Scherrer AG
Hydrologie und Hochwasserschutz

SoilCom

Hydrologische Grundlagen an den Seitenbächen der Kleinen Emme (Unterlauf)



Auftraggeber:

Verkehr und Infrastruktur des Kt. Luzern vif
Abteilung Naturgefahren

Bericht: 11/153

Reinach, Mai 2012

Scherrer AG, Hydrologie und Hochwasserschutz, Schönmattstrasse 8, 4153 Reinach, Tel. 061 715 30 90
www.scherrer-hydrol.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung....2
1.1 Problemstellung....2
1.2 Vorgehen....2
2 Verwendete Daten und Unterlagen, Gewährspersonen....5
2.1 Literatur....5
2.2 Gewährspersonen....6
3 Karte der Abflussbereitschaft....7
3.1 Einleitung....7
3.2 Abflussbereitschaft auf Moränen....7
3.3 Abflussbereitschaft in steilen Gebieten....8
3.4 Neues Verfahren zur Herleitung von Muldenlagen....9
3.5 Veränderungen in der Abflussprozesskarte 2012 gegenüber der Version 2011....10
4 Niederschlag-Abflussmodell....12
4.1 Einleitung....12
4.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea....12
4.3 Eichung der Modelle....14
4.4 Niederschlag-Szenarien....14
5 Detaillierte Hochwasserabschätzungen....16
5.1 Einleitung....16
5.2 Detaillierte Hochwasserabschätzungen am Rümlig....16
5.3 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Bielbach....27
5.4 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Wiggernbach....35
5.5 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Chesselbach....43
5.6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Renggbach....48
6 Hochwasserabflüsse an 170 kleinen Seitenbächen....54
6.1 Einleitung....54
6.2 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit....61
7 Hochwasserabflüsse der Kleinen Emme....73
8 Zusammenfassung....74
Anhang....76

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Gefahrenkarte im Einzugsgebiet der Kleinen Emme (Wolhusen, Werthenstein, Ruswil, Malters, Littau, Emmen) wurde 2007 erstellt (Bart Ingenieure / Louis, 2007). Dazu wurden die erforderlichen hydrologischen Grundlagen hergeleitet, die Auskunft über seltene Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 30, 100 und 300 (HQ_{30}, HQ_{100}, HQ_{300}) Jahren geben. Für die Gefahrenkarten werden üblicherweise gängige Schätzverfahren (HQx_meso, HAKESCH (BAFU, 2003) verwendet. Einzugsgebiete (EZG) sind - vergleichbar mit Fingerabdrücken - in ihrem Aufbau einzigartig. Je nach Gebietsaufbau (Geologie, Bodengeographie, Landnutzung, Geomorphologie, Topographie) infiltriert bei Starkregen unterschiedlich viel Wasser in den Boden und wird darin vorübergehend gespeichert. Je nach Gebiet laufen daher unterschiedliche Abflussprozesse ab, welche die Grösse der zu erwartenden Abflüsse massgeblich beeinflussen. Diese räumlich stark variierenden Eigenheiten müssen bei der Herleitung der massgebenden Hochwasserabflüsse berücksichtigt werden. Im Rahmen der EZG-Studie Kleine Emme (Scherrer AG, Soilcom GmbH. 2010) wurde das EZG der Kleinen Emme nach der Abflussbereitschaft automatisiert kartiert. Dabei ergab sich ein buntes Bild von unterschiedlich stark zum Abfluss beitragenden Flächen. Je nach Gebietsaufbau ist die Abflussreaktion sehr unterschiedlich. Die gängigen Schätzverfahren sind nicht in der Lage, die in dieser Karte aufgezeichneten Unterschiede der Abflussbereitschaft in genügendem Masse zu berücksichtigen.

Die hydrologischen Grundlagen der Gefahrenkarte sollen daher im Hinblick auf geplante Hochwasserschutzprojekte überprüft werden. Im Projektperimeter, der sich von Wolhusen bis nach Emmen erstreckt (Abb.1.1), liegen ca. 170 Bäche mit EZG-Flächen von < 1 ha bis 63 km^2. An keinem der Bäche sind längere Abflussmessungen vorhanden, d.h. die massgebenden Abflüsse können nicht statistisch hergeleitet werden. In einem der grössten EZG, dem Renggbach bei Kriens (ca. 12 km^2), hat die VAW der ETH Zürich eine Risikoanalyse durchgeführt, in der die Hydrologie detailliert abgehandelt wurde (VAW, 1999). Weitere grosse EZG werden vom Wiggernbach in Wolhusen (ca. 8 km^2), dem Bielbach bei Ruswil (22 km^2) und dem Rümlig bei Malters (ca. 63 km^2) entwässert. Zudem gibt es einige Bäche, die zwar eine kleine EZG-Fläche haben, aber ein grosses Schadenspotenzial aufweisen (z.B. Bäche oberhalb Malters).

Ziel der Überarbeitung der hydrologischen Grundlagen sind Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit, welche der unterschiedlichen Abflussbereitschaft der EZG Rechnung tragen und über das Gesamtgebiet konsistent sind. Da die Bäche bezüglich Schadenspotenzial und Grösse recht unterschiedlich sind, wurde ein Vorgehen mit unterschiedlicher Bearbeitungstiefe eingeschlagen.

1.2 Vorgehen

1. Überarbeitung der Kartierung der Abflussbereitschaft (Kap. 3): Hinsichtlich der Verwendung der Abflussprozesskarte aus (Scherrer AG, Soilcom GmbH; 2010) für die hydrologische Beurteilung der Seitenbäche der Kleinen Emme wurde die Abflussprozesskarte durch die Soilcom GmbH nochmals eingehend geprüft. Gezielte Feldbegehungen führten zur Identifikation von Schwachpunkten, danach wurde die Abflussprozesskarte in Moränengebieten, in sehr steilen Gebieten und in Muldenlagen verändert.

2. Detaillierte Untersuchung grosser Bäche (Rümlig, Bielbach und Wiggernbach, Kap. 5.2 – 5.4): Für diese Gebiete wurde eine detaillierte Hydrologiestudie erstellt. Dazu wurden die historischen Hochwasser erkundet, ein Niederschlag-Abfluss-Modell basierend auf den Abflusstypen aufgestellt, Abflussberechnungen durchgeführt und in einer Synthese die massgebenden Abflüsse ermittelt (analog Suhre, Scherrer AG, 2010). Diese Bäche dienten als Referenzgebiete für die Übertragung.

3. Detaillierte Untersuchung eines kleinen Bachs (Chesselbach, Ettisbüel, Kap. 5.5): Der Chesselbach hat bezüglich Aufbau grosse Ähnlichkeit mit einer Vielzahl kleiner Bäche entlang der Kleinen Emme. Vor allem besitzt er Ähnlichkeit mit einigen EZG bei Malters, die ein sehr grosses Schadenspotenzial aufweisen. Auch an diesem Bach wurde eine detaillierte Untersuchung erstellt, um für die Übertragung einen zusätzlichen Referenzbach zu verfügen.

4. Aktualisierende Untersuchung Renggbach (Kap. 5.6): Am Renggbach wurde die Hydrologiestudie der VAW (1999) aktualisiert, indem die Hochwasser zwischen 1999 und heute zusammengestellt und die Abflussspitzen an der Blattigbrücke rekonstruiert wurden. In einem Frequenzdiagramm wurden die rekonstruierten historischen Abflüsse und die Modellrechnungen von 1999 in Beziehung gesetzt und die massgebenden Hochwasserabflüsse aktualisiert.

5. Übertragung der Abflüsse auf die übrigen Bäche (Kap. 6): Die Abflüsse aus den detailliert untersuchten EZG wurden auf die übrigen Bäche gemessen an ihrer Abflussbereitschaft und Grösse übertragen. Mit der Erkundung historischer Hochwasser (Sichtung von Archiven, Chroniken, Zeitungen ausgehend vom Ereigniskataster) wurden zusätzliche Hinweise über die Reaktionsweise der Gebiete zusammengetragen. Auf diese Weise wurden Informationen extremer Hochwasser in den Seitenbächen gesammelt und - sofern möglich - die Abflussspitzen rekonstruiert. Damit liess sich die Übertragung der Abflüsse in ca. 25 Fällen plausibilisieren.

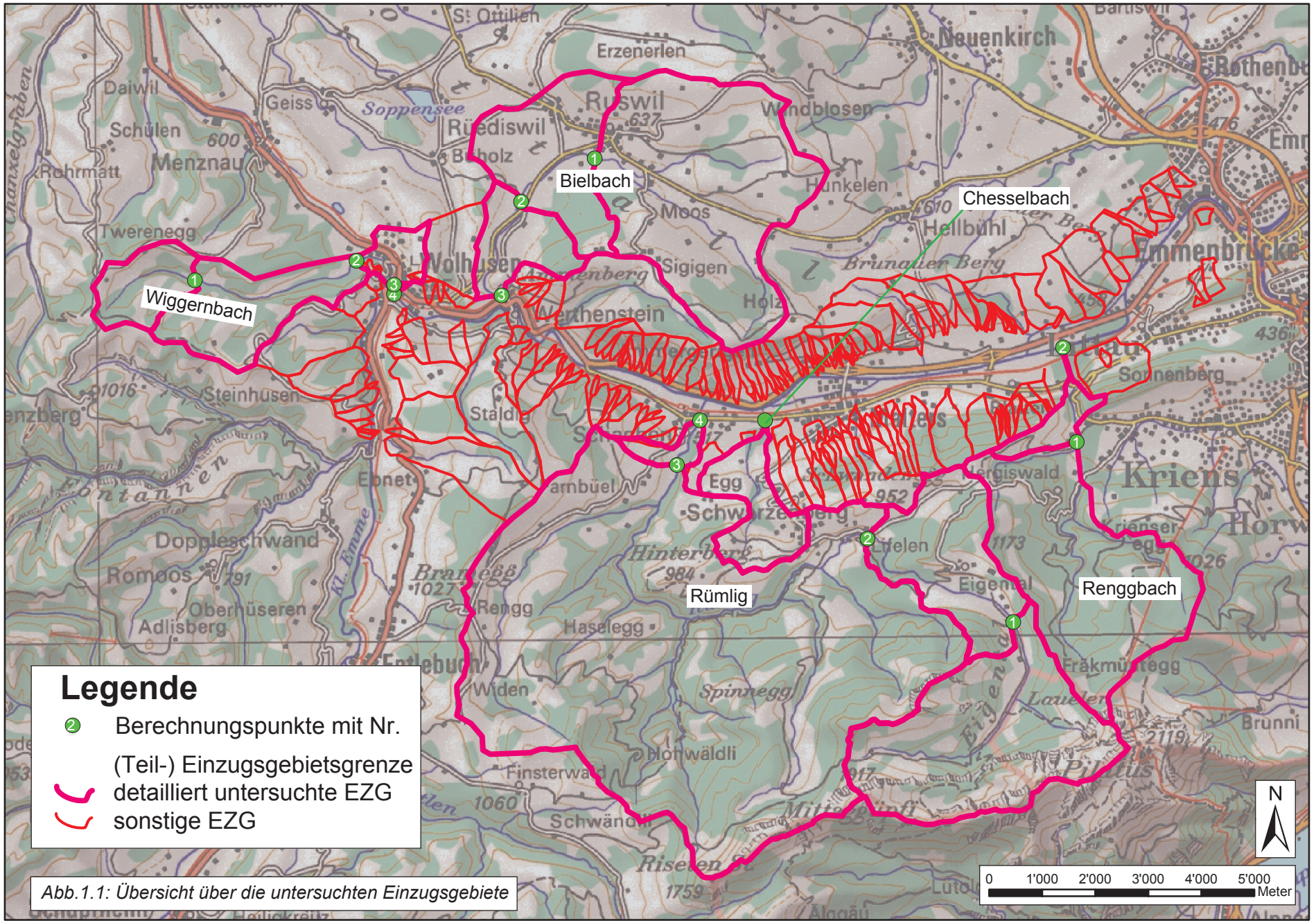


Abb.1.1: Übersicht über die untersuchten Einzugsgebiete

2 Verwendete Daten und Unterlagen, Gewährspersonen

2.1 Literatur

- ASF, Amt für Strassen und Flussbau (1974): Die grössten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflussmengen von schweizerischen Gewässern.
- Bart (Ingenieure Bart AG) und Louis (Louis Ingenieurgeologie GmbH) (2007): Integrale Gefahrenkarte Kleine Emme.
- Behrens T. (2003): Digitale Reliefanalyse als Basis von Boden-Landschafts-Modellen am Beispiel der Modellierung periglaziärer Lagen im Ostharz. Boden und Landschaft 42, Giessen.
- Brandstetter J.L. (1911): Naturhistorische Literatur und Naturchronik der fünf Orte für die Jahre 1906 bis 1909.
- GIUB, Geografisches Institut der Universität Bern (1998): Datenbank der Schadenereignisse der Schweiz (1800 – 1994).
- Hegner A.G. (1852): Die Wassernoth in der Schweiz im Herbstmonat 1852. Hrsg. A. G. Hegner, Buchhandlung.
- Lanz-Stauffer H. und C. Rommel (1936): Elementarschäden und Versicherung. Studie des Rückversicherungsverbandes kantonal-schweizerischer Feuerversicherungsanstalten zur Förderung der Elementarschadenversicherung, Band 2. Selbstverlag des Rückversicherungsverbandes. Bern.
- Meier J. (1939): Die Unwetter in der Schweiz 1900 – 1950.
- Röthlisberger G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte WSL, Berichtnummer 330.
- Scherrer AG (2009): Abschätzung seltener Hochwasser an der Kleinen Schliere in Alpnach (Kt. OW); Auftraggeber: Wuhrgenossenschaft der Kleinen Schliere; Bericht 09/110, Reinach, Juni 2009.
- Scherrer AG / Soilcom GmbH (2011): Beurteilung der Abflussbereitschaft des Einzugsgebiets der Kleinen Emme (Kt. LU) durch automatisierte Kartierung (GIS) - Ermittlung von Flächen mit potentiellem Wasserrückhalt und ihr Einfluss auf den Hochwasserabfluss. Auftraggeber: Dienststelle Verkehr und Infrastruktur des Kt. LU (vif).
- Spieler J. (1930): Die Verbauung des Renggbaches und seiner Zuflüsse. Referat, gehalten anlässlich der Hauptexkursion des schweiz. Forstvereins am 16. September 1930, von Kreisoberförster J. Spieler.
- Stirnimann V. (1882): Der Renggbach in der Gemeinde Kriens und dessen rationelle Verbauung. von V. Stirnimann, Ingenieur, Bauinspector der Stadt Luzern. Luzern Buchdruckerei von J. L. Bucher, 1882.
- Ulrich M. (2011): Hydrologische Extremereignisse kleiner Einzugsgebiete. Technischer Bericht, Vertiefungsprojekt HSR Rapperswil.
- U.S. Army Corps of Engineers (2010): Hydrologic Engineering Center, River Analysis System (HEC-RAS), Version 4.1.0.
- VAW, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (1999): Risikoanalyse Renggbach. Studie über die Überschwemmungsgefahr in Kriens, Horw und der Stadt Luzern infolge seltener Hochwasser am Renggbach. Auftraggeber: Renggbachschutzgenossenschaft.
- Walther (1897): Botschaft des Regierungsrates des Kantons Luzern an den hohen Grossen Rat desselben betreffend Subventionierung der Korrektion des untern Laufes des Rümlig und der anschliessenden Emmenstrecke bis zur Ennigerbrücke in den Gemeinden Werthenstein und Malters.
- WSB (Ingenieure WSB) (2005): 10112 Verbauung des Rümlig, Malters und Werthenstein, Mündung Kl. Emme bis Möschfuhren, Eggweid / Munistein. Situation 1:1'000, Längenprofil 1:1'000/100, Querprofile 1:100.
- WSL, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2011): Ereignisdokumentation der Hochwasserschäden in den Gemeinden im Einzugsgebiet der Kleinen Emme (1972-2010).
- Zeller J., Geiger H., Röthlisberger G. (1978): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Bd. 3, Hrsg. von der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
- Zeitungen, diverse: Entlebucher, Entlebucher Anzeiger, Luzerner Landbote, Luzerner Zeitung, Vaterland, Willisauer Bote

2.2 Gewährspersonen

- Alfred Estermann, Wuhraufseher Ruswil
- Bühlmann S., Sagemüli, 6017 Ruswil
- Burri H., Haselholz 1, 6102 Malters
- Burri H., Kreuzst. 2 , 6017 Ruswil
- Chlungelisei, Anwohnerin, Werthenstein
- Duss H., Werthenstein-Unterdorf 6017 Ruswil
- Feuerwehr Wolhusen
- Grüter M., Under Ro, 6017 Ruswil
- Günter P., Wolhuserstr. 41, 6017 Ruswil
- Haas W., Bachmeister, Obernau
- Hänsli U., eh. Wuhraufseher, Malters
- Karch H., Werthenstein
- Kirchgasse 8, Anwohnerin, Wolhusen
- Kommetsrüti 8, Anwohnerin, Wolhusen
- Oberlangnau 2, Anwohner, 6106 Ruswil
- Schumacher P., Feuerwehrkommandant 1986 – 2010, 6110 Wolhusen
- Studer P., Wuhraufseher, Schachen
- Waltisberg H., Feuerwehrkommandant vor 1986, 6110 Wolhusen,
- Wermelinger F., Bielmüli, 6017 Ruswil
- Wey-Renggli W., Ankenberg 6, 6110 Wolhusen
- Wolfisberg F., Bielbachweg 1, 6017 Ruswil

3 Karte der Abflussbereitschaft

3.1 Einleitung

Im Rahmen der Untersuchung von Scherrer AG / SoilCom GmbH (2011) *"Beurteilung der Abflussbereitschaft des Einzugsgebiets der Kleinen Emme (Kt. LU) durch automatisierte Kartierung (GIS) - Ermittlung von Flächen mit potentiellem Wasserrückhalt und ihr Einfluss auf den Hochwasserabfluss"* wurde eine Abflussbereitschaftskarte der Kleinen Emme erstellt. Das Vorgehen ist in jenem Bericht detailliert beschrieben. In sog. Testgebieten wurden mittels Felduntersuchungen die dominanten Abflussprozesse hergeleitet. Diese Testgebiete dienten als "Lerngebiete" für die automatisierte Kartierung der Abflussbereitschaft. Auf der Grundlage der Abflussbereitschaftskarte wurde dann ein Niederschlag-Abflussmodell aufgebaut und die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf den Abfluss untersucht und dargestellt.

Das Verfahren der automatisierten Kartierung von Abflussprozessen wird laufend aktualisiert und verbessert. Es zeigte sich in der Abflussbereitschaftskarte von 2011, dass im Unterlauf der Kleinen Emme gewisse Flächen bezüglich Abflussbereitschaft unterbewertet sind (z.B. Moränengebiete). Da die vorliegende Überprüfung der hydrologischen Grundlagen etliche Kleinst-Einzugsgebiete in solchen Gebieten betrifft, wurde die Abflussprozesskarte im Projektperimeter Unterlauf Kleine Emme (Abb. 1.1) überarbeitet.

Hinsichtlich der Verwendung der Abflussprozesskarte für die hydrologische Neubeurteilung der Seitenbäche des Unterlaufes der Kleinen Emme wurde die Abflussprozesskarte nochmals eingehend geprüft. Die Abflussprozesskarte muss imstande sein, auch die Abflussreaktion von kleinen EZG richtig einzuschätzen. Mit einer ersten Überprüfung der Karte am Bildschirm durch die Scherrer AG, konnten erste Schwachpunkte identifiziert werden. Mit einer Feldbegehung wurden gezielt mit Sondierungen und Beobachtungen diese Stellen beurteilt. Danach wurde die Abflussprozesskarte in Moränengebieten, in sehr steilen Gebieten und in Muldenlagen verändert.

3.2 Abflussbereitschaft auf Moränen

Wie schon der Bericht aus dem Jahre 2011 aufzeigt, ist die automatisierte Herleitung von Abflussprozessen in Moränengebieten, v.a. im EZG der Kleinen Emme, anspruchsvoll und heikel. Auf vernässten Moränengebieten wurde die Abflussbereitschaft teilweise unterschätzt (vgl. Abb. 3.1, links). Diese vernässten Moränengebiete lassen sich anhand einer erhöhten Gerinnedichte teilweise identifizieren. Für die Identifikation wurde ein automatisiertes Verfahren entwickelt, mit welchem EZG mit einer hohen Gerinnenetzdichte erkannt werden. Diesen Gebieten wurden Böden mit einer stärkeren Vernässung zugewiesen (vgl. Abb. 3.1, rechts). Unsere Beobachtungen im Feld haben zudem gezeigt, dass im EZG der Kleinen Emme die Moränen der Würmeiszeit i.a. eher undurchlässiger sind als z.B. im Kanton Zürich. Deshalb wurde das Regelwerk dahingehend geändert, dass auf Moränen keine DP-Flächen vorkommen (vgl. Abb. 3.1, rechts), (DP-Flächen sind Flächen mit Tiefensickerung und somit sehr stark verzögerter Abflussbildung).

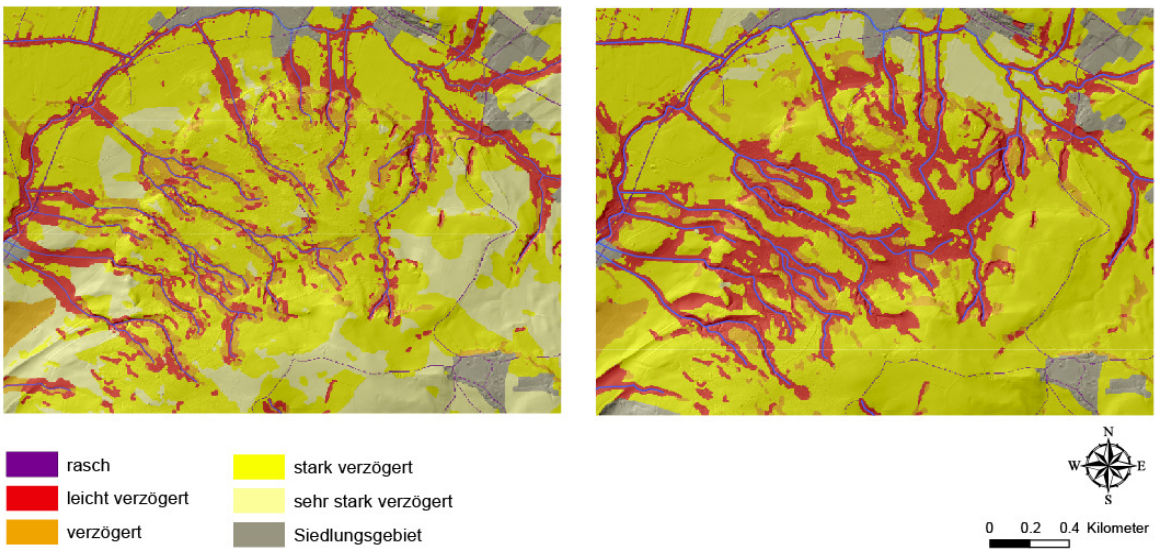


Abb. 3.1: Ausschnitte der automatisch hergeleiteten Abflussprozesskarte in einem vernässten Moränengebiet zwischen Werthenstein und Ruswil. Abbildung links zeigt die Abflussprozesskarte vom Stand Februar 2011. Abbildung rechts zeigt die verbesserte Abflussprozesskarte, welche die vernässten Flächen und bei Starkniederschlägen stark zum Abfluss beitragenden Moränengebiete besser wiedergibt.

3.3 Abflussbereitschaft in steilen Gebieten

Die Überprüfung der Abflussprozesskarte hat zudem aufgezeigt, dass in steilem Gelände mit mässig durchlässigem Untergrund die Abflussbereitschaft teilweise unterschätzt wurde (vgl. Abb. 3.2, links). Gebiete mit zu gering eingeschätzter Abflussbereitschaft wurden, ähnlich zum Vorgehen bei den Moränen, anhand einer erhöhten Gerinnenetzdichte identifiziert. Das Regelwerk wurde dort entsprechend angepasst und die Abflussbereitschaft erhöht (vgl. Abb. 3. 2, rechts).

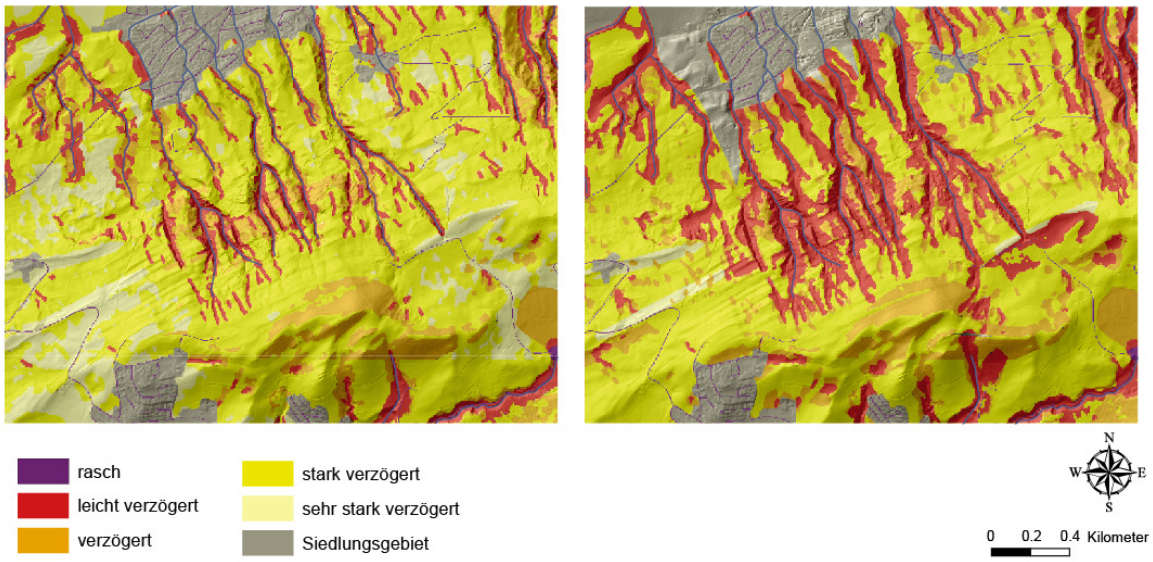


Abb. 3.2: Ausschnitte der automatisch hergeleiteten Abflussprozesskarte in einem steilen Hang mit Sandsteinuntergrund südlich von Malters. Die Abbildung links zeigt die Abflussprozesskarte vom Stand Februar 2011. Die Abbildung rechts zeigt die verbesserte Abflussprozesskarte. Diese gibt die bei Starkniederschlägen stark zum Abfluss beitragenden Bach- und Erosionsrinnen besser wieder.

3.4 Neues Verfahren zur Herleitung von Muldenlagen

Um Gebiete mit erhöhter Abflussbereitschaft räumlich noch präziser abgrenzen zu können, wurde für die Herleitung der Muldenlagen ein neues Verfahren eingesetzt[1]. Das Verfahren basiert auf den sog. „Höhen über Tiefenlinien“ und wird versuchsweise bei der Kartierung von detaillierten Bodenkarten, als Hilfsmittel für die Feldarbeiten, eingesetzt. Muldenlagen zeigen tendenziell eine erhöhte Abflussbereitschaft, sei es aufgrund von vernässten Bereichen, die in Mulden vorkommen können oder aufgrund des Zusammenfliessens von Wasser in Mulden. Gegenüber der herkömmlichen Methode (vgl. Abb. 3.3, links) ermöglichen die mit dem neuen Verfahren hergeleiteten Mulden eine präzisere Abgrenzung der stark beitragenden Flächen im kleinräumigen Bereich (vgl. Abb. 3.3 rechts).

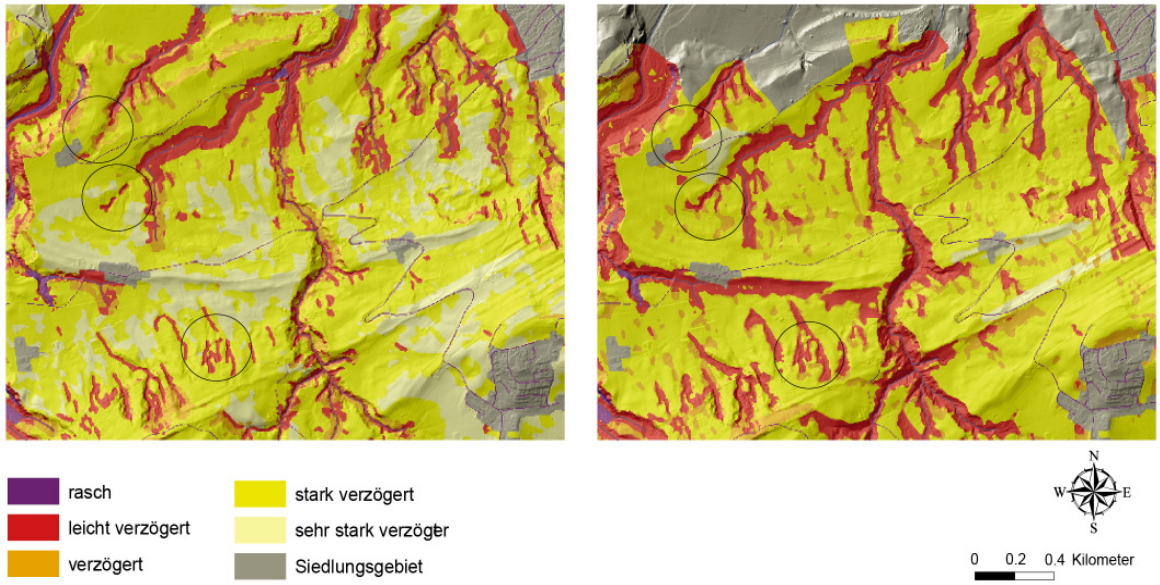


Abb. 3.3: Ausschnitte der automatisch hergeleiteten Abflussprozesskarte im Moränenhügelland südlich von Ennigen (Malters). Abbildung links zeigt die Abflussprozesskarte vom Stand Februar 2011. Abbildung rechts zeigt die verbesserte Abflussprozesskarte. Die mit schwarzen Kreisen markierten Bereiche zeigen exemplarisch auf, wo mit dem verbesserten Verfahren stark beitragende Muldenlagen besser abgegrenzt werden konnten.

1 Die GIS – gestützte Herleitung von Muldenlagen mit Hilfe von Höhen über Tiefenlinien wurde ursprünglich von Behrens (2003) entwickelt und in einer Kooperation zwischen Brigitte Suter von der Fachstelle Umwelt und Energie (Abteilung Boden) des Kantons Luzern und Michael Margreth (SoilCom GmbH) weiterentwickelt.

3.5 Veränderungen in der Abflussprozesskarte 2012 gegenüber der Version 2011

Abbildung 3.4 zeigt die revidierte Abflussprozesskarte im Projektperimeter im Unterlauf der Kleinen Emme. Durch die Änderungen im Regelwerk zur Herleitung der Bodenwasserhaushaltsgruppen und der Abflussprozesse ergeben sich bestimmte Veränderungen der Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen. Die Abflussbereitschaft in den EZG im Unterlauf wird in der neuen Version stärker eingeschätzt als in der Version von 2011. Tabelle 3.1 zeigt die Unterschiede für das EZG im Unterlauf der Kleinen Emme.

Die Flächen mit Abflusstyp 1 sind im Vergleich zur alten Version gleich geblieben. Die Ausdehnung der Flächen mit Abflusstyp 2 hat in der neuen Kartierung um 13% zugenommen. Die Flächenanteile der Abflusstypen 3 und 4 sind gegenüber der Abflussprozesskarte von 2011 beide leicht geringer. Der Anteil der hoch durchlässigen Gebiete (Abflusstyp 5, DP) hat von 8% auf 2% abgenommen, weil das neue Regelwerk die Moränen als weniger durchlässig einschätzt.

Tab. 3.1: Vergleich der Anteile der Abflusstypen in den Abflussprozesskarten 2011 und 2012.

Abflusstypen	Abflussreaktion	Anteile der Abflusstypen [%]	
		Version 2012	Version 2011
1	rasch	4	4
2	leicht verzögert	36	23
3	verzögert	23	27
4	stark verzögert	32	35
5	sehr stark verzögert	2	8
Siedlungsgebiet		3	3

In der Version 2011 bedecken die Abflusstypen 1, 2 und 3 64% der EZG-Fläche im Unterlauf der Kleinen Emme. Damit sind diese Flächen um 9% höher als in der Version 2011. Die im Regelwerk vorgenommenen Veränderungen betreffen v.a. Moränengebiete, weitere quartäre Deckschichten und mässig durchlässige steile Hänge. Der Anteil der betroffenen Gebiete dürfte im Oberlauf der Kleinen Emme geringer sein als im Unterlauf. Deshalb gehen wir davon aus, dass die Zunahme rascher Abflussprozesse für das gesamte EZG der Kleinen Emme niedriger ausfallen dürfte als im Unterlauf. Eine Neuberechnung der Abflussprozesskarte für das gesamte EZG der Kleinen Emme war nicht vorgesehen.

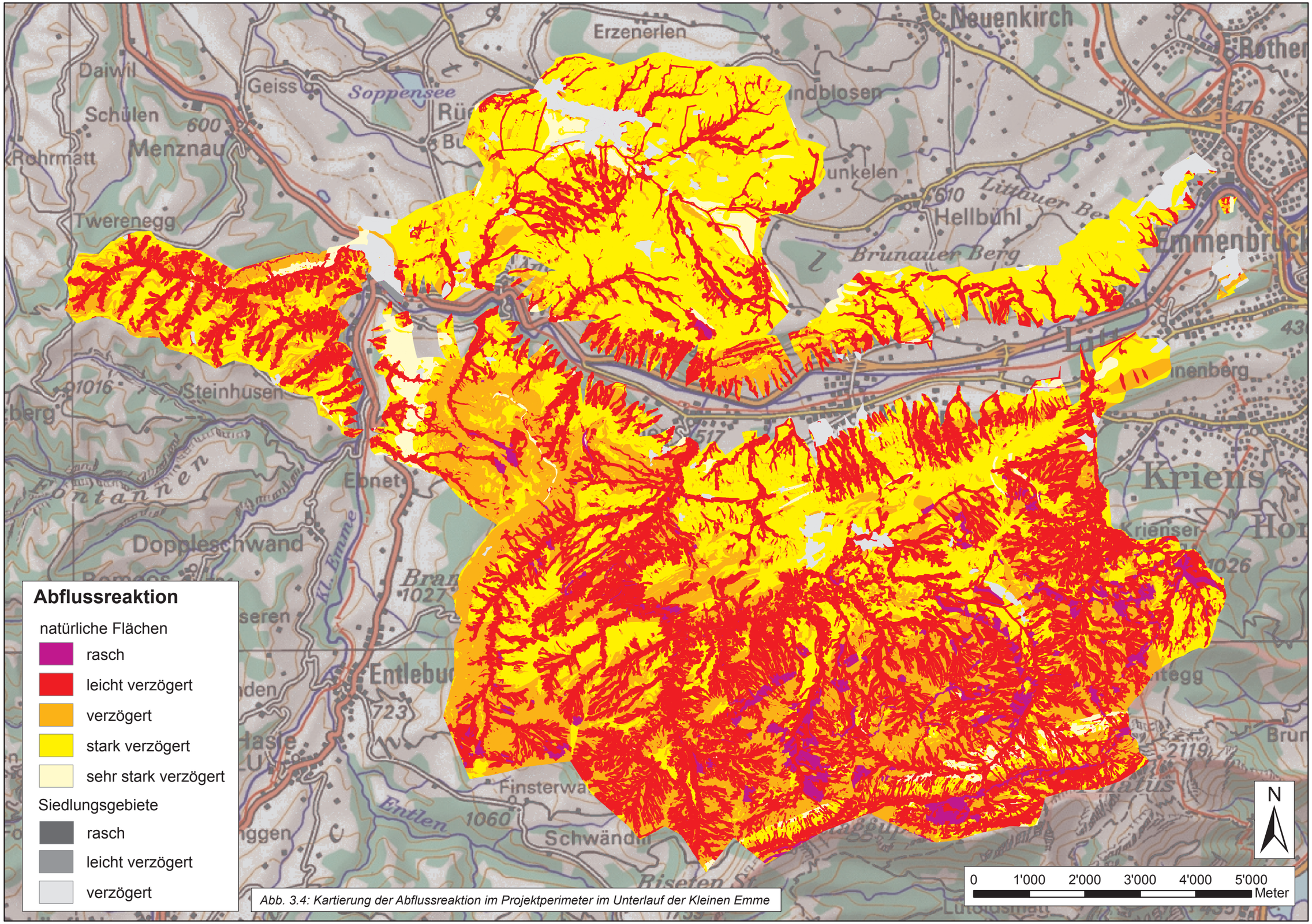


Abb. 3.4: Kartierung der Abflussreaktion im Projektperimeter im Unterlauf der Kleinen Emme

4 Niederschlag-Abflussmodell

4.1 Einleitung

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

4.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QAREA

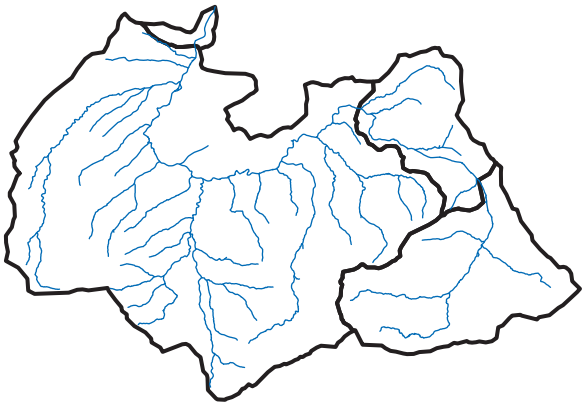
Die Abbildung 4.1 zeigt die Grundlagen des NAM QAREA am Beispiel des Rümlig - EZG.

Die wichtigsten Grundlagen und Eigenschaften des Modells QAREA können folgendermassen zusammengefasst werden:

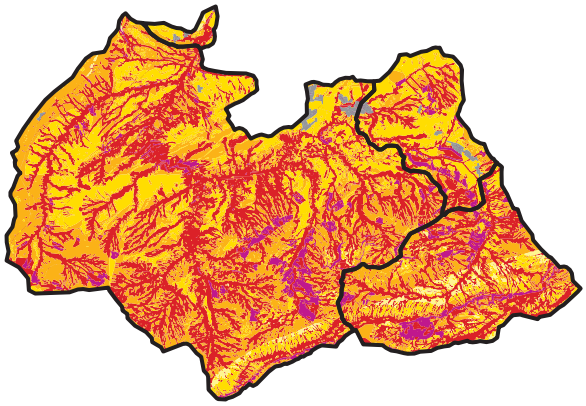
- Das NAM berechnet Abflüsse aus verschiedenen Teil-EZG bzw. für verschiedene Bemessungspunkte (Abb. 4.1a).
- Das NAM basiert auf der Klassifizierung der Abflussbereitschaft der Teileinzugsgebietsflächen (Abflusstypen, Abb. 4.1b) und den dazugehörenden Abflussreaktionen (Abflussreaktionskurven, Abb. 4.1c).
- Die Fliesszeiten bis zum Teileinzugsgebietsausgang (Isochronen) und die Fliesszeiten in den Gerinnen wurden berücksichtigt (Abb. 4.1d).
- Niederschläge: Zur Simulation von Landregen aber auch kurzen Gewitterniederschlägen kann das Gebiet gleichmässig überregnet werden oder auch nur Teile davon (Abb. 4.1e).

Ein Schema des eingesetzten Modells ist im Anhang 3 zu finden. Der gefallene Niederschlag wird aufgeteilt in Direktabfluss und in den Boden infiltrierendes Wasser. Das infiltrierte Wasser wird im Boden gespeichert und verzögert wieder abgegeben. Die Reaktion dieser Bodenspeicher wird mit linearen Speichern modelliert. Für jeden 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.

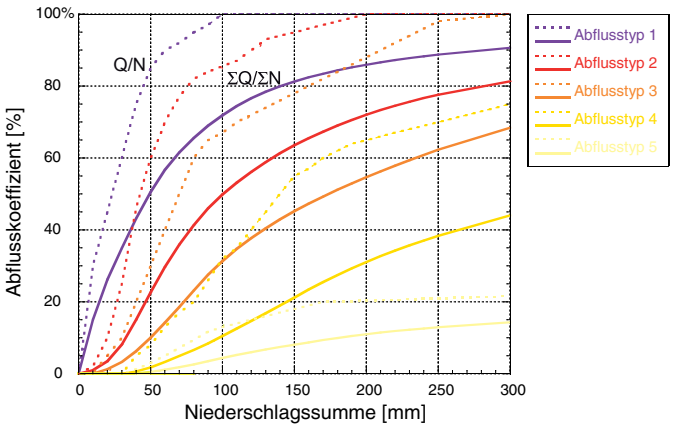
a) Teileinzugsgebiete

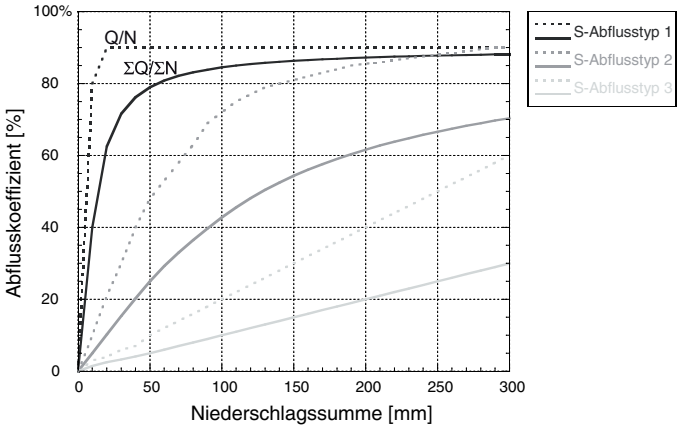


b) Abflusstypen

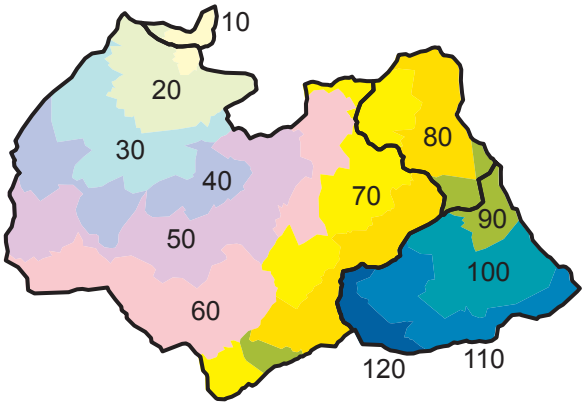


c) Abflussreaktionskurven

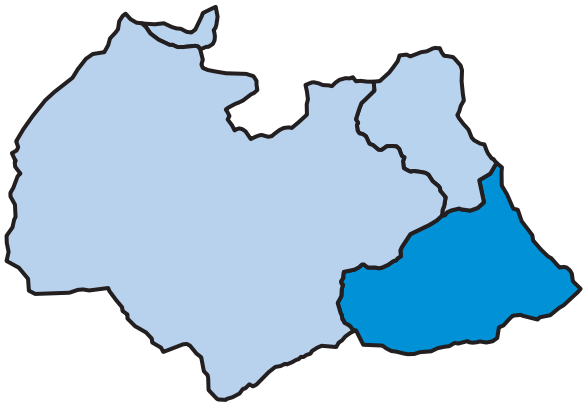




d) Fliesszeiten in Minuten (Isochronen)



e) Niederschlagszonen



Gewitterszenario

Abb. 4.1: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QAREA für den Rümlig
a) Die Teileinzugsgebiete,
b) die Abflusstypen,
c) die Abflussreaktionskurven,
d) die Fliesszeiten in Minuten (Isochronen),
e) die Niederschlagszonen des Gewitterszenarios.

4.3 Eichung der Modelle

In den betrachteten EZG bestehen keine Abflussmessstationen[2]. Für die Modelleichung wurden daher für jedes der vier betrachteten EZG die Spitzenabflüsse von mindestens zwei Hochwasserereignissen abgeschätzt und nachgerechnet. Bei diesen Hochwasserereignissen waren folgende Voraussetzungen für eine Modelleichung gegeben: Es waren Niederschlagsereignisse, bei welchen zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsdaten zur Verfügung standen und bei denen die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden konnte. Die Ergebnisse der Modelleichungen sind in Anhang 5 dargestellt.

4.4 Niederschlag-Szenarien

4.4.1 Räumliche Niederschlagsverteilungen

Niederschläge haben eine zeitliche (Dauer und Intensität des Niederschlags) und eine räumliche Verteilung (Überregnung des Gebiets). Bei langandauernden Niederschlagsereignissen (> 4 h Dauer) wurde für die Herleitung der Szenarien angenommen, dass das ganze EZG gleichmässig überregnet wird.

Die Zentren von Konvektionszellen, in denen die Niederschlagsmaxima von kurzen Starkniederschlägen (≤ 4 h Dauer) fallen, sind auf wenige km^2 begrenzt. Daher wurden Gewitterszenarien (Niederschlagsdauer < 4 h, z.B. Abb. 4.1e) festgelegt, bei denen einzelne Teileinzugsgebiete (TEZG) voll, die übrigen (nicht voll beregneten) TEZG mit halbierten Niederschlagsintensitäten überregnet wurden.

4.4.2 Zeitliche Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensitäten

Im untersuchten Gebiet liegt die Regenmessstation Eigenthal der MeteoSchweiz. Diese Station weist eine lange Messreihe seit 1883 auf. Für diese Messreihe gibt es eine statistische Auswertung (Zeller et al., 1978). In der Niederschlagsstatistik von Zeller et al. (1978) wurden die Jahre 1901 – 1970 ausgewertet. Seit 1970 gab es in der Region eine Häufung extremer Starkregen, welche in dieser Statistik nicht berücksichtigt sind. Daher wurde analog zu Zeller et al. (1978) die Statistik der Station Eigenthal auf die gesamte Messreihe (1883 – 2008) verlängert (Scherrer AG, 2009), (Anhang 6). 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 extrem hohe Werte. Aus diesem Grund wurden analog zu Scherrer AG (2009) etwas reduzierte Werte für die 300-jährlichen Regen mit einer Dauer von weniger als 4 h für die Berechnungen mit dem NAM verwendet.[3]

Für die Regenmessstation Luzern wurde ebenfalls die statistische Auswertung auf die gesamte Datenreihe (1881 – 2010) verlängert. Bei dieser Station ergeben sich markant tiefere Werte (z.B. 120 mm für den 100jährlichen Regen mit 24 h Dauer im Vergleich zu 190 mm bei Eigenthal). Im Sinne einer Abschätzung „auf der sicheren Seite“, wurde daher die Station Eigenthal verwendet, um die Niederschlagszenarien abzuleiten. Im Vergleich mit den historisch belegten Ereignissen bestätigte sich dieses Vorgehen.

2 Zwischen 1988 und 2004 betrieb das BAFU am Rümlig einen Grenzwertpegel, im November 2011 wurde ein Radarpegel installiert.

3 Der 300jährliche Niederschlag mit 1 h Dauer wurde beispielsweise von 129.6 mm auf 120.0 mm reduziert.

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.

*Tab. 4.1: 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. Nieder-schlags-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 Detaillierte Hochwasserabschätzungen

5.1 Einleitung

Für fünf Seitenbäche der Kleinen Emme - den Rümlig bei Malters (ca. 63 km^2), den Wiggernbach in Wolhusen (ca. 8 km^2), den Bielbach in Ruswil bzw. Werthenstein (22 km^2) und den Chesselbach in Ettisbüel bei Malters (2.8 km^2) - wurde jeweils eine detaillierte Hydrologiestudie erstellt. Zusätzlich wurde die Studie für den Renggbach bei Blatten (12.4 km^2) (VAW, 1999) aktualisiert. Dazu wurden jeweils die historischen Hochwasser erkundet, ein Niederschlag-Abfluss-Modell basierend auf den Abflusstypen aufgestellt und Abflussberechnungen durchgeführt. 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.

5.2 Detaillierte Hochwasserabschätzungen am Rümlig

5.2.1 Einleitung

Am Rümlig wurde im November 2011 ein Radarpegel installiert. Zwischen 1988 und 2004 betrieb das BAFU am Rümlig einen Grenzwertpegel, dessen Daten ausgewertet und eine Angabe zur Grösse häufiger Hochwasser liefern. In der vorliegenden Arbeit wurde zusätzlich die Hochwassergeschichte ausgewertet und ein Niederschlags-Abflussmodell aufgebaut, um die Grösse seltener Hochwasser abzuschätzen.

5.2.2 Grenzwertpegel

Der Hochwassergrenzwertpegel (HW-1341: Rümlig-Schachen; Holzguet) wurde vom 21.4.1988 - 19.10.1993 zuerst bei Holzguet oberhalb von Schachen (653'480 / 208'850) und anschliessend in Schachen unterhalb der Bahnlinie (5.4.1994 - 16.8.2004; 653'950 / 209'850) betrieben. Er wurde in unregelmässigen Abständen durch die Landeshydrologie abgelesen. Bei der Ablesung handelt es sich immer um einen einzelnen Wert, der dem maximalen Pegelstand der Zeitspanne seit der letzten Ablesung entspricht. Eine genaue zeitliche Zuordnung des maximalen Pegelstands zu einem Datum ist nur dann möglich, wenn weitere Kenntnisse vorliegen.

Für beide Standorte wurden von der Landeshydrologie die Ablesungen sowie die geometrischen Daten (Quer- und Längenprofile) bei der Station zur Verfügung gestellt. Eine Pegel-Abfluss-Beziehung (PQ-Beziehung), welche anhand von Eichmessungen erstellt wird, existiert nicht. Mit Hilfe des hydraulischen 1-D-Programms HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 2010) wurden aufgrund der aufgezeichneten Pegelstände die entsprechenden Abflusswerte abgeschätzt. Zwischen dem 21.4.1988 und dem 16.8.2004 fanden 52 Ablesungen statt, wobei 50 Mal eine plausible Pegelhöhe registriert wurde (Anhang 7).

5.2.3 Historische Hochwasser

Die Hochwassergeschichte dieses gefährlichen Wildbachs ist reichhaltig. Sämtliche Angaben zu vergangenen Hochwassern sind in Beilage 2 dokumentiert. Im 16. Jahrhundert wurde die

Strassenbrücke in Schachen viermal weggeschwemmt. Die Ereignisse seit 1781 konnten in einem Zeitpfeil (Abb. 5.1) eingeordnet werden. Frühere Hochwasserereignisse wurden anhand qualitativer Kriterien (Tab. 5.1) eingeordnet. Diese Einordnung erlaubte einen Vergleich mit den jüngeren Ereignissen, die von konkreten Abschätzungen rekonstruiert wurden.

Nach einem Gewitter im **Mai 1781** wurden im Eigental alle Stege und Wege weggerissen. In Schachen wurde ebenfalls die Brücke zerstört und ein Haus bis zur ersten Etage mit Geschiebe gefüllt sowie Kulturland übersart. Am **10. August 1896** stieg der Rümlig nach stundenlang andauernden Gewittern zu "einer seit Menschengedenken nicht gekannter Höhe" an, trat oberhalb von Schachen rechtsufrig aus, überschwemmte ein Haus und eine Scheune und überdeckte die Strasse und die Eisenbahnlinie mit Geschiebe. Auch in Schwarzenberg gab es grosse Schäden.

Am **9. September 1934** entluden sich in der Nordschweiz und in den Voralpen sehr schwere Gewitter. Dabei traten Niederschlagsintensitäten auf, welche für dieses Gebiet bis dahin aber auch bis heute unvergleichbar hoch sind. So wurde auf der Rigi 216 mm Niederschlag gemessen, wovon innert 45 Minuten 120 mm fielen. In Teilen des EZG des Rümligs sollen 200 mm Niederschlag gefallen sein, wovon 120 - 150 mm innert zwei Stunden. Der Rümlig verursachte im Eigental, in Schwarzenberg und in Schachen grosse Schäden. Strassen und Brücken wurden weggerissen. In Linden im Eigental wurde eine Abflussspitze von 75 m^3/s abgeschätzt, in Schwarzenberg 140 m^3/s und in Schachen 260 m^3/s.

Etwas weniger hohe Abflussspitzen wurden in den 40er Jahren festgestellt (ASF, 1974): Am **11. Juli 1941** wurde in Schwarzenberg eine Abflussspitze von 100 m^3/s abgeschätzt. Am **23. August 1942** wurde in Linden im Eigental eine Abflussspitze von 80 m^3/s abgeschätzt, in Schwarzenberg 90 m^3/s und in Schachen 220 m^3/s. Ebenfalls gross war das Hochwasser vom **2. August 1948**, wobei von diesem Ereignis keine Abflussschätzungen vorhanden sind.

Bei der Einordnung der Hochwasser seit 1948 waren die Informationen von Peter Studer (Wuhraufseher von Schachen, Jg. 1937) und von Urs Hänsli (Wuhraufseher von Malters bis 2005) sehr wertvoll (Beilage 2). Anhand dieser Angaben und vorhandener Plangrundlagen (Ingenieure WSB, 2005) konnte mit Hilfe des hydraulischen 1-D-Programms HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 2010) die Abflussspitze des Hochwassers vom **21./22.8.2005** auf 150 - 180 m^3/s abgeschätzt werden.

Tab. 5.1: Einordnungskriterien zur Wertung historischer Hochwasser am Rümlig.

	Rümlig Eigental, Linden	Rümlig Schwarzenberg, Lifelen	Rümlig Schachen	Beschreibung
sehr klein	< 20 m^3/s	< 25 m^3/s	< 50 m^3/s	keine Überschwemmungen, keine Erwähnung in Dokumentation.
klein	20 – 40 m^3/s	25 – 50 m^3/s	50 – 100 m^3/s	Erwähnung des Rümligs oder benachbarter Bäche in Dokumentation, keine/kaum Schäden am Rümliggerinne.
mittel	40 – 60 m^3/s	50 – 75 m^3/s	100 – 150 m^3/s	explizite Erwähnung des Rümligs in Dokumentation, Schäden am Rümliggerinne, lokale Überschwemmungen
gross	60 – 100 m^3/s	75 – 125 m^3/s	150 – 250 m^3/s	grosse Schäden am Rümliggerinne; grosser Geschiebetransport, Überschwemmungen
sehr gross	> 100 m^3/s	> 125 m^3/s	> 250 m^3/s	sehr grosse Schäden

Historische Hochwasser am Rümlig

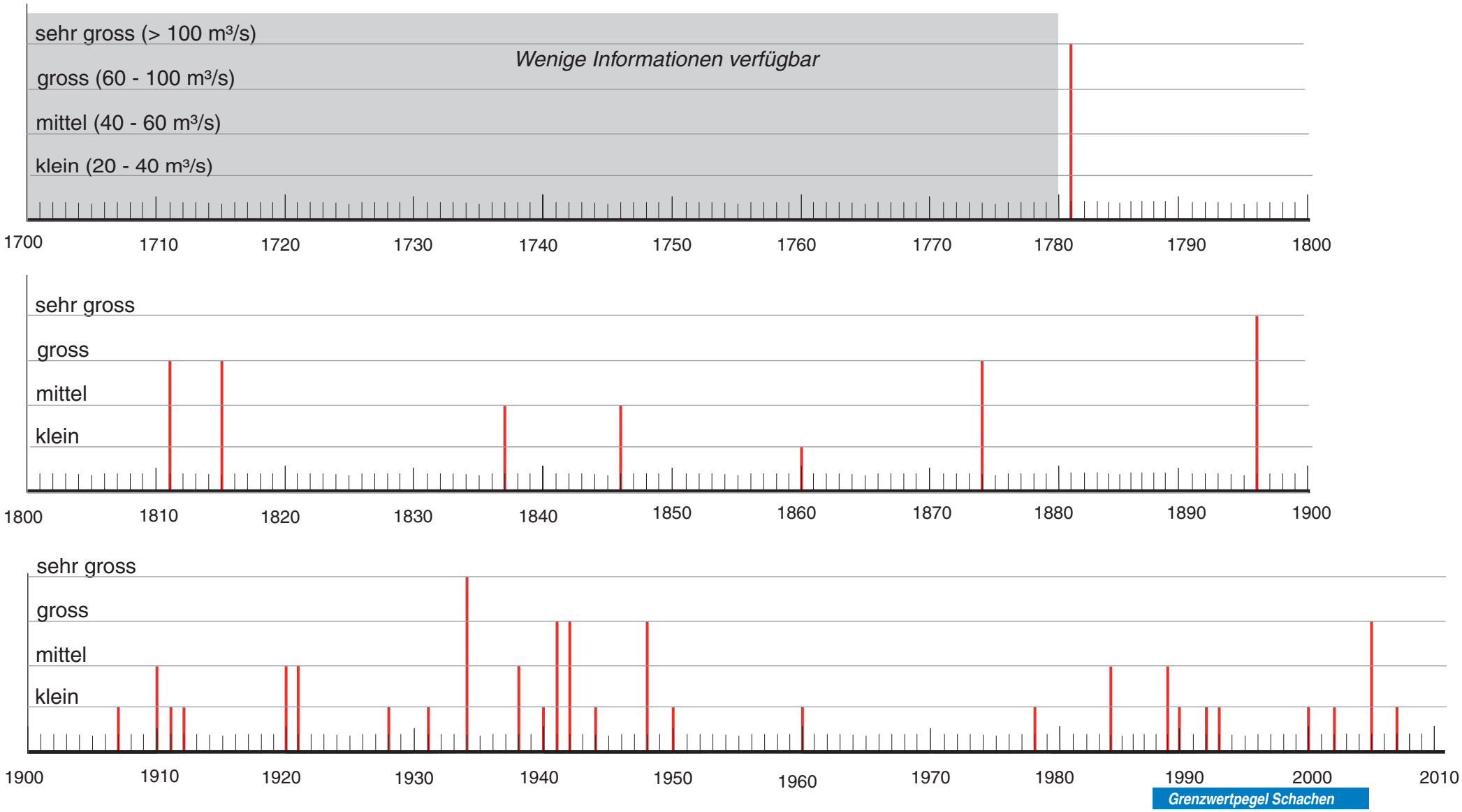


Abb. 5.1: *Historische Hochwasser am Rümlig seit 1781. Charakterisierung der Grösse der einzelnen Hochwasser anhand der untersuchten Quellen. Von 1988 - 2004 war der Grenzwertpegel Schachen in Betrieb.*

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser am Rümlig ergeben sich folgende Schlüsse :

- Die Untersuchung historischer Hochwasser am Rümlig ermöglicht einen Beobachtungszeitraum mit detaillierten Angaben von ca. 230 Jahren.
- In diesem Zeitraum traten drei sehr grosse und sieben weitere grosse Hochwasser auf mit teilweise katastrophalen Schäden.
- Sowohl heftige lokale Gewitter als auch regionale lange Ereignisse führten zu Hochwasser am Rümlig.

5.2.4 Abflussreaktion

Das EZG des Rümlig besteht mehrheitlich aus steilen Hängen und tief eingeschnittenen Tälern. Der geologische Untergrund ist hauptsächlich aus Molassegesteinen aufgebaut, untergeordnet hat es auch Moränen, Flysch, Globigerinenschiefer und Kalksteine. Für das Gebiet sind die Sandsteine und Mergelschichten der Molasse prägend, die sehr unterschiedliche Durchlässigkeit aufweisen. Aus diesen unterschiedlich verwitternden Gesteinen haben sich entsprechend recht unterschiedlich durchlässige und speicherfähige Böden entwickelt. Aufgrund der hohen Jahresniederschläge (1'200 mm - > 2'000 mm) befinden sich viele Böden jahrüber in einem feuchten Zustand (vgl. Kap. 3, Scherrer AG / SoilCom GmbH, 2011).

Abbildung 5.2 zeigt die Karte der Abflussreaktion und die Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen des Rümligs. Abflusstyp 1 (rasch und stark beitragend: 5.8%), Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend: 30.4%) und Abflusstyp 3 (verzögert beitragend: 33.8%) machen zusammen 70% der EZG-Fläche aus. Diese drei Flächentypen sind aufgrund ihrer Abflussreaktion massgebend für die Entstehung grosser Hochwasser. Die Abflusstypen 4 und 5 (stark bis sehr stark verzögert beitragend: 26.1 und 3.1%) spielen eine untergeordnete Rolle. Im Vergleich zu den bisher untersuchten EZG der Scherrer AG (mehr als 100 EZG) kann die Abflussreaktion des Rümlig als stark bis sehr stark bezeichnet werden.

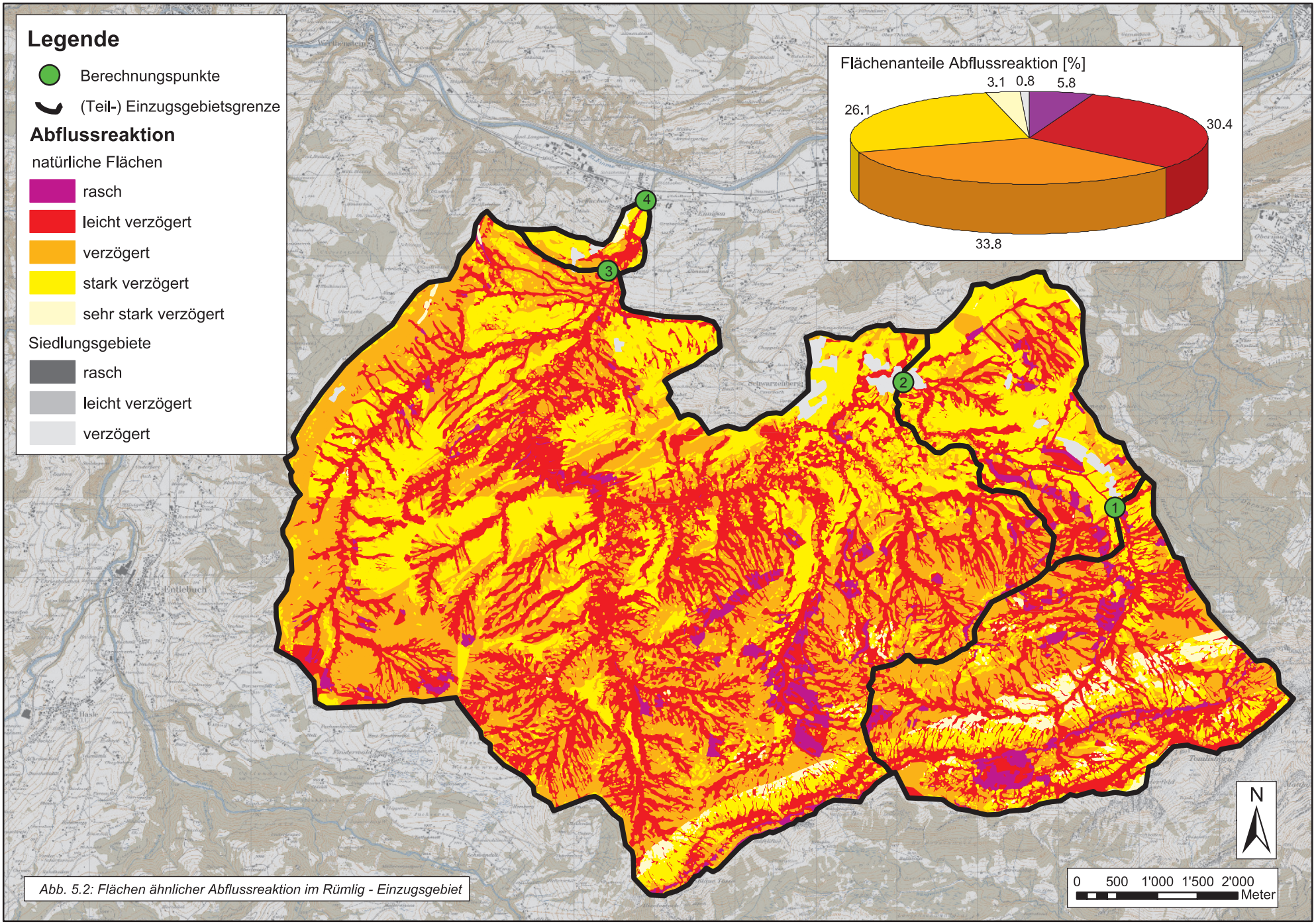


Abb. 5.2: Flächen ähnlicher Abflussreaktion im Rümlig - Einzugsgebiet

5.2.5 Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell

Für das Rümlig-EZG wurde ein NAM mit vier Berechnungspunkten aufgebaut (Tab. 5.2):

Tab. 5.2: Gebietskennwerte

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (EZG) (Tomlishorn)	2'128 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (Strassenbrücke, Schachen)	516 m ü. M.
EZG oberhalb BP 1: Rümlig bei Linden, Eigental, Pt. 984	11.4 km^2
EZG oberhalb BP 2: Rümlig bei Lifelen, Schwarzenberg, Pt. 791	17.5 km^2
EZG oberhalb BP 3: Rümlig bei Holzguet, Schachen, Standort Grenzwertpegel 1988 - 1993	63.9 km^2
EZG oberhalb BP 3: Rümlig bei Strassenbrücke, Schachen, Pt. 520 oberhalb Standort Grenzwertpegel 1994 - 2004	64.6 km^2

Zur Überprüfung des Modells konnten die Hochwasser vom 16./17.7.2002 (Anhang 5.1) und vom 21./22.8.2005 (Anhänge 5.2 und 5.3) nachgerechnet werden. Bei diesen Hochwasserereignissen waren folgende Voraussetzungen für eine Modelleichung gegeben:

- Es konnten die zeitlichen Niederschlagsverteilungen der hoch aufgelöst messenden Stationen Malters[4] und Pilatus verwendet werden.
- Es waren Niederschlagsereignisse, welche das gesamte EZG überregneten. Aufgrund der vorliegenden Daten der umliegenden Tagessammler konnte die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden

Die Abflussspitzen der Hochwasser 2002 und 2005 konnten befriedigend nachgerechnet werden. Beim Hochwasser 2005 wird mit dem Verlauf der Station Pilatus die beobachtete Abflussspitze unterschätzt, mit dem Verlauf von Malters überschätzt. Über den Verlauf der Hochwasser und die Abflussvolumina konnten allerdings keine detaillierten Beobachtungen in Erfahrung gebracht werden. Insgesamt ergibt das Modell plausible Ergebnisse und kann für die Abflussberechnungen eingesetzt werden.

Für die Abflussberechnungen wurden die Werte der aktualisierten Niederschlagsstatistik der Station Eigenthal (1883 - 2008) verwendet, wobei die 300-jährlichen Regen bis 4-h Dauer reduziert wurden (Scherrer AG, 2009). Bei den Gewitterszenarien (Regen $\leq$ 4-h Dauer) wird das Eigental (Teil-EZG 1) voll überregnet und das übrige EZG zu 50 %. Die Dauerregenszenarien (12 - 48-h Dauer) überregnen das EZG gleichmässig.

In der Tabelle 5.3 sind die mit dem NAM an den verschiedenen Berechnungspunkten (BP) berechneten Extremhochwasser aufgelistet. Die grössten Hochwasser werden von Gewittern und 12-h Dauerregen verursacht. Dies deckt sich mit den Beobachtungen aus den historischen Hochwassern.

4 Beim Hochwasser vom 16./17.7.2002 fiel die Station Malters aus und konnte nicht verwendet werden.

Tab. 5.3: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM QAREA am Rümlig.

Wiederkehr-periode [Jahre]	Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-s-zenario	Abflussspitzen [m³/s] bei den BP			
			BP 1	BP 2	BP 3	BP 4
30	0.5h30j_dreieck	Gewitter Eigental	40.1	42.5	57.6	57.8
	1h30j_dreieck	Gewitter Eigental	46.0	48.9	68.1	68.2
	2h30j_dreieck	Gewitter Eigental	**48.5**	**52.5**	79.9	80.1
	4h30j_dreieck	Gewitter Eigental	45.1	49.9	88.4	88.7
	12h30j_block	gleichmässig	26.1	37.3	**131.3**	**132.3**
	24h30j_block	gleichmässig	17.8	26.1	95.5	96.4
	48h30j_block	gleichmässig	12.3	18.3	67.9	68.5
100	0.5h100j_dreieck	Gewitter Eigental	87.1	92.9	128.6	128.9
	1h100j_dreieck	Gewitter Eigental	**93.3**	**100.2**	148.0	148.3
	2h100j_dreieck	Gewitter Eigental	90.7	99.5	164.1	164.5
	4h100j_dreieck	Gewitter Eigental	77.6	87.2	167.7	168.4
	12h100j_block	gleichmässig	38.2	55.5	**196.7**	**198.3**
	24h100j_block	gleichmässig	24.4	36.2	132.9	134.1
	48h100j_block	gleichmässig	16.1	24.2	90.2	91.0
300	0.5h300j_dreieck	Gewitter Eigental	136.5	147.1	216.3	216.7
	1h300j_dreieck	Gewitter Eigental	**144.3**	**156.8**	244.5	245.0
	2h300j_dreieck	Gewitter Eigental	136.2	152.8	267.2	267.8
	4h300j_dreieck	Gewitter Eigental	114.8	130.9	266.9	268.0
	12h300j_block	gleichmässig	52.6	77.3	**275.7**	**278.0**
	24h300j_block	gleichmässig	32.1	48.0	177.3	179.0
	48h300j_block	gleichmässig	20.2	30.5	113.8	114.9

5.2.6 Hochwasserabflüsse

In Abbildung 5.3 wurden für den Rümlig in Schachen (BP 4) die Maxima des Grenzwertpegels (1988 - 2004), die bekannten Abflussspitzen grosser Hochwasser und die Resultate aus den Modellrechnungen in Beziehung gesetzt. Das Hochwasser vom 9.9.1934 war das grösste der vergangenen 100 Jahre. Aufgrund der beobachteten, „rekordverdächtigen" Niederschlagsintensitäten (Kap. 5.2.3) liegt die Wiederkehrperiode dieses Ereignisses eher bei 300 Jahren. Die Hochwasser von 1942 und 2005 wurden entsprechend dem Zeitpfeil (Abb. 5.1) als 50-60-jähriges resp. 25 - 33-jähriges Hochwasserereignis eingeordnet. Die Abschätzungen der Hochwasserspitzen von 1934 und 1942 sind sehr hoch. Erfahrungsgemäss werden Abflüsse in steilen Gerinnen überschätzt, weil der Geschiebetransport und die Gerinnerauhigkeit nicht angemessen berücksichtigt werden. Daher wurde die untere Grenze der Abflussspitzen bei 80% des abgeschätzten Wertes festgelegt.[5] Die rote und die rot strichlierte Linie markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

In analoger Weise wurden für Schwarzenberg (BP 2, Abb. 5.4) und Eigental (BP 1, Abb. 5.5) die Hochwasserabflüsse ermittelt, wobei die Einordnung der beobachteten historischen Hochwasser differiert: Im oberen EZG war das durch Dauerregen ausgelöste Hochwasser von 2005 verhältnismässig klein, eine Abflussspitze konnte nicht rekonstruiert werden. Hingegen existiert eine Beobachtung des im Oberlauf verhältnismässig grossen Hochwassers vom 11.7.1941 für Schwarzenberg (BP 2). Das extreme Hochwasser vom 9.9.1934, dem in Schwarzenberg (BP 2) und Schachen (BP 4) eine Wiederkehrperiode von 100 - 300 Jahren zugeordnet wurde, war in Eigental kleiner als das Hochwasser vom 23.8.1942. Das extreme Gewitter vom 9.9.1934 hatte seinen Schwerpunkt im unteren Eigental und Schwarzenberg.

5 Beim Hochwasser vom 23.8.1942 war das Schadensbild in Schachen vergleichbar mit dem Hochwasser vom 21./22.8.2005. Dies ist ein Indiz, dass die Abflussspitze von 220 m³/s für das Hochwasser 1942 überschätzt wurde.

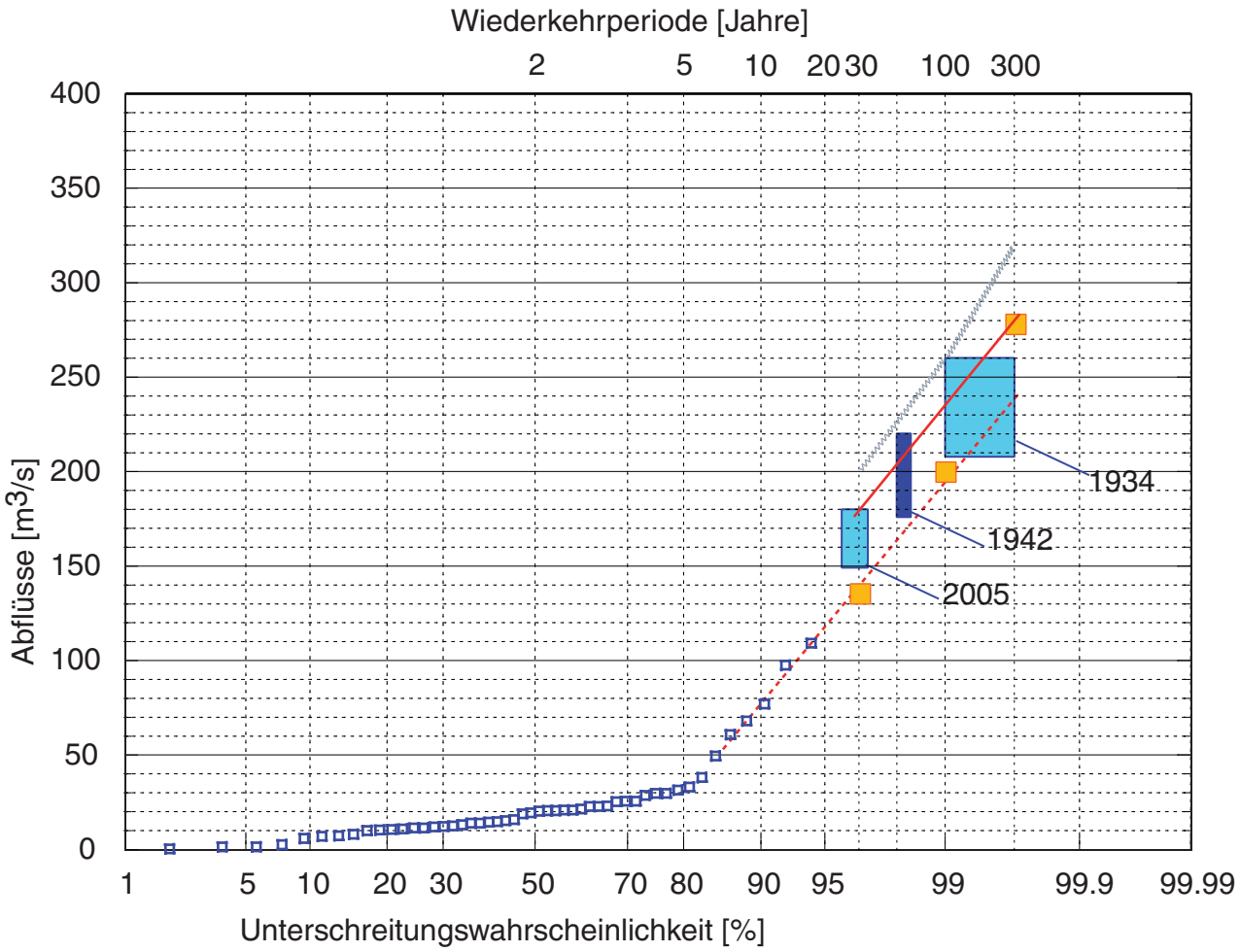


Abb. 5.3: *Frequenzdiagramm des Rümligs in Schachen beim BP 4 (64.6 km²).*
Eingetragen sind die Maxima des Grenzwertpegels (1988 - 2004) (kleine Quadrate),
sowie die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 1934, 1942 und 2005 (grosse blaue Rechtecke).
Die Resultate der Modellrechnungen sind orange dargestellt.
Die roten Linien markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2006).

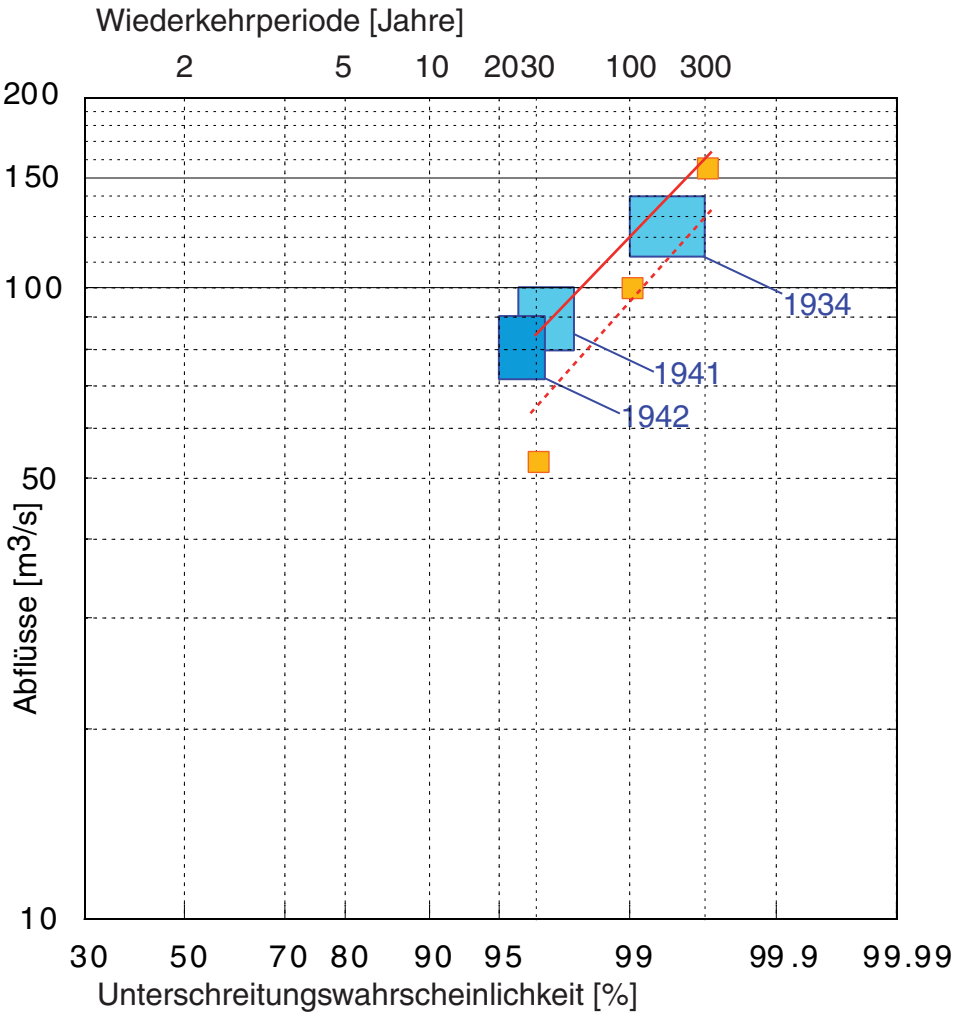


Abb. 5.4: *Frequenzdiagramm des Rümligs in Schwarzenberg, Lifelen beim BP 2 (17.5 km²). Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 1934, 1941 und 1942. Die Resultate der Modellrechnungen sind orange dargestellt*
Die roten Linien markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

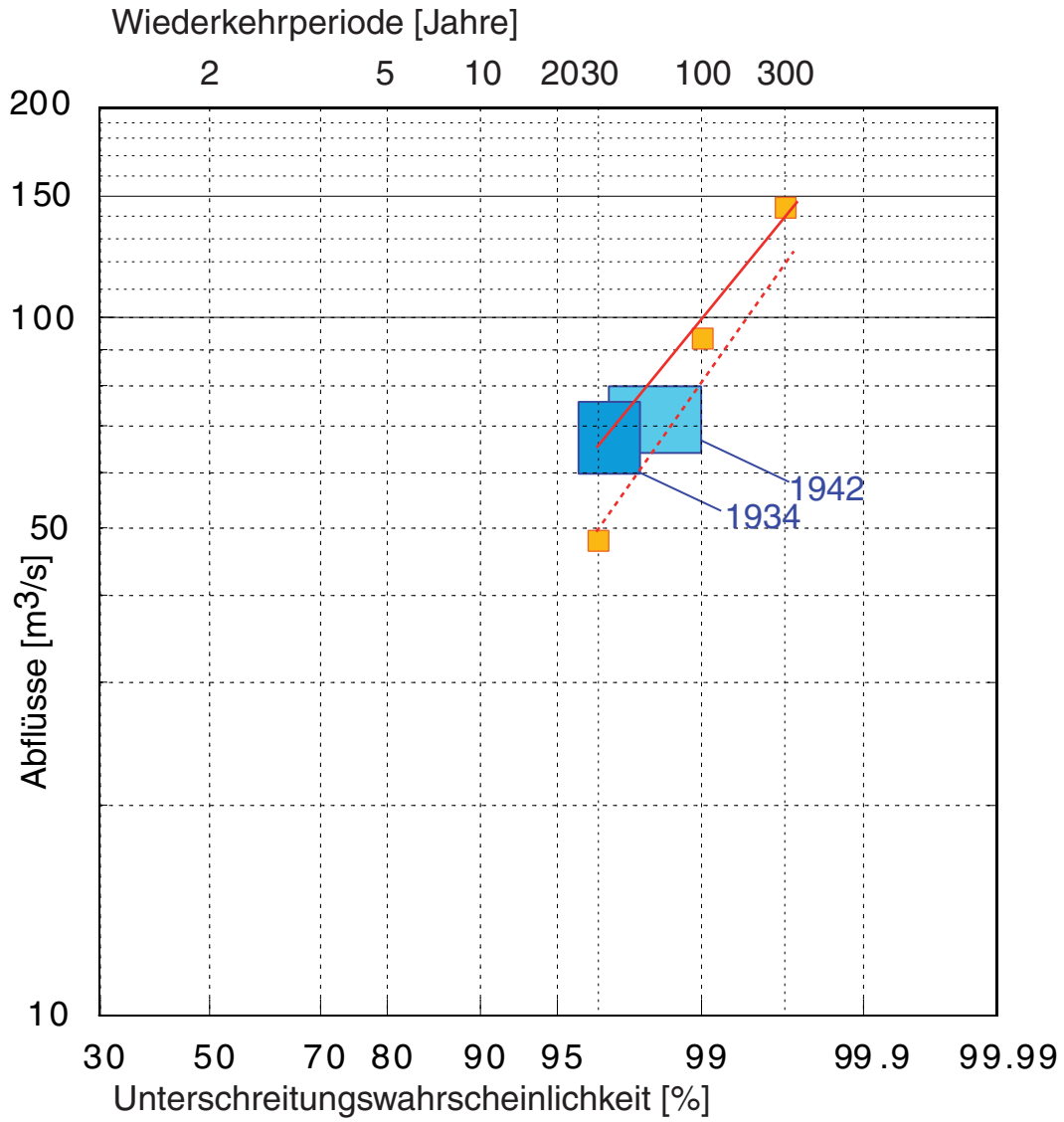


Abb. 5.5: *Frequenzdiagramm des Rümligs im Eigental beim BP 1 (11.4 km²).*
Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 1934 und 1942.
Die Resultate der Modellrechnungen sind orange dargestellt
Die roten Linien markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

In der Tabelle 5.4 sind die ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit zusammengestellt, die Modellresultate zeigen, dass zwischen dem BP 3 und dem BP 4 die Differenzen klein sind und für beide BP die gleichen Hochwasserabflüsse angegeben werden können:

Tab. 5.4: Die am Rümlig ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit

BP	zugeordneter Gerinneabschnitt	HQ_{30} [m^3/s]	HQ_{100} [m^3/s]	HQ_{300} [m^3/s]
1	Rümlig bei Linden, Eigental, Pt. 984 (11.4 km^2)	50 - 65	80 - 100	120 - 140
2	Rümlig bei Lifelen, Schwarzenberg, Pt. 791 (17.5 km^2)	65 - 85	95 - 120	130 - 160
3	Rümlig bei Holzguet, Schachen, Standort Grenzwertpegel 1988 - 1993 (63.9 km^2)	140 - 180	195 - 235	240 - 280
4	Rümlig bei Strassenbrücke, Schachen, Pt. 520 oberhalb Standort Grenzwertpegel 1994 - 2004 (64.6 km^2)	140 - 180	195 - 235	240 - 280

5.3 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Bielbach

5.3.1 Einleitung

Der Bielbach entwässert ein EZG von 22.7 km^2 und mündet in Werthenstein-Unterdorf in die Kleine Emme. Am Bielbach bestehen keine Abflussmessungen. In der vorliegenden Arbeit wurde daher die Hochwassergeschichte ausgewertet und ein Niederschlags-AbflussModell aufgebaut, um die Grösse seltener Hochwasser abzuschätzen.

5.3.2 Historische Hochwasser

Abbildung 5.7 zeigt einen Überblick über das Hochwassergeschehen seit Ende des 18. Jahrhunderts als Zeitpfeil. Aus dem 18. und dem 19. Jahrhundert ist jeweils ein Hochwasserereignis bekannt, ab dem 20. Jahrhundert sind auch kleinere Ereignisse dokumentiert. Aufgrund der Beschreibungen (Beilage 2) wurde die Grösse der einzelnen Hochwasser seit 1780 und ihre Spitzenabflüsse gemäss den Kriterien der Tabelle 5.5 eingeordnet. Unsicherheiten sind in Form punktierter Striche dargestellt. Sämtliche zusammengetragenen Informationen zu den Hochwassern im EZG wurden berücksichtigt und gewertet.

Tab. 5.5: Einordnungskriterien zur Wertung historischer Hochwasser am Bielbach.

Wertung	Abfluss in Ruswil (BP1) [m^3/s]	Beschreibung
sehr gross	> 35	Katastrophale Schäden und Überschwemmungen
gross	25 - 35	Massive Überschwemmungen, ausgeprägte Hochwasserschäden
mittel	15 - 25	Lokale Überschwemmungen des Bielbachs, Zuschlagen einzelner Brücken, wenig Schäden
klein	< 15	Erwähnung eines Hochwassers

Im Folgenden werden die grössten Hochwasserereignisse am Bielbach kurz beschrieben:

Am 14.6.1781 wurde „das ganze Dorf Ruswil überflutet“. Am 14.8.1837 wurden drei Brüder durch ein Hochwasser des Deckehonigbachs (Zufluss Bielbach) fortgerissen und ertranken.

Anfang des 20. Jahrhunderts ereigneten sich einige kleinere Hochwasser, bei denen lokale Überschwemmungen auftraten und die Ufer stellenweise unterspült wurden: Diese Hochwasser ereigneten sich am 10.8.1903, 31.5.1904, 14. - 20.6.1910 und am 30.5.1911.

Am **2.8.1927** ereignete sich das bisher grösste bekannnte Hochwasser am Bielbach (Abb. 5.6). Ein „orkanartiger Gewitterzug“ verursachte grossflächig Wasser-, Hagel- und Sturmschäden in Höhe von rund 12 Millionen Franken. Ruswil war eine der am schwersten betroffenen Gemeinden. Entlang des Bielbachs stürzten fünf Brücken ganz oder teilweise ein. In Ruswil wurden Haus-türen eingedrückt, Erdgeschosse und Keller überflutet, Strassen unterspült und die Pflastersteine fortgeschwemmt. Z.T. entstanden grosse Schäden durch Überschwemmungen, Rutschungen, Versandungen und Uferabbrüche. Der Abfluss konnte kurz oberhalb der Sägerei Haupt (Berechnungspunkt BP1) mit 48 m^3/s abgeschätzt werden (ASF, 1974).



Abb. 5.6: Schäden nach dem Hochwasser vom 2.8.1927 in Ruswil (Widmer, 1987).

Nach 1927 bis Anfang 21. Jahrhundert ereigneten sich insgesamt 9 kleinere bis mittlere Hochwasser, die nur geringe Schäden verursachten. Das letzte dieser Ereignisse war am 11.8.2002 als der Mündungsbereich des Bielbachs durch Rückstau von der Kleinen Emme überschwemmt wurde. Hingegen verursachte das Hochwasser vom **21-22.8.2005** schwere Schäden. Mehrere Brücken schlugen zu und in Ruswil und entlang des Bielbachs ereigneten sich massive Überschwemmungen. Der Abfluss konnte aufgrund detaillierter Aussagen der Anwohner mit Normalabflussberechnungen am BP1 zu 29 – 35 m^3/s abgeschätzt werden.

Am **8.8.2007** ereigneten sich an mehreren Stellen entlang des Bielbachs lokale Überschwemmungen, vor allem der Unterlauf war dieses Mal betroffen. Im Mündungsbereich des Bielbachs war der Wasserstand ähnlich hoch wie 2005, vermutlich durch Rückstau von der Kleinen Emme. Ein weiteres kleineres Hochwasser am **4.7.2009** verursachte nur geringe Schäden.

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser am Bielbach lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Untersuchung historischer Hochwasser am Bielbach ermöglicht einen Beobachtungszeitraum der extremen Hochwasser von ca. 230 Jahren. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts sind detaillierte Aufzeichnungen vorhanden, mit denen auch kleinere und mittlere Ereignisse nachvollzogen werden können.
- In den letzten 230 Jahren trat am Bielbach ein sehr grosses Hochwasser auf (1927), bei dem katastrophale Überschwemmungen mit grossen Schäden entstanden.
- Im August 2005 ereignete sich ein grosses Hochwasser am Bielbach, bei dem massive Überschwemmungen und Schäden auftraten.
- All diese Ereignisse traten im Sommerhalbjahr auf. Sowohl heftige lokale Gewitter, als auch überregionale Dauerregenereignisse führten zu Hochwasser im Bielbach.

Historische Hochwasser am Bielbach

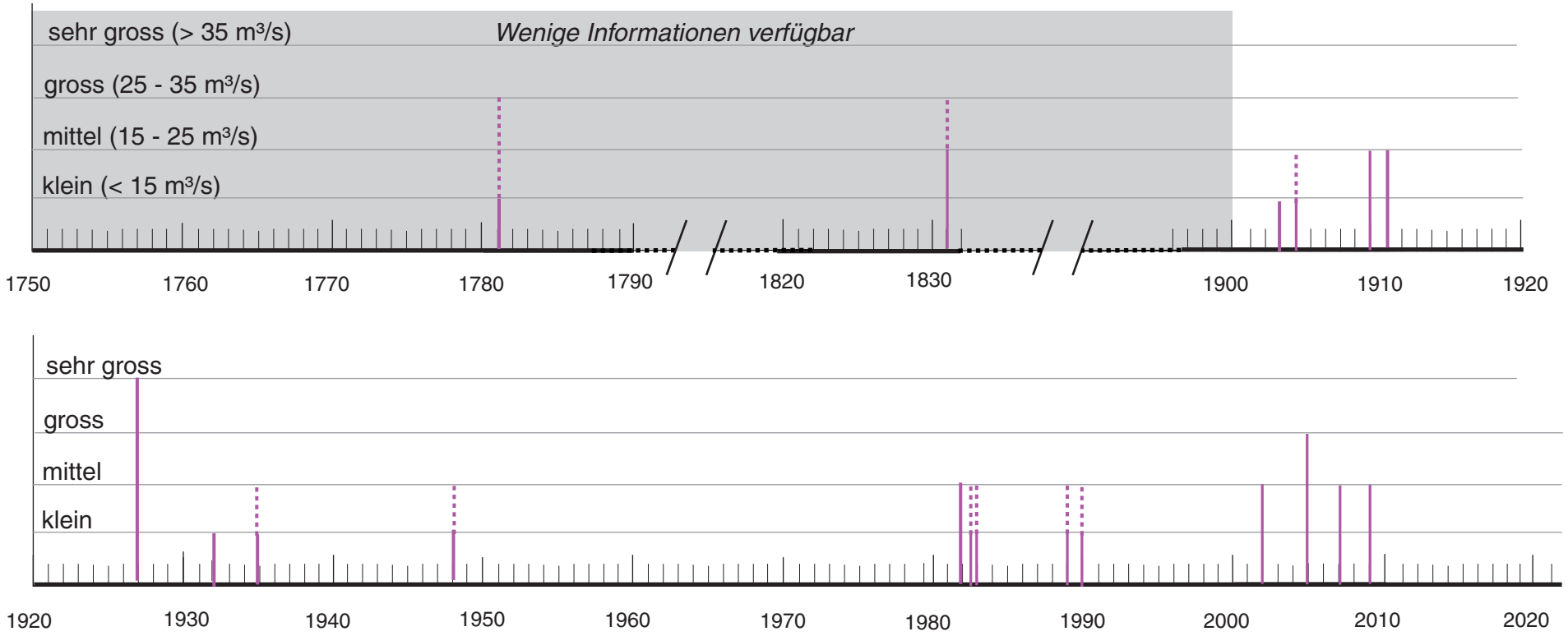


Abb. 5.7: Historische Hochwasser am Bielbach seit dem 18. Jahrhundert. Charakterisierung der Grösse der einzelnen Hochwasser anhand der untersuchten Quellen (Beilage 2).

5.3.3 Abflussreaktion

Das EZG des Bielbachs liegt in einer leicht hügeligen Landschaft, die von flachen Talböden durchsetzt ist. Molassegesteine (Obere Süsswasser Molasse), Moräne und ehemalige Torfgebiete bilden den Untergrund. Abgesehen von Muldenlagen und in Steilhängen, wo feuchte bis nasse Böden mit mässigem bis geringem Speichervermögen entwickelt haben, dominieren speicherfähige Böden. Dies wirkt sich auf die Abflussbereitschaft des Gebiets aus.

Abbildung 5.8 zeigt die Karte der Abflussreaktion und die Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen des Bielbachs. Abflusstyp 1 (rasch und stark beitragend: 0.9%), Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend: 20.2%) und Abflusstyp 3 (verzögert beitragend: 7.8%) machen zusammen 28.9% der EZG-Fläche aus. Die Abflusstypen 4 und 5 (stark bis sehr stark verzögert beitragend: 61.2 und 4.2%) überwiegen und betragen zwei Drittel der Gebietsfläche. Die Abflussbereitschaft ist daher wesentlich schwächer als die des Rümlig. Insgesamt kann die Abflussreaktion des Bielbachs als mässig bis schwach beurteilt werden.

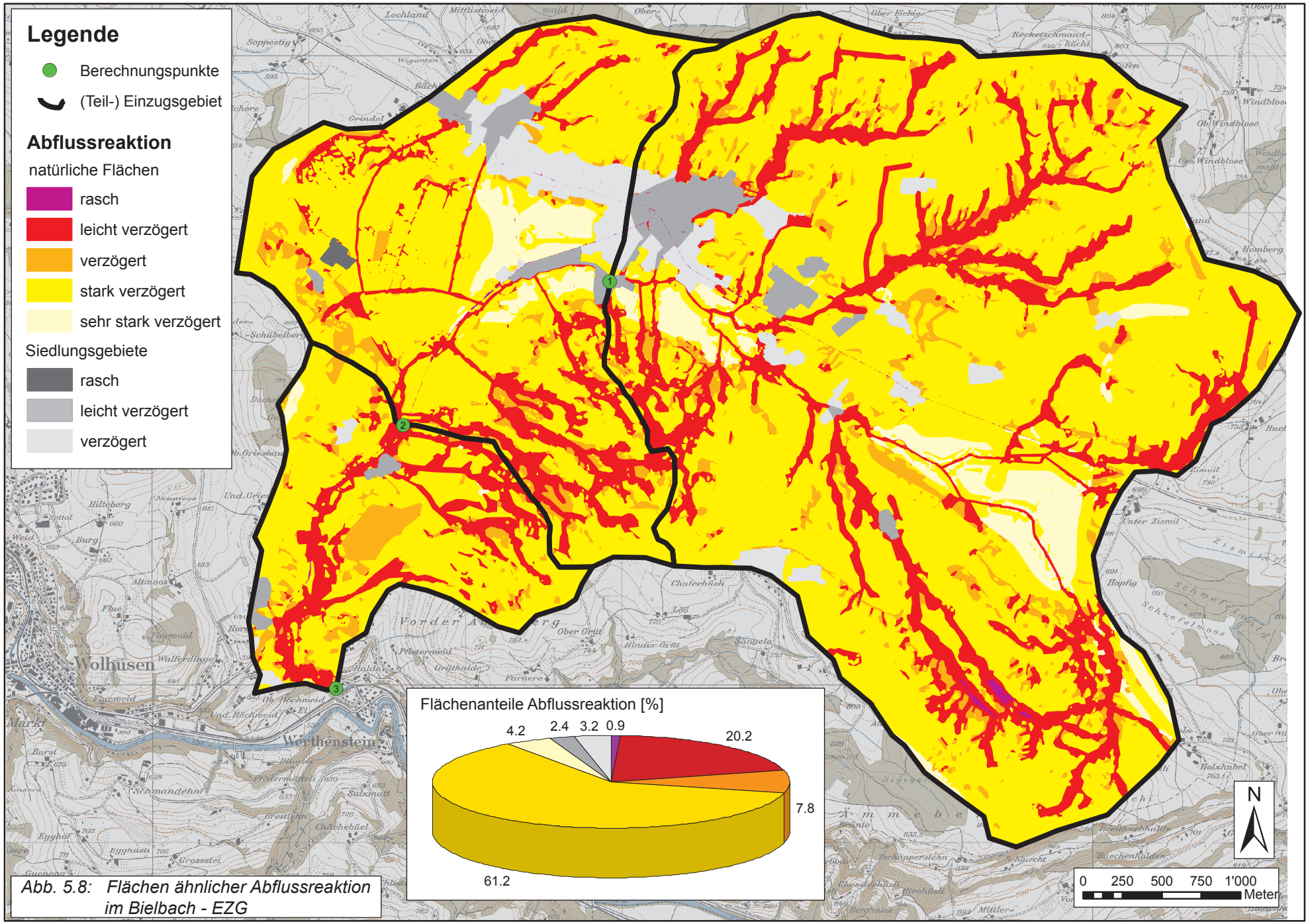


Abb. 5.8: Flächen ähnlicher Abflussreaktion im Bielbach - EZG

5.3.4 Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell

Für das Bielbach - EZG wurde ein NAM mit drei Berechnungspunkten aufgebaut (Tab. 5.5):

Tab. 5.5: Gebietskennwerte

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (EZG) (Linde, Ruswilerberg)	847 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (Einmündung in Kleine Emme)	546 m ü. M.
EZG oberhalb BP 1: Bielbach bei Sägerei Haupt, Pt. 624	14.5 km^2
EZG oberhalb BP 2: Bielbach bei Sagemüli, Pt. 606	20.2 km^2
EZG oberhalb BP 3: Bielbach beim SBB Durchlass Werthenstein, Pt. 550	22.7 km^2

Zur Überprüfung des Modells konnten die Hochwasser vom 21./22.8.2005 (Anhang 5.4) und vom 8.8.2007 (Anhang 5.5) nachgerechnet werden. Bei diesen Hochwasserereignissen konnte aufgrund der vorliegenden Daten die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden. Die Abflussspitzen der Hochwasser 2005 und 2007 konnten befriedigend nachgerechnet werden. Über den Verlauf der Hochwasser und die Abflussvolumina konnten allerdings keine detaillierten Beobachtungen in Erfahrung gebracht werden. Insgesamt ergibt das Modell plausible Ergebnisse und kann für die Abflussberechnungen eingesetzt werden.

Für die Abflussberechnungen wurden die Werte der aktualisierten Niederschlagsstatistik der Station Eigenthal (1883 - 2008) verwendet, wobei die 300-jährlichen Regen bis 4 h Dauer reduziert wurden (Scherrer AG, 2009), (Tabelle 4.1). Bei den Gewitterszenarien (Regen $\leq$ 4 h Dauer) wird das Teil-EZG 1 voll überregnet und das übrige EZG zu 50 %. Die Dauerregenszenarien (12 - 48-h Dauer) überregnen das EZG gleichmässig.

In der Tabelle 5.6 sind die mit dem NAM an den verschiedenen Berechnungspunkten (BP) berechneten Extremhochwasser aufgelistet. Die grössten Hochwasser werden von langen Gewittern und Dauerregen mit 4 h bis 12 h Dauer verursacht. Im oberen Teil des EZG (oberhalb BP1) sind Gewitter mit 2 h bis 4 h Dauer massgebend. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der historischen Hochwassererkundung.

Tab. 5.6: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM QAREA am Bielbach.

Wiederkehr-periode [Jahre]	Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-s-zenario	Abflussspitzen [m³/s] bei den BP		
			BP 1	BP 2	BP 3
30	0.5h30j_dreieck	Gewitter	11.6	12.6	13.0
	1h30j_dreieck	Gewitter	14.2	15.5	16.0
	2h30j_dreieck	Gewitter	17.3	18.8	19.5
	4h30j_dreieck	Gewitter	**19.8**	**21.7**	**22.6**
	12h30j_block	gleichmässig	**19.7**	**27.5**	**30.7**
	24h30j_block	gleichmässig	16.1	22.5	25.2
	48h30j_block	gleichmässig	12.8	17.8	20.2
100	0.5h100j_dreieck	Gewitter	27.0	29.3	30.2
	1h100j_dreieck	Gewitter	31.0	33.8	34.9
	2h100j_dreieck	Gewitter	**35.3**	38.7	40.1
	4h100j_dreieck	Gewitter	**37.5**	**41.5**	**43.2**
	12h100j_block	gleichmässig	33.2	**46.3**	**51.5**
	24h100j_block	gleichmässig	24.3	33.9	38.0
	48h100j_block	gleichmässig	17.4	24.2	27.3
300	0.5h300j_dreieck	Gewitter	45.8	50.1	51.8
	1h300j_dreieck	Gewitter	53.1	58.1	60.2
	2h300j_dreieck	Gewitter	**58.6**	64.5	66.9
	4h300j_dreieck	Gewitter	**61.4**	**68.1**	**71.0**
	12h300j_block	gleichmässig	49.6	**69.0**	**76.8**
	24h300j_block	gleichmässig	33.3	46.4	52.2
	48h300j_block	gleichmässig	22.4	31.2	35.2

5.3.5 Hochwasserabflüsse

In Abbildung 5.9 wurde für den Bielbach in Ruswil (BP 1) die bekannten Abflussspitzen grosser Hochwasser und die Resultate aus den Modellrechnungen in Beziehung gesetzt. Das Hochwasser vom August 1927 war das grösste der vergangenen 110 Jahre, wahrscheinlich sogar der letzten 230 Jahre. Das Hochwasser von 2005 ist das zweitgrösste Ereignis in diesem Zeitraum. Die Hochwasser von 2002, 2007 und 2009 hatten im oberen Teileinzugsgebiet vergleichbare Abflüsse und sind das zweit-, dritt, bzw. viertgrösste Hochwasser der letzten 25 Jahre. Entsprechend wurden diese Ereignisse als 110 – 230 - jährliches, bzw. als 55 - 115 – jährliches, bzw. als 6 - 12 - jährliches Hochwasserereignis eingeordnet. Die rote und die rot strichlierten Linien markieren den Bereich der vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. In der Tabelle 5.7 sind die ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit zusammengestellt:

Tab. 5.7: Die am Bielbach ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit

BP	**zugeordneter Gerinneabschnitt**	**HQ_{30} [m³/s]**	**HQ_{100} [m³/s]**	**HQ_{300} [m³/s]**
1	**Bielbach bei Sägerei Haupt (14.5 km²)**	**20 - 27**	**30 - 40**	**50 - 60**
2	Bielbach bei Sagemüli (20.2 km²)	30 - 37	40 - 50	58 - 68
3	Bielbach beim SBB - Durchlass Werthenstein (22.7 km²)	32 - 42	45 - 55	65 - 75

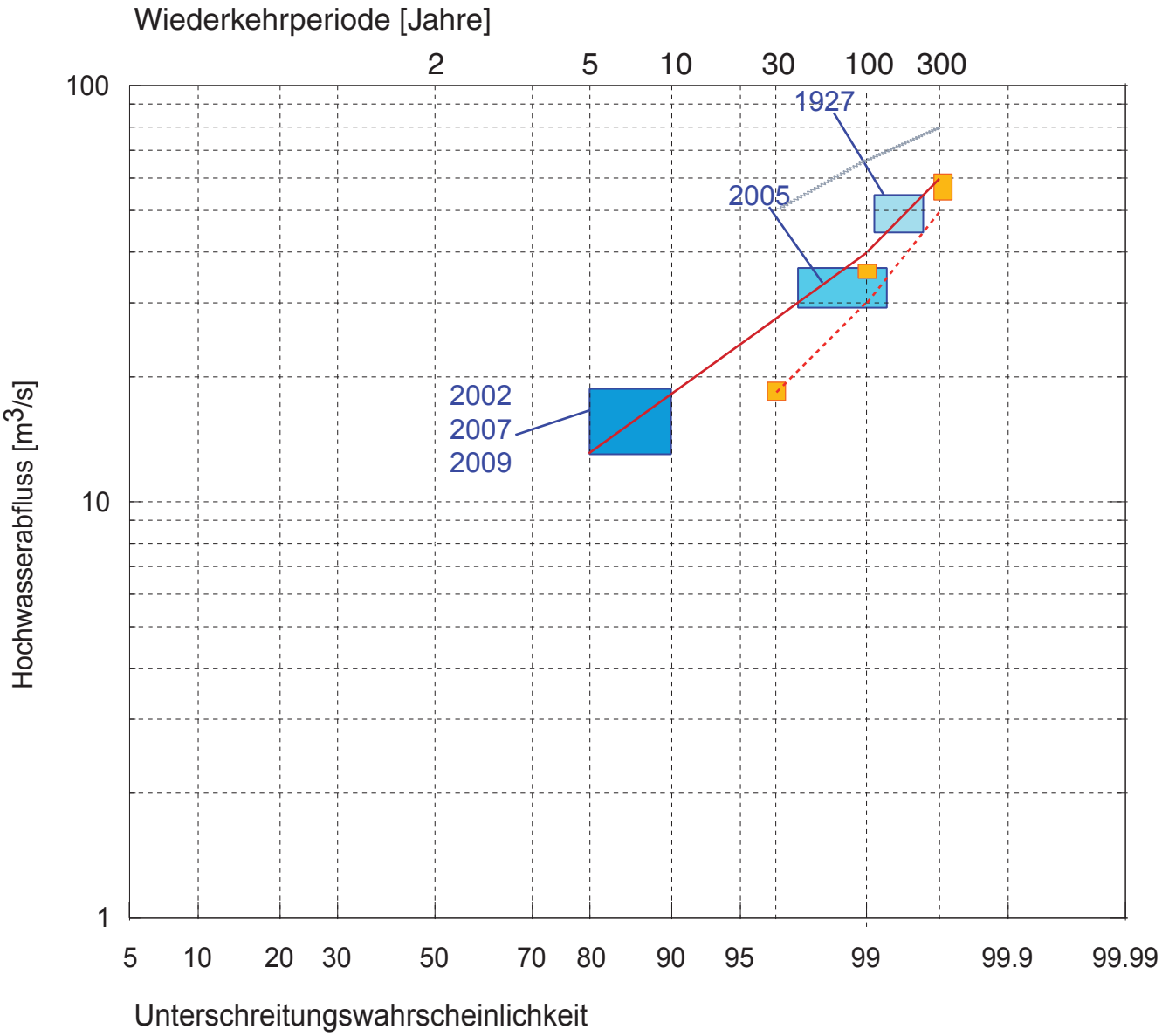


Abb. 5.9: *Frequenzdiagramm des Bielbachs beim BP 1 (14.5 km²).*
Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 1927, 2005 sowie 2002, 2007 und 2009. Die Resultate der Modellrechnungen sind orange dargestellt
Die roten Linien markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2006) für das gesamte EZG (22.7 km²).

5.4 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Wiggernbach

5.4.1 Einleitung

Der Wiggernbach (häufig auch „Wigger“) entwässert ein EZG von 7.8 km^2 und mündet in Wolhusen in die Kleine Emme. Am Wiggernbach liegen keine Abflussmessungen vor. In der vorliegenden Arbeit wurde daher die Hochwassergeschichte ausgewertet und ein Niederschlags-Abflussmodell aufgebaut, um die Grösse seltener Hochwasser abzuschätzen.

5.4.2 Historische Hochwasser

Abbildung 5.10 zeigt einen Überblick über das Hochwassergeschehen der letzten 130 Jahre. Aufgrund der Beschreibungen (Beilage 2) wurde die Grösse der einzelnen Hochwasser seit 1885 und ihre Spitzenabflüsse gemäss den Kriterien der Tabelle 5.8 eingeordnet. Unsicherheiten sind in Abbildung 5.10 in Form punktierter Striche dargestellt. Sämtliche zusammengetragenen Informationen zu den Hochwassern im EZG wurden berücksichtigt und gewertet.

Tab. 5.8: Einordnungskriterien zur Wertung historischer Hochwasser in Wolhusen.

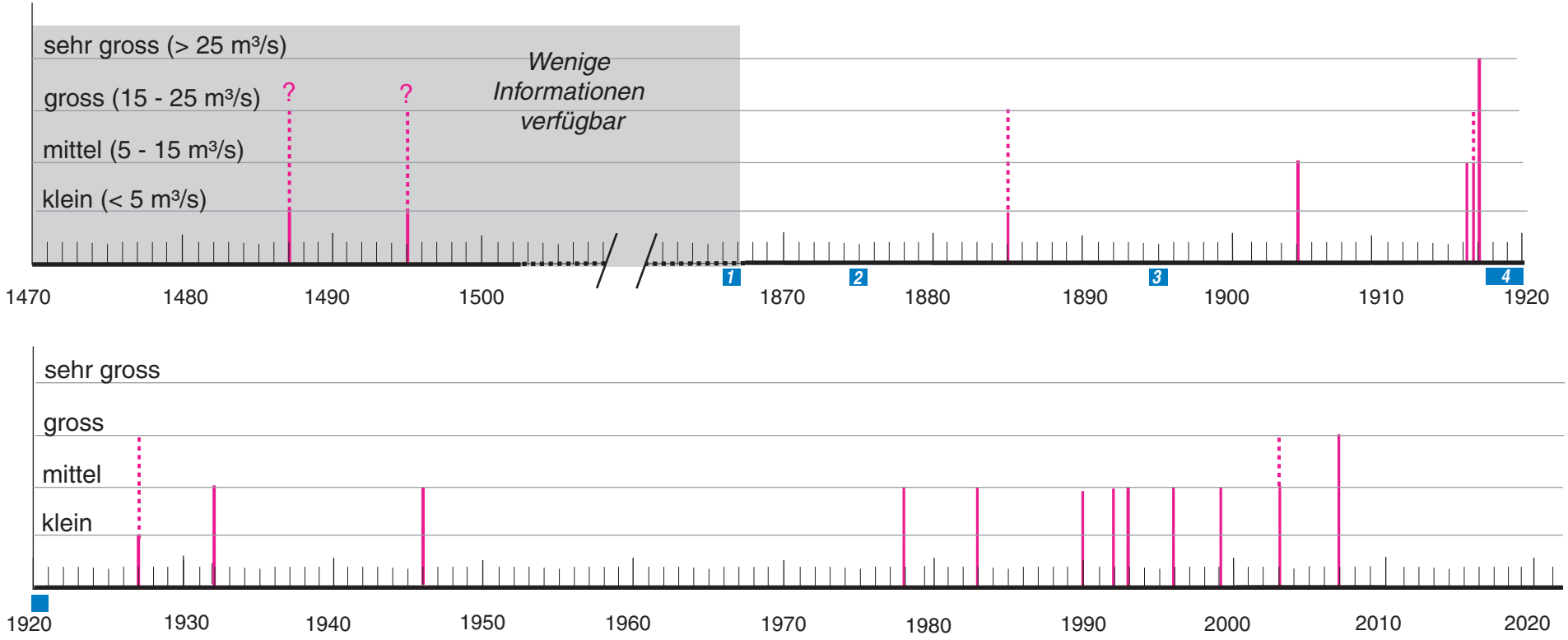
Wertung	Abfluss im Dorfbereich (BP2 und 3) [m^3/s]	Beschreibung	
		vor Ausbau 1921	nach Ausbau 1921
sehr gross	> 25	Katastrophale Schäden und Überschwemmungen in Wolhusen	Substantielle bis katastrophale Schäden und Überschwemmungen in Wolhusen
gross	15 - 25		Lokale Überschwemmungen des Wiggernbachs, wenig Schäden
mittel	5 - 15	Lokale Überschwemmungen des Wiggernbachs, wenig Schäden	Hoher Wasserstand des Wiggernbachs oder Hochwasser von Seitenbächen
klein	< 5	Hoher Wasserstand des Wiggernbachs oder Hochwasser von Seitenbächen	

Im Folgenden werden die grössten Hochwasserereignisse in Wolhusen kurz beschrieben:

Schon im **15. Jh.** verursachten Überschwemmungen des Wiggernbaches Schäden an der Hl. Kreuz – Kapelle. Diese stand ursprünglich „bei der Einmündung der Kirchgasse auf den Rössliplatz. Weil sie aber hier des öfteren von den Überschwemmungen der Wigger beschädigt wurde, verlegte man sie auf das rechte Emmenufer“ (Zimmermann, 1929). Diese Verlegung fand vor 1503 statt, ein genauer Zeitpunkt ist nicht bekannt. Danach gibt es fast 400 Jahre lang keine Berichte über Überschwemmungsschäden, was auch daran liegt, dass im Bereich des heutigen Wolhusen-Wiggern erst Mitte des 19. Jhdts. eine verstärkte Siedlungsentwicklung stattfand. Aus dem Jahr **1885** wird von einer „grösseren“ Überschwemmung des Wiggernbaches berichtet.

Im Jahr 1917 ereigneten sich gleich drei Hochwasser durch den Wiggernbach, wobei das letzte das grösste bisher bekannte Hochwasser des Wiggernbachs war und katastrophale Schäden verursachte. Am **10. Juni 1917** uferte der Wiggernbach nach einem „schweren Gewitter über dem Menzberggebiet“ aus und setzte die Kantonsstrasse (heute Menznauer Str.) unter Wasser.

Historische Hochwasser in Wolhusen



Korrektionsbauten:

1 *ab Mitte 19. Jhdt. starke Bevölkerungszunahme und Ausbau von Wolhusen - Wiggern*
2 *1875 Bau der Bahnlinie Luzern - Bern*
3 *1895 Bau der Bahnlinie Wolhusen - Huttwil*
4 *1917 bis 1921 Ausbau und Verlegung Wiggernbach*

Abb. 5.10: Historische Hochwasser in Wolhusen seit dem 15. Jahrhundert. Charakterisierung der Grösse der einzelnen Hochwasser anhand der untersuchten Quellen (Beilage 2).

Am 1. Juli 1917 trat der Wiggernbach erneut über die Ufer, „am gleichen Ort wie am 10.6., doch noch stärker“. Grund war ein „wolkenbruchartiges Gewitter“ über dem Steinhuser- und Menznauerberg von ca. einer Stunde Dauer. Gartenanlagen wurden verwüstet, Strassen versandet und das Wasser drang in verschiedene Keller ein. Am 1**9. August 1917** ereignete sich ein fast zweistündiges heftiges Gewitter mit wolkenbruchartigem Regen. In der Folge floss der Wiggernbach als „wilder Strom von 1 – 2 m Höhe“ auf der Kantonsstrasse durch Wolhusen. Leitungsmasten und Hydranten wurden umgeknickt, Keller und Erdgeschosse der Häuser unter Wasser gesetzt. Zwei Menschen ertranken, zwei weitere kamen durch eine Hangrutschung ums Leben. Katastrophale Schäden an Gebäuden und Strassen wurden verursacht, das Militär wurde eingesetzt, u.a. um die zerstörte Bahnlinie Wolhusen - Huttwil zu reparieren. Der Gesamtschaden wurde amtlich auf 492'642.- Franken geschätzt. Aufgrund von Fotos und der Beschreibungen kann der damalige Abfluss auf 25 – 35 m^3/s geschätzt werden.[6]



Abb. 5.11 Schäden nach dem Hochwasser vom 19.8.1917 in Wolhusen (Fotos: S. Bühler)



Abb. 5.12 Schäden nach dem Hochwasser vom 19.8.1917 in Wolhusen (Fotos: S. Bühler)

Aufgrund der Hochwasserkatastrophe 1917 wurde der Wiggernbach in den Jahren danach bis 1921 massiv ausgebaut und in seinem Lauf verlegt. In der Folge finden sich nur noch Berichte über lokale Überschwemmungen, vermutlich durch kleine Seitengewässer. Am 7.Juni 2003 ist der Wiggernbach „knapp vor dem Übertreten gesichtet worden.“ Das überregionale Hochwasserereignis im August 2005 verursachte keine Überschwemmungen durch den Wiggernbach. Ein grosses Hochwasser trat dagegen am **8.Juni 2007** auf. Nach einem Gewitter, bei dem ca. 75 mm innerhalb einer Stunde fielen, trat der Wiggernbach beim Bergboden über die Ufer und setzte eine Tiefgarage unter Wasser. Der Abfluss konnte mit Hilfe von Fotos und Augenzeugenberichten zu ca. 19 – 24 m^3/s abgeschätzt werden (Abb. 5.13).

6 Die Abschätzung konnte an zwei Punkten vorgenommen werden: „Schlössli Neuhus“, heute Berghofstr. 3 (Abb. 5.12 links), sowie beim Schulhaus, heute Gemeindehaus Menznauerstr. 12 (Abb. 5.12 rechts)



Abb. 5.13: Hochwasser vom 8.6.2007 in Wolhusen. Links: Aufspritzendes Wasser an der Brücke Bergboden, Blick auf Haus Bergboden 4. Rechts: Überschwemmte Tiefgarage in Bergboden 9. (Fotos: Feuerwehr Wolhusen)

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser in Wolhusen ergeben sich folgende Schlüsse :

- Die Untersuchung historischer Hochwasser in Wolhusen ermöglicht einen Beobachtungszeitraum von ca. 130 Jahren (seit Ende 19. Jh.).
- In den letzten 130 Jahren trat in Wolhusen ein sehr grosses Hochwasser auf, bei dem der Wiggernbach katastrophale Überschwemmungen und Schäden verursachte.
- Nach diesem katastrophalen Hochwasser von 1917 wurde der Wiggernbach massiv ausgebaut und in seinem Lauf verlegt. Seither sind einige kleinere und lediglich ein grosses Ereignis bekannt, die zu lokalen Überschwemmungen durch Zuschlagen einzelner Brücken, an Seitenbächen oder durch starken Oberflächenabfluss führten.
- All diese Ereignisse traten im Sommerhalbjahr auf. Meist waren es heftige lokale Gewitter, die zu Hochwasser im Wiggernbach führten. Lange Ereignisse hingegen führten zu keinen Schäden

5.4.3 Abflussreaktion

Das EZG des Wiggenbachs liegt am Fuss des Napfgebiets und ist aus Gesteinen der Oberen Süsswassermolasse aufgebaut. Im Unterlauf liegen Schotter. Das EZG besteht zu einem grossen Teil aus steilen bis sehr steilen, meist bewaldeten Hängen. Die flacheren Kuppenlagen und weniger steilen Hänge werden landwirtschaftlich genutzt. Die Nutzung ist dadurch auch ein grobes Spiegelbild der Bodengeographie. Die landwirtschaftlichen genutzten Gebiete weisen speicherfähigere Böden auf, während auf den steilen bis sehr steilen bewaldeten Flächen flach bis mittelgründige Böden mit geringerem Speichervermögen liegen. In den Steilhängen und bachnahen Muldenflächen ist die Abflussreaktion rascher, während sie auf den flacheren Hängen und Kuppenlagen verzögert ist.

Abbildung 5.14 zeigt die Karte der Abflussreaktion und die Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen des Wiggernbachs. Abflusstyp 1 (rasch und stark beitragend: 1.2%), Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend: 34.9%) und Abflusstyp 3 (verzögert beitragend: 25.5%) überwiegen und machen zusammen 61.6% der EZG-Fläche aus. Die Abflusstypen 4 und 5 (stark bis sehr stark verzögert beitragend: 30.0 und 2.8%) betragen lediglich ein Drittel der Gebietsfläche. Die Abflussbereitschaft ist etwas schwächer als die des Rümlig, aber wesentlich stärker als die des Bielbachs. Insgesamt kann die Abflussreaktion des Wiggernbachs als stark beurteilt werden.

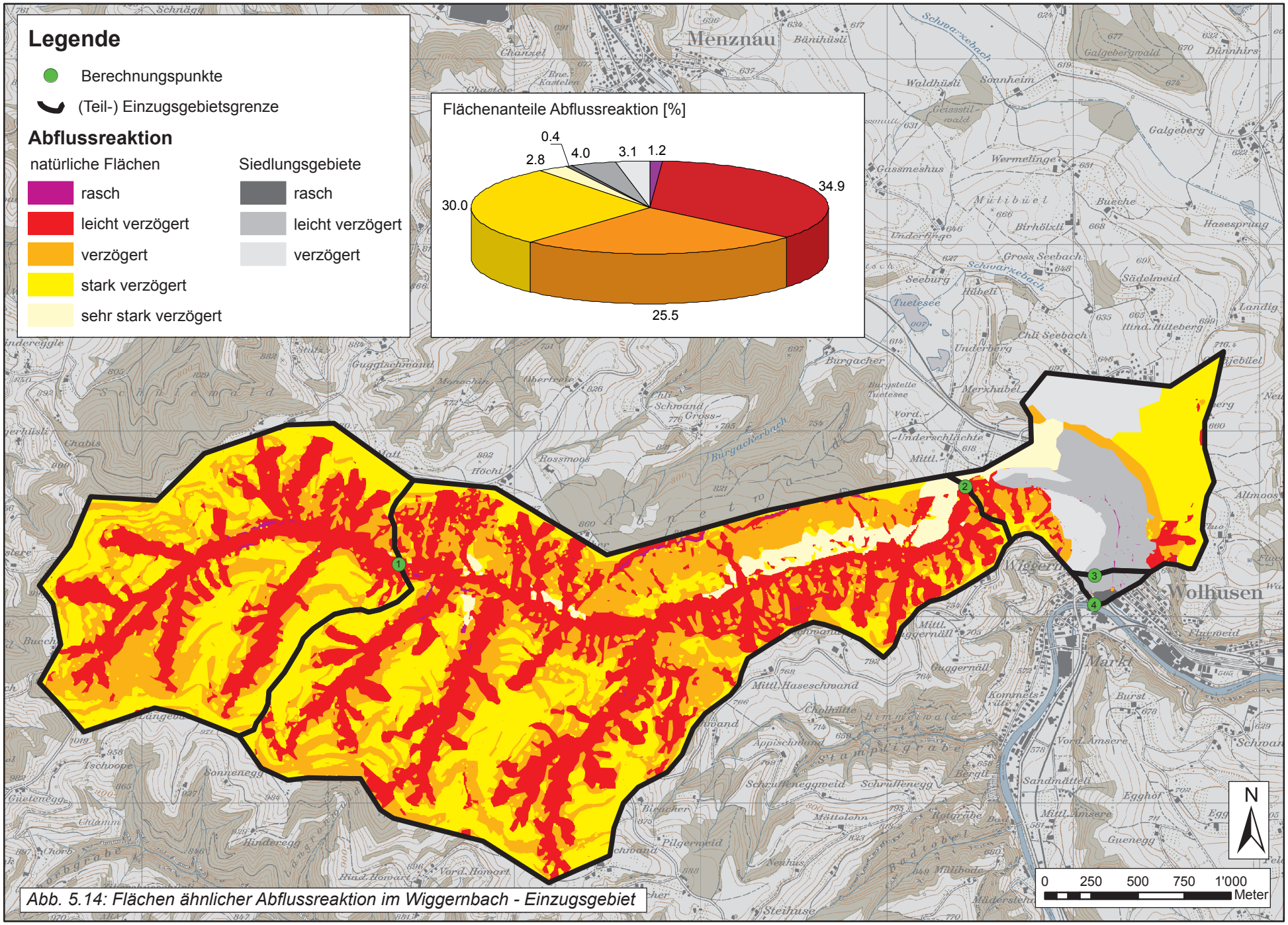


Abb. 5.14: Flächen ähnlicher Abflussreaktion im Wiggernbach - Einzugsgebiet

5.4.4 Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell (NAM)

Für das EZG des Wiggernbachs wurde ein NAM mit vier Berechnungspunkten aufgebaut (Tab. 5.9):

Tab. 5.9: Gebietskennwerte

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (EZG) (oberhalb Buechensagi)	1'019 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (Einmündung in Kleine Emme)	569 m ü. M.
EZG oberhalb BP 1: Wiggernbach unterhalb Bärrüti, Pt. 731	2.2 km^2
EZG oberhalb BP 2: Wiggernbach unterhalb Sticherlöchli, Pt. 635	6.7 km^2
EZG oberhalb BP 3: Wiggernbach beim Schulhaus Rainheim, Pt. 575	7.8 km^2
EZG oberhalb BP 4: Wiggernbach bei Einmündung in Kleine Emme, Pt. 569	7.8 km^2

Zur Überprüfung des Modells konnten die Hochwasser vom 8.6.2007 (Anhang 5.6) und vom 21./22.8.2005 nachgerechnet werden. Bei diesen Hochwasserereignissen konnte aufgrund der vorliegenden Daten die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden. Für das Gewitterereignis vom Juni 2007 lagen zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsdaten der Messstation Wolhusen, sowie räumlich hoch aufgelöste Radardaten vor (Ulrich, 2011). Die Abflussspitzen der Hochwasser 2007 und 2005 konnten befriedigend nachgerechnet werden. Über den Verlauf der Hochwasser und die Abflussvolumina konnten allerdings keine detaillierten Beobachtungen in Erfahrung gebracht werden. Insgesamt ergibt das Modell plausible Ergebnisse und kann für die Abflussberechnungen eingesetzt werden.

Für die Abflussberechnungen wurden die Werte der aktualisierten Niederschlagsstatistik der Station Eigenthal (1883 - 2008) verwendet, wobei die 300-jährlichen Regen bis 4-h Dauer reduziert wurden (Scherrer AG, 2009). Bei den Gewitterszenarien (Regen $\leq$ 4-h Dauer) wird das Teil-EZG 1 voll überregnet und das übrige EZG zu 50 %. Die Dauerregenszenarien (12 – 48 h Dauer) überregnen das EZG gleichmässig.

In der Tabelle 5.10 sind die mit dem NAM an den verschiedenen Berechnungspunkten (BP) berechneten Extremhochwasser aufgelistet. Die grössten Hochwasser werden von Gewittern mit 2 h bis 4 h Dauer verursacht. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der historischen Hochwassererkundung.

Tab. 5.10: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM QAREA am Wiggernbach.

Wiederkehr-periode [Jahre]	Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-s-zenario	Abflussspitzen [m³/s] bei den BP			
			BP 1	BP 2	BP 3	BP 4
30	0.5h30j_dreieck	Gewitter	3.3	10.2	11.7	11.7
	1h30j_dreieck	Gewitter	4.0	12.3	14.1	14.1
	2h30j_dreieck	Gewitter	**4.6**	**14.6**	**16.4**	**16.4**
	4h30j_dreieck	Gewitter	**5.0**	**15.8**	**17.9**	**17.9**
	12h30j_block	gleichmässig	4.2	13.0	14.7	14.7
	24h30j_block	gleichmässig	3.1	9.5	10.8	10.8
	48h30j_block	gleichmässig	2.2	6.8	7.8	7.8
100	0.5h100j_dreieck	Gewitter	7.5	23.1	26.2	26.2
	1h100j_dreieck	Gewitter	8.4	26.0	29.6	29.6
	2h100j_dreieck	Gewitter	**9.0**	**28.3**	**32.0**	**32.0**
	4h100j_dreieck	Gewitter	**8.9**	**28.0**	**31.7**	**31.7**
	12h100j_block	gleichmässig	6.5	19.9	22.6	22.6
	24h100j_block	gleichmässig	4.4	13.4	15.3	15.3
	48h100j_block	gleichmässig	3.0	9.1	10.5	10.5
300	0.5h300j_dreieck	Gewitter	12.2	37.4	42.5	42.5
	1h300j_dreieck	Gewitter	13.7	41.7	47.3	47.3
	2h300j_dreieck	Gewitter	**14.2**	**43.9**	**49.8**	**49.8**
	4h300j_dreieck	Gewitter	**13.7**	**42.7**	**48.4**	**48.4**
	12h300j_block	gleichmässig	9.3	28.2	32.2	32.2
	24h300j_block	gleichmässig	5.9	18.0	20.6	20.6
	48h300j_block	gleichmässig	3.8	11.6	13.3	13.3

5.4.5 Hochwasserabflüsse

In Abbildung 5.15 wurden für den Wiggernbach in Wolhusen (BP 2) die bekannten Abflussspitzen grosser Hochwasser und die Resultate aus den Modellrechnungen in Beziehung gesetzt. Das Hochwasser vom August 1917 war das grösste der vergangenen 130 Jahre, wahrscheinlich sogar der letzten 200 Jahre. Das Hochwasser von 2007 ist das zweitgrösste Ereignis in diesem Zeitraum. Das Hochwasser von 2003 ist vermutlich das drittgrösste der letzten 130 Jahre, mit Sicherheit das zweitgrösste der letzten 30 Jahre. Entsprechend wurden diese Ereignisse als 130 – 200 - jährliches, bzw. als 65 - 100 – jährliches, bzw. als 15 - 45 - jährliches Hochwasserereignis eingeordnet. Die Abschätzung der Hochwasserspitze von 1917 unterliegt grossen Unsicherheiten. Die rote und die rot strichlierte Linie markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit (Tab. 5.11).

Tab. 5.11: Die am Wiggernbach ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit

BP	**zugeordneter Gerinneabschnitt**	**HQ_{30} [m³/s]**	**HQ_{100} [m³/s]**	**HQ_{300} [m³/s]**
1	Wiggernbach unterhalb Bärrüti (2.2 km²)	3.5 - 5	7 - 10	10 - 14
2	**Wiggernbach unterhalb Sticherlöchli (6.7 km²)**	**14 - 16**	**22 - 30**	**30 - 43**
3	Wiggernbach beim Schulhaus Rainheim (7.8 km²)	16 - 18	25 - 34	34 - 49
4	Wiggernbach bei Einmündung in Kleine Emme (7.8 km²)	16 - 18	25 - 34	34 - 49

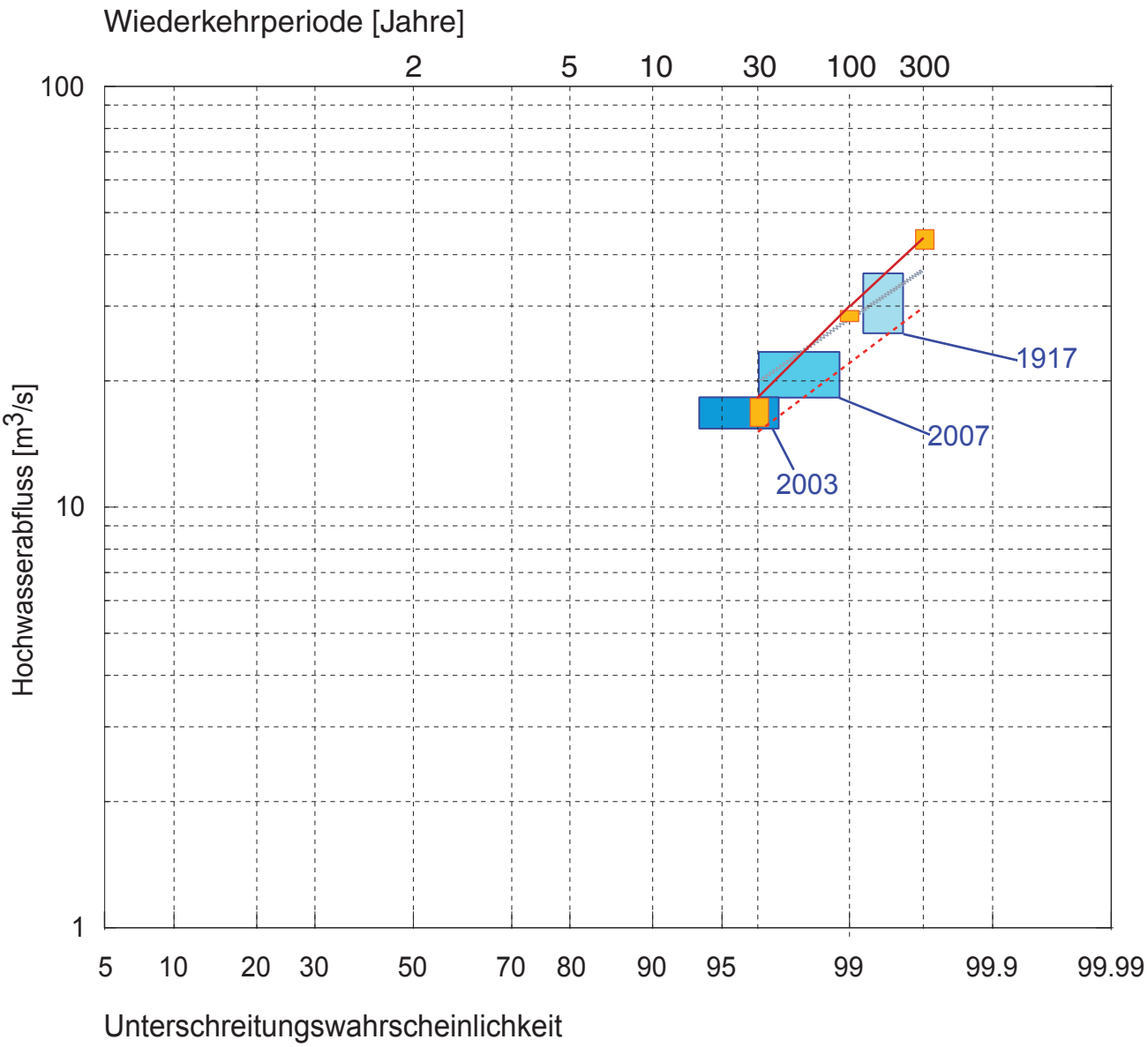


Abb. 5.15: *Frequenzdiagramm des Wiggernbachs beim BP 2 (6.7 km²).*
Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 1917, 2007 sowie 2003.
Die Resultate der Modellrechnungen sind orange dargestellt
Die roten Linien markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2006) für das gesamte EZG (7.8 km²).

5.5 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Chesselbach

5.5.1 Einleitung

Der Chesselbach weist mit 2.8 km^2 ein bedeutend kleineres EZG aus als die anderen detailliert betrachteten Seitenbäche der Kleinen Emme unterhalb Wolhusen. Der Chesselbach hat bezüglich Aufbau grosse Ähnlichkeit mit einer Vielzahl kleiner Bäche entlang der Kleinen Emme. Vor allem besitzt er Ähnlichkeit mit einigen EZG bei Malters, die ein sehr grosses Schadenspotenzial aufweisen. Er soll daher zusätzlich zu den „grossen EZG“ als Vorlage zur Übertragung der Hochwasserabflüsse auf die zahlreichen kleinen Seitenbäche der Kleinen Emme dienen. Daher wurde der Chesselbach detailliert untersucht und die Hochwassergeschichte ausgewertet und ein Niederschlags-Abflussmodell aufgebaut.

5.5.2 Historische Hochwasser

Für den Chesselbach ergaben sich aus den Recherchen zu historischen Hochwassern weniger konkrete Hinweise als zu den grossen Seitenbächen. Vier Schadenshochwasser sind aus den vergangenen 100 Jahren bekannt, welche anhand der recherchierten Informationen (Beilage 2) in einem Zeitpfeil eingeordnet wurden (Abb. 5.16):

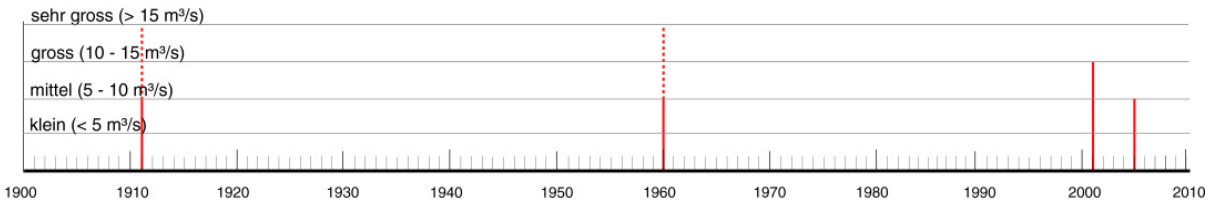


Abb. 5.16: Historische Hochwasser am Chesselbach seit 1911. Charakterisierung der Grösse einzelner Hochwasser anhand der untersuchten Quellen.

Nach einem heftigen Gewitter, abends um 6 bis 7 Uhr, trat der Chesselbach am **30. Mai 1911** bei Ettisbüel über die Ufer und überschwemmte Kulturland. Auch der mittlere und untere Dorfbach in Malters traten über die Ufer und richteten grossen Schaden an. Ein weiteres Schadenshochwasser ereignete sich am **31. Juli 1960** nach einem Gewitter um 16 Uhr auf. Der Chesselbach unterhöhlte bei diesem Ereignis die Bahngeleise in Ettisbüel. Der Dorfbach von Malters überschwemmte und blockierte die Kantonsstrasse mit Geschiebe. In der Folge wurde der Chesselbach zwischen 1960 und 1962 im Bereich der Kantonsstrasse und der Bahnlinie in Ettisbüel saniert

Bei der Einordnung der Hochwasser seit 1960 waren die Informationen von Urs Hänsli (Wuhraufseher von Malters bis 2005) sehr wertvoll (Beilage 2). Das gemäss seinen Angaben grösste Hochwasserereignis seit der Sanierung in den Jahren 1960 - 1962 trat nach einem Gewitter im **August 2001** auf. Der Chesselbach uferte in Ettisbühl unterhalb der Kantonsstrasse aus und überschwemmte Kulturland. Das Gerinne füllte sich während des Ereignisses von der Mündung in die Emme aufwärts bis zur Unterführung der Kantonsstrasse mit Geschiebe. Aufgrund dieser Angaben konnte eine Abflussspitze von 10 - 15 m^3/s abgeschätzt werden. Beim Hochwasser vom **21./22.8.2005** konnte ein Ausufern des Chesselbachs dank dem stetigen Ausbaggern des Geschiebes verhindert werden. Die Abflussspitze dieses Hochwassers lag demnach bei schätzungsweise 9 - 11 m^3/s.

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser am Chesselbach ergeben sich folgende Schlüsse :

- Die Untersuchung historischer Hochwasser ermöglicht einen Beobachtungszeitraum von ca. 100 Jahren.
- Aus den letzten 100 Jahren sind am Chesselbach vier Schadenshochwasser bekannt..
- Nach der Sanierung in den Jahren 1960 – 62 traten 2001 und 2005 zwei Hochwasser auf, bei denen die Abflussspitzen abgeschätzt werden konnten.
- Beide Ereignisse traten im Sommerhalbjahr auf, wobei sowohl ein Gewitter (2011), als auch ein lang andauernder Niederschlag (2005) Hochwasser auslösten.

5.5.3 Abflussreaktion

Der Untergrund des Chesselbachs wird von Molassegesteinen (Obere Meeresmolasse) gebildet, die aber weitgehend von Moräne überdeckt sind. Die Hänge sind meist mässig steil und fast ausschliesslich landwirtschaftlich genutzt. Die Böden sind mehrheitlich durchlässig und mittel bis tiefgründig. In Muldenlagen und entlang der Bäche sind die Böden wahrscheinlich feucht bis nass, in Flanken der eingetieften Tälchen flach- bis mittelgründig.

Abbildung 5.17 zeigt die Karte der Abflussreaktion und die Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen des Chesselbachs. Abflusstyp 1 (rasch und stark beitragend: 0.8%), Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend: 21.2%) und Abflusstyp 3 (verzögert beitragend: 14.3%) machen zusammen 36.3% der EZG-Fläche aus. Die Siedlungsflächen betragen 4 %. Die Abflusstypen 4 und 5 (stark bis sehr stark verzögert beitragend: 58.9% und 0.8%) überwiegen. Die Abflussbereitschaft ist daher schwächer als am benachbarten Rümlig. Insgesamt kann die Abflussreaktion des Chesselbachs als mässig beurteilt werden.

5.5.4 Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abflussmodell

Für den Chesselbach wurde ein NAM mit einem Berechnungspunkt aufgebaut (Tab. 5.12):

Tab. 5.12: Gebietskennwerte

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (EZG) (Arnehubel)	972 m ü. M.
Tiefster Punkt im Einzugsgebiet (Strassenbrücke, Ettisbüel)	505 m ü. M.
EZG oberhalb BP: Chesselbach bei Strassenbrücke Ettisbüel, Pt. 507	2.8 km^2

Zur Überprüfung des Modells konnte lediglich das Hochwasser vom 21./22.8.2005 (Anhang 5.7) nachgerechnet werden. Aufgrund der vorliegenden Daten der umliegenden Tagessammler konnte die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden. Die Abflussspitze konnte mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der Niederschlagsstation Malters befriedigend nachgerechnet werden.

Für die Abflussberechnungen wurden die Werte der aktualisierten Niederschlagsstatistik der Station Eigenthal (1883 - 2008) verwendet, wobei die 300-jährlichen Regen bis 4-h Dauer reduziert wurden (Scherrer AG, 2009). Das kleine EZG von 2.8 km^2 kann sowohl bei Gewitter- (Regen $\leq$ 4-h Dauer) als auch bei Dauerregenszenarien (12 - 48-h Dauer) voll überregnet werden. In der Tabelle 5.13 sind die mit dem NAM berechneten Extremhochwasser aufgelistet. Die grössten Hochwasser werden von Gewittern verursacht. Dies deckt sich mit den Beobachtungen aus den historischen Hochwassern.

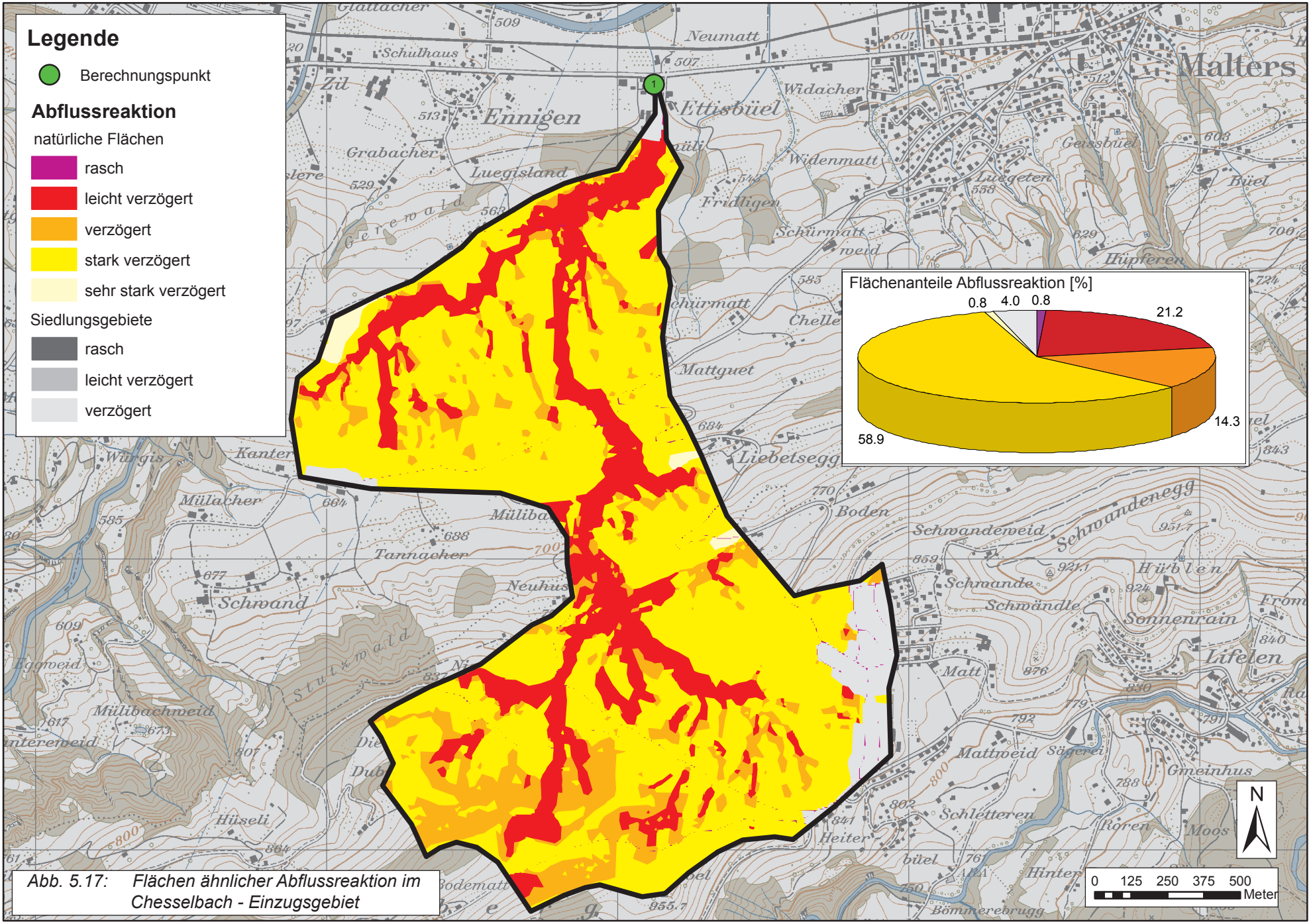


Abb. 5.17: Flächen ähnlicher Abflussreaktion im Chesselbach - Einzugsgebiet

Tab. 5.13: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM QAREA.

Wiederkehr-periode [Jahre]	Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlags-s-zenario	Abflussspitze [m³/s] in Ettisbüel
30	0.5h30j_dreieck	gleichmässig	4.8
	1h30j_dreieck	gleichmässig	5.6
	2h30j_dreieck	gleichmässig	**6.2**
	4h30j_dreieck	gleichmässig	**6.2**
	12h30j_block	gleichmässig	4.6
	24h30j_block	gleichmässig	3.5
	48h30j_block	gleichmässig	2.6
100	0.5h100j_dreieck	gleichmässig	11.6
	1h100j_dreieck	gleichmässig	**12.5**
	2h100j_dreieck	gleichmässig	**12.9**
	4h100j_dreieck	gleichmässig	11.7
	12h100j_block	gleichmässig	7.6
	24h100j_block	gleichmässig	5.1
	48h100j_block	gleichmässig	3.5
300	0.5h300j_dreieck	gleichmässig	19.9
	1h300j_dreieck	gleichmässig	**21.4**
	2h300j_dreieck	gleichmässig	**21.2**
	4h300j_dreieck	gleichmässig	19.0
	12h300j_block	gleichmässig	11.0
	24h300j_block	gleichmässig	6.9
	48h300j_block	gleichmässig	4.5

5.5.5 Hochwasserabflüsse

In Abbildung 5.18 wurden für den Chesselbach in Ettisbüel die bekannten Abflussspitzen grosser Hochwasser und die Resultate aus den Modellrechnungen in Beziehung gesetzt. Das Hochwasser vom August 2001 (10 - 15 m³/s) war das grösste seit der Gerinnesanierung in den Jahren 1960 - 1962; über die vergangenen 100 Jahre betrachtet liegt es auf den Rängen 1 - 3 (Wiederkehrperiode 33 - 100 Jahre). Das Hochwasser 2005 (9 - 11 m³/s) war kleiner und liegt über die vergangenen 100 Jahre betrachtet auf den Rängen 2 - 4 (Wiederkehrperiode 25 - 50 Jahre). Die rote und die rot strichlierte Linie markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. In der Tabelle 5.14 sind die ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit zusammengestellt:

Tab. 5.14: Die am Chesselbach ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit

BP	**zugeordneter Gerinneabschnitt**	**HQ_{30} [m³/s]**	**HQ_{100} [m³/s]**	**HQ_{300} [m³/s]**
1	Chesselbach bei Strassenbrücke Ettisbüel, Pt. 507 (2.8 km²)	7 - 10	11 - 15	16 - 21

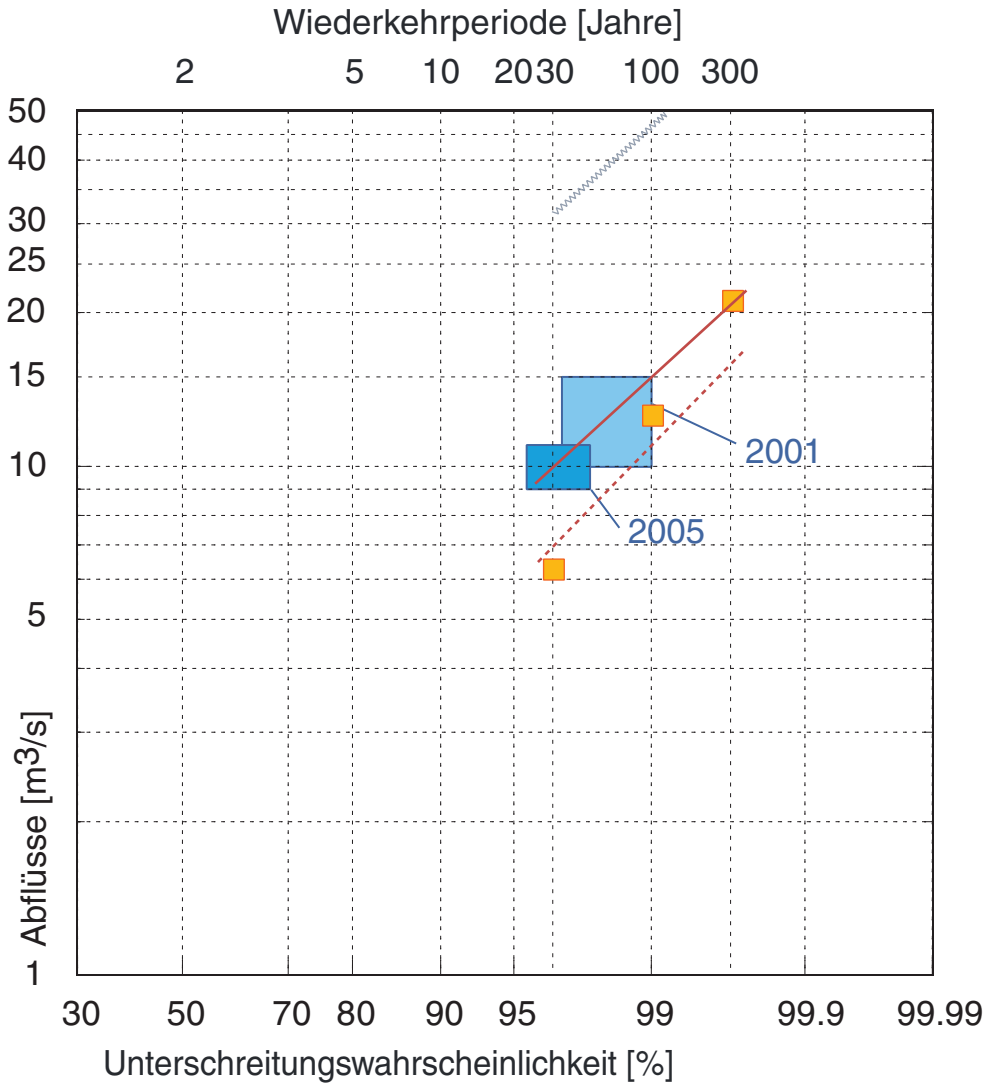


Abb. 5.18: *Frequenzdiagramm des Chesselbachs in Ettisbüel (2.8 km²). Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 2001 und 2005. Die Resultate der Modellrechnungen sind orange dargestellt Die roten Linien markieren den vorgeschlagenen Bereich der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2006).*

5.6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit am Renggbach

5.6.1 Einleitung

Für den Renggbach existiert bereits eine detaillierte Hydrologiestudie (VAW, 1999), die u.a. auch auf der Analyse historischer Hochwasser beruht. In der vorliegenden Arbeit wurde die Hochwassergeschichte aktualisiert und die in VAW (1999) festgelegten HQ_{100} und HQ_{300} überprüft.

5.6.2 Historische Hochwasser

In mittelalterlichen Chroniken sind verschiedene Hochwasserereignisse überliefert, bei denen der Renggbach über seine Ufer getreten ist und die Siedlungsgebiete von Kriens und der Stadt Luzern überflutet hat. Der letzte grosse Ausbruch fand 1738 statt. Seither wurden wiederholt Anstrengungen unternommen, die Hochwassergefahr durch flussbauliche und forstliche Massnahmen zu mindern. Die meisten Bachabschnitte sind heute mittels Sperrentreppen vollständig verbaut. Dank diesen Massnahmen sind keine Überflutungen im überbauten Gebiet mehr eingetreten (VAW, 1999).

In VAW (1999) ist die Analyse historischer Hochwasser auf das 20. Jh. fokussiert, weil aufgrund der veränderten baulichen Verhältnisse keine Abschätzung früherer Hochwasserspitzen gemacht werden konnten. In der vorliegenden Arbeit wurde die ganze verfügbare Hochwassergeschichte in die Betrachtung einbezogen. Sämtliche Angaben zu vergangenen Hochwassern sind im Beilage 2 dokumentiert. Frühere Hochwasserereignisse wurden anhand qualitativer Kriterien (Tab. 5.15) und die jüngeren Ereignisse anhand der Abschätzungen der Hochwasserspitzen in einem Zeitpfeil (Abb. 5.19) eingeordnet.

Bei der Einordnung der Hochwasser 1934, 1948, 1960 und 1979 in VAW (1999) war der in Obernau wohnhafte Bachmeister Werner Haas eine wichtige Gewährsperson. Gemäss seinen Angaben war das Hochwasser vom 1./2.6.1979 das grösste im 20. Jahrhundert; in VAW (1999) wurde eine Abflussspitze von 80 - 120 m^3/s bei der Blattigbrücke abgeschätzt. Die Hochwasserspitzen 1948 und 1960 wurden auf 65 - 100 m^3/s geschätzt.

Werner Haas wurde zur Aktualisierung der Einschätzung nochmals befragt: Seit dem sehr grossen Hochwasser 1979 wurden ca. 40 Mio. Fr. im EZG des Renggbachs verbaut. Gemäss seinen Angaben trat seither nur im August 2005 ein grosses, vergleichbares Hochwasser am Renggbach auf. Dank der massiven Investitionen traten aber überhaupt keine Schäden auf. Die Hochwasserspuren reichten bis etwa 1 m unter die Blattigbrücke. Aufgrund der Angaben von Werner Haas war das Hochwasser 2005 vermutlich kleiner als das Hochwasser 1979 aber sicherlich in der Grössenordnung der Hochwasser von 1960, 1948 und 1934.

Tab. 5.15: Einordnungskriterien zur Wertung historischer Hochwasser am Renggbach.

	Renggbach Blattigbrücke	Beschreibung
sehr klein	< 10 m^3/s	keine Überschwemmungen, keine Erwähnung in Dokumentation.
klein	10 – 20 m^3/s	Erwähnung des Rengg- oder Krienbaches in Dokumentation, keine/kaum Schäden am Renggbachgerinne.
mittel	20 – 60 m^3/s	Schäden am Renggbachgerinne; Rutschungen im EZG (vor 1738: kleine Ausbrüche und Überschwemmungen ohne Erwähnung von Schäden)
gross	60 – 100 m^3/s	grosse Schäden am Renggbachgerinne; grosser Geschiebetransport (vor 1738: Ausbrüche mit Schäden, Eindringen in Barfüsserkirche der Stadt Luzern)
sehr gross	> 100 m^3/s	sehr grosse Schäden (vor 1738: Ausbrüche mit katastrophalen Verheerungen in Luzern)

Historische Hochwasser am Renggbach

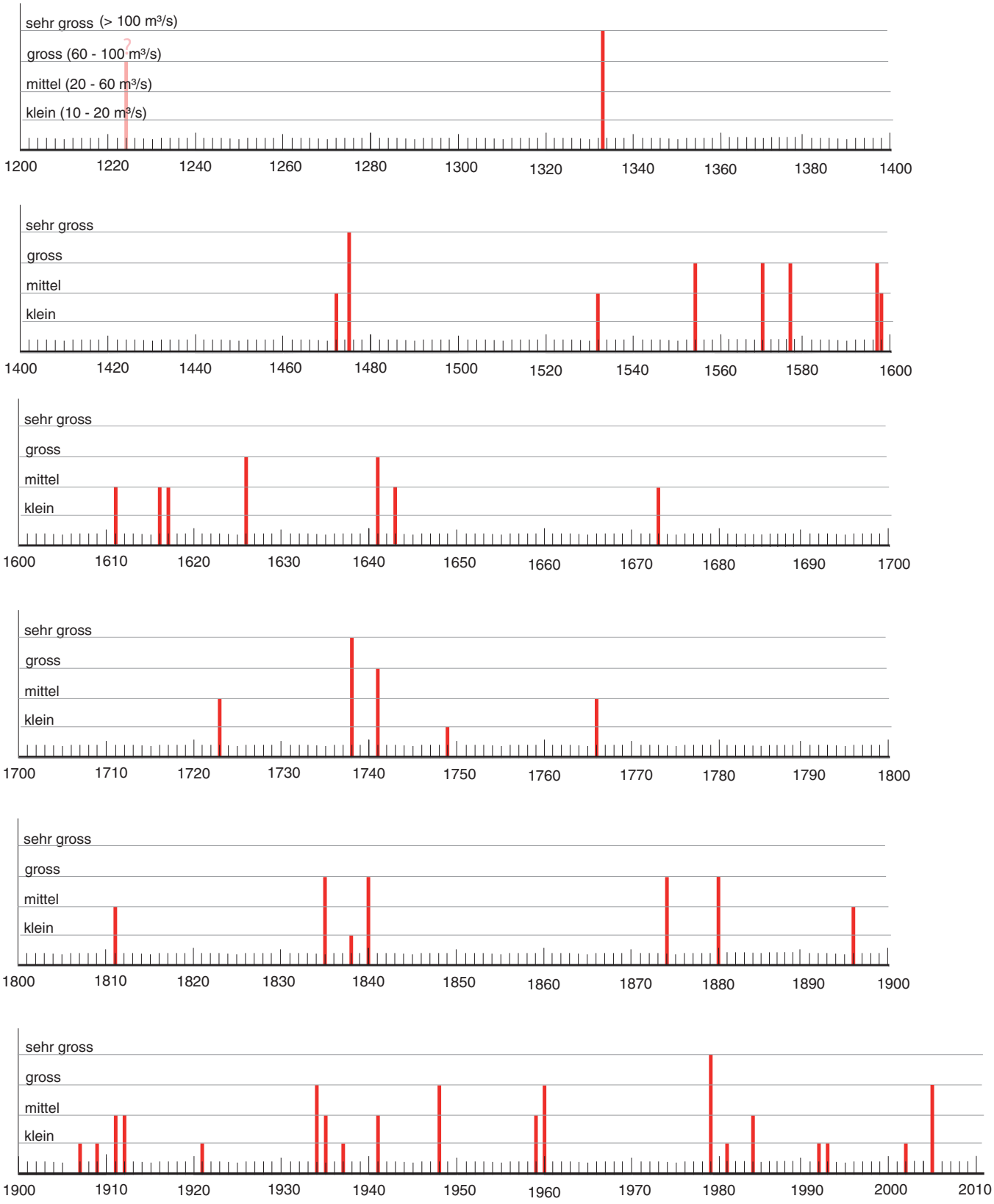


Abbildung 5.19: Historische Hochwasser am Renggbach seit 1224. Charakterisierung der Grösse der einzelnen Hochwasser anhand der Schilderungen in den untersuchten Quellen (Beilage 2).

5.6.3 Abflussreaktion

Der geologische Untergrund des Renggbach-EZG wird von subalpiner Molasse und subalpinem Flysch gebildet. Beinahe das gesamte EZG des Renggbachs ist von quartären Lockergesteinsmassen bedeckt. Im Einzelnen sind dies riss- und würmeiszeitliche Moränen, ausgedehnte Rutschgebiete und teils mächtige Bachschuttkegel. Die Hänge sind steil bis sehr steil und meist bewaldet. Die Böden sind uneinheitlich durchlässig und meist mässig tiefgründig. In Muldenlagen und entlang der Bäche sind die Böden vernässt, entlang der Talflanken meist durch Erosion gestört und flach- bis mittelgründig. Nur auf einzelnen Kuppenlagen sind die Böden mässig tiefgründig bis tiefgründig und weisen ein gutes Speichervennögen auf.

Abbildung 5.20 zeigt die Karte der Abflussreaktion und die Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen des Renggbachs. Abflusstyp 1 (rasch und stark beitragend: 7.5%), Abflusstyp 2 (leicht verzögert beitragend: 49.4%) und Abflusstyp 3 (verzögert beitragend: 20.4%) machen zusammen 77.3% der EZG-Fläche aus. Die Siedlungsflächen betragen 0.5%. Die Abflusstypen 4 und 5 (stark bis sehr stark verzögert beitragend: 21.6% und 0.6%) spielen eine untergeordnete Rolle. Die Abflussbereitschaft ist daher sogar stärker als am benachbarten Rümlig. Insgesamt kann daher die Abflussreaktion des Renggbachs als sehr stark beurteilt werden.

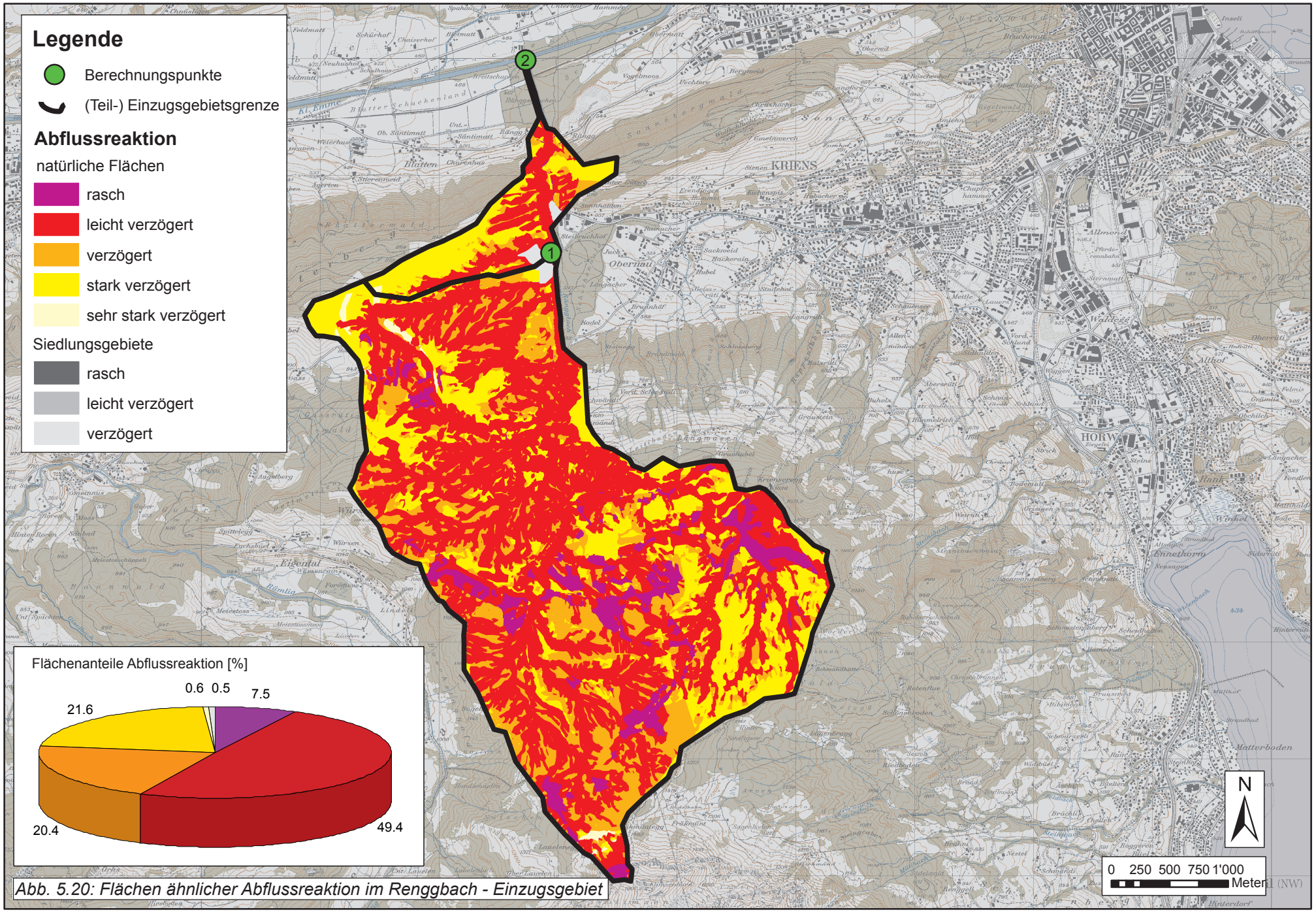


Abb. 5.20: Flächen ähnlicher Abflussreaktion im Renggbach - Einzugsgebiet

5.6.4 Hochwasserabflüsse

Das Hochwasser 1979 (80 - 120 m^3/s) war das grösste der vergangenen 120 Jahre (Kap. 5.6.2). In den vergangenen 800 Jahren traten vier sehr grosse Hochwasserereignisse auf (Abb. 5.19). Dem Hochwasser 1979 wurde deshalb eine Wiederkehrperiode von 120 - 200 Jahren zugeordnet (Abb. 5.21). Die grossen Hochwasser 1948 und 1960 (beide: 65 - 100 m^3/s) waren in der gleichen Grössenordnung wie die Hochwasser von 1934 und 2005 (Ränge 2 - 4 der vergangenen 120 Jahre; Ränge 8 - 20 der vergangenen 800 Jahre). Ihnen wurde eine Wiederkehrperiode von 30 - 100 Jahren zugeordnet.

Neben den historischen Hochwassern 1948, 1960 und 1979 wurden im Frequenzdiagramm (Abb. 5.21) die in VAW (1999) angegebenen HQ_{100} von 96 m^3/s und HQ_{300} von 136 m^3/s eingetragen, welche sich auch unter Berücksichtigung der aktualisierten Hochwassergeschichte gut einfügen. Zusätzlich wird aus diesem Diagramm ein HQ_{30} von 65 m^3/s abgeleitet (Tab. 5.16). Das EZG bei der Blattigbrücke beträgt 11.3 km^2. Bis zur Mündung in die Kleine Emme nimmt es auf 12.4 km^2 zu, wobei das unterste Teil-EZG nicht sehr stark beitragend ist. Aufgrund der extrem hohen Abflusswerte bei der Blattigbrücke ist davon auszugehen, dass die Abflussspitzen bis zur Mündung nicht weiter zunehmen.

Tab. 5.16: Die am Renggbach ermittelten Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

BP	zugeordneter Gerinneabschnitt	HQ_{30} [m^3/s]	HQ_{100} [m^3/s]	HQ_{300} [m^3/s]
1	Renggbach bei der Blattigbrücke (11.3 km^2)	65	96	136
2	Renggbach bei der Mündung in die Kleine Emme (12.4 km^2)	65	96	136

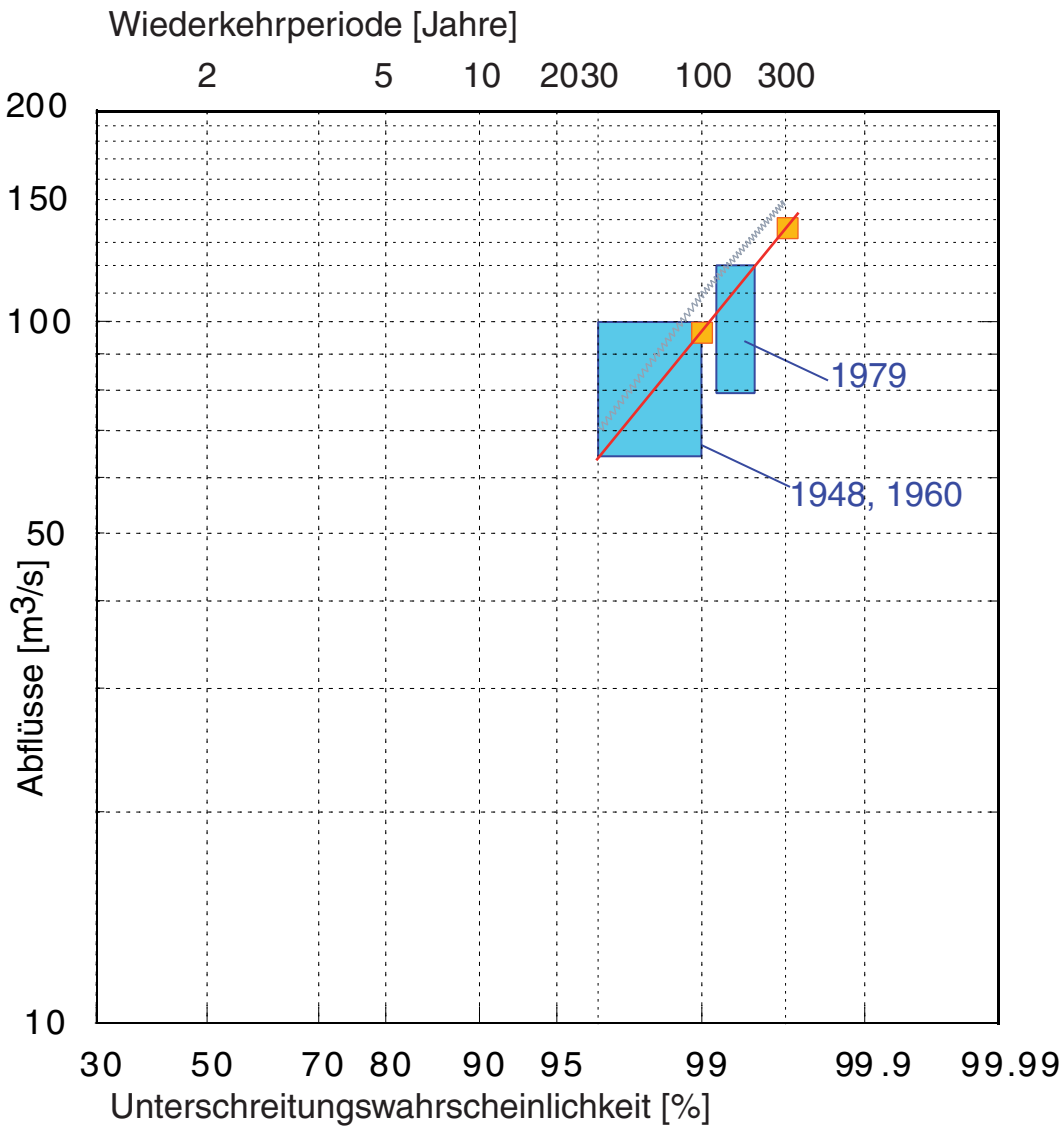


Abb. 5.21: *Frequenzdiagramm des Renggbachs bei der Blattigbrücke (11.3 km^2).*
Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser der Jahre 1948, 1960 und 1979 aus VAW (1999).
Die orangen Punkte markieren das HQ100 und das HQ300 aus VAW (1999).
Die rote Linie markiert die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.
Die graue gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2006).

6 Hochwasserabflüsse an 170 kleinen Seitenbächen

6.1 Einleitung

Die Abflüsse aus den detailliert untersuchten EZG wurden auf die übrigen Bäche unter Berücksichtigung ihrer Abflussbereitschaft und ihrer Grösse übertragen (siehe Abb. 6.1). Mit der Erkundung historischer Hochwasser wurden zusätzliche Hinweise über die Reaktionsweise der Gebiete zusammengetragen und - sofern möglich - die Abflussspitzen rekonstruiert. Damit liess sich die Übertragung der Abflüsse in einigen Fällen stichprobenartig überprüfen. Im Einzelnen wurde wie folgt vorgegangen (Abb. 6.1):

Abflussreaktion (1): In allen EZG wurde die Abflussbereitschaft kartiert (Kapitel 3). Dies erlaubt einzuschätzen, wie stark die Gebiete aufgrund der Gebietseigenschaften auf Starkregen reagieren. Die EZG wurden gemäss ihrer Abflussreaktion (Summe der Flächenanteile der Abflusstypen 1, 2, 3, 6 und 7) klassiert (Tab. 6.1), und es wurden **Referenzgebiete** aufgrund der Abflussbereitschaft und der geografischen Lage definiert **(2)**. Die **Abflüsse** der Referenzgebiete wurden entsprechend der EZG-Grösse **übertragen (3).** Die hergeleiteten Abflusswerte wurden an ausgewählten Bächen durch **Erkundung historischer Hochwasser** überprüft **(4).** Quantitative Informationen zu Abflussspitzen und Wiederkehrperioden wurden in einem **Frequenzdiagramm** den Werten der Übertragung gegenübergestellt. Bei Widersprüchen wurden die übertragenen **Werte angepasst (5)**. Waren keine weiteren Informationen über historische Hochwasser verfügbar, so wurden die berechneten Hochwasserabflüsse belassen.

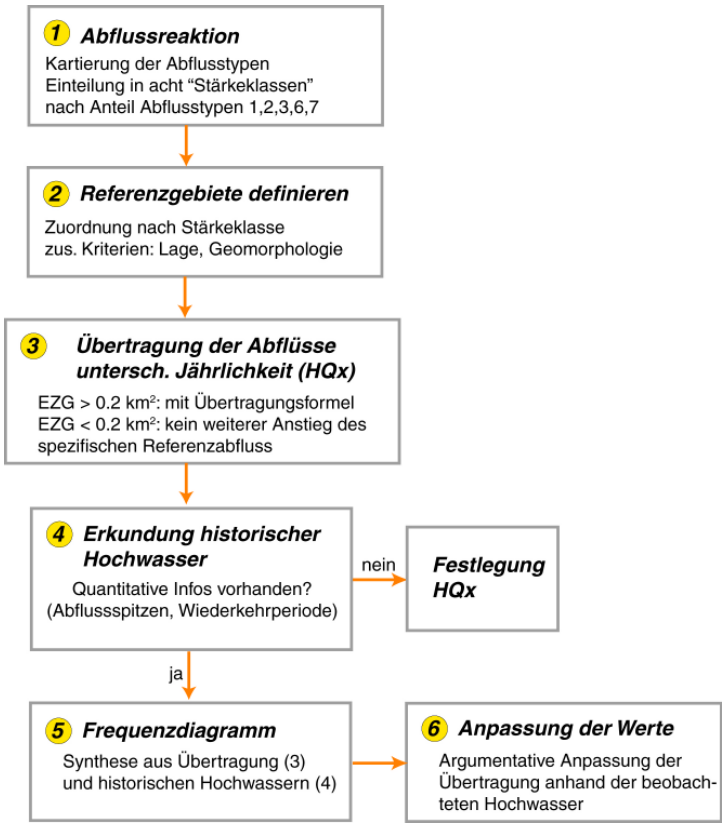


Abb.6.1: Vorgehensweise bei der Übertragung der massgebenden Abflüsse auf die Seitenbäche der Kleinen Emme.

Tab. 6.1: *Der Anteil der Abflusstypen 1 – 8 aller untersuchten Bächen. Die unterschiedliche Einfärbung zeigt die Klassierung nach der Abflussbereitschaft. Dargestellt sind die Flächenanteile der einzelnen Abflusstypen sowie die Summe der Abflusstypen 1, 2, 3, 6, 7 (rasch beitragende natürliche Flächen (1, 2, 3) und rasch beitragende Siedlungsflächen (6, 7)): Schwarz: ≥ 85%; Grau: 75 – 84%; braunrot: 65%-74%; rot: 55%-64%; violett: 45%-54%; dunkelblau: 35%-44%; hellblau: 25%-34%; türkis: ≤ 24%*

Bach	BP	X-Koord.	Y-Koord.	Fläche [km²]	1	2	3	4	5	6	7	8	Atyp 1+2+3+6+7
Rotewaldbach	4	663'571	213'650	0.07	0	26	20	27	26	0	0	0	46
ohne Namen	7	663'119	212'344	0.11	0	0	16	8	0	0	0	75	16
ohne Namen	8	663'251	211'999	0.02	0	5	66	29	0	0	0	0	71
ohne Namen	9	663'633	212'659	0.18	1	3	14	6	0	0	0	77	17
Schooschäppelibach	11	663'218	214'124	0.09	3	5	0	2	0	0	0	89	9
Erlebach	14	662'950	213'868	0.15	3	8	1	13	0	0	13	61	25
Aemmeweidbach	15	662'841	213'502	0.21	2	10	2	28	0	0	0	58	14
ohne Namen	18	662'817	213'472	0.06	0	17	2	56	0	0	0	25	19
Haldeweidbach	19	662'489	213'162	0.24	2	10	3	31	0	0	0	53	16
Winzigebach	20	662'382	213'099	0.08	0	22	0	69	0	0	0	9	22
Winterbüelbach	21	662'148	212'772	0.46	1	15	3	74	0	0	0	7	19
Breitmattbach	22	662'004	212'322	0.14	0	12	0	87	0	0	0	1	12
Grudligebach	23	661'780	212'051	0.91	1	8	3	87	0	0	0	1	12
Chollerhüslibach	24	661'500	211'716	0.28	0	50	8	41	0	0	0	0	59
ohne Namen	25	647'671	212'695	0.02	0	44	34	22	0	0	0	0	78
ohne Namen	26.01	647'894	212'534	0.01	0	43	26	30	0	0	0	0	70
ohne Namen	26.02	647'863	212'574	0.01	0	38	46	17	0	0	0	0	83
ohne Namen	27	647'529	212'674	0.02	0	52	20	28	0	0	0	0	72
Sidlerebach	35	660'912	211'521	0.56	0	18	4	78	0	0	0	0	22
ohne Namen	36	660'583	211'418	0.02	0	27	5	68	0	0	0	0	32
Gansebach	37	660'334	211'389	0.46	0	20	2	76	1	0	0	0	23
Buggeringerbach	38	659'995	211'303	0.60	0	22	3	73	0	0	0	2	25
Weidbach	39.01	659'813	211'362	0.03	0	39	23	38	0	0	0	0	62
Weidbach	39.02	659'787	211'368	0.01	0	55	10	35	0	0	0	0	65
Weidbach	39.03	659'646	211'373	0.03	0	45	5	50	0	0	0	0	50
Weidbach	39.04	659'856	211'316	0.09	0	52	14	34	0	0	0	0	66
Schüsshofbach	40	659'411	211'371	0.03	0	69	26	4	0	0	0	0	96

Bach	BP	X-Koord.	Y-Koord.	Fläche [km²]	1	2	3	4	5	6	7	8	Atyp 1+2+3+6+7
Schüsshofbach	41	659'438	211'392	0.01	0	68	24	8	0	0	0	0	92
ohne Namen	42	659'303	211'342	0.03	0	84	13	3	0	0	0	0	97
ohne Namen	43	659'211	211'381	0.11	0	50	14	36	0	0	0	0	64
Neuhushofbach	44	659'120	211'364	0.22	0	32	4	64	0	0	0	0	36
Blattenbach	47.01	659'771	210'057	0.07	0	41	25	34	0	0	0	0	66
Blattenbach 2	47.02	660'077	210'365	0.52	1	29	21	44	2	0	0	4	50
Blattenbach 3	47.03	660'396	210'636	0.66	1	27	19	43	6	0	0	4	47
Althusbach	48	659'922	210'161	0.10	0	37	25	39	0	0	0	0	61
Brunnehusbach	49	660'084	209'991	0.10	0	41	30	30	0	0	0	0	70
Charehusbach	50	660'424	210'056	0.01	0	55	25	20	0	0	0	0	80
Weierhusbach	51	659'254	210'177	0.77	0	37	18	45	0	0	0	1	55
Sonnhaldebach	52	658'709	211'423	0.52	1	24	2	68	1	0	0	4	27
Brunauerhofbach	53.01	658'499	211'278	0.05	1	4	14	80	2	0	0	0	19
Brunauerhofbach 2	53.02	658'560	211'289	0.07	0	1	25	71	2	0	0	0	27
Gspannbach	54	658'587	210'261	0.73	0	51	18	31	0	0	0	0	69
Moosbach	55	658'297	211'236	0.17	1	14	7	76	0	0	0	3	21
Witentorbach	56.01	658'079	211'163	0.67	1	32	7	49	10	0	0	2	39
Witentorbach	56.02	658'078	210'897	1.55	1	25	8	55	9	0	0	1	34
Eibach	57	657'497	211'036	0.64	0	23	6	61	10	0	0	0	29
Lehnbach	58	657'288	210'991	0.03	0	30	14	56	0	0	0	0	44
Rotebach	59	657'899	210'118	0.47	0	53	17	29	0	0	0	1	70
Stöckerebach	60	657'757	209'981	0.21	0	56	18	25	0	0	0	0	75
Hofbach	61.01	657'571	209'978	0.16	0	56	14	30	0	0	0	0	70
Hofbach	61.02	657'387	209'980	0.20	0	48	14	39	0	0	0	0	61
Gscheibach	62	657'204	210'979	0.29	0	22	8	69	1	0	0	0	30
Hofweidbach	63	657'147	209'811	0.11	1	20	11	67	0	0	0	0	33
Hofhaldebach	64.01	657'283	209'824	0.17	1	22	11	64	2	0	0	0	35
Hofhaldebach	64.02	657'272	209'938	0.18	1	23	12	63	2	0	0	0	36
Neuhusbach	67	656'936	209'659	0.04	1	23	12	48	0	0	0	16	36
Chällerhofbach	68	656'929	209'703	0.34	1	19	13	64	1	0	0	3	32
Rütiwägebach	69	657'040	209'790	0.07	1	24	14	57	0	0	0	5	38
Maltersbach	70.01	656'824	209'342	0.74	0	30	19	50	1	0	0	0	49

Bach	BP	X-Koord.	Y-Koord.	Fläche [km²]	1	2	3	4	5	6	7	8	Atyp 1+2+3+6+7
Maltersbach	70.02	656'753	209'659	0.84	1	28	18	50	1	0	0	2	47
Maltersbach	70.03	656'844	209'959	1.18	1	26	16	54	1	0	0	2	43
Frohofbach	71.01	656'608	209'466	0.21	0	40	16	44	0	0	0	0	56
Frohofbach	71.02	656'499	209'724	0.23	0	38	15	41	0	0	0	5	54
Luegetebach	72.01	656'435	209'382	0.17	0	51	19	30	0	0	0	0	70
Luegetebach	72.02	656'395	209'528	0.19	0	50	17	29	0	0	0	3	67
Vogelwaldbach	73.01	656'332	209'289	0.22	0	58	21	22	0	0	0	0	78
Vogelwaldbach	73.02	656'232	209'531	0.24	0	55	20	20	0	0	0	4	75
Dangelbach	74	656'050	209'640	0.92	1	45	12	27	0	0	0	15	58
Widemattbach	75	656'151	209'128	0.07	0	66	6	28	0	0	0	0	72
Luegeteweidbach	76.01	656'211	209'233	0.05	0	56	4	40	0	0	0	0	60
Luegeteweidbach	76.02	656'132	209'450	0.17	1	49	7	34	0	0	0	9	57
Rothärdbach	173	656'045	208'683	0.04	0	58	12	30	0	0	0	0	70
Rothärdbach	77	656'034	209'073	0.35	0	52	11	36	0	0	0	0	64
Schürmattbach	78	655'607	209'399	0.31	0	27	8	63	1	0	0	0	36
Fridligerbach	79	655'531	209'364	0.39	1	18	9	65	7	0	0	0	28
Neumattbach	80.01	655'281	209'398	0.34	1	20	7	63	5	0	0	3	29
Neumattbach	80.02	655'521	209'708	1.16	1	23	8	63	4	0	0	1	32
Obereibach	82.01	656'981	210'919	0.08	0	46	17	37	0	0	0	0	63
Obereibach	82.03	656'852	210'816	0.04	0	43	32	25	0	0	0	0	74
Haldenhüslibach	83.01	656'729	210'808	0.06	0	59	24	15	0	0	0	2	83
Haldenhüslibach	83.02	656'793	210'708	0.08	0	51	24	12	0	0	0	13	75
Haldebach	84	656'642	210'823	0.02	0	16	51	33	0	0	0	0	67
Schwyzerhöflibach	85.01	656'517	210'839	0.02	0	27	33	40	0	0	0	0	60
Schwyzerhöflibach	85.02	656'593	210'688	0.02	0	24	41	28	0	0	0	7	65
Sonnenrainbach	86	656'460	210'830	0.03	3	26	22	50	0	0	0	0	50
Sigristhaldebach	87.01	656'416	210'800	0.06	1	32	30	37	0	0	0	0	63
Sigristhaldebach	87.02	656'444	210'657	0.10	2	29	25	37	0	0	0	8	55
Haldenhüslibach	88.01	656'257	210'782	0.07	1	33	43	24	0	0	0	0	76
Haldenhüslibach	88.02	656'338	210'690	0.08	1	41	39	19	0	0	0	0	81
Neuhaldebach	89.01	656'102	210'736	0.03	1	29	53	17	0	0	0	0	83

Bach	BP	X-Koord.	Y-Koord.	Fläche [km²]	1	2	3	4	5	6	7	8	Atyp 1+2+3+6+7
Neuhaldebach	89.02	656'221	210'598	0.04	1	39	48	12	0	0	0	0	88
Brunhaldebach	90.01	656'087	210'728	0.07	1	40	33	26	0	0	0	0	74
Brunhaldebach	90.02	656'119	210'512	0.08	1	44	34	21	0	0	0	0	79
Urnishaldebach	91	655'931	210'539	0.11	1	30	37	31	0	0	0	0	69
Rütihaldebach	92	655'848	210'501	0.06	1	24	46	29	0	0	0	0	71
Hirzlihaldebach	93	655'656	210'399	0.10	1	32	43	25	0	0	0	0	75
Mettlehaldebach	94	655'561	210'293	0.12	1	43	38	18	0	0	0	0	82
Löchlihaldebach	95	655'476	210'238	0.03	0	33	62	5	0	0	0	0	95
ohne Namen	96	655'391	210'164	0.11	1	34	44	20	0	0	0	0	80
Steihaldebach	97	655'134	210'065	0.13	0	31	57	12	0	0	0	0	88
Schönebodebach	98.01	654'889	210'156	0.10	1	33	57	8	0	0	0	0	92
Schönebodebach	98.02	654'948	210'029	0.11	1	36	55	8	0	0	0	0	92
Hurdacherhaldebach	99	655'060	210'041	0.14	0	22	59	19	0	0	0	0	81
Schachebach	45	661'748	211'222	1.10	0	9	30	50	7	0	0	4	39
Gerenbach	100	654'186	209'250	0.27	0	19	6	67	5	0	0	3	25
ohne Namen	101	654'937	209'460	0.04	0	9	10	81	0	0	0	0	19
Buechehaldebach	102	654'615	209'975	0.16	2	29	51	19	0	0	0	0	81
Ammergerigebach	103.01	654'464	210'193	0.11	0	32	56	11	1	0	0	0	89
Ammergerigebach	103.02	654'362	210'045	0.15	0	33	56	10	0	0	0	0	89
Tschäpperslehnbach	104	654'106	210'111	0.19	1	42	24	33	0	0	0	0	67
Hitzrütibach	106	653'450	209'531	0.13	0	33	6	58	2	0	0	0	40
Möslibach	107	653'230	209'732	0.11	0	45	12	44	0	0	0	0	56
Schachenweidbach	108	653'164	209'845	0.02	0	51	20	29	0	0	0	1	71
Aerdbrüstbach	109	652'807	209'966	0.27	0	29	29	42	0	0	0	0	58
ohne Namen	110	652'920	209'930	0.04	0	38	24	39	0	0	0	0	61
Birehüslibach	111	653'648	210'234	0.15	0	67	15	18	0	0	0	0	82
Berghaldebach	112	653'291	210'351	0.15	0	68	7	25	0	0	0	0	75
Chuderhüslibach	113	653'219	210'388	0.19	0	52	21	27	0	0	0	0	73
Steiglebach	114	652'974	210'511	0.15	1	42	28	27	0	0	0	2	71
Muffehusbach	115	652'793	210'568	0.13	1	62	18	15	0	0	0	4	81
Hasehusbach	116	652'670	210'604	0.11	1	48	36	15	0	0	0	0	85
Egglibach	117	652'576	210'624	0.05	1	59	34	6	0	0	0	0	94

Bach	BP	X-Koord.	Y-Koord.	Fläche [km²]	1	2	3	4	5	6	7	8	Atyp 1+2+3+6+7
ohne Namen	118.01	652'374	210'700	0.02	0	63	29	8	0	0	0	0	92
ohne Namen	118.02	652'418	210'679	0.02	0	62	30	8	0	0	0	0	92
Mösliweidbach	120.01	652'555	210'157	0.10	1	52	25	22	0	0	0	0	78
ohne Namen	121	652'342	210'276	0.04	0	62	25	13	0	0	0	0	87
Rotefluebach	122	652'396	210'231	0.05	2	56	9	33	0	0	0	0	67
Mösliweidbach	120.02	652'580	210'278	0.25	1	47	29	23	0	0	0	0	77
ohne Namen	123	652'081	210'836	0.04	0	22	65	13	0	0	0	0	87
Bäreweidbach	124	652'210	210'804	0.10	0	59	18	23	0	0	0	0	77
Langnauerwaldbach	125	652'155	210'350	0.20	1	44	16	40	0	0	0	0	60
Näbdefluebach	126	651'957	210'876	0.17	0	33	21	45	0	0	0	0	55
Mülibach	127	651'764	210'529	1.61	1	36	41	20	3	0	0	0	77
Düütschebergbach	128	651'962	210'510	0.03	0	61	22	13	5	0	0	0	83
Stäubligbach	129	651'739	211'013	0.13	1	62	16	22	0	0	0	0	78
Tribschwandebach	130.01	651'506	210'731	0.07	1	31	4	64	0	0	0	0	36
Tribschwandebach	130.02	651'521	210'716	0.01	1	71	17	11	0	0	0	0	89
ohne Namen	131	651'684	210'600	0.04	0	36	22	35	7	0	0	0	58
Ängelgrabe	132.01	651'390	210'862	0.02	0	72	12	17	0	0	0	0	83
Ängelgrabe	132.02	651'337	210'911	0.44	0	33	43	20	3	0	0	0	76
Rütmattbach	133	651'184	211'087	0.07	1	25	33	38	3	0	0	0	59
Schwändibach	134	651'268	210'989	0.02	0	51	27	16	5	0	0	0	79
Stäubligbach	135	651'193	211'410	2.92	2	27	10	60	1	0	0	1	39
Usserchlisteibach	136	650'847	211'110	0.20	1	29	31	39	0	0	0	0	61
Badhusbach	137	650'714	211'177	0.36	2	23	21	48	2	0	0	4	46
Sulzmattbach	138	650'679	211'384	0.07	1	33	24	42	0	0	0	0	58
Ringgei	139	650'821	211'594	0.25	0	18	29	47	6	0	0	0	47
Pfisterweidbach	140	650'502	212'045	0.03	1	38	38	24	0	0	0	0	76
Wandelebach	141	650'594	211'813	0.07	1	14	45	40	0	0	0	0	60
Haldebach	142	650'447	212'273	0.06	0	28	27	45	0	0	0	0	55
Sulzigtobelbach	144	650'287	211'699	2.16	5	28	47	20	0	0	0	0	80
Schwandeweidlibach	145	649'433	211'560	0.22	1	12	19	48	20	0	0	0	32
Horütibach	146.01	649'436	212'015	1.43	1	15	16	64	1	0	0	4	32
Horütibach	146.02	649'304	211'813	1.55	1	15	17	62	1	0	0	5	32

Bach	BP	X-Koord.	Y-Koord.	Fläche [km^2]	1	2	3	4	5	6	7	8	Atyp 1+2+3+6+7
Sonnebüelbach	147	649436	212'015	0.03	0.78	15	16	64	1	0	0	4	32
Flueweidbach	148	648'789	211'863	0.07	1	33	19	47	0	0	0	0	53
Wideweidlibach	149	648'658	211'588	0.26	1	13	6	12	67	0	0	0	21
Burstbach	150	648'355	211'770	0.03	0	27	11	34	28	0	0	0	38
Fluebach	152.01	648'494	212'408	0.04	0	17	10	72	0	0	0	0	28
Fluebach	152.02	648'394	212'395	0.05	1	23	15	59	0	0	0	2	39
Gummibach	154	647'907	212'165	0.07	1	45	36	16	0	0	0	1	83
Guggernällbach	155	647'827	211'971	0.27	1	35	39	25	0	0	0	0	75
Stampfigraben	156	647'586	211'354	1.68	1	40	25	34	0	0	0	0	66
Sandmättelibach	157.01	648'063	211'086	0.07	0	22	9	6	63	0	0	0	30
Sandmättelibach	157.02	648'024	211'022	0.05	0	26	8	12	54	0	0	0	34
Sandmättelibach	157.03	647'914	211'079	0.13	0	27	9	9	55	0	0	0	36
Ämserebach	158	647'989	211'258	0.03	0	25	15	14	45	0	0	0	40
Badtobelbach	159	647'655	210'858	0.83	2	43	25	28	0	0	0	2	70
Strählhüslibach	160	648'041	210'597	0.81	1	20	17	21	40	0	0	2	38
Mäderslehnbach	161	647'692	210'567	0.19	2	47	11	39	1	0	0	0	61
Schachlibach	162	647'817	210'389	0.01	1	91	8	0	0	0	0	0	100
Balmguetbach	163	647'847	210'246	0.22	2	39	18	37	4	0	0	0	59
Brachbach	164	647'744	209'763	0.12	1	33	11	49	7	0	0	0	44
Schwanderholzbach	165	648'176	209'701	0.95	1	30	29	22	18	0	0	0	60
Chlungeliseibach	166	647'743	209'603	0.05	1	38	12	32	16	0	0	0	52
Chappelbodebach	167	647'979	209'477	0.06	3	23	12	45	17	0	0	0	38
innere Hirzmattbach	168	647'787	209'417	0.03	0	68	15	17	0	0	0	0	83
äussere Hirzmattbach	169.01	647'763	209'462	0.02	4	31	40	25	0	0	0	0	75
Hirzmattbach	169.02	647'845	209'461	0.05	1	54	27	18	0	0	0	0	82
Staldenbach	170	647'962	209'295	2.11	3	22	47	22	5	0	0	0	72
Stäghaldebach	171	654'251	210'069	0.03	0	42	55	2	0	0	0	0	98
Schlyferhüslibach	172	653'959	210'144	0.03	3	56	22	19	0	0	0	0	81

6.2 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit

Die Abflüsse aus den detailliert untersuchten EZG wurden auf die übrigen kleinen ca. 170 Seitenbäche übertragen. Diese EZG sind z.T. sehr klein, zwischen 3 km² bis zu 0.0075 km². Gerade für diese sehr kleinen EZG ist die Abschätzung von Hochwasserabflüssen mit grossen Unsicherheiten verbunden (Ulrich, 2011). Kleine Einzugsgebiete können sehr stark auf kurze Starkniederschläge reagieren, solche Ereignisse sind aber schwierig einzuordnen, denn einerseits gehen zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsmessungen nicht sehr weit zurück und weisen grosse Unsicherheiten auf. Andererseits sind auch Informationen über Hochwasserabflüsse in kleinen Einzugsgebieten rar und mit grossen Unsicherheiten verbunden. Einen Anhaltspunkt über maximal auftretende Abflussspitzen gibt die Zusammenstellung der grössten beobachteten Abflüsse in der Schweiz (Abb. 6.2). Hier muss jedoch beachtet werden, dass diese Werte eine sehr hohe Jährlichkeit von weit über 300 Jahren aufweisen können. Zum Vergleich sind die HQ_{300} aus dieser Studie und aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007) dargestellt. Bei der Übertragung von Hochwasserabflüssen von Referenzgebieten auf kleinere EZG kann davon ausgegangen werden, dass die spezifischen Abflüsse bei kleineren Gebieten zunehmen, da die (Gebiets-)Niederschlagsintensität bei extremen Gewittern zunimmt und die Laufzeit abnimmt. Häufig wird folgende Übertragungsformel verwendet (HQ_x: gesuchter Hochwasserabfluss, Fl_x: Fläche des EZG, Fl_y: Fläche des Referenz-EZG, HQ_y: Hochwasserabfluss des Referenzgebiets):

$$HQ_x = (Fl_x/Fl_y)^{2/3} * HQ_y \qquad (1)$$

Die Abflüsse der Referenzgebiete wurden entsprechend der EZG-Grösse übertragen. Dabei wurden die Referenzabflüsse zunächst linear auf eine einheitliche EZG – Grösse von 3 km² angepasst. Davon ausgehend wurde bis zu einer EZG – Grösse von 0.2 km² die Übertragungsformel (1) verwendet. Für noch kleinere EZG wurde angenommen, dass der spezifische Abfluss nicht mehr weiter ansteigt. In Tabelle 6.2 und der Beilage 1 sind sämtliche übertragenen Werte der ca. 170 Bäche ersichtlich.

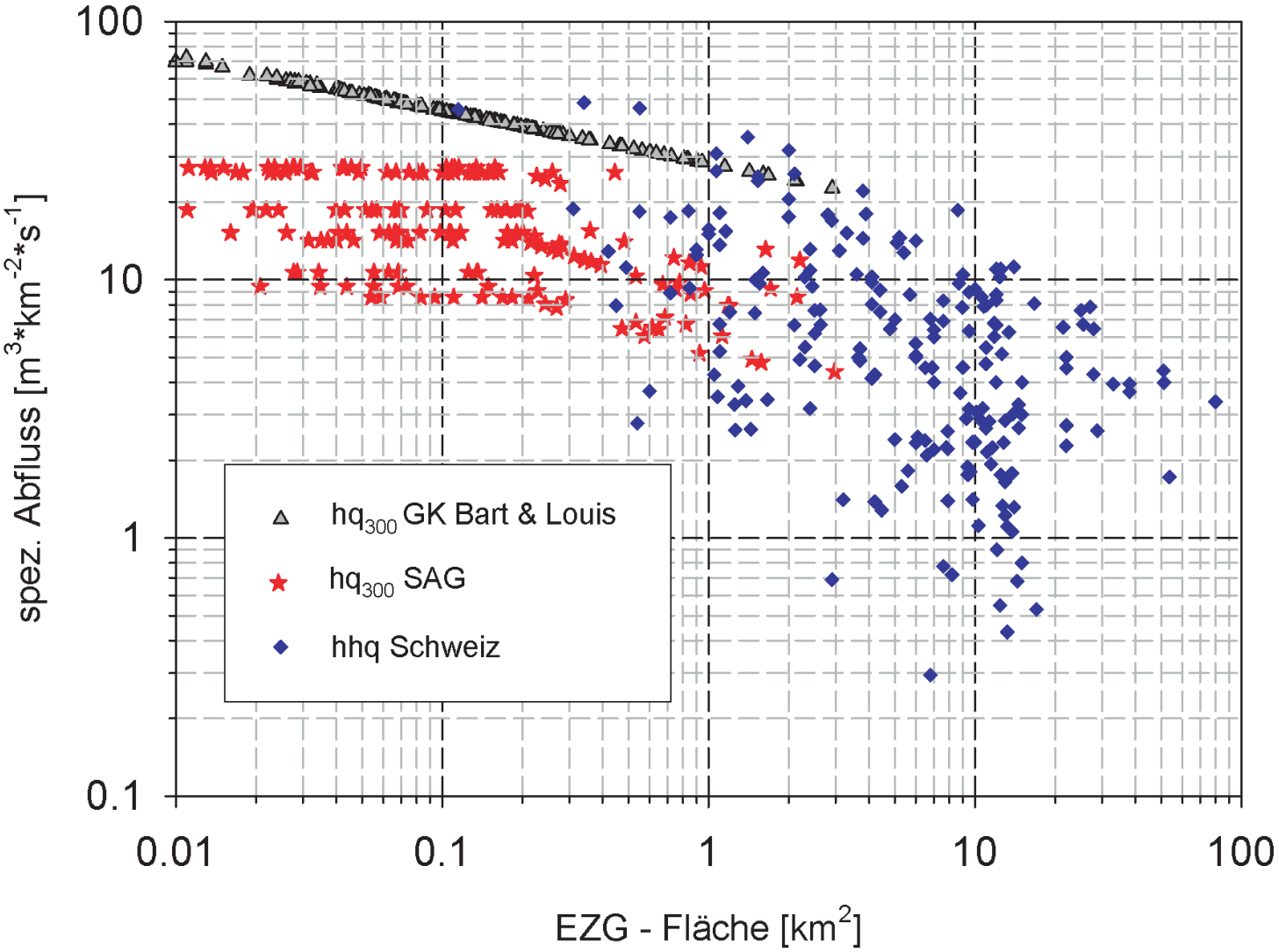


Abb. 6.2: *Zusammenstellung der grössten beobachteten spezifischen Abflüsse in der Schweiz (hhq Schweiz). (Quellen: ASF, 1974 und verschiedene Studien Scherrer AG). Vergleich mit den vorgeschlagenen Werten für die hq_{300} der Seitenbäche der Kleinen Emme aus dieser Studie (hq_{300} SAG) und aus der Gefahrenkarte (hq_{300} GK Bart & Louis).*

Zur Festlegung der Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit wurde für jeden Bach aufgrund der Abflussbereitschaft und der geografischen Lage ein Referenzgebiet ausgewählt. Die Einzugsgebiete aller Bäche wurden nach ihrer Abflussbereitschaft in acht „Stärkeklassen" eingestuft. Als entscheidender Parameter diente dabei die Summe der Abflusstypen 1, 2, 3, 6 und 7 (rasch und leicht verzögert beitragende Flächen).

Die fünf detailliert untersuchten Bäche dienten bei der Übertragung als Referenzbäche. Die Zuordnung wurde dabei vor allem entsprechend der Höhe der Abflüsse vorgenommen und weniger nach der absoluten Ähnlichkeit der Referenzeinzugsgebiete. Bei den detailliert untersuchten Referenzgebieten ist die Summe der rasch reagierenden Flächen nur einer von mehreren ausschlaggebenden Parametern. Daneben spielen bei der Hochwasserentstehung die räumliche Verteilung der Flächen und die Fliesszeiten im Einzugsgebiet eine grosse Rolle. Bei der Festlegung der HQ_x in den Referenzgebieten wurden zudem die die Beobachtungen der historischen Hochwasser stark gewichtet. Bei der Zuordnung der Stärkeklassen zu den Referenzbächen wurden die Unsicherheitsbereiche der vorgeschlagenen Abflüsse berücksichtigt (Abb. 6.3, z.B. „Bielbach o" = obere Grenze des Unsicherheitsbereichs der Abflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit am Bielbach).

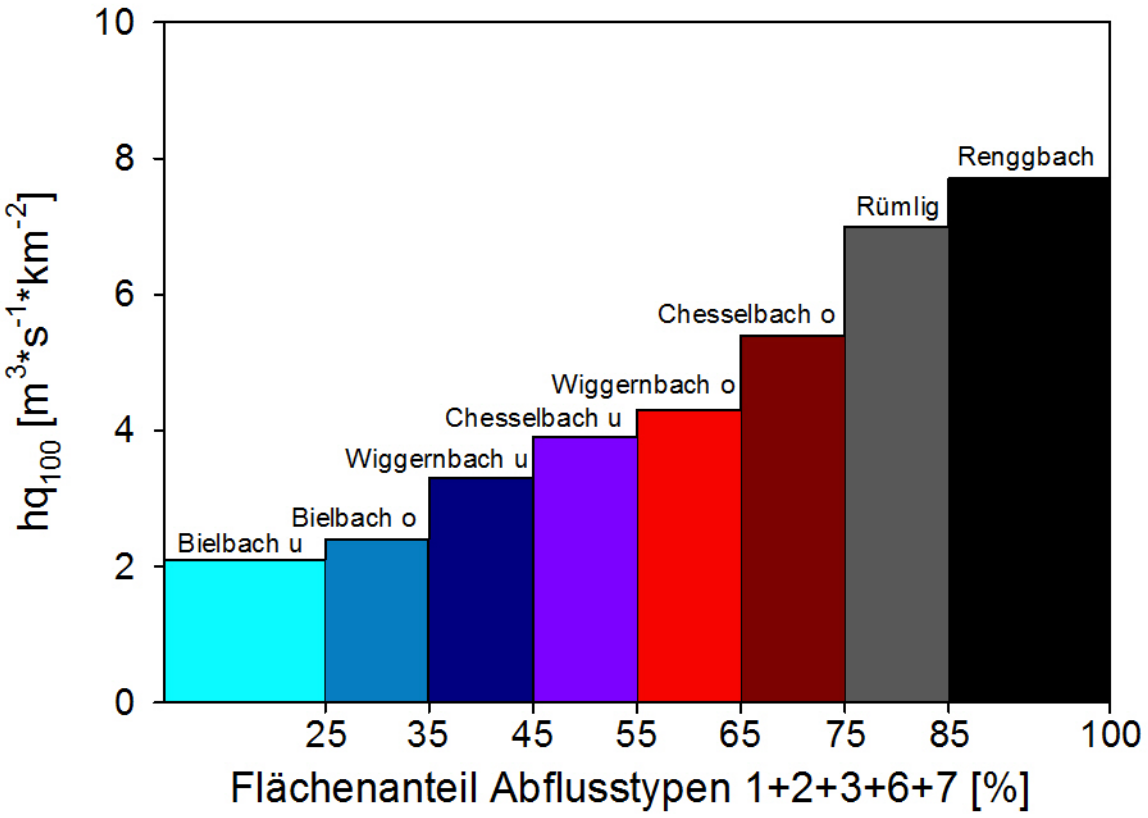


Abb. 6.3: Spezifische 100jährliche Referenzabflüsse eines hypothetischen EZG mit 3 km² Grösse zur Übertragung der Abflüsse der zu acht Stärkeklassen zusammengefassten Seitenbäche. Bei den Referenzbächen wurden die Unsicherheitsbereiche der Abflüsse berücksichtigt (z.B. „Bielbach o" = obere Grenze des Unsicherheitsbereichs).

Die hergeleiteten Abflusswerte wurden an ausgewählten Bächen durch Erkundung historischer Hochwasser überprüft. Im Folgenden wird am Beispiel des Rotebachs bei Malters, Haselholz (BP 59, 0.47 km^2) aufgezeigt, wie die Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit aus den Resultaten der historischen Betrachtung und der Übertragung (Abflussreaktion) im Frequenzdiagramm hergeleitet wurden.

Am Rotebach ermöglichten die Erkundungen der historischen Hochwasser einen Beobachtungszeitraum von ca. 70 - 80 Jahren. In diesem Zeitraum traten zwei grosse Hochwasser auf, bei denen Schäden entstanden. Diesen Ereignissen (1940: geschätzter Abfluss 3 – 5 m^3/s und 1963: geschätzter Abfluss 2 – 3.5 m^3/s) kann eine Wiederkehrperiode von 70 - 80 Jahren bzw. 35 – 40 Jahren zugeordnet werden.

Die Beurteilung der Abflussreaktion zeigt eine starke Abflussbereitschaft des Rotebach – EZG (Tab. 6.1). Aufgrund der geographischen Lage und der Abflussreaktion wurde der Chesselbach (obere Grenze des Unsicherheitsbereichs) als Referenzgebiet ausgewählt. Die darauf basierende Übertragung der Abflusswerte wird in Abbildung 6.4 dargestellt und zu den Resultaten der historischen Hochwassererkundung in Beziehung gesetzt. Die historischen Erkundungen bestätigen die Ergebnisse der Übertragung. Die durchgezogene, rote Linie zeigt die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Das HQ_{30} des Rotebachs am Berechnungspunkt 59.01 beträgt demnach 3.1 m^3/s, das HQ_{100} 4.7 m^3/s und das HQ_{300} 6.6 m^3/s. Zum Vergleich sind die Werte aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007) dargestellt.

Mit den übrigen Bächen, bei denen substanzielle Informationen über historische Hochwasser zusammengetragen werden konnten, wurde in gleicher Weise wie beim Rotebach verfahren. Alle Bäche, an denen detaillierte Erkundungen zu historischen Hochwasserereignissen durchgeführt wurden, sind in Tabelle 6.2 grün markiert. Entsprechende Frequenzdiagramme sind exemplarisch im Anhang 8 dargestellt. Die Abschätzung der aufgetretenen historischen Abflussspitzen unterlag grossen Unsicherheiten, da die Abflusskapazität durch Geschiebe oder verstopfende Äste, Laub, etc. vermindert war. Bei einigen Bächen wurden darüber hinaus nach aufgetretenen Überschwemmungen bereits entsprechende wasserbauliche Massnahmen getätigt. Dennoch bestätigten die historischen Erkundungen die Ergebnisse der Übertragung.

Bei den Bächen ohne Informationen über historische Hochwasser wurden die Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit durch Übertragung von den Referenzgebieten ermittelt. Tabelle 6.2 zeigt die Ergebnisse der hergeleiteten Abflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit an allen Berechnungspunkten. Die Bäche mit Recherchen zu historischen Hochwassern sind grün hervorgehoben.

Im Vergleich mit den Werten der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007) fällt auf, dass diese teilweise um ein mehrfaches höher sind (Abb. 6.4). Lediglich beim Wiggernbach liegt der Wert für das HQ_{300} der Gefahrenkarte im unteren Bereich des Wertebereichs dieser Studie (HQ_{300}, GK = 36 m^3/s; HQ_{300}, SAG = 34 – 49 m^3/s).

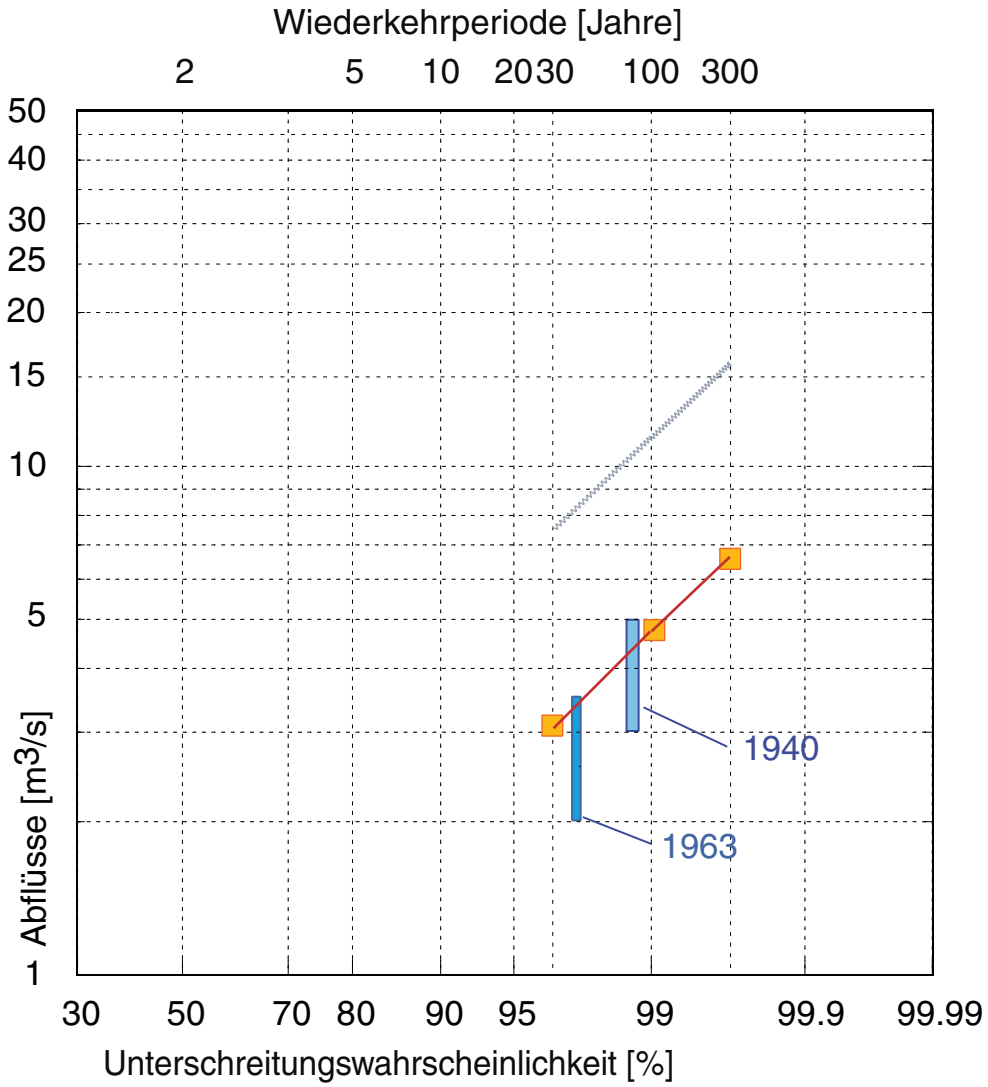


Abb. 6.4: *Frequenzdiagramm des Rotebach (BP 59, 0.47 km^2) bei Malters, Haselholz. Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser von 1940 und 1963. Die Resultate der Übertragungen sind orange dargestellt. Referenzgebiet war der Chesselbach. Die rote Linie markiert die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2006).*

Tab. 6.2: *Die ermittelten Hochwasserabflüsse und -spenden unterschiedlicher Jährlichkeit an den verschiedenen Berechnungspunkten (BP). Die für die Übertragung verwendeten Einzugsgebiete sind als Referenzgebiete aufgeführt. Bäche, an denen zusätzlich detaillierte Erkundungen zu historischen Hochwasserereignissen durchgeführt wurden, sind grün markiert.*

Bach	**BP**	**Fläche [km²]**	**HQ_{30} [m³/s]**	**hq_{30} [m³s⁻¹km⁻²]**	**HQ_{100} [m³/s]**	**hq_{100} [m³s⁻¹km⁻²]**	**HQ_{300} [m³/s]**	**hq_{300} [m³s⁻¹km⁻²]**	**Referenzgebiet**
Rotewaldbach	4	0.07	0.4	6.1	0.6	9.6	0.9	14.0	Chesselbach
ohne Namen	7	0.11	0.3	3.0	0.5	5.1	0.9	8.4	Bielbach
ohne Namen	8	0.02	0.2	8.8	0.2	13.1	0.3	18.4	Chesselbach
ohne Namen	9	0.18	0.5	3.0	0.9	5.1	1.5	8.4	Bielbach
Schooschäppelibach	11	0.09	0.3	3.0	0.5	5.1	0.8	8.4	Bielbach
Erlebach	14	0.15	0.6	3.9	0.9	5.9	1.4	9.3	Bielbach
Aemmeweidbach	15	0.21	0.6	3.0	1.0	5.0	1.7	8.3	Bielbach
ohne Namen	18	0.06	0.2	3.0	0.3	5.1	0.5	8.4	Bielbach
Haldeweidbach	19	0.24	0.7	2.9	1.1	4.8	1.9	7.9	Bielbach
Winzigebach	20	0.08	0.2	3.0	0.4	5.1	0.7	8.4	Bielbach
Winterbüelbach	21	0.46	1.1	2.3	1.8	3.8	3.0	6.4	Bielbach
Breitmattbach	22	0.14	0.4	3.0	0.7	5.1	1.2	8.4	Bielbach
Grudligebach	23	0.91	1.7	1.8	2.8	3.1	4.6	5.1	Bielbach
Chollerhüslibach	24	0.28	1.5	5.3	2.6	9.5	3.7	13.5	Wiggernbach
ohne Namen	25	0.02	0.2	10.7	0.4	17.2	0.6	25.7	Rümlig
ohne Namen	26.01	0.01	0.1	8.8	0.1	13.1	0.2	18.4	Chesselbach
ohne Namen	26.02	0.01	0.1	10.7	0.1	17.2	0.2	25.7	Rümlig
ohne Namen	27	0.02	0.2	8.8	0.3	13.1	0.4	18.4	Chesselbach
Sidlerebach	35	0.56	1.2	2.2	2.0	3.6	3.4	6.0	Bielbach
ohne Namen	36	0.02	0.1	3.9	0.1	5.9	0.2	9.3	Bielbach
Gansebach	37	0.46	1.1	2.3	1.8	3.8	3.0	6.4	Bielbach
Buggeringerbach	38	0.60	1.6	2.7	2.5	4.1	3.9	6.4	Bielbach
Weidbach	39.01	0.03	0.2	6.0	0.3	10.5	0.4	15.0	Wiggernbach
Weidbach	39.02	0.01	0.1	8.8	0.1	13.1	0.2	18.4	Chesselbach
Weidbach	39.03	0.03	0.2	6.1	0.3	9.6	0.4	14.0	Chesselbach
Weidbach	39.04	0.09	0.8	8.8	1.1	13.1	1.6	18.4	Chesselbach

Bach	BP	Fläche [km²]	HQ_{30} [m³/s]	hq_{30} [m³s⁻¹km⁻²]	HQ_{100} [m³/s]	hq_{100} [m³s⁻¹km⁻²]	HQ_{300} [m³/s]	hq_{300} [m³s⁻¹km⁻²]	Referenzgebiet
Schüsshofbach	40	0.03	0.3	12.8	0.5	18.9	0.7	26.8	Renggbach
Schüsshofbach	41	0.01	0.1	12.8	0.2	18.9	0.3	26.8	Renggbach
ohne Namen	42	0.03	0.3	12.8	0.5	18.9	0.7	26.8	Renggbach
ohne Namen	43	0.11	0.7	6.0	1.2	10.5	1.7	15.0	Wiggernbach
Neuhushofbach	44	0.22	1.1	5.1	1.7	7.9	2.2	10.2	Wiggernbach
Schachebach	45	1.10	3.3	3.0	5.1	4.6	6.6	6.0	Wiggernbach
Blattenbach	47.01	0.07	0.6	8.8	0.9	13.1	1.3	18.4	Chesselbach
Blattenbach_2	47.02	0.52	2.3	4.5	3.7	7.0	5.3	10.2	Chesselbach
Blattenbach_3	47.03	0.66	2.7	4.1	4.3	6.5	6.2	9.4	Chesselbach
Althusbach	48	0.10	0.6	6.0	1.0	10.5	1.4	15.0	Wiggernbach
Brunnehusbach	49	0.10	0.9	8.8	1.3	13.1	1.9	18.4	Chesselbach
Charehusbach	50	0.01	0.1	10.7	0.2	17.2	0.3	25.7	Rümlig
Weierhusbach	51	0.77	2.9	3.8	5.2	6.8	7.4	9.6	Wiggernbach
Sonnhaldebach	52	0.52	1.5	2.8	2.2	4.3	3.5	6.7	Bielbach
Brunauerhofbach	53.01	0.05	0.2	3.0	0.3	5.1	0.4	8.4	Bielbach
Brunauerhofbach_2	53.02	0.07	0.3	3.9	0.4	5.9	0.7	9.3	Bielbach
Gspannbach	54	0.73	4.2	5.7	6.2	8.6	8.7	12.0	Chesselbach
Moosbach	55	0.17	0.5	3.0	0.8	5.1	1.4	8.4	Bielbach
Witentorbach	56.01	0.67	2.4	3.5	3.6	5.4	4.7	7.0	Wiggernbach
Witentorbach	56.02	1.55	3.1	2.0	4.7	3.0	7.3	4.7	Bielbach
Eibach	57	0.64	1.7	2.6	2.6	4.0	4.0	6.3	Bielbach
Lehnbach	58	0.03	0.1	5.2	0.2	8.1	0.3	10.5	Wiggernbach
Rotebach	59	0.47	3.1	6.6	4.7	9.9	6.6	13.8	Chesselbach
Stöckerebach	60	0.21	1.8	8.7	2.7	13.0	3.7	18.2	Chesselbach
Hofbach	61.01	0.16	1.4	8.8	2.1	13.1	2.9	18.4	Chesselbach
Hofbach	61.02	0.20	1.7	8.8	2.6	13.2	3.6	18.5	Chesselbach
Gscheibach	62	0.29	1.0	3.4	1.5	5.2	2.4	8.2	Bielbach
Hofweidbach	63	0.11	0.7	6.1	1.0	9.6	1.5	14.0	Chesselbach
Hofhaldebach	64.01	0.17	1.0	6.1	1.6	9.6	2.3	14.0	Chesselbach

Bach	BP	Fläche [km^2]	HQ_{30} [m^3/s]	hq_{30} [m^{3}s^{-1}km^{-2}]	HQ_{100} [m^3/s]	hq_{100} [m^{3}s^{-1}km^{-2}]	HQ_{300} [m^3/s]	hq_{300} [m^{3}s^{-1}km^{-2}]	Referenzgebiet
Hofhaldebach	64.02	0.18	1.1	6.1	1.7	9.6	2.5	14.0	Chesselbach
Neuhusbach	67	0.04	0.2	6.1	0.4	9.6	0.6	14.0	Chesselbach
Chällerhofbach	68	0.34	1.7	5.2	2.7	8.1	4.0	11.8	Chesselbach
Rütiwägebach	69	0.07	0.4	6.1	0.7	9.6	1.0	14.0	Chesselbach
Maltersbach	70.01	0.74	2.9	4.0	4.6	6.3	6.7	9.1	Chesselbach
Maltersbach	70.02	0.84	3.2	3.8	5.0	6.0	7.3	8.7	Chesselbach
Maltersbach	70.03	1.18	4.0	3.4	6.3	5.4	9.2	7.8	Chesselbach
Frohofbach	71.01	0.21	1.3	6.0	2.0	9.5	2.9	13.8	Chesselbach
Frohofbach	71.02	0.23	1.4	5.8	2.1	9.2	3.1	13.3	Chesselbach
Luegetebach	72.01	0.17	1.5	8.8	2.2	13.1	3.1	18.4	Chesselbach
Luegetebach	72.02	0.19	1.7	8.8	2.5	13.1	3.5	18.4	Chesselbach
Vogelwaldbach	73.01	0.22	2.3	10.3	3.7	16.6	5.5	24.8	Rümlig
Vogelwaldbach	73.02	0.24	2.4	10.1	3.9	16.2	5.8	24.2	Rümlig
Dangelbach	74	0.92	4.9	5.3	7.3	7.9	10.2	11.1	Chesselbach
Widemattbach	75	0.07	0.6	8.8	0.9	13.1	1.2	18.4	Chesselbach
Luegeteweidbach	76.01	0.05	0.5	8.8	0.7	13.1	1.0	18.4	Chesselbach
Luegeteweidbach	76.02	0.17	1.5	8.8	2.2	13.1	3.1	18.4	Chesselbach
Rothärdbach	77	0.35	2.6	7.3	3.8	10.9	5.4	15.2	Chesselbach
Schürmattbach	78	0.31	1.6	5.3	2.6	8.4	3.7	12.2	Chesselbach
Fridligerbach	79	0.39	1.9	4.9	3.0	7.7	4.4	11.3	Chesselbach
Neumattbach	80.01	0.34	1.7	5.2	2.7	8.1	4.0	11.8	Chesselbach
Neumattbach	80.02	1.16	4.0	3.4	6.3	5.4	9.1	7.8	Chesselbach
Obereibach	82.01	0.08	0.5	6.0	0.9	10.5	1.2	15.0	Wiggernbach
Obereibach	82.03	0.04	0.3	8.8	0.5	13.1	0.7	18.4	Chesselbach
Haldenhüslibach	83.01	0.06	0.7	10.7	1.0	17.2	1.6	25.7	Rümlig
Haldenhüslibach	83.02	0.08	0.9	10.7	1.4	17.2	2.0	25.7	Rümlig
Haldebach	84	0.02	0.2	8.8	0.3	13.1	0.4	18.4	Chesselbach
Schwyzerhöflibach	85.01	0.02	0.1	6.0	0.2	10.5	0.2	15.0	Wiggernbach
Schwyzerhöflibach	85.02	0.02	0.2	8.8	0.3	13.1	0.4	18.4	Chesselbach

Bach	**BP**	**Fläche [km²]**	**HQ_{30}** [m³/s]	**hq_{30}** [m³s⁻¹km⁻²]	**HQ_{100}** [m³/s]	**hq_{100}** [m³s⁻¹km⁻²]	**HQ_{300}** [m³/s]	**hq_{300}** [m³s⁻¹km⁻²]	**Referenzgebiet**
Sonnenrainbach	86	0.03	0.2	6.1	0.3	9.6	0.5	14.0	Chesselbach
Sigristhaldebach	87.01	0.06	0.3	6.0	0.6	10.5	0.9	15.0	Wiggernbach
Sigristhaldebach	87.02	0.10	0.6	6.0	1.1	10.5	1.6	15.0	Wiggernbach
Haldenhüslibach	88.01	0.07	0.7	10.7	1.1	17.2	1.7	25.7	Rümlig
Haldenhüslibach	88.02	0.08	0.9	10.7	1.4	17.2	2.1	25.7	Rümlig
Neuhaldebach	89.01	0.03	0.3	10.7	0.6	17.2	0.8	25.7	Rümlig
Neuhaldebach	89.02	0.04	0.6	12.8	0.8	18.9	1.2	26.8	Renggbach
Brunhaldebach	90.01	0.07	0.6	8.8	0.9	13.1	1.2	18.4	Chesselbach
Brunhaldebach	90.02	0.08	0.9	10.7	1.4	17.2	2.1	25.7	Rümlig
Urnishaldebach	91	0.11	1.0	8.8	1.4	13.1	2.0	18.4	Chesselbach
Rütihaldebach	92	0.06	0.5	8.8	0.7	13.1	1.0	18.4	Chesselbach
Hirzlihaldebach	93	0.10	1.1	10.7	1.7	17.2	2.5	25.7	Rümlig
Mettlehaldebach	94	0.12	1.3	10.7	2.1	17.2	3.2	25.7	Rümlig
Löchlihaldebach	95	0.03	0.4	12.8	0.5	18.9	0.7	26.8	Renggbach
ohne Namen	96	0.11	1.2	10.7	1.9	17.2	2.8	25.7	Rümlig
Steihaldebach	97	0.13	1.7	12.8	2.5	18.9	3.5	26.8	Renggbach
Schönebodebach	98.01	0.10	1.3	12.8	1.9	18.9	2.7	26.8	Renggbach
Schönebodebach	98.02	0.11	1.4	12.8	2.1	18.9	2.9	26.8	Renggbach
Hurdacherhaldebach	99	0.14	1.5	10.7	2.4	17.2	3.5	25.7	Rümlig
Gerenbach	100	0.27	1.5	5.6	2.3	8.7	3.4	12.7	Chesselbach
ohne Namen	101	0.04	0.2	6.1	0.4	9.6	0.5	14.0	Chesselbach
Buechehaldebach	102	0.16	1.7	10.7	2.8	17.2	4.1	25.7	Rümlig
Ammergerigebach	103.01	0.11	1.5	12.8	2.1	18.9	3.0	26.8	Renggbach
Ammergerigebach	103.02	0.15	2.0	12.8	2.9	18.9	4.2	26.8	Renggbach
Tschäpperslehnbach	104	0.19	1.7	8.8	2.5	13.1	3.5	18.4	Chesselbach
Hitzrütibach	106	0.13	0.7	5.2	1.1	8.1	1.4	10.5	Wiggernbach
Möslibach	107	0.11	0.6	6.0	1.1	10.5	1.6	15.0	Wiggernbach

Bach	BP	Fläche [km²]	HQ_{30} [m³/s]	hq_{30} [m³s⁻¹km⁻²]	HQ_{100} [m³/s]	hq_{100} [m³s⁻¹km⁻²]	HQ_{300} [m³/s]	hq_{300} [m³s⁻¹km⁻²]	Referenzgebiet
Schachenweidbach	108	0.02	0.2	8.8	0.3	13.1	0.4	18.4	Chesselbach
Aerdbrüstbach	109	0.27	1.5	5.4	2.6	9.5	3.7	13.6	Wiggernbach
ohne Namen	110	0.04	0.2	6.0	0.4	10.5	0.6	15.0	Wiggernbach
Birehüslibach	111	0.15	1.6	10.7	2.6	17.2	3.9	25.7	Rümlig
Berghaldebach	112	0.15	1.6	10.7	2.5	17.2	3.8	25.7	Rümlig
Chuderhüslibach	113	0.19	1.6	8.8	2.4	13.1	3.4	18.4	Chesselbach
Steiglebach	114	0.15	1.3	8.8	2.0	13.1	2.8	18.4	Chesselbach
Muffehusbach	115	0.13	1.4	10.7	2.2	17.2	3.3	25.7	Rümlig
Hasehusbach	116	0.11	1.4	12.8	2.0	18.9	2.9	26.8	Renggbach
Egglibach	117	0.05	0.6	12.8	0.9	18.9	1.3	26.8	Renggbach
ohne Namen	118.01	0.02	0.3	12.8	0.4	18.9	0.6	26.8	Renggbach
ohne Namen	118.02	0.02	0.3	12.8	0.4	18.9	0.6	26.8	Renggbach
Mösliweidbach	120.01	0.10	1.1	10.7	1.8	17.2	2.7	25.7	Rümlig
Mösliweidbach	120.02	0.25	2.5	9.9	4.0	15.8	6.0	23.8	Rümlig
ohne Namen	121	0.04	0.5	12.8	0.8	18.9	1.1	26.8	Renggbach
Rotefluebach	122	0.05	0.4	8.8	0.7	13.1	0.9	18.4	Chesselbach
ohne Namen	123	0.04	0.5	12.8	0.8	18.9	1.1	26.8	Renggbach
Bäreweidbach	124	0.10	1.1	10.7	1.7	17.2	2.5	25.7	Rümlig
Langnauerwaldbach	125	0.20	1.2	6.0	2.1	10.6	3.0	15.0	Wiggernbach
Näbdefluebach	126	0.17	1.0	6.0	1.8	10.5	2.6	15.0	Wiggernbach
Mülibach	127	1.61	8.7	5.4	13.9	8.6	20.8	12.9	Rümlig
Düütschebergbach	128	0.03	0.3	10.7	0.5	17.2	0.8	25.7	Rümlig
Stäubligbach	129	0.13	1.4	10.7	2.2	17.2	3.4	25.7	Rümlig
Tribschwandebach	130.01	0.07	0.3	5.2	0.5	8.1	0.7	10.5	Wiggernbach
Tribschwandebach	130.02	0.01	0.2	12.8	0.3	18.9	0.4	26.8	Renggbach
ohne Namen	131	0.04	0.3	6.0	0.5	10.5	0.6	15.0	Wiggernbach
Ängelgrabe	132.01	0.02	0.3	10.7	0.4	17.2	0.6	25.7	Rümlig
Ängelgrabe	132.02	0.44	3.6	8.3	5.8	13.2	8.7	19.9	Rümlig
Rütmattbach	133	0.07	0.4	6.0	0.7	10.5	1.0	15.0	Wiggernbach

Bach	BP	Fläche [km^2]	HQ_{30} [m^3/s]	hq_{30} [m^{3}s^{-1}km^{-2}]	HQ_{100} [m^3/s]	hq_{100} [m^{3}s^{-1}km^{-2}]	HQ_{300} [m^3/s]	hq_{300} [m^{3}s^{-1}km^{-2}]	Referenzgebiet
Schwändibach	134	0.02	0.2	10.7	0.3	17.2	0.5	25.7	Rümlig
Stäubligbach	135	2.92	6.3	2.1	9.7	3.3	12.7	4.3	Wiggernbach
Usserchlisteibach	136	0.20	1.2	6.0	2.1	10.6	3.0	15.1	Wiggernbach
Badhusbach	137	0.36	1.8	5.1	2.8	8.0	4.1	11.6	Chesselbach
Sulzmattbach	138	0.07	0.4	6.0	0.7	10.5	1.0	15.0	Wiggernbach
Ringgei	139	0.25	1.4	5.7	2.3	8.9	3.3	12.9	Chesselbach
Pfisterweidbach	140	0.03	0.3	10.7	0.5	17.2	0.8	25.7	Rümlig
Wandelebach	141	0.07	0.4	6.0	0.7	10.5	1.0	15.0	Wiggernbach
Haldebach	142	0.06	0.4	6.0	0.7	10.5	0.9	15.0	Wiggernbach
Sulzigtobelbach	144	2.16	10.6	4.9	16.9	7.8	25.4	11.7	Rümlig
Schwandeweidlibach	145	0.22	0.8	3.7	1.3	5.7	2.0	8.9	Bielbach
Horütibach	146.01	1.43	2.9	2.0	4.4	3.1	6.9	4.8	Bielbach
Horütibach	146.02	1.55	3.1	2.0	4.7	3.0	7.3	4.7	Bielbach
Sonnebüelbach	147	0.03	0.1	3.9	0.2	5.9	0.3	9.3	Bielbach
Flueweidbach	148	0.07	0.4	6.1	0.7	9.6	1.0	14.0	Chesselbach
Wideweidlibach	149	0.26	0.7	2.8	1.2	4.6	2.0	7.7	Bielbach
Burstbach	150	0.03	0.2	5.2	0.3	8.1	0.4	10.5	Wiggernbach
Fluebach	152.01	0.04	0.2	3.9	0.3	5.9	0.4	9.3	Bielbach
Fluebach	152.02	0.05	0.3	5.2	0.4	8.1	0.6	10.5	Wiggernbach
Gummibach	154	0.07	0.8	10.7	1.3	17.2	1.9	25.7	Rümlig
Guggernällbach	155	0.27	2.6	9.7	4.2	15.5	6.3	23.2	Rümlig
Stampfigraben	156	1.68	7.3	4.3	10.9	6.5	15.3	9.1	Chesselbach
Sandmättelibach	157.01	0.07	0.3	3.9	0.4	5.9	0.6	9.3	Bielbach
Sandmättelibach	157.02	0.05	0.2	3.9	0.3	5.9	0.5	9.3	Bielbach
Sandmättelibach	157.03	0.13	0.7	5.2	1.1	8.1	1.4	10.5	Wiggernbach
Ämserebach	158	0.03	0.1	5.2	0.2	8.1	0.3	10.5	Wiggernbach
Badtobelbach	159	0.83	4.6	5.5	6.8	8.2	9.6	11.5	Chesselbach
Strählhüslibach	160	0.81	2.7	3.3	4.1	5.1	5.4	6.6	Wiggernbach
Mäderslehnbach	161	0.19	1.1	6.0	2.0	10.5	2.8	15.0	Wiggernbach

Bach	**BP**	**Fläche [km²]**	**HQ_{30}** [m³/s]	**hq_{30}** [m³s⁻¹km⁻²]	**HQ_{100}** [m³/s]	**hq_{100}** [m³s⁻¹km⁻²]	**HQ_{300}** [m³/s]	**hq_{300}** [m³s⁻¹km⁻²]	**Referenzgebiet**
Schachlibach	162	0.01	0.2	12.8	0.3	18.9	0.4	26.8	Renggbach
Balmguetbach	163	0.22	1.3	5.8	2.2	10.2	3.2	14.5	Wiggernbach
Brachbach	164	0.12	0.6	5.2	1.0	8.1	1.3	10.5	Wiggernbach
Schwanderholzbach	165	0.95	3.4	3.6	6.0	6.3	8.5	9.0	Wiggernbach
Chlungeliseibach	166	0.05	0.3	6.1	0.4	9.6	0.6	14.0	Chesselbach
Chappelbodebach	167	0.06	0.3	5.2	0.5	8.1	0.6	10.5	Wiggernbach
innere Hirzmattbach	168	0.03	0.3	10.7	0.4	17.2	0.7	25.7	Rümlig
äussere Hirzmattbach	169.01	0.02	0.2	10.7	0.3	17.2	0.4	25.7	Rümlig
Hirzmattbach	169.02	0.05	0.5	10.7	0.8	17.2	1.2	25.7	Rümlig
Staldenbach	170	2.11	8.5	4.0	12.7	6.0	17.8	8.4	Chesselbach
Stäghaldebach	171	0.03	0.4	12.8	0.5	18.9	0.8	26.8	Renggbach
Schlyferhüslibach	172	0.03	0.3	10.7	0.5	17.2	0.8	25.7	Rümlig
Rothärdbach	173	0.04	0.4	8.8	0.6	13.1	0.8	18.4	Chesselbach

7 Hochwasserabflüsse der Kleinen Emme

Die Hochwasserabflüsse der Kleinen Emme wurden im Rahmen dieser Studie nicht untersucht, es sollen jedoch die Werte der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007) übernommen und dargestellt werden. Tab. 7.1 listet dementsprechend die Werte der Gefahrenkarte für die zwei Pegelstationen im Untersuchungsgebiet – Chappelboden und Reussbühl - auf. Angesichts der Gefährlichkeit der Kleinen Emme und der reichhaltigen Hochwassergeschichte würde sich eine detaillierte Untersuchung der hydrologischen Grundlagen lohnen.

Tab. 7.1: Hochwasserabflüsse der Kleinen Emme im Unterlauf, unverändert übernommen aus Bart und Louis (2007)

	HQ_{10} [m^3/s]	**HQ_{30} [m^3/s]**	**HQ_{100} [m^3/s]**	**HQ_{300} [m^3/s]**	**EHQ [m^3/s]**
Station Werthenstein, Chappelboden (311 km^2) „Eingang (Fontannen)“	280	340	400	467	665
Station Littau, Reussbühl (477 km^2) „Einmündung Reuss“	420	510	600	700	1000

8 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der hydrologischen Untersuchungen an den Seitenbächen im Unterlauf der Kleinen Emme dar.

Die im Bericht Scherrer AG / Soilcom GmbH (2010) erstellte Abflussprozesskarte wurde zuerst im Unterlauf verifiziert und anschliessend verbessert. Für jedes der 170 Einzugsgebiete wurde die Verteilung der Abflusstypen ermittelt. Die Gebiete zeigen recht unterschiedliche Abflussbereitschaft.

An den vier Bächen Rümlig, Bielbach, Wiggernbach und Chesselbach wurden detaillierte hydrologische Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurden zuerst die historischen Hochwasser anhand schriftlicher Quellen erkundet und durch Befragungen ergänzt. Dann wurde für jedes Gebiet ein Niederschlag-Abflussmodell erstellt, das die unterschiedliche Abflussbereitschaft räumlich differenziert berücksichtigt. Anhand von Hochwasserereignissen mit verlässlichen Niederschlagsdaten und Beobachtungen zum Abfluss wurden die Modelle verifiziert. Auf der Grundlage der Niederschlagsstatistik von Eigenthal (Scherrer AG, 2009) wurden Niederschlagsszenarien erstellt und mit dem Niederschlag-Abflussmodell die Reaktion der Gebiete auf seltene Niederschläge unterschiedlicher Dauer und Jährlichkeit untersucht. In sog. Frequenzdiagrammen wurden die Resultate der Abflussberechnungen und die Erkenntnisse der historischen Erkundungen dargestellt. So wurden für die vier Bäche die massgebenden Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit (HQ_{30}, HQ_{100}, HQ_{300}, EHQ) ermittelt. Für den Renggbach liegt von der VAW (1999) eine detaillierte Hydrologiestudie vor, die auf die gleiche Weise erstellt wurde. Die damaligen Untersuchungen wurden durch die Auswertung der Hochwasser der letzten 12 Jahre aktualisiert.

Folgende HQ_{30}, HQ_{100}, HQ_{300}, EHQ wurden an den Bächen abgeschätzt.

Tab. 8.1: Abgeschätzte Hochwasserabflüsse an den detailliert untersuchten Bächen.

BP	zugeordneter Gerinneabschnitt	HQ_{30} [m^3/s]	HQ_{100} [m^3/s]	HQ_{300} [m^3/s]
BP 4	**Rümlig** bei Strassenbrücke, Schachen, Pt. 520 oberhalb Standort Grenzwertpegel 1994 - 2004 (64.6 km^2)	140 - 180	165 - 205	240 - 280
BP 3	**Bielbach** beim SBB - Durchlass Werthenstein (22.7 km^2)	22 - 34	36 - 48	63 - 75
BP 4	**Wiggernbach** bei Einmündung in Kleine Emme (7.8 km^2)	16 - 18	25 - 31	34 - 49
PP 1	**Chesselbach** bei Strassenbrücke Ettisbüel, Pt. 507 (2.8 km^2)	7 - 10	11 - 15	16 - 21
BP 2	**Renggbach** bei der Mündung in die Kleine Emme (12.4 km^2)	65	96	136

Die historischen Erkundungen wurden auf möglichst viele weitere Bäche ausgeweitet. Die umfangreichen Ergebnisse sind in der Beilage 2 aufgeführt. Die Einzugsgebiete aller Bäche wurden nach ihrer Abflussbereitschaft in acht Stärkeklassen eingestuft. Die fünf detailliert untersuchten Bäche dienten bei der Übertragung als sog. Referenzbäche. Die massgebenden Abflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit (HQ_{30}, HQ_{100}, HQ_{300}, EHQ) wurden auf Einzugsgebiete entsprechend ihrer Abflussreaktion auf Starkregen übertragen. In Tab. 6.2 und auf der Beilage 1 sind sämtliche übertragenen Werte der ca. 170 Bäche ersichtlich.

Im Vergleich mit den Werten der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007) fällt auf, dass diese teilweise um ein Mehrfaches höher sind. Grund dafür sind unterschiedliche Bearbeitungsmethoden und -tiefen. In der vorliegenden Studie wurden Methoden verwendet, die sich so weit als möglich auf Beobachtungen abstützen. So konnten beispielsweise unter Berücksichtigung der Geologie, Böden, etc. die Abflussbereitschaft der Einzugsgebiete abgeschätzt werden und mit Analysen der historischen Hochwasserereignisse konnten Modell- und Übertragungsergebnisse überprüft und verifiziert werden. Insgesamt liegt den vorliegenden Abschätzungen somit ein wesentlich erhöhter Informationsgehalt zugrunde.

Die massgebenden Abflüsse der Kleinen Emme wurden aus dem Bericht von (Bart und Louis, 2007) übernommen. Angesichts der Gefährlichkeit der Kleinen Emme und der reichhaltigen Hochwassergeschichte würde sich allerdings eine ähnliche Bearbeitungstiefe wie bei den detailliert untersuchten Bächen lohnen.

Scherrer AG

Hydrologie und Hochwasserschutz

Dr. S. Scherrer R. Frauchiger Dr. P. Kienzler

Reinach, Mai 2012

Sachbearbeiter:

Dr. Peter Kienzler, Dipl. Hydrologe Uni Freiburg i. Brsg.

Roger Frauchiger, Dipl. Kult. Ing. ETH Zürich

Dr. Simon Scherrer, Dipl. Geograph Uni Basel

Anhang

Anhang 1: Tagesniederschläge
Anhang 2: Räumliche Niederschlagsverteilungen
Anhang 3: Niederschlag – Abfluss – Modell QAREA
Anhang 4: Modellgrundlagen
Anhang 5: Modellverifikation
Anhang 6: Niederschlagsstatistiken Eigenthal und Luzern
Anhang 7: Grenzwertpegel Rümlig - Schachen
Anhang 8: Frequenzdiagramme

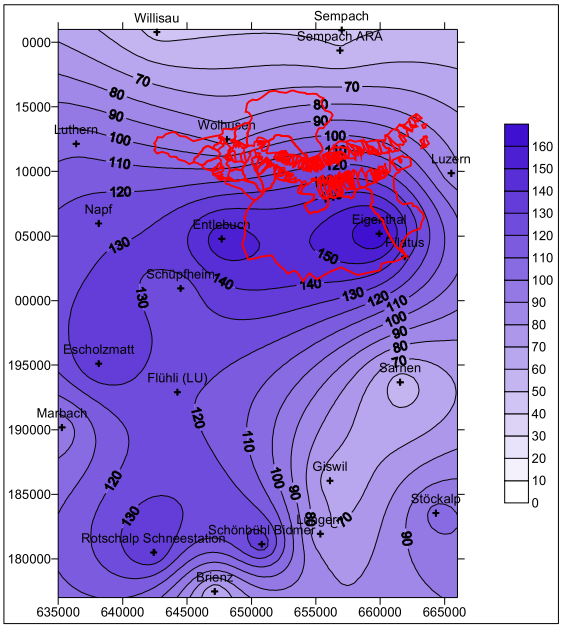
Beilagen

Beilage 1: Übersichtsplan Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit
Beilage 2: Historische Hochwasser

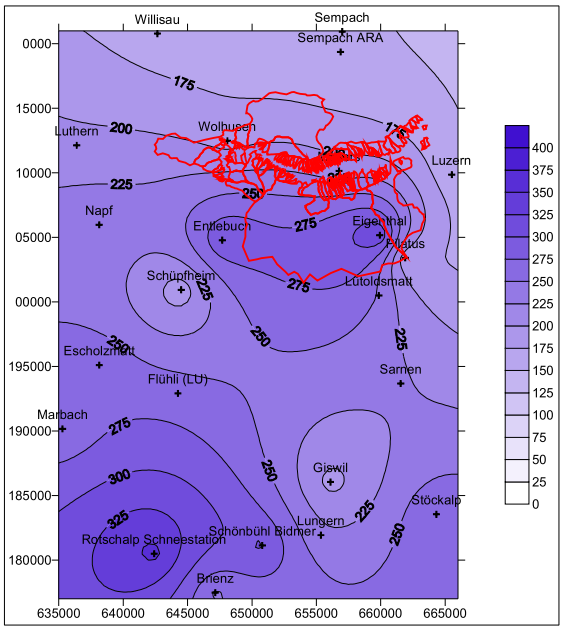
Nr.	4500	4510	4525	4560	4590	4600	4620	4650	4680	5090	6450	6470	6475	6630	6800	LU02	LU 04	LU 08	LU 09	LU10	OW	IMIS ROA-2	IMIS SCB-2
Station	**Lungern**	**Giswil**	**Stöckalp**	**Sarnen**	**Luzern**	**Pilatus**	**Flühli (LU)**	**Entlebuch**	**Eigenthal**	**Brienz**	**Marbach**	**Escholzmatt**	**Napf**	**Luthern**	**Sempach**	**Malters**	**Sempach $%$**	**Willisau**	**Wolhusen**	**Schüpfheim**	**Lütoldsmatt**	**Rotschalp** Schneestation	**Schönbühl Bidmer**
Messperiode	1904 -	1976 -	1985 -	1895-	1860-	1891-1959; 1981-	1882-	1882-	1882-1889; 1899-	1864-1870; 1900 -	1899 -	1899 -	1978 -	1882-1889; 1910-	1961 -	1999 -	1991 -	1991 -	2000 -	1999 -	1973 -	1997 -	2001 -
*	655350	656100	664320	661550	665520	661910	644240	647690	659920	647140	635290	638140	638130	636390	657010	656760	656880	642650	648090	644500	659850	642400	650800
+	181930	186050	183550	193680	209860	203410	192910	204780	205170	177480	190170	195110	205970	212130	220940	210150	219360	220780	212490	200940	200500	180500	181140
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	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr	7-7 Uhr
Statistik	1905-1977	keine	keine	1896-2008	1881-1977	1892-1959	1901-1970	1901-1970	1883-2008	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	keine	1910 - 1977	1961 - 1987	keine	keine	keine	keine	keine	1973-1995	keine	keine
10.07.2002	0.4	4.4	10.5	4.1	6.8	7.7	9.8	9.8	5.6	18.4	12.1	11.5	5.0	3.8	7.5	5.5	7.1	2.6	4.3	10.4		12.8	10.4
11.07.2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.2	0.0
12.07.2002	10.5	12.2	6.5	9.6	9.8	14.7	10.5	11.8	13.3	10.7	10.5	11.5	8.1	9.0	7.0	14.1	7.6	6.8	10.3	14.0		24.0	18.8
13.07.2002	1.4	0.5	2.0	0.6	0.2	1.6	7.9	18.8	2.7	2.1	10.1	17.0	29.9	7.5	2.2		3.6	1.0	6.3	14.6		1.6	3.6
14.07.2002	5.6	5.6	6.0	2.3	3.2	18.6	9.0	13.2	3.0	1.7	6.0	19.0	9.3	4.5	2.0		1.8	2.3	4.4	15.7		6.8	7.4
15.07.2002	9.0	13.7	12.8	12.4	33.5	46.8	22.8	79.8	70.9	6.2	22.9	58.0	53.4	63.0	8.0		11.0	8.3	42.7	54.1		12.6	11.2
16.07.2002	4.2	4.3	10.2	2.3	0.5	0.6	8.1	0.2	0.4	7.2	6.8	12.1	1.9	0.3	1.5	0.1	1.3	0.2	0.1	0.6		19.4	26.6
17.07.2002	49.8	37.0	69.0	35.0	45.7	66.7	81.4	64.3	97.5	40.8	56.4	51.6	62.9	38.9	35.0	43.0	36.0	35.1	38.7	52.8		101.6	92.8
18.07.2002	2.0	3.3	6.5	1.7	0.5	0.3	0.0	0.9	0.0	3.1	0.5	0.3	0.3	0.0	1.0	0.2	0.6	0.7	0.2	0.5		1.0	0.8
14.-15.07.02	14.6	19.3	18.8	14.7	36.7	65.4	31.8	93.0	73.9	7.9	28.9	77.0	62.7	67.5	10.0		12.9	10.6	47.0	69.8		19.4	18.6
13.-17.07.02	70.0	61.1	100.0	52.6	83.1	134.3	129.2	176.3	174.5	58.0	102.2	157.7	157.4	114.2	48.7		53.7	46.8	92.0	137.8		142.0	141.6
14.-18.07.02	70.6	63.9	104.5	53.7	83.4	133.0	121.3	158.4	171.8	59.0	92.6	141.0	127.8	106.7	47.5		50.7	46.5	86.0	123.7		141.4	138.8
15.08.2005	17.8	16.7	37.1	19.0	38.0	20.1	23.9	19.3	31.4	22.8	25.7	27.0	23.6	9.8	24.8	17.2	20.5	13.7	18.7	19.3	43.2	37.6	29.2
16.08.2005	0.0	0.1	0.0	0.0	1.3	0.7	0.0	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	1.3	1.2	0.0	1.5	1.3	0.5	1.8	0.2	0.3	0.0	0.0
17.08.2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18.08.2005	8.7	7.5	22.5	25.6	1.6	7.8	7.3	52.9	7.8	7.8	9.5	13.8	5.9	20.3	14.2	7.3	20.0	37.4	15.4	5.5	9.2	6.8	9.4
19.08.2005	31.3	28.5	13.5	38.3	23.6	16.6	28.7	24.2	37.7	22.9	20.6	16.3	21.5	19.3	35.5	49.8	27.5	17.1	16.2	17.6	23.6	34.6	32.6
20.08.2005	16.0	17.6	15.1	27.8	24.5	47.9	56.3	46.2	65.0	34.3	42.4	67.1	36.7	22.1	24.4	37.2	22.3	10.1	47.8	49.3	36.4	33.6	24.0
21.08.2005	90.2	86.4	96.0	103.5	81.1	67.1	57.2	131.4	102.3	84.7	100.0	101.7	126.7	87.8	70.2	91.2	69.6	83.3	94.1	68.9	163.9	147.8	94.0
22.08.2005	85.1	51.0	125.5	32.3	25.9	40.1	112.9	44.0	111.5	96.4	81.3	69.7	50.9	58.1	15.3	24.5	12.1	14.7	16.7	42.7	15.2	134.8	143.4
23.08.2005	9.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	2.4	0.2	1.2
21.-22.08.05	175.3	137.4	221.5	135.8	107.0	107.2	170.1	175.4	213.8	181.1	181.3	171.4	177.6	145.9	85.5	115.7	81.7	98.0	110.9	111.5	179.1	282.6	237.4
18.-22.08.05	231.3	191.0	272.6	227.5	156.7	179.5	262.4	298.7	324.3	246.1	253.8	268.6	241.7	207.6	159.6	210.0	151.4	162.6	190.3	183.9	248.3	357.6	303.4
19.-23.08.05	231.6	184.3	250.1	201.9	155.1	171.7	256.7	245.8	316.5	238.3	244.5	254.9	235.8	187.5	145.4	202.7	131.4	125.2	175.2	178.4	241.5	351.0	295.2
02.08.2007	19.0	18.8	23.0	18.0	22.4	29.7	27.0	24.9	28.0	19.8	21.8	20.5	19.2	9.7	11.2	27.7	7.6	5.6	17.7	25.6	22.1	30.8	26.0
03.08.2007	0.1	0.0	0.5	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6
04.08.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06.08.2007	1.2	0.3	9.5	2.0	0.1	33.1	2.0	1.1	21.5	4.2	2.1	1.6	12.1	30.1	0.0	1.2	1.1	4.4	3.3	1.7	16.6	7.4	4.6
07.08.2007	51.6	54.9	49.0	58.9	50.7	51.3	45.0	64.5	69.7	35.1	31.3	28.4	37.7	31.3	48.3	54.9	46.5	28.5	35.3	40.7		37.8	38.0
08.08.2007	56.3	56.2	63.0	55.3	57.0	54.0	60.0	72.9	76.3	63.8	72.5	64.4	72.5	60.2	76.0	72.6	64.5	73.9	67.5	67.0		81.0	72.4
09.08.2007	3.3	4.2	6.5	3.5	4.6	2.2	5.0	7.0	2.8	7.4	11.8	10.1	13.6	7.5	6.7	3.3	3.0	5.0	3.6	6.7	1.6	11.2	5.0
10.08.2007	0.2	0.2	0.0	0.3	0.8	1.7	1.0	0.5	1.8	0.0	0.5	0.6	1.3	1.6	2.0	1.4	1.2	2.5	0.7	0.4	0.9	0.6	0.4
07.-08.08.07	107.9	111.1	112.0	114.2	107.7	105.3	105.0	137.4	146.0	98.9	103.8	92.8	110.2	91.5	124.3	127.6	111.0	102.4	102.7	107.8		118.8	110.4
06.-10.08.07	112.6	115.8	128.0	120.0	113.2	142.3	113.0	146.0	172.1	110.5	118.2	105.1	137.2	130.7	133.0	133.4	116.2	114.4	110.2	116.6		138.0	120.4

5-jährlich
10-jährlich
20-jährlich
50-jährlich
100-jährlich

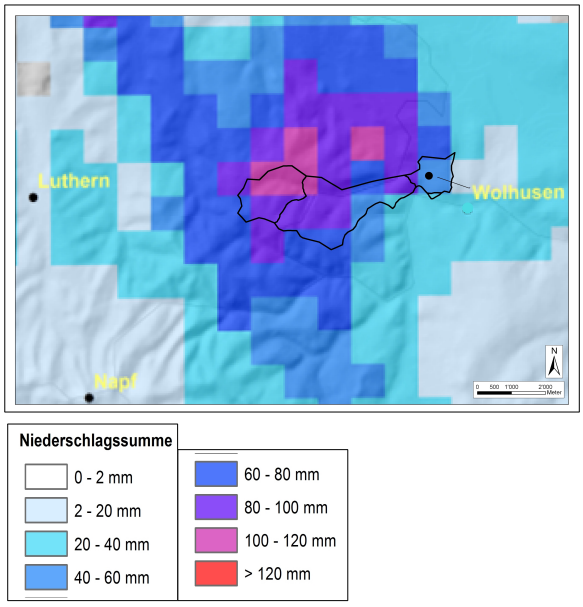
Anhang 2: Im Einzugsgebiet der Kleinen Emme während grosser Hochwasser gemessene Niederschlagsmengen. 5-jährliche und seltenere Werte sind markiert.



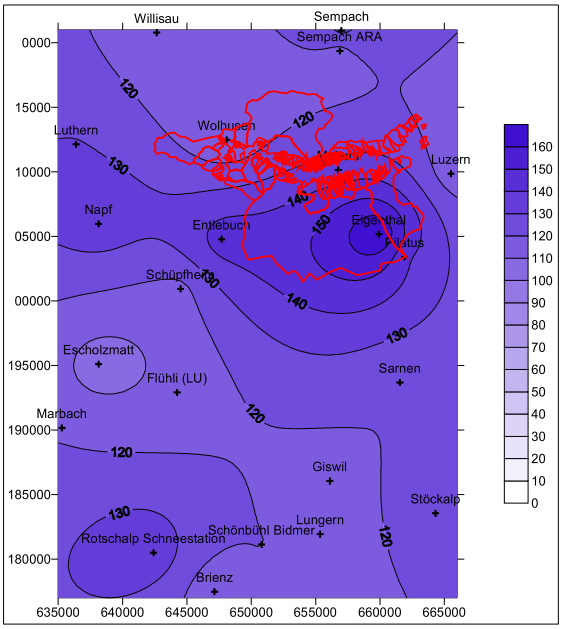
Anhang 2a: Verteilung der Niederschlags-summen am 14.-18.7.2002.



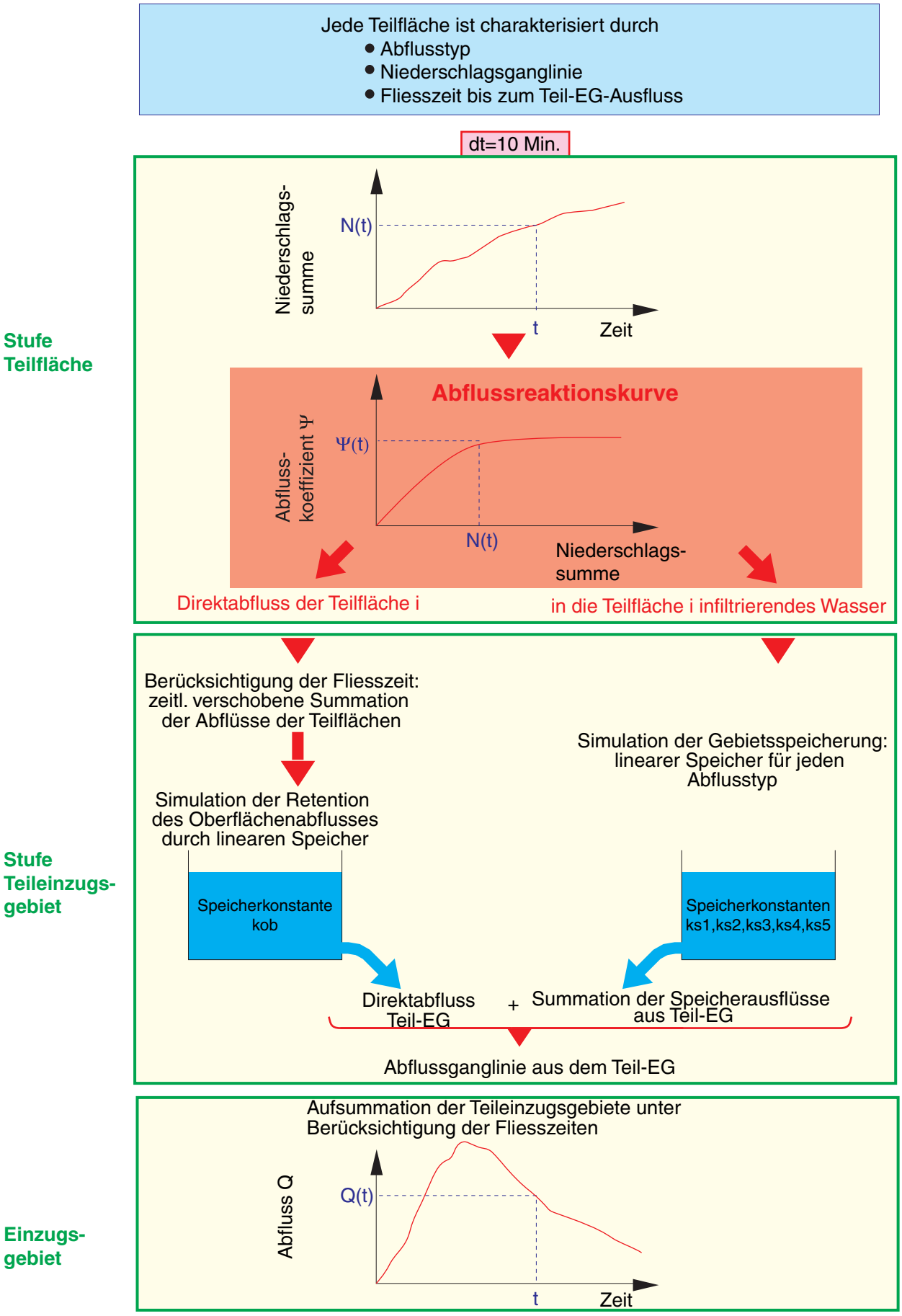
Anhang 2b: Verteilung der Niederschlags-summen am 19.-23.8.2005.



Anhang 2c: Verteilung der Niederschlags-summen am 8.6.2007, 18:45 – 21:15 MEZ, gemäss Radar in der Umgebung des Wiggernbach-EZG

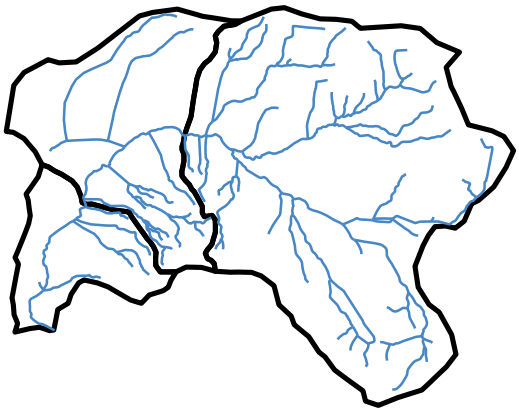


Anhang 2d: Verteilung der Niederschlags-summen am 6.-10.8.2007

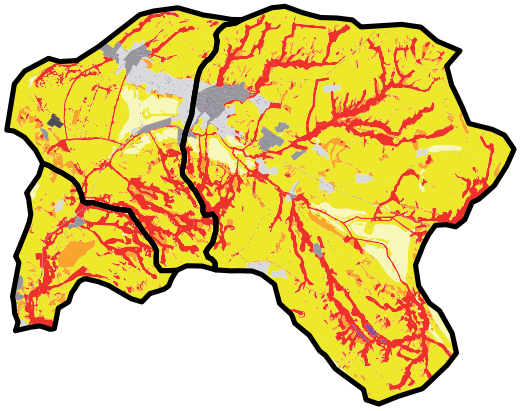


Anahng 3: *Schematischer Aufbau des Niederschlag - Abfluss - Modells QArea. Zentrales Element ist die Abflussreaktionskurve, die für jede Teilfläche die Beziehung zwischen Niederschlags-summem und Abflusskoeffizient beschreibt.*

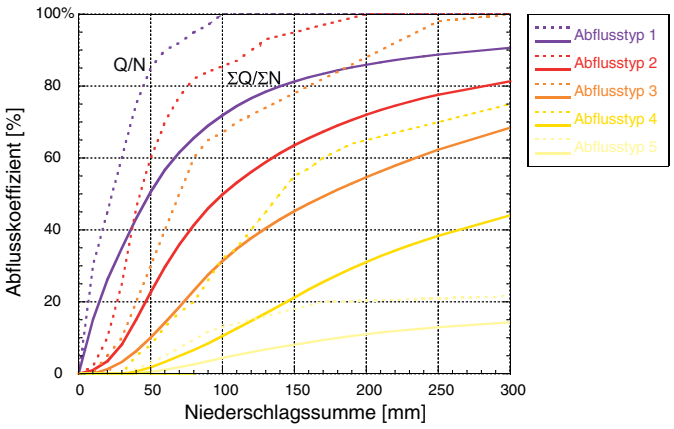
a) Teileinzugsgebiete

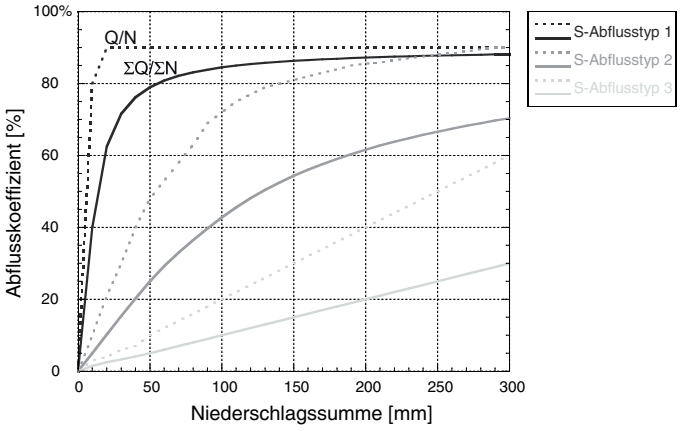


b) Abflusstypen

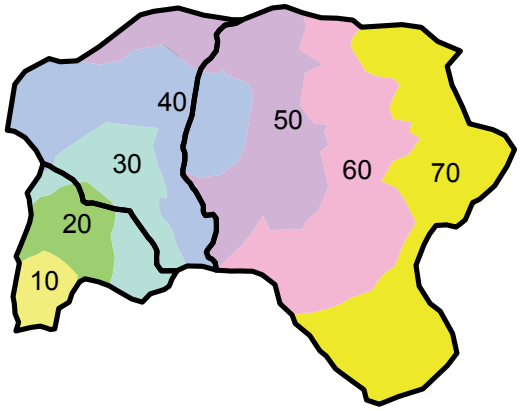


c) Abflussreaktionskurven

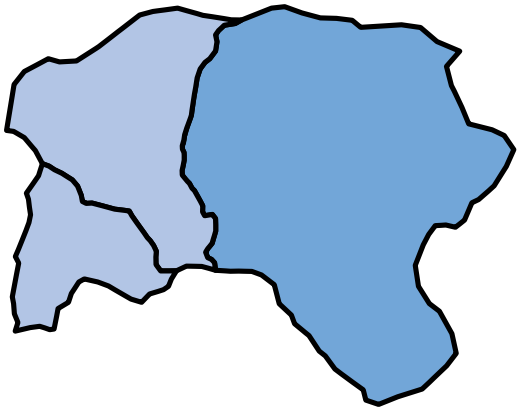




d) Fliesszeiten in Minuten (Isochronen)



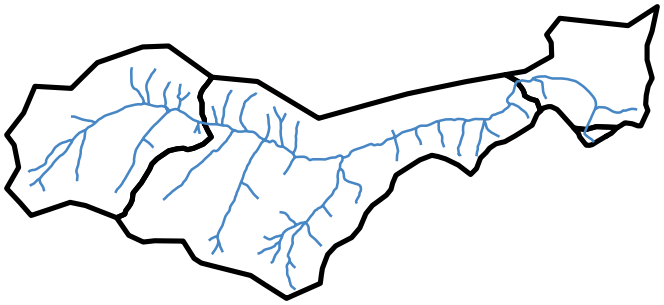
e) Niederschlagszonen



Gewitterszenario

Anhang 4.1: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QAREA für den Bielbach
a) Die Teileinzugsgebiete,
b) die Abflusstypen,
c) die Abflussreaktionskurven,
d) die Fliesszeiten in Minuten (Isochronen),
e) die Niederschlagszonen des Gewitterszenarios.

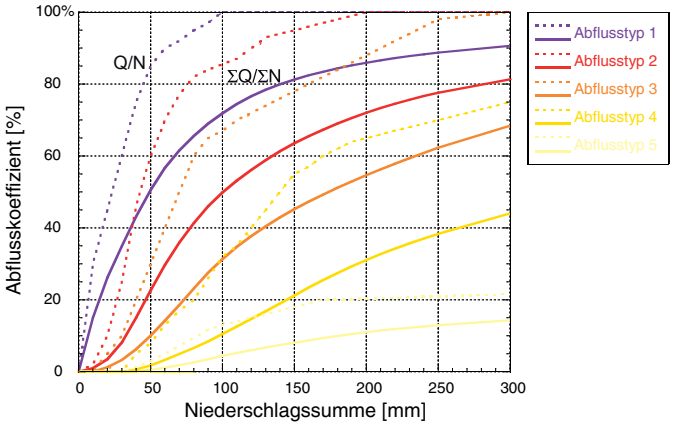
a) Teileinzugsgebiete

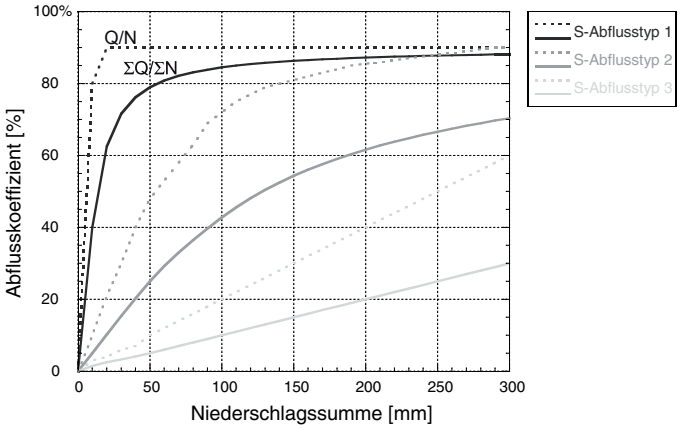


b) Abflusstypen

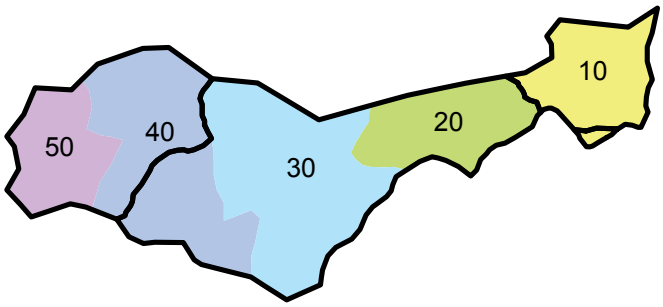


c) Abflussreaktionskurven



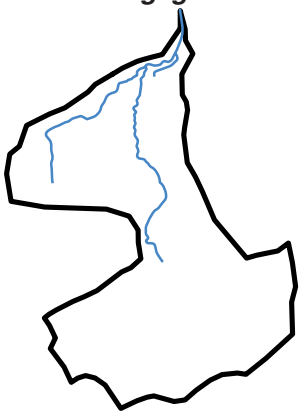


d) Fliesszeiten in Minuten (Isochronen)

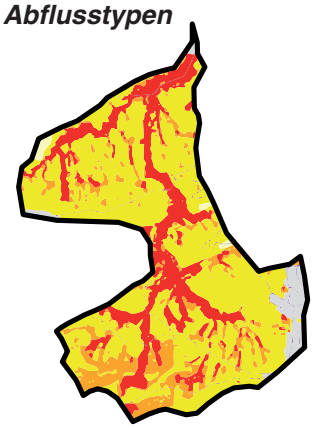


Anhang 4.2: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QAREA für den Wiggernbach
a) Die Teileinzugsgebiete,
b) die Abflusstypen,
c) die Abflussreaktionskurven,
d) die Fliesszeiten in Minuten (Isochronen).

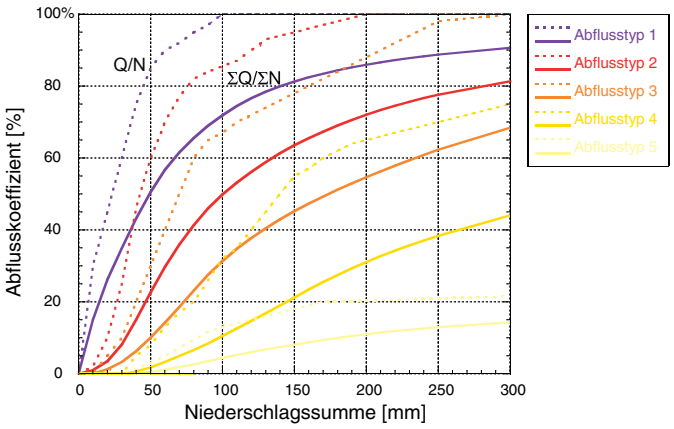
a) Teileinzugsgebiete

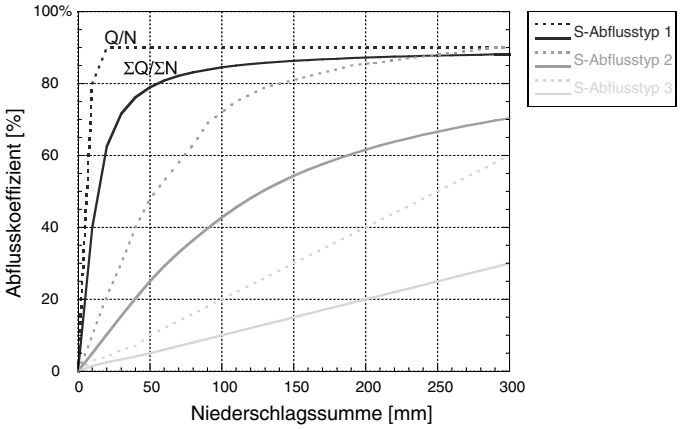


b) Abflusstypen

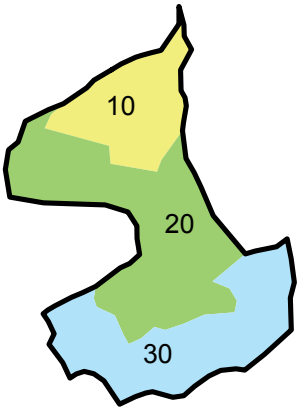


c) Abflussreaktionskurven

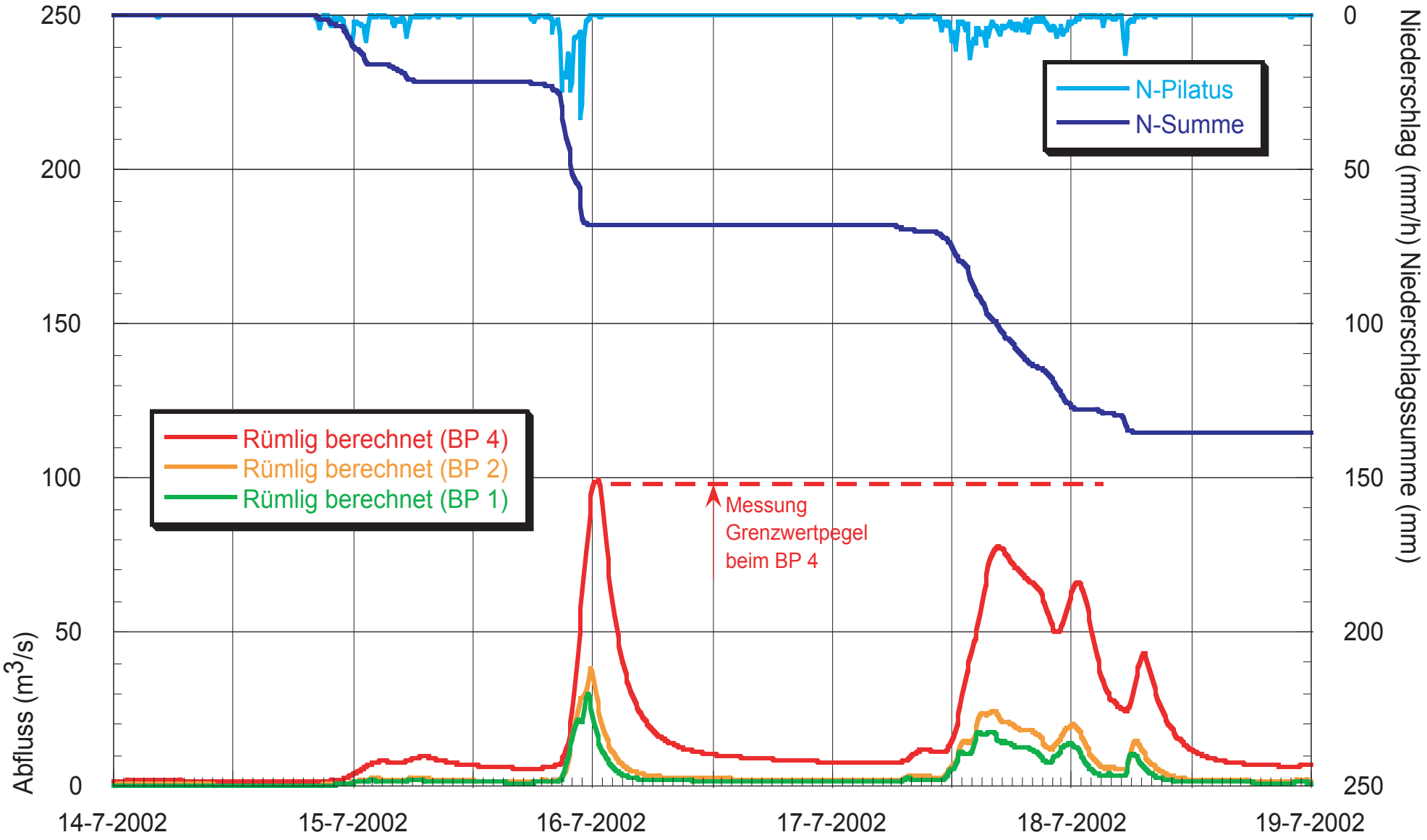




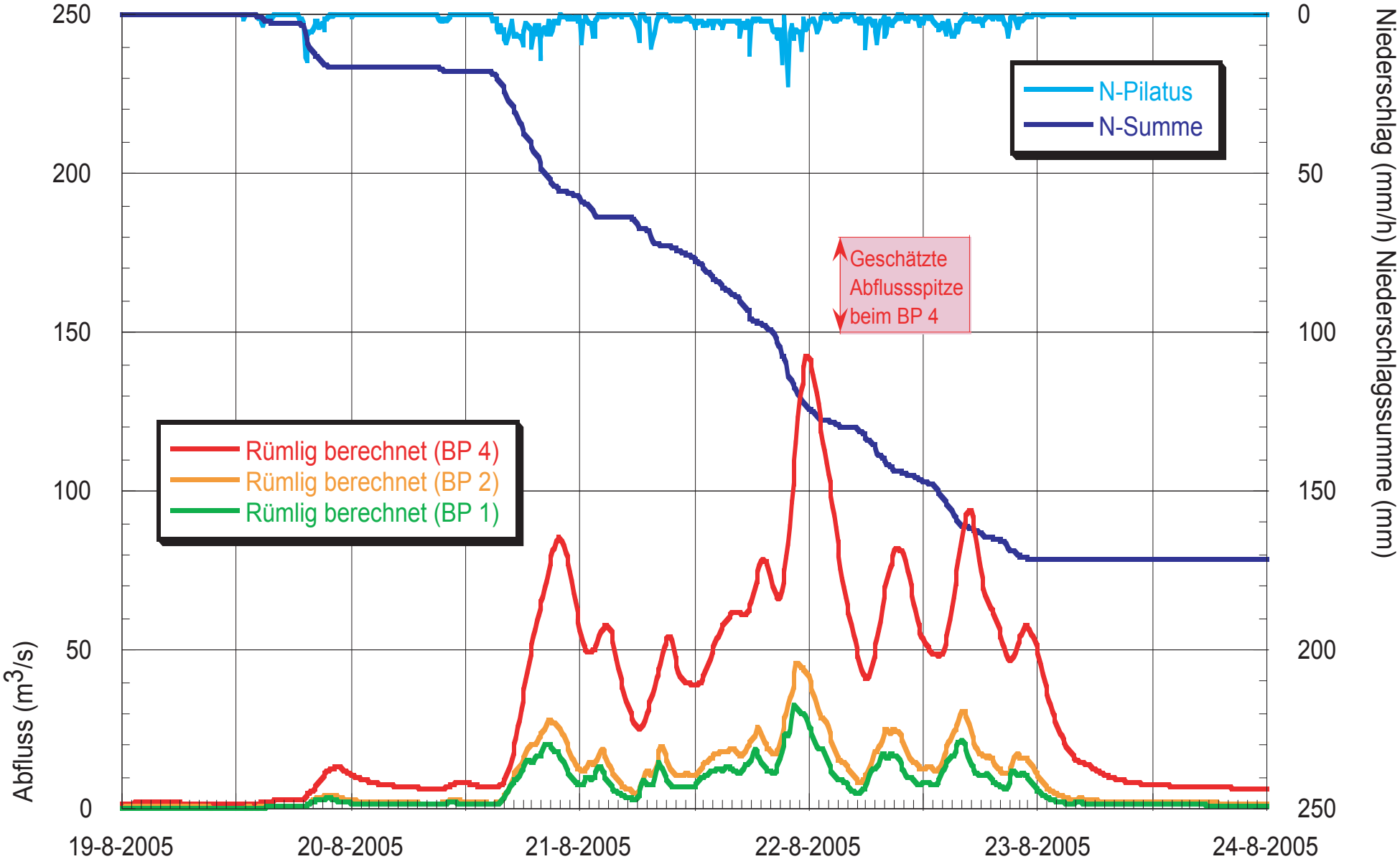
d) Fliesszeiten in Minuten (Isochronen)



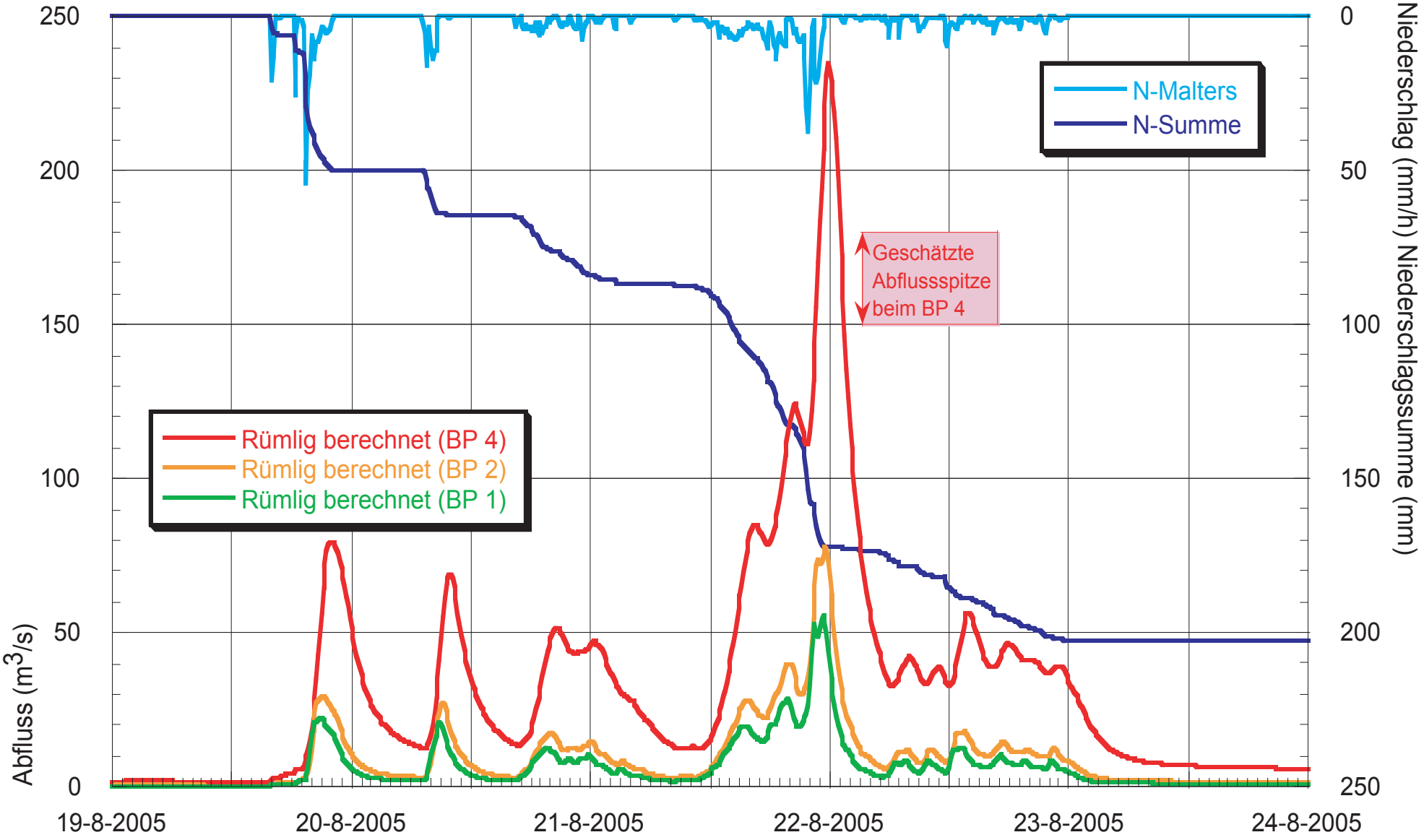
Anhang 4.3: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QAREA für den Chesselbach
a) Die Teileinzugsgebiete,
b) die Abflusstypen,
c) die Abflussreaktionskurven,
d) die Fliesszeiten in Minuten (Isochronen).



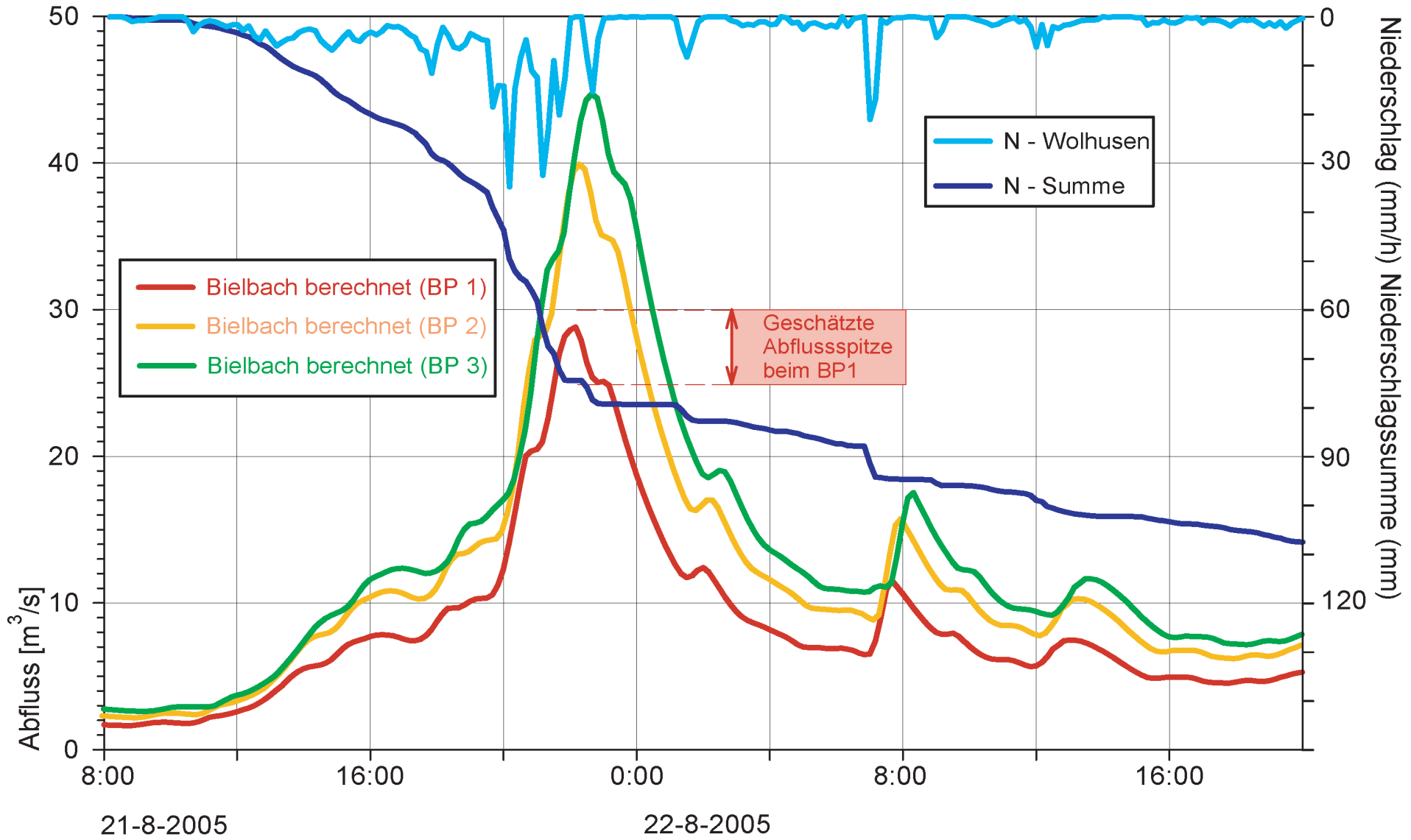
Anhang 5.1: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Rümligs am 16./17.7.2002 an den Berechnungspunkten 1, 2 und 4 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der Station Pilatus gerechnet.



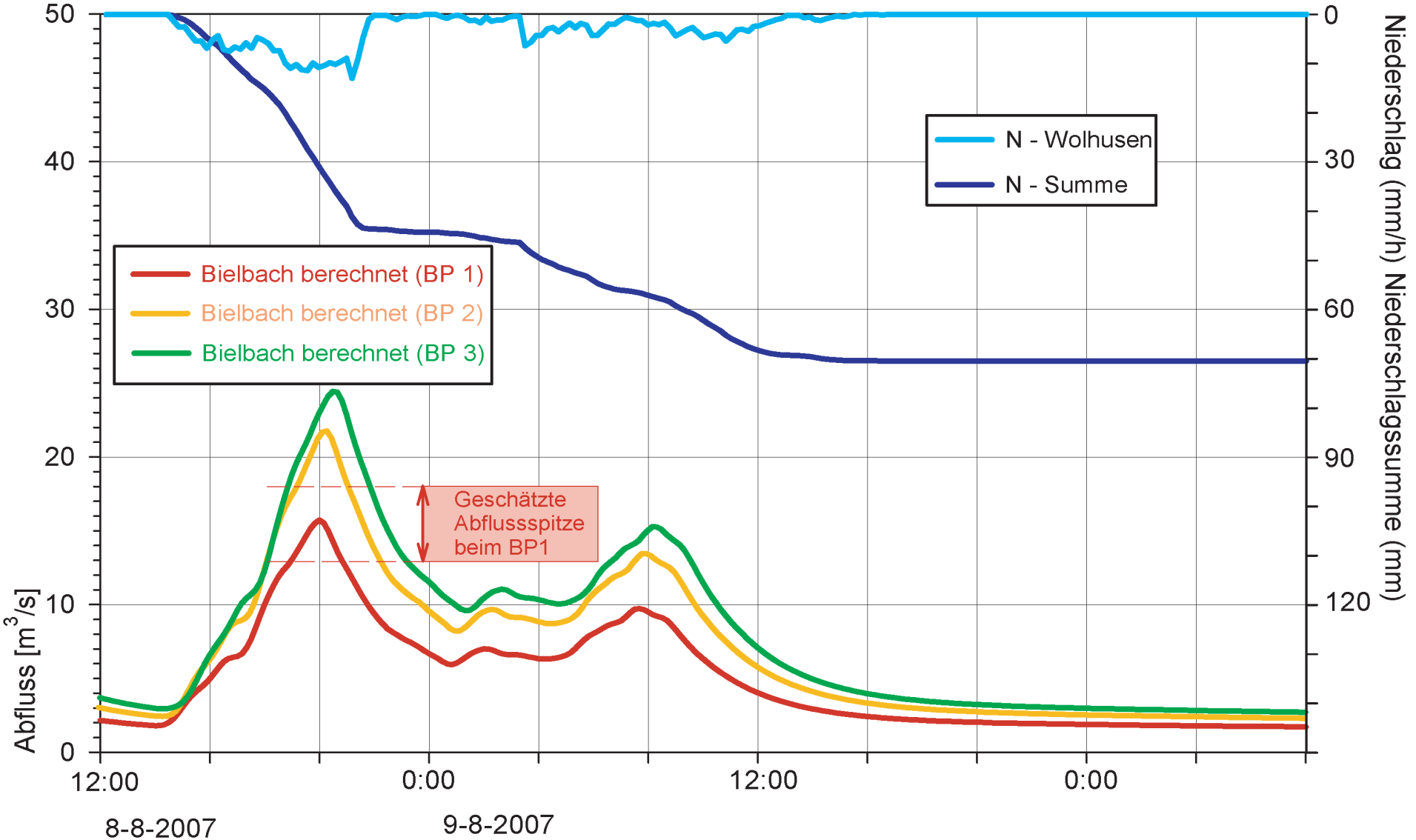
Anhang 5.2: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Rümligs am 21./22.8.2005 an den Berechnungspunkten 1, 2 und 4 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der Station Pilatus gerechnet.



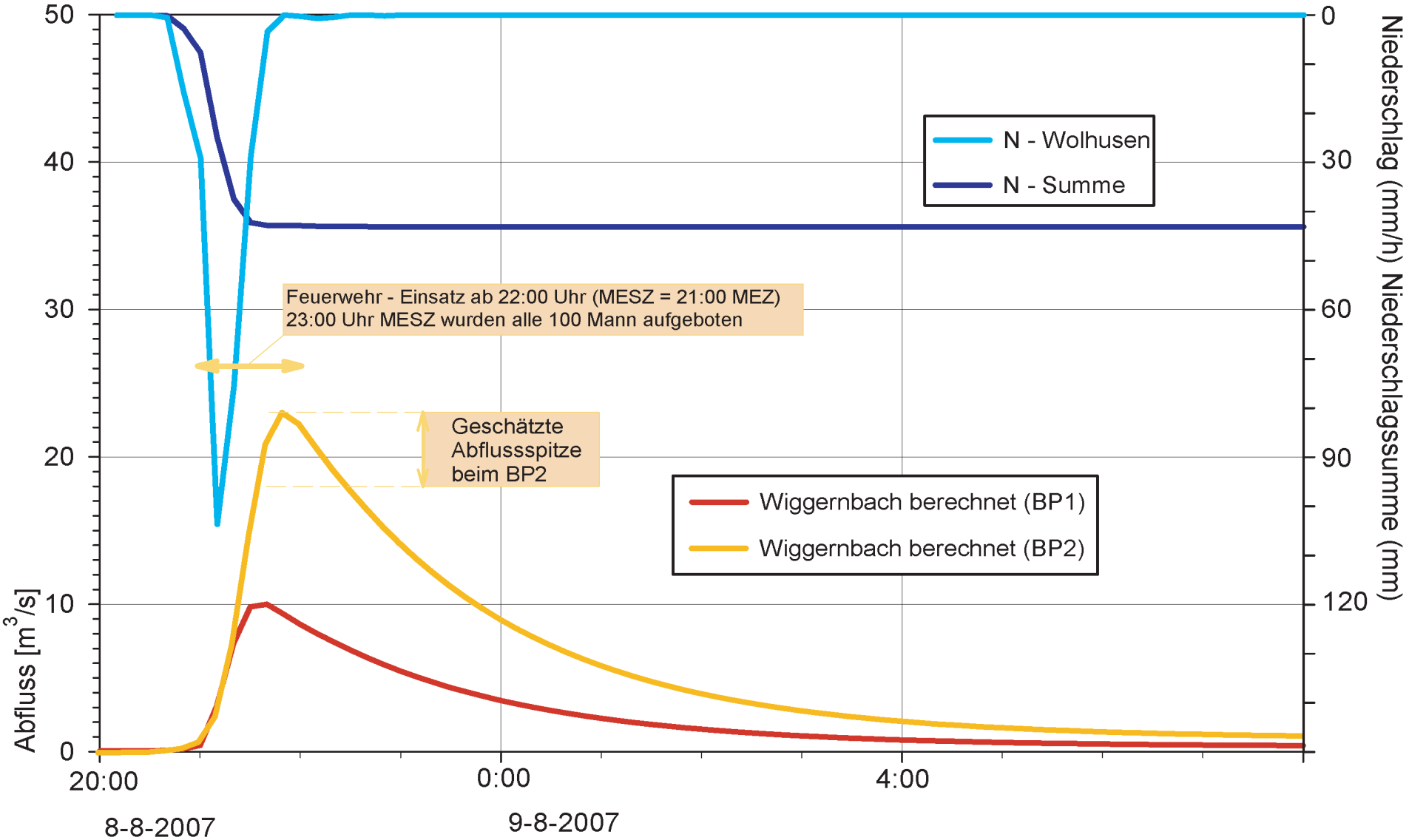
Anhang 5.3: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Rümligs am 21./22.8.2005 an den Berechnungspunkten 1, 2 und 4 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der kantonalen Station Malters gerechnet.



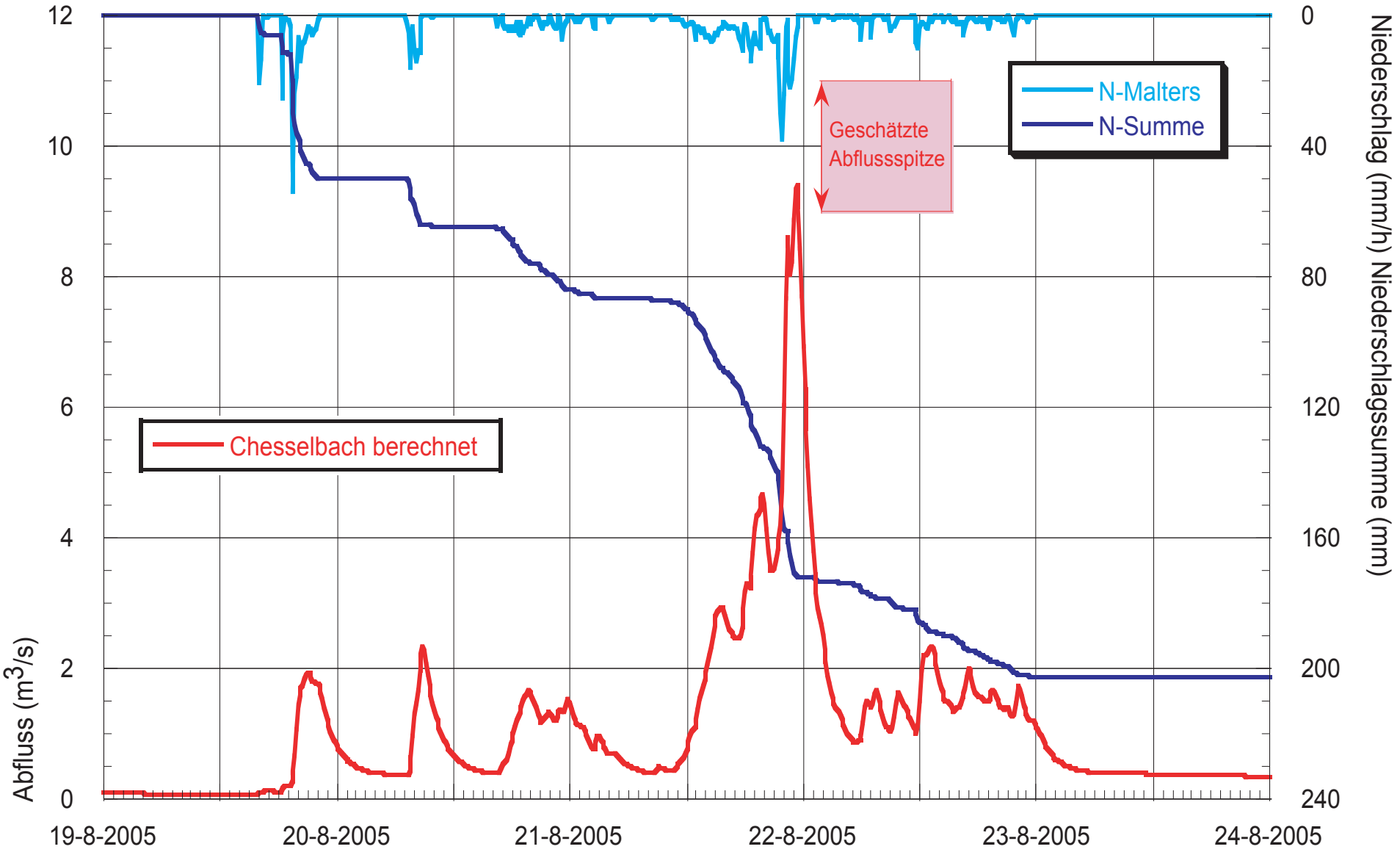
Anhang 5.4: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Bielbachs am 21./22.8.2005 an den Berechnungspunkten 1, 2 und 3 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der Station Wolhusen gerechnet.



Anhang 5.5: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Bielbachs am 8./9.8.2007 an den Berechnungspunkten 1, 2 und 3 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der Station Wolhusen gerechnet.

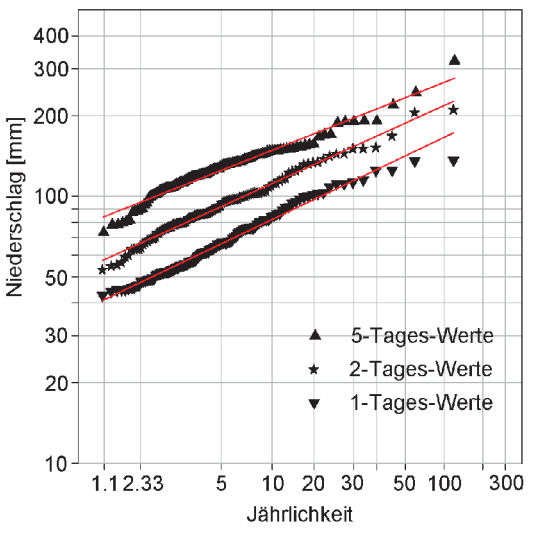


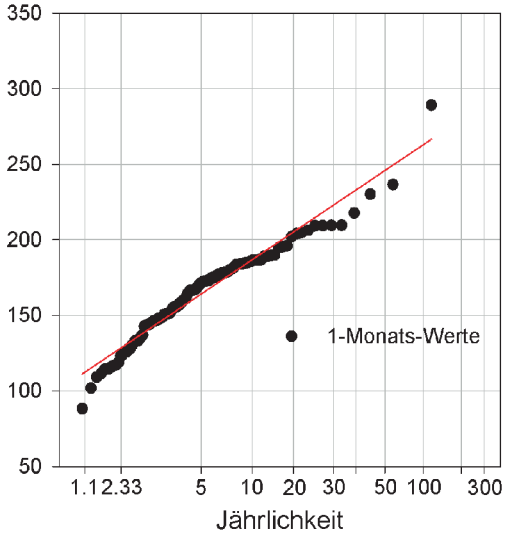
Anhang 5.6: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Wiggernbachs am 8.6.2007 an den Berechnungspunkten 1 und 2 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der Station Wolhusen gerechnet.

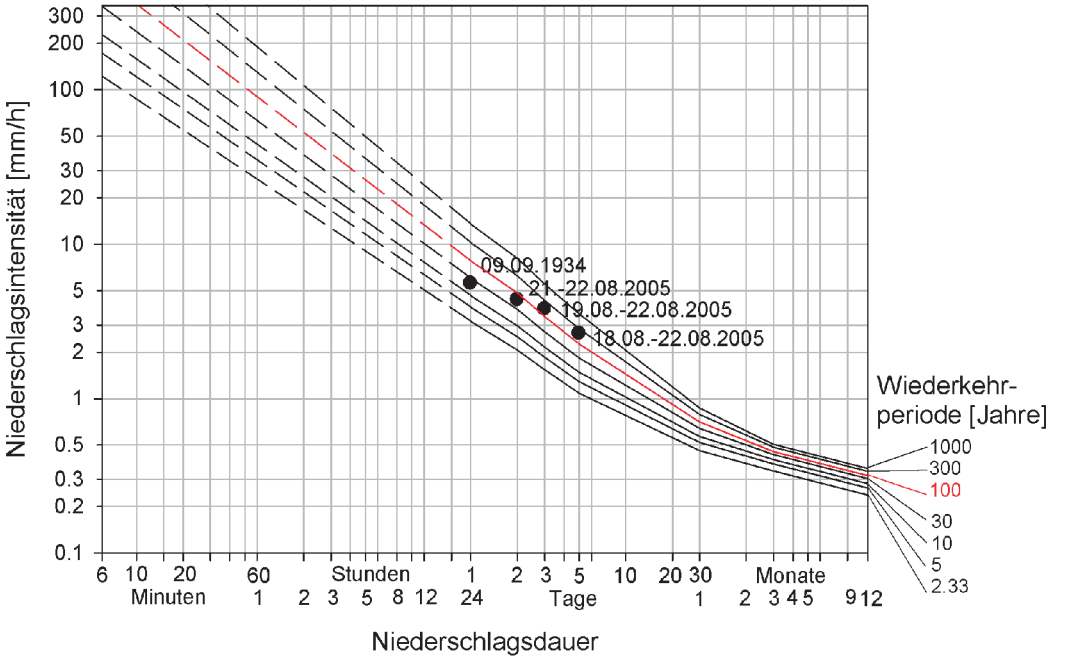


Anhang 5.7 Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Chesselbachs am 21./22.8.2005 im Vergleich mit den Beobachtungen. Es wurde mit dem zeitlichen Niederschlagsverlauf der kantonalen Station Malters gerechnet.

Eigenthal 1883 - 2008	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 Röthlisberger et al. (1992) 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

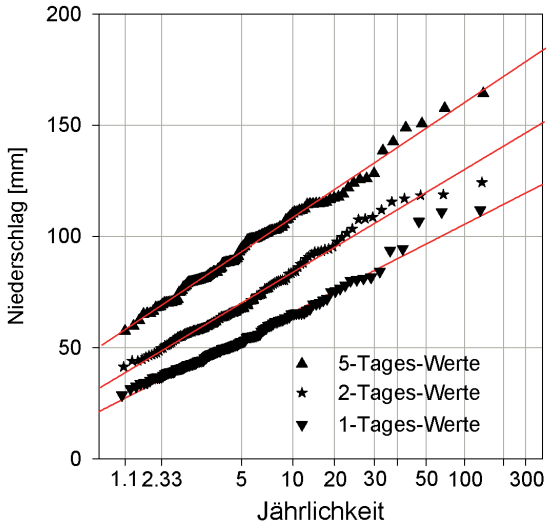
Bemerkungen

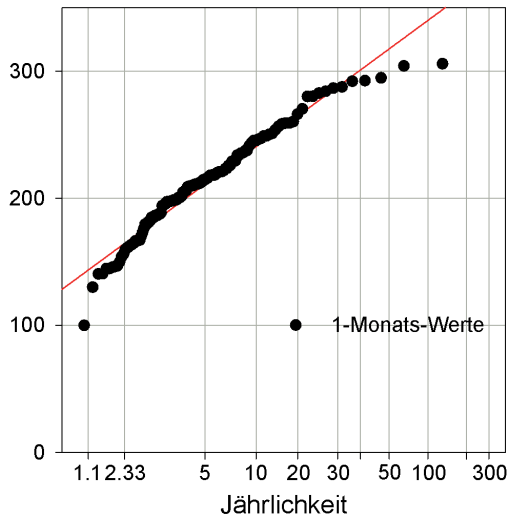
fehlende Daten während folgender Zeiträume:
- Februar, August, September 1886
- April 1888
- 26.11.-30.11.1889
- 1890 - 1899
- September 1914
- Februar 1930

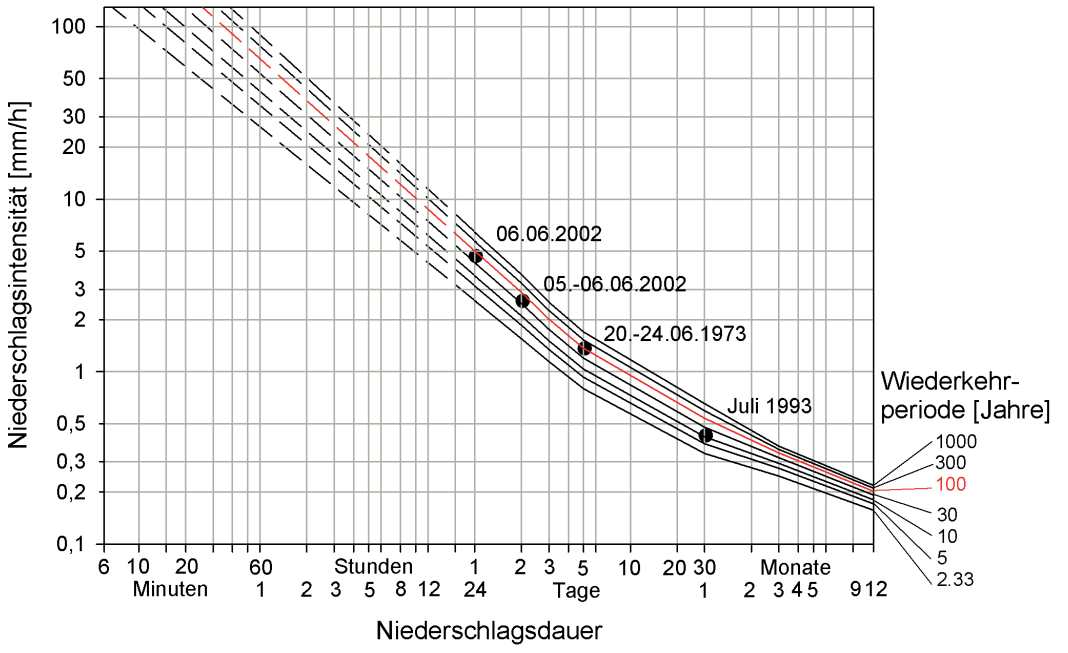
Entsprechend Röthlisberger et al. (1992), wurde aus regionalen Gründen die 2. Extremalverteilung zur Anpassung an die 2- und 5-Tagesmaxima verwendet, obwohl gemäss van Montfort - Test die 1. Extremalverteilung empfohlen wird.

Anhang 6.2: Die analog zu Röthlisberger et al. (1992) erstellte Starkniederschlagsstatistik für die Station Eigenthal (1883 - 2008).

Luzern 1881 - 2010	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima







Anhang 6.3: Die analog zu Röthlisberger et al. (1992) erstellte Starkniederschlagsstatistik für die Station Luzern (1881 - 2010).

Luzern

1881 - 2010

Regen und Schnee berücksichtigt

1. Extremalverteilung: 1-Monats-Maxima

1. 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	06.06.2002	112	05.-06.06.2002	123	20.06-24.06.1973	163	Jul 1993	306	Jul-Sep 1888	675	1910	1666
2	24.08.1944	111	26.-27.07.1976	118	18.08.-22.08.2005	157	Jul 1976	304	Jul-Sep 2010	658	1965	1550
3	07.08.1978	107	21.-22.11.1972	118	22.07.-26.07.1976	150	Aug 1975	295	Jun-Aug 1997	648	1979	1475
4	05.07.1993	94	27.-28.09.1954	116	05.06.-09.06.2002	148	Aug 2005	293	Jun-Aug 1912	643	2001	1472
5	26.07.1976	94	06.-07.08.1978	115	10.05.-14.05.1999	142	Aug 1890	292	Jun-Aug 1927	632	1940	1461
6	27.09.1954	84	23.-24.08.1944	111	06.06.-10.06.2002	139	Jul 1900	288	Jun-Aug 1910	632	2002	1461
7	22.11.1972	82	07.-08.08.2007	108	20.11.-24.11.1972	138	Nov 1972	287	Mai-Jul 1914	629	1999	1449
8	21.08.2005	81	21.-22.08.2005	107	18.01.-22.01.1910	127	Jun 1979	284	Jun-Aug 1993	629	1922	1436
9	14.06.1910	81	22.-23.06.1973	107	26.09.-30.09.1954	125	Jul 1955	283	Jun-Aug 1946	629	1905	1427
10	23.06.1973	80	29.-30.07.1900	103	03.08.-07.08.1978	125	Jun 1912	280	Jun-Aug 2007	628	1995	1426

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	43,5	26,2	15,8	9,5	7,1	5,7	4,3	2,6	1,5	1,1	0,8	0,34	0,25	0,16
5	58,9	34,8	20,6	12,2	9,0	7,2	5,3	3,1	1,9	1,3	0,9	0,38	0,28	0,17
10	72,0	42,1	24,6	14,4	10,5	8,4	6,1	3,6	2,1	1,5	1,0	0,42	0,29	0,18
20	84,9	49,2	28,5	16,5	12,0	9,6	7,0	4,0	2,3	1,7	1,1	0,46	0,31	0,19
30	92,4	53,3	30,8	17,8	12,9	10,2	7,4	4,3	2,5	1,8	1,2	0,48	0,32	0,19
50	101,9	58,5	33,6	19,3	14,0	11,1	8,0	4,6	2,7	1,9	1,3	0,50	0,33	0,20
100	114,9	65,6	37,5	21,4	15,4	12,2	8,8	5,0	2,9	2,0	1,4	0,54	0,34	0,20
200	127,9	72,7	41,3	23,5	16,9	13,3	9,6	5,5	3,1	2,2	1,5	0,57	0,35	0,21
300	135,6	76,9	43,6	24,7	17,7	14,0	10,1	5,7	3,3	2,3	1,5	0,59	0,35	0,21
500	145,3	82,1	46,4	26,2	18,8	14,8	10,6	6,0	3,4	2,4	1,6	0,62	0,36	0,21
1000	158,5	89,3	50,3	28,3	20,3	16,0	11,4	6,4	3,7	2,5	1,7	0,65	0,37	0,22

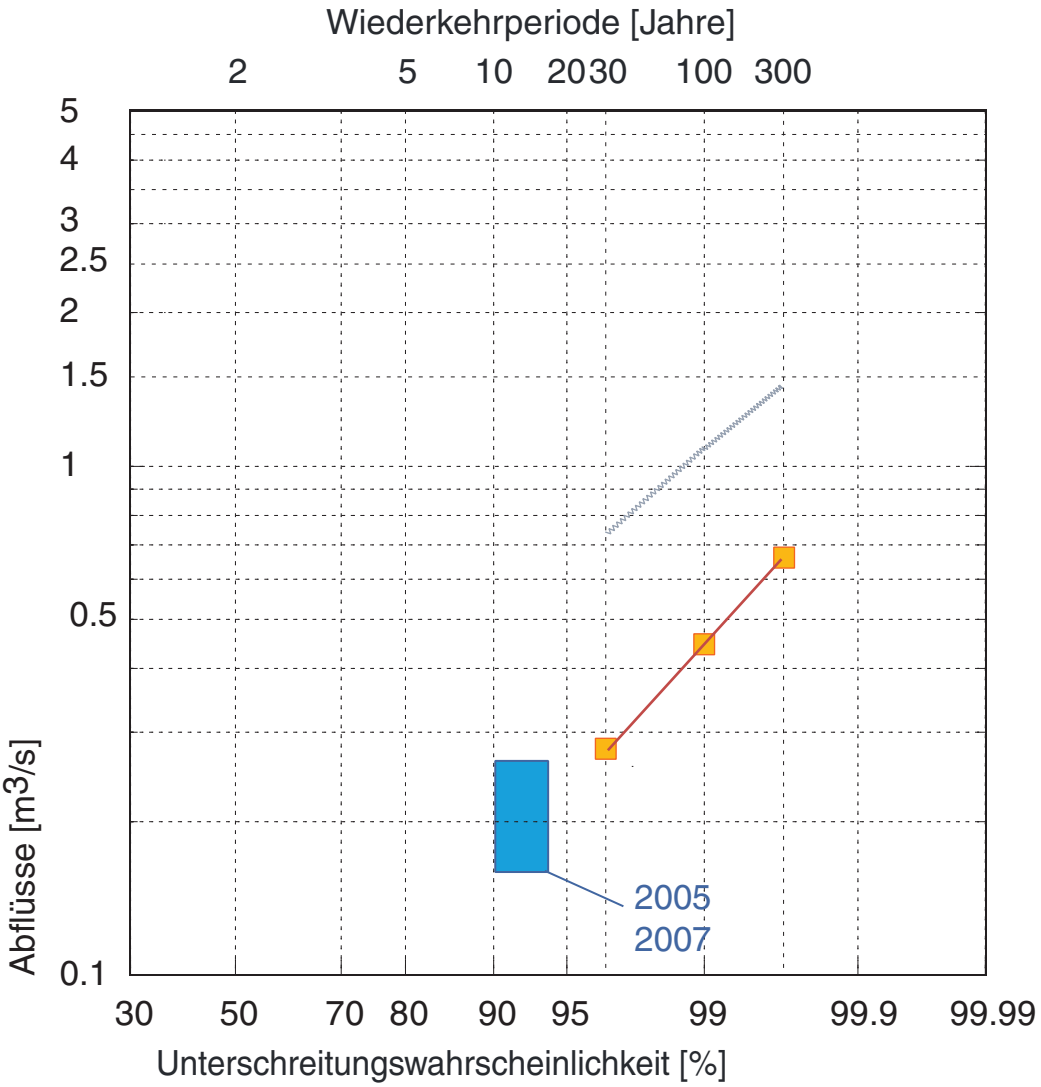
Bemerkungen

durchgehende Daten von 1.8.1880 bis 31.12.2010

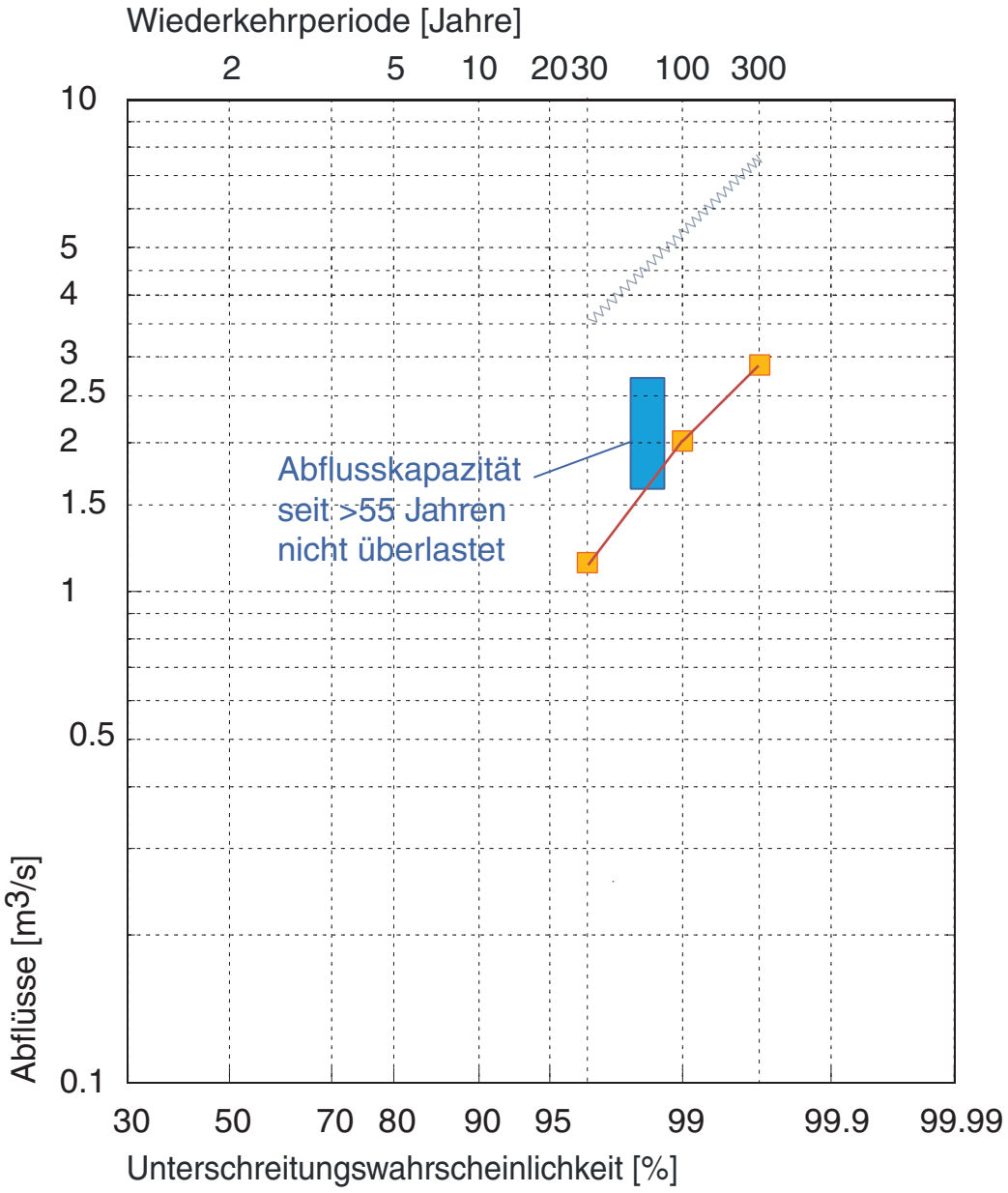
Anhang 6.4: Die analog zu Röthlisberger et al. (1992) erstellte Starkniederschlagsstatistik für die Station Luzern (1881 - 2010).

Anhang 7: Standort, Ablesedatum, Abfluss in m^3/s und Rangierung der erfassten Pegelhöhen während der Zeitperiode vom 21.4.1988 bis 16.8.2004 am Grenzwertpegel Rümlig-Schachen.

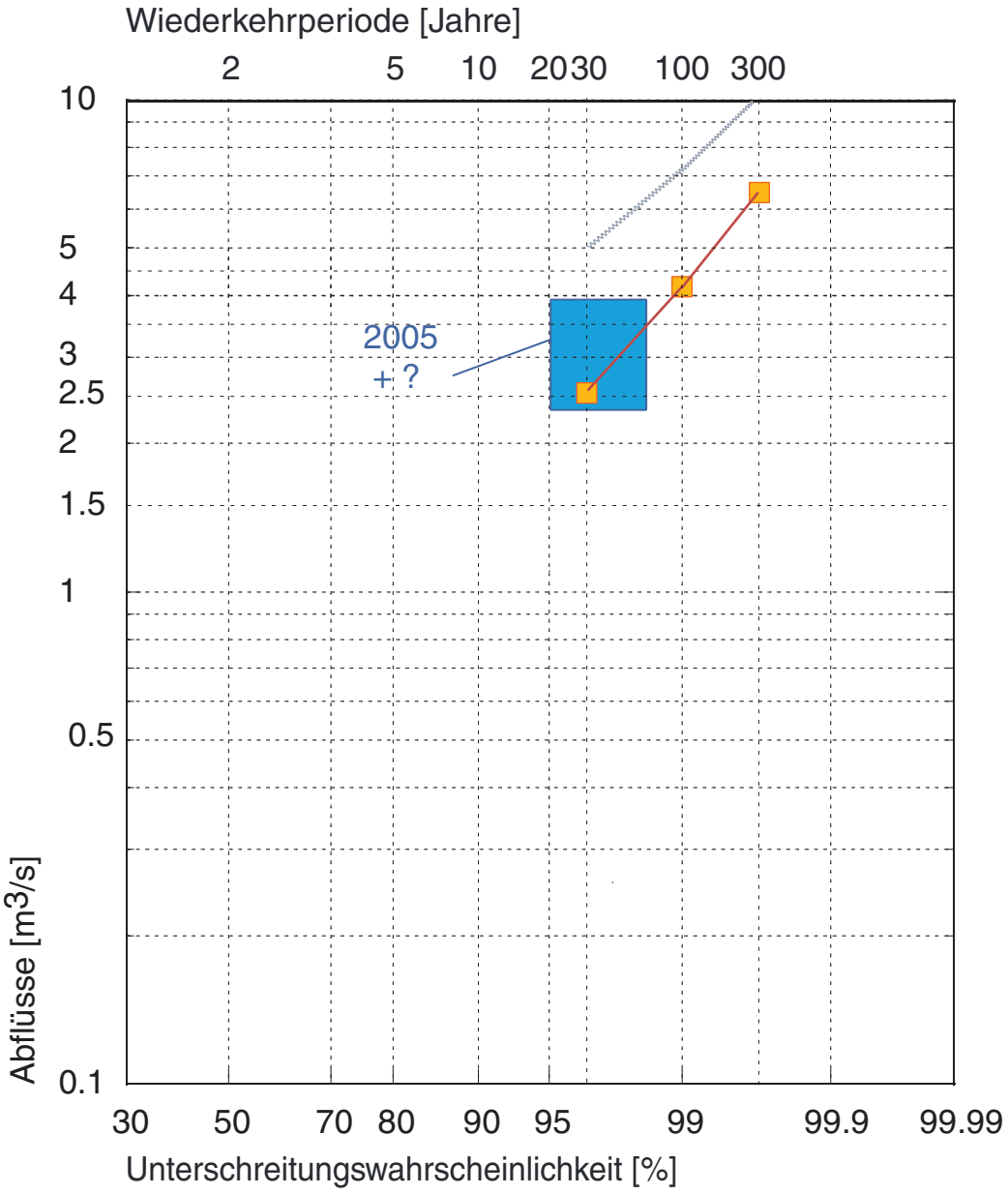
Pegelstandort	Ablesedatum	Q (m^3/s)	Rang	Ereignis vom
Holzguet	18.07.1989	109.4	1	
unterhalb Bahnlinie	09.08.2002	97.7	2	16.07.2002
Holzguet	08.07.1992	77.2	3	
Holzguet	26.07.1990	68.2	4	
unterhalb Bahnlinie	02.11.2000	61.1	5	
unterhalb Bahnlinie	14.05.1998	49.5	6	
unterhalb Bahnlinie	20.06.2002	38.2	7	
unterhalb Bahnlinie	25.10.2001	33.3	8	
unterhalb Bahnlinie	08.12.1994	31.4	9	
unterhalb Bahnlinie	10.09.1999	29.8	10	
unterhalb Bahnlinie	02.12.2002	29.8	11	
Holzguet	21.11.1989	28.7	12	
unterhalb Bahnlinie	21.06.1999	25.7	13	
Holzguet	28.10.1992	25.6	14	
unterhalb Bahnlinie	24.06.2004	25.5	15	01.06.2004
unterhalb Bahnlinie	27.08.1996	23.0	16	
unterhalb Bahnlinie	13.07.2000	22.8	17	
unterhalb Bahnlinie	04.07.2001	22.8	18	
Holzguet	17.11.1988	21.6	19	
unterhalb Bahnlinie	22.08.2002	21.0	20	11.08.2002
unterhalb Bahnlinie	27.04.2004	21.0	21	
Holzguet	04.04.1991	20.6	22	
Holzguet	16.07.1991	20.6	23	
unterhalb Bahnlinie	05.08.2003	20.2	24	
Holzguet	15.11.1990	19.6	25	
unterhalb Bahnlinie	19.11.1998	18.9	26	
Holzguet	31.10.1991	16.0	27	
Holzguet	08.03.1989	15.2	28	
Holzguet	21.04.1988	14.8	29	
unterhalb Bahnlinie	24.04.2001	14.5	30	
Holzguet	07.04.1992	13.9	31	
Holzguet	31.03.1993	13.9	32	
unterhalb Bahnlinie	15.04.2002	13.2	33	
Holzguet	26.03.1990	12.7	34	
unterhalb Bahnlinie	21.03.2000	12.4	35	
unterhalb Bahnlinie	27.09.1995	12.1	36	
unterhalb Bahnlinie	10.04.2003	11.3	37	
unterhalb Bahnlinie	16.08.2004	11.3	38	
unterhalb Bahnlinie	17.04.1997	11.1	39	
unterhalb Bahnlinie	04.06.2003	10.7	40	02.06.2003
unterhalb Bahnlinie	15.12.1999	10.2	41	
Holzguet	10.06.1993	10.0	42	
Holzguet	29.06.1988	8.3	43	
unterhalb Bahnlinie	26.04.1995	7.3	44	
unterhalb Bahnlinie	11.08.1998	7.2	45	
unterhalb Bahnlinie	01.10.2003	6.0	46	
unterhalb Bahnlinie	25.04.1996	2.6	47	
unterhalb Bahnlinie	05.04.1994	1.5	48	
unterhalb Bahnlinie	02.06.1994	1.5	49	
unterhalb Bahnlinie	28.08.1997	0.4	50	



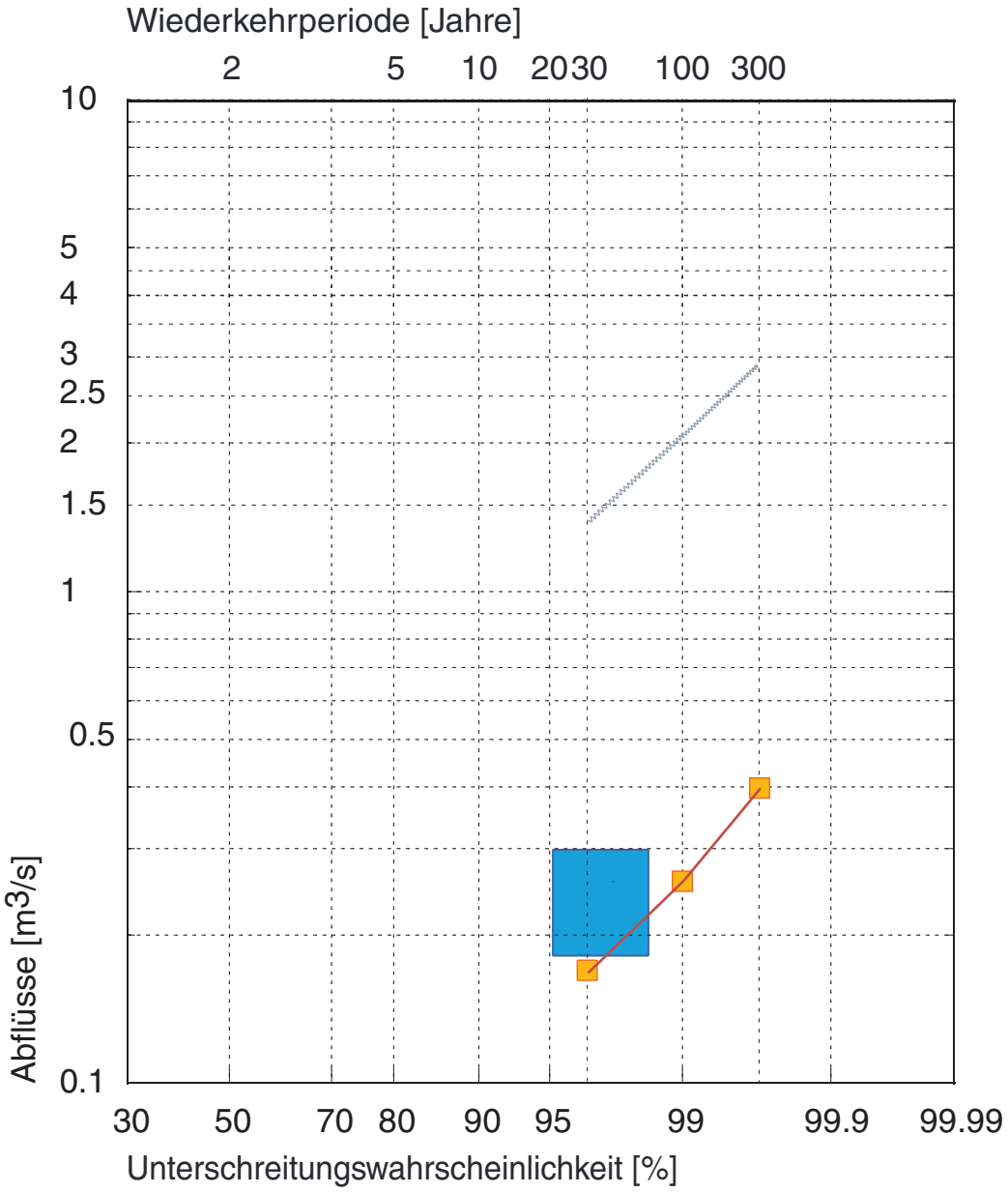
Anhang 8.1: *Frequenzdiagramm des Inneren Hirzmattbachs (BP 168, 0.025 km²). Eingetragen sind die abgeschätzten Hochwasser von 2005 und 2007. Die Resultate der Übertragungen sind orange dargestellt. Referenzgebiet war der Rümlig. Die rote Linie markiert die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue, gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007).*



Anhang 8.2: *Frequenzdiagramm des Mäderslehnbachs (BP 161, 0.19 km^2). Eingetragen ist die geschätzte Abflusskapazität des Durchlasses am Berechnungspunkt, die gemäss Anwohner in den letzten 55 Jahren nicht überschritten wurde. Die Resultate der Übertragungen sind orange dargestellt. Referenzgebiet war der Rümlig. Die rote Linie markiert die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue, gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007).*



Anhang 8.3: *Frequenzdiagramm des Guggernälbachs (BP155, 0.27 km²). Eingetragen ist die geschätzte Abflusskapazität des Durchlasses am Berechnungspunkt, der gemäss Anwohner in den letzten 60 Jahren 1 - 3 Mal überlastet war, aber vermutlich durch Verstopfen. Die Resultate der Übertragungen sind orange dargestellt. Referenzgebiet war der Rümlig. Die rote Linie markiert die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue, gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007).*



Anhang 8.4: *Frequenzdiagramm des Fluebachs (BP152, 0.043 km²). Eingetragen ist die geschätzte Abflusskapazität des Durchlasses am Berechnungspunkt, der gemäss Anwohner in den letzten 30 Jahren nie überlastet war. Die Resultate der Übertragungen sind orange dargestellt. Referenzgebiet war der Rümlig. Die rote Linie markiert die vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die graue, gezackte Linie markiert die Hochwasserabflüsse aus der Gefahrenkarte (Bart und Louis, 2007).*