Under Strick extensive Weide Würmmoräne B (Pürckh.) Ah: beige-weisser U ?: <i>undefinierbares Material</i> Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SOF3
ST XI	Horw, Risene Fichtenwald Rissmoräne B (Pürckh.) Ah1: dunkelbrauner Us, Moder Ah2/Bw1: dunkelbrauner-brauner Us-Ls Bw2: beige-brauner Ls Cz: beige-brauner Ls Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SSF3	ST XII	Horw, Risene Fichtenwald Rissmoräne Buntgley W (Pürckh.) Ah: dunkelbrauner Us, Moder Bgg: beiger Lu Br: grauer Ls Inf.: gehemmt Spv.: gering Proz.: SOF2
ST XIII	Horw, Vorder Risenen Fichtenforst Rissmoräne W (Podolisiert) (Pürckh.) Ah/Bh: dunkelbrauner-grau-violetter Moder Bgg(r): beige-grau-brauner Ls Inf.: normal Spv.: gering Proz.: SSF2	ST XIV	Horw, Schwand Weisstannenwald Rissmoräne Braunerde-Pseudogley (BI) (Pürckh.) Ah: brauner Us Bw(g): brauner Us Bg(g): grau-brauner Us Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SSF3 (SSF2)
ST XV	Horw, Buholzerschwändi extensive Mähwiese Würmmoräne G (Pürckh.) Ah: Br: grauer Ls Inf.: gehemmt Spv.: gering Proz.: SOF1		

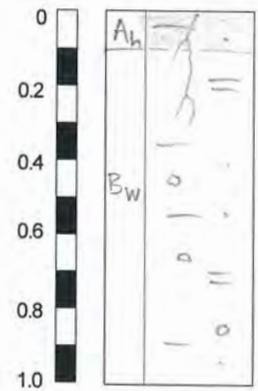
ST I

Ort: Kriens, Chrummbachwiti
 Landnutzung (LN): Aufforstung Mischwald
 Geologie (Geol.): USM (Sandstein)
 Bodentyp: Braunerde (B)
 Sondierung: Pürckhauer (Pürckh.)



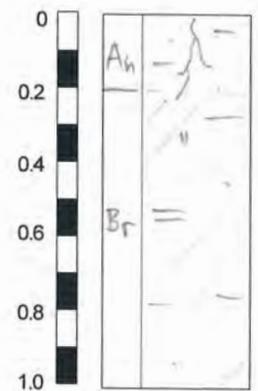
ST II

Ort: Kriens, Chrummbachwiti
 LN: Mähwiese
 Geol.: USM (Sandstein)
 Bo.: B
 Sond.: Pürckh.



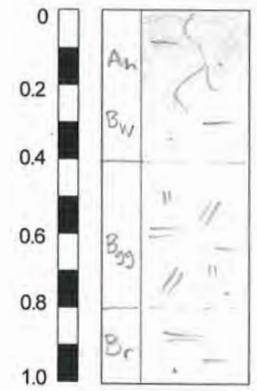
ST III

Ort: Kriens, Chrummbachwiti
 LN: Mähwiese
 Geol.: USM
 Bo.: Gley (G)
 Sond.: Pürckh.



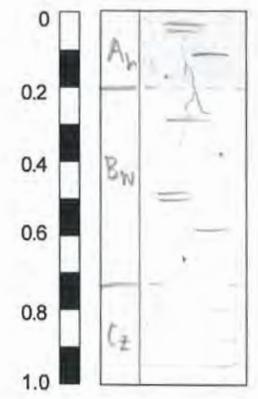
ST IV

Ort: Kriens, Bruederhuse
 LN: Mähwiese
 Geol.: USM
 Bo.: Braunerde-Buntgley (BW)
 Sond.: Pürckh.



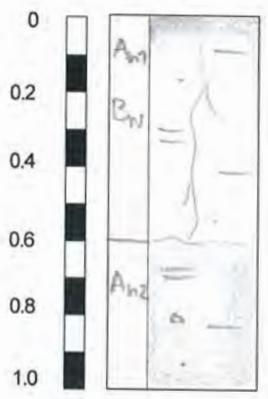
ST V

Ort: Kriens, Alexrüti
 LN: Mischwald
 Geol.: GM
 Bo.: B
 Sond.: Pürckh.



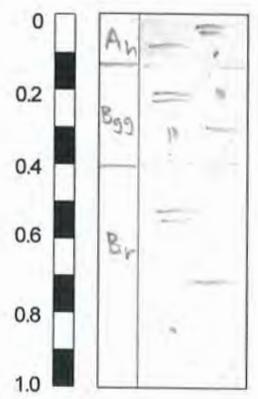
ST VI

Ort: Kriens, I de Wiastanne
 LN: Mischwald
 Geol.: Würmmoräne
 Bo.: B, umgelagert
 Sond.: Pürckh.



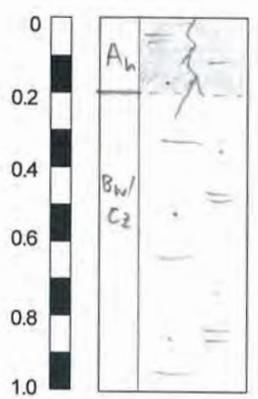
ST VII

Ort: Kriens, Rörl
 LN: Fichtenwald
 Geol.: extensive Weide
 Bo.: Quartäre Lehme
 Sond.: Pürckh.



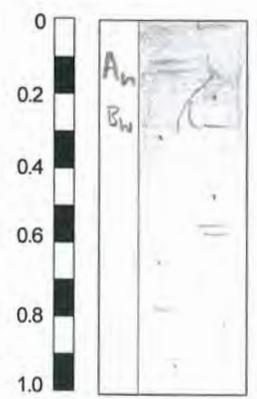
ST VIII

Ort: Kriens, Kreuel
 LN: Mähwiese
 Geol.: Mergel
 Bo.: B
 Sond.: Pürckh.



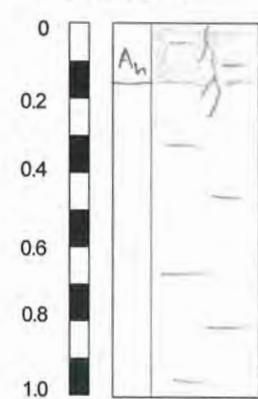
ST IX

Ort: Kriens, Ober Strick
 LN: Mähwiese
 Geol.: USM
 Bo.: B
 Sond.: Pürckh.



ST X

Ort: Kriens, Under Strick
 LN: extensive Weide
 Geol.: Würmmoräne
 Bo.: B
 Sond.: Pürckh.

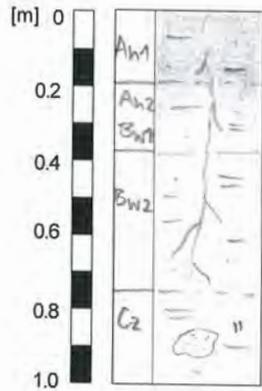


Anhang 4.3b:

Die im Einzugsgebiet vom Steinibach untersuchten Bodenprofile (ST I-X) mit der Angabe des Standorts, der Landnutzung, der Geologie, des Bodentyps und der Sondiermethode. Eine Beschreibung der Profile befindet sich im Anhang 4.3a.

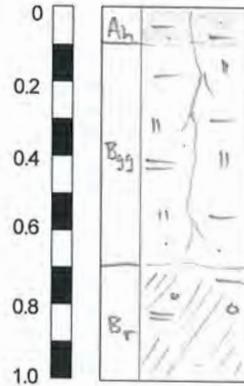
ST XI

Ort: Horw, Risene
Landnutzung (LN): Fichtenwald
Geologie (Geol.): Rissmoräne
Bodentyp: Braunerde (B)
Sondierung: Pürckhauer (Pürckh.)



ST XII

Ort: Horw, Risene
LN: Fichtenwald
Geol.: Rissmoräne
Bo.: Buntgley (W)
Sond.: Pürckh.



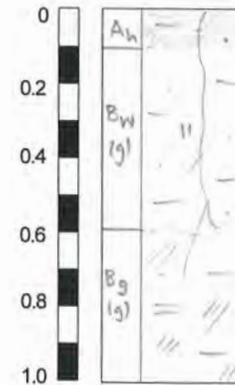
ST XIII

Ort: Horw, Vorder Risenen
LN: Fichtenforst
Geol.: Rissmoräne
Bo.: W, podolisiert
Sond.: Pürckh.



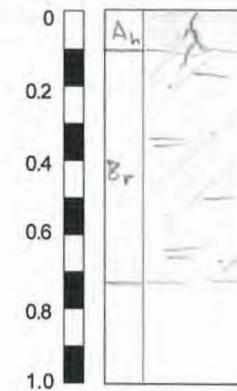
ST XIV

Ort: Horw, Schwand
LN: Weisstannenwald
Geol.: Rissmoräne
Bo.: Braunerde-Pseudogley (Bl)
Sond.: Pürckh.



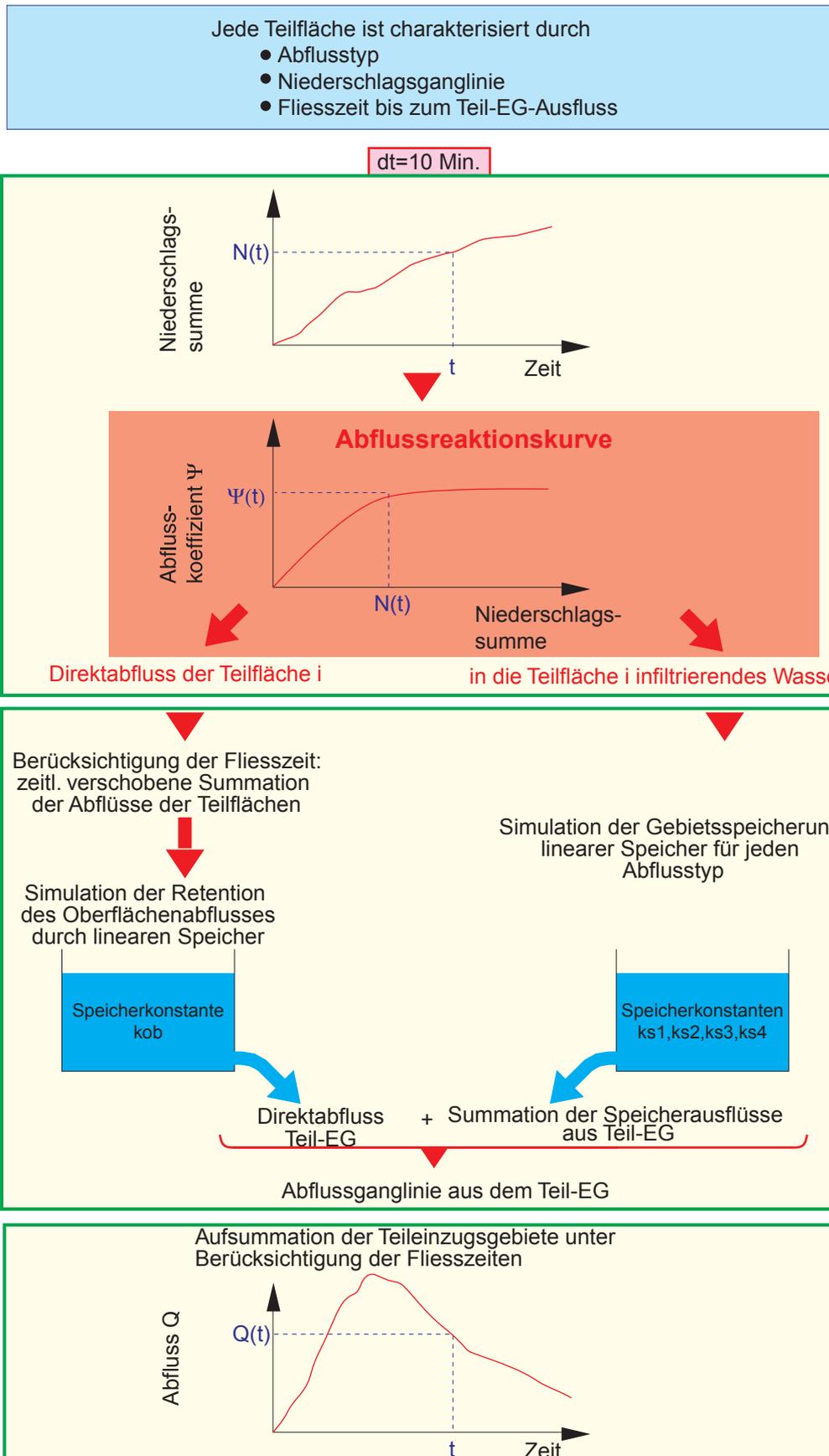
ST XV

Ort: Horw, Buholzerschwändi
LN: extensive Mähwiese
Geol.: Würmmoräne
Bo.: Gley (G)
Sond.: Pürckh.



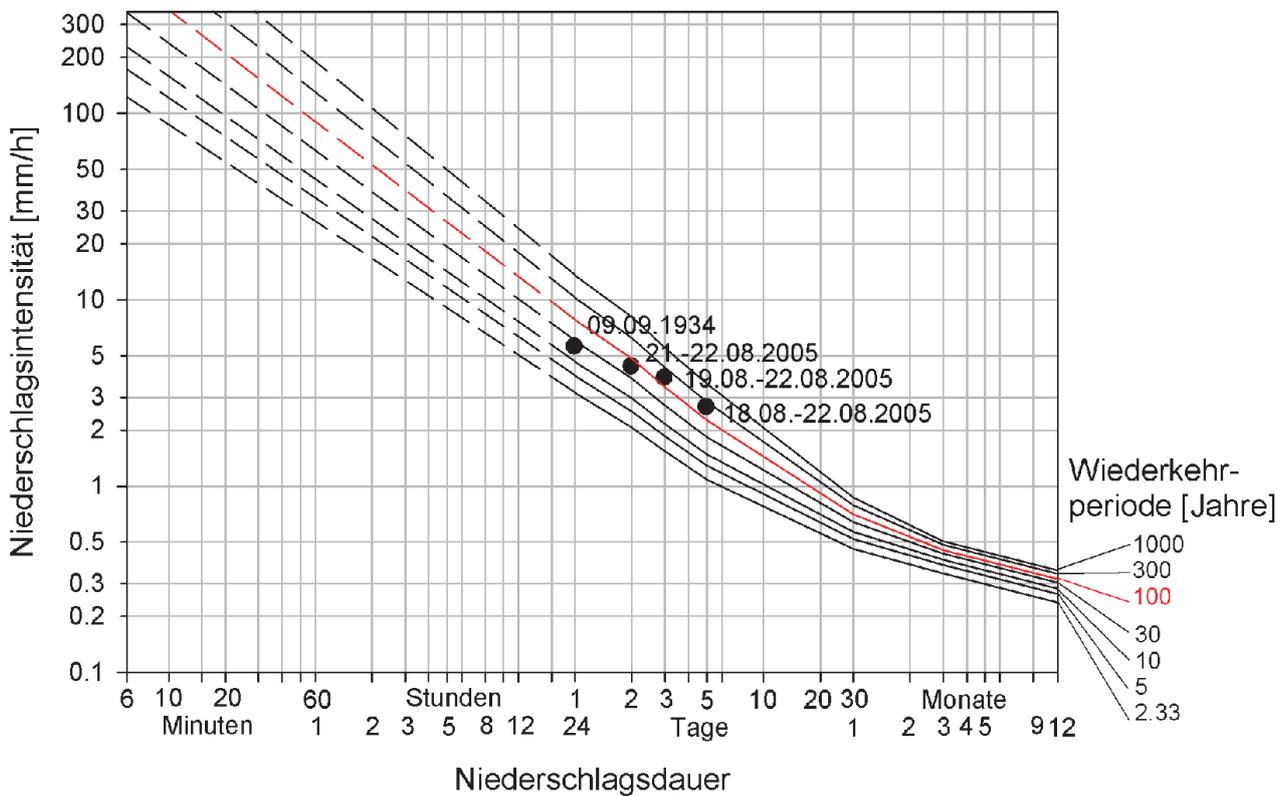
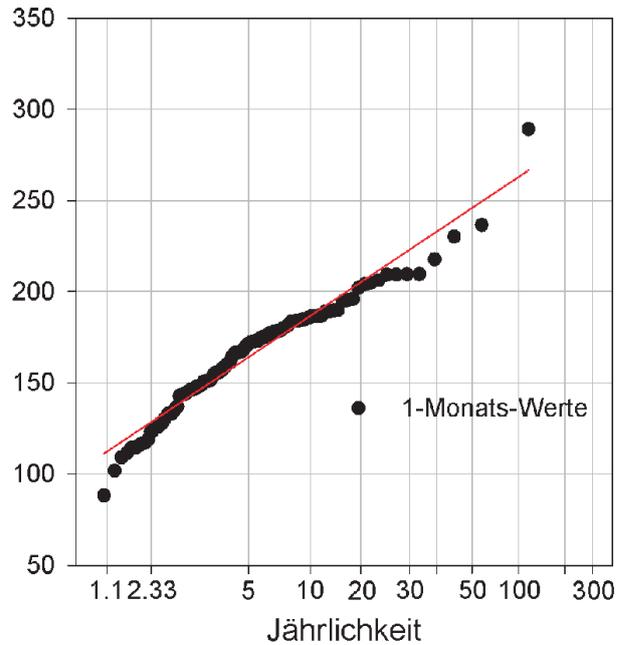
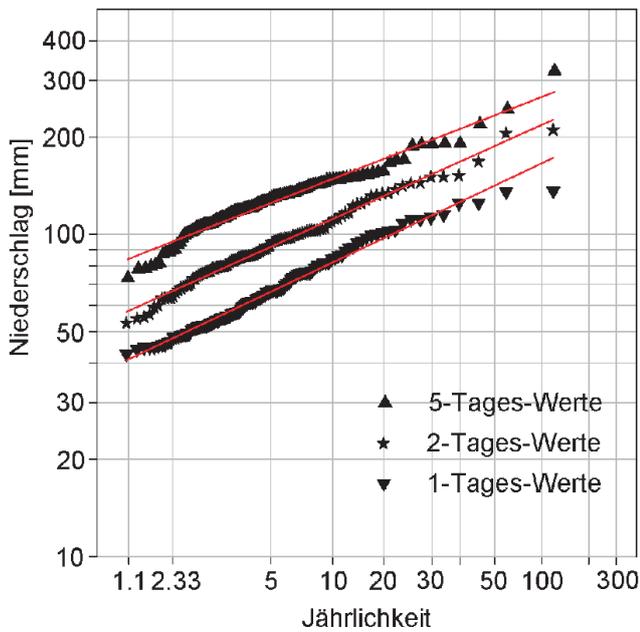
Anhang 4.3c:

Die im Einzugsgebiet vom Steinibach untersuchten Bodenprofile (ST XI-XV) mit der Angabe des Standorts, der Landnutzung, der Geologie, des Bodentyps und der Sondiermethode. Eine Beschreibung der Profile befindet sich im Anhang 4.3a.



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.

<h1>Eigenthal</h1> <h2>1883 - 2008</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	



Anhang 6.1: Die analog zu Zeller et al. (1978) erstellte Starkniederschlagsstatistik für die Station Eigenthal (1883 - 2008).

Eigenthal 1883 - 2008	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima
	2. 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	09.09.1934	137	21.-22.08.2005	214	18.08.-22.08.2005	324	Aug 2005	499	Mai-Juli 1926	976	1930	2353
2	07.08.1978	136	09.-10.08.1984	209	20.06.-24.06.1973	247	Juni 1926	411	Juli-Sep 2002	948	1981	2314
3	10.08.1984	125	22.-23.06.1973	171	08.08.-12.08.1984	222	Juni 1979	400	Juni-Aug 1946	943	2002	2312
4	24.05.1990	125	09.-10.09.1934	154	20.09.-24.09.2002	193	Juli 1946	380	Apr-Juni 1930	910	1979	2284
5	29.04.1930	115	31.-01.09.2002	153	04.07.-08.07.1946	193	Juni 1912	366	Juni-Aug 1927	905	1940	2264
6	15.08.1923	113	06.-07.07.1946	153	01.06.-05.06.2004	192	Juli 1993	366	Juni-Aug 1924	865	1922	2204
7	22.08.2005	112	23.-24.05.1990	147	21.05.-25.05.1990	192	Nov 1972	366	Mai-Juli 1914	859	1965	2204
8	13.06.1912	111	07.-08.08.2007	146	18.01.-22.01.1910	190	Juli 1997	365	Juni-Aug 2005	851	1939	2197
9	15.05.1921	109	06.-07.08.1978	143	06.08.-10.08.2007	172	Juni 1924	360	Mai-Juli 1933	848	2001	2181
10	11.07.1941	103	19.-20.01.1910	140	20.11.-24.11.1972	172	Sep 2002	358	Juli-Sep 1940	832	1999	2172

Interpolierte Niederschlagsintensitäten in mm/h für ausgewählte Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern

Niederschlagsdauer	0.5h	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	2d	3d	5d	1m	3m	1y
Jährlichkeit														
2.33	41.6	26.2	16.5	10.4	8.0	6.6	5.0	3.2	2.1	1.54	1.08	0.46	0.34	0.24
5	56.4	35.0	21.7	13.4	10.2	8.3	6.3	3.9	2.5	1.85	1.29	0.52	0.38	0.26
10	72.3	44.2	27.0	16.5	12.4	10.1	7.6	4.6	3.0	2.15	1.48	0.57	0.40	0.28
20	91.6	55.3	33.4	20.2	15.0	12.2	9.1	5.5	3.5	2.49	1.69	0.61	0.42	0.30
30	105.0	62.9	37.7	22.6	16.8	13.5	10.0	6.0	3.8	2.71	1.83	0.64	0.43	0.30
50	124.6	74.0	43.9	26.1	19.2	15.5	11.4	6.8	4.2	3.00	2.02	0.67	0.45	0.31
100	156.8	91.9	53.9	31.6	23.1	18.5	13.6	7.9	4.9	3.46	2.30	0.72	0.46	0.32
200	197.3	114.2	66.1	38.3	27.8	22.2	16.1	9.3	5.7	3.98	2.62	0.76	0.48	0.33
300	225.6	129.6	74.5	42.8	31.0	24.6	17.8	10.2	6.2	4.32	2.83	0.79	0.48	0.34
500	267.0	152.0	86.6	49.3	35.5	28.1	20.2	11.5	7.0	4.79	3.11	0.82	0.49	0.34
1000	335.7	188.8	106.1	59.7	42.6	33.6	24.0	13.5	8.1	5.51	3.54	0.87	0.51	0.35

Bemerkungen

fehlende Daten während folgender Zeiträume:

- Februar, August, September 1886
- April 1888
- 26.11.-30.11.1889
- 1890 - 1899
- September 1914
- Februar 1930

Entsprechend Röthlisberger et al. (1992), wurde aus regionalen Gründen die 2. Extremalverteilung zur Anpassung an die 2- und 5-Tagesmaxima verwendet, obwohl gemäss van Montfort - Test die 1. Extremalverteilung empfohlen wird.

Anhang 6.2: Die analog zu Zeller et al. (1978) erstellte Starkniederschlagsstatistik für die Station Eigenthal (1883 - 2008).

Wiederkehr- periode [Jahre]	Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags- szenario	Abflussspitzen [m ³ /s] bei den Berechnungspunkten						
			BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	BP 7
30	0.5h30j_dreieck	Dreieck	1.5	0.4	2.1	3.1	4.3	4.6	7.3
	1h30j_dreieck	Dreieck	1.7	0.5	2.3	3.4	4.9	5.2	8.4
	2h30j_dreieck	Dreieck	1.8	0.5	2.4	3.5	5.1	5.5	9.0
	4h30j_dreieck	Dreieck	1.7	0.5	2.4	3.3	5.0	5.3	8.6
	12h30j_block	gleichmässig	1.2	0.4	1.7	2.1	3.2	3.4	5.6
	24h30j_block	gleichmässig	0.8	0.3	1.2	1.5	2.2	2.3	3.8
	48h30j_block	gleichmässig	0.6	0.2	0.8	1.1	1.5	1.6	2.7
100	0.5h100j_dreieck	Dreieck	3.7	1.0	5.0	6.8	10.3	10.9	16.7
	1h100j_dreieck	Dreieck	3.8	1.1	5.2	7.1	10.8	11.4	18.1
	2h100j_dreieck	Dreieck	3.7	1.1	5.0	6.9	10.4	11.0	17.9
	4h100j_dreieck	Dreieck	3.2	0.9	4.5	5.9	9.0	9.6	15.7
	12h100j_block	gleichmässig	1.9	0.6	2.6	3.3	4.9	5.2	8.6
	24h100j_block	gleichmässig	1.2	0.4	1.7	2.1	3.1	3.3	5.5
	48h100j_block	gleichmässig	0.8	0.3	1.2	1.4	2.1	2.2	3.7
300	0.5h300j_dreieck	Dreieck	6.2	1.8	8.5	11.0	17.0	17.8	27.5
	1h300j_dreieck	Dreieck	6.3	1.9	8.7	11.4	17.5	18.4	29.1
	2h300j_dreieck	Dreieck	5.9	1.7	8.1	10.7	16.3	17.3	27.9
	4h300j_dreieck	Dreieck	5.1	1.5	7.1	9.2	13.9	14.8	24.1
	12h300j_block	gleichmässig	2.7	0.9	3.8	4.8	7.0	7.4	12.3
	24h300j_block	gleichmässig	1.7	0.5	2.3	2.9	4.3	4.6	7.5
	48h300j_block	gleichmässig	1.0	0.3	1.5	1.8	2.7	2.9	4.7

Anhang 7: Modellrechnungen ohne HRB Schlund- und Steinibach.