

## Hydrologische Grundlagen für den Grenzbach Maihof in Luzern



*Grenzbach Maihof in Luzern: Durchlass Hünenbergstrasse (oben links), im Gebiet Unterlöchli (oben rechts), Zusammenfluss mit dem Seitenbach vom Wesemlinwald (unten links), Einlauf Schachenstarsse (unten rechts)*

**Auftraggeber:**  
**Abteilung Naturgefahren**  
**Verkehr und Infrastruktur**  
**Kanton Luzern**

Bericht 16 / 223

Reinach, Juni 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Gebietskennwerte.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Verwendete Daten und Unterlagen.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Historische Hochwasser.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Ausbaugeschichte.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 Die historischen Hochwasser am Grenzbach Maihof.....</b>	<b>6</b>
<b>3.4 Schlussfolgerungen.....</b>	<b>7</b>
<b>4 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Einleitung.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Geologie und Hydrogeologie.....</b>	<b>8</b>
<b>4.3 Böden.....</b>	<b>8</b>
<b>4.4 Abflussreaktion der Siedlungsgebiete.....</b>	<b>9</b>
<b>4.5 Abflussreaktionskurven.....</b>	<b>10</b>
<b>5 Abflussberechnungen.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Einleitung.....</b>	<b>15</b>
<b>5.2 Grundlagen und Aufbau des Modells QArea.....</b>	<b>15</b>
<b>5.3 Modellverifikation.....</b>	<b>17</b>
<b>5.4 Niederschlag-Szenarien.....</b>	<b>18</b>
<b>5.5 Hochwasser - Rückhalt.....</b>	<b>19</b>
<b>5.6 Abflussberechnungen.....</b>	<b>20</b>
<b>6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit.....</b>	<b>21</b>
<b>6.1 Einleitung.....</b>	<b>21</b>
<b>7 Anhang.....</b>	<b>24</b>

# 1 Einleitung

Der Grenzbach Maihof entwässert ein ca. 1 km<sup>2</sup> grosses Einzugsgebiet (EZG, Abb. 1.1). Der geologische Untergrund des EZG ist aus Molasse (Obere Meeresmolasse) aufgebaut, die vorwiegend aus Sandsteinen und untergeordnet auch aus Mergeln besteht. Kleinräumig ist die Molasse von Moränenmaterial der Würmvergletscherung bedeckt. Das EZG besteht zu einem Drittel aus überbauten Siedlungsgebieten und zu zwei Dritteln aus landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Wald. Bezüglich der topographischen Höhe erstreckt sich das EZG von ca. 419 m – 685 m ü. M. Der Grenzbach Maihof fliesst in seinem Oberlauf grösstenteils offen, bevor er oberhalb der Schachenstrasse bzw. Maihofstrasse (Abb. 3.1) in eine Eindolung geführt wird. In einer Geländekerbe quert er dann - immer noch eingedolt - einen kleinen Nagelfluh-Hügelzug und mündet dann schliesslich wieder offen in den Rotsee.

Da ein Grossteil des unteren Einzugsgebiets überbaut ist, prägt die Siedlungsentwässerung das Abflussverhalten des Grenzbaches Maihof wesentlich. Auch die Einzugsgebietsgrenzen werden massgeblich durch die Siedlungsentwässerung beeinflusst. Die Bestimmung des effektiven EZG war daher eine vorrangige Aufgabe der vorliegenden Studie. Daneben stellte sich die Frage, wie die bezüglich Geologie, Böden, Geomorphologie und Landnutzung sehr unterschiedlich aufgebauten Flächen auf Starkregen reagieren.

Die Gefahrenkarte zeigt verschiedene Flächen mit mittlerer Gefährdung (blau) und geringer Gefährdung (gelb). Die Frage stellt sich, ob die mit einfachen Standardverfahren abgeschätzten Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit (HQ<sub>x</sub>: HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub>) realistisch sind. Diese Verfahren sind grob und sind bekannt dafür, dass sie oftmals HQ<sub>x</sub> „auf der sicheren Seite“ liefern. Deshalb werden die HQ<sub>x</sub> am Grenzbach Maihof mit der vorliegenden detaillierten hydrologische Untersuchung überprüft. Diese basiert auf Erkundungen historischer Hochwasser, der Beurteilung der Abflussreaktion und dem Aufbau eines Niederschlag-Abflussmodells. Dafür wurden an wesentlichen Stellen entlang des Grenzbachs Maihof 6 Bemessungspunkte (BP) festgelegt.

In einem ersten Schritt wurden die erforderlichen Grundlagen zusammengestellt (Kap. 2). Die Aufarbeitung der Hochwassergeschichte am Grenzbach Maihof ist im Kapitel 3 dargestellt. Die Abflussbereitschaft des EZG wurde untersucht, indem die geologischen und bodenkundlichen Grundlagen ausgewertet und mit Sondierungen im Gelände ergänzt wurden. Das EZG wurde nach Hochwasser relevanten Abflussprozessen beurteilt und kartiert (Kap. 4). Szenarien für Niederschläge unterschiedlicher Jährlichkeit und Dauer wurden für die Modellrechnungen anhand der aktualisierten Niederschlagsstatistik von Luzern (Kap. 5) bereitgestellt. Kapitel 5 zeigt das auf die Verhältnisse des Grenzbachs Maihof ausgelegte Niederschlag-Abflussmodell (NAM) mit der Verifikation und den mit verschiedenen Szenarien durchgeführten Abflussberechnungen an 6 Berechnungspunkten. In Kapitel 6 werden in einer Synthese unter Berücksichtigung aller Erkenntnisse die massgebenden Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit hergeleitet.

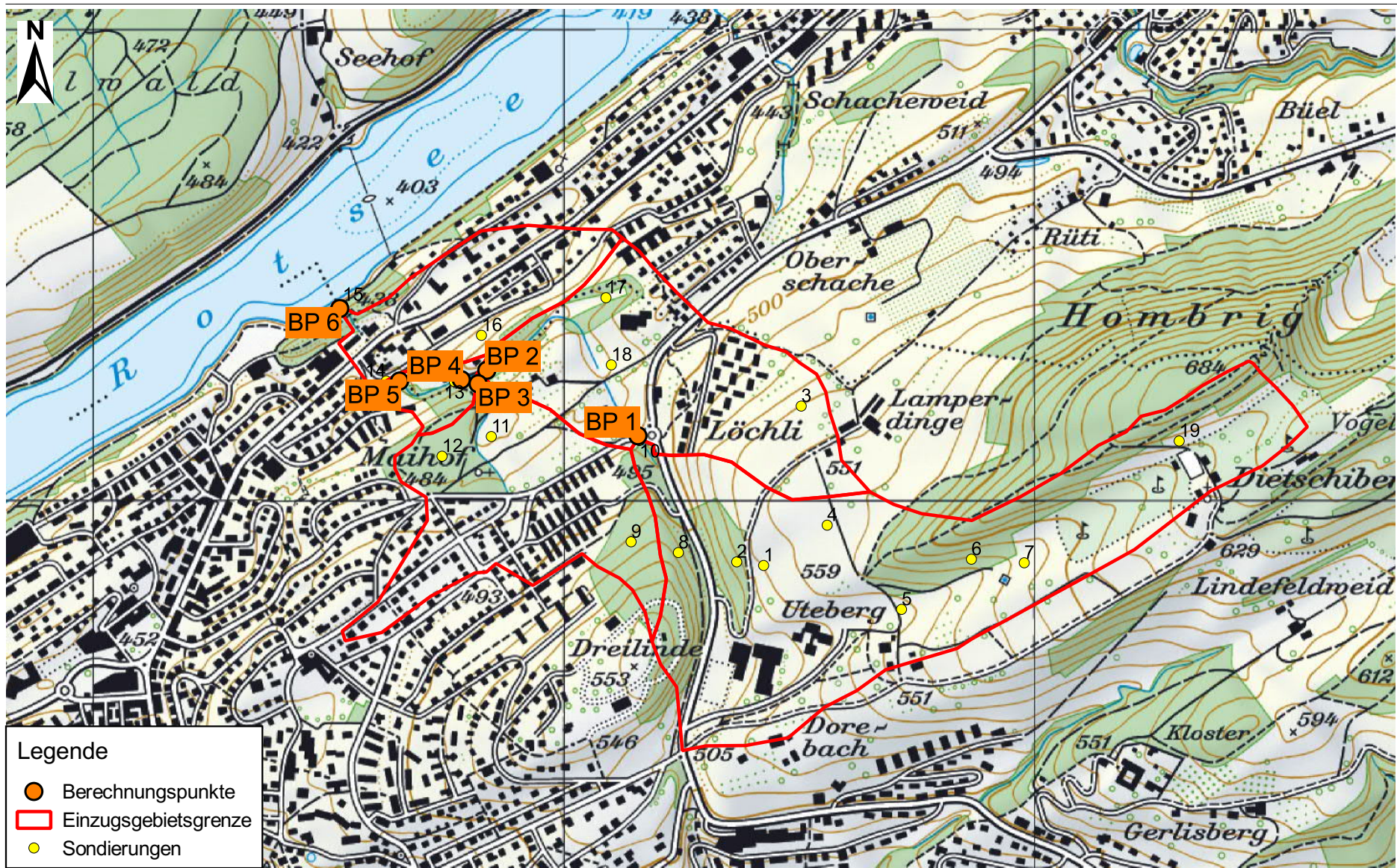


Abb. 1.1: Übersicht über das Einzugsgebiet des Grenzbachs Maihof

## 1.1 Gebietskennwerte

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

Tab. 1.1: Gebietskennwerte Grenzbach Maihof

Höchster Punkt im Einzugsgebiet (EZG) (Hombrig, Dietschiberg)	685 m ü. M.
Tiefster Punkt im EZG (Mündung Rotsee)	419 m ü. M.
EZG oberhalb BP 1: Grenzbach Maihof bis Kreisel Hünenbergstr. / Adligenswilerstr.	0.47 km <sup>2</sup>
EZG oberhalb BP 2: Grenzbach Maihof bis Hüneberg	0.69 km <sup>2</sup>
EZG oberhalb BP 3: Seitenbach vom Wesemlinwald	0.18 km <sup>2</sup>
EZG oberhalb BP 4: Grenzbach Maihof unterhalb Zusammenfluss mit Seitenbach	0.87 km <sup>2</sup>
EZG oberhalb BP 5: Grenzbach Maihof oberhalb Durchlass Schachenstrasse	0.89 km <sup>2</sup>
EZG oberhalb BP 6: Grenzbach Maihof an der Mündung in den Rotsee	1.0 km <sup>2</sup>

## 2 Verwendete Daten und Unterlagen

- Arnet X. (1881): Die Niederschläge in Luzern in den Jahren 1861 – 1880, Anhang No. 1 zum Jahrgang 1881 der Annalen der schweizerischen meteorologischen Centralanstalt.
- FAL (1988): Bodenkarte Luzern, Blatt 1150, Massstab 1: 25'000, mit Erläuterungen von Peyer K. Hrsg. Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz.
- Gees A. (1997): Analyse historische und seltener Hochwasser in der Schweiz - Bedeutung für das Bemessungshochwasser. Geographisches Institut der Universität Bern. Geographica Bernensia G53.
- Geiger H., Zeller J., Röthlisberger G. (1991): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Bd. 7, Hrsg. von der Eidg. Anstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- GIUB (1998): Datenbank der Schadenereignisse der Schweiz (1800 – 1994).
- Haller, P. (2008): Quartiergespräch.
- Holinger AG, Hunziker, Zarn & Partner AG, tur gmbh (2005): Gefahrenkarte Stadt Luzern, Prozess Wasser, Technischer Bericht
- Hunziker, Zarn & Partner (2016): Gefahrenkarte Stadt Luzern, Überarbeitung Gefahrenkarte Wasser, Modul 2, Technischer Bericht.
- IHW-ETH Zürich, Scherrer AG (2002): Der Einfluss der Siedlungsentwicklung auf die extremen Hochwasser der Glatt (ZH), Bericht 01/24, Dez. 2002.
- Jäckli H., Kempf Th. (1972): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 100'000. Blatt Bözberg - Beromünster. Hrsg. Schweiz. Geotechnische Kommission.
- Kienzler P., Naef F. (2008): Subsurface storm flow formation at different hillslopes and implications for the 'old water paradox'. Hydrological Processes, 22, 104–116.
- Kauffmann, F.J. (1860): Untersuchungen über die mittel- und ostschweizerische subalpine Molasse. Denkschrift der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft.
- Kopp J. (1962): Geologischer Atlas der Schweiz, Atlasblatt 28 Luzern im Massstab 1 : 25'000 mit Erläuterungen. Hrsg. Schweiz. Geologische Kommission.
- Kt. LU (2009): Ereignisdokumentation Unwetter 08.08.2009.
- Kt. LU (2014): Ereignisdokumentation Unwetter 29.8.2014.
- Kt. LU (2016): Diverse topographische Daten (Luftbilder, Gewässerkataster, Waldvegetationskarten, etc.)

- 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.
- Martin R. (1980): Zur Stadtgeographie des Maihofquartiers. In: Pfister et al.: Maihof-Rotsee: Geschichte und Eigenart eines Quartiers.
- Meier J. (1939): Die Unwetter in der Schweiz 1900 – 1950. Kant. Tiefbauamt Luzern.
- MeteoSchweiz: Niederschlagsdaten verschiedener Starkregenereignisse. Witterungsberichte und Annalen, diverse Jahre.
- Naef F., Scherrer S., Zurbrugg C. (1999): Grosse Hochwasser – unterschiedliche Reaktion von Einzugsgebieten auf Starkregen. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Blatt 5.7.
- Naef F., Scherrer S., und Frauchiger R. (2004): Wie beeinflusst die Siedlungsentwicklung von Zürich-Nord die Hochwasser der Glatt? Wasser Energie Luft, 96, 11/12, 331-338.
- oeko-b (2015): Unwetter 7. Juni 2015, Fotodokumentation Luzern (LUZ).
- Pfister H., Kaufmann E, Zwyer J., Kurmann H. (1980): Maihof-Rotsee: Geschichte und Eigenart eines Quartiers.
- Quartierzeitungen der Quartiere Maihof und Wesemlin.
- Röthlisberger G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte WSL, Berichtnummer 330.
- Scherrer AG (2004): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz.
- Scherrer S. (1997): Abflussbildung bei Starkniederschlägen – Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. In: Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 147.
- Scherrer, S., und Naef, F. (2003): Hochwasserabschätzung mit Niederschlag-Abfluss-Modellen (NAM). Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten – Praxishilfe Berichte des BWG, Bern. Serie Wasser ; Nr. 4, 25-32.
- Spreafico et al. (2003): Hochwasserabschätzung in Schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4
- Stadt Luzern (2016): Werkpläne Entwässerung Massstab 1:500.
- StorMe – Naturereigniskataster, [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)
- WSL, Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2016): Ereignisdokumentation Hochwasserschäden in der Gemeinde Luzern (1972-2015).
- Zeitungen, verschiedene.
- Zeller J., Geiger H., Röthlisberger G. (1978): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Bd. 3, Hrsg. von der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

#### Gewährspersonen

- Herr Markus Portmann, Feuerwehr Stadt Luzern
- Herr Martin Marfurt, Kommandant, Feuerwehr Ebikon-Dierikon
- Frau Alexandra Iten, Administration Schulhaus Felsberg – Unterlöchli
- Herr Otto Flüher, Stadtteilleiter Unterhalt Ost
- Herr Alois Piller, Unterhalt Ost
- Herr David Catomas, Wuhraufseher
- Frau Waser, Schachenstrasse 20
- Herr Hugo Burkhart, Rotseewärter

## 3 Historische Hochwasser

### 3.1 Einleitung

Am Grenzbach Maihof liegen keine Abflussmessungen vor. Durch die Erkundung historischer Hochwasser wurden Informationen über die Häufigkeit und Grösse von Hochwasserereignissen gesammelt. Das Zusammentragen von Informationen aus Zeitungen, Archiven und Angaben von Anwohnern erschliesst ein Beobachtungszeitraum von ca. 60 - 80 Jahren.

### 3.2 Ausbaugeschichte

Das Einzugsgebiet des Grenzbachs Maihof war bis in die 1920er Jahre nur wenig dicht besiedelt, danach jedoch setzte bis Ende der 1940er Jahre starke Bautätigkeit ein (Pfister et al., 1980). Erst in den letzten 15 Jahren wurden noch einmal grössere Parzellen überbaut (Oberlöchli und Unterlöchli). Der Grenzbach Maihof floss im Unterlauf ursprünglich südwestlich entlang des Stampfeliwaldes und beeinflusste die Entstehung des Rotseematten-Deltas (Abb. 3.1). Dies ist auf einem Plan aus dem Jahr 1780 zu erkennen (Pfister et al., 1980). Später wurde der Grenzbach Maihof künstlich durch den Nagelfluh-Hügelzug des „Stampfeli“ direkt in den Rotsee abgeleitet. Das Datum des Durchstichs ist unbekannt, er ist jedoch auf der Dufourkarte von 1855 eingezeichnet. Ende der 1950er Jahre wurde der Grenzbach Maihof im Unterlauf ab der Schachenstrasse eingedolt. Ende der 1970er Jahre wurde der Einlauf ausgebaut und optimiert.

### 3.3 Die historischen Hochwasser am Grenzbach Maihof

Im Anhang 1 sind sämtliche Informationen über historische Hochwasser detailliert zusammengestellt. Daraus zeigt sich, dass der Grenzbach Maihof nur selten im Zusammenhang mit Hochwasser erwähnt wird. Eine detaillierte Quartierschronik (Pfister et al., 1980) erlaubt einen Rückblick auf die Zeit seit Beginn der starken Bautätigkeit in den 1930er Jahren. Die Befragungen von Gewährspersonen (Kap. 1.4), die entlang des Baches wohnen oder von Amtes wegen mit dem Bach verbunden sind, bestätigten dieses Bild und gaben zusätzliche wichtige detaillierte Informationen aus den letzten 40 Jahren.

Seit 1930 wird der Grenzbach im Zusammenhang mit Hochwasser erstmals 1955 erwähnt, als am 27./28. Juli ein Niederschlag von 92 mm (MeteoSchweiz Station Luzern) Überschwemmungen im Unterlauf des Grenzbachs unterhalb der Maihofstrasse erzeugte. Als Ursache wird dabei ein verstopfter Rohreinlauf des Seitenbachs vom Wesemlinwald genannt. In der Folge wurde der Unterlauf des Grenzbachs Maihof ab der Schachenstrasse eingedolt.

Durch verstopfte Rohrleitungen ereigneten sich am 9.6.1971 sowie am 30.6.1977 weitere Überschwemmungen. Danach wurde offenbar Ende der 1970er Jahre der Einlauf optimiert und Verstopfungen durch Geschieberückhalt und verstärkten Unterhalt verhindert. Durch Befragungen der Anwohner und Verantwortlichen ergab sich, dass ab 1980 keine bedeutenden Überschwemmungen am Grenzbach Maihof mehr auftraten. Lediglich kleinere Bachaustritte infolge Verstopfungen von Einläufen am Seitenbach vom Wesemlinwald traten auf. Dies, obwohl einige bedeutende Starkniederschlagsereignisse über dem Gebiet auftraten (Anhang 2 und 3) – und zwar sowohl kurzzeitige intensive Gewitter als auch voluminöse Landregen (6.6.2002: 111 mm; 21./22.8.2005: 130 mm; 7./8.8.2007: 157 mm; 8.8.2009: 30 mm; 7.6.2015: 31 mm).

Aufgrund der Tatsache, dass die Abflüsse die vorhandenen Kapazitäten bei den Durchlässen (BP1 und BP 5) nicht überschritten haben, müssen die Abflussspitzen  $< 1.3 - 1.6 \text{ m}^3/\text{s}$  gewesen sein.

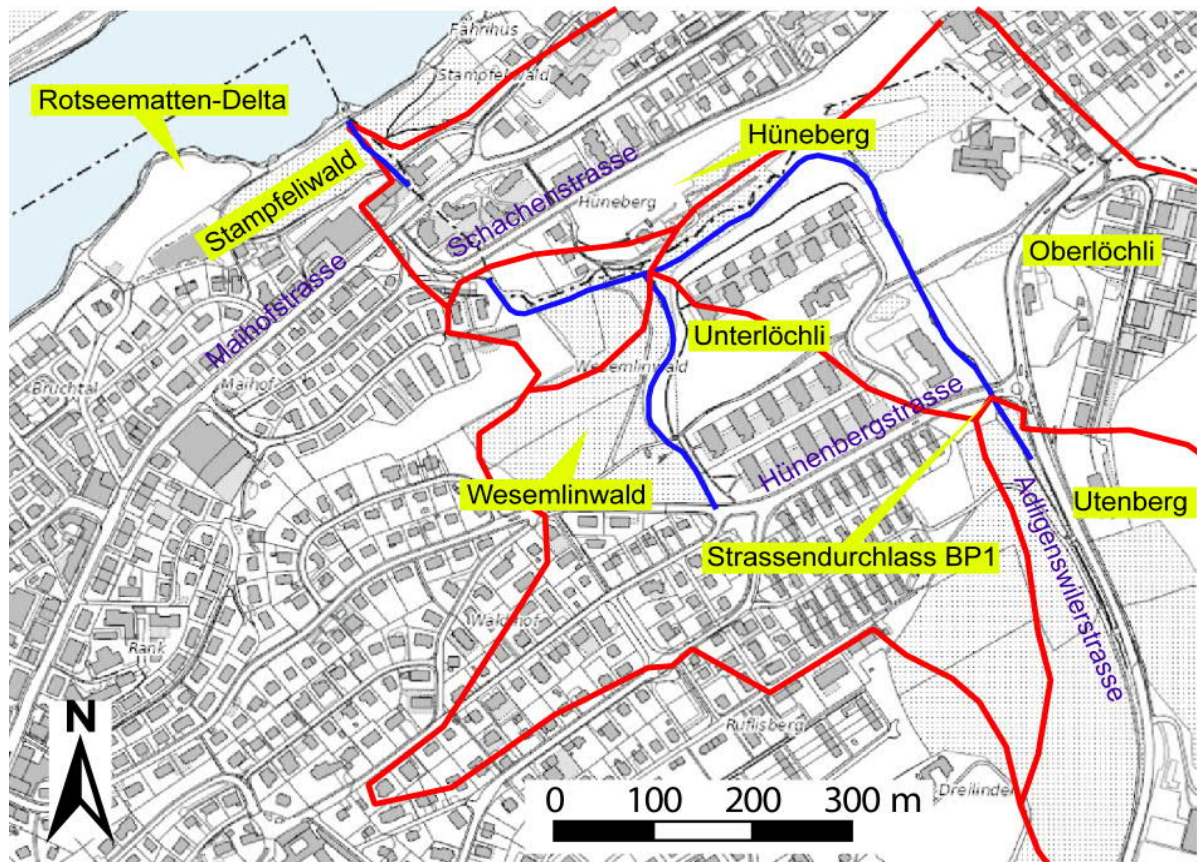


Abb. 3.1: Die wichtigsten Ortsbezeichnungen im Zusammenhang mit den historischen Hochwassern.

### 3.4 Schlussfolgerungen

Aus den Erkundungen historischer Hochwasser lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Durch die Recherchen über historische Hochwasser eröffnet sich ein Beobachtungszeitraum von ca. 60 - 80 Jahren.
- Der Grenzbach Maihof wird selten im Zusammenhang mit Hochwasser erwähnt. Lediglich drei Ereignisse mit Überschwemmungen sind aus den letzten ca. 80 Jahren dokumentiert. Diese wurden durch verstopfte Einläufe oder Rohrleitungen verursacht. Katastrophale Hochwasser sind nicht bekannt.
- Durch Optimierung des Einlaufs oberhalb der Schachenstrasse und durch Geschieberückhalt und verstärkten Unterhalt konnten in den letzten ca. 40 Jahren Überschwemmungen vermieden werden.
- Seit der Erstellung des Einlaufs Schachenstrasse (BP 5) vor ca. 60 Jahren traten nur kleinere Überflutungen infolge von Verklausungen auf. Es kann daher gefolgert werden, dass die in den letzten 40 - 60 Jahren aufgetretenen Abflussspitzen kleiner als  $1.3 - 1.6 \text{ m}^3/\text{s}$  waren.



## 4 Beurteilung der Abflussreaktion des Gebiets

### 4.1 Einleitung

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

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

### 4.2 Geologie und Hydrogeologie

Die geologischen Grundlagen stammen aus Kopp (1962), Kauffmann (1860) und aus Martin (1980) und die hydrogeologischen Angaben aus Jäckli und Kempf (1972).

**Geologie:** Der geologische Untergrund des EZG besteht aus den Schichten der subalpinen Molasse, genauer der Oberen Meeresmolasse (OSM). Ein grosser Teil des EZG ist dabei aus Gesteinen des Burdigalien (unterer Teil der OSM) aufgebaut, das vorwiegend aus dem sogenannten „Luzerner Sandstein“ besteht, ein graublauer, gut gebankter glaukonitführender Sandstein mit dünnen Mergelzwischenlagen. An das Burdigalien schliesst sich gegen Norden das Helvetien (oberer Teil der OSM) an, dessen Schichten im Unterlauf des Grenzbachs Maihof, NW des Hünenbergs den Untergrund bilden. Das Helvetien besteht aus einer Wechsellagerung von Sandstein und Mergel, sowie Nagelfluh. Nagelfluh tritt dabei nur kleinräumig im EZG des Grenzbachs auf und zwar im Stampfeliwald. Im künstlichen Durchbruch des Grenzbach – Unterlaufs vor der Mündung in den Rotsee ist der Nagelfluh aufgeschlossen. Kleinräumig sind die Gesteine der Molasse von Moränenmaterial der Würmvergletscherung bedeckt (Utenberg und Unterlöchli). Das Tal des Grenzbachs Maihof entstand aus einem Querbruch der Würzenbach-Antiklinale, der als glaziale Abflussrinne eingetieft wurde.

**Hydrogeologie:** Die Durchlässigkeit der OSM wird als mittelgross bis gering betrachtet und ist nur lokal stauend. Im EZG gibt es keine Quellen oder Grundwasserträger von Bedeutung (Jäckli & Kempf, 1972).

### 4.3 Böden

Als bodenkundliche Grundlagen standen die generalisierte Bodenkarte des Blatts Luzern (FAL, 1988; Massstab 1:25'000) zur Verfügung, die auch als online-Karte eingesehen werden kann (<http://www.geo.lu.ch/map/boden/>). Indirekte Information über die Eigenschaften der Böden konnten aus der geologischen Karte Luzern (Kopp, 1962) gewonnen werden. Einen detaillierten Einblick in die Bodengeographie ergaben die 18 Sondierungen (Mai 1 – Mai 18)

mit der Schlagsonde nach Pürckhauer (Kerndurchmesser 2 cm). Die Sondierorte wurden verteilt im EZG so festgelegt, dass spezifische Fragen wie Vernässungsgrad, Körnung und Mächtigkeit der Böden beantwortet werden konnten.

Die Lage der Sondierungen ist in Abbildung 1.1 eingetragen und die Profile sind im Anhang 4.1a-b dargestellt und im Anhang 4.2 kurz beschrieben. Diese Profile wurden nach Infiltration, Speichervermögen und nach dem zu erwartenden Abflussprozess beurteilt und bilden die Grundlage für die Kartierung des Gebiets nach der Abflussbereitschaft.

Grosse Flächen im EZG weisen sandig-siltige bis siltig-lehmige, gut durchlässige Braunerden mittlerer bis grosser Gründigkeit auf (Mai1, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 16). In einzelnen steileren Lagen entwickelten sich flachgründigere Braunerde-Böden (Mai3, 4) oder gar Ranker (Mai2). Anzeichen auf zeitweisen Wasserstau in den Profilen wurden nur bei wenigen Profilen beobachtet (Mai7, 12 und 17). Augeprägte Staunässe wurden nur bei Mai11 und Mai18 (Pseudogley) angetroffen. Dies lässt darauf schliessen, dass die verbreitet vorkommende OMM kein ausgesprochener Stauer ist. Die staunassen Böden wurden lediglich in gewässernahen Mulden angetroffen, die aufgrund ihrer Flachheit und Gewässernähe kaum oder nur langsam drainieren.

### **4.3 Abflussprozesse und Abflusstypen auf natürlichen (nicht überbauten) Flächen**

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

Nassflächen werden rasch gesättigt (Prozess: Oberflächenabfluss aufgrund rasch sich sättigender Flächen, SOF1) und tragen wie undurchlässige Flächen (Oberflächenabfluss aufgrund Infiltrationshemmnissen, HOF1, 2) rasch zum Abfluss bei. Solche Flächen sind im EZG nicht vorhanden (Abflusstyp 1: 0% Flächenanteil).

Feuchte Mulden und die unteren Teile langer Hänge weisen in Bachnähe ein geringes Feuchtedefizit auf und sättigen sich bei Starkregen (verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund der Sättigung: SOF2). Drainierte Flächen an Hängen, oder bewaldete, sehr flachgründige Böden in Steilhängen lösen raschen Abfluss im Boden aus (SSF1). Diese Flächen tragen leicht verzögert zur Entstehung von Hochwasser bei (Abflusstyp 2, 2.3%).

Mässig tiefgründige Böden mit mässiger bis guter Durchlässigkeit werden gesättigt und es bildet sich verzögerter Oberflächenabfluss (SOF2 - 3). Auf flachgründigen Böden an bewaldeten Hängen, in stau- oder hangwasserbeeinflussten Böden entsteht verzögerter Abfluss im Boden (SSF2). Sie alle gehören dem Abflusstyp 3 an (13.1%).

Ein Grossteil der Böden im EZG sind gut durchlässig und auch speicherfähig. Bei Starkregen werden sie erst nach sehr ergiebigen Niederschlägen gesättigt (Oberflächenabfluss aufgrund sich langsam sättigender Flächen, SOF3; stark verzögerter Abfluss im Boden SSF3). Solche Flächen tragen daher stark verzögert und nur mässig zum Hochwasser bei (Abflusstyp 4, 47.5%). Im günstigsten Fall sickert das Niederschlagswasser in den durchlässigen Untergrund (Tiefensickerung, DP, Abflusstyp 5, 1.1%).

#### 4.4 Abflussreaktion der Siedlungsgebiete

Die überbauten Flächen machen 36% des EZG aus und wurden nach ihrer Hochwasserrelevanz gesondert kartiert. Zuerst wurde die EZG-Fläche mit Hilfe des GEP bestimmt.

Die Beurteilung der Abflussreaktion basiert auf den Erfahrungen der Glatstudie (IHW / Scherrer AG, 2002; Naef et al., 2004). Wichtige Kriterien waren dabei die Bebauungsdichte und die Geländeneigung. Die Siedlungsflächen wurden in drei verschiedene Abflusstypen mit unterschiedlicher Abflussreaktion unterteilt (Tab. 4.2), welche ebenfalls als Grundlage für die Abflussberechnungen mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell QArea dienen.

Die Abflusstypen 1-3 und die Siedlungstypen 6 – 7 machen insgesamt 33.5% des EZG aus. Die Abflussreaktion des Grenzbachs Maihof wird daher als mässig beurteilt. Betrachtet man nur die natürlichen Flächen (Abflusstypen 1 - 3) wäre die Reaktion nur schwach bis mässig.

#### 4.5 Abflussreaktionskurven

Abbildungen 4.2a und 4.2b zeigen die Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen und Siedlungsgebiete. Auf der Grundlage von Beregnungsversuchen (Scherrer, 1997) wurden den fünf Abflusstypen der natürlichen Flächen je eine Abflussreaktionskurve zugeordnet. Die Kurven beschreiben den Anteil des abfliessenden Niederschlags in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge. Eingetragen sind die Spitzen- und die Volumenabflusskoeffizienten. Letztere zeigen, dass von den flächenmässig dominierenden Abflusstypen 3 und 4 der natürlichen Flächen (13.1% resp. 47.5% des EZG) bei einem Niederschlag von 100 mm rund 30% resp. 10% abfliesst. Die Abflusstypen (Abb. 4.1) und die Abflussreaktionskurven (Abb. 4.2 a und b) sind eine wichtige Grundlage für das Niederschlag-Abfluss-Modell (NAM). Sie beschreiben im Wesentlichen die Abflussbildung des Gebiets.

Für die Herleitung von Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen besteht eine grosse Erfahrung aus zahlreichen Studien. Vergleichbare Erfahrungen für besiedelte Flächen existieren hingegen weniger. Die Abflussreaktionskurven der Siedlungsgebiete beruhen im Wesentlichen auf Erkenntnissen, die im Rahmen der Glatstudie gewonnen wurden (IHW / Scherrer AG, 2002). Demnach fliessen vom Siedlungs-Abflusstyp S1 (1.9% des EZG) bei einem Niederschlag von 100 mm rund 85% ab, bei S2 (16.2% des EZG) 42% und S3 (17.9% des EZG) 20%.

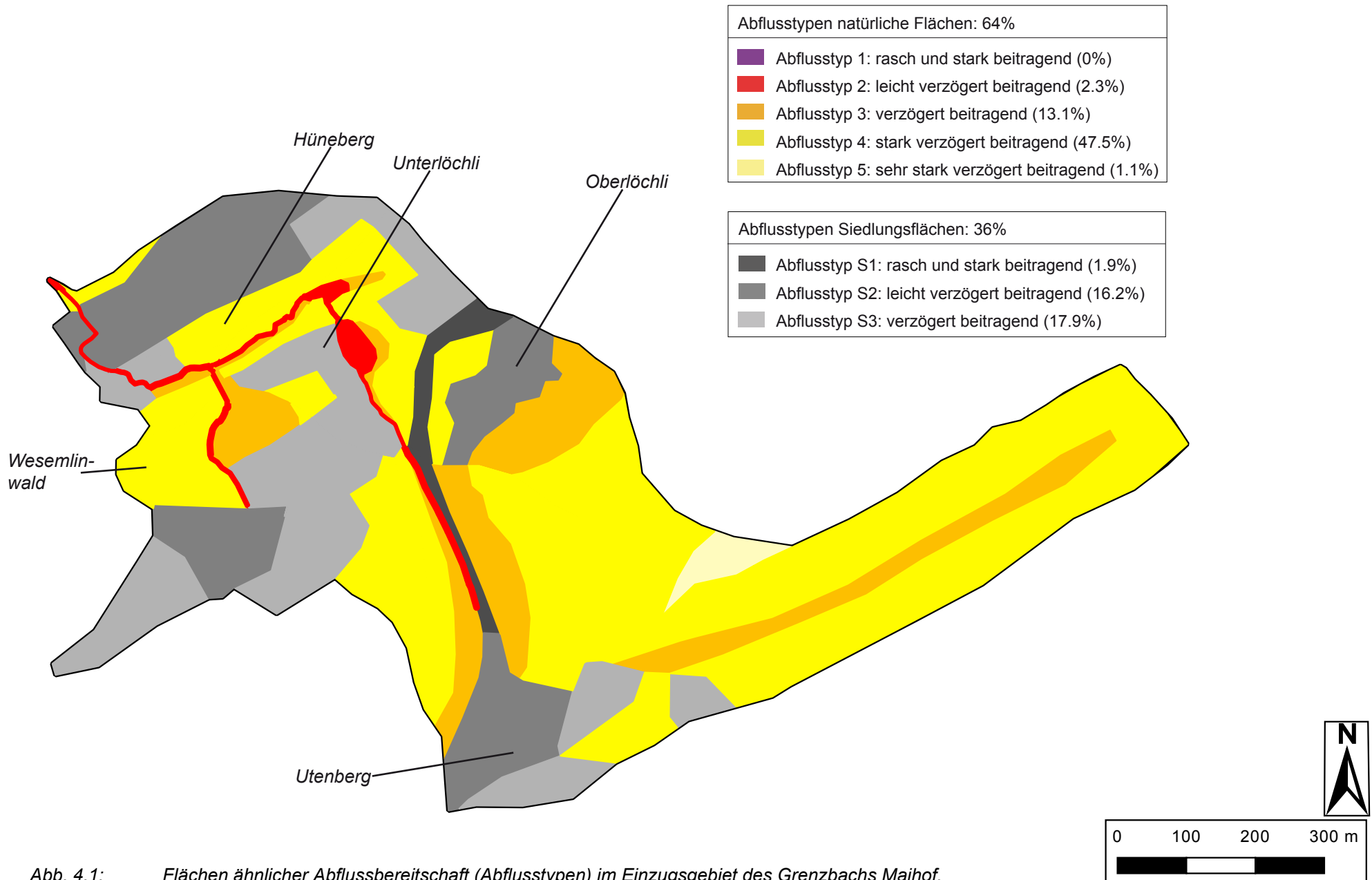


Abb. 4.1: Flächen ähnlicher Abflussbereitschaft (Abflusstypen) im Einzugsgebiet des Grenzbachs Maihof.

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

Abflusstyp	Abflussreaktion	Dominante Abflussprozesse	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil am EZG	
				(km <sup>2</sup> )	(%)
1	Rasch und stark beitragende Flächen	Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (HOF1)	Schwach durchlässige Böden mit Gefälle, verrutschte Gerinneflanken.	0	0
		Sofortiger gesättigter Oberflächenabfluss (SOF1)	Feuchtfächen		
2	Leicht verzögert beitragende Flächen	Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmnissen (HOF2)	Schwach durchlässige Böden mit geringem Gefälle.	0.02	2.3
		Leicht verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sich langsam sättigender Flächen (SOF2)	Vernässte Böden im Bereich von Quellmulden, Moore an geneigter Lage.		
		Rascher Abfluss im Boden (SSF1)	Flachgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen über schwach durchlässigem Fels mit grossem Gefälle, drainierte Flächen in Hanglage.		
3	Verzögert beitragende Flächen	Verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sehr langsam sich sättigender Böden (SOF2 - SOF3)	Mässig tiefgründige Böden mit mässiger bis guter Durchlässigkeit. Nasse Flächen in ebener Lage.	0.13	13.1
		Verzögerter Abfluss im Boden (SSF2)	Mässig tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen über Fels oder Moräne, Flächen in Gerinnenähe, drainierte Böden in flacher Lage.		
4	Stark verzögert beitragende Flächen	Sehr stark verzögerter Oberflächenabfluss aufgrund sehr langsam sich sättigender Böden (SOF3)	Tiefgründige Böden mit guter Durchlässigkeit.	0.47	47.5
		Stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3)	Tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen.		
5	Sehr stark verzögert beitragende Flächen	Tiefensickerung (DP)	Tiefgründige gut durchlässige Böden oder flachgründige, gut durchlässige Böden auf durchlässiger Geologie (Moräne, Schotter).	0.01	1.1
		Sehr stark verzögerter Abfluss im Boden (SSF3)	Tiefgründige, gut durchlässige Böden mit lateralen Fließwegen, gerinnefern.		
<b>Total</b>				<b>0.64</b>	<b>64</b>

Tab. 4.2: *Klassierung der Siedlungsflächen nach Abflusstypen im EZG des Grenzbachs Maihof.*

Abflusstyp	Abflussreaktion	Massgebende Gebietseigenschaften	Flächenanteil	
			(km <sup>2</sup> )	(%)
S1	rasch und stark beitragend	sehr dicht bebaute Flächen leicht geneigte, dicht bebaute Flächen stark geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.02	1.9
S2	leicht verzögert beitragend	ebene, dicht bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen geneigte, locker bebaute Flächen	0.16	16.2
S3	verzögert beitragend	geneigte, locker bebaute Flächen leicht geneigte, mässig dicht bebaute Flächen	0.18	17.9
<b>Total</b>			<b>0.36</b>	<b>36.0</b>

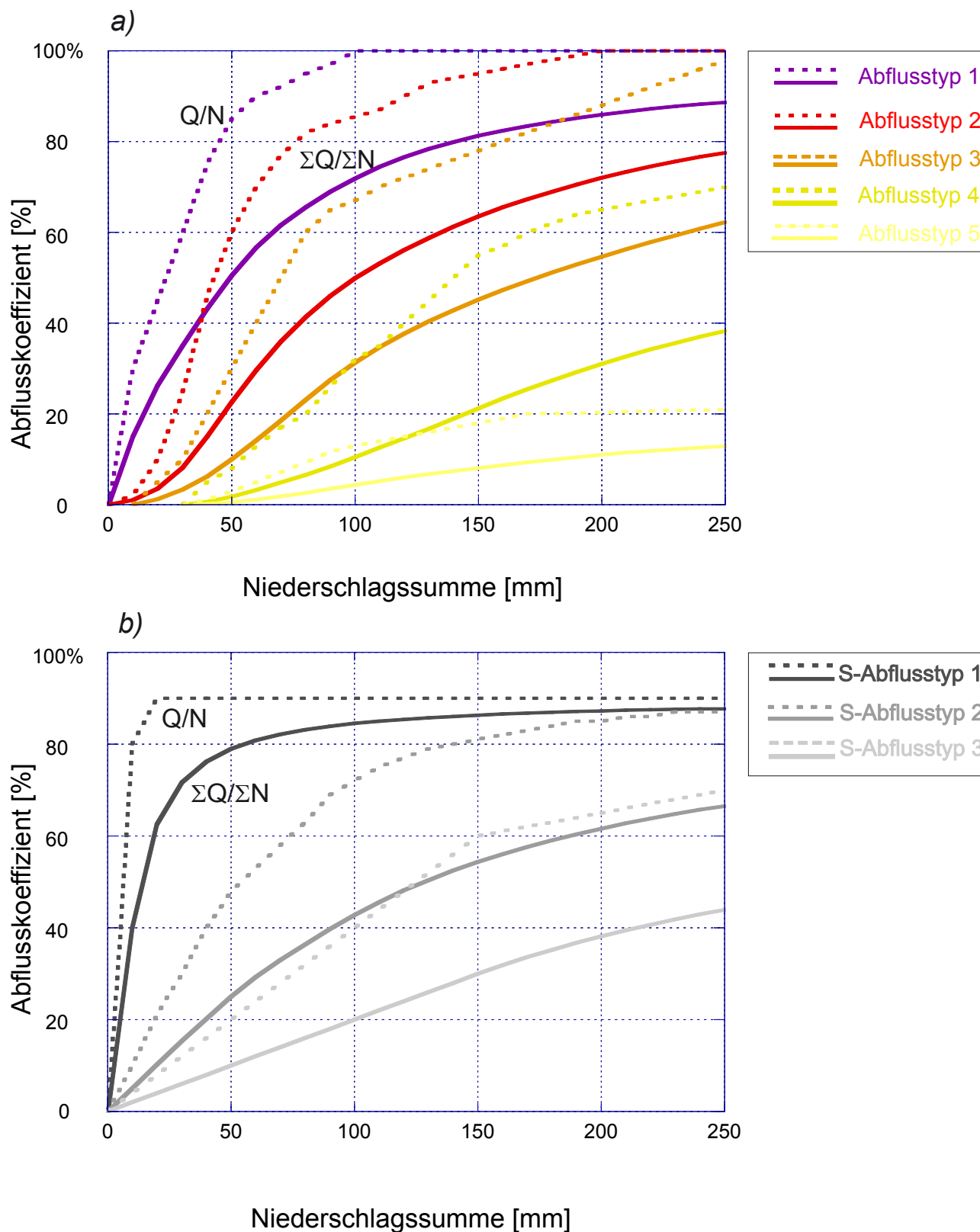


Abb. 4.2: Die Abflussreaktionskurven für natürliche Flächen (Abb. 4.2a) und für Siedlungsflächen (Abb. 4.2b). Sie definieren den Anteil des abfließenden Niederschlags in Abhängigkeit der Niederschlagssumme. Eingetragen ist der Spitzenabflusskoeffizient ( $Q/N$ , strichliert) und der Volumenabflusskoeffizient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

## 5 Abflussberechnungen

### 5.1 Einleitung

Das hier eingesetzte Niederschlag-Abfluss-Modell (NAM) Q<sub>AREA</sub> wurde am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich entwickelt und erfasst die bei der Hochwasserentstehung beteiligten Abflussprozesse (Scherrer & Naef, 2003). Dieses Modell ist ein Hilfsmittel, das erlaubt, das Abflussverhalten des EZG auf verschiedene Starkniederschläge rechnerisch zu simulieren und die Reaktion auf seltene meteorologische Bedingungen (Niederschlags-Szenarien) abzuschätzen.

### 5.2 Grundlagen und Aufbau des Modells Q<sub>AREA</sub>

Die Abbildung 5.1 zeigt die Grundlagen des NAM Q<sub>AREA</sub>. Das Modell wurde den Verhältnissen entsprechend für den Grenzbach Maihof in Luzern erstellt. Zusammenfassend die wichtigsten Grundlagen und Eigenschaften des Modells Q<sub>AREA</sub>:

- Das NAM basiert auf der Klassifizierung der **Abflussbereitschaft** der Teileinzugsgebietsflächen (Abflusstypen, Abb. 5.1b) und den dazugehörigen Abflussreaktionen (Abflussreaktionskurven, Abb. 5.1c, Kap. 4.6).
- Die **Fliesszeiten** bis zum Teileinzugsgebietsausgang (Isochronen) und die Fliesszeiten in den Gerinnen wurden berücksichtigt (Abb. 5.1d).

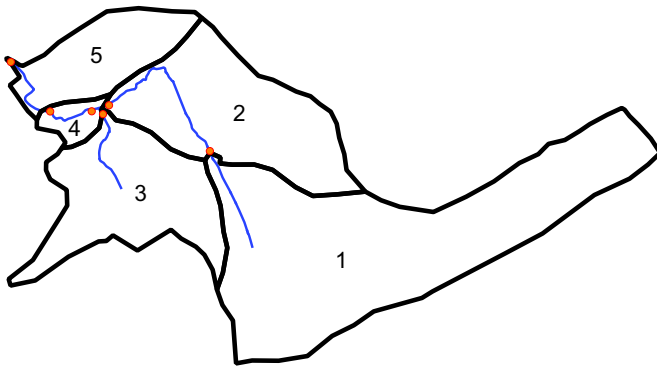
Ein Schema des eingesetzten Modells ist im Anhang 5 zu finden. Der gefallene Niederschlag wird aufgeteilt in Direktabfluss und in den Boden infiltrierendes Wasser. Das infiltrierte Wasser wird im Boden gespeichert und verzögert wieder abgegeben. Die Reaktion dieser Bodenspeicher wird mit linearen Speichern modelliert. Für jeden Abflusstyp wird eine eigene Speichercharakteristik angenommen. Der Direktabfluss erfährt auf dem Weg ins Gerinne eine Verzögerung durch Retention (Oberflächenspeicher), welche ebenfalls mit einem linearen Speicher simuliert wird.

### 5.3 Hochwasser - Rückhalt

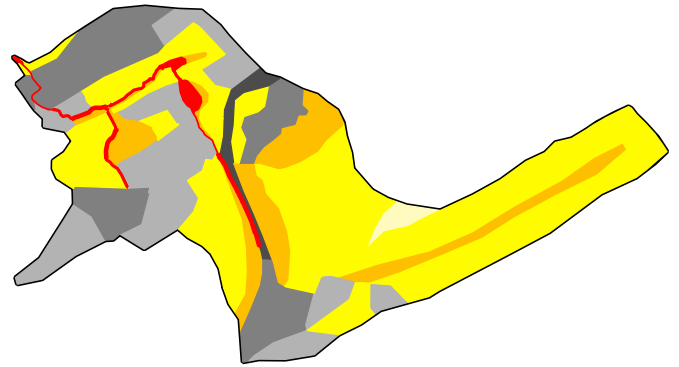
Am Berechnungspunkt BP1 beim Kreisel Hünenbergstrasse / Adligenswilerstrasse ergibt sich bei Überschreiten der Abflusskapazität des Strassendurchlasses durch die vorhandene Geländemorphologie ein **Retentionsvolumen** von ca. 2'500 m<sup>3</sup> bevor es zu einer Überschwemmung der Hünenbergstrasse kommt. Dieses kleine natürliche Rückhaltebecken wurde im NAM berücksichtigt. Der Strassendurchlass weist eine Kapazität von ca. 0.8 m<sup>3</sup>/s auf.



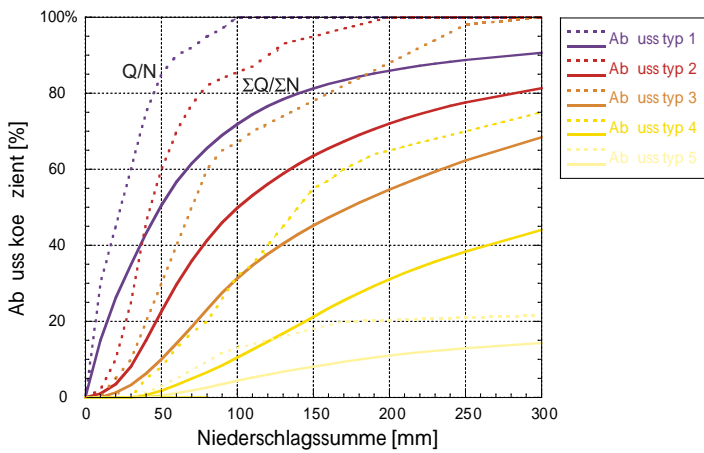
a) Teileinzugsgebiete



b) Abflusstypen



c) Abflussreaktionskurven



d) Fließzeiten (Isochronen)

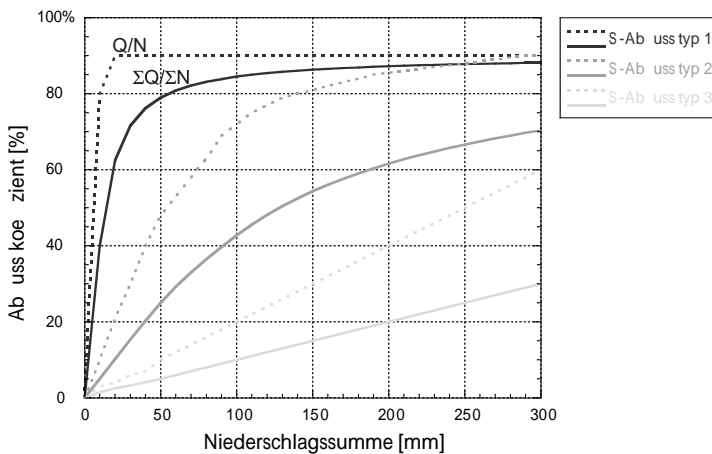
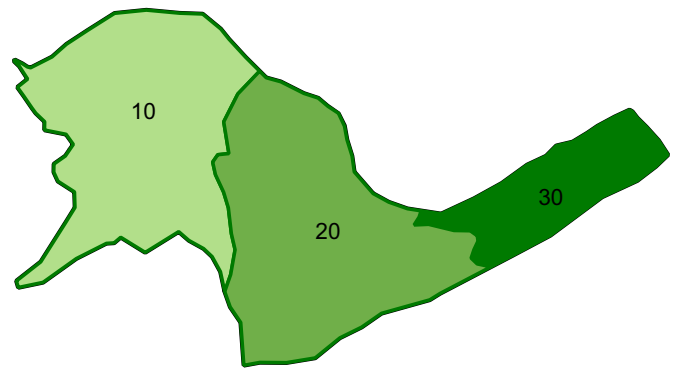


Abb. 5.1: Die Grundlagen des Niederschlag-Abfluss-Modells QAREA:  
a) Die Teileinzugsgebiete mit den Berechnungspunkten,  
b) die Abflusstypen,  
c) die Abflussreaktionskurven,  
d) die Fließzeiten in Minuten (Isochronen)

## 5.4 Modellverifikation

Für die Modellverifikation wurden die Hochwasser vom 5./6. Juni 2002, vom 21./22. August 2005, vom 8./9. August 2007, vom 8. August 2009 und vom 7. Juni 2015 nachgerechnet. Bei diesen Hochwasserereignissen waren folgende Voraussetzungen für eine Modelleichung gegeben:

- Es konnten die zeitlichen Niederschlagsverteilungen der hoch aufgelöst messenden kantonalen Stationen Emmen und Luzern für den Niederschlagsinput verwendet werden.
- Aufgrund der vorliegenden Daten der umliegenden Tagessammler konnte die räumliche Niederschlagsverteilung mittels Interpolation abgeschätzt und für den Niederschlagsinput verwendet werden.

Die Abflussspitzen der berechneten Hochwasser konnten nur sehr ungenau rekonstruiert werden. Aus den Recherchen zu historischen Hochwassern ist lediglich bekannt, dass keines der Hochwasser zu Überschwemmungen führte und somit die Abflussspitzen kleiner als die vorhandenen Abflusskapazitäten bzw. Retentionsvolumen der beiden „kritischen“ Einläufe am BP 1 (Kreisel Hünenbergstrasse) und am BP 5 (Einlauf Schachenstrasse) waren.

Die Abflusskapazität des Durchlasses an der Hünenbergstrasse (BP 1) wurde auf 0.8 m<sup>3</sup>/s abgeschätzt. Durch die vorhandene Geländemorphologie besteht an dieser Stelle bei Überschreiten der Abflusskapazität ein Retentionsvolumen von ca. 2'500 m<sup>3</sup> bevor es zu einer Überschwemmung der Hünenbergstrasse kommt. Dieses „natürlich vorhandene“ Retentionsvolumen wurde im Niederschlag-Abfluss-Modell berücksichtigt.

Die Abflusskapazität des Einlaufs an der Schachenstrasse (BP 5) wurde auf 1.3 m<sup>3</sup>/s bis maximal 1.6 m<sup>3</sup>/s abgeschätzt. Auch diese Kapazität wurde bei keinem der berechneten Hochwasserereignisse überschritten.

Die Ergebnisse der Berechnungen (Anhang 5) bestätigen die (historischen) Beobachtungen. Bei den nachgerechneten Ereignissen bleiben die berechneten Abflussspitzen unter der Abflusskapazität des Durchlasses an der Hünenbergstrasse (BP 1). Auch am Einlauf an der Schachenstrasse (BP 5) sind die berechneten Abflussspitzen bei allen Ereignissen kleiner als die Abflusskapazität.

## 5.5 Niederschlag-Szenarien

### 5.5.1 Räumliche Niederschlagsverteilung

Niederschläge haben eine zeitliche (Dauer und Intensität des Niederschlags) und eine räumliche Verteilung (Überregnung des Gebiets). Aufgrund der geringen Flächenausdehnung des Grenzbach - EZG (1 km<sup>2</sup>) wurde sowohl bei langandauernden Niederschlagsereignissen (12 – 48 h Dauer) als auch bei kurzen Starkniederschlägen ( $\leq 4$  h Dauer) angenommen, dass das ganze EZG gleichmässig überregnet wird.

### 5.5.2 Zeitliche Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensitäten

4 km südwestlich des EZG des Grenzbachs liegt die Regenmessstation Luzern der MeteoSchweiz. Von den Regenmessstationen, die über eine statistische Auswertung verfügen, liegt Luzern dem EZG am nächsten (Zeller et al. 1978). In der Niederschlagsstatistik von Zeller et al. (1978) wurden die Jahre 1881 – 1977 ausgewertet. Seit den 1990er-Jahren gab es eine Häufung von extremen Starkregen, welche in dieser Statistik nicht berücksichtigt sind. Daher wurden die Daten aus Jahrbüchern und digitalen Daten der MeteoSchweiz (Messreihe von 1881 – 2010) zusammengetragen und statistisch analog zu Zeller et al. (1978) ausgewertet<sup>1</sup>.

Bezüglich der Niederschläge mit kurzer Dauer wurden die hoch aufgelösten Niederschlagsdaten der Station Luzern der Jahre 1981 bis 2014 ausgewertet (Anhang 7). Zusätzlich stand die Auswertung der Pluviographenstreifen von 1959 bis 1977 zur Verfügung (Zeller et al., 1978), so dass eine 53 jährige Messreihe vorliegt (10 Min., 20 Min., 1 h und 4 h). Weitere bekannte Extremwerte wurden berücksichtigt (Arnet, 1881; SMA, 1945; Geiger et al., 1991; Scherrer AG, 2015):

- 57 mm in 45 Min. am 4.6.1875
- 100 bis 105 mm in 25 Minuten am 24.8.1944
- 66 mm in 45 Minuten am 7.6.2015.

Aufgrund der 1875, 1944 und 2015 beobachteten Gewitterniederschläge wurden die mit der neuen Statistik (Anhang 6) ermittelten Niederschläge von 0.5 bis 4 h um den Faktor 1.2 - 1.4 erhöht (Tab. 5.1).

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 5.1 zeigt die für die Modellrechnungen verwendeten Werte:

---

<sup>1</sup>Die neuen statistischen Werte der Station Luzern sind gegenüber Zeller et al. (1978) für den 100-jährlichen 1-Tageswert ca. 5 % höher.

Tab. 5.1: Die für die Modellrechnungen verwendeten Niederschlagswerte (Luzern 1881 – 2014, diese Werte wurden teilweise erhöht, siehe Kap. 5.5.2).

Bezeichnung des Niederschlags	Niederschlagsdauer [h]	Wiederkehrperiode [Jahre]	Zeitliche Verteilung des Niederschlags	Niederschlagsmenge [mm]	Max. Niederschlagsintensität [mm/10 min]
0.5h30j_dreieck	0.5	30	Dreieck	37.6	18.8
1h30j_dreieck	1		Dreieck	48.5	14.1
2h30j_dreieck	2		Dreieck	56.1	8.8
4h30j_dreieck	4		Dreieck	61.8	5.0
6h30j_dreieck	6		Dreieck	71.4	4.0
8h30j_dreieck	8		Dreieck	78.5	3.2
12h30j_block	12		Blockregen	89.7	1.3
24h30j_block	24		Blockregen	102.1	0.7
48h30j_block	48		Blockregen	118.9	0.4
0.5h100j_dreieck	0.5	100	Dreieck	44.1	22.1
1h100j_dreieck	1		Dreieck	57.9	16.9
2h100j_dreieck	2		Dreieck	67.4	10.5
4h100j_dreieck	4		Dreieck	73.4	5.9
6h30j_dreieck	6		Dreieck	85.0	4.7
8h30j_dreieck	8		Dreieck	93.3	3.8
12h100j_block	12		Blockregen	106.3	1.5
24h100j_block	24		Blockregen	119.5	0.8
48h100j_block	48		Blockregen	138.1	0.5
0.5h300j_dreieck	0.5	300	Dreieck	50.0	25.0
1h300j_dreieck	1		Dreieck	66.3	19.3
2h300j_dreieck	2		Dreieck	77.7	12.1
4h300j_dreieck	4		Dreieck	84.0	6.8
6h30j_dreieck	6		Dreieck	97.3	5.4
8h30j_dreieck	8		Dreieck	106.7	4.4
12h300j_block	12		Blockregen	121.4	1.7
24h300j_block	24		Blockregen	135.3	0.9
48h300j_block	48		Blockregen	155.5	0.5

## 5.6 Abflussberechnungen

Die Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2005 und August 2007 (Anhang 2) zeigte, dass in den Tagen vor den das Hochwasser auslösenden intensiven Niederschlägen bereits jeweils etwa 70 mm Regen fielen, die das Abflussverhalten des EZG beeinflussten. Deshalb wurden für die Berechnungen der langen 12 h-, 24 h- und 48 h- Niederschläge mit einem Vorregen von 70 mm gerechnet. Heftige Gewitter fallen in der Regel eher auf trockene Vorbedingungen. Bei den kurzen Niederschlägen bis 8 h Dauer wurde deshalb kein Vorregen berücksichtigt.

Tabellen 5.2 zeigt die Resultate der Modellrechnungen (Abflussspitzen). Fett gedruckt sind jeweils die grössten Abflüsse. Die Berechnungen zeigen, dass am Grenzbach Maihof Gewitterniederschläge von 1 - 4 Stunden Dauer die grössten Abflussspitzen erzeugen, wobei auch 12stündige Ereignisse nur wenig kleinere Abflussspitzen erzeugen.

Tab. 5.2: Die Resultate der Berechnungen mit dem NAM Q<sub>AREA</sub> (BP 1 – BP 6). Am BP 1 sind die Abflussspitzen ohne Retention angegeben (vor dem Durchlass Hünenbergstrasse), bzw. in Klammern die Abflussspitzen mit Retention (nach dem Durchlass).

Wiederkehrperiode [Jahre]	Dauer des Niederschlag [h]	Niederschlags-szenario	Abflussspitzen [m <sup>3</sup> /s] bei den Berechnungspunkten					
			BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6
30	0.5	Gewitter	0.38	0.7	0.23	0.9	1.0	1.2
	1	Gewitter	0.52	0.9	0.29	1.2	1.3	1.6
	2	Gewitter	0.55	<b>1.0</b>	<b>0.30</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.6</b>
	4	Gewitter	0.48	0.8	0.25	1.1	1.1	1.4
	6	Gewitter	0.51	0.9	0.26	1.1	1.2	1.4
	8	Gewitter	0.50	0.8	0.25	1.1	1.1	1.4
	12	Blockregen	<b>0.61</b>	1.0	0.27	1.2	1.2	1.5
	24	Blockregen	0.39	0.6	0.17	0.8	0.8	0.9
48	Blockregen	0.25	0.4	0.11	0.5	0.5	0.6	
100	0.5	Gewitter	0.46	1.2	0.37	1.5	1.6	1.9
	1	Gewitter	0.94 (0.8)	<b>1.5</b>	0.48	2.0	2.0	2.5
	2	Gewitter	<b>0.99 (0.8)</b>	<b>1.5</b>	<b>0.49</b>	<b>2.0</b>	<b>2.1</b>	<b>2.5</b>
	4	Gewitter	0.83 (0.8)	1.4	0.40	1.8	1.8	2.2
	6	Gewitter	0.88 (0.8)	1.4	0.41	1.8	1.8	2.2
	8	Gewitter	0.85 (0.8)	1.3	0.39	1.7	1.8	2.1
	12	Blockregen	0.78	1.2	0.33	1.5	1.6	1.8
	24	Blockregen	0.48	0.7	0.21	0.9	1.0	1.1
48	Blockregen	0.30	0.5	0.13	0.6	0.6	0.7	
300	0.5	Gewitter	1.05 (0.8)	1.5	0.54	2.0	2.1	2.6
	1	Gewitter	1.50 (0.8)	1.8	0.73	2.5	2.6	3.2
	2	Gewitter	<b>1.60 (1.15)</b>	<b>1.8</b>	<b>0.74</b>	<b>2.6</b>	<b>2.7</b>	<b>3.3</b>
	4	Gewitter	1.29 (0.86)	1.6	0.59	2.2	2.3	2.8
	6	Gewitter	1.33 ( <b>1.29</b> )	2.0	0.60	2.6	2.7	3.1
	8	Gewitter	1.27 (1.25)	2.0	0.57	2.5	2.6	3.0
	12	Blockregen	0.92 (0.8)	1.3	0.39	1.7	1.7	2.0
	24	Blockregen	0.55	0.8	0.24	1.1	1.1	1.3
48	Blockregen	0.34	0.5	0.15	0.7	0.7	0.8	

## 6 Hochwasserabflüsse definierter Jährlichkeit

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

Die wesentlichen Punkte der einzelnen Untersuchungen:

### **Ergebnisse der Erkundung historischer Hochwasser (Kap. 3):**

- Die Recherchen zu historischen Hochwassern eröffnen einen Beobachtungszeitraum von ca. 80 Jahren. Katastrophale Hochwasser traten am Grenzbach Maihof in den letzten 80 Jahren nicht auf, lediglich drei Ereignisse mit kleineren Überschwemmungen sind dokumentiert. Diese wurden durch verstopfte Einläufe oder Rohrleitungen verursacht.
- Am Einlauf Schachenstrasse (BP 5) beträgt die Abflusskapazität maximal 1.3 – 1.6 m<sup>3</sup>/s. In den letzten 40 Jahren konnten an dieser Stelle durch Geschieberückhalt und verstärkten Unterhalt Überschwemmungen gänzlich vermieden werden, obwohl einige extreme Starkregenereignisse das Einzugsgebiet trafen. Seit der Erstellung des Einlaufs Schachenstrasse (BP 5) vor ca. 60 Jahren traten nur kleinere Überflutungen infolge von Verklausungen auf. Es kann daher gefolgert werden, dass die in den letzten 40 - 60 Jahren aufgetretenen Abflussspitzen kleiner als 1.3 – 1.6 m<sup>3</sup>/s waren.

**Ergebnisse der Beurteilung der Abflussreaktion (Kap. 4):** Die Abflusstypen 1-3 und S1 - S2 sind die Flächen im EZG, welche bei einem Gewitter zum Abfluss beitragen und ca. ein Drittel des EZG ausmachen (33.5%). Deshalb kann die Abflussreaktion des Grenzbachs Maihof als mässig beurteilt werden.

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

Die Ergebnisse der Abflussberechnungen (violette Balken in Abb. 6.1) ermöglichen zusammen mit den Ergebnissen der historischen Erkundungen die Abschätzung seltener Hochwasser. Gemäss Modellrechnungen ergibt sich beim BP 5 beim Einlauf Schachenstrasse aus den grössten drei mit dem NAM berechneten Werten für ein HQ<sub>30</sub> 1.2 – 1.3 m<sup>3</sup>/s, für ein HQ<sub>100</sub> 1.8 – 2.1 m<sup>3</sup>/s und für ein HQ<sub>300</sub> 2.3 – 2.7 m<sup>3</sup>/s.

Beim BP 1 (Durchlass Hünenbergstrasse) ergibt sich 0.5 – 0.6 m<sup>3</sup>/s für ein HQ<sub>30</sub>, für ein HQ<sub>100</sub> 0.8 - 1.0 m<sup>3</sup>/s (0.8 m<sup>3</sup>/s mit Berücksichtigung der Retention) und für ein HQ<sub>300</sub> 1.3 – 1.6 m<sup>3</sup>/s (0.8 - 1.1 m<sup>3</sup>/s). Beim HQ<sub>100</sub> wird am BP 1 die Abflusskapazität leicht überschritten und ein Retentionsvolumen von ca. 800 m<sup>3</sup> aktiviert. Beim HQ<sub>300</sub> wird das vorhandene Retentionsvolumen von 2'500 m<sup>3</sup> überschritten.

### **Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit:**

Die roten Linien in Abb. 6.1 markieren den Unsicherheitsbereich der vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die historischen Erkundungen bestätigen die berechneten Werte weitgehend. In Tabelle 6.1 sind die vorgeschlagenen HQ<sub>x</sub> aufgeführt. Am BP5 schlagen wir für das HQ<sub>30</sub> einen Bereich von 1.2 – 1.5 m<sup>3</sup>/s vor, für das HQ<sub>100</sub> 1.8 - 2.1 m<sup>3</sup>/s und für das HQ<sub>300</sub> 2.3 – 2.7 m<sup>3</sup>/s. Am BP5 ist die vorhandene Abflusskapazität ausreichend, um ein HQ<sub>30</sub> schadlos abzuführen, bei einem HQ<sub>100</sub> jedoch können Überschwemmungen an der Schachenstrasse bzw. Maihofstrasse auftreten.

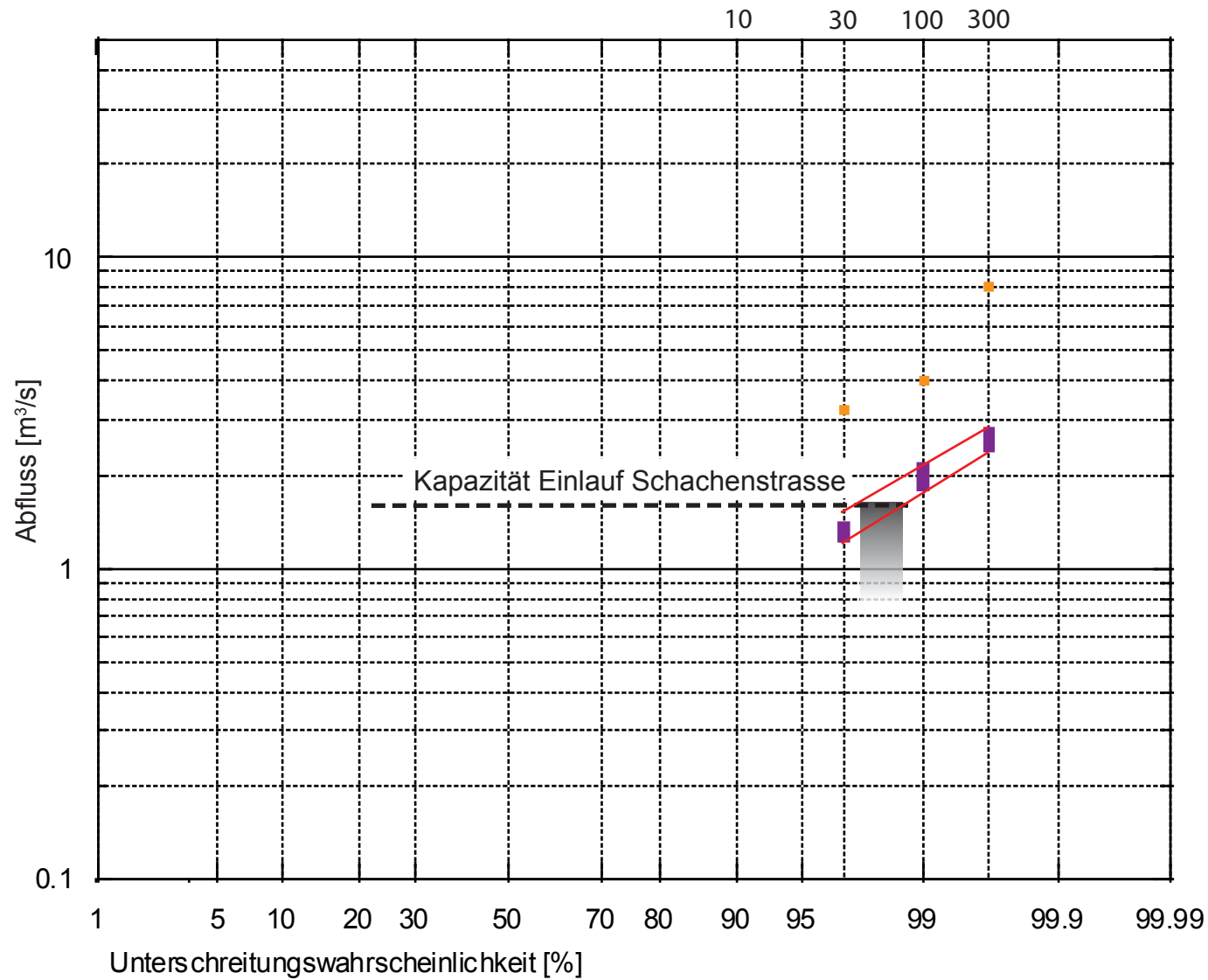


Abb. 6.1: Frequenzdiagramm des Grenzbachs Maihof am Einlauf oberhalb der Schachenstrasse (Berechnungspunkt BP 5). Eingetragen sind die Ergebnisse der Modellrechnungen (violett) sowie die Resultate der historischen Betrachtung (grau). Die roten Linien markieren die vorgeschlagenen Werte der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit. Die Werte der Gefahrenkarte sind zum Vergleich orange dargestellt.

In Tabelle 6.1 sind auch die vorgeschlagenen  $HQ_x$  für alle anderen Berechnungspunkte aufgeführt. Beim BP1 (oberhalb Durchlass Hünenbergstrasse) schlagen wir für das  $HQ_{30}$  einen Bereich von  $0.6 - 0.7 \text{ m}^3/\text{s}$  vor, für das  $HQ_{100}$   $0.8 - 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  und für das  $HQ_{300}$   $1.4 - 1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Unterhalb des Durchlasses Hünenbergstrasse sind es  $0.6 - 0.7 \text{ m}^3/\text{s}$  für das  $HQ_{30}$ ,  $0.7 - 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$  für das  $HQ_{100}$  und  $1.0 - 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$  für das  $HQ_{300}$ . D.h. die Dämpfung durch das vorhandene Retentionsvolumen beträgt ca.  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$  beim  $HQ_{100}$  und ca.  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  beim  $HQ_{300}$ .

Beim Durchlass Hünenbergstrasse (BP1) ist die vorhandene Abflusskapazität zusammen mit dem vorhandenen Retentionsvolumen ausreichend, um ein  $HQ_{100}$  schadlos abzuführen, bei einem  $HQ_{300}$  oder bei einer Verklauung kann es jedoch zu einer Überflutung der Hünenbergstrasse kommen.

Im Vergleich zu den Werten der Gefahrenkarte (HZP, 2016) sind die hier vorgeschlagenen  $HQ_x$  deutlich kleiner. HZP (2016) nennt z.B. für den BP1 ein  $HQ_{30}$  von  $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , ein  $HQ_{100}$  von  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  und ein  $HQ_{300}$  von  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Für den BP5 nennt HZP (2016) ein  $HQ_{30}$  von  $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , ein  $HQ_{100}$  von  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  und ein  $HQ_{300}$  von  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Werte aus HZP (2016) wurden mit einfachen Standardverfahren abgeschätzt. Diese Verfahren sind grob und sind bekannt dafür, dass sie oftmals  $HQ_x$  „auf der sicheren Seite“ liefern. Die vorliegende detaillierte hydrologische Untersuchung hat gezeigt, dass deutlich kleinere Abflussspitzen zu erwarten sind.

Tab. 6.1: Die für das EZG des Grenzbachs Maihof vorgeschlagenen Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit.

BP	zugeordneter Gerinneabschnitt	Fläche [km <sup>2</sup> ]	HQ <sub>30</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>300</sub> [m <sup>3</sup> /s]
1	Grenzbach Maihof bis Kreisel Hünenbergstr. / Adligenswilerstr.	0.47	0.6 – 0.7 (0.6 – 0.7)	0.8 – 1.0 (0.7 – 0.8)	1.4 – 1.6 (1.0 – 1.2)
2	Grenzbach Maihof bis Hüneberg	0.69	0.9 – 1.2	1.3 – 1.5	1.5 – 1.8
3	Seitenbach vom Wesemlinwald	0.18	0.3 – 0.4	0.4 – 0.5	0.6 – 0.75
4	Grenzbach Maihof unterhalb Zusammenfluss mit Seitenbach Wesemlin	0.87	1.2 – 1.5	1.7 – 2.0	2.2 – 2.6
5	Grenzbach Maihof oberhalb Durchlass Schachenstrasse	0.89	1.2 – 1.5	1.8 – 2.1	2.3 – 2.7
6	Grenzbach Maihof an der Mündung in den Rotsee	1.0	1.5 – 1.8	2.2 – 2.5	2.8 – 3.2

Scherrer AG  
 Hydrologie und Hochwasserschutz

Dr. Peter Kienzler

Dr. Simon Scherrer

Reinach, Juni 2017

Sachbearbeiter:

Dr. Peter Kienzler, Dipl. Hydrologe Universität Freiburg i.Brg.



## **7 Anhang**

- Anhang 1: Historische Hochwasser
- Anhang 2: Tagesniederschläge
- Anhang 3: Räumliche Niederschlagsverteilung
- Anhang 4: Böden
- Anhang 5: Modellaufbau
- Anhang 6: Niederschlagsstatistik Luzern (1881 - 2014)

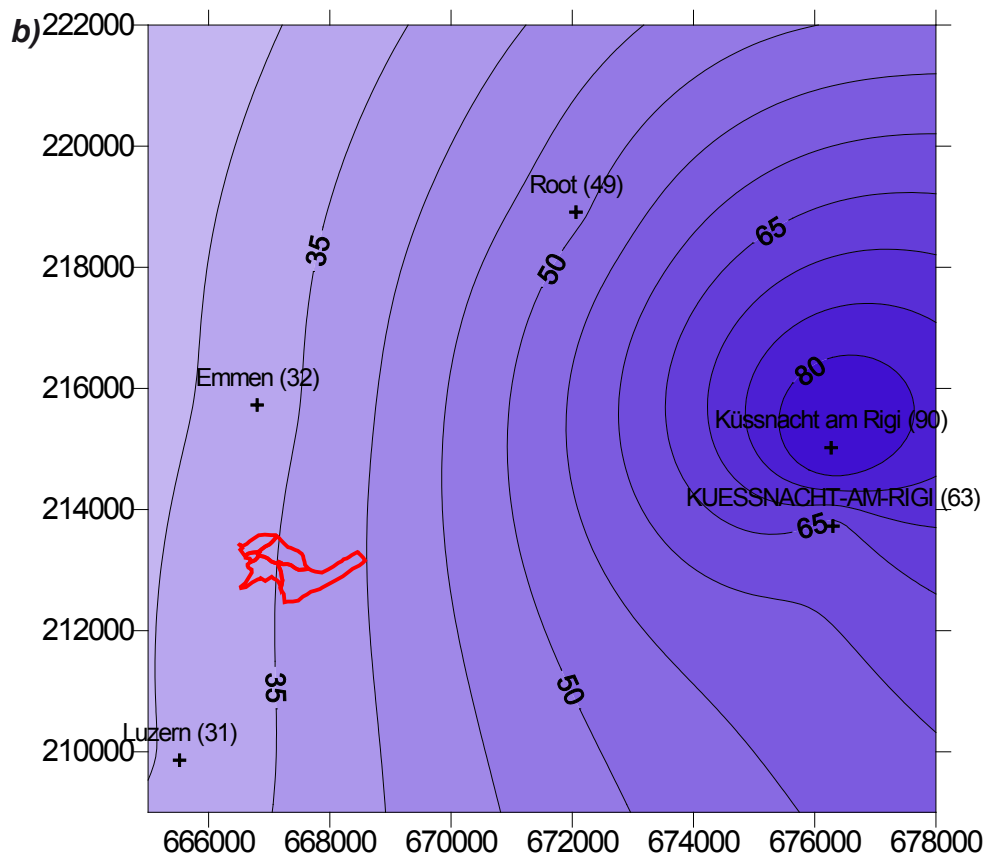
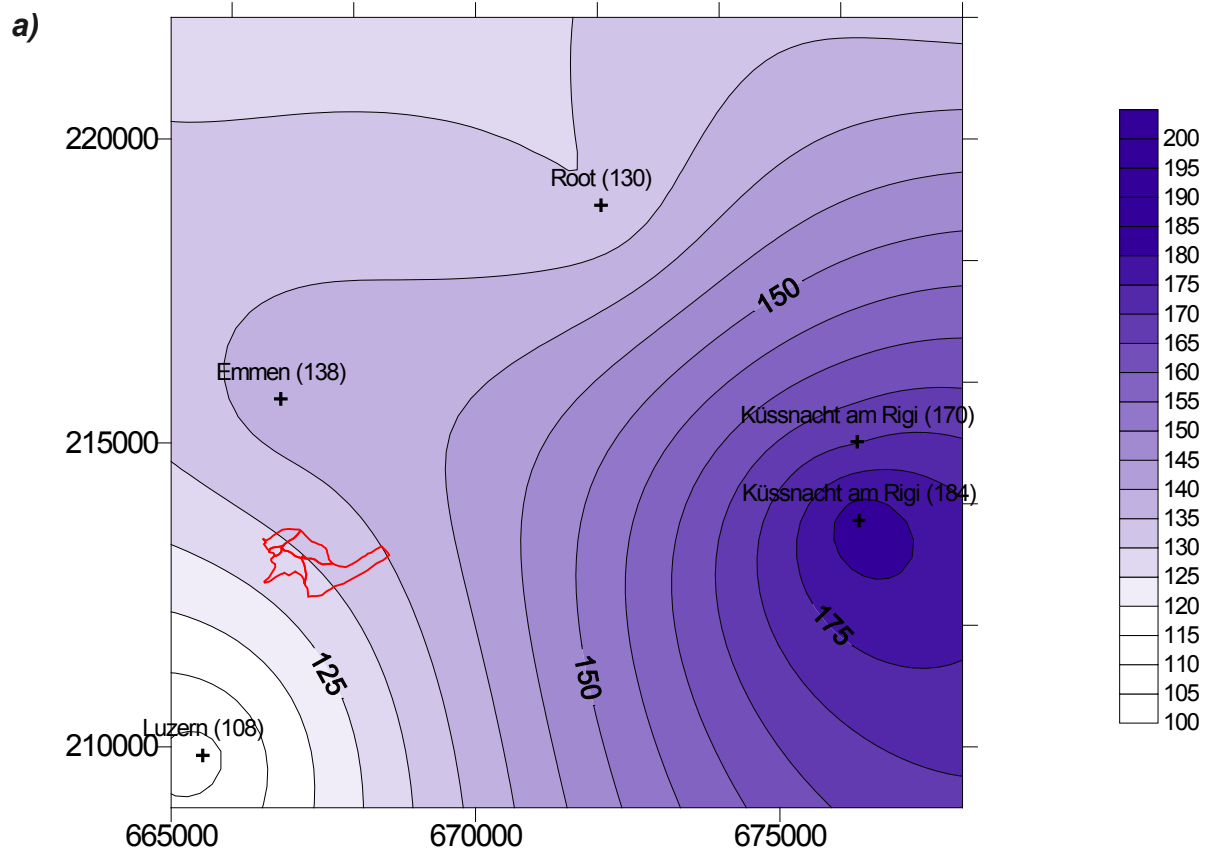
Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
28.7.1955		Der Grenzbach konnte aber auch Hochwasser führen und hat mehrmals überschwemmt. Besonders schlimm war das Hochwasser vom 27./28. Juli 1955. Dem Luzerner Tagblatt vom 28.7.1955 sei folgende Schilderung entnommen: <i>Hochwasser auch im Maihofgebiet</i> : Die außerordentlich starken Regengüsse des Mittwoch hatten auch im äußern Maihofgebiet Überschwemmungen zur Folge. Gegen Mittag wurde gemeldet, daß das Straßensstück zwischen der Maschinenbauwerkstatt Kronenberg (Maihofstrasse 101) und der Gabelung Kantons-/Kaspar-Kopp-Straße unter Wasser sei. Als wir uns dort einfanden, waren bereits Kräfte an der Arbeit, um das Wasser abzuleiten und den über Mittag sehr regen Verkehr zu regeln. Unter dem Parktor zum Schlößchen Hünenberg ergoß sich ein schmutzig gelber „Wildbach“ auf die asphaltierte Maihofstraße. Er fand seinen Weiterlauf in der niedersten Straßenstelle und floß über den steilen Weg hinter dem erwähnten Werkstatt- gebäude Richtung Stampfeli und Rotsee. Ging man dem Wildwasserlauf entlang aufwärts, erinnerte man sich an einen Weg mitten in hübscher Gartenanlage, die zur Schloßliegenschaft gehört. Von diesem Weg war aber nichts mehr zu sehen, denn was einst ein Weg war, hatte das Wasser verschlungen. Weiter oben entdeckte man den Ursprung des Baches. In einer sanften Wiesenmulde unweit des Kinderspielplatzes Maihof-Matte hatte sich ein größerer unansehnlicher Teich gebildet, aus dessen Mitte ständig Wasser sprudelte. Durch die Regengüsse losgelöster Schlamm hatte den Rohrkanal verstopft, der das sonst harmlose Bächlein vom Wesemlinwäldli her faßt. Das Stauwasser drückte den Deckel der Überlaufdole hoch und überflutete Wiese, Weg und Strasse. Im gelben Seelein badeten Nußbäume. Das und alles Drum und Dran ergab dem Kindervolk Anlaß, sich an dieser „Romantik“ zu ergötzen. Ernster nahmen es die Leute vom Straßeninspektorat, der Polizei und der Feuerwehren aus der Stadt Luzern und Ebikon. Mit Bretterbarrikaden gelang es ihnen, die breiter werdende Flut zu dämmen, Gehwege zu schaffen und den Verkehr zu regeln. Nach diesem Hochwasser liess der Stadtrat den Grenzbach von der Maihofstrasse bis zum Felseinschnitt im Stampfeliwald eindecken.	Martin R. (1980)
28.7.1955		Niederschlagsmenge Station Luzern: 71 mm am 27.-28.7.1955	
9.6.1971		Auch am 9. Juni 1971 trat der Bach erneut über die Ufer und überflutete die Kantonsstrasse, da der Rechen bei Einfluss des offenen Baches in die Kanalisation immer wieder verstopft wurde.	Martin R. (1980)
9.6.1971		Niederschlagsmenge Station Luzern: 72 mm am 6.6.1971, 21 mm am 7.6., 10 mm am 9.6. und 20 mm am 10.6.1971	
1977, 30.5.	Gewitter	Ebikon-Grenzbach: Namenloses Grenzbächlein zwischen Stadt Luzern und Ebikon trat über die Ufer; Keller und Gärten überflutet. Überschwemmungen kommen hier mit grosser Regelmässigkeit vor. Grund: Kompetenzschwierigkeiten der beiden Gemeinden (Einzugsgebiet des Baches liegt auf Stadtgebiet - hier wurden keine Massnahmen getroffen), überschwemmt wird aber Gebiet der Gemeinde Ebikon. <i>(Anmerkung Datum: Vermutlich 30.6.1977, siehe unten, Ende Mai 1977 sind keine Niederschläge an der Station Luzern aufgetreten).</i>	WSL (2015)
30.6.1977		Auch nach der Eindolung des Baches beim Bau der Schachenweidstrasse überschwemmte der Grenzbach wieder am 30. Juni 1977, da die eingedeckte Leitung unter der Schachenweidstrasse in einem Knick gegen die Gärtnerei Suter abbiegt und dort verstopft war. Wann wird der Bach wieder über die Ufer treten?	Martin R. (1980)
30.6.1977		Niederschlagsmenge Station Luzern: 41 mm am 29.6.1977	
2002, 6.6.	Gewitter 5.6.: 11 mm 6.6.: 111 mm (Total: 122 mm)	Über der Region Luzern ging am Donnerstagabend nach 20 Uhr ein heftiges Gewitter nieder. Innert 1 - 1.5 h fielen 51 l/m <sup>2</sup> Regen. Von 20 Uhr am 6.6. bis 12 Uhr am 7.6. waren es 115 l/m <sup>2</sup> (Allmend Luzern). Im Bahnhof Luzern wurden gegen 20:45 Uhr die ganze Bahnhöfeinfahrt und alle Weichen überschwemmt; der Betrieb musste vorübergehend eingestellt werden. Um 23 Uhr wurde der Betrieb auf zwei Geleisen wieder aufgenommen. Viele Strassen im Stadtkern waren nicht mehr passierbar, teilweise verwandelten sie sich in 50 cm hohe Bäche. Über 50 Keller standen unter Wasser, zum Teil über 1 m tief, z.B. an der Klosterstrasse. In einem Liftschacht der Migros-Tiefgarage im Bruchquartier stand das Wasser ca. 1.5 m tief. Diese und eine weitere Tiefgarage mussten von Schlamm und Wasser befreit werden. Im Maihof und bei der Klinik St. Anna stand das Wasser 50 cm hoch <i>(Anmerkung: Diese Lokalitäten befinden sich ausserhalb des Einzugsgebiets des Grenzbachs Maihof)</i> . Bei einer Bank drang Wasser ein; auch im Quartier Würzenbach wurden Keller bis 1 m tief unter Wasser gesetzt. Im Restaurant Drei Könige drang das Wasser in die Gaststube; im Keller des Restaurants Rütli stand das Wasser 1.5 m hoch. Insgesamt entstanden in der Stadt Luzern 200 Gebäudeschäden, grösstenteils wegen überfluteten Kellern (evtl. z.T. Hagel). Am 10.6. war der Bahnhof Luzern noch einmal für rund 20 min blockiert. Grund war eine Weiche, deren Motor bei den Überschwemmungen vom 6.6. einen Defekt erlitten hatte und repariert werden musste.	Holinger AG, Hunziker, Zarn & Partner AG, tur gmbh (2005)

Datum	Niederschlag	Angaben zum Ereignis	Quelle
		Seit 29 Jahren bin ich bei der Feuerwehr dabei, nie gab es Einsätze wegen Überschwemmungen vom Grenzbach Maihof.	Herr Markus Portmann, Feuerwehr Stadt Luzern
		Am besagten Bach hatten wir an Pfingsten 2016 kurzzeitig zu tun. Es war aber nur der Rechen verstopft. Dieser wurde befreit und somit war alle Gefahr wieder gebannt. War nicht der Rede wert. Weiter hatten wir da noch nie zu tun (seit 15 Jahren).	Herr Martin Marfurt, Kommandant, Feuerwehr Ebikon-Dierikon
		Ich arbeite nun ca. 13 Jahre im Felsberg / Unterlöchli und habe keine Kenntnisse von aussergewöhnlichen Vorkommnissen rund um den Grenzbach Maihof während dieser Zeit.	Frau Alexandra Iten, Administration Schulhaus Felsberg – Unterlöchli
		In den letzten 4 Jahren gab es keine Probleme am Grenzbach Maihof. Wir halten aber den Bach regelmässig sauber und bei Hochwasser achten wir darauf, dass die Durchlässe nicht verklausen.	Herr Otto Flühler, Stadteileiter Unterhalt Ost
		Seit 18 Jahren bin ich beim Unterhalt für den Grenzbach Maihof dabei. In der ganzen Zeit gab es nie Probleme, höchstens kleinere Bachaustritte vom Bach vom Weseminwald her, weil dort ein Einlauf verstopft war. Einmal hat es beim Dreilinden ( <i>Anmerkung: Durchlass Hünenbergstrasse, BP1</i> ) einen See gegeben, weil der Einlauf verstopft war. Auf die Hünenbergstrasse ist es aber nicht gelaufen. Wann das war, weiss ich nicht mehr. Früher waren die Gitter ungünstig. Seit das besser ist, gibt es keine Probleme mehr.	Herr Alois Piller, Unterhalt Ost
		Ich kann 20 Jahre zurückblicken. In dieser Zeit ist nie eine Überschwemmung des Grenzbachs Maihof aufgetreten. Weder am Einlauf Schachenstrasse noch beim Kreisel Hünenbergstrasse. Regelmässiger Unterhalt ist aber nötig.	Herr David Catomas, Wuhraufseher
		Wir wohnen seit 37 Jahren im Haus Schachenstrasse 20, am Grenzbach Maihof ( <i>Anmerkung: ganz in der Nähe des „Einlauf Schachenstrasse“, BP5</i> ). In den ganzen Jahren haben wir nie eine Überschwemmung beobachtet oder Probleme mit dem Bach gehabt.	Frau Waser, Schachenstrasse 20
		Seit 23 Jahren bin ich Rotsee-Wärter. Vom Grenzbach Maihof ist mir nicht bekannt, dass es einmal Überschwemmungsschäden oder ähnliches gab. Einmal gab es einen Gülleunfall und einmal Zementeeintrag. Ansonsten überschwemmt es jedes Jahr 4 – 5 mal den Spazierweg unten direkt am See, was aber eigentlich niemanden stört.	Herr Hugo Burkhardt, Rotseewärter

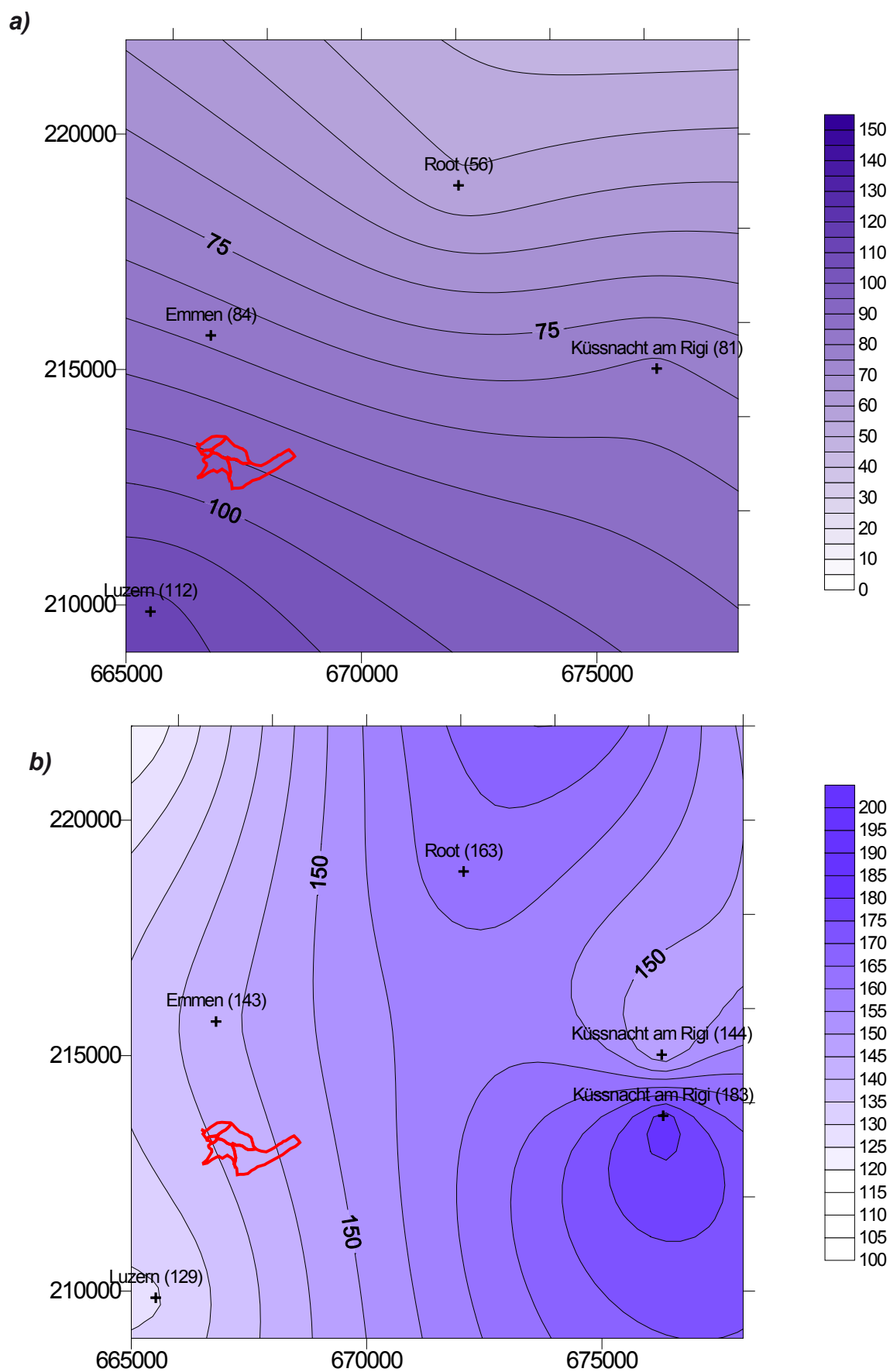
Nr. Station	4380 Küssnacht am Rigi	4590 Luzern (Musegg)	4590 Luzern (Wesemlin)	4590 Luzern (Werkhof)	4590 Luzern	4859 Cham	4860 Cham	Agrometeo Buchrain	Agrometeo Hohenrain	Agrometeo Hünenberg	Agrometeo Küssnacht am Rigi	Agrometeo Nottwil	Agrometeo Urswil	MeteoGroup Buchrain (MMBUR)	MeteoGroup Küssnacht am Rigi (MMKAR)	MeteoGroup Weggis (MMWGG)	MeteoGroup Honau (MMHON)	LU 01 Emmen	LU 03 Root
Messperiode	1882-1890; 1899-	1880-1919	1919-1971	1970-1978	1978-	1993-	1882-1892, 1900-1918, 1960-2001											1999-	1999-
X	676270	665940	666450	666920	665520	677825	676720	669888	666800	674916	676300	653478	664939	668434	675387	675631	673283	666800	672060
Y	215020	211850	212650	210500	209860	226880	225920	216871	226300	225296	213725	219435	222403	216169	214742	209422	220311	215725	218910
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
Statistik	1901-1970	1881-2010	1881-2010	1881-2010	1881-2010	keine	1901-1917, 1960-1977	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine
09.06.1910	0.0	0.0					0.0												
10.06.1910	0.7	1.6					0.8												
11.06.1910	5.3	6.4					6.9												
12.06.1910	3.1	4.0					14.9												
13.06.1910	19.7	10.4					17.8												
14.06.1910	84.5	80.5					104.8												
15.06.1910	23.3	18.3					18.5												
16.06.1910	0.0	0.2					0.0												
14.-15.06.1910	107.8	98.8					123.3												
13.-15.06.1910	127.5	109.2					141.1												

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

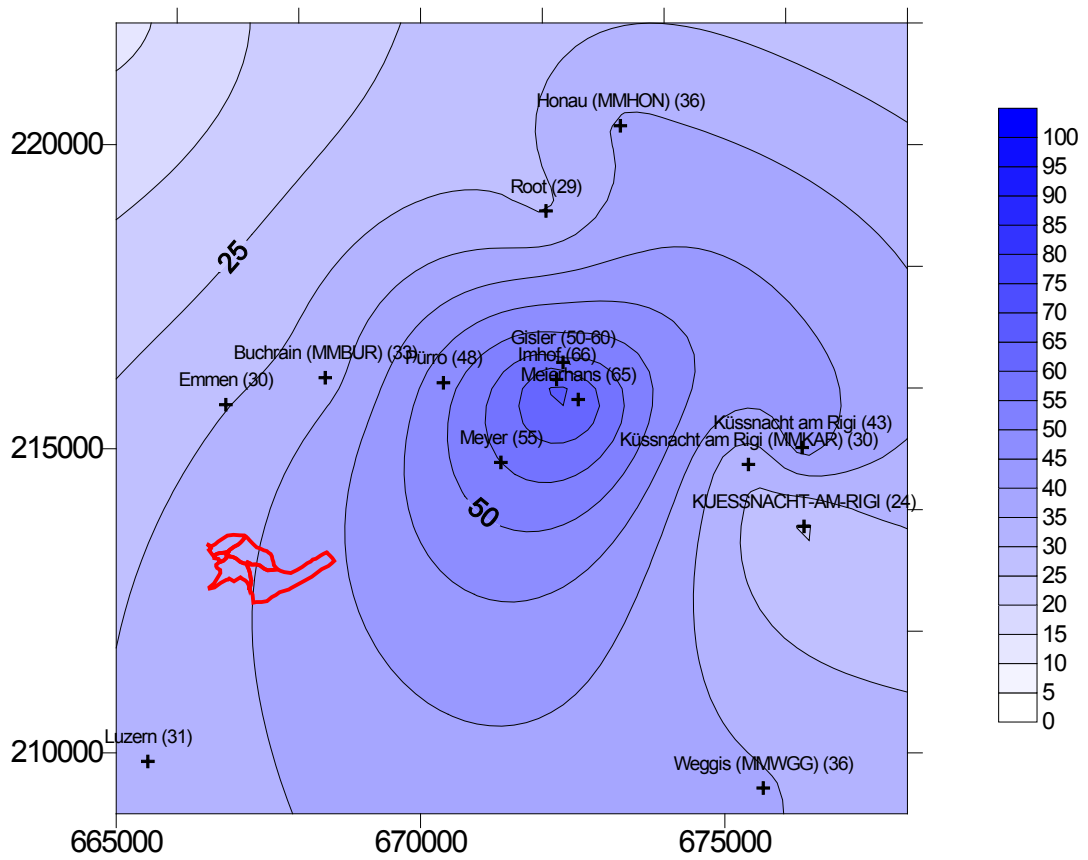
Anhang 2: In der Umgebung des Grenzbachs Maihof während grosser Hochwasser gemessene Niederschlagsmengen.  
5-jährliche und seltenere Werte sind speziell markiert.



Anhang 3.1: Niederschlagsverteilung am a) 7.-8.8.2007, b) 8.8.2009 (Niederschlag in mm).



Anhang 3.1: Niederschlagsverteilung am a) 6.-7.6.2002, b) 19.-21.8.2005 (Niederschlag in mm).



Anhang 3.1: Niederschlagsverteilung am 7.6.2015 (Niederschlag in mm).

### Bodentypen

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

### Körnung

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

### Haupthorizonte

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

### Unterteilung Haupthorizonte

#### Zustand org. Substanz

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

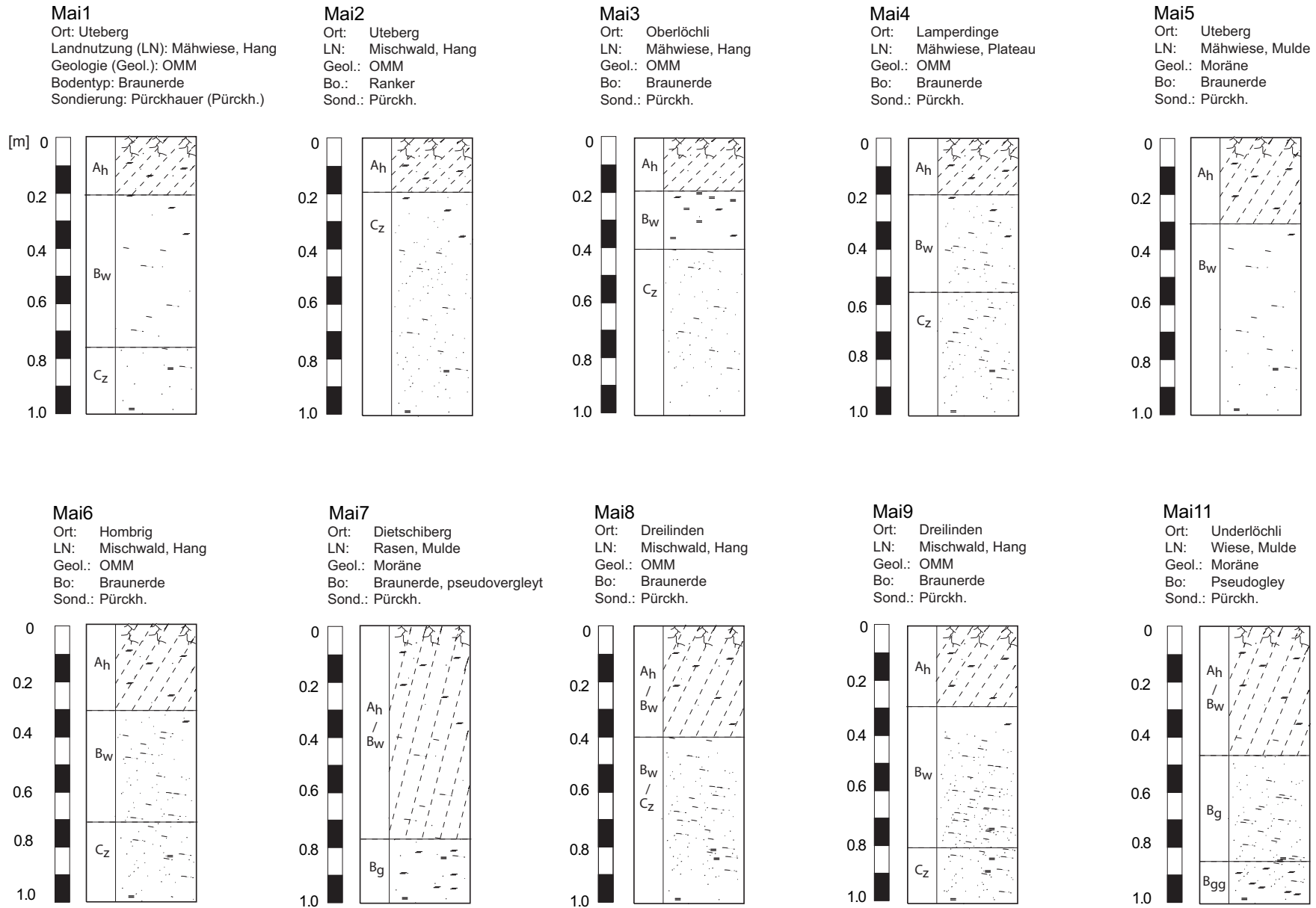
#### Verwitterungszustand

ch	chem. vollständig verwittert
w	Verwitterungshorizont
z	Zersatz Muttergestein

#### Merkmale des Sauerstoffmangels

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

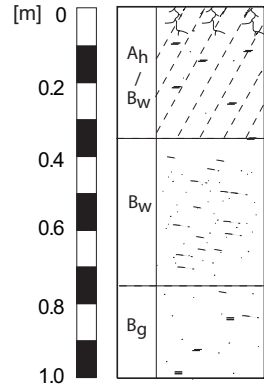




Anhang 4.2: Die im Einzugsgebiet des Grenzbachs Maihof untersuchten Bodenprofile (Mai1-Mai11) mit der Angabe des Standorts, der Landnutzung, der Geologie, des Bodentyps und der Sondiermethode. Eine Beschreibung der Profile befindet sich im Anhang 4.3.

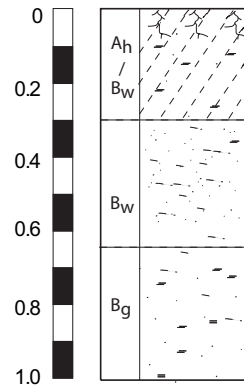
**Mai12**

Ort: Wesemlinwald  
 Landnutzung (LN): Mischwald, Plateau  
 Geologie (Geol.): Moräne  
 Bodentyp: Braunerde, pseudovergleyt  
 Sondierung: Pürckhauer (Pürckh.)



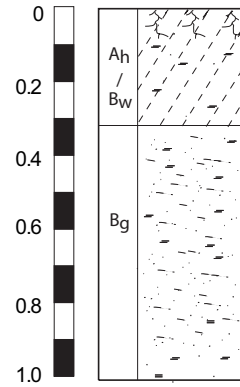
**Mai16**

Ort: Hünenberg  
 LN: Wiese, Hang  
 Geol.: OMM  
 Bo.: Braunerde, pseudovergleyt  
 Sond.: Pürckh.



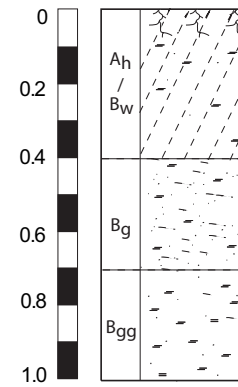
**Mai17**

Ort: Underlöchli  
 LN: Weide, Mulde  
 Geol.: OMM  
 Bo.: Braunerde-Pseudogley  
 Sond.: Pürckh.



**Mai18**

Ort: Underlöchli  
 LN: wiese, Mulde  
 Geol.: Moräne  
 Bo.: Pseudogley  
 Sond.: Pürckh.



Anhang 4.2: Die im Einzugsgebiet des Grenzbachs Maihof untersuchten Bodenprofile (Mai12-Mai18) mit der Angabe des Standorts, der Landnutzung, der Geologie, des Bodentyps und der Sondiermethode. Eine Beschreibung der Profile befindet sich im Anhang 4.3.

Anhang 4.3: Die Eigenschaften der im Anhang 4.2 dargestellten Bodenprofile vom grenzbach Maihof (Mai1-Mai18) mit der Einschätzung von Infiltration und Speicherfähigkeit und Angabe des zu erwartenden dominanten Abflussprozesses  
 (Abkürzungen siehe auch Legende 4.2: U, u = Silt, siltig; L, l = Lehm, lehmig; S, s = Sand, sandig; A = Oberboden, B = Unterboden, C = Ausgangsmaterial, g = Rostfleckung, h = organisches Material, r = dauernd vernässt, w = Verwitterungshorizont, z = zersetzt. Prozesse: SSF (Subsurface Flow = Abfluss im Boden), SOF (Saturated Overland Flow = gesättigter Oberflächenabfluss), DP (Deep Percolation = Tiefsickerung), SOF1: rasch, SOF2: leicht verzögert, SOF3 stark bis sehr stark verzögert abfließend). Moräne: Würm-Moräne des Reuss-, Aare- und Brüniggletschers; OMM: Obere Meeresmolasse, B: Burdigalien, H: Helvetien.

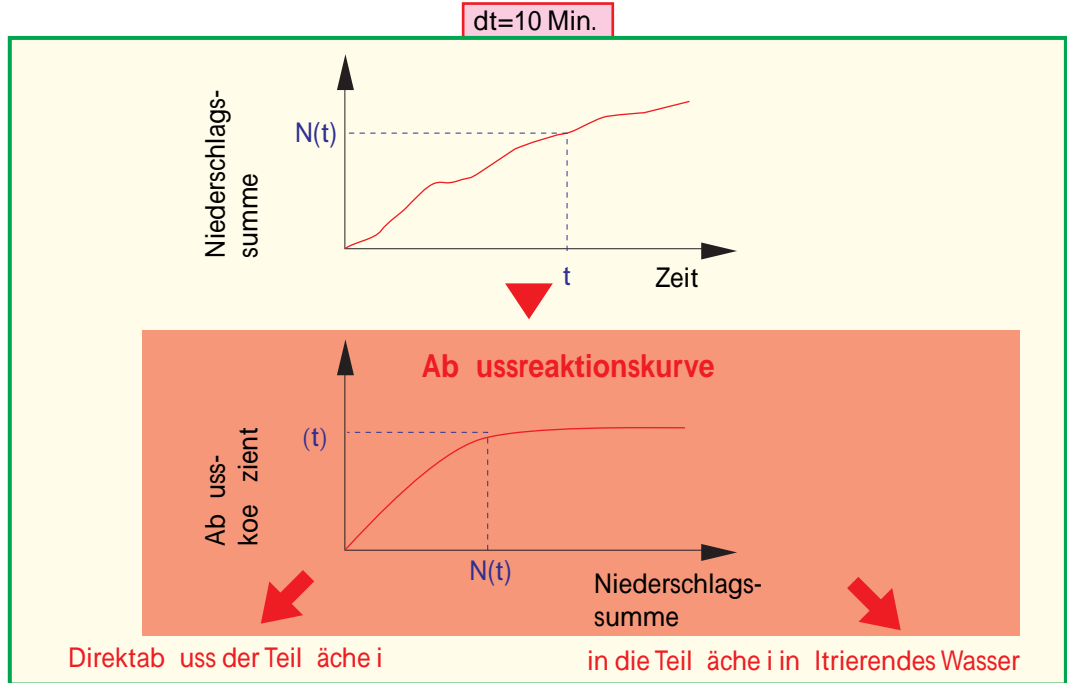
	<b>Profilbeschreibung</b>		<b>Profilbeschreibung</b>
Mai1	Uteberg Wiese, Hang Obere Süsswassermolasse, Burdigalien (OMM - B), Sandstein <b>Braunerde (BE)</b> Ah: dunkelbrauner Us - Lu Bw: dunkelbrauner Us - Lu Cz: hellbraun-grau verwitterter Sandstein Infiltrationsvermögen (Inf.): normal Speicherungsvermögen (Spv.): mässig - hoch Prozesse (Proz.): SSF3	Mai2	Uteberg Buchen-Tannen-Mischwald, Hang OMM – B, Sandstein  <b>Ranker</b> Ah: dunkelbrauner Mull Cz: grauer, verwitterter Sandstein  Inf.: hoch Spv.: klein Proz.: SSF1 - SSF2
Mai3	Oberlöchli Wiese, Hang OMM – B, Sandstein <b>BE</b> Ah: mittelbrauner Us Bw: mittelbrauner Us - Lu Cz: hellbraun-grau verwitterter Sandstein Inf.: normal Spv.: klein Proz.: SSF2	Mai4	Lamperdinge Mähwiese, Plateau OMM – B, Sandstein <b>BE</b> Ah: mittelbrauner Lu Bw: mittelbrauner Ls4 Cz: braun-grau verfärbter Sandstein Inf.: normal Spv.: mässig Proz.: SSF3 - DP
Mai5	Uteberg Mähwiese, Mulde Moräne <b>BE</b> Ah: mittelbrauner Us Bw: mittelbrauner Us  Inf.: normal Spv.: gross Proz.: DP	Mai6	Hombrig Buchen-Tannen-Mischwald, Hang OMM – B, Sandstein <b>BE</b> Ah: dunkelbrauner Mull Bw: mittelbrauner Us Cz: gelblich-brauner Sandstein Inf.: hoch Spv.: mässig-gross Proz.: SSF3
Mai7	Dietschiberg Wiese (Golfplatz), Mulde Moräne <b>leicht pseudovergleyte BE</b> Ah: dunkelbrauner Us Bwg: mittelbrauner Lu, leicht marmoriert ab ca. 80 cm Inf.: normal Spv.: gross Proz.: SOF3	Mai8	Dreilinden Buchen-Tannen-Mischwald, Hang OMM – B, Sandstein <b>BE</b> Ah/Bw: dunkelbrauner Lu Bw/Cw: gelblichbrauner Ls4  Inf.: hoch Spv.: gross Proz.: SSF3
Mai9	Dreilinden Buchen-Tannen-Mischwald, Hang OMM – B, Sandstein <b>BE</b> Ah/Bw: dunkelbrauner Lu Bw/Cw: gelblich brauner Us - Lu Cw: graubrauner Sl Inf.: hoch Spv.: gross Proz.: SSF3	Mai11	Underlöchli Wiese, Mulde Moräne <b>Pseudogley</b> Ah: dunkelbrauner Us Bw: mittelbrauner Us Bwgg: graubraun-marmoriertes Us Inf.: normal Spv.: mässig - gross Proz.: SOF2 - SOF3

	<b>Profilbeschreibung</b>		<b>Profilbeschreibung</b>
Mai12	<p>Wesemlinwald Buchen-Tannen-Mischwald Moräne <b>leicht pseudovergleyte Braunerde</b> Ah/Bw: brauner Us Bw: hellbrauner Lu Bwg: braun-marmorierter Lu Inf.: hoch Spv.: mässig Proz.: SOF3</p>	Mai16	<p>Hünenberg Wiese, Hang OMM - H <b>leicht pseudovergleyte Braunerde</b> Ah/Bw: brauner Us Bw: hellbrauner Lu Bwg: braun-marmorierter Lu Inf.: normal Spv.: mässig Proz.: SOF3</p>
Mai17	<p>Underlöchli Weide, Mulde OMM – B, Sandstein <b>BE - Pseudogley</b> Ah: mittelbrauner Us Bw: braun-beiger Us Bwg: braun-marmorierter Us Inf.: normal Spv.: mässig Proz.: SOF2</p>	Mai18	<p>Underlöchli Wiese, Mulde Moräne <b>Pseudogley</b> Ah/Bw: mittelbrauner Us Bwg: braun-marmorierter Us Bwgg: grau-marmorierter Us Inf.: normal Spv.: gering Proz.: SOF1 - SOF2</p>

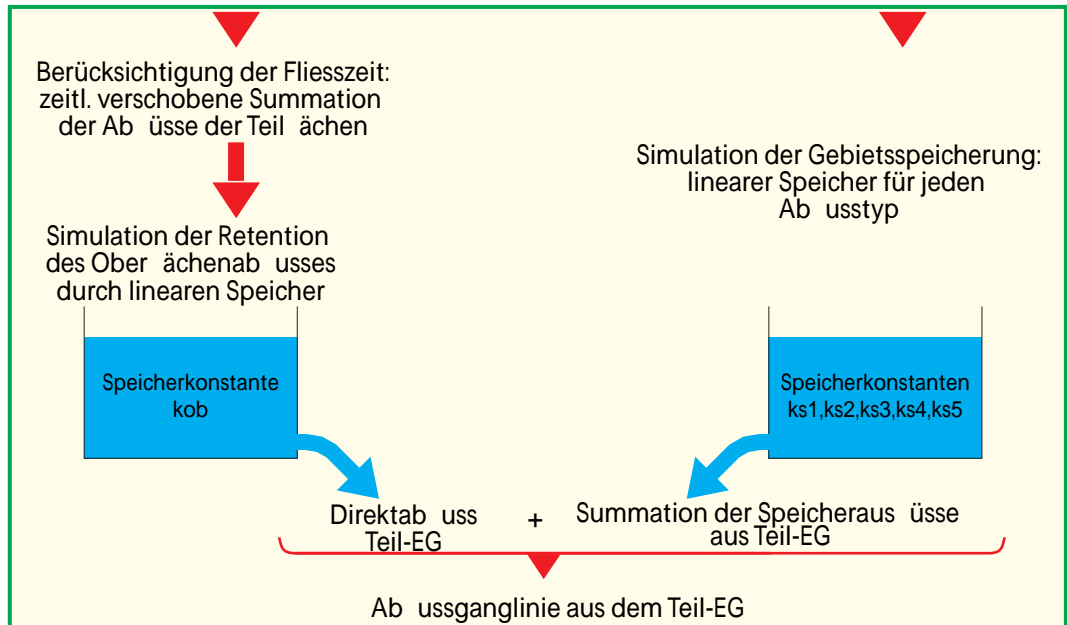
Jede Teil äche ist charakterisiert durch

- Ab usstyp
- Niederschlagsganglinie
- Fliesszeit bis zum Teil-EG-Aus uss

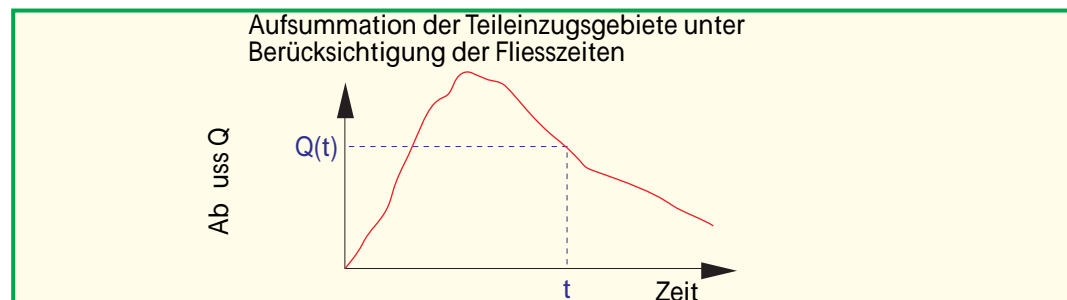
Stufe  
Teil äche



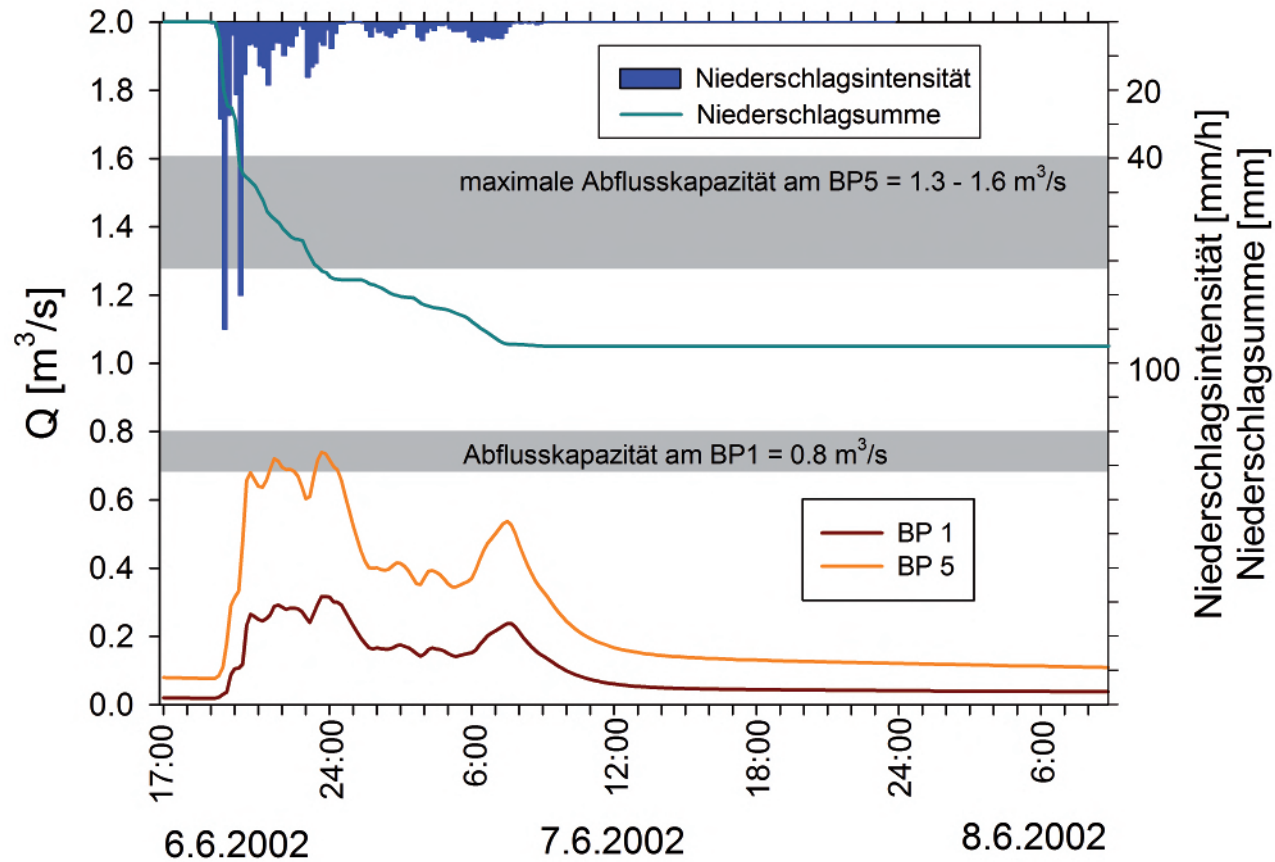
Stufe  
Teileinzugs-  
gebiet



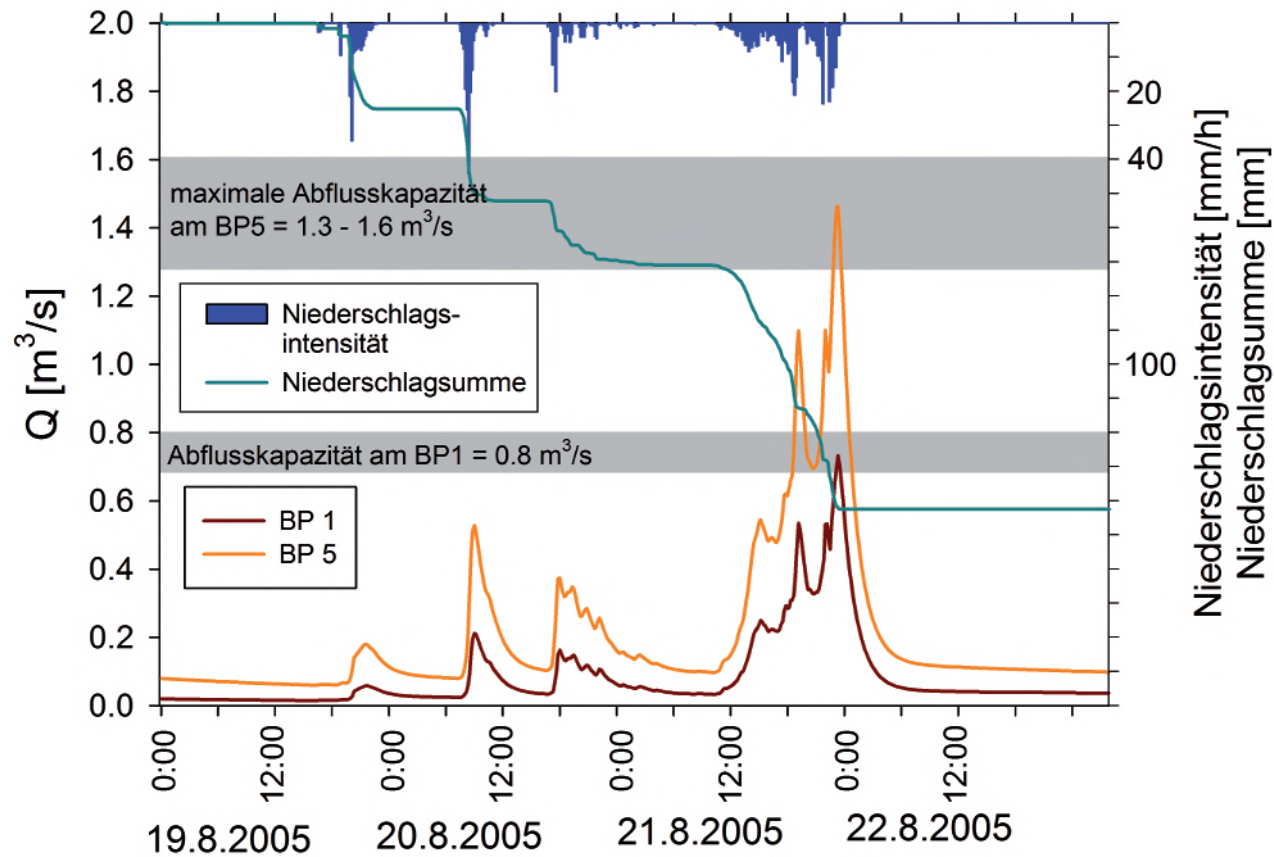
Einzugs-  
gebiet



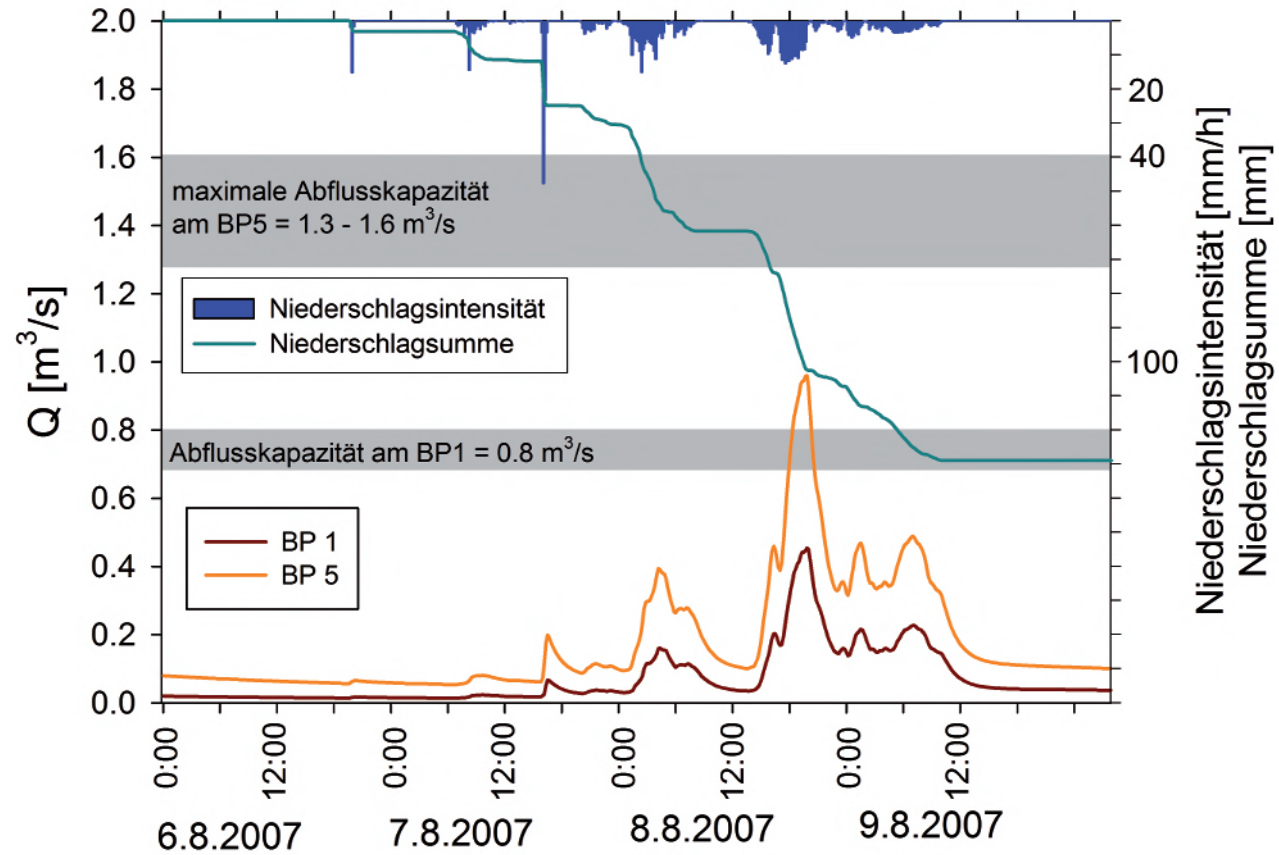
Anhang 5.1: Schematischer Aufbau des Niederschlags-Abfluss-Modells QArea. Zentrales Element ist die Abflussreaktionskurve, die für jede Teilfläche die Beziehung zwischen Niederschlagssumme und Abflusskoeffizient beschreibt.



Anhang 5.2: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Grenzbachs Maihof am Berechnungspunkt BP 1 und am BP 5 am 6.-7.6.2002 im Vergleich mit der Abflusskapazität.

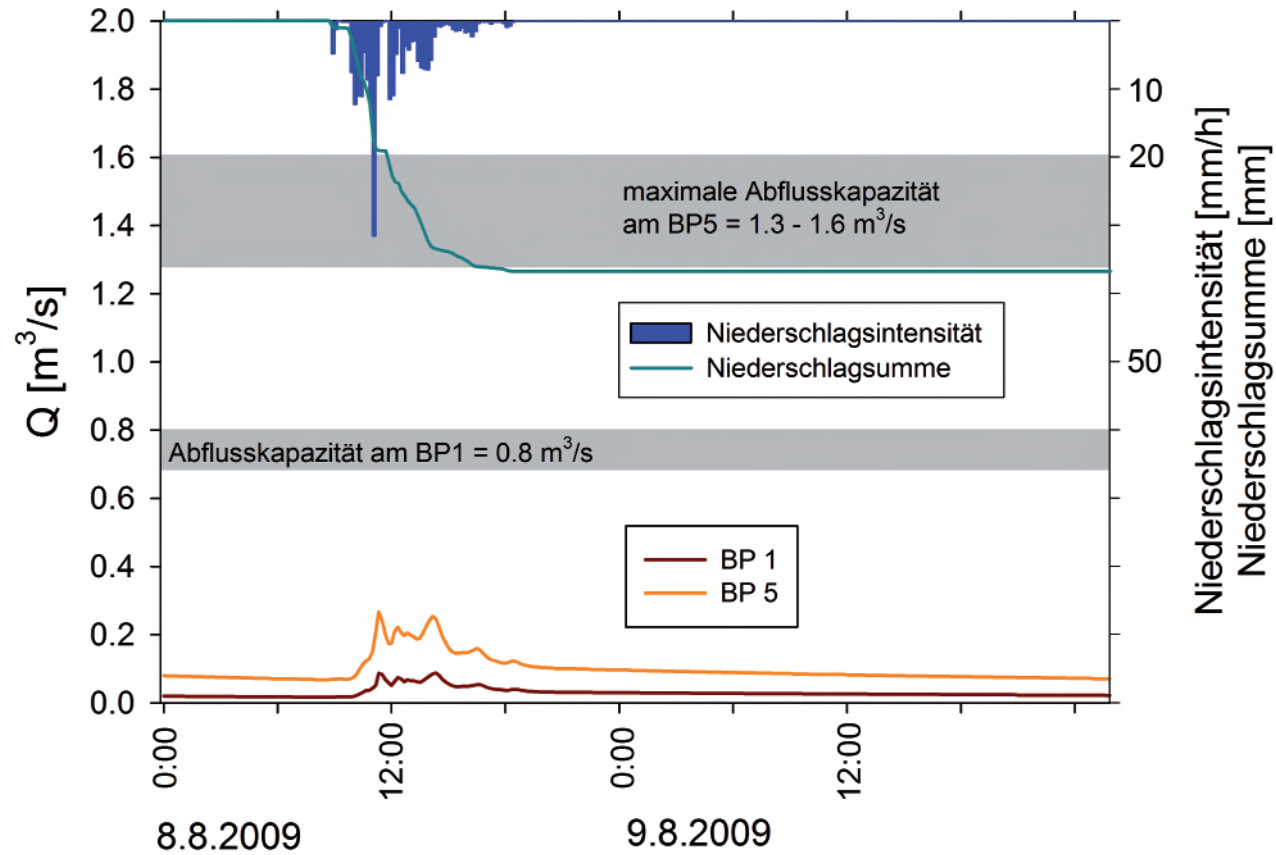


Anhang 5.3: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Grenzbachs Maihof am Berechnungspunkt BP 1 und am BP 5 am 19.-22.8.2005 im Vergleich mit der Abflusskapazität.

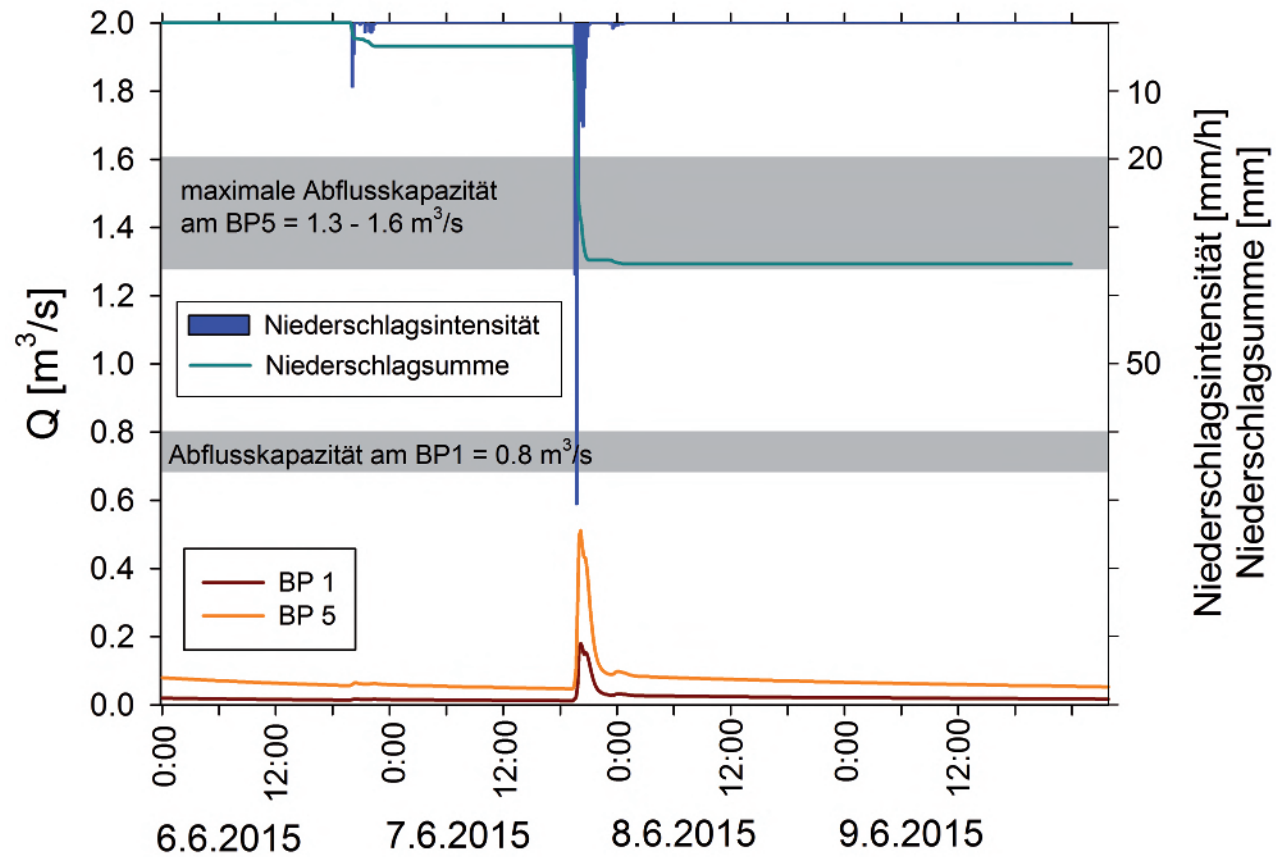


Anhang 5.4: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Grenzbachs Maihof am Berechnungspunkt BP 1 und am BP 5 am 6.-9.8.2007 im Vergleich mit der Abflusskapazität.



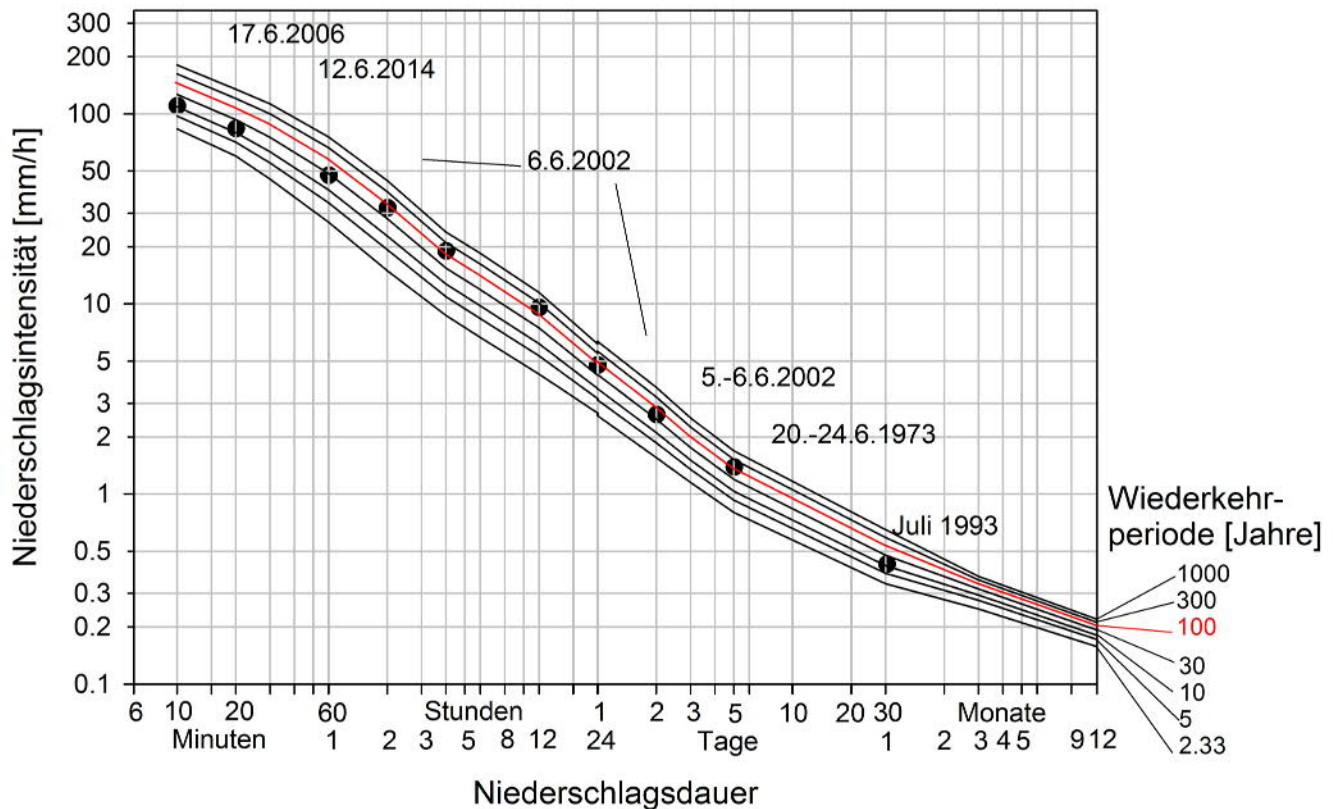
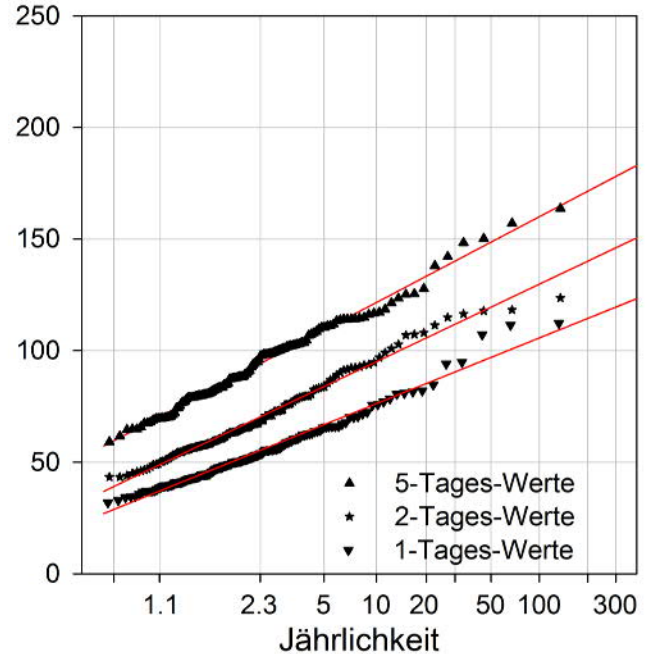
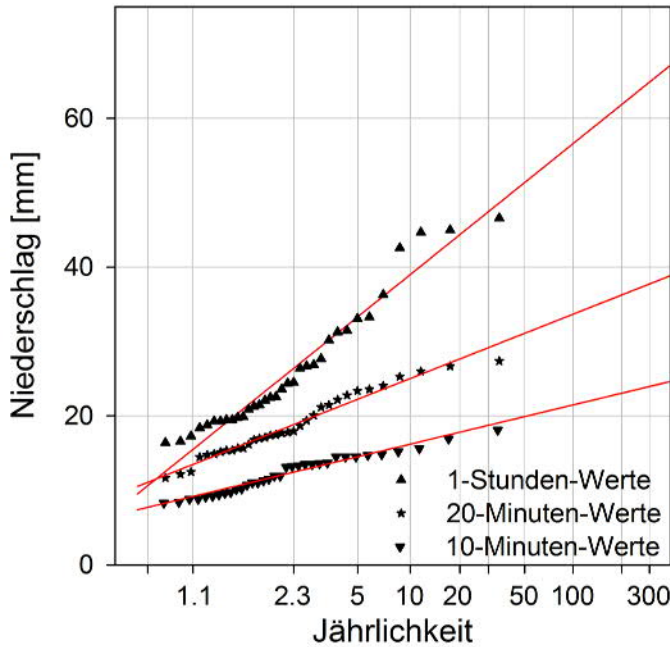


Anhang 5.5: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Grenzbachs Maihof am Berechnungspunkt BP 1 und am BP 5 am 8.-9.8.2009 im Vergleich mit der Abflusskapazität.



Anhang 5.6: Die mit dem Modell QArea berechneten Abflüsse des Grenzbachs Maihof am Berechnungspunkt BP 1 und am BP 5 am 6.-9.6.2015 im Vergleich mit der Abflusskapazität.

<h1>Luzern</h1> <h2>1880 - 2014</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 10-Min - 12-Stunden-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima



Anhang 6.1: Die analog zu Zeller et al. (1978) erstellte Starkniederschlagsstatistik für die Station Luzern (1880 - 2014).

<h1>Luzern</h1> <h2>1880 - 2014</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 10-Min - 12-Stunden-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte  
 Datengrundlage: 1-Tages-Werte 1880 - 2014

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	Juli 1993	306	Juli-Sep 1888	675	1910	1666
2	24.08.1944	111	26.-27.07.1976	118	18.08.-22.08.2005	157	Juli 1976	304	Juni-Aug 2014	660	1965	1550
3	07.08.1978	107	21.-22.11.1972	118	22.07.-26.07.1976	150	Aug 1975	295	Juli-Sep 2010	658	1979	1475
4	05.07.1993	94	27.-28.09.1954	116	05.06.-09.06.2002	148	Aug 2005	293	Juni-Aug 1997	648	2001	1472
5	26.07.1976	94	06.-07.08.1978	115	10.05.-14.05.1999	142	Aug 1890	292	Juni-Aug 1912	643	1940	1461
6	27.09.1954	84	23.-24.08.1944	111	06.06.-10.06.2002	139	Juli 1900	288	Juni-Aug 1927	632	2002	1461
7	22.11.1972	82	07.-08.08.2007	108	20.11.-24.11.1972	138	Nov 1972	287	Juni-Aug 1910	632	1999	1449
8	21.08.2005	81	21.-22.08.2005	107	04.06.-08.06.2002	134	Juni 1979	284	Mai-Juli 1914	629	1922	1436
9	14.06.1910	81	22.-23.06.1973	107	18.01.-22.01.1910	127	Juli 1955	283	Juni-Aug 1993	629	1905	1427
10	23.06.1973	80	29.-30.07.1900	103	26.09.-30.09.1954	125	Juni 1912	280	Juni-Aug 1946	629	1995	1426

Die für die Diagramme verwendeten 10 grössten Niederschlagswerte  
 Datengrundlage: 10-Minuten-Werte 1981 - 2014

Rang	10 Min.		20 Min.		1 h		4 h	
	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]	Datum	N [mm]
1	17.06.2006	18.0	12.06.2014	27.3	06.06.2002	46.5	06.06.2002	74.4
2	14.07.1997	16.8	23.06.1993	26.6	23.06.1993	44.9	16.06.1988	57.3
3	12.06.2014	15.5	20.08.2001	25.9	16.06.1988	44.6	23.06.1993	54.9
4	10.07.2010	15.1	16.06.1988	25.2	24.06.1981	42.5	10.08.1994	48.5
5	23.06.1993	14.7	17.06.2006	24.0	02.08.1996	36.2	02.08.1996	47.6
6	07.08.1989	14.6	01.08.2010	23.5	21.07.1992	33.2	24.06.1981	45.1
7	16.06.1988	14.4	24.06.1981	23.3	12.06.2014	33.0	21.08.2005	39.0
8	06.06.2002	14.4	06.06.2002	22.7	17.06.2006	31.4	10.08.2014	38.9
9	28.07.2009	14.4	11.09.2011	22.1	01.08.2010	31.2	24.06.1992	38.5
10	11.09.2011	13.6	21.08.1992	21.4	10.08.1994	30.1	19.08.2008	36.1

<h1>Luzern</h1> <h2>1880 - 2014</h2>	Regen und Schnee berücksichtigt
	1. Extremalverteilung: 10-Min - 12-Stunden-Maxima
	1. Extremalverteilung: 1-, 2-, 3- und 5-Tages-Maxima
	Normalverteilung: 3-Monats- u. Jahres-Maxima

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

Niederschlagsdauer	0.5h	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	2d	3d	5d	1mt	3mt	1yr
Jährlichkeit														
2.33	45	27	15	8.7	6.7	5.5	4.3	2.6	1.6	1.1	0.8	0.34	0.25	0.16
5	55	34	19	10.9	8.4	6.9	5.3	3.1	1.9	1.3	0.9	0.38	0.28	0.17
10	63	40	23	12.7	9.8	8.1	6.2	3.6	2.1	1.5	1.0	0.42	0.29	0.18
20	71	45	26	14.4	11.1	9.2	7.0	4.0	2.3	1.7	1.1	0.46	0.31	0.19
30	75	49	28	15.4	11.9	9.8	7.5	4.3	2.5	1.8	1.2	0.48	0.32	0.19
50	81	52	30	16.7	12.9	10.6	8.1	4.6	2.6	1.9	1.3	0.50	0.33	0.20
100	88	58	34	18.4	14.2	11.7	8.9	5.0	2.9	2.0	1.4	0.54	0.34	0.20
200	96	63	37	20.0	15.5	12.7	9.7	5.4	3.1	2.2	1.5	0.57	0.35	0.21
300	100	66	39	21.0	16.2	13.3	10.1	5.6	3.2	2.3	1.5	0.59	0.35	0.21
500	106	70	41	22.2	17.2	14.1	10.7	5.9	3.4	2.4	1.6	0.62	0.36	0.21
1000	113	76	44	23.9	18.5	15.2	11.5	6.4	3.6	2.5	1.7	0.65	0.37	0.22

**Bemerkungen:**

Werte für Dauern ab 24 h hergeleitet aus Tageswerten der Station Luzern  
- durchgehende Daten der Station Luzern 1.8.1880 - 31.12.2014

Werte für Dauern < 24 h hergeleitet aus 10-Minuten - Werten der A-Netz Station Luzern  
- Daten der A-Netz-Station Luzern 1981 - 2014  
- Werte vom 9.1.1985 offensichtlich fehlerhaft, daher nicht berücksichtigt