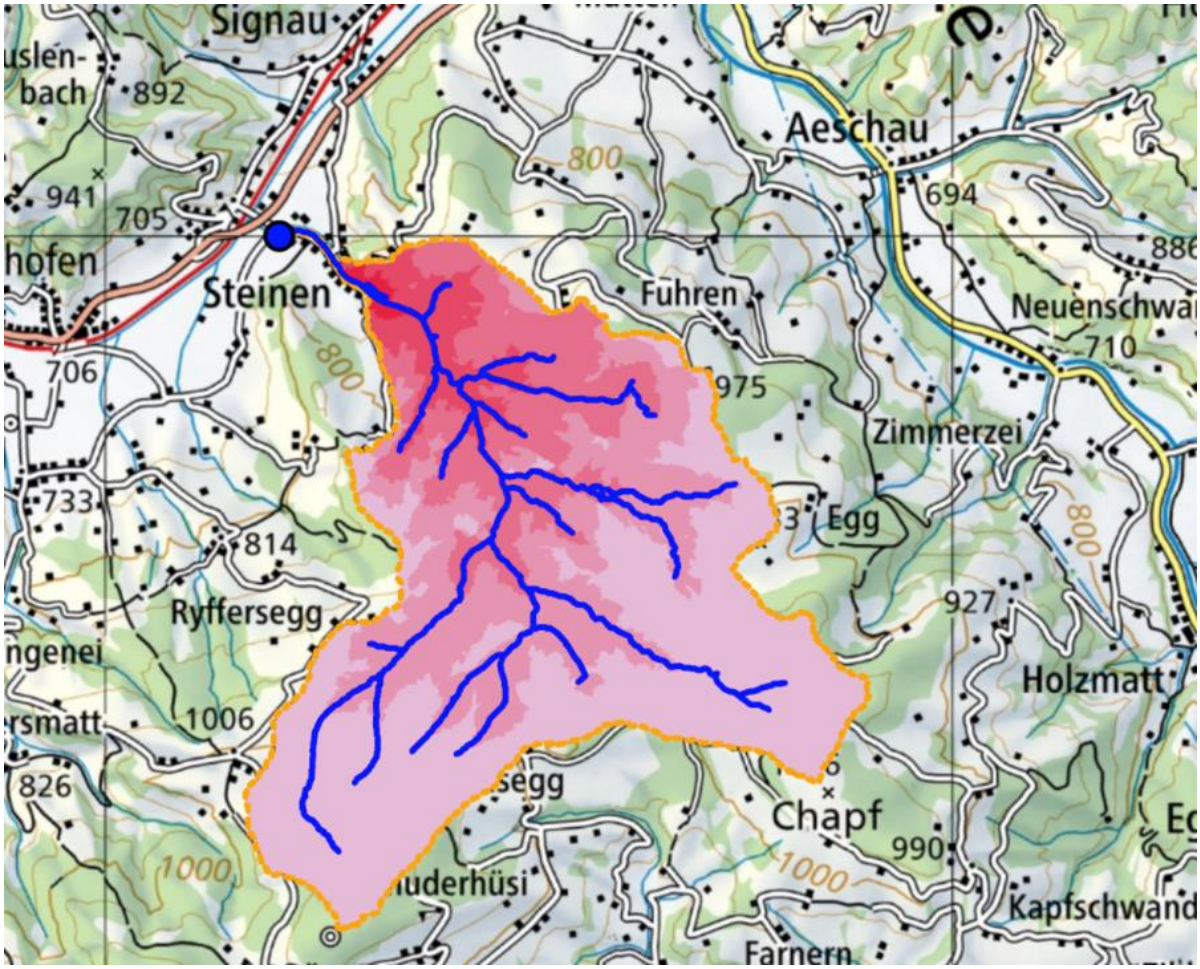
Kanton Bern
Canton de Berne

AUGUR

Hochwasserschätzverfahren kleiner Einzugsgebiete

Dokumentation



Hunziker, Zarn & Partner
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau

Scherrer AG
Hydrologie und Hochwasserschutz

Bellprat
CLIMATE CONSULTING

GEO TOOLS SUTER

Februar 2026

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 2
1.1 Ausgangslage 2
1.2 Eine gemeinsame Entwicklung 3
1.3 Einordnung für die Naturgefahrenpraxis 3

2. Übersicht zu den Hochwasserabschätzverfahren 3

3. Methodenbeschreibung NAM.BE 5
3.1 Einleitung 5
3.2 Gesamtlogik 5
3.3 Curve-Number-Generierung 6
3.3.1 Bodendaten aus der Bodeneignungskarte der Schweiz 6
3.3.2 Umwandlung der BEK-Daten in hydrologische Bodengruppen 7
3.3.3 Rasterisierung und Gitterausrichtung 8
3.3.4 Zuordnung der Curve Numbers 8
3.3.5 Ergebnis und Kontrollgrössen 9
3.4 Bemessungsniederschlag 9
3.4.1 Berücksichtigung des Klimawandels 10
3.4.2 Räumliche Niederschlagsverteilung 11
3.5 Abflussbildung 11
3.6 Fliesszeiten und zeitliches Routing 12
3.7 Anwendungsgrenzen, Aussagekraft und Qualität 13

4. Modifiziertes Fliesszeitverfahren 13
4.1 Gesamtlogik 13
4.2 Abflussreaktionsklasse und Spitzenabflusskoeffizient 14
4.3 Berechnung der Fliesszeit und Konzentrationszeit 14
4.4 Berechnung des Spitzenabflusses 14
4.5 Ergebnisinterpretation 15

5. Verfahren nach Kölla 15
5.1 Einordnung und Grundidee 15
5.2 Gerinnenetz und effektiv beitragende Fläche 15
5.3 Abflussreaktion und Benetzungsvolumen $V_{0,20}$ 16
5.4 Veränderung V_0 mit der Wiederkehrperiode 16
5.5 Fliesszeit, Benetzungsdauer und Konzentrationszeit 17
5.6 Berechnung des Spitzenabflusses 17
5.7 Anwendungsgrenzen, Aussagekraft und Qualität 18

6. Verfahren Clark-WSL 18
6.1 Einordnung und Grundidee 18
6.2 Fliessgeschwindigkeiten, Fliesszeiten und Isozonen 19
6.3 Abflussreaktion und Speichervermögen 19
6.4 Anpassung des Speichervermögens an die Ereignisdauer 20
6.5 Aufteilung des Niederschlags in Speicherung und Direktabfluss 20
6.6 Zeitliche Weiterleitung und Überlagerung 20
6.7 Dämpfung durch einen linearen Speicher 21
6.8 Anwendungsgrenzen, Aussagekraft und Qualität 21

7. Plausibilisierung der Abflussschätzungen mit Referenzwerten 21

8. Programmierung 22
8.1 Code und Integration in AUGUR 22
8.2 Erläuterungen zur Bestimmung der kumulierten Gerinnelänge 23
8.3 Erläuterungen zur Bestimmung der Fliesszeiten / Isozonen 23

9. Quellen 24
Anhang 1: Plausibilisierung der Methoden mit Vergleichsrechnungen 25

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Hochwasserabschätzung ist eine klassische Aufgabe der Naturgefahrenpraxis. In kleinen Einzugsgebieten fehlen jedoch meist langjährige Abflussmessreihen für statistische Auswertungen. Für die Ermittlung von Spitzenabflüssen unterschiedlicher Jährlichkeiten wird in der Schweiz häufig das Programmpaket HAKESCH eingesetzt. Dieses bündelt fünf empirische Ansätze und ermöglicht für Gebiete bis 10 km^2 eine rasche Abschätzung. Seine methodischen und klimatologischen Grundlagen sind jedoch gealtert: Die zugrunde liegenden Formeln entstanden zwischen den 1940er-Jahren und der Jahrtausendwende; die Niederschlagsstatistiken reichen im Wesentlichen bis in die 1990er-Jahre.

Mit dem neuen HADES-Blatt B04 «Extreme Punktniederschläge» steht seit 2022 eine aktualisierte extremwertstatistische Grundlage zur Verfügung. Vor allem die für kleine Gebiete relevanten 1-Stunden-Werte liegen vielerorts deutlich über den früher verwendeten Werten. Werden diese Niederschläge unverändert in die alten HAKESCH-Verfahren eingesetzt, resultieren häufig erheblich höhere Spitzenabflüsse (*Abbildung 1*), welche nicht selten um Faktor 2 höher liegen als jene unter Anwendung der Niederschlagswerte aus dem alten HADES-Blatt 2.4. Hinzu kommt ein fachlicher Wandel: Für Gefahrenbeurteilungen reicht oft die Angabe des Spitzenabflusses allein nicht mehr aus. Für Überflutungs- und Geschiebemodellierungen, Retentionsfragen oder die Überlagerung von Zuflüssen werden Abflussganglinien benötigt, welche den zeitlichen Abflussverlauf eines Hochwassers beschreiben.

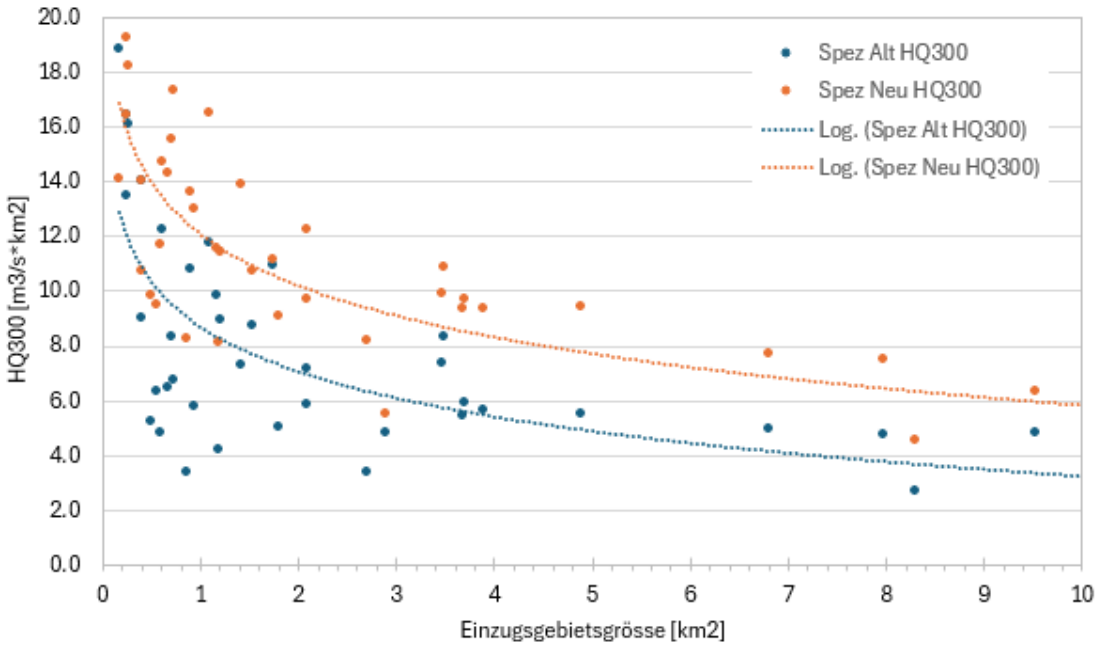


Abbildung 1: Vergleich der spezifischen Abflüsse 300-jährlicher Hochwasser-Spitzenabflüsse bei Anwendung der HADES-Niederschlagswerte vor 2022 (blau) und der neueren B04-Niederschlagswerte (orange). Quelle: TBA Kt. BE, OIK IV.

Das Tiefbauamt des Kantons Bern initiierte deshalb die Entwicklung des Methodenpakets AUGUR. Dieses umfasst drei bekannte Fliesszeitverfahren (modifiziertes Fliesszeitverfahren, Kölla und Clark-WSL), welche auf die B04-Niederschlagsstatistik abgestimmt neu kalibriert wurden, sowie zwei neue Niederschlag-

Abfluss-Modelle (NAM.BE und Q-Sim). AUGUR ist eine Weboberfläche. Sie soll dem Anwender eine vereinfachte Anwendung und den direkten Zugriff auf aktuelle Geo- und Niederschlagsdaten ermöglichen. Relevante Arbeitsschritte (z.B. Einzugsgebietsabgrenzung, Bestimmung der Fliesszeiten) können in der Weboberfläche automatisch aufbereitet und als Eingabegrösse den Verfahren übergeben werden. Die Qualitätsanforderung an die Hochwasserabschätzverfahren entsprechen einem Beurteilungs-Detailierungsgrad M2, Stufe Gefahrenkarte. Die berücksichtigten Hochwasserabschätzverfahren sind auf erfahrene Naturgefahrenfachkräfte mit vertieften hydrologischen Kenntnissen ausgerichtet.

1.2 Eine gemeinsame Entwicklung

AUGUR ist eine Open Source Platform und wurde durch die Untersütztung vom 'Innovation Meets Practice Accelerator' 2021 der Humanitären Hilfe der DEZA von Omar Bellprat initiiert und lanciert. Im Rahmen der vom Tiefbauamt des Kantons Bern wurde die Platform weiterentwickelt für eine Anwendung in der Schweiz. Das BAFU subventionierte dessen Entwicklung mit 50 %. Das BAFU (Abteilungen Hydrologie und Gefahrenprävention) wurde im Entwicklungsprozess eng eingebunden. Verschiedene Kantone haben Interesse angemeldet, AUGUR auch auf ihr Kantonsgebiet zu kalibrieren und für ihren Kanton verfügbar zu machen. BAFU, WSL und das Tiefbauamt des Kantons Bern haben daher entschieden, die Federführung für die Weiterentwicklung von AUGUR in der Schweiz an WSL/SLF zu übertragen. Seit September 2026 koordiniert die WSL die Plattform. Diese Organisationsform soll Betrieb, Qualitätssicherung und Weiterentwicklung kantonsübergreifend koordinieren. Bei kostenfreier Bereitstellung und offengelegtem Programmcode kann AUGUR zu einem gemeinsamen Schweizer Standard werden – nicht als Ersatz des Expertenurteils, sondern als dessen nachvollziehbare und zukunftsfähige Arbeitsgrundlage.

1.3 Einordnung für die Naturgefahrenpraxis

AUGUR automatisiert zeitaufwendige GIS-Schritte und stellt aktuelle Niederschlagsdaten bereit. Eine der Stärken ist die Methodentransparenz: Unterschiede zwischen Verfahren werden sichtbar, Parameter können begründet variiert und Sensitivitäten dokumentiert werden. Das unterstützt den für die Gefahrenbeurteilung geforderten Detaillierungsgrad, ohne eine Scheingenauigkeit zu suggerieren. Vorsicht geboten ist bei der automatischen Abgrenzung der Einzugsgebiete. Sofern diese aufgrund von Durchlässen, Kanalisationen oder künstlichen Ableitungen anthropogen verändert wurden, ist eine manuelle Anpassung der Einzugsgebietsabgrenzung nötig. Ebenfalls können Verklausungen, Geschiebe, Schneeschmelzen, Karst und anthropogene Speicher zusätzliche Beurteilungen erfordern. Feldrekognoszierung, Ereignisanalyse und der Vergleich mit regionalen Messwerten bleiben unverzichtbar.

2. Übersicht zu den Hochwasserabschätzverfahren

AUGUR (https://augur.world/abfluss/) vereint die Verfahren NAM.BE, Q-Sim, das modifizierte Fliesszeitverfahren, das Verfahren Kölla sowie das Verfahren Clark-WSL, Die gemeinsame WebGIS-Oberfläche grenzt ab einem frei gesetzten Bemessungspunkt das Einzugsgebiet ab und leitet aus dem swissALTI3D-Geländemodell unter anderem Fläche, Höhenunterschiede, Fliesswege, Gerinnelängen und Fliesszeiten ab. Extremwertstatistische Niederschlagswerte werden aus hydromaps.ch bezogen und können bei Bedarf manuell angepasst werden. Eingangsdaten und Zwischenergebnisse bleiben sichtbar und können heruntergeladen werden. Damit wird die Transparenz der Verfahren und der Ergebnisse sichergestellt.

NAM.BE basiert auf dem SCS-Curve-Number-Verfahren. Dieses beschreibt vereinfacht, welcher Anteil eines Niederschlags zunächst zurückgehalten oder infiltriert und welcher Anteil zu Direktabfluss wird. Die dimensionslose Curve Number liegt zwischen 0 und 100: Hohe Werte stehen für geringe Versickerung und hohe Abflussbereitschaft. AUGUR erzeugt räumlich verteilte CN-Werte aus der schweizerischen

Bodeneignungskarte und dem ESA WorldCover; alternativ kann eine eigene CN-Karte als Shapefile eingelesen werden. Nach Überschreiten der Bodensättigung wird der zusätzliche Niederschlag als Abfluss aus jeder Rasterzelle des Einzugsgebiets dem Gebietsausfluss zugeführt. Der Bemessungsniederschlag wird im geometrischen Schwerpunkt des Einzugsgebiets angesetzt und radial abgemindert. Die für jede Rasterzelle berechnete Fliesszeit hängt von Neigung und Oberflächenrauigkeit ab; im Gerinnenetz wird ein einheitlicher Geschwindigkeitsansatz verwendet. Die zeitversetzt am Auslass eintreffenden Zellbeiträge ergeben die Abflussganglinie. NAM.BE berücksichtigt damit die räumliche Lage abflussbereiter Flächen und liefert neben dem Spitzenabfluss auch Abflussvolumen und zeitlichen Verlauf.

Q-Sim ist ebenfalls ein räumlich verteiltes Niederschlag-Abfluss-Modell. Es leitet aus Landbedeckung und Geländemodell Infiltration, Oberflächenabfluss und Fliesswege ab und erzeugt Ganglinien für Teilgebiete und Gebietsauslässe. Neben flächig homogenen Niederschlägen können räumliche Gewittermuster und Gewitterzugbahnen untersucht werden.

Die drei klassischen Laufzeitverfahren Kölla, mod. Fliesszeitverfahren und Clark-WSL teilen eine zentrale Idee: Der Spitzenabfluss hängt wesentlich davon ab, welche Niederschlagsintensität während der massgebenden Konzentrationszeit[1] fällt und welcher Gebietsanteil zum Abfluss beiträgt. Die Abflussreaktion basiert auf ortsunabhängigen, prozentualen Anteilen verschiedener Bodentypen. AUGUR bildet die Abflussbereitschaft der Böden über fünf Reaktionsklassen ab und stellt hierzu ein Entscheidungsdiagramm zur Bodenansprache zur Verfügung. Die Fachperson schätzt die Flächenanteile der verschiedenen Bodentypen auf Basis von Karten, Feldbegehung und Prozessverständnis. Daraus werden verfahrensspezifisch der Spitzenabflusskoeffizient ψ, das Benetzungsvolumen $V_{0,20}$ und das Wasserspeichervermögen WSV abgeleitet.

Beim modifizierten Fliesszeitverfahren wird der Spitzenabfluss nach dem rationalen Ansatz aus Niederschlagsintensität, Spitzenabflusskoeffizient und Einzugsgebietsfläche bestimmt. Die Benetzungszeit wird iterativ so gewählt, dass das erforderliche Benetzungsvolumen erreicht wird und zusätzlicher Niederschlag abflusswirksam wird. Die Konzentrationszeit folgt dem Kirpich-Ansatz. Das modifizierte Fliesszeitverfahren reagiert empfindlich auf Konzentrationszeit, die Niederschlagsintensität und den Abflussbeiwert ψ.

Kölla fokussiert stärker auf die effektiv beitragende Fläche entlang des Gerinnenetzes. Diese wird aus der kumulierten Gerinnelänge hergeleitet. Das Benetzungsvolumen des Bodenkörpers bis zum Eintritt des Oberflächenabflusses und die massgebende Regendauer werden iterativ berücksichtigt. In AUGUR wird das bei Starkregen abflusswirksame Gerinnenetz aus dem Geländemodell gerechnet. Die automatisierte Generierung des Gerinnenetzes erzeugt bewusst ein relativ stark verästeltes Netz, das neben offenen Gerinnen auch Trockenrunsen umfasst.

Clark-WSL kombiniert räumlich differenzierte Abflussbildung mit Speicherwirkung des Bodens. Das Gebiet wird anhand berechneter Fliesszeiten in Isozonen[2] gegliedert. Für jede Kombination aus Isozone und Abflussreaktion werden effektiver Niederschlag und Infiltration zeitlich bestimmt; die Teilabflüsse werden zum Gebietsauslass verschoben. Durch die Überlagerung der Fliesspfade mit den Teilabflusswerten werden sowohl Spitzenabfluss als auch Abflussganglinie als Produkt ausgegeben. AUGUR leitet die Isozonen aus Gelände, Landbedeckung und angenommenen Fliessgeschwindigkeiten ab. Das Verfahren liefert damit bereits eine Ganglinie, bleibt aber sensitiv gegenüber kleinen, weit entfernten Isozonen, die die Konzentrationszeit verlängern können.

[1] Die Konzentrationszeit beschreibt die Dauer ab Niederschlagsbeginn, bis alle abflussbeitragenden Flächen des Einzugsgebietes zum Abfluss beitragen. Sie setzt sich aus der Benetzungszeit des Bodenkörpers bis zu dessen Wassersättigung und der Fliesszeit zusammen. Letztere beschreibt die Zeit, welche der längste Fliesspfad benötigt, bis er beim Gebietsauslass ankommt.
[2] Isozonen sind Gebiete gleicher Fliesszeit bis zum Gebietsauslass.

3. Methodenbeschreibung NAM.BE

3.1 Einleitung

Die Hochwasserabschätzung mit NAM.BE ermöglicht die Generierung von Abflussganglinien für verschiedene Hochwasserszenarien unter Berücksichtigung der klimawandelbedingten Änderung des Niederschlagsregimes. NAM.BE ist ein rasterbasiertes Niederschlag-Abfluss-Modell. Für jede 5 m- Rasterzelle wird zunächst anhand der Landbedeckung und der hydrologischen Bodeneigenschaften eine Curve Number bestimmt. Diese beschreibt das Retentionsvermögen respektive den abflusswirksamen Anteil des Niederschlags. Der abflusswirksame Niederschlag jeder Rasterzelle wird anschliessend entsprechend ihrer Fliesszeit zum Gebietsauslass als Abfluss weitergeleitet. Die Überlagerung aller Zellbeiträge am Gebietsauslass ergibt die Abflussganglinie und den Spitzenabflusswert beim Bemessungspunkt. Die folgenden Abschnitte beschreiben die Methodik und den Berechnungsablauf.

3.2 Gesamtlogik

Der Ablauf von NAM.BE lässt sich in folgende Bearbeitungsschritte gliedern:

1. Festlegung des Einzugsgebiets basierend auf einem definierten Gewässerpunkt.
2. Aufbereitung der Landbedeckungs- und Bodendaten zur Festlegung der rasterzellenspezifischen Curve Numbers.
3. Festlegung des Bemessungsniederschlags und Verortung der Niederschlagszelle.
4. Berechnung des abflussrelevanten Niederschlags unter Berücksichtigung des Retentionsvermögens des Bodens und der Interzeption.
5. Aufbau der IDF-Funktion (Intensitäts-Dauer-Frequenz-Beziehung).
6. Berücksichtigung von Klimaszenarien (Global Warming Levels 1.5°, 2° und 3°C).
7. Umrechnung in ein Abflussvolumen je Rasterzelle.
8. zeitliche Weiterleitung zum Gebietsauslass.
9. Berechnung der Abflussganglinie und des Spitzenabflusses.

In *Abbildung 2* ist der oben genannte Ablauf schematisch dargestellt.

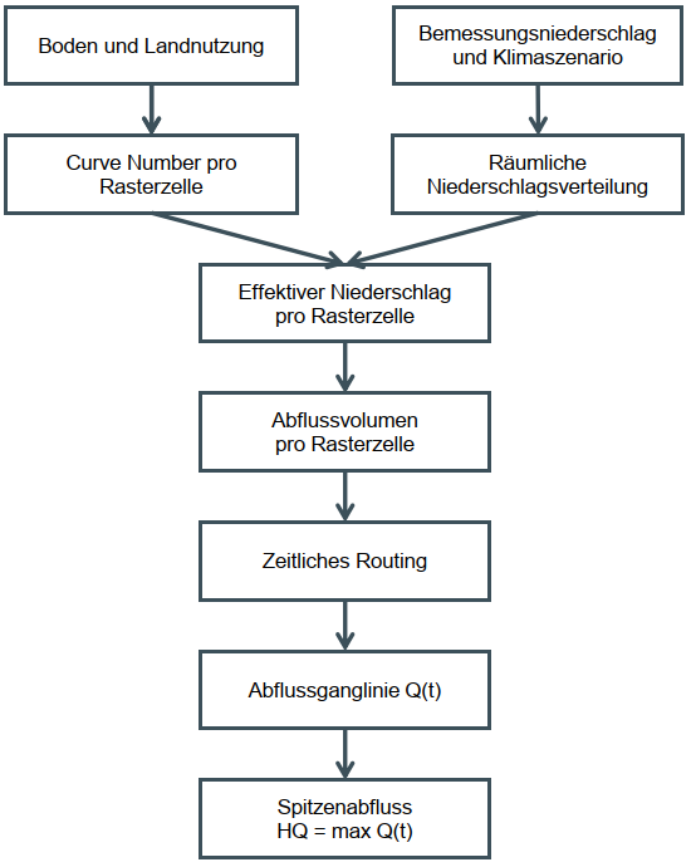


Abbildung 2: Schematischer Ablauf der Hochwasserberechnung mit NAM.BE in AUGUR.

3.3 Curve-Number-Generierung

Für jede Rasterzelle wird ein dimensionsloser Kennwert zur Festlegung des abflusswirksamen Niederschlags bestimmt. Als Eingangsdaten dienen das ESA WorldCover 2021, die Bodeneignungskarte der Schweiz (BEK) und ersatzweise HYSOGs250m sowie die Einzugsgebietsabgrenzung.

Die Curve Number wird in mehreren Schritten hergeleitet. Zunächst werden die BEK-Bodendaten in hydrologische Bodengruppen überführt und bei fehlenden Daten mit HYSOGs250m ergänzt. Anschliessend werden Bodengruppe und Landbedeckung auf ein gemeinsames 5-m-Raster übertragen. Für jede Rasterzelle wird die Kombination aus Landbedeckung und hydrologischer Bodengruppe über eine feste Lookup-Tabelle einer Curve Number zugeordnet.

3.3.1 Bodendaten aus der Bodeneignungskarte der Schweiz

Die Bodeneignungskarte der Schweiz (BEK) wird anhand der Attribute Wasserdurchlässigkeit (WASSERDURC), Vernässung (VERNASS) und Gründigkeit (GRUNDIGKEI) in die hydrologischen Bodengruppen (HBG) A bis D überführt. Gruppe A bezeichnet Böden mit hoher, Gruppe D Böden mit geringer Versickerungsfähigkeit.

HBG	Hydrologische Bedeutung
A	hohe Versickerungsfähigkeit, geringe Abflussneigung
B	mittlere bis hohe Versickerungsfähigkeit
C	eingeschränkte Versickerungsfähigkeit
D	geringe Versickerungsfähigkeit, hohe Abflussneigung

3.3.2 Umwandlung der BEK-Daten in hydrologische Bodengruppen

Die hydrologische Bodengruppe wird in drei Schritten bestimmt.

Schritt 1: Basiszuordnung anhand der Wasserdurchlässigkeit

Zunächst wird aus der Wasserdurchlässigkeits-Abstufung der BEK eine Basis-HBG gemäss untenstehendem Schema abgeleitet.

WASSERDURC	Basis-HBG
6	A
5	B
4	C
3 oder 2	D

Tiefe Werte von «Wasserdurc» entsprechend tiefer Durchlässigkeit. Mit abnehmender Wasserdurchlässigkeit wird somit eine ungünstigere hydrologische Bodengruppe angesetzt.

Schritt 2: Anpassung anhand der Vernässung

Im nächsten Schritt wird der Vernässungsgrad gemäss der Abstufung aus der BEK berücksichtigt:

- VERNASS = 3 oder 4: Die Bodengruppe wird auf D gesetzt. Die Basis-HBG wird übersteuert.
- VERNASS = 2: Die Bodengruppe wird gegenüber Schritt 1 um eine Klasse verschlechtert.
- VERNASS = 1: Es erfolgt keine Anpassung der Basis-HBG.

Schritt 3: Anpassung anhand der Gründigkeit

Anschliessend wird die Bodengründigkeit berücksichtigt:

- GRUNDIGKEI = 2: Verschlechterung gegenüber Schritt 2 um zwei HBG-Klassen;
- GRUNDIGKEI = 3: Verschlechterung gegenüber Schritt 2 um eine HBG-Klasse;
- GRUNDIGKEI = 4 bis 6: keine Anpassung.

Das Ergebnis ist eine hydrologische Bodengruppe A, B, C oder D für jedes BEK-Polygon.

Die Bodeneignungskarte wurde im Massstab 1:200'000 erstellt. Entsprechend ist die Auflösung der Bodenklassierung gering. AUGUR bietet aus diesem Grund die Möglichkeit, eigene Bodenkartierungen als Rasterfile im Tool hochzuladen und damit die aus der BEK generierten Werte zu übersteuern.

In den wenigen Gebieten ohne verfügbare BEK-Daten wird der globale Datensatz HYSOGs250m verwendet. Dieser stellt hydrologische Bodengruppen mit einer ursprünglichen räumlichen Auflösung von 250 m bereit. Die HYSOGs-Zahlencodes werden auf die hydrologischen Bodengruppen A bis D abgebildet. Anschliessend wird das Raster mit dem Nearest-Neighbour-Verfahren auf das 5-m-Zielraster übertragen. Das Nearest-Neighbour-Verfahren ist für kategoriale Bodengruppen geeignet, weil keine künstlichen Zwischenklassen entstehen. Die Übertragung auf ein 5-m-Raster erhöht jedoch nicht die ursprüngliche Informationsauflösung des 250-m-Datensatzes. Viele benachbarte 5-m-Zellen können deshalb denselben HYSOGs-Wert besitzen.

3.3.3 Rasterisierung und Gitterausrichtung

Für die Landbedeckung wird der ESA WorldCover-Datensatz (10 m x 10 m-Rasterdatensatz) geladen, der das Einzugsgebiet abdeckt. Dabei findet eine Reklassifizierung der Daten statt, um sie mit dem bestehenden 5 m-Rasterdatensatz zu kompatibilisieren. Landbedeckung und Bodengruppe besitzen danach identische Ausdehnung, Zellgrösse und Gitterausrichtung. Die Kombination aus Klassierung Landbedeckung und Bodenklassierung ermöglicht die Definition der Curve Numbers.

3.3.4 Zuordnung der Curve Numbers

Für jede Rasterzelle wird die Kombination aus ESA-Landbedeckung und hydrologischer Bodengruppe in einer Lookup-Tabelle nachgeschlagen. Niedrige CN-Werte stehen für hohen Rückhalt und geringe Abflussneigung; hohe Werte für geringe Retention und hohe Abflussneigung. Offene Wasserflächen erhalten CN = 100.

ESA-Klasse	Beschreibung	HSG A	HSG B	HSG C	HSG D
10	Baumbedeckung	42	74	74	81
20	Strauchland	38	55	75	76
30	Grasland	31	66	66	66
40	Ackerland	50	68	68	72
50	Siedlung	89	92	94	95
60	kahle oder spärliche Vegetation	39	41	96	97
70	Schnee und Eis	98	98	98	98
80	Wasser	100	100	100	100
90	krautiges Feuchtgebiet	32	63	67	73
95	Mangroven	35	67	68	69
100	Moos und Flechten	30	56	60	77

Die Tabelle zeigt, dass der Einfluss der Bodengruppe je nach Landbedeckung unterschiedlich stark ist. Bei offenen Wasserflächen bleibt die Curve Number beispielsweise unabhängig von der Bodengruppe bei 100. Bei Wald-, Strauch- oder Moosflächen verändert sich die Curve Number dagegen deutlich mit der hydrologischen Bodengruppe. Die Werte werden direkt aus der Lookup-Tabelle übernommen.

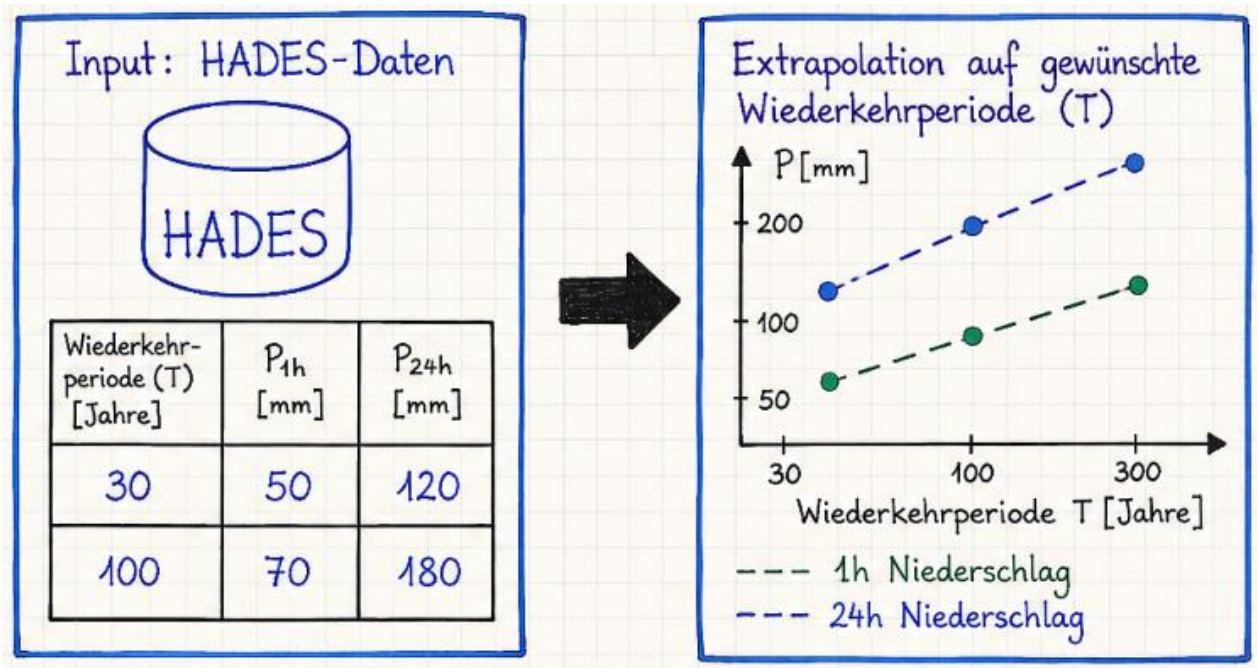
3.3.5 Ergebnis und Kontrollgrössen

Das Ergebnis der Aufbereitung ist das Geotiff «curvenumbers.tif». Jede gültige 5-m-Zelle erhält einen CN-Wert; Zellen ausserhalb des Einzugsgebiets werden auf 0 gesetzt und in den Folgeschritten ausgeschlossen.

3.4 Bemessungsniederschlag

Für die gewählte Wiederkehrperiode und das definierte Klimaszenario wird die in NAM.BE verwendete Ereignisniederschlagshöhe bestimmt. Als Eingangsdaten dienen die HADES-B04-Niederschlagssummen für 1 h und 24 h für die Wiederkehrperioden von 30 und 100 Jahren.

Für die 30- und die 100-jährliche Wiederkehrperiode werden die 1-h- und 24-h-Niederschlagshöhen des HADES B04-Datensatzes gemäss untenstehendem Diagramm abgetragen und die Niederschlagswerte für weitere Jährlichkeiten inter- respektive extrapoliert (z.B. auf das 300-jährliche Ereignis). Bei Bedarf werden sie zusätzlich mit dem Klimafaktor skaliert. Aus den beiden Niederschlagshöhen (1h und 24h) wird pro Wiederkehrperiode eine kontinuierliche IDF-Funktion (Intensitäts-Dauer-Frequenz-Beziehung) aufgebaut.



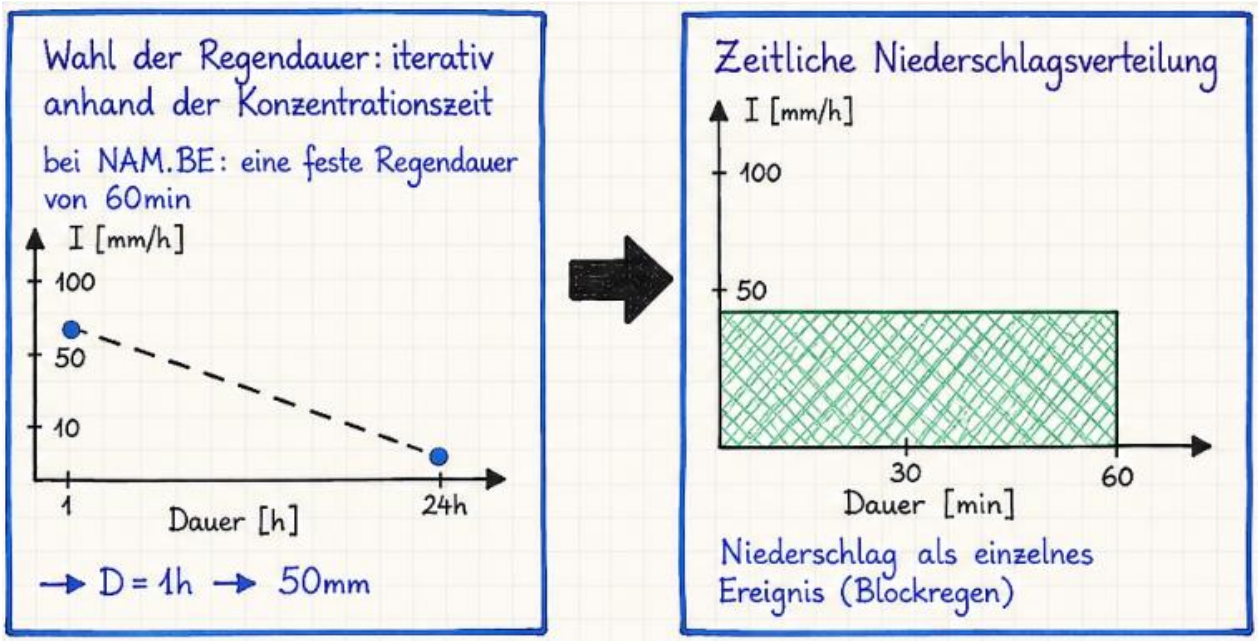


Abbildung 3: Herleitung der massgebenden Niederschlagsintensität und Niederschlagsdauer.

NAM.BE wertet diese Funktion für die feste Regendauer von 60 Minuten aus. Bei den übrigen Verfahren in AUGUR entspricht die massgebende Regendauer (Bemessungsdauer) der Konzentrationszeit. Mit der für die Bemessungsdauer zugehörigen Niederschlagsintensität werden alle «nassen» Zellen des Einzugsgebiets beregnet. In allen Verfahren wird von einem Blockregel mit einheitlicher Niederschlagsintensität ausgegangen. Als Ergebnis resultiert eine für die gewählte Wiederkehrperiode und Klimastufe bestimmte Niederschlagshöhe, die über die Bemessungsdauer zum relevanten Niederschlagsvolumen führt.

3.4.1 Berücksichtigung des Klimawandels

In AUGUR wird der Klimawandel über die temperaturänderungsbedingte Zunahme der Niederschläge nach dem Clausius Clapeyron-Prinzip berücksichtigt. Die Stufen der Temperaturzunahme beziehen sich dabei entgegen den CH2025 Klimawandelszenarien mit den GWL 1.5°C, 2°C und 3°C nicht auf eine vorindustrielle Zeit, sondern auf die klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Erscheinung der neuen B04-Niederschlagswerte (2022). Eine Abweichung zu den CH2025-Empfehlungen ist aber nur scheinbar, denn die GWL-Szenarien sind globaler Natur. Auf die Schweiz bezogen sind die Temperaturzunahmen höher als im globalen Mittel. Die Klimaszenarien in AUGUR entsprechen den erwarteten Temperaturzunahmen für die Schweiz, welche sich aus den GWL-Szenarien ableiten lassen. Insofern ist die Berücksichtigung des Klimawandels in AUGUR kongruent mit den Klimaszenarien aus CH2025.

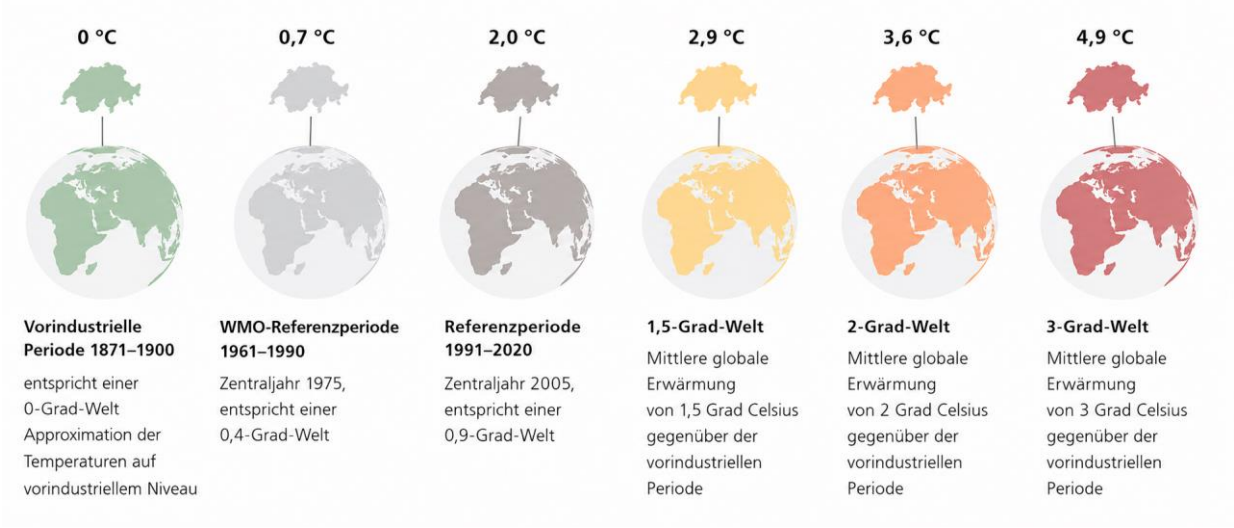


Abbildung 4: Zunahme der globalen und der auf die Schweiz bezogenen Temperaturen im Zeitverlauf nach den Klimaszenarien CH2025. Quelle: BAFU.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden somit berücksichtigt, indem sämtliche Niederschlags-Stützwerte vor dem Aufbau der IDF-Funktion mit einem Klimafaktor multipliziert werden:

Klimaszenario	Multiplikationsfaktor	Erhöhung
aktuelles Klima	1.000	0 %
+1.5 °C	1.063	6.3 %
+2.0 °C	1.098	9.8 %
+3.0 °C	1.196	19.6 %

Der gleiche Faktor wird auf die 1h- und 24h-Niederschlagshöhen angewendet. Dadurch verändert sich das allgemeine Niederschlagsniveau, während das Verhältnis zwischen den beiden Dauern erhalten bleibt.

3.4.2 Räumliche Niederschlagsverteilung

Die Niederschlagszelle wird im geometrischen Schwerpunkt des Einzugsgebiets positioniert. Von dort erfolgt eine radiale Abnahme der Niederschlagsintensität.

3.5 Abflussbildung

Die angesetzte Niederschlagshöhe wird für jede Rasterzelle in einen zurückgehaltenen und einen direkt abflusswirksamen Anteil aufgeteilt. Aus der Curve Number wird dazu für jede Rasterzelle zunächst das maximale Retentionsvermögen «S» des Bodens bestimmt. Daraus werden die Anfangsverluste abgeleitet. Überschreitet die Niederschlagshöhe die Anfangsverluste, wird der effektive Niederschlag nach dem SCS-CN-Verfahren berechnet. Durch Multiplikation mit der Zellfläche wird die effektive Niederschlagshöhe anschliessend in ein direktes Abflussvolumen je Rasterzelle umgerechnet.

Aus der Curve Number wird zunächst das maximale Retentionsvermögen S in Millimetern berechnet:

$$S = \left(\frac{25400}{CN}\right) - 254 \text{ [mm]}$$

Hohe Curve Numbers führen zu einem kleinen Retentionsvermögen; niedrige Curve Numbers zu einem grossen. Für CN = 100 ergibt sich S = 0 mm. Die Anfangsverluste «I» werden als Anteil des Retentionsvermögens S angesetzt:

$$I = 0.15 * S$$

Die Anfangsverluste stehen zusammenfassend für Benetzung, kleine Oberflächenspeicher und die anfängliche Versickerung. Solange der Niederschlag diese Schwelle nicht überschreitet, entsteht in der betreffenden Zelle kein direkter Abfluss.

Der abflussrelevante Niederschlag P_e ergibt sich zu:

$$P_e = 0 \text{ für } P \leq I$$

$$P_e = \frac{(P - I)^2}{(P - I + S)} \text{ für } P > I$$

Der abflussrelevante Niederschlag wird mit der Zellfläche A = 25 m² in ein direktes Abflussvolumen umgerechnet:

$$V = \frac{P_e * A}{1000}$$

Beispielsweise entsprechen 10 mm abflussrelevanter Niederschlag auf einer 5-m-Zelle einem Volumen von 0.25 m^3. Die Summe aller Zellvolumina entspricht dem direkten Abflussvolumen des Ereignisses. Dieser Schritt verändert die Wasserbilanz nicht, sondern überführt die Abflusshöhe lediglich in ein absolutes Volumen. Bei gleichem Niederschlag erzeugt eine Zelle mit hoher Curve Number in der Regel mehr abflusswirksamen Niederschlag als eine Zelle mit niedriger Curve Number.

3.6 Fliesszeiten und zeitliches Routing

Die räumlich gebildeten Zellvolumina werden entsprechend ihrer Laufzeit beim Gebietsauslass zu einer Abflussganglinie überlagert. Entsprechend der Rasterzellen-Oberflächenrauigkeit, der Rasterzellenausrichtung und deren Neigung wird das Wasservolumen jeder Zelle dem Gebietsauslass zugeführt. Ein in AUGUR automatisiert generiertes Rasterfile «time_values.tif» enthält für jede gültige Zelle die Fliesszeit «t» bis zum Gebietsauslass. Durch die Überlagerung der verschiedenen Fliesspfade resultiert beim Bemessungspunkt die Einzugsgebiets-charakteristische Abflussganglinie. Die Simulationsdauer richtet sich nach der grössten Fliesszeit im Einzugsgebiet (bei NAM.BE = 60 Minuten).

3.7 Anwendungsgrenzen, Aussagekraft und Qualität

Die Stärke von NAM.BE liegt darin, dass räumliche Unterschiede der Landbedeckung, der hydrologischen Bodeneigenschaften und der Fliesszeiten innerhalb eines Einzugsgebiets ortsgerecht berücksichtigt werden. Dadurch eignet sich das Verfahren insbesondere für eine nachvollziehbare und räumlich differenzierte Abschätzung des Spitzenabflusses und der zugehörigen Abflussganglinie.

Die Kalibrierung beziehungsweise Überprüfung des Verfahrens erfolgte anhand von 40 Einzugsgebieten im Mittelland und in den Voralpen mit verfügbaren, hydrologischen Detailstudien, welche nicht älter als wenige Jahre alt waren. Diese Gebiete sind überwiegend durch Molasse geprägt. Die Übertragung auf Einzugsgebiete mit deutlich anderen geologischen, geomorphologischen oder hydrologischen Eigenschaften ist deshalb mit Unsicherheiten in der Resultatqualität verbunden. Dies betrifft beispielsweise glazial geprägte Gebiete oder Karstgebiete.

Weitere Anwendungsgrenzen ergeben sich aus den Vereinfachungen des Modells:

- Die zeitliche Entwicklung der Bodenfeuchte, der Schneeschmelze sowie des Zwischen- und Grundwasserabflusses wird nicht simuliert.
- Das zeitliche Routing berücksichtigt die versetzte Ankunft der Zellvolumina am Gebietsauslass. Eine zusätzliche Speicherung oder hydraulische Verformung der Hochwasserwelle im Gerinne wird nicht abgebildet.
- Rückstau, Ausuferungen, dynamische Wasserstände und Veränderungen der Gerinnequerschnitte werden nicht berechnet.

Beim Vergleich mit den zur Kalibrierung beziehungsweise zur Überprüfung verwendeten Einzugsgebieten zeigt sich eine von der Einzugsgebietsgrösse abhängige Fehlertendenz: Für kleine Einzugsgebiete (< 4 – 5 km2) werden die Spitzenabflüsse tendenziell überschätzt, während sie für grössere Einzugsgebiete tendenziell unterschätzt werden. Die Modellabweichung ist damit nicht über alle Gebietsgrössen gleich verteilt.

4. Modifiziertes Fliesszeitverfahren

4.1 Gesamtlogik

Das modifizierte Fliesszeitverfahren ist ein Laufzeitverfahren mit Ausgabe eines Spitzenabflusses für eine definierte Wiederkehrperiode. Die Niederschlagsintensität wird für eine Niederschlagsdauer entsprechend der Konzentrationszeit (mit Fliesszeit nach Kirpich) mittels der IDF-Funktion ermittelt. Die Benetzungsdauer als Teil der Konzentrationszeit wird so lange iteriert, bis der während dieser Zeit fallende Niederschlag das erforderliche Benetzungsvolumen Vo_{20} erreicht und zum Abfluss beiträgt. Mit der Niederschlagsintensität zum Zeitpunkt der Konzentrationszeit wird der Spitzenabfluss aus der rationalen Abflussformel berechnet. Das Verfahren setzt für das gesamte Einzugsgebiet einen flächengewichteten Spitzenabflusskoeffizienten ψ ein. In AUGUR wird dieser Wert aus der Bestimmung der Abflussprozesstypen abgeleitet. Das Tool bietet eine Anleitung zur Bestimmung der Abflussprozesstypen zur Verfügung. Für die Berechnung werden Einzugsgebietsfläche, maximale Fliesslänge, Höhenunterschied entlang des Fliesswegs, Flächenanteile der Abflussreaktionsklassen, Benetzungsvolumen Vo_{20} sowie der Bemessungsniederschlag benötigt.

4.2 Abflussreaktionsklasse und Spitzenabflusskoeffizient

Das Einzugsgebiet wird in Teilflächen gegliedert, die bei Starkniederschlägen hydrologisch ähnlich reagieren. Rasch und stark beitragende Flächen erhalten hohe Spitzenabflusskoeffizienten Ψ. Gut speichernde oder verzögert reagierende Flächen erhalten tiefere Werte.

Der Abflusskoeffizient ψ beschreibt den Anteil des Niederschlags, der zum Zeitpunkt der Hochwasserspitze abflusswirksam ist. In AUGUR werden den fünf Abflussreaktionsklassen standardmässig folgende Werte zugeordnet:

Klasse	Reaktion	Ψs	V_0,20 [mm]
1	rasch und stark	0.45	20
2	leicht verzögert	0.35	25
3	verzögert	0.15	35
4	stark verzögert	0.10	45
5	sehr stark verzögert	0.05	50

Der Abflussbeiwert und das Benetzungsvolumen werden als gewichteter Mittelwert berechnet.

4.3 Berechnung der Fliesszeit und Konzentrationszeit

Die maximale Fliesslänge L entspricht dem längsten hydrologischen Fliessweg bis zum Bemessungspunkt. Aus dem Höhenunterschied entlang dieses Weges und L wird das mittlere Gefälle J bestimmt. Die Fliesszeit wird mit der empirischen Kirpich-Beziehung berechnet:

$$\mathrm{TFl} = 0.0195 * L^{0.77} * J^{-0.385} \qquad \text{mit TFl in Minuten, L in Metern und J in m/m}$$

Die Konzentrationszeit T_c setzt sich aus Fliesszeit T_{Fl} und Benetzungsdauer T_B zusammen: $T_c = T_B + T_{Fl}$. Für jede angenommene Benetzungsdauer wird die IDF-Funktion bei T_c ausgewertet. Die Iteration wird fortgeführt, bis die während T_B fallende Niederschlagshöhe dem angesetzten Benetzungsvolumen V_{020} entspricht: (TB/60) * I(T,Tc) = V_{020}.

4.4 Berechnung des Spitzenabflusses

Der Spitzenabfluss wird mit der rationalen Abflussformel bestimmt:

$$HQ(T) = 0.278 * I(T, T_c) * \Psi_s * E$$

Dabei ist I die Niederschlagsintensität in mm/h, ψs der gebietsweite Spitzenabflusskoeffizient und E die Einzugsgebietsfläche in km². Der Faktor 0.278 übernimmt die Einheitenumrechnung in m³/s.

Das Verfahren nimmt an, dass ein Blockregen mit der Dauer Tc angesetzt wird und zum Zeitpunkt Tc alle Teilflächen entsprechend dem gebietsweiten Abflusskoeffizienten zum Scheitel beitragen.

4.5 Ergebnisinterpretation

Das Verfahren liefert eine robuste, vergleichsweise einfache Schätzung des Spitzenabflusses.

Räumliche Unterschiede werden über flächengewichtete Kennwerte zusammengefasst; die Lage einzelner reaktionsstarker Flächen wird nicht explizit abgebildet.

Das Resultat reagiert besonders auf die Abflussreaktionsklassierung, den längsten Fliessweg, das Gefälle und die daraus bestimmte Konzentrationszeit.

5. Verfahren nach Kölla

5.1 Einordnung und Grundidee

Das Verfahren nach Kölla ist ein empirisch-konzeptionelles Fliesszeitverfahren zur Abschätzung von Spitzenabflüssen. Es basiert auf der Vorstellung, dass bei einem Starkregen nicht die gesamte Einzugsgebietsfläche abflussrelevant wird. Besonders wichtig sind gerinnennahe Flächen, die rasch an das Gerinnenetz angeschlossen sind.

Ein zweites Kernelement ist das Benetzungsvolumen V_0 in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode T. Es beschreibt im Modell die Niederschlagshöhe, die zunächst erforderlich ist, damit die für die Hochwasserbildung relevanten Abflussprozesse einsetzen. Zusammen mit der Fliesszeit bestimmt diese Benetzung die massgebende Regendauer. Die zu dieser Dauer gehörende Starkniederschlagsintensität wird anschliessend auf die effektiv beitragende Fläche angewendet.

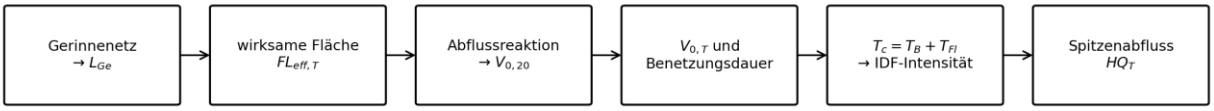


Abbildung 5: Vereinfachte Berechnungslogik des Verfahrens nach Kölla.

5.2 Gerinnenetz und effektiv beitragende Fläche

Ausgangspunkt ist die kumulative Gerinnelänge L_{Ge}. AUGUR leitet das bei Starkregen relevante Gerinnenetz aus dem digitalen Terrainmodell und der Fliessakkumulation ab. Bei Überschreitung von 3000 zusammenfliessenden Rasterzellen generiert AUGUR einen Fliessstrang. Das automatisiert erzeugte Netz ist bewusst relativ stark verästelt. Je grösser die kumulierte Gerinnelänge, desto grösser wird im Verfahren die effektiv beitragende Fläche.

Für das 20-jährliche Ereignis wird diese Fläche empirisch berechnet:

$$FL_eff_{20} = 0.12 \cdot L_{Ge}^{1.07}$$

mit FL_eff_{20} in km² und L_{Ge} in km. Hydrologisch steht FL_eff nicht für einen geometrisch überall gleich breiten Streifen entlang des Gerinnes. Die Zahl ist vielmehr eine empirisch bestimmte Ersatzgrösse für die Flächen, die während des massgebenden Ereignisses rasch genug mit dem Gerinnenetz verbunden sind, um zum Spitzenabfluss beizutragen. Für andere Wiederkehrperioden wird die wirksame Fläche mit einem Korrekturfaktor kF_T angepasst:

$$FL_eff_T = FL_eff_{20} \cdot kF_T$$

Damit kann das Verfahren berücksichtigen, dass bei seltenen und intensiveren Ereignissen zusätzliche Flächen hydrologisch aktiviert werden. Dieser jährlichkeitsabhängige Flächenansatz ist für das Verständnis des Verfahrens wichtiger als die Vorstellung eines festen gerinnenparallelen Flächenstreifens.

5.3 Abflussreaktion und Benetzungsvolumen $V_{0,20}$

$V_{0,20}$ ist der Bezugsparameter für die Abflussreaktion. Ein kleiner Wert steht für rasch reagierende, wenig speichernde Verhältnisse; ein grosser Wert für stärker speichernde bzw. verzögert reagierende Verhältnisse. AUGUR ordnet den fünf Abflussreaktionsklassen folgende Standardwerte zu:

Klasse	hydrologische Reaktion	$V_{0,20}$ [mm]
1	rasch und stark beitragend	20
2	leicht verzögert beitragend	25
3	verzögert beitragend	35
4	stark verzögert beitragend	45
5	sehr stark verzögert beitragend	50

5.4 Veränderung V_0 mit der Wiederkehrperiode

Auf den ersten Blick wirkt die jährlichkeitsabhängige Änderung von V_0 unlogisch: Das physikalische Speichervermögen eines Bodens wird nicht grösser, nur weil ein 100-jährliches statt eines 20-jährlichen Ereignisses betrachtet wird. $V_{0,T}$ darf deshalb nicht als konstante, physikalisch messbare Bodenspeicherkapazität verstanden werden.

Im Kölla-Verfahren ist $V_{0,T}$ ein empirischer Ereignisparameter. Er fasst die Niederschlagsmenge zusammen, die im Modell vor der Ausbildung des jeweiligen Spitzenabflusses für Benetzung und Verluste benötigt wird. Kölla kalibrierte diesen Parameter zusammen mit der jährlichkeitsabhängigen effektiv beitragenden Fläche. Für das 20-jährliche Ereignis dient $V_{0,20}$ als Bezugswert; für die ursprünglichen Stützjährlichkeiten werden angesetzt:

$$V_{0,30} = V_{0,20} \qquad und \qquad V_{0,100} = 1.3 \cdot V_{0,20}$$

Die Zunahme von V_0,T bedeutet somit nicht, dass derselbe Boden bei einem seltenen Ereignis plötzlich mehr Wasser speichern kann. Sie ist Teil der empirischen Skalierung des Gesamtmodells mit der Ereignisgrösse. Gleichzeitig wird auch die effektiv beitragende Fläche verändert. $V_{0,T}$ und FL_eff,$_T$ sind daher als gekoppelte Modellparameter zu verstehen, mit denen Kölla die beobachtete Änderung der Hochwasserreaktion mit der Wiederkehrperiode beschreibt.

Für Wiederkehrperioden zwischen bzw. ausserhalb der ursprünglichen Stützstellen muss eine Inter- bzw. Extrapolation vorgenommen werden.

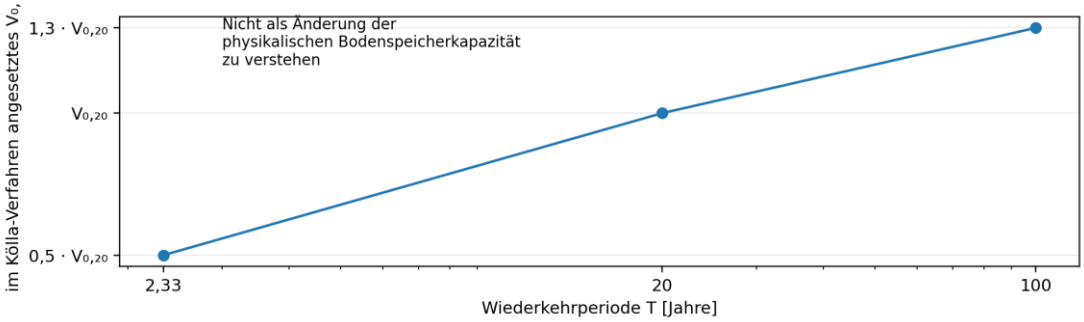


Abbildung 6: Jährlichkeitsabhängige Skalierung des Benetzungsvolumens im Kölla-Verfahren.

5.5 Fliesszeit, Benetzungsdauer und Konzentrationszeit

Die Fliesszeit wird bei Kölla nicht aus maximaler Fliesslänge und Gefälle nach Kirpich bestimmt, sondern empirisch aus der effektiv beitragenden Fläche:

$$TFl\,[h] = FL_eff,_T^{0.2}$$

Zur Fliesszeit kommt die Benetzungsdauer TB. Sie bezeichnet die Zeit, während der der Bemessungsniederschlag das für die betrachtete Wiederkehrperiode angesetzte Benetzungsvolumen $V_{0,T}$ auffüllt. Die Konzentrationszeit bzw. massgebende Regendauer ergibt sich zu:

$$Tc = TB + TFl$$

TB kann nicht unabhängig bestimmt werden, weil die Niederschlagsintensität selbst von Tc abhängt. AUGUR löst dies iterativ: Für einen Startwert von TB wird Tc berechnet und aus der IDF-Funktion die Niederschlagsintensität iT(Tc) abgelesen. Anschliessend wird geprüft, ob während TB gerade das erforderliche Benetzungsvolumen fällt:

$$TB \cdot iT(Tc) = V_{0,T}$$

Ist die Niederschlagshöhe kleiner als $V_{0,T}$, wird TB verlängert; ist sie grösser, wird TB verkürzt. Die Iteration wird fortgesetzt, bis Benetzungsdauer und Niederschlagsintensität zusammenpassen.

5.6 Berechnung des Spitzenabflusses

Nach der Benetzung wird im Kölla-Ansatz weiterhin ein Verlust berücksichtigt. In AUGUR wird dieser mit fT = 0.1 · $V_{0,T}$ angesetzt. Bei kleinen Einzugsgebieten bzw. kurzen Regendauern wird ausserdem ein Ganglinienkorrekturfaktor kGang verwendet.

Der Spitzenabfluss wird in der AUGUR-Dokumentation in folgender Form angegeben:

$$HQ_T = FL_eff,_T \cdot [i_T(Tc) - f_T] \cdot (1/3.6)$$

Parameter	Einheit	Bedeutung
HQ_T	m³/s	**Spitzenabfluss** für die Wiederkehrperiode T
T	Jahre	Betrachtete **Wiederkehrperiode**, z. B. 30, 100 oder 300 Jahre
$FL_{\text{eff},T}$	km²	**Effektiv beitragende Fläche** für die Wiederkehrperiode T. Sie bezeichnet den Flächenanteil des Einzugsgebiets, der beim betrachteten Ereignis für die Bildung des Spitzenabflusses als wirksam angenommen wird.
$i_T(T_c)$	mm/h	**Niederschlagsintensität** der Wiederkehrperiode T für eine Regendauer entsprechend der Konzentrationszeit T_c; sie wird aus der IDF-Beziehung bestimmt.
T_c	h bzw. min	**Konzentrationszeit**, bestehend aus Benetzungsdauer und Fliesszeit: $T_c = T_B + T_{Fl}$.
f_T	mm/h	**Verlustrate** während des abflusswirksamen Niederschlags; sie reduziert die für die Bildung des Spitzenabflusses verfügbare Niederschlagsintensität.
$1/3.6$	–	**Einheitenumrechnung** von km² · mm/h in m³/s.

5.7 Anwendungsgrenzen, Aussagekraft und Qualität

Das Verfahren nach Kölla ist ein Laufzeitverfahren und kein räumlich verteiltes Niederschlag-Abfluss-Modell. Die räumliche Lage einzelner abflussaktiver Flächen wird nicht explizit modelliert.

Besonders sensitiv ist das Verfahren gegenüber dem abgeleiteten Gerinnenetz. Ein stark verästeltes Netz erhöht L_{Ge} und damit tendenziell die effektiv beitragende Fläche. Die AUGUR-Plausibilisierung an 40 Referenzgebieten mit Flächen unter 10 km² zeigte für Kölla häufiger Überschätzungen als bei den beiden anderen beiden Laufzeitverfahren; als eine Ursache wird das stärker verästelte, automatisiert bestimmte Gerinnenetz genannt.

Weitere Unsicherheiten entstehen durch die Klassierung der Abflussreaktion und die empirische Übertragung von $V_{0,T}$ und FL_eff,$_T$ auf verschiedene Wiederkehrperioden. Sonderprozesse wie Karst, bedeutende künstliche Speicher, Rückstau, Ausuferungen, Geschiebeeinfluss oder komplexe Schneeschmelzprozesse werden nicht prozessbasiert abgebildet. Ergebnisse sollten deshalb mit Ereignisbeobachtungen, regionalen Messdaten, Feldbegehungen und weiteren Hochwasserabschätzverfahren plausibilisiert werden.

6. Verfahren Clark-WSL

6.1 Einordnung und Grundidee

Clark-WSL ist ein räumlich differenziertes Niederschlag-Abfluss-Verfahren zur Berechnung einer Abflussganglinie und des Spitzenabflusses. Im Unterschied zum modifizierten Fliesszeitverfahren und zum Verfahren nach Kölla wird nicht nur mit einem gebietsweiten Kennwert oder einer effektiv beitragenden Fläche gerechnet. Clark-

WSL berücksichtigt zusätzlich die räumliche Lage der unterschiedlich stark reagierenden Flächen im Einzugsgebiet.

Das Verfahren verbindet drei Grundideen: Erstens wird das Einzugsgebiet nach Fliesszeiten in Isozonen gegliedert. Zweitens wird für jede Teilfläche anhand ihrer Abflussreaktion bestimmt, welcher Anteil des Niederschlags gespeichert bzw. infiltriert und welcher Anteil direkt abflusswirksam wird. Drittens werden die entstehenden Teilabflüsse entsprechend ihrer Fliesszeit zum Gebietsauslass verschoben, dort überlagert und durch einen linearen Speicher gedämpft. Als Ergebnis entsteht eine vollständige Abflussganglinie.

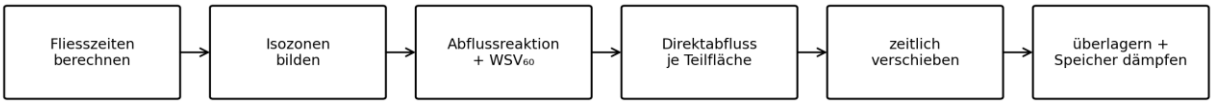


Abbildung 7: Vereinfachte Berechnungslogik des Verfahrens Clark-WSL.

6.2 Fliessgeschwindigkeiten, Fliesszeiten und Isozonen

AUGUR bestimmt aus dem digitalen Terrainmodell für jede Rasterzelle den Fliessweg bis zum Gebietsauslass. Für die Geländeoberfläche werden abhängig von Hangneigung und Wald/Nichtwald unterschiedliche Fliessgeschwindigkeiten angesetzt. Im dokumentierten Parametersatz liegen sie zwischen 0.05 und 0.5 m/s im Wald und zwischen 0.1 und 1.0 m/s auf den übrigen Flächen. Im Gerinnenetz werden 1.5 m/s angenommen.

Aus den Teilwegzeiten entlang des Fliesswegs ergibt sich für jede Isozone die gesamte Fliesszeit bis zum Gebietsauslass. In AUGUR beträgt die Breite einer Isozone 10 Minuten. Eine Isozone ist somit einfach eine Fläche, deren Wasser ungefähr gleich lange bis zum Gebietsauslass benötigt.

Die am weitesten entfernte Isozone bestimmt näherungsweise die Konzentrationszeit. In Worten: Anzahl der benötigten 10-Minuten-Zeitschritte × 10 Minuten = Konzentrationszeit.

6.3 Abflussreaktion und Speichervermögen

Die hydrologische Reaktion der Isozonen wird über fünf Abflussreaktionsklassen beschrieben. Bei Clark-WSL ist jeder Klasse ein Wasserspeichervermögen WSV_{60} zugeordnet. Es beschreibt das innerhalb einer Dauer von 60 Minuten wirksame Speicher- und Infiltrationsvermögen. Ein kleiner Wert bedeutet eine rasche Abflussreaktion, ein grosser Wert eine stärkere Speicherung bzw. Infiltration.

Klasse	hydrologische Reaktion	WSV_{60} [mm]
1	rasch und stark beitragend	10
2	leicht verzögert beitragend	20
3	verzögert beitragend	30
4	stark verzögert beitragend	45
5	sehr stark verzögert beitragend	60

Isozonen und Abflussreaktionsklassen werden miteinander verschnitten. Dadurch entstehen Recheneinheiten, die gleichzeitig eine bestimmte Fliesszeit und eine bestimmte Abflussreaktion besitzen. Clark-WSL berücksichtigt damit nicht nur, wie viel rasch reagierende Fläche vorhanden ist, sondern auch, ob diese Fläche nahe oder weit vom Gebietsauslass entfernt liegt.

6.4 Anpassung des Speichervermögens an die Ereignisdauer

Das tabellierte WSV_{60}- Speichervermögen gilt für eine Dauer von 60 Minuten. Bei einer anderen Konzentrationszeit wird es angepasst. Die AUGUR-Dokumentation verwendet dazu folgende Beziehung:

$$WSV_{corr} = WSV_{60} \cdot (0.5 + T_c / 120\ min)$$

Die Formel ist einfacher zu verstehen, wenn man drei Beispiele betrachtet: Bei Tc = 60 min bleibt das Speichervermögen unverändert. Bei T_c = 30 min beträgt es 0.75 · WSV_{60}, bei T_c = 120 min 1.5 · WSV_{60}. Der Ansatz unterstellt somit, dass während eines längeren Ereignisses insgesamt mehr Wasser gespeichert bzw. infiltriert werden kann.

6.5 Aufteilung des Niederschlags in Speicherung und Direktabfluss

Für jede Kombination aus Isozone und Abflussreaktionsklasse wird bestimmt, welcher Anteil des Ereignisniederschlags direkt abflusswirksam wird. Zunächst wird ein Anfangsverlust von 20 % des angepassten Speichervermögens angesetzt. Solange der Niederschlag diese Schwelle nicht überschreitet, entsteht kein Direktabfluss.

$$Anfangsverlust = 0.2 \cdot WSV_{corr}$$

Ist die Schwelle überschritten, wird der gesamte direkt abflusswirksame Niederschlag P_{eff} mit einer SCS-ähnlichen Speicherbeziehung berechnet:

$$P_{eff} = (P_{total} - 0.2 \cdot WSV_{corr})^2 / (P_{total} + 0.8 \cdot WSV_{corr})$$

Die Differenz zwischen Gesamtniederschlag und Direktabfluss entspricht dem während des Ereignisses insgesamt gespeicherten bzw. infiltrierten Wasser:

$$P_{inf,total} = P_{total} - P_{eff}$$

Damit ist zunächst bekannt, wie viel Niederschlag insgesamt abflusswirksam wird. Für eine Ganglinie muss zusätzlich bestimmt werden, wann dieser Abfluss entsteht. Clark-WSL nimmt deshalb eine zu Beginn hohe und im Verlauf des Ereignisses abnehmende Infiltrationsrate an. In jedem Zeitschritt wird vom Niederschlag die zu diesem Zeitpunkt mögliche Infiltration abgezogen. Der verbleibende Anteil bildet Direktabfluss. Die Parameter dieser zeitlichen Infiltrationsfunktion werden so gewählt, dass die Summe der Infiltration über das gesamte Ereignis dem zuvor berechneten $P_{inf,total}$ entspricht.

6.6 Zeitliche Weiterleitung und Überlagerung

Der auf einer Teilfläche gebildete Direktabfluss erreicht den Gebietsauslass nicht sofort. Seine zeitliche Verschiebung wird durch die Isozone bestimmt. Ein Beitrag aus einer nahen Isozone trifft früh, ein Beitrag aus einer weiter entfernten Isozone entsprechend später ein. Die zeitlich verschobenen Teilabflüsse aller Isozonen und Abflussreaktionsklassen werden am Gebietsauslass addiert. Das Prinzip lässt sich in einem Satz zusammenfassen: Die Abflussreaktionsklasse bestimmt, wie viel und wann auf einer Teilfläche Direktabfluss entsteht; die Isozone bestimmt, wann dieser Direktabfluss den Gebietsauslass erreicht. Aus der Überlagerung entsteht zunächst eine noch ungedämpfte Ganglinie W(t). Dieser Rechenschritt wird als Translation bezeichnet.

6.7 Dämpfung durch einen linearen Speicher

Die reine zeitliche Verschiebung bildet die Retentionswirkung des Einzugsgebiets noch nicht vollständig ab. Clark-WSL führt die am Gebietsauslass ankommende Ganglinie deshalb durch einen linearen Speicher. Dieser Speicher ist kein tatsächlich vorhandenes Becken am Gebietsauslass, sondern ein konzeptionelles Rechenelement, das die zusammengefasste Retentionswirkung des Einzugsgebiets abbildet.

Die Grundidee des linearen Speichers lautet:

$$Speichervolumen\ S = Speicherkonstante\ K \cdot Abfluss\ Q$$

Je grösser K, desto stärker und länger wird die Ganglinie gedämpft. In AUGUR wird K aus dem flächengewichteten mittleren WSV_{60} abgeleitet:

$$K = 2.25 \cdot mittleres\ WSV_{60} - 18.5$$

Der lineare Speicher reduziert und verzögert die Abflussspitze gegenüber der ungedämpften Translationsganglinie. Der höchste Wert der resultierenden Ausflussganglinie Q(t) ist der berechnete Spitzenabfluss.

6.8 Anwendungsgrenzen, Aussagekraft und Qualität

Clark-WSL bildet die räumliche Lage unterschiedlich reagierender Flächen und deren unterschiedliche Laufzeiten expliziter ab als das modifizierte Fliesszeitverfahren und Kölla. Zudem liefert das Verfahren unmittelbar eine Abflussganglinie. Die höhere räumliche Differenzierung bedeutet jedoch nicht automatisch eine höhere Genauigkeit.

Das Ergebnis reagiert insbesondere auf die angesetzten Oberflächen- und Gerinnegeschwindigkeiten, die äussersten Isozonen, die Klassierung der Abflussreaktion, das WSV_{60} sowie die Speicherkonstante. Kleine, möglicherweise terrainbedingte Randisozonen können die Konzentrationszeit verlängern und dadurch die angesetzte Niederschlagsintensität reduzieren. Die Fliesswege und äussersten Isozonen sind deshalb jeweils zu plausibilisieren, was jedoch in AUGUR nicht möglich ist.

Die Fliessgeschwindigkeiten und der lineare Speicher sind Modellansätze und keine hydraulische Berechnung des realen Gerinnes. Rückstau, Ausuferungen, Veränderungen der Gerinnequerschnitte, Geschiebetransport, Verklausungen, Karst oder künstliche Speicher werden nicht explizit prozessbasiert simuliert.

Bei der AUGUR-Plausibilisierung anhand von Referenzgebieten im Mittelland und im voralpinen Hügelland lag bei Clark-WSL rund ein Drittel der Schätzungen innerhalb der jeweiligen Referenzbandbreite; Über- und Unterschätzungen waren ungefähr ausgeglichen. Die Resultate sind deshalb als hydrologische Abschätzungen zu verstehen und mit Ereignisbeobachtungen, regionalen Messdaten, Feldbegehungen und weiteren Hochwasserabschätzverfahren zu plausibilisieren.

7. Plausibilisierung der Abflussschätzungen mit Referenzwerten

Zu Beginn der Arbeiten wurden Literatur und Originalansätze aufgearbeitet. Beim Clark-WSL-Verfahren wurden zusätzlich Verständnisfragen mit dessen Verfasser geklärt. Anschliessend wurden Programmierung und Eingangsdaten geprüft. Für die Plausibilisierung standen 48 Bemessungspunkte aus aktuellen, hydrologischen Detailstudien im Mittelland und voralpinen Hügelland (Kantone Bern, Solothurn und Luzern) mit Flächen von rund 0,4 bis 9,5 km² zur Verfügung. Bekannt waren jeweils Abflussreaktionsklassen, Starkniederschläge und Bandbreiten des HQ100.

Beim modifizierten Fliesszeitverfahren und bei Clark-WSL lag rund ein Drittel der Schätzungen innerhalb der jeweiligen Referenzbandbreite; Über- und Unterschätzungen waren etwa ausgeglichen. Kölla überschätzte häufiger, was unter anderem mit dem stark verästelten, automatisiert bestimmten Gerinnenetz zusammenhängt. Der Mittelwert der drei Verfahren lag in 60 % der Fälle zwischen −14 % und +22 %

gegenüber der Referenz. Beim NAM.BE ergab der Vergleich einen Korrelationskoeffizienten von 0,81. Diese Kennwerte belegen eine brauchbare Grössenordnung, aber keine punktgenaue Vorhersage. Sie unterstreichen den Zweck von AUGUR: mehrere methodische Linien transparent gegenüberzustellen und die Bandbreite fachlich zu beurteilen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anwendungseignung der vier beschriebenen Verfahren in Bezug auf verschiedene Kriterien.

Charakteristik des Einzugsgebiets	Mod. Fliesszeitverfahren	Kölla	Clark-WSL	NAM.BE
Kompakte Gebietsform	++	+	+	+
Langgestrecktes Gebiet	+	+	++	++
Homogene Gebietseigenschaften	++	+	+	+
Stark heterogene Gebietseigenschaften	○	+	++	++
Klare Hauptfliessachse	++	+	+	+
Ausgeprägtes Gerinnenetz	+	++	+	+
Sehr dichtes / stark verästeltes Gerinnenetz	+	○ bis −	++	++
Gerinnenahe, rasch reagierende Flächen dominieren	+	++	++	++
Starke räumliche Unterschiede der Abflussbildung	○	+	++	++
Zeitliche Überlagerung verschiedener Teilgebiete wichtig	○	+	++	++
Unsichere / geringe Datengrundlage	++	+	○ bis +	○
Robuste Erstabschätzung gesucht	++	+	+	+

Legende: ++ besonders geeignet · + geeignet · ○ bedingt geeignet · − eher ungünstig

Abbildung 8: Anwendungseignung der vier beschriebenen Verfahren in Bezug auf verschiedene Kriterien. Quelle: ChatGPT.

8. Programmierung

8.1 Code und Integration in AUGUR

Auf Basis der Methodenbeschreibung wurden die drei Verfahren und die zur Bestimmung von Eingabegrössen relevanten Arbeitsschritte programmiert (Sprache Python) und das Ergebnis in die Umgebung AUGUR.world integriert.

Der zugrundeliegende Software-Code ist einsehbar [10] und kann geteilt werden. Es besteht keine Lizenzierung (kein “copy-left” oder “copy-right”) auf den Code.

Die für die Verfahren nötigen Parameter werden in der Oberfläche anhand des digitalen Terrainmodells SwissAlti3d, welches auf 5 m Rasterweite umgerechnet wurde, automatisch ermittelt. Dies umfasst u.a.:

- Abgrenzung des Einzugsgebiets (inkl. Füllung von Senken).
- Berechnung der Gebietsgrösse, Höhenunterschiede und Länge des Hauptgerinnes resp. der kumulierten Gerinnelänge.
- Bestimmung der Fliesszeiten und Isozonierung.

Niederschlagsintensitäten werden automatisch über hydromaps.ch [2] abgerufen.

8.2 Erläuterungen zur Bestimmung der kumulierten Gerinnelänge

Im Geländemodell wird für jede Rasterzelle die Hauptrichtung der talwärts gerichteten Entwässerung ermittelt. Daraus lässt sich je Zelle die Summe aller dorthin entwässernden Zellen bestimmen.

Durch Vorgabe eines Grenzwerts der Anzahl entwässernder Zellen lässt sich ein im Starkregenfall massgebendes kumuliertes Gerinnenetz ermitteln. Dieses enthält nicht nur tatsächliche Gewässerläufe, sondern auch diejenigen Bereiche, über die im Fall von Starkniederschlägen verstärkt Abfluss geführt wird.

Im Programm wurde gutachterlich ein Grenzwert von 3'000 Zellen resp. eine beitragende Fläche von 7'500 m² ermittelt. Das Ergebnis des resultierenden Gerinnenetzes ist hiermit relativ verästelt und bildet sowohl die Länge und Lage offener Gewässerläufe, als auch Hauptströmungsbereiche weiterer Zuflüsse ab; letztere geben ein im Vergleich zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss [7] vergleichbares Bild.

8.3 Erläuterungen zur Bestimmung der Fliesszeiten / Isozonen

Im Verfahren Clark-WSL wird die massgebende Niederschlagsdauer über die Anzahl der vorhandenen Isozonen und des je Isozone angesetzten Zeitintervalls (im vorliegenden Fall 10 Minuten) ermittelt.

Bei der Bestimmung der Isozonen spielen die Fliessgeschwindigkeit im Gelände sowie die Fliessgeschwindigkeit im Gewässer eine Rolle.

Die Abgrenzung der Isozonen erfolgt in AUGUR über eine automatische Auswertung des Geländemodells und der Bodenbedeckung.

- Anhand des Geländemodells wird für jede Rasterzelle die Geländeneigung ermittelt.
- Bei der Bodenbedeckung wird zwischen Wald und den übrigen Bodenbedeckungen unterschieden. Im Wald treten bei gleicher Geländeneigung geringere Oberflächenfliessgeschwindigkeiten als beispielsweise im Kulturland auf.
- Auf dem Gelände (d.h. ausserhalb des kumulierten Gerinnes, vgl. Kap. 0) ergibt sich in Abhängigkeit von Bodenbedeckung und Neigung eine bestimmte Fliessgeschwindigkeit. Die gewählten Werte der Fliessgeschwindigkeit v sind in Tab. 1 angegeben.
- Im Gerinne könnte in der Theorie die Fliessgeschwindigkeit mit verschiedenen Formeln (meistens in Abhängigkeit des noch unbekannten Abflusses) berechnet werden. Da der Abfluss sowohl entlang des Gerinnes als auch während des Ereignisses nicht konstant ist, erscheint dies sehr theoretisch. Stattdessen wird einheitlich eine Fliessgeschwindigkeit von 1.5 m/s im Gerinne (dies deckt alle Zellen innerhalb des kumulierten Gerinnenetzes ab) angesetzt.

Nachfolgende Tabelle zeigt die in Abhängigkeit von Geländeneigung und Bodenbedeckung angesetzte Fliessgeschwindigkeiten an der Oberfläche (ausserhalb des Gerinnes).

Neigung	**v im Wald (m/s)**	**v im Kulturland und auf den übrigen Bodenbedeckungen (m/s)**
< 1%	0.05	0.1
1 – 5 %	0.1	0.2
5 – 10%	0.2	0.4
10 – 20%	0.3	0.6

20 – 40%	0.4	0.8
Ø 40%	0.5	1.0

9. Quellen

[1] *https://www.bafu.admin.ch/de/hochwasserabschaetzung-in-ungemessenen-einzugsgebieten*

[2] *Sophie Fukutome, Sonia Alouini, Christoph Frei (2025). "Extreme Punktniederschläge". In Daten- und Analyseplattform. Hydrologischer Atlas der Schweiz. https://hydromaps.ch*

[3] *https://augur.world/discharge/*

[4] *Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Praxishilfe, Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4 – Bern 2003. https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/XIP0tavoQU2D/hochwasserabschaetzunginschweizerischen-einzugsgebietenpraxishilf.pdf*

[5] *Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen, eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Gebietsparametern und Spitzenabflüssen kleiner Einzugsgebiete, Elisabeth Kölla, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Nr. 87, 1986. https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/vaw/vaw-dam/documents/das-institut/mitteilungen/1980-1989/087.pdf*

[6] *Zur Abschätzung von Hochwasser in kleinen Wildbacheinzugsgebieten. Stephan Vogt, Diplomarbeit ETH Zürich, Departement Erdwissenschaften, ausgeführt an der Eidg. Forschungsanstalt WSL, März 2001.*

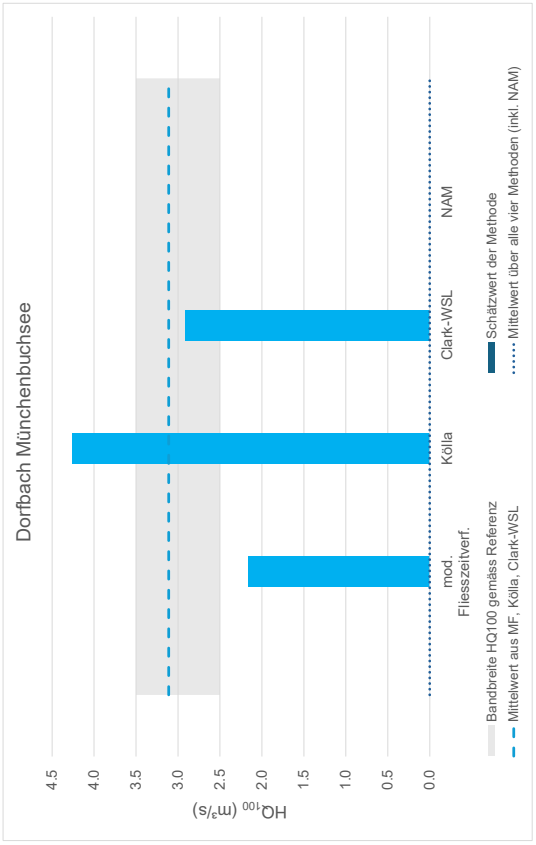
[7] *Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, geo7, im Auftrag des BFU, SSV und VKG, 2018 https://map.geo.admin.ch/#/map?lang=de&center=2660000,1189875&z=1&topic=bafu&layers=ch.bafu.gefaehrdungskarte-oberflaechenabfluss&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&catalogNodes=ech*

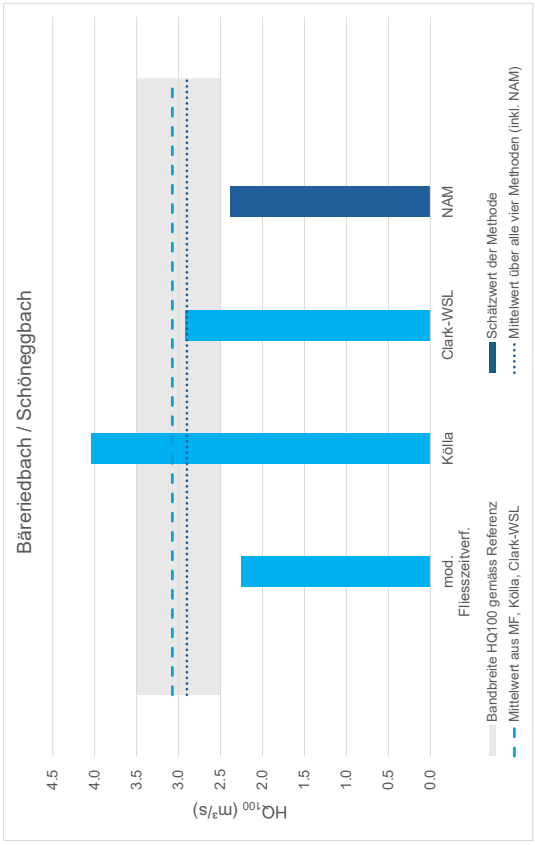
[8] *«Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarten – ein neues Werkzeug zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen, Felix Naef et al., «Wasser Energie Luft» – 99. Jahrgang, 2007, Heft 3, CH-5401 Baden.*

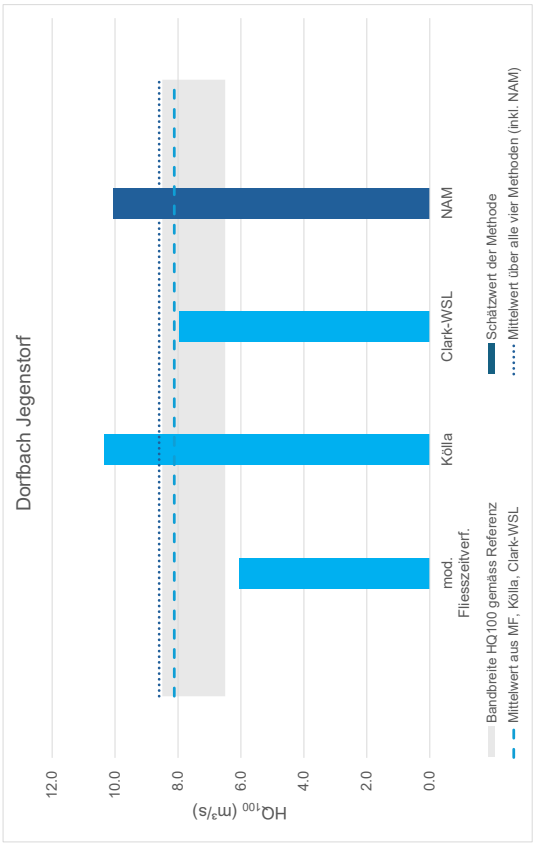
[9] *Scherrer, S. (2006): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen, Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG).*

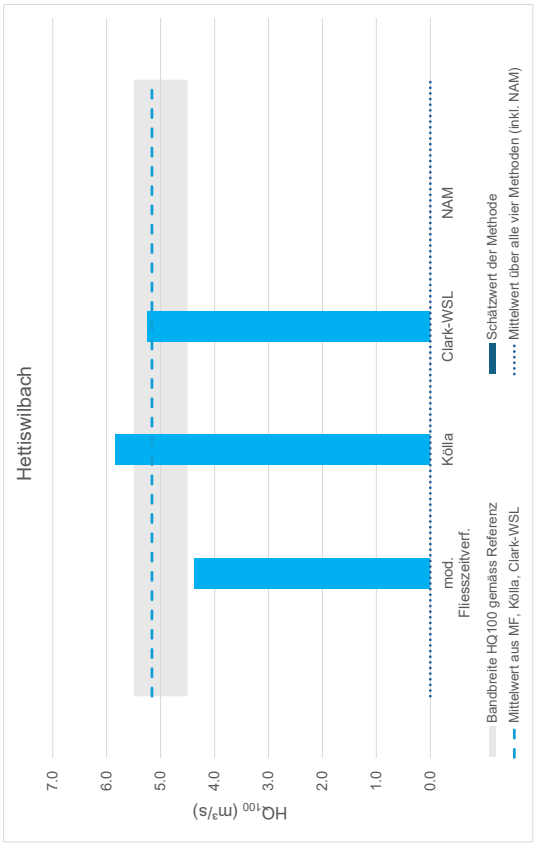
[10] *https://obellprat.github.io/augur-hakesch2-calibration/calibration_hakesch.html*

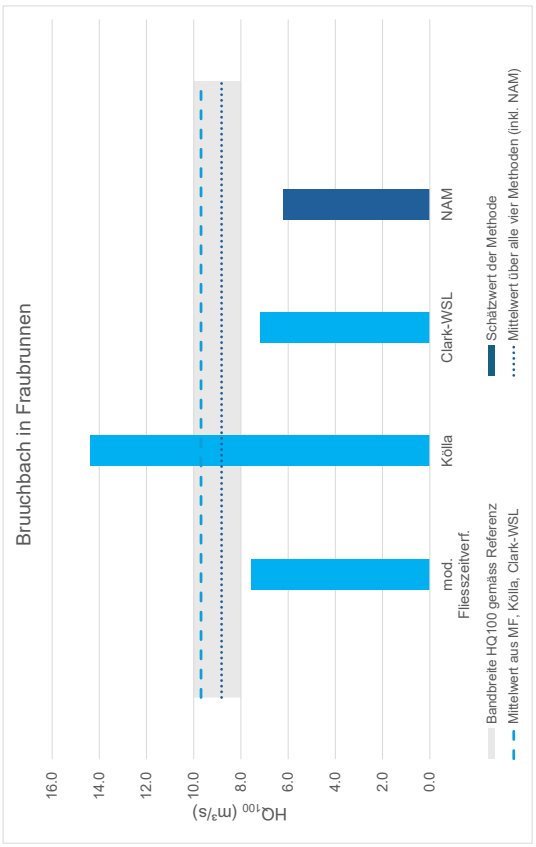
Anhang 1: Plausibilisierung der Methoden mit Vergleichsrechnungen

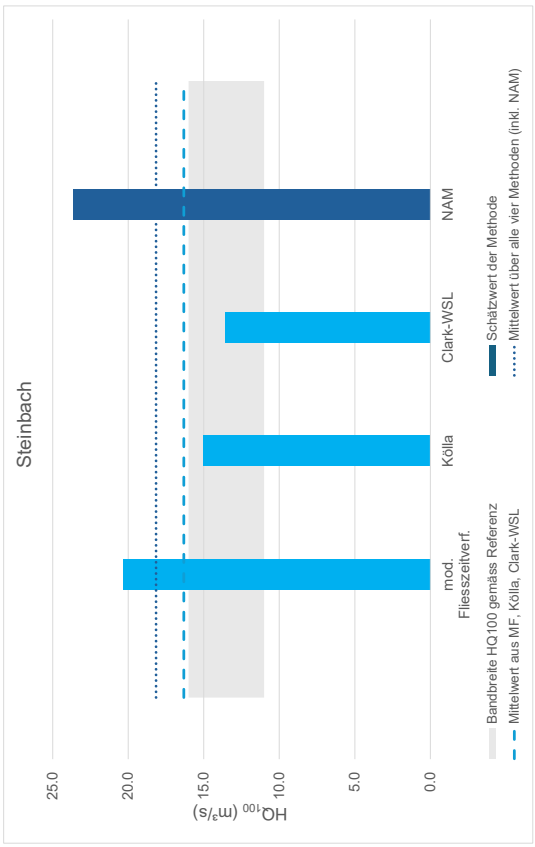


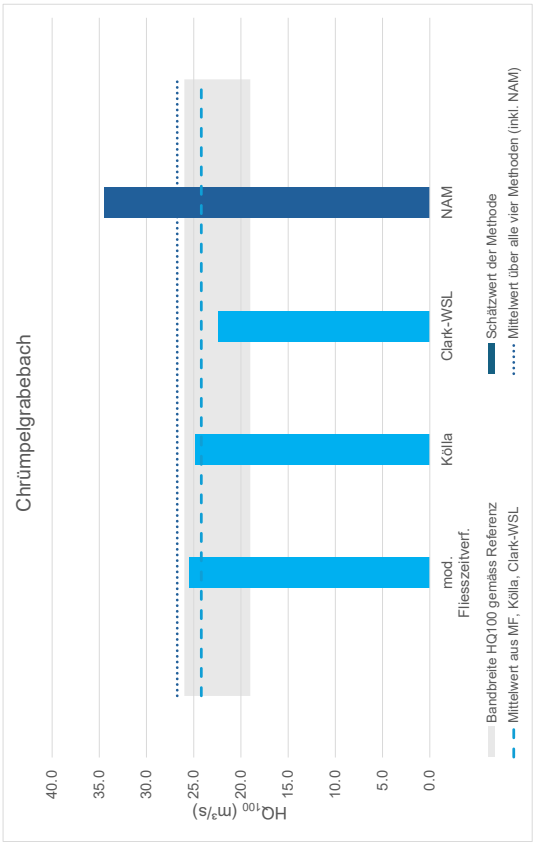


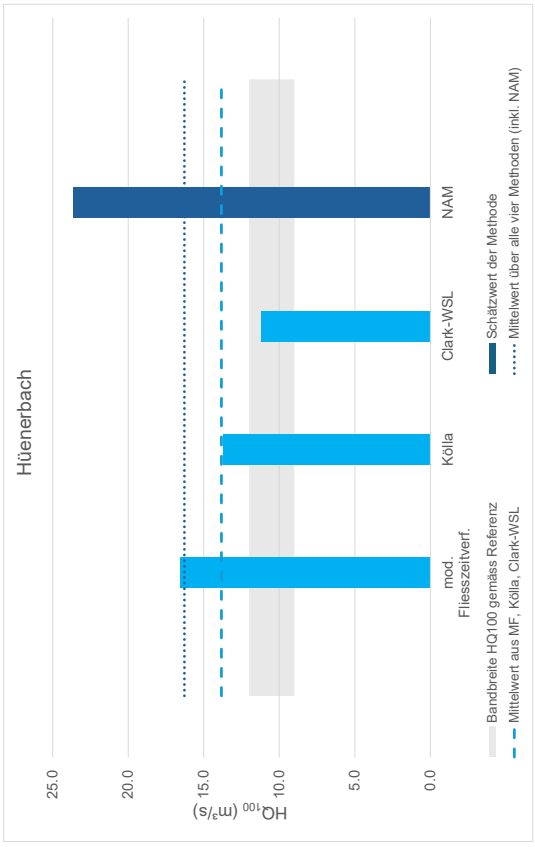


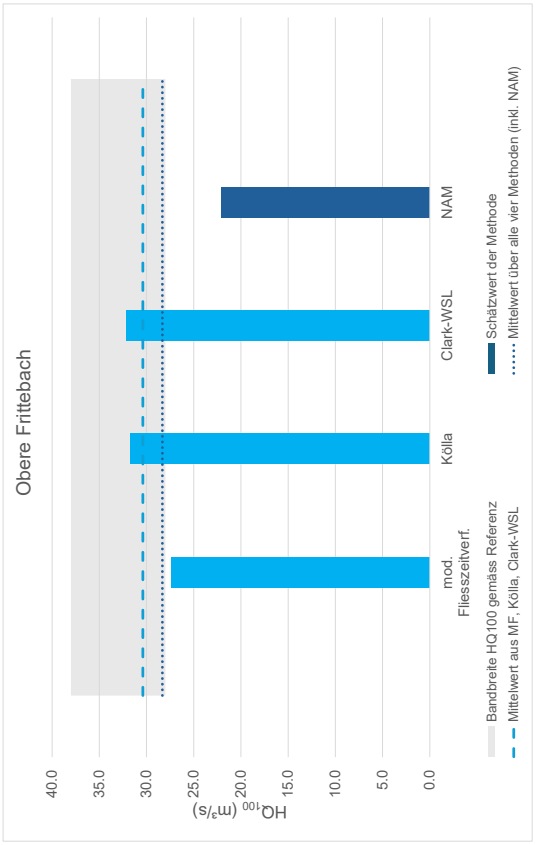


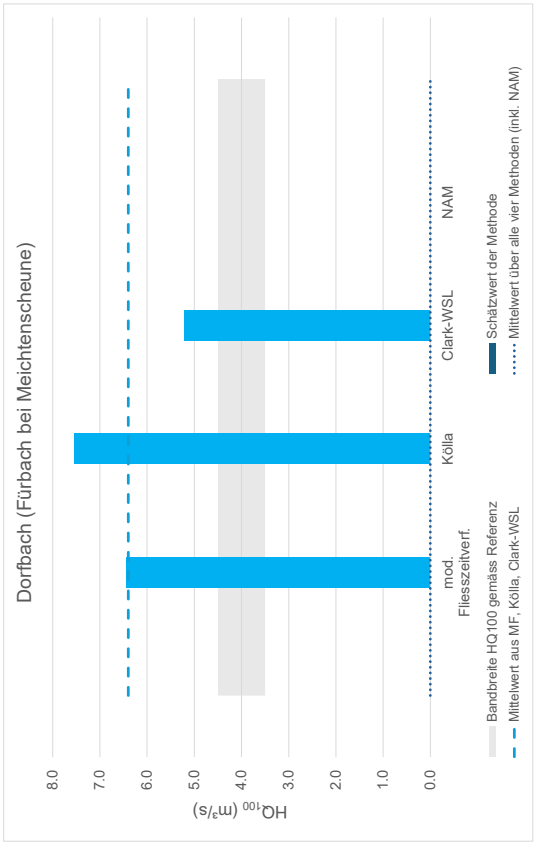

Bruuchbach in Fraubrunnen
HQ100 (m³/s)
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

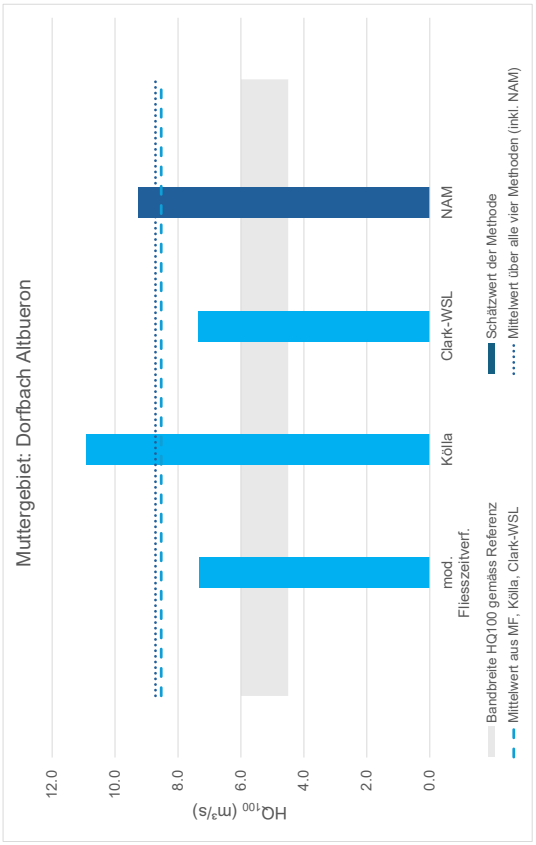

Steinbach
HQ100 (m³/s)
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

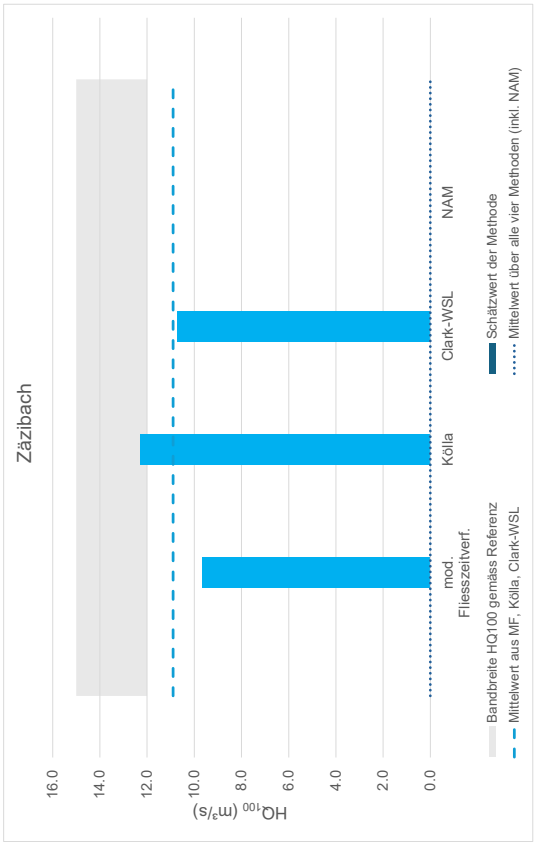

Chrümpelgrabebach
HQ100 (m³/s)
40.0
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

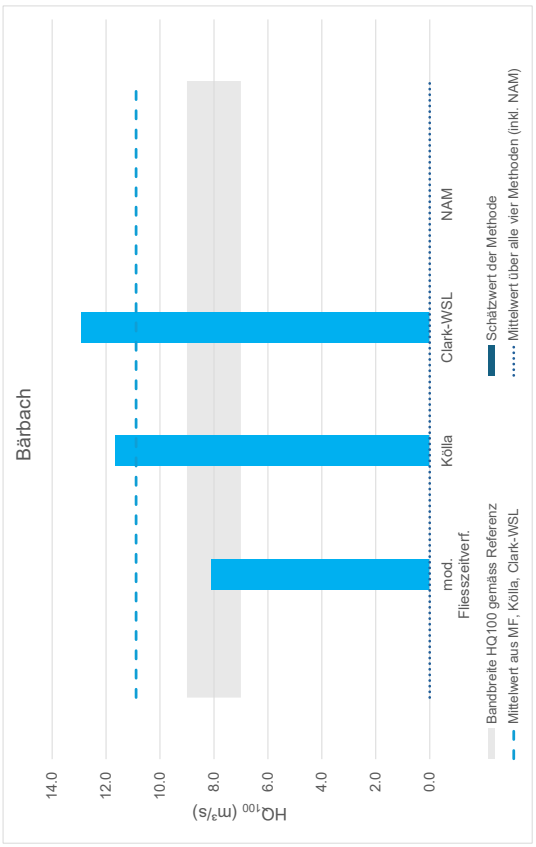

Hüenerbach
HQ100 (m³/s)
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

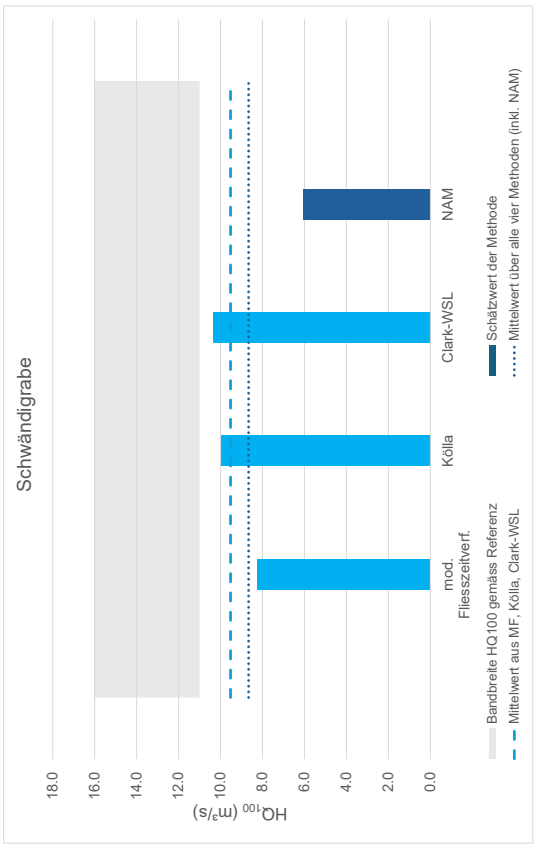

Obere Frittebach
HQ100 (m³/s)
40.0
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

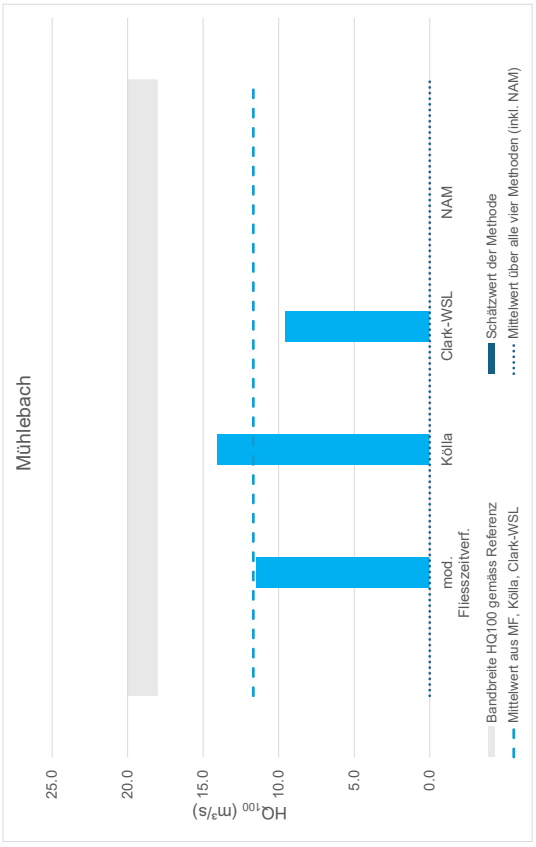

Dorfbach (Fürbach bei Meichtenscheune)
HQ100 (m³/s)
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

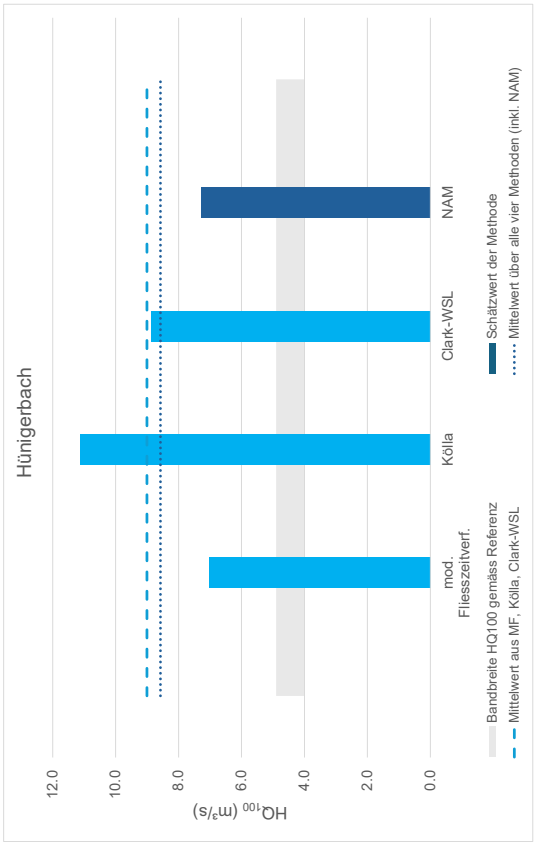

Muttergebiet: Dorfbach Altbueron
HQ100 (m³/s)
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

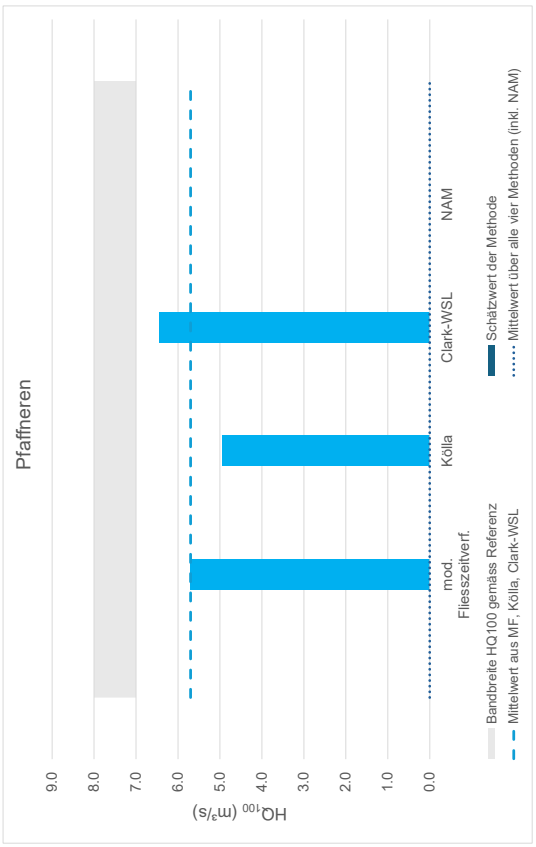

Zäzibach
HQ100 (m³/s)
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

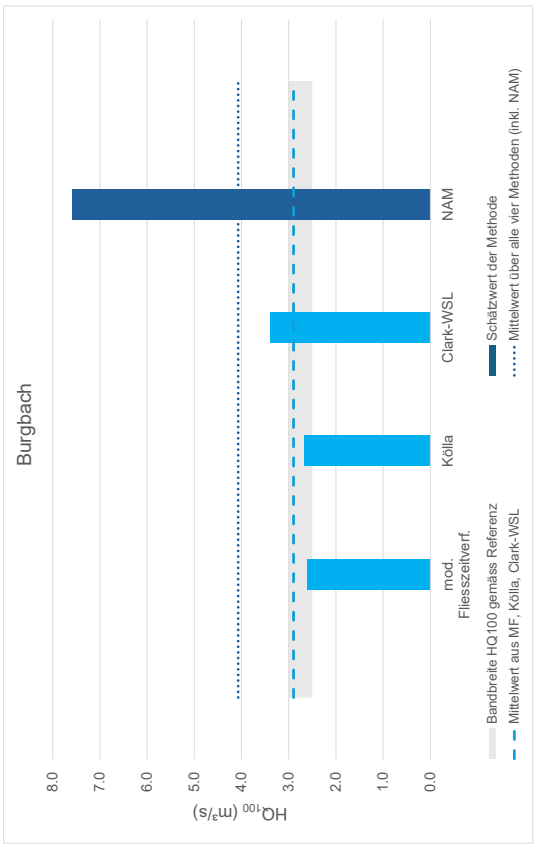

Bärbach
HQ100 (m³/s)
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

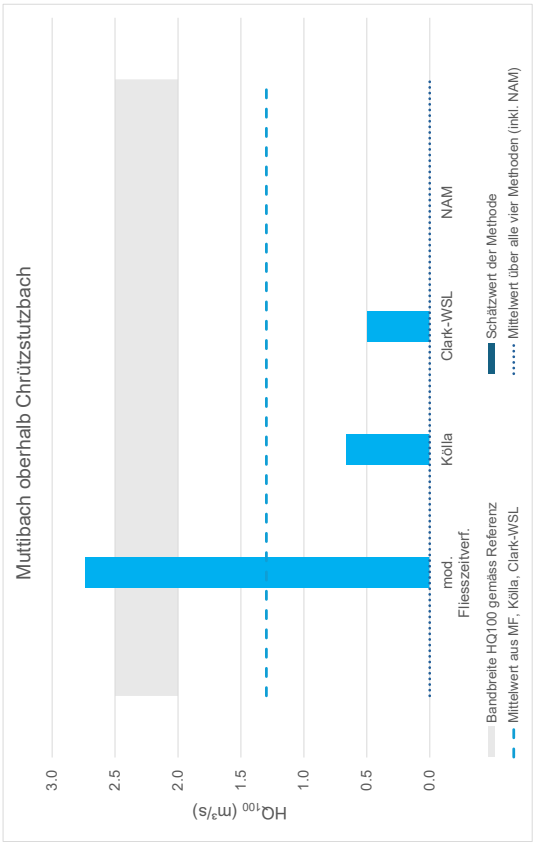

Schwändigrabe
HQ100 (m³/s)
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

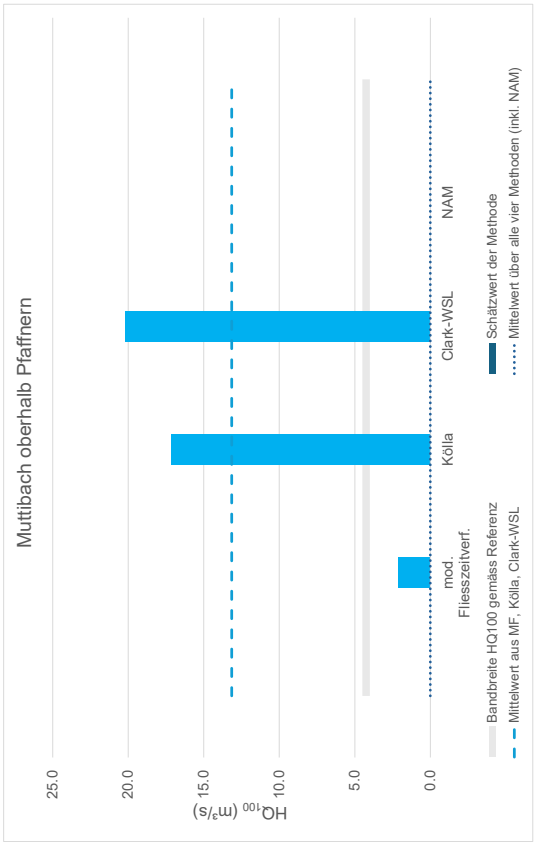

Mühlebach
HQ100 (m³/s)
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

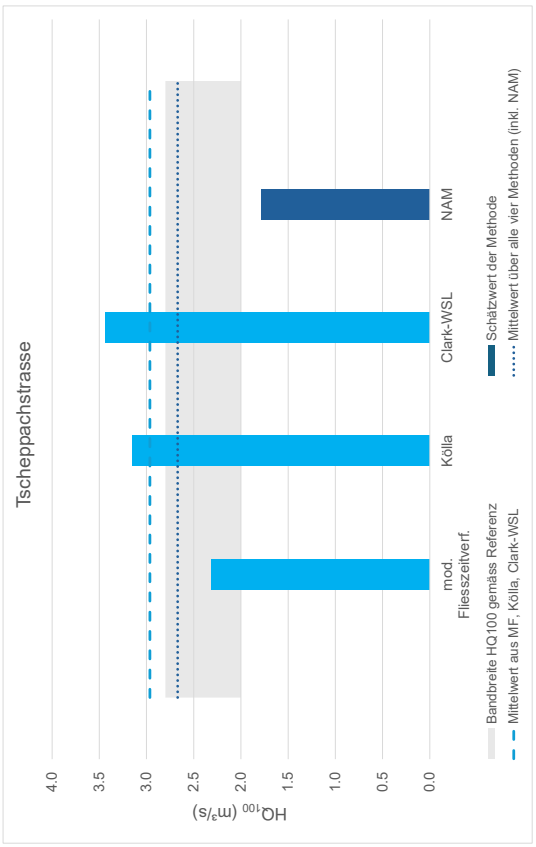

Hünigerbach
HQ100 (m³/s)
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

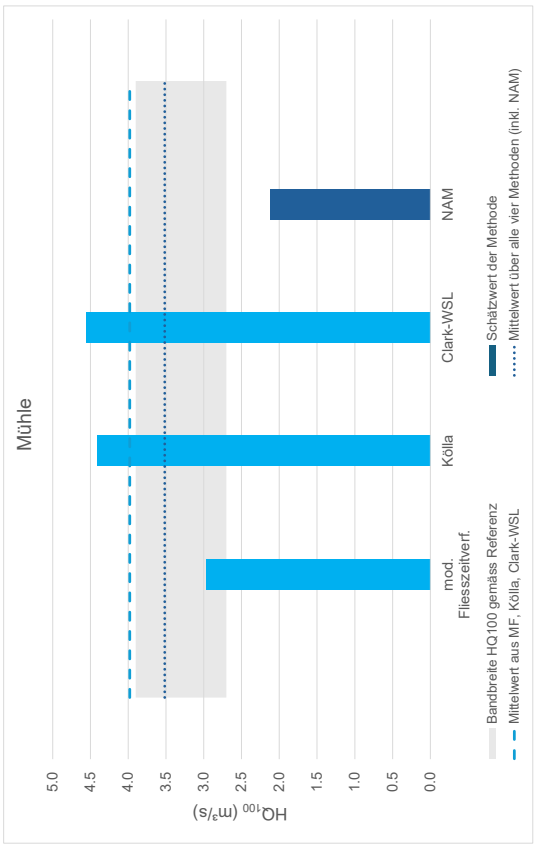

Pfaffneren
HQ100 (m³/s)
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

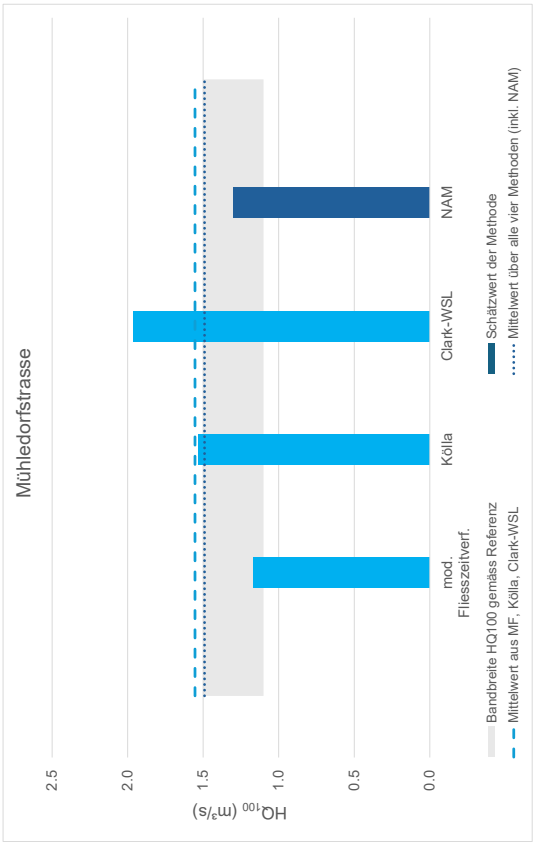

Burgbach
HQ100 (m³/s)
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

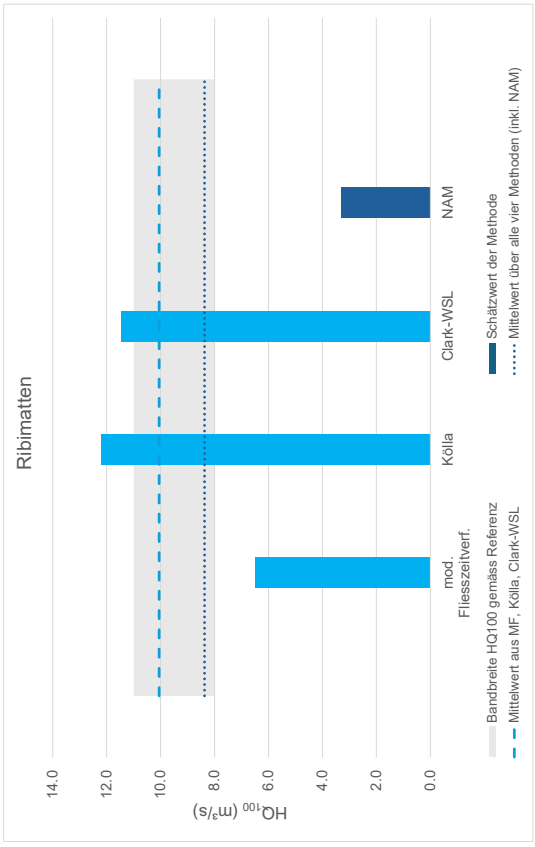

Muttibach oberhalb Chrützstutzbach
HQ100 (m³/s)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

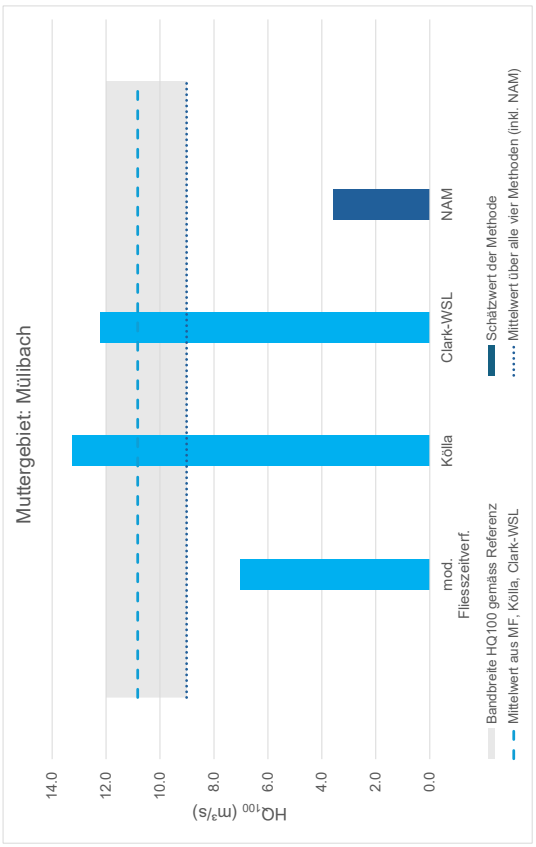

Muttibach oberhalb Pfaffnern
HQ100 (m³/s)
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

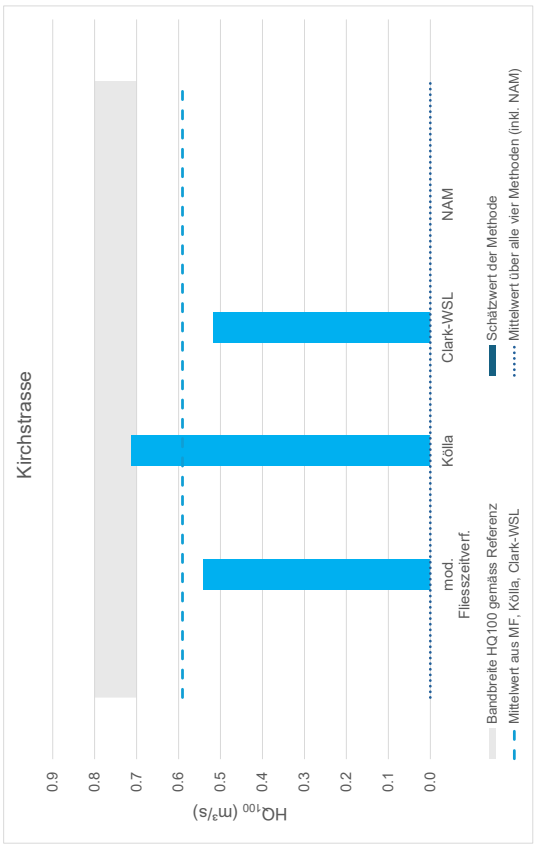

Tscheppachstrasse
HQ100 (m³/s)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

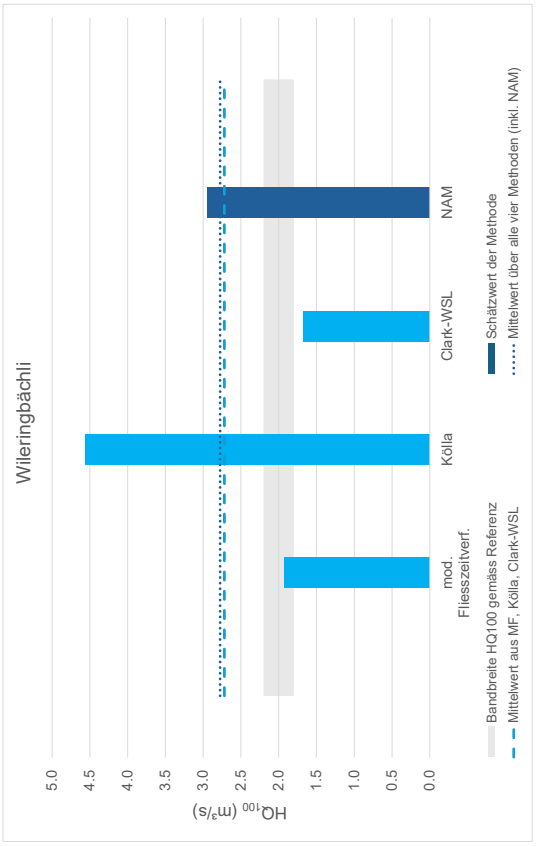

Mühle
HQ100 (m³/s)
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

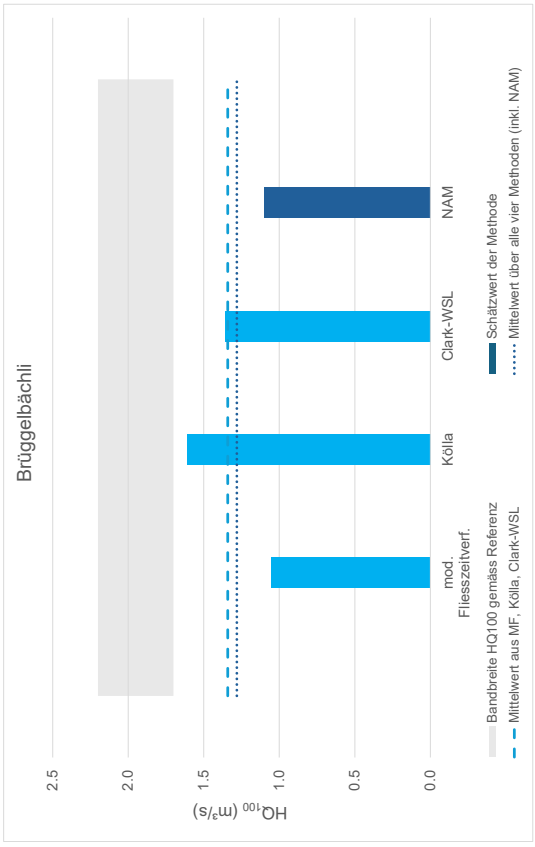

Mühledorfstrasse
HQ100 (m³/s)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

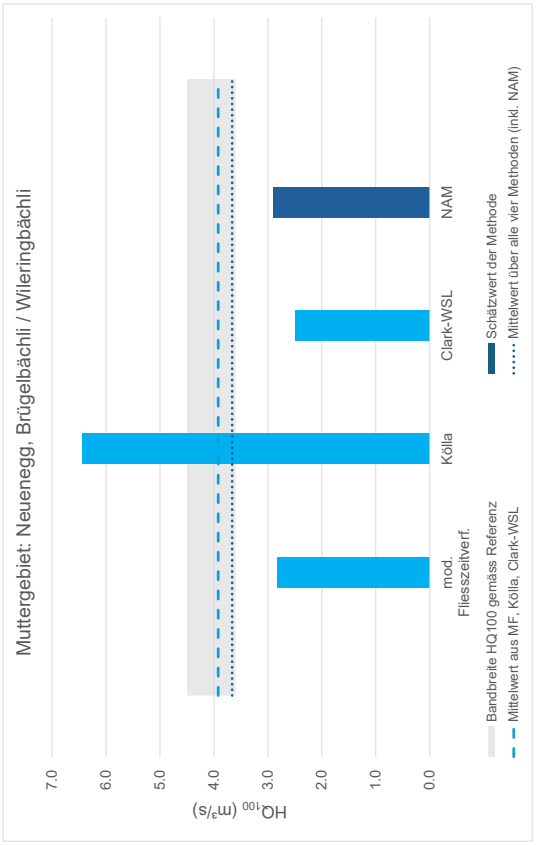

Ribimatten
HQ100 (m³/s)
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

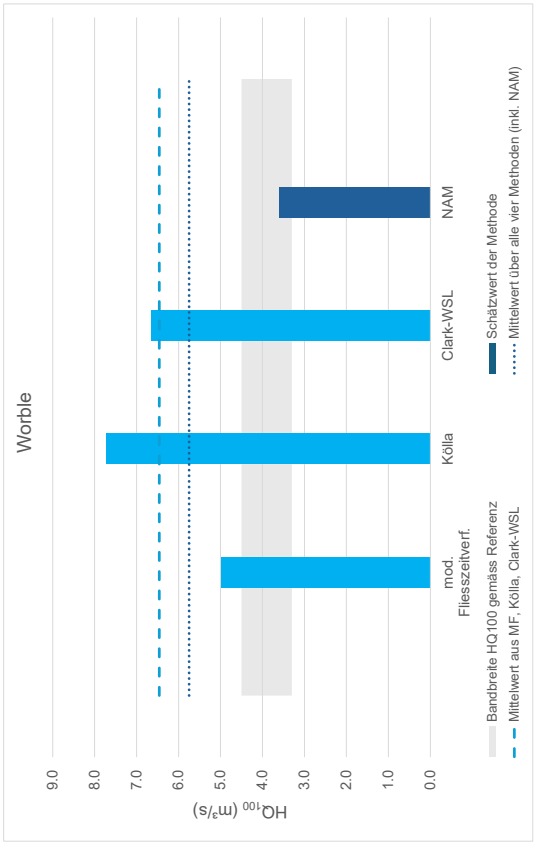

Muttergebiet: Müilbach
HQ100 (m³/s)
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

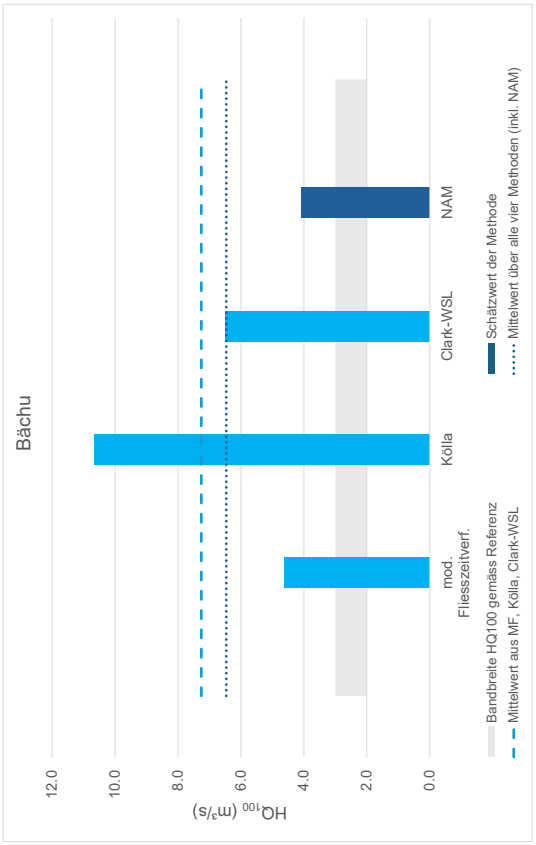

Kirchstrasse
HQ100 (m³/s)
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

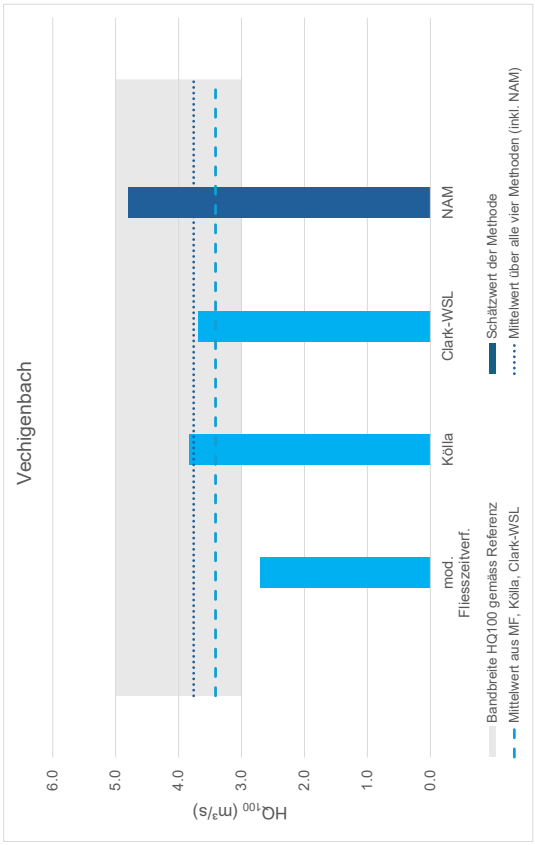

Wileringbächli
HQ100 (m³/s)
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

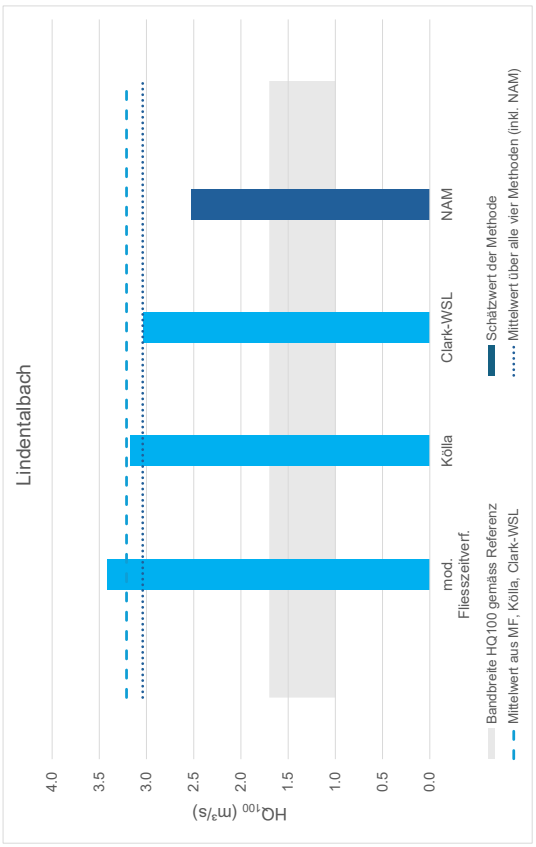

Brüggelbächli
HQ100 (m³/s)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

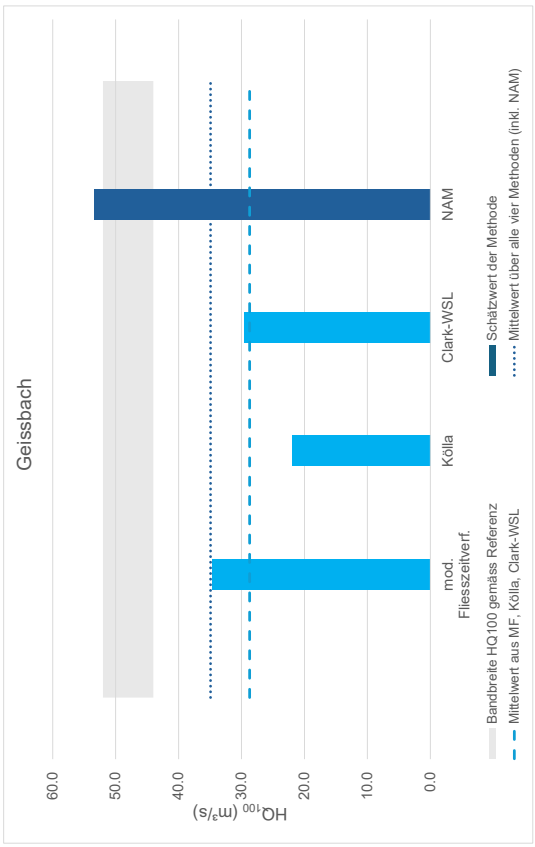

Muttergebiet: Neuenegg, Brügelbächli / Wileringbächli
HQ100 (m³/s)
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

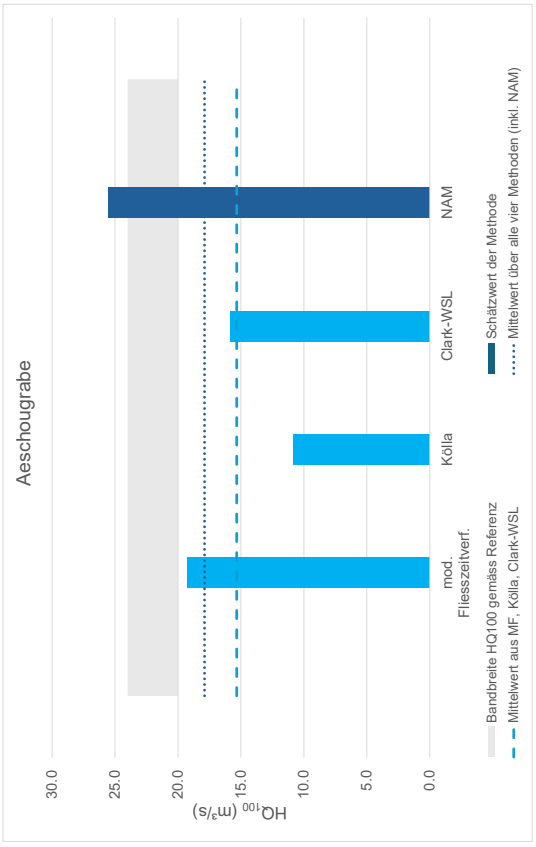

Worble
HQ100 (m³/s)
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

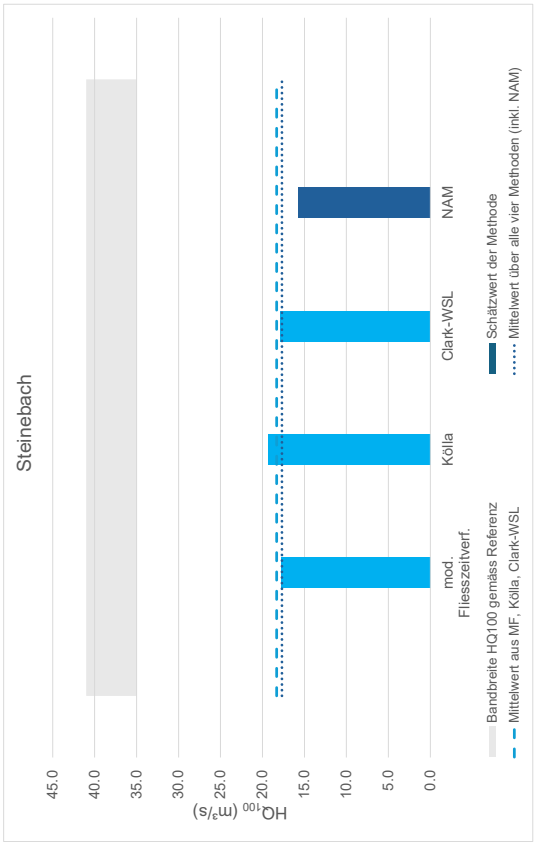

Bächu
HQ100 (m³/s)
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)

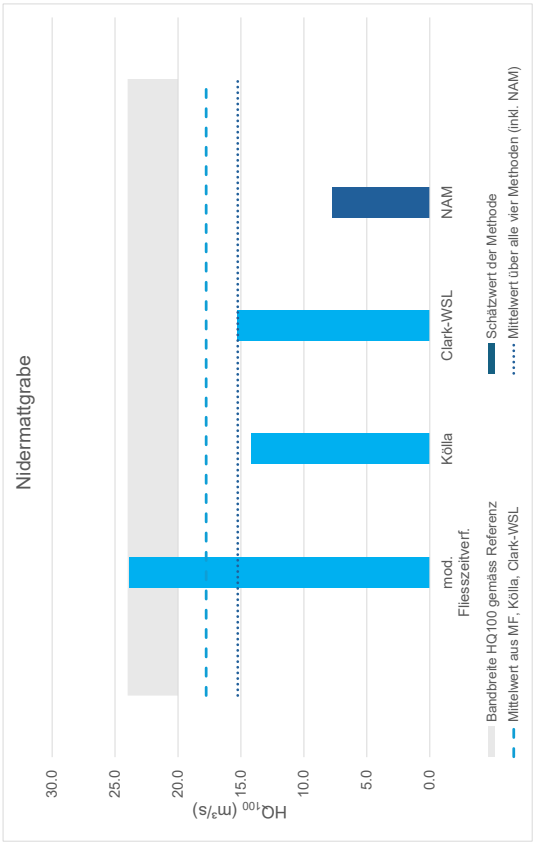

Vechigenbach
HQ100 (m³/s)
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)


Lindentalbach
HQ100 (m³/s)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)


Geissbach
HQ100 (m³/s)
60.0
50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)


Aeschougrabe
HQ100 (m³/s)
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)


Steinebach
HQ100 (m³/s)
45.0
40.0
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)


Niedermattgrabe
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
HQ100 (m³/s)
mod. Fliesszeitverf.
Kölla
Clark-WSL
NAM
Bandbreite HQ100 gemäss Referenz
Mittelwert aus MF, Kölla, Clark-WSL
Schätzwert der Methode
Mittelwert über alle vier Methoden (inkl. NAM)