

Hochwasserschätzmethoden in der Praxis – Faktenblätter und Leitfaden zur Anwendung

Michael Rinderer¹, Catherine Berger¹, Florian Lustenberger², Massimiliano Zappa², Christian Schuler³

¹ geo7 AG, Neufeldstrasse 5 – 9, 3012 Bern

² Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

³ Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Kanton Zürich, Walcheplatz 2, 8090 Zürich

Zitiervorschlag: Rinderer M., Berger C., Lustenberger F., Zappa M., Schuler C. (2023):
Hochwasserschätzmethoden in der Praxis. Faktenblätter und Leitfaden zur Anwendung. Hrsg.
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich. Zürich.
DOI: 10.16904/envidat.454

Einführung in die Faktenblätter und den Leitfaden

Ausgangslage

Bei der gutachterlichen Ermittlung von Hochwasserabflussspitzen für Einzugsgebiete ohne Abflussmessungen hat sich in der Ingenieurpraxis in der Schweiz die Verwendung einfacher, empirischer Ansätze etabliert. Dabei wird zwischen kleinen Einzugsgebieten ($< 10 \text{ km}^2$) und mesoskaligen Einzugsgebieten ($> 10 \text{ km}^2$) unterschieden. Heute kommen vermehrt auch Niederschlag-Abfluss-Modelle zum Einsatz. Trotzdem wird für die Mehrzahl der praktischen Hochwasserabschätzungen heute noch die in der Praxishilfe des BWG (2003) beschriebene Vorgehensweise mit mehreren empirischen Schätzformeln angewendet.

Vorhandene Werkzeuge

Als Werkzeuge für die Hochwasserabschätzung stehen die beiden Softwarepakete HAKESCH (Einzugsgebiete $< 10 \text{ km}^2$) und HQx_meso_CH (Einzugsgebiete $> \text{ca. } 10 \text{ km}^2$) des Bundesamts für Umwelt (BAFU) sowie Web-Tools wie z.B. www.ganglinie.ch (skalenerübergreifend) zur Verfügung. Mit diesen Werkzeugen ist eine Anwendung der bekannten Schätzformeln effizient möglich.

Fachwissen und kritische Plausibilisierung

Ungeachtet dieser praxistauglichen Hilfsmittel kommt dem Fachwissen und der Erfahrung der Fachperson bei der Anwendung der Schätzmethoden eine grosse Bedeutung zu. Für kleine Einzugsgebiete sollte unbedingt eine Beurteilung vor Ort im Gelände erfolgen. Die Hintergrundinformationen zu den Methoden, welche grundsätzlich in diversen Publikationen vorhanden sind, finden aus verschiedenen Gründen nicht immer den Weg zu den Bearbeitenden. Auch ist die Vorgehensweise bei der Festlegung des Schätzwertes für den Bemessungsabfluss uneinheitlich. Plausibilisierungshilfen für die kritische Beurteilung der Berechnungsergebnisse fehlten bislang weitgehend.

Zielsetzung

Ziel dieser Faktenblätter ist es, Informationen zu den Schätzmethoden, Hinweise zur Parametrisierung und eine grobe Einschätzung der Güte der Resultate in übersichtlicher Form bereitzustellen. Ein zeitaufwändiges Zusammensuchen dieser Informationen aus unterschiedlichen Quellen entfällt daher weitgehend. Die Bearbeitenden sollen in der Lage sein, sich innerhalb weniger Minuten die wichtigsten Hintergrundinformationen zu jeder der vorgestellten Methoden in Erinnerung zu rufen. Der Leitfaden unterstützt bei der Plausibilisierung und bei der Mittelung der Ergebnisse der einzelnen Schätzmethoden zu einem repräsentativen Endergebnis. Vorausgesetzt wird Grundwissen und Erfahrung in der Thematik.

Aufbau der Faktenblätter und des Leitfadens

Der **Leitfaden** (siehe Seite 4 und 5) führt die Fachperson anhand eines Entscheidungsbaums in acht Schritten durch den Arbeitsablauf und unterstützt mit einem Fragenkatalog bei der Plausibilisierung der Ergebnisse.

Auf den Faktenblättern sind für jede Schätzmethode alle relevanten Informationen stichwortartig und grafisch übersichtlich auf einer DIN-A4 Seite zusammengefasst. Jedes Faktenblatt ist einheitlich gegliedert (siehe auch Seite 4):

Im Themenblock **Merkmale** ist die jeweilige Methode hinsichtlich Gültigkeitsbereich, berechnetem Ergebnis (HQ_{100} , HQ_{max} , HQ_x), Jährlichkeit, Art der Methode, Softwareprodukten etc. beschrieben.

Im Themenblock **Güte der Resultate** wird anhand von HQ_{100} -Referenzwerten aus der Extremwertstatistik von 95 mesoskaligen Einzugsgebieten verteilt über die ganze Schweiz (Barben, 2003) die Tendenz der jeweiligen Methode zur Über- oder Unterschätzung beleuchtet. Alternativ werden Hinweise zur Sensitivität von Modellparametern gegeben.

Im Themenblock **Parameter** sind die Eingangsparameter aufgelistet und, wo möglich, wird auf besonders sensitive Parameter hingewiesen. Etwaige Tabellen, Grafiken und Karten sind zur Unterstützung bei der Wahl der Parameter direkt auf dem Faktenblatt bereitgestellt.

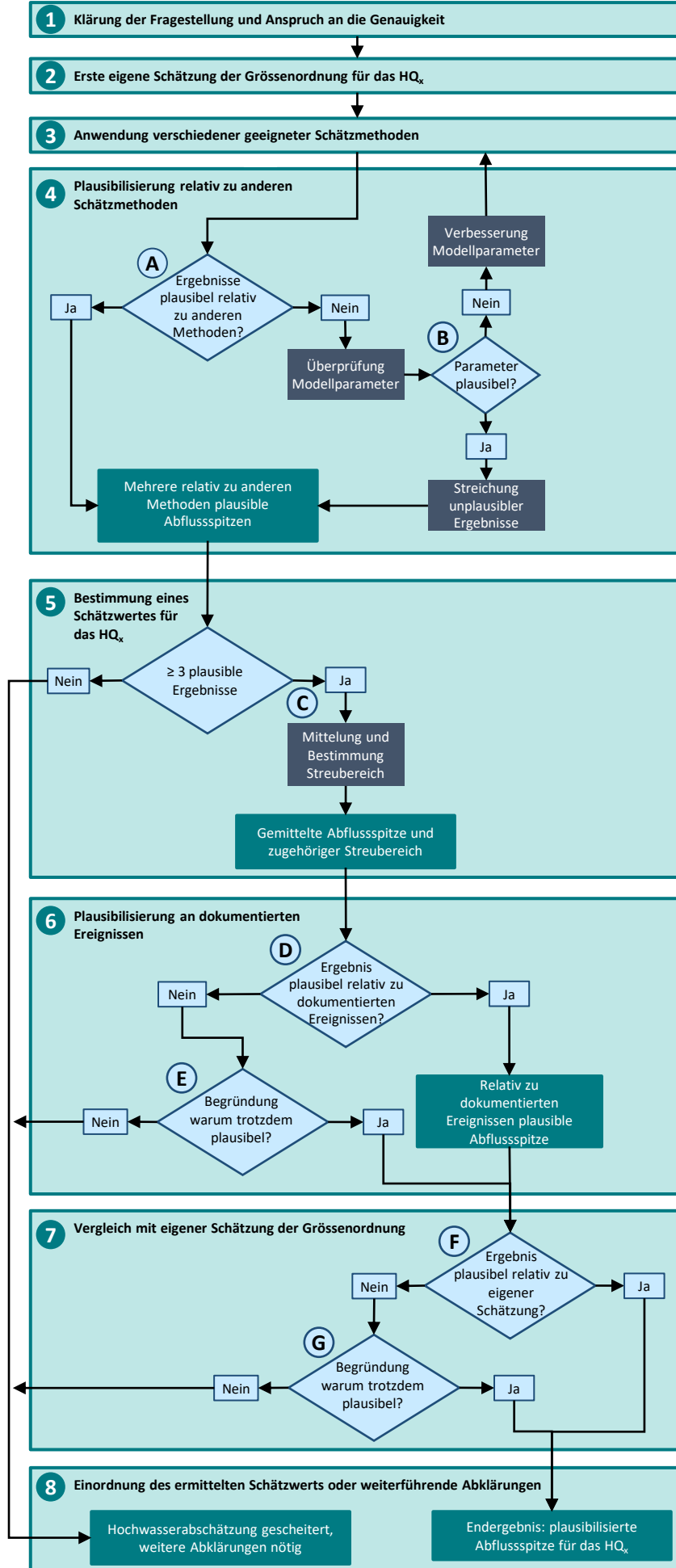
Am Ende sind **weiterführende Informationen**, die zitierten sowie weiterführende **Quellen** aufgeführt. Dies erlaubt bei Bedarf eine Vertiefung bestimmter Aspekte.

Glossar

Benetzungsvolumen	Vereinfacht ausgedrückt ist dies der Teil des Niederschlags, der benötigt wird, um den Bodenspeicher zu füllen. In vielen konzeptionellen Modellen wird davon ausgegangen, dass zunächst der Bodenspeicher gefüllt werden muss, bevor Abfluss generiert werden kann.
Benetzungszeit	Die verstrichene Zeit, bis der Niederschlag das Benetzungsvolumen aufgefüllt hat
Curve-Number-Werte	Vom Soil Conservation Service in den 1950iger Jahren in den USA empirisch ermittelte Werte zur Beschreibung des Infiltrationsverhaltens von v.a. landwirtschaftlichen Flächen (später auch andere Landbedeckungen)
Fliesszeit	Die Zeit, die ein Wassertropfen vom entlegensten Punkt des Einzugsgebiets bis zum Auslass benötigt
HQ₁₀₀	Hochwasserspitzenabfluss der Jährlichkeit 100 Jahre
HQ_{max}	Abflussspitze eines aussergewöhnlich grossen Hochwassers; in der Regel deutlich grösser als ein HQ ₁₀₀
HQ_x	Hochwasserspitzenabfluss der Jährlichkeit x Jahre
Hüllkurve	Regressionsgerade oder -kurve am oberen Rand aller Datenpunkte
Isochrone	Summe aller Flächen eines Einzugsgebiets, deren Abfluss in derselben Zeitspanne nach Niederschlagsbeginn den Gebietsauslass erreichen
Konzentrationszeit	Konzentrationszeit = Benetzungszeit + Fliesszeit
Fliesszeitverfahren	Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass die massgebende Hochwasserspitze dann erreicht wird, wenn das gesamte Gebiet abflusswirksam ist. Die Konzentrationszeit wird meist über einen empirischen Fliess- oder Laufzeitansatz ermittelt. Die Dauer und Intensität des Bemessungsniederschlags leitet sich aus der Konzentrationszeit ab.
Regionale Regression	Bei dieser Methode werden empirische Regressionsmodelle basierend auf regionalen Datensätzen dokumentierter Hochwasserereignisse entwickelt
Regionale Hüllkurve	Bei dieser Methode werden empirische Hüllkurven basierend auf regionalen Datensätzen dokumentierter Hochwasserereignisse entwickelt
Regionalisierung	Bei dieser Methode wird für ein zu bearbeitendes Gebiet (ohne Abflussmessungen) anhand von Gebietseigenschaften die Ähnlichkeit zu anderen Gebieten mit Abflussmessungen ermittelt. Der Hochwasserspitzenabfluss wird dann meist über den spezifischen Abfluss auf das Gebiet ohne Messungen übertragen (regionalisiert).
Schätzmethode	Hier: Eine für die Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten (empirisch) entwickelte, genäherte Methode / Formel
Schätzwert für das HQ_x	Ein als plausibel erachteter Hochwasserspitzenabfluss HQ _x , der anhand einer Mittelung unterschiedlicher Methoden bestimmt wurde

Leitfaden: Festlegung und Plausibilisierung eines Hochwasserschätzwerts

Entscheidungsbaum



Erläuterungen

- A** Ergebnisse sind z.B. plausibel wenn:
- alle Ergebnisse (HQ_{max} und HQ_x) in etwa in derselben Grössenordnung liegen bzw. eine geringe Streuung aufweisen (keine Ausreisser).
 - das Mittel der HQ_{max} -Werte über dem Mittel der HQ_x -Werte liegt.
 - die Ergebnisse innerhalb der Gruppe HQ_{max} bzw. HQ_x nahe beieinander liegen.
 - die einzelnen Ergebnisse aus der HQ_x -Gruppe nicht über den Werten der HQ_{max} -Gruppe liegen.
- B** Sind Ergebnisse einzelner Schätzmethoden nicht plausibel, müssen die Formelparameter hinterfragt und in begründeten Fällen angepasst werden. Andernfalls werden die unplausiblen Ergebnisse verworfen.
- C** Sind mindestens 3 plausible Schätzwerte vorhanden, dann:
- Bildung des arithmetischen (oder gewichteten) Mittels aller plausiblen HQ_x -Schätzwerte (andere Mittelung in fachlich begründeten Fällen möglich).
 - Ermittlung des Streubereichs anhand des niedrigsten und höchsten Schätzwerts für das HQ_x . Der obere Streubereich sollte unter dem Mittel der HQ_{max} -Gruppe liegen.
- D** Das Ergebnis ist nicht plausibel, wenn der gemittelte Schätzwert für das spezifische HQ_x ausserhalb der «Punktwolke» dokumentierter Ereignisse in der Schweiz (siehe Abbildung auf Seite 5) bzw. lokal dokumentierter Ereignisse liegt. Liegt der Schätzwert am unteren Rand, in der Mitte oder am oberen Rand der «Punktwolke», dann deutet das auf einen eher optimistischen, repräsentativen oder pessimistischen Schätzwert des HQ_x hin.
- E** Der Schätzwert kann trotzdem plausibel sein, wenn das Einzugsgebiet Grossteils aus versiegelten Flächen besteht, verkarstet ist oder der Schätzwert eine Jährlichkeit kleiner oder grösser 100 Jahre hat etc.
- F** Der Schätzwert ist plausibel, wenn er den ursprünglichen Erwartungen, basierend auf einer GIS-Analyse und/oder der Geländebegehung entspricht? (Ziel: nicht blind den Berechnungen vertrauen.)
- G** Der Schätzwert kann trotzdem plausibel sein, wenn man zur Überzeugung gelangt, dass die ursprüngliche eigene Schätzung der Grössenordnung falsch war. Man vertraut dem plausibilisierten Schätzwert mehr. Siehe auch Punkte unter **E**.

Leitfaden: Festlegung und Plausibilisierung eines Hochwasserschätzwerts

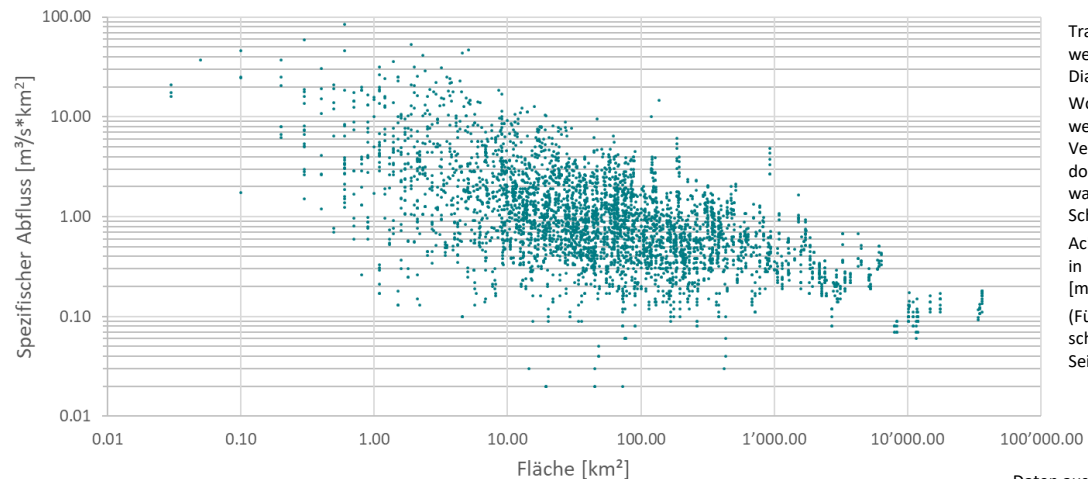
Erläuterungen zu den Bearbeitungsschritten

(siehe auch Entscheidungsbaum auf Seite 4)

- | | | |
|----------|--|--|
| 1 | Klärung der Fragestellung und Anspruch an die Genauigkeit | <ul style="list-style-type: none"> Ist die Anwendung der Schätzmethoden geeignet für meine Fragestellung? Habe ich Messdaten, die eine zuverlässige Extremwertstatistik erlauben würden (für ein HQ_{100}: min. 30 Jahre mit zuverlässigen Daten)? Benötige ich für meine Fragestellung eine Abflussganglinie und/oder eine Wasserfracht? Wenn ja, dann ist eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung die beste Wahl. Alternativ muss aus dem Schätzwert des HQ_x eine Dreiecksganglinie konstruiert werden. |
| 2 | Erste eigene Schätzung der Grössenordnung für das HQ_x | <ul style="list-style-type: none"> Welche Grössenordnung für ein HQ_x erwarte ich aufgrund der gesichteten Grundlagen, der GIS-Analyse und/oder dem Eindruck vom Gebiet und Gerinne bei der Begehung vor Ort? |
| 3 | Anwendung verschiedener geeigneter Schätzmethoden | <ul style="list-style-type: none"> Welche der Schätzmethoden sind für mein Einzugsgebiet geeignet? Weist mein Einzugsgebiet Eigenschaften auf, die eine Anwendung gewisser Schätzmethoden einschränkt? (siehe Angaben auf den jeweiligen Faktenblättern). |
| 4 | Plausibilisierung relativ zu anderen Schätzmethoden | <ul style="list-style-type: none"> Sind die Ergebnisse der einzelnen Schätzmethoden in sich und untereinander plausibel? |
| 5 | Bestimmung eines Schätzwertes für das HQ_x | <ul style="list-style-type: none"> Habe ich genügend plausible Hochwasserabschätzungen unterschiedlicher Methoden, um einen verlässlichen Schätzwert durch Mittelung zu bestimmen? Wie gross ist der zugehörige Streubereich, der ein «Ersatz» für das Vertrauensintervall und damit der Güte meines Schätzwertes ist? |
| 6 | Plausibilisierung an dokumentierten Ereignissen | <ul style="list-style-type: none"> Ist mein ermittelter Schätzwert für das HQ_x plausibel im Vergleich zu schweizweit dokumentierten Hochwasserabflüssen (evtl. gefiltert nach Region)? Gibt es Gründe, warum der Schätzwert für das HQ_x trotzdem plausibel erscheint? (für Beispiele siehe E auf Seite 4) Anmerkung: es können auch die Ergebnisse einzelner Schätzmethoden anhand der dokumentierten Ereignisse plausibilisiert werden (siehe Bearbeitungsschritt 3). |
| 7 | Vergleich mit eigener, erster Einschätzung | <ul style="list-style-type: none"> Weicht der Schätzwert des HQ_x stark von meiner ursprünglichen ersten Einschätzung ab? Gibt es Gründe, warum der Schätzwert für das HQ_x trotzdem plausibel erscheint? (für Beispiele siehe G auf Seite 4). |
| 8 | Einordnung des ermittelten Schätzwerts oder weiterführende Abklärungen | <ul style="list-style-type: none"> Hat der Leitfaden zu einem plausiblen Schätzwert für das HQ_x geführt? Wenn ja, ist dieser Schätzwert passend zu meiner Fragestellung und geforderten Genauigkeit (siehe Streubereich in Bearbeitungsschritt 3)? Hochwasserabschätzung ist nicht gleich Hochwasserbemessung bzw. -dimensionierung! Daher: Ist der Schätzwert für das HQ_x ein zweckmässiger Bemessungs- oder Dimensionierungsabfluss? Hat der Leitfaden zu keinem plausiblen Schätzwert für das HQ_x geführt, so sind weitere Abklärungen oder andere Methoden nötig. |

i Plausibilisierung des Schätzwerts im Vergleich zu dokumentierten Hochwasserabflüssen in der Schweiz

Dokumentierte, spezifische Hochwasserabflüsse in schweizerischen Einzugsgebieten




Tragen Sie den Schätzwert für das HQ_x in das Diagramm ein:
 Wo liegt der Schätzwert für das HQ_x im Vergleich zu anderen dokumentierten Hochwasserabflüssen in der Schweiz?
 Achtung: Umrechnung in spezifischen Abfluss [$m^3/s*km^2$] nötig!
 (Für Details siehe Entscheidungsbaum auf Seite 4, **G**)

Daten aus Scherrer et al. (2018)

Quellen:
 BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.
 Scherrer S., Kienzler P., Mez M., Schmocker-Fackel P. (2018): Schweizer Hochwasserrekorde. Wasser Energie Luft 110, (4).

Aufbau der Faktenblätter

Merkmale der Methode

- **Gültigkeitsbereich** der Methode bzgl. Einzugsgebietsfläche (z. B.  primär für mesoskalige Einzugsgebiete)
- **Einschränkungen**
- Angabe zur **Jährlichkeit**
- **Ergebnisse** entweder HQ_x , HQ_{100} oder HQ_{max}
- **Typ der Methode** (siehe Glossar)
- Können **Veränderungen im Niederschlag** z.B. durch den Klimawandel **berücksichtigt werden?**
- **Liste an Software-Produkten**

Güte der Resultate

- Wenn möglich, ist die Tendenz zu **Überschätzung, Neutralität** oder **Unterschätzung** der Methode im Vergleich zu Referenzdaten aus Barben (2003) beschrieben.

- Alternativ ist die **Sensitivität** von Eingangsgrößen der Methode als Diagramm dargestellt (z.B. Änderung HQ_{100} bei 10 % mehr Niederschlag).

Resultat








- Rechts oben wird vermerkt, ob die Methode ein HQ_{max} , HQ_{100} , HQ_x etc. liefert.

HQ_{100} , HQ_{max}

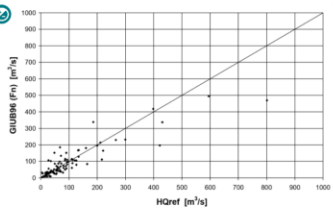
Hochwasserschätzmethoden in der Praxis

Methode: GIUB'96

Merkmale:

-  Einzugsgebiete: 10 bis 500 km²
-  Einschränkungen: Vorsicht bei Einzugsgebieten mit einer Fläche nahe der unteren bzw. oberen Gültigkeit (für Details siehe Weingartner, 1999)
-  Jährlichkeit: 100 Jahre; im Fall HQ_{max} deutlich grösser als das HQ_{100}
-  Ergebnis: HQ_{100} , HQ_{max} [m³/s]
-  Methodik: Regionale Regression (HQ_{100}) bzw. regionale Hüllkurve (HQ_{max})
-  Klimawandel: Kann nicht berücksichtigt werden
-  Werkzeuge:
 - $HQ_x_meso_CH$
 - www.ganglinie.ch

Güte der Resultate: GIUB'96 (Fn)



BWG (2003); Fig. 5.11, S. 65.; Barben (2003); Fig. 3.15, S. 47.

Fazit: Im Vergleich zu den HQ_{100} Referenzwerten in Barben (2003) gute Ergebnisse. In der Praxis bekannt für eher tiefe HQ_{100} Ergebnisse.

- **Fazit:** Hier ist die Güte der Methode allgemein und Erfahrungen mit der Anwendung der Methode in der Praxis (z.T. subjektiv) beschrieben.

Parameter

- **Eingangsparameter** (inkl. Einheiten) Besonders sensitive Parameter sind in **blaugrün** markiert. Die übrigen Parameter haben ebenfalls einen Einfluss auf das Ergebnis: Ihre Sensitivität ist abhängig vom jeweiligen Einzugsgebiet.

Parameter:

- empirische Parameter (a, b) [-]
- Einzugsgebietsfläche (Fn) [km²] oder
- Mittlerer Jahresabfluss (MQ) [m³/s]

(blaugrün = besonders sensitiv)

- Weiterführende Informationen:**
- Tipp: Liegt ein Einzugsgebiet nahe einer Grenze zweier Hochwasserregionen sollten Berechnungen mit a und b von beiden Hochwasserregionen durchgeführt werden.
 - Die GIUB'96 Methode ähnelt der von Kürsteiner. Durch die Bildung von Regionen und einem grösseren Datensatz konnten aber die Ergebnisse deutlich verbessert werden (Datensatz: 700 Ereignisse im Zeitraum 1869 bis 1991).



Parameter (a, b) für GIUB'96 (Fn)					Parameter (a, b) für GIUB'96 (MQ)								
Region	a	b	Qmax	Qref	Region	a	b	Qmax	Qref				
M1	46	0.73	2.07	2.82	1.48	0.00	M1	28	0.71	33.13	21.82	22.29	0.94
M2	41	0.59	13.18	7.59	5.98	0.07	M2	21	0.71	—	—	—	—
M3	44	0.63	4.19	3.63	2.05	0.04	M3	10	0.64	—	—	—	—
M4	34	0.56	13.89	13.50	7.86	0.50	M4	27	0.59	—	—	—	—
M5	24	0.76	0.79	1.02	0.68	0.04	M5	22	0.75	10.85	—	—	—
M6	108	0.89	13.18	12.00	7.18	0.88	M6	62	0.62	58.23	75.89	41.14	0.66
M7	18	0.76	0.11	0.90	1.06	0.03	M7	34	0.61	180.29	109.63	—	—
M8	55	0.64	7.08	6.09	4.36	0.31	M8	46	0.70	48.89	37.58	28.76	0.77
M9	16	0.76	0.27	1.88	1.30	0.00	M9	12	0.67	—	—	—	—
M10	13	0.78	2.40	1.78	1.40	0.05	M10	12	0.66	—	—	—	—
M11	28	0.74	1.51	1.68	0.96	0.07	M11	22	0.67	20.61	—	—	—
M12	17	0.69	1.35	1.05	0.90	0.05	M12	26	0.69	23.99	22.39	15.54	0.52
M13	27	0.66	1.22	1.14	0.83	0.12	M13	22	0.68	180.12	—	—	—
M14	27	0.68	18.96	18.96	12.61	0.79	M14	24	0.64	—	—	—	—
M15	48	0.74	7.08	7.00	4.42	0.37	M15	42	0.74	118.85	83.50	47.40	0.79
M16	71	0.68	—	—	7.80	0.07	M16	42	0.74	—	—	—	—

Quellen:


Barben M. (2003): Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Geographica Bernensia G71, Geographischen Institut der Universität Bern, Bern.

BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4, Bern.

Kan C. (1995): Die höchsten in der Schweiz beobachteten Abflussmengen bis 1990. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern. Publikation Gewässerkunde 169, Bern.

Weingartner R. (1999): Regionalhydrologische Analysen – Grundlagen und Anwendungen. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 37, Bern.

Weiterführende Informationen

- Hier sind **weiterführende Informationen, Nachschlagetabellen, Entscheidungsdiagramme, Tipps** und **Hinweise** für die **korrekte Anwendung** angeführt. Ist besondere Vorsicht geboten, wird dies mit  gekennzeichnet.

Quellen

- Hier sind Dokumente für die vertiefte Einarbeitung in die Methode und **zitierte Literatur** aufgelistet.

Methode: Kürsteiner

Merkmale:



- Einzugsgebiete: 5 bis 500 km²

- Einschränkungen: schlechte Ergebnisse in Einzugsgebieten mit einem steilen, oberem Teilgebiet und einem flachen, unteren Teilgebiet (oder umgekehrt)

- Jährlichkeit: keine Angabe zur Jährlichkeit; Abfluss ist in der Regel höher als das HQ₁₀₀

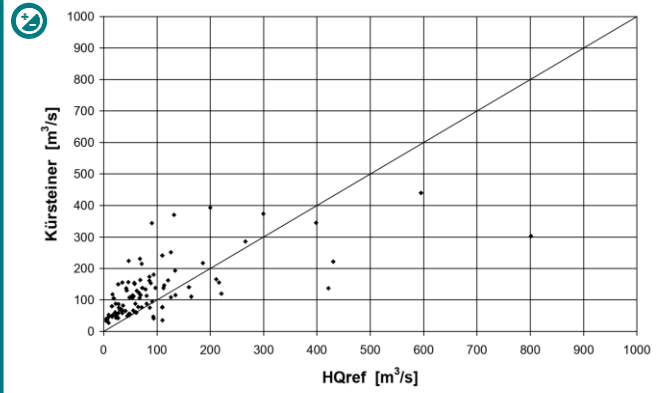
- Ergebnis: HQ_{max} [m³/s]

- Methodik: Hüllkurve

- Klimawandel: kann nicht berücksichtigt werden

- Werkzeuge:
 - HQx_meso_CH
 - www.ganglinie.ch

Güte der Resultate:



BWG (2003): Fig. 5.4, S. 58., Barben (2003): Fig. 3.8, S. 36.

- Fazit:** Mehrzahl der HQ_{max} nach Kürsteiner liegen deutlich über den HQ₁₀₀-Referenzwerten in Barben (2003) und streuen stark.

In der Praxis: Kürsteiner liefert HQ_{max} und damit Ergebnisse im oberen, noch realistischen Bereich.

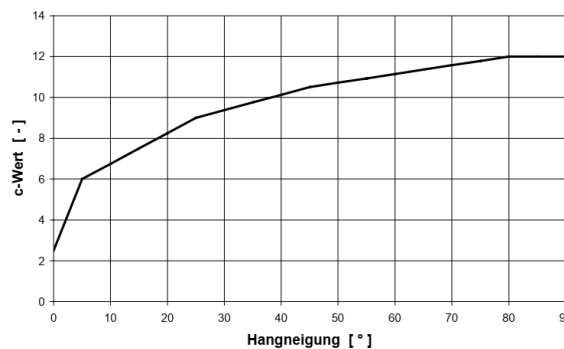
Parameter:

- Einzugsgebietsfläche [km²]
- c-Wert [-]

c- Werte nach Kürsteiner (1917) resp. Heusser (1947)

	c
ausgesprochen flaches Gelände, mit leicht hügeligen Randgebieten; Kanäle aus Riedentwässerungen	2,5 bis 4
teilweise flaches und teilweise hügeliges Einzugsgebiet	4 bis 6
meist hügeliges Voralpengelände	6 bis 9
steiles gebirgisches Einzugsgebiet	9 bis 12
vergltscherte Einzugsgebiete	3 bis 5

BWG (2003): Tab. 5.1, S. 56.



BWG (2003):Fig. 5.3, S. 57.

Weiterführende Informationen:


- Tipp: Testen Sie verschiedene c-Werte und prüfen Sie die Sensitivität des berechneten HQ_{max}. Plausibilisieren Sie anhand dokumentierter Ereignisse in der Schweiz (z.B. Scherrer et al., 2018, siehe Seite 5 dieses Leitfadens).
- Kürsteiner überschätzt das HQ₁₀₀ im schweizweiten Mittel um bis zu 40 %.


Quellen:


- BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.
- Heusser H. (1947): Die Voraussage der maximalen Hochwassermenge. In: Schweizerische Technische Zeitschrift 31, S. 524 – 526.
- Kürsteiner L. (1917): Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur. In: Schweizer Bauzeitung 1, S. 4 – 8.


Methode: Müller-Zeller


Merkmale:


-  Einzugsgebiete: 2 bis 100 km²


-  Einschränkungen: kritische Prüfung des Abflusskoeffizienten bei Anwendung in Einzugsgebieten mit hohem Siedlungsanteil und im Hochgebirge

-  Jährlichkeit: keine Angabe zur Jährlichkeit; Abfluss ist in der Regel höher als das HQ₁₀₀

-  Ergebnis: HQ_{max} [m³/s]

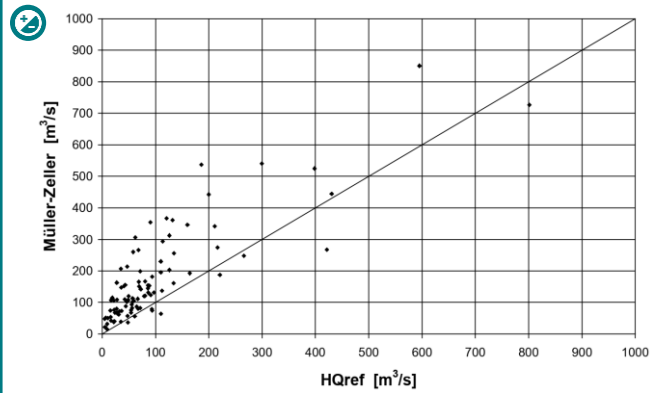
-  Methodik: Hüllkurve

-  Klimawandel: kann nicht berücksichtigt werden


-  Werkzeuge:
 - HQx_meso_CH
 - www.ganglinie.ch



Güte der Resultate:



BWG (2003): Fig. 5.6, S. 60., Barben (2003): Fig. 3.10, S. 39.

-  Fazit: Mehrzahl der HQ_{max} nach Müller-Zeller liegen deutlich über den HQ₁₀₀-Referenzwerten in Barben (2003) und streuen stark.

In der Praxis: Müller-Zeller liefert HQ_{max} und damit Ergebnisse höher als ein HQ₁₀₀.

Parameter:

(blaugrün = besonders sensitiv)

- Einzugsgebietsfläche [km²]
- Abflusskoeffizient Ψ [-] (siehe Tabelle unten)
- α -Zonenkoeffizient [-] (beschreibt grob die Niederschlagsregionen der Schweiz)

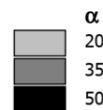
Abflusskoeffizienten (Ψ Psi)

Höhenlage	Charakter	Ψ flach bis steil
oberhalb Waldgrenze	undurchlässige Weidenböden, Fels Schutthaldden (Zeller)	0,4 bis 0,8 0,05 bis 0,4
Waldgrenzgebiet	Alpweiden mit Sträuchern, einzelne Bäume lichter Wald ohne Schluss	0,3 bis 0,7 0,2 bis 0,6
tieferer Lagen	junger Wald, Wiesen- und Ackerland vernässte Gebiete, Sumpf (Zeller)	0,1 bis 0,5 0,3 bis 0,6



BWG (2003): Tab: 5.2, S. 58.

Anmerkung:

Der Abflusskoeffizient kann auch anhand anderer Kriterien festgelegt werden (z.B. Landnutzung/ Vegetation; siehe Markart et al., 2004).










Barben (2003): Fig. 3.9, S. 38.
BWG (2003): Fig. 5.3, S. 57.

-  Weiterführende Informationen:  Müller-Zeller überschätzen das HQ₁₀₀ im schweizweiten Mittel um bis zu 80 %

Quellen:

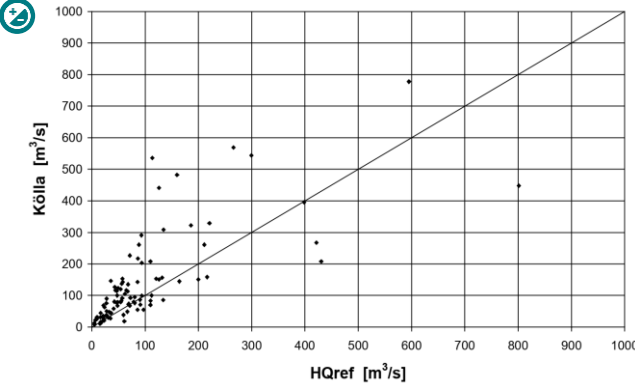
- BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.
- Markart G., Kohl B., Sotier B., Schaer T., Bunza G., Stern R. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Bestimmung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0), Hrsg. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, BFW-Dokumentationen 3, Wien.
- Müller R. (1943): Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauung. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich Nr. 4. Zürich.
- Zeller J. (1975): Berechnung der Abflussmenge. Beilage zur Vorlesung Wildbach- und Hangverbau. ETH Zürich. Zürich.

Merkmale:

 Einzugsgebiete:	Kölla: 0.5 bis 100km ² Kölla_meso: 10 bis 500km ²
	(Anmerkung: zum Unterschied zwischen Kölla und Kölla_meso siehe weiterführende Informationen unten)
 Einschränkungen:	weniger gut im Hochgebirge, in stark urbanen oder vergletscherten Einzugsgebieten
 Jährlichkeit:	100 Jahre (20 Jahre)
 Ergebnis:	HQ ₁₀₀ , (HQ ₂₀) [m ³ /s]
 Methodik:	Fliesszeitverfahren
 Klimawandel:	kann vereinfacht über veränderte Niederschläge berücksichtigt werden
 Werkzeuge:	<ul style="list-style-type: none"> • HQx_meso_CH • www.ganglinie.ch

Güte der Resultate:

Kölla_meso:



BWG (2003): Fig. 5.7, S. 62., Barben (2003): Fig. 3.11, S. 42.

Fazit:




Mehrzahl der HQ₁₀₀ nach Kölla_meso liegen über den HQ₁₀₀-Referenzwerten in Barben (2003); im Mittel schweizweit Überschätzung um 25 %.

Kölla: grundsätzlich bekannt für zuverlässige Ergebnisse

Parameter: (blaugrün = besonders sensitiv)

<ul style="list-style-type: none"> • 2.33-jährlicher 1h Niederschlag • 2.33-jährlicher 24h Niederschlag • 100-jährlicher 1h Niederschlag • 100-jährlicher 24h Niederschlag • kumulative Gerinnelänge [km] 	<ul style="list-style-type: none"> • versiegelte Fläche [km²] • vergletscherte Fläche [km²] • Klasse des Benetzungsvolumens
--	--

Weiterführende Informationen:

- Allgemein: Der ursprüngliche Ansatz von Kölla (1986) geht davon aus, dass die Parameter im Gelände erhoben werden. Bei der Methode Kölla_meso werden die nötigen Parameter aus topographischen Karten abgeleitet. Im Programm HQx_meso_CH geschieht dies automatisch (100 × 100 m Raster).
-  • Vorsicht: Bei sehr kleinen Einzugsgebieten wird die automatisch abgeleitete, kumulative Gerinnelänge in HQx_meso_CH basierend auf der blauen Signatur in der topographischen Landeskarte (LK) unterschätzt. Es empfiehlt sich, eine zweite Variante zu rechnen, bei der die kumulative Gerinnelänge die dauerhaften (blau durchgezogenen) und die episodisch wasserführenden Gerinne (schwarz gepunktet) berücksichtigt. Beide Resultate vermitteln ein Gefühl für die Spannweite der Ergebnisse der Methode. Die Gerinnelänge kann auch manuell bestimmt werden. Achtung: zu grobe bzw. zu detaillierte Datengrundlagen liefern zu tiefe bzw. zu hohe Abflussspitzen.
-  • Vorsicht bei grossen Niederschlagsgradienten im Gebiet. Das HQ₁₀₀ nach Kölla reagiert sensibel auf die eingegebenen Niederschlagsintensitäten.
-  • Niederschlagsabminderung ab Einzugsgebietsflächen von ca. > 30 km² berücksichtigen (siehe z.B. HADES, 1992 Begleittext zu Tafel 2.5).
- Für Benetzungsvolumen siehe Tabelle auf Faktenblatt mod. Fliesszeitverfahren

Quellen:

BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.

Kölla E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitteilung Nr. 87 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, Zürich.

Kölla E. (1987): Abschätzung von Spitzenabflüssen in kleinen natürlichen Einzugsgebieten der Schweiz. Schweizer Ingenieur und Architekt 33 – 34, S. 965 – 972.

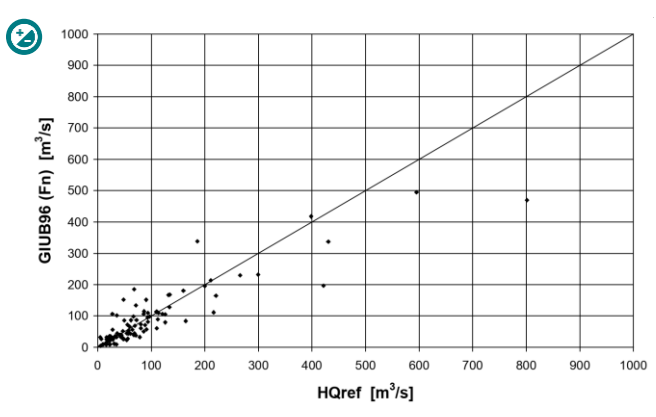
Methoden: GIUB'96

HQ₁₀₀, HQ_{max}

Merkmale:

- Einzugsgebiete: 10 bis 500 km²
- Einschränkungen: Vorsicht bei Einzugsgebieten mit einer Fläche nahe der unteren bzw. oberen Gültigkeit (für Details siehe Weingartner, 1999)
- Jährlichkeit: 100 Jahre; im Fall HQ_{max} deutlich grösser als das HQ₁₀₀
- Ergebnis: HQ₁₀₀, HQ_{max} [m³/s]
- Methodik: Regionale Regression (HQ₁₀₀) bzw. regionale Hüllkurve (HQ_{max})
- Klimawandel: Kann nicht berücksichtigt werden
- Werkzeuge:
 - HQx_meso_CH
 - www.ganglinie.ch

Güte der Resultate:



BWG (2003): Fig. 5.11, S. 65., Barben (2003): Fig. 3.15, S. 47.

Fazit: Im Vergleich zu den HQ₁₀₀-Referenzwerten in Barben (2003) gute Ergebnisse.

In der Praxis bekannt für eher tiefe HQ₁₀₀ Ergebnisse.

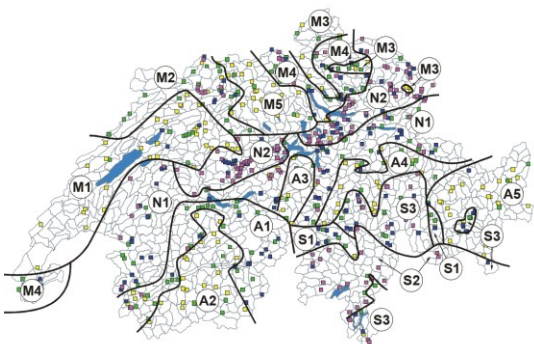
Parameter: (blaugrün = besonders sensitiv)

- empirische Parameter (a, b) [-]
- Einzugsgebietsfläche (Fn) [km²] oder
- Mitterer Jahresabfluss (MQ) [m³/s]

Weiterführende Informationen:

- Tipp: Liegt ein Einzugsgebiet nahe einer Grenze zweier Hochwasserregionen sollten Berechnungen mit a und b von beiden Hochwasserregionen durchgeführt werden.
- Die GIUB'96 Methode ähnelt der von Kürsteiner. Durch die Bildung von Regionen und einem grösseren Datensatz konnten aber die Ergebnisse deutlich verbessert werden (Datensatz: 700 Ereignisse im Zeitraum 1869 bis 1991).

Karte der Hochwasserregionen der Schweiz



BWG (2003): Tab. 5.10, S. 63.; Barben (2003): Fig. 3.14, S. 45.

Parameter (a, b) für GIUB'96 (Fn)

Region	n	b	a		r ²
			Q _{max} (Fn ≤ 100 km ²)	Q _{max} (Fn > 100 km ²)	
M1	46	0,73	2,37	2,82	1,44
M2	41	0,59	13,18	7,59	5,98
M3	24	0,61	4,79	3,63	2,65
M4	54	0,58	11,89	12,30	7,86
M5	24	0,79	1,51	1,02	0,68
N1	108	0,60	13,18	12,02	7,18
N2	138	0,54	33,11	23,99	17,66
A1	55	0,64	7,08	6,03	4,36
A2	34	0,74	2,0	1,88	1,30
A3	15	0,78	2,40	(1,78)	1,40
A4	28	0,91	1,51	(1,68)	0,94
A5	27	0,83	1,26	1,20	0,90
S1	27	0,58	11,22	(11,48)	0,83
S2	27	0,69	19,95	19,50	12,41
S3	68	0,74	7,08	7,50	4,41
Schweiz	717	0,566	-	-	7,20

(1,78): Stichprobenumfang zur Bestimmung von a sehr klein

BWG (2003): Tab. 5.3, S. 63.

Parameter (a, b) für GIUB'96 (MQ)

Region	n	b	a		r ²
			Q _{max} (MQ ≤ 3 m ³ /s)	Q _{max} (MQ > 3 m ³ /s)	
M1	28	0,71	33,11	31,62	22,29
M2	21	0,71	-	57,54	37,27
M3	10	0,64	-	-	23,76
M4	27	0,59	-	81,28	53,98
M5	22	0,75	15,85	-	14,81
N1	62	0,62	56,23	75,86	41,14
N2	34	0,65	141,25	109,65	75,10
A1	46	0,70	41,69	37,58	26,74
A2	32	0,81	20,41	19,95	12,80
A3	12	0,66	-	-	17,13
A4	23	0,87	24,55	-	14,67
A5	26	0,89	23,99	22,39	15,34
S1	23	0,69	50,12	-	33,46
S2	24	0,68	-	141,25	94,79
S3	62	0,75	118,85	63,10	47,20
Schweiz	453	0,714	-	-	31,06

- zu kleiner Stichprobenumfang

BWG (2003): Tab. 5.4, S. 64.

Quellen:

Barben M. (2003): Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Geographica Bernensia G71, Geographischen Institut der Universität Bern, Bern.








BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.

Kan C. (1995): Die höchsten in der Schweiz beobachteten Abflussmengen bis 1990. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern. Publikation Gewässerkunde 169, Bern.

Weingartner R. (1999): Regionalhydrologische Analysen – Grundlagen und Anwendungen. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 37, Bern.

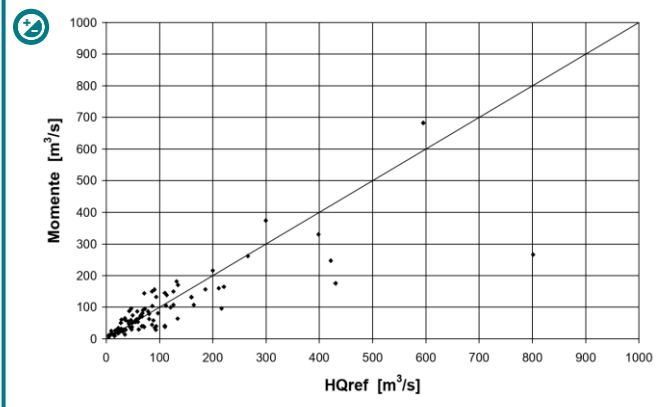
Methode: Momente

Merkmale:

 Einzugsgebiete:	10 bis 200 km ² (bei sorgfältiger Plausibilisierung bis 500 km ²)
 Einschränkungen:	Siehe Gebietseigenschaften in Tabelle unten; generell aber nicht geeignet für stark urbane oder stark vergletscherte Einzugsgebiete
 Jährlichkeit:	Beliebige Jährlichkeit x abhängig vom Faktor K _x
 Ergebnis:	HQ _x [m ³ /s]
 Methodik:	Regionalisierung
 Klimawandel:	Kann nicht berücksichtigt werden
 Werkzeuge:	<ul style="list-style-type: none"> HQx_meso_CH




Güte der Resultate:



BWG (2003): Fig. 5.15, S. 68., Barben (2003): Fig. 3.17, S. 51.

Fazit: Im Vergleich zu den HQ₁₀₀-Referenzwerten in Barben (2003) gute Ergebnisse.

In der Praxis hin und wieder eher tiefe HQ₁₀₀ Ergebnisse.

 Parameter: (blaugrün = besonders sensitiv)	<ul style="list-style-type: none"> beitragende Fläche [km²], rFb Jahresniederschlag [mm] Vergletscherungsgrad [%] Ödlandanteil [%], rFb mittleres Wasserspeichervermögen [mm], rFb 	<ul style="list-style-type: none"> K_x-Faktor (Funktion der Jährlichkeit und der Verteilungsfunktion) (mittlere Hangneigung [°], rFb ; wird im HQx_meso_CH nicht mehr verwendet) (rFb: Faktor für Flächengewichtung)
---	--	---

Weiterführende Informationen:

- Flächengewichtung (rFb): grösser je grösser die Hangneigung und je kleiner die Entfernung zum Gerinne ist.
- Allgemein: Parameter werden im HQx_meso_CH automatisch aus hinterlegten Geodaten und Abflussdaten abgeleitet.
- Die Momente Methode hat Gültigkeit in Einzugsgebieten mit folgenden Charakteristiken:

Tabelle mit Masszahlen der Gebietseigenschaften jener Gebiete, die zur Entwicklung der Momente Methode herangezogen wurden. (Fn: Einzugsgebietsfläche [km²], Gletscher: Gletscheranteil [%], N_J: Jahresniederschlag [mm], Ödland: Ödlandanteil [%], SPK: Speicherkapazität [mm]).

	Fn	Gletscher	N _J	Ödland	SPK
Min	2,4	0,0	1042	0,0	11,0
Median	17,8	0,0	1999	8,3	36,1
Max	243,7	48,1	3156	79,0	90,3

BWG (2003, Fig. 5.6b, S. 74.)

Quellen:

Barben M. (2003): Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Geographica Bernensia G71, Geographischen Institut der Universität Bern, Bern

BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.

Düster H. (1994): Modellierung der räumlichen Variabilität seltener Hochwasser in der Schweiz. Geographica Bernensia G44, Bern.

Sydler P., Widmoser P., Zollinger F. (1982): Statistische Untersuchungen von Extremabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. Institut für Kulturtechnik, ETH Zürich, Zürich.

Methode: BaD7

Merkmale:

- 🌿
Einzugsgebiete: 10 bis 200 km² (bei sorgfältiger Plausibilisierung bis 500 km²)

- ⚠️
Einschränkungen: Siehe Gebietseigenschaften in Tabelle unten; generell aber nicht geeignet für stark urbane oder stark vergletscherte Einzugsgebiete

- 🕒
Jährlichkeit: Beliebige Jährlichkeit x abhängig vom Faktor K_x

- 📊
Ergebnis: HQ_x [m³/s]

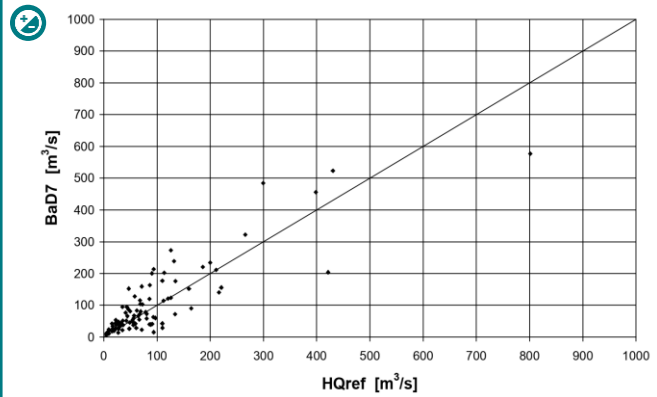
- ⚙️
Methodik: Regionalisierung

- 🌍
Klimawandel: Kann nicht berücksichtigt werden

- 🔧
Werkzeuge:
 - HQx_meso_CH



Güte der Resultate:



BWG (2003): Fig. 5.17, S. 70, Barben (2003): Fig. 3.19, S. 54.

- ②
Fazit: Im Vergleich zu den HQ₁₀₀-Referenzwerten in Barben (2003) gute Ergebnisse.

In der Praxis hin und wieder eher tiefe HQ₁₀₀ Ergebnisse.

- 📋
Parameter:
 - Elongationsfaktor [-]
 - Ödlandanteil [%], rFb
 - (blaugrün = besonders sensitiv)
 - Gletscheranteil [%]
 - Versiegelungsgrad [%]
 - Jahresniederschlag [mm]
 - Weideanteil [%], rFb
 - Neigung [°], rFb
 - (rFb: Faktor für Flächengewichtung)
 - K_x-Faktor (Funktion der Jährlichkeit und der Verteilungsfunktion)

- i
Weiterführende Informationen:
 - Allgemein: Parameter werden im HQx_meso_CH automatisch aus hinterlegten Geodaten und Abflussdaten abgeleitet.
 - Die BaD7 Methode hat Gültigkeit in Einzugsgebieten mit folgenden Charakteristiken:

Tabelle mit Masszahlen der Gebietseigenschaften jener Gebiete, die zur Entwicklung der BaD7 Methode herangezogen wurden. (Elong: Elongationsfaktor [-], Gletscher: Gletscheranteil [%], N_J: Jahresniederschlag [mm], Neigung: Hangneigung [°], Ödland: Ödlandanteil [%], Versiegelt: Versiegelungsgrad [%], Weide: Weideanteil [%]).

	Elong	Gletscher	N _J	Neigung	Ödland	Versieg	Weide
Min	0,016	0,0	1042	1,7	0,0	0,0	0,0
Median	0,097	0,0	1999	17,8	8,3	0,0	27,2
Max	0,386	48,1	3156	32,4	79,0	31,9	86,6


BWG (2003): Fig. 5.6c, S. 74.


Quellen:


- Barben M. (2003): Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Geographica Bernensia G71, Geographischen Institut der Universität Bern, Bern
- BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.


Methode: Müller modifiziert


Merkmale:


-  Einzugsgebiete: > 1 km²


-  Einschränkungen: Vorsicht: 0.5 bis 1 km²: konservative Ergebnisse, < 0.5 km²: unrealistisch hohe Abflussspitzen
Kritische Überprüfung in stark urbanen und vergletscherten Gebieten

-  Jährlichkeit: keine Angabe zur Jährlichkeit; Abfluss ist in der Regel höher als das HQ₁₀₀

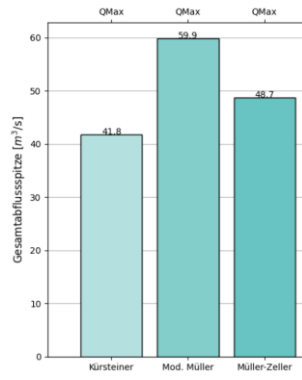
-  Ergebnis: HQ_{max} [m³/s]

-  Methodik: Hüllkurve


-  Klimawandel: Kann nicht berücksichtigt werden


-  Werkzeuge:
 - HAKESCH
 - www.ganglinie.ch


Güte der Resultate:



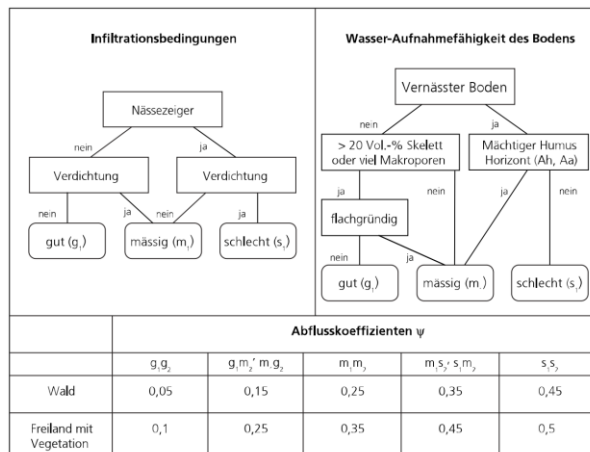
Typische Rangfolge der Ergebnisse für ein HQ_{max} für kleine Einzugsgebiete: Müller modifiziert (grösstes), Müller-Zeller (zweitgrösstes) und Kürsteiner (drittgrösstes Ergebnis)
Grafik: www.ganglinie.ch

-  **Fazit:** Liefert HQ_{max} und damit Ergebnisse im oberen Bereich.
In der Praxis resultieren oft sehr hohe HQ-Werte, die kritisch zu hinterfragen sind.

-  **Parameter:**
 - Einzugsgebietsfläche [km²]
 - Abflusskoeffizient (ψ) [-] (nach Rickli & Forster, 1997)
 (blaugrün = besonders sensitiv)

-  **Weiterführende Informationen:**
 - Die Abflusskoeffizienten nach Rickli & Forster (1997) liegen tendenziell tief und bilden eher günstige Vorfeuchtebedingungen ab. Für ungünstigere Vorbedingungen können die Abflussbeiwerte auf Waldflächen um 0.05 und auf nicht bewaldeten Flächen um 0.1 erhöht werden (Dobmann, 2009).

Abflusskoeffizienten und Wasserspeichervermögen nach Rickli & Forster (1997)




BWG (2003): Fig. 5.23, S. 84; Dobmann (2009): Fig. 4.15, 4.16, S. 74.


Quellen:


- BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.
- Dobmann (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern. Bern.
- Müller R. (1943): Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauung. Mitteilung 4 der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich, Zürich.
- Rickli C., Forster F. (1997): Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen 148, Nr. 5, S. 367 – 385.


Methode: Taubmann


Merkmale:


-  Einzugsgebiete: 0.5 bis 300 km²


-  Einschränkungen: Keine bekannt

-  Jährlichkeit: 5, 10, 25, 50, 100 Jahre

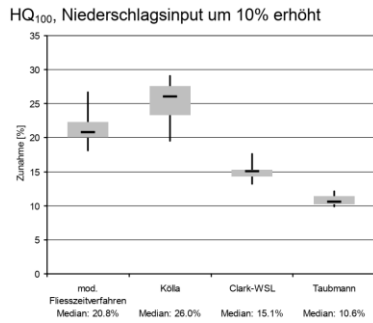
-  Ergebnis: HQ_x [m³/s]

-  Methodik: Fließzeitverfahren


-  Klimawandel: kann vereinfacht über veränderte Niederschläge berücksichtigt werden


-  Werkzeuge:
 - HAKESCH


Sensitivität der Resultate:



Dobmann (2009): Fig. 5.33, S. 156.

 **Fazit:** In der Praxis liegen die Ergebnisse der Methode Taubmann eher im unteren Bereich der Abschätzungen.

-  **Parameter:** (blaugrün = besonders sensitiv)
- Einzugsgebietsfläche [km²]
 - **Curve-Number-Werte [-]**
 - **Niederschlagsintensität [mm/h]**
 - massgebende Niederschlagsdauer = Konzentrationszeit [h] (Chezy & Strickler)
 - Jährlichkeit [Jahre]
 - Länge des Hauptgerinnes [km]
 - mittleres Gefälle des Hauptgerinnes [m/m]
 - geschätzte, mittlere Fliesstiefe im Hauptgerinne [m]
 - Abflussfaktor [cm/h]
 - Klimafaktor [-]
 - Scheitelreduktionsfaktor [-]

-  **Weiterführende Informationen:**
- Klimafaktor: Die Methode wurde ursprünglich in den USA entwickelt. Der Klimafaktor korrigiert klimatische Unterschiede zwischen den USA und Europa
 - Curve-Number-Werte: gehen zurück auf das SCS-Verfahren (USA) und beschreiben die Infiltration von landwirtschaftlichen Flächen. Kuntner & Burlando (2003) publizierten Werte für die Schweiz :

Curve-Number-Werte für die GEOSTAT Arealstatistik der Schweiz

K	Kategorie	Beschreibung	Hydrologische Bodengruppe				Entsprechende Kategorie bei Taubmann
			A	B	C	D	
1	0d- und Unland	Schnee, Eis, Fels, Geröll, Sumpf, Streu und Torfland	77	86	91	94	2
2	Flüsse	Flüsse von mehr als 50m Breite	100	100	100	100	
3	Seen	Seeflächen > 1ha	100	100	100	100	
4	Wald	geschlossener, offener Wald, Wirtswald, Waldweide und Gebüsch	36	60	73	79	13.1
5	Weiden	Alpweiden, absolutes Weideland Heutäpeln und Wildheumädel	59	74	83	87	Mittel aus 9.1 und 9.2
6	Wies- und Ackerland, Obstbau	enthält auch Gewässer, Wege und Gebäude soweit sie nicht in die Nutzungsarten Seen, Flüsse, überbautes Gebiet einbezogen werden konnten	51	70	80	85	Mittel aus 5.1 und 12
7	Rebbau		64	73	79	82	Mittel aus 5.5 und 5.6
8	Gebiete mit hoher Bebauungsdichte	Kerngebiete grösserer Städte	89	92	94	95	
9	Gebiete mit mittlerer Bebauungsdichte	Kerngebiete mittlerer Städte	77	85	90	92	
10	Gebiete mit niedriger Bebauungsdichte	viele kleine Gebäude in lockerer Anordnung	54	70	80	85	
11	Verkehrsanlagen	flächenhafte Anlagen (Bahnhöfe, Knotenpunkte, Flughäfen)	98	98	98	98	
12	Industrianlagen	öSha	81	88	91	93	

- Hydrologische Bodengruppen:**
- A: tiefgründige, lockere Kies-, Sand- und Lössböden
 - B: mitteltiefe festere Sandböden, Mehlsand, Lössböden
 - C: flache Böden, Böden mit Kolloiden; lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand
 - D: sehr flache Böden oder Böden mit stark quellenden Kolloiden, fette Lehm- und Tonböden

Kuntner & Burlando (2003), in Dobmann (2009) Tab. 4.22, S. 91.

Quellen:

Dobmann (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern. Bern.


Kuntner R., Burlando P. (2003): Parsimonious and Spatially Distributed Modelling of Runoff Generation in Mesoscale Prealpine and Alpine Catchments. In: Proceedings of the "International Conference on Flood Estimation", Bern, Switzerland, 6 – 8 March 2002, CHR-KHR rep. n° II-17, S. 407 – 418.


Taubmann K.-C. (1986): Ingenieurhydrologische Hochwasserabschätzung. Wasser, Energie, Luft 78, Nr. 10, S. 277 – 281.


Taubmann K.-C. Thies N. (1984): Ingenieurmässige Anwendung verschiedener Hochwasser-Abschätzmethoden auf kleine und zusammengesetzte Einzugsgebiete am Testbeispiel der Ergolz. Ingenieurschule beider Basel. Muttenz.


Methode: modifiziertes Fließzeitverfahren


Merkmale:


-  Einzugsgebiete: bisher nur in Einzugsgebieten < 5 km² getestet


-  Einschränkungen: Keine bekannt

-  Jährlichkeit: Beliebige Jährlichkeit x abhängig von der Jährlichkeit des Niederschlags

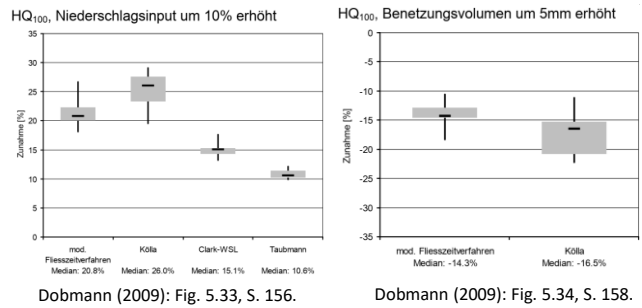
-  Ergebnis: HQ_x [m³/s]


-  Methodik: Fließzeitverfahren


-  Klimawandel: kann vereinfacht über veränderte Niederschläge berücksichtigt werden


-  Werkzeuge:
 - HAKESCH
 - www.ganglinie.ch

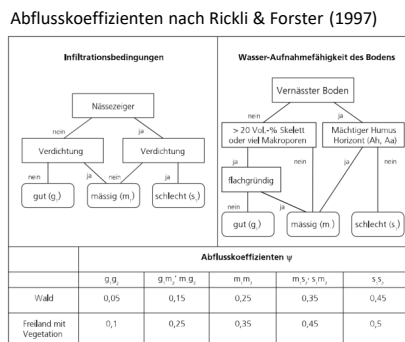
Sensitivität der Resultate:



 **Fazit:** Liefert in der Praxis normalerweise zuverlässige Ergebnisse

-  **Parameter:** (blaugrün = besonders sensitiv)
 - **Flächengemittelter Abflusskoeffizient ψ [-]** (nach Rickli & Forster, 1997)
 - **Konzentrationszeit [min]**
 - massgebende Niederschlagsintensität [mm/h]
 - Jährlichkeit [Jahre]
 - Einzugsgebietsfläche [km²]
- Parameter für Fließzeit*
 - **Maximale Fließlänge [m]**
 - mittleres Gefälle entlang des maximalen Fließwegs [m/m]
- Parameter für Benetzungszeit*
 - **Benetzungsvolumen [mm]** (nach Kölla, 1986)

-  **Weiterführende Informationen:**
 - Vorsicht u.a. bei Gebieten mit flachem Plateau im oberen Einzugsgebiet: Die massgebende Abflussspitze kann beim Abtrennen des flachen Plateaus (und damit kleinerer Einzugsgebietsfläche) höher werden, weil die Konzentrationszeit kürzer und der massgebende Gebietsniederschlag intensiver wird.
 - Die Abflusskoeffizienten nach Rickli & Forster (1997) liegen tendenziell tief. Für ungünstigere Vorbedingungen können die Abflussbeiwerte auf Waldflächen um 0.05 und auf nicht bewaldeten Flächen um 0.1 erhöht werden (Dobmann, 2009).



BWG (2003): Fig. 5.23, S. 84.

Benetzungsvolumen nach Kölla (1986)

Bodenkarte	Alpine kristalline Berglandschaften		Alpine Kalk-Berglandschaften		Flysch-/Bündnerschieferlandschaften		Vorjura Nagelluhlandschaften		Molasse-Landschaften des Mittellandes		Jura-Kalk-Landschaften	
	Standard	Trogförmig mit Talschotter	Standard	Trogförmig mit Talschotter	Standard	Trogförmig mit Talschotter	Standard	Schotter	Standard	Schotter	Standard	Schotter
	V, W	R, Y (YS, WS)	U	R, Y (UB)	S (T)	R, Y (Q)	M, N, O, P, X, (G)	R, Y (Q)	G, H, K, L	G ¹ , H ¹ , J ¹ , O	A, B, C, D, E	B2, B5
Basiswert	40	25	30	25	35	25	30	25	35	25	30	25
Tiefgründige Böden	45	30	35	30	35	30	30	30	35	30	35	30
Flachgründige Böden	35	25	25	25	25	25	25	25	35	25	30	25
Starkes Relief	40	25	30	25	30	25	25	25	30	25	25	25
Schwaches Relief	40	25	30	25	35	25	35	25	40	25	30	25
Flu _h hauptsächlich im Talbe von Vorflur	25	20	25	20	25	20	30	25	35	20	30	20

Dobmann (2009): Tab. 4.13, S. 84.

Quellen:

- BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.
- Dobmann (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern. Bern.
- Kölla E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitteilung Nr. 87 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, Zürich.
- Rickli C., Forster F. (1997): Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen 148, Nr. 5, S. 367 – 385.

Methode: Clark-WSL

Merkmale:

- Einzugsgebiete: < 1 bis ca. 5 km²

- Einschränkungen: Keine bekannt

- Jährlichkeit: Beliebige Jährlichkeit x abhängig von der Jährlichkeit des Niederschlags

- Ergebnis: HQ_x [m³/s]

- Methodik: Isochronenansatz

- Klimawandel: kann vereinfacht über veränderte Niederschläge berücksichtigt werden

- Werkzeuge:
 - HAKESCH

Sensitivität der Resultate:

Dobmann (2009): Fig. 5.33, S. 156.

Fazit: Ergebnisse sind in der Praxis je nach Parametrisierung unterschiedlich, meist jedoch zuverlässig.
Pluspunkt: Ab HAKESCH 2.0 liefert das Verfahren auch eine Ganglinie.

Parameter: (blaugrün = besonders sensitiv)

- Zeit-Flächendiagramm (Isochronenansatz) und daraus abgeleitete Konzentrationszeit
- Volumenabflusskoeffizient ψ_V [-]
- Niederschlagsintensität N [mm/h]
- Speicherkonstante des Linear-speichers (für die Translation der Hochwasserganglinie) [-]
- Wasserspeichervermögen WSV [mm] (nach Rickli & Forster, 1997; Vogt, 2001)

Weiterführende Informationen:

- Die Abflusskoeffizienten nach Rickli & Forster (1997) liegen tendenziell tief und bilden eher günstige Vorfeuchtebedingungen ab. Für ungünstigere Vorbedingungen können die Abflussbeiwerte auf Waldflächen um 0.05 und auf nicht bewaldeten Flächen um 0.1 erhöht werden (Dobmann, 2009).

Abflusskoeffizienten und Wasserspeichervermögen nach Rickli & Forster (1997); Vogt (2001)

	Abflusskoeffizienten ψ				
	g,g	g,m ¹ ; m,g	m,m	m,s ¹ ; s,m	s,s
Wald	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45
Freiland mit Vegetation	0,1	0,25	0,35	0,45	0,5

	Wasserspeichervermögen [mm]				
	Wald	40	30	25	20
Freiland mit Vegetation	35	25	20	15	5

Volumenabflusskoeffizient (ψ_V) nach BWG (2003).

$$N_{eff} = \frac{(N - 0.2 \cdot WSV)^2}{N + 0.8 \cdot WSV}$$

$$\psi_V = \frac{N_{eff}}{N}$$

(Der Effektivniederschlag (N_{eff}) beschreibt den, um das Wasserspeichervermögen des Einzugsgebiets reduzierten Niederschlag. Er wird über ein modifiziertes SCS-Verfahren bestimmt, wobei die Speichereigenschaften des Einzugsgebietes über das Wasserspeichervermögen (WSV) in die Formel eingehen).

BWG (2003): Fig. 5.23, S. 84; Dobmann (2009): Fig. 4.15, 4.16, S. 74.

Quellen:

BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.

Dobmann (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern. Bern.

Rickli C., Forster F. (1997): Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen 148, Nr. 5, S. 367 – 385.

Vogt S. (2001): Zur Abschätzung von Hochwassern in kleinen Wildbacheinzugsgebieten. Diplomarbeit, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft und Institut für Klimaforschung ETHZ, Zürich.