Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 11-12

Artikel: Die Gerinnennetzdichte
Autor: Anastatsi, Giuliano
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940606

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Gerinnenetzdichte

Ein Parameter für die Hochwasserabschätzung?

Giuliano Anastasi

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein ungewöhnlicher morphologischer Parameter vorgeschlagen, nämlich die Gerinnenetzdichte. Sie soll die Bestimmung von Höchstabflüssen auf Korrelationsbasis erleichtern. Der Parameter wurde bei hydrologischen Studien auf die Flüsse Ticino und Maggia mit Erfolg angewendet.

Résumé: La densité du réseau des affluents – paramètre à déterminer des débits extrèmes.

Dans cet article, l'utilisation d'un paramètre «morphologique», à savoir la densité du réseau des affluents, est proposée. Celui-ci permet de simplifier la détermination des débits extrèmes basée sur la méthode de corrélation. Le paramètre a été appliqué avec succès dans des études hydrologiques concernant les rivières Ticino et Maggia.

Summary: The "run off-net-density", a parameter to determine maximum river discharges.

In this paper, a novel morphological parameter is introduced. The "run off-net-density" should easen the determination of maximum river discharges based on the hydrological correlation. The parameter was successfully applied to the rivers Ticino and Maggia.

1. Einführung

Die Hochwasserereignisse des Jahres 1987 im Tessin haben die kantonalen Behörden dazu bewogen, vor Ergreifen jeglicher Sanierungsmassnahmen eingehende Studien zu den notwendigen Instandstellungsarbeiten durchzuführen. Diese Studien dienten auch dazu, die Uferschutzmassnahmen entlang längerer, stark beschädigter Flussläufe wie des Ticinos im Bedretto- und Leventinatal, sowie des Brennos im Bleniotal, zueinander abzustimmen und zu koordinieren. Gleichzeitig waren für das Maggiatal hydrologische und hydraulische Untersuchungen im Gange. Diese bilden teilweise die Grundlagen für die raumplanerische Gestaltung der Talsohle zwischen Bignasco und Ponte Brolla. Die Resultate der Studien sind bei der Planung und Ausführung von Korrektionsarbeiten mehrmals verwendet worden.

In diesem Kurzbeitrag wird von der Festlegung des Dimensionierungshochwassers entlang eines Flusslaufes berichtet. Das Ziel dabei war, eine Methode zu finden, die trotz der spärlichen Angaben zu Niederschlägen und Abflüssen erlaubt, das Hochwasser an jeder Stelle des Flusslaufes zu bestimmen. Die Einführung eines neuen einfachen Ansatzes sollte die Übertragung von Höchstabflüssen von grossen auf kleine Einzugsgebiete und umgekehrt gestatten. Die Verwendung der empirischen Hochwasserformel

$$HQ = a\,E^{\,b} \qquad (1)$$

wobei a, b = Koeffizienten
E = Fläche des Einzugsgebietes

lag somit auf der Hand [1, 4, 6, 7]. Auf andere Verfahren, die einen besseren Einblick in den Hochwasserbildungsprozess gestatten, hat man bewusst aus Aufwandsgründen verzichtet [2, 5]. Die empirischen Formeln jedoch versagten praktisch ausnahmslos, wenn man deren Resultate mit den tatsächlichen Werten der Spitzenabflüsse verglich. Die aus der Formel (1) abgeleitete Übertragung oder Korrelation desselben Ereignisses auf andere Einzugsgebiete grösserer oder kleinerer Ausdehnung, also

$$HQ = HQ_k\,(E / E_k)^b, \qquad (2)$$

vermochte nicht zu befriedigen.

Eine solche Übertragungsfunktion, die sehr praktisch ist, und darum von den Ingenieurhydrologen geschätzt wird, kann verallgemeinert werden, indem man dem Koeffizienten a, der beim Korrelieren zweier Einzugsgebiete entfällt, eine morphologische Bedeutung zuschreibt:

$$HQ = HQ_k\,(E / E_k)^b\,(a / a_k)^c \qquad (3)$$

Die Einführung eines weiteren Koeffizienten c liefert der Beziehung (3) einen zusätzlichen Freiheitsgrad, der eine Eichung durch Regressionsanalysen zulässt. Zudem wird beim erweiterten Ausdruck (3) angenommen, dass der Koeffizient b im Unterschied zur Grundform (1) eine Konstante ist [7].

Anhand von (3) gelingt es somit, ausgehend von bekannten Hochwasserwerten HQ_k bei der Station k, an anderen Stellen des gleichen Einzugsgebietes den entsprechenden Hochwasserabfluss zu bestimmen, wenn auch der letzte Term ermittelt werden kann. Der Wert HQ_k muss möglichst genau definiert sein, denn davon hängen alle anderen Werte HQ ab. Zur Bestimmung von HQ_k bedient man sich zum Beispiel der Frequenzanalysen oder der «Rational Formula» über die Niederschlagsintensitäten. Die Zuverlässigkeit des Korrelationsverfahrens wird gegenüber den empirischen Verfahren, die die blossen Gebietsparameter an einer Stelle des Einzugsgebietes berücksichtigen, gesteigert.

2. Die Gerinnenetzdichte

Ein Einzugsgebiet kann im hydrologischen Sinn durch eine Fülle von Parametern charakterisiert werden. Ausser der Flächenausdehnung des Einzugsgebietes kann man zum Beispiel folgende Parameter zahlenmässig erfassen:

- der Niederschlag,
- der Höhenunterschied
- die Länge des Gewässers (d. h. die mittleren Neigungsverhältnisse),
- die Hangneigung,
- die Meereshöhe,
- die Fläche und eben
- die Gerinnenetzdichte.

Andere Parameter, wie zum Beispiel die Bodenbeschaffenheit, können hingegen nicht direkt quantifiziert werden. Das Zusammenwirken mehrerer solcher Parameter kann nur anhand von umfangreichem Datenmaterial untersucht werden und auch dann sind die Resultate dieser Untersuchungen noch oft mit grossen Streuungen behaftet [8].

Die Gerinnenetzdichte, D_{sm} [m^{-1}], die als Verhältnis zwischen der kumulativen Länge aller Stränge des Flusslaufes und der Fläche des Einzugsgebietes definiert ist, kommt in der Literatur selten vor, obwohl dieser Parameter eine einleuchtende Bedeutung hat. Je dichter nämlich das Gerinnenetz eines Gebietes ist, desto besser wird es entwässert. Ein ähnliches Verhalten muss bei der Bildung von Spitzenabflüssen erwartet werden. Der Vorteil der Gerinnenetzdichte als hydrologischer Parameter ist vor allem dessen einfache Bestimmung; es genügt praktisch eine Landeskarte, um ihn abzuschätzen. Bei der Bestimmung der Gerinnenetzdichte kann das Einzugsgebiet auch in Teileinzugsgebiete aufgegliedert werden. So gewinnt man Einblick in die Variation dieses Parameters entlang des Gewässers. Es gilt also:

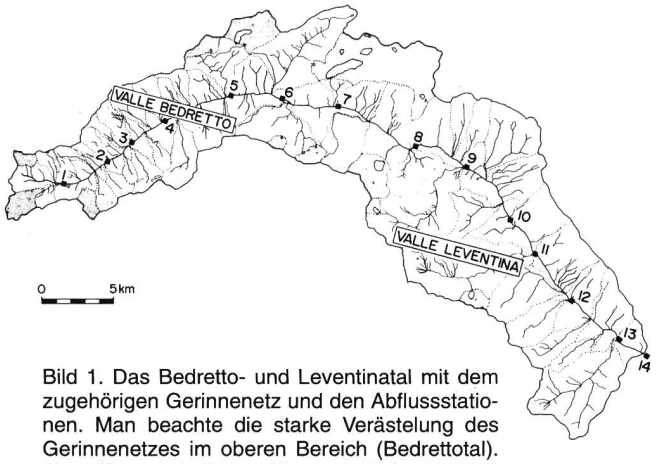


Bild 1. Das Bedretto- und Leventinatal mit dem zugehörigen Gerinnenetz und den Abflussstationen. Man beachte die starke Verästelung des Gerinnenetzes im oberen Bereich (Bedrettotal). Schraffiert sind die unwirksamen Teile des Einzugsgebietes bezüglich Abfluss. Stationennummern vergleiche Tabelle 1.

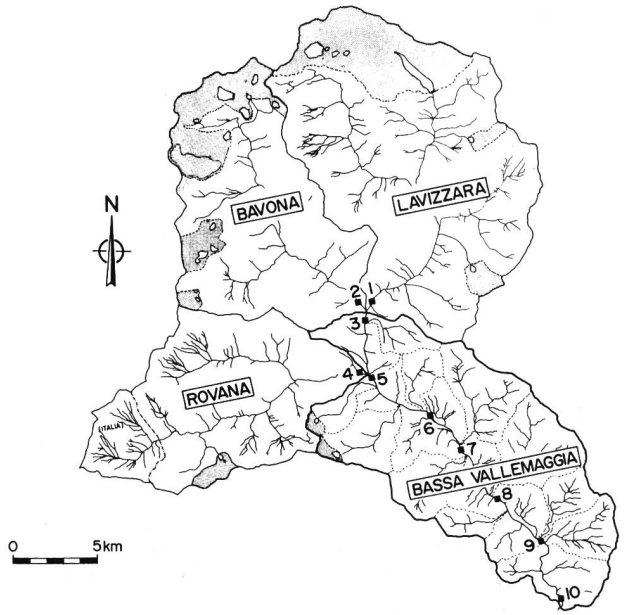


Bild 2. Das Maggiatal mit den Abflussstationen zwischen Bignasco und Ponte Brolla. Man beachte die starke Verästelung des Gerinnenetzes bei der Rovana und der unteren Teileinzugsgebiete. Stationennummern vergleiche Tabelle 2.

Tabelle 1. Berechnung der Gerinnenetzdichte für verschiedene Stationen entlang des Ticinos im Bedretto- und Leventinatal.
E Fläche des Einzugsgebietes, E^- unwirksamer Teil des Einzugsgebietes bezüglich Abfluss, E_{eff} wirksame Fläche des Einzugsgebeites, dE Fläche des wirksamen Teileinzugsgebietes, L_{Ge}kumulative Länge der Gerinne, dL_{Ge} Länge der Gerinne im Teileinzugsgebiet, D_{sm} Mittelwert der Gerinnenetzdichte bei der Station, D_{so}Gerinnenetzdichte des Teileinzugsgebietes.

No. Stazione	E [km²]	E⁻ [km²]	Eeff [km²]	dE [km²]	LGe [km]	dLGe [km]	Dsm [1/km]	Dso [1/km]
1. Alpe Cruina	12,0	4,6	7,4		11,0		1,49	
				14,6		20,4		1,40
2. All'Acqua	29,7	7,7	22,0		31,4		1,43	
				14,4		21,0		1,46
3. Ronco	45,8	9,4	36,4		52,4		1,44	
				17,3		17,1		0,99
4. Villa	63,1	9,4	53,7		69,5		1,29	
				34,2		44,2		1,29
5. Tremola	106,2	18,3	87,9		113,7		1,29	
				31,4		40,6		1,29
6. Stalvedro	138,2	18,9	119,3		154,3		1,29	
				23,4		25,6		1,09
7. Piotta	187,0	44,3	142,7		179,9		1,26	
				36,4		34,4		0,95
8. Piottino	231,3	52,2	179,1		214,3		1,20	
				40,9		40,0		0,98
9. Faido	272,7	52,7	220,0		254,3		1,16	
				34,1		41,1		1,21
10. Lavorgo	308,4	54,3	254,1		295,4		1,16	
				43,3		40,5		0,94
11. Biaschina	353,6	56,2	297,4		335,9		1,13	
				31,1		27,9		0,90
12. Bodio	384,8	56,2	328,6		363,8		1,11	
				31,9		33,8		1,06
13. Personico	416,6	56,2	360,4		397,6		1,10	
				26,2		27,5		1,05
14. Pollegio	442,8	56,2	386,6		425,1		1,10	

Tabelle 2. Berechnung der Gerinnenetzdichte für verschiedene Stationen entlang der Maggia zwischen Bignasco und Ponte Brolla (Legende: siehe Tabelle 1).

No. Stazione	E [km²]	E⁻ [km²]	Eeff [km²]	dE [km²]	LGe [km]	dLGe [km]	Dsm [1/km]	Dso [1/km]
1. Lavizzara	194.3	38.8	155.5		164.7		1.06	
				155.5		164.7		1.06
2. Bavona	121.7	29.9	91.8		67.8		0.74	
				91.8		67.8		0.74
3. Bignasco	316.0	68.7	247.3		232.5		0.94	
				15.4		18.6		1.21
4. Rovana	110.0	2.5	107.5		129.3		1.20	
				107.5		129.3		1.20
5. Visletto	441.4	71.2	370.2		380.4		1.03	
				28.2		26.9		0.95
6. Someo	471.6	2.0	398.4		407.3		1.02	
				31.7		40.5		1.28
7. Giumaglio	503.3	73.2	430.1		447.8		1.04	
				40.6		52.5		1.29
8. Maggia	543.9	73.2	470.7		500.3		1.06	
				23.8		32.7		1.37
9. Gordevio	567.7	73.2	494.5		533.0		1.08	
				25.9		33.7		1.30
10. Ponte Brolla	593.6	73.2	520.4		566.7		1.09	

$$D_{sm} = L_{Ge} / E_{eff} \quad (4)$$

wobei:

L_{Ge} = kumulative Länge des Gerinnes
E_{eff} = wirksame Fläche des Einzugsgebietes

Die sogenannt wirksame Fläche des Einzugsgebietes ist identisch mit der zur Hochwasserbildung effektiv beitragenden Fläche und ist in der Regel kleiner als die Bruttofläche [7, 4]. Viele Einzugsgebiete, vor allem im Alpenraum, weisen Sperranlagen auf, welche das Abflussverhalten stark beeinflussen können.

3. Modifizierte Hochwasserformel

Von der Theorie nun zur Praxis. Die Parameter der Beziehung (4) wurden für die Einzugsgebiete des Ticinos bis Pollegio (Biasca) und der Maggia bis Ponte Brolla bestimmt (Bild 1 und 2). Die Gleichung (3) wurde so angepasst, dass die Gerinnenetzdichte D_{sm} an Stelle des Koeffizienten a, und an Stelle der Fläche E die effektiv beitragende Fläche des Einzugsgebietes zu stehen kommen, also:

$$HQ = HQ_k \cdot (E_{eff} / E_{effk})^b \cdot (D_{sm}/D_{smk})^c \quad (5)$$

Die Tabellen 1 und 2 zeigen, wie unterschiedlich die in der obigen Beziehung vorkommenden Parameter sein können. Die zum Teil starken Differenzen in der Gerinnenetzdichte widerspiegeln sich auch im hydrologischen Verhalten. In der letzten Kolonne der Tabellen sind die Gerinnenetzdichten der Teileinzugsgebiete aufgeführt. Sie können bis um Faktor 2 variieren.

Die Eichung der Koeffizienten b und c basiert auf bekannten Werten von HQ bzw. HQ_k. Diese wurden paarweise an verschiedenen Stellen des Einzugsgebietes mit der Frequenzanalyse und der «Rational Formula» berechnet. Das Ticino- und Maggiabecken sind zwei dem Niederschlag stark unterschiedlich ausgesetzte Einzugsgebiete. Sie weisen recht verschiedene morphometrische Charakteristiken (zum Beispiel die Kompazität) auf. Trotz-

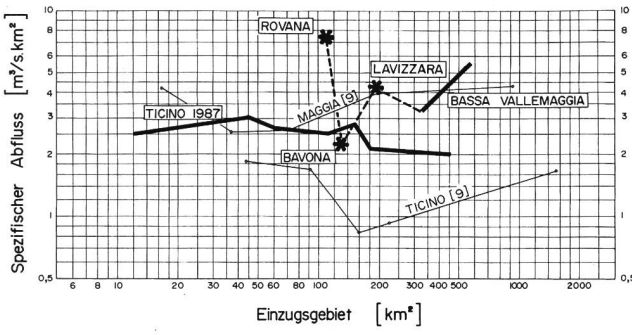


Bild 3. Vergleich der ermittelten spezifischen Hochwasserabflüsse mit den bisher südlich der Alpen beobachteten Spitzenabflüssen [9].

dem lieferte die Eichung nahezu die gleichen Resultate und zwar: $b = 1$; $c = 2$.

Demzufolge gilt:

$$HQ = HQ_k \cdot E_{eff}/E_{effk}).(D_{sm}/D_{smk})^2 \quad (6)$$

Diese Beziehung hat eine Bedeutung nur in dieser Korrelationsform, da sie einerseits für eine viel zu geringe Anzahl Fälle überprüft ist, und andererseits im Parameter D_{sm} noch eine gewisse kartographisch bedingte Ungenauigkeit vorliegt, welche durch die Bildung des Verhältnisses D_{sm} noch eine gewisse kartographisch bedingte Ungenauigkeit vorliegt, welche durch die Bildung des Verhältnisses D_{sm}/D_{smk} aufgehoben wird. Bild 3 zeigt, wie sich die gerechneten spezifischen Abflussmengen, bezogen auf die Bruttofläche, im Vergleich zu den früher ermittelten Werten unterscheiden [9]. Wie erwartet, muss man mit der vorgestellten Methode mit eher höheren Abflussmengen rechnen.

Das vorgeschlagene Verfahren gilt nur für Korrelationsberechnungen. Allerdings führt eine Verallgemeinerung der Beziehung (6) zur empirischen Hochwasserformel:

$$HQ = Q_o\, E_{eff}\, D_{sm}^2 \quad (7)$$

Diese Gleichung ist dimensionsrichtig, denn das Produkt $E_{eff}\, D_{sm}^2$ wird dimensionslos. Bei dieser Darstellung wird Q_o, dank der Dimension eines Abflusses, zu einer Gebietskonstante, welcher eine physikalische Bedeutung zugeschrieben werden kann. Sie könnte zum Beispiel mit dem wichtigsten Parameter, nämlich dem Niederschlag, korreliert werden. Für das 1000jährliche Hochwasser ergaben sich im Leventinatal Abflusswerte von Q_o = 1,85 m³/s und im Maggiatal von Q_o= 5,20 m³/s, also um den Faktor 2,8 grössere Wassermenge. Dies deutet nicht nur auf die tatsächlich festgestellten, stark unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten in den beiden Tälern hin, sondern auch auf andere, bedeutende Differenzen. Diese Resultate zeigen auf, wie anfällig die konventionellen empirischen Hochwasserformeln sind. Sie sollten darum allenfalls in der Korrelationsform als Übertragungsfunktion eingesetzt werden.

4. Ausblick

Das hier geschilderte Verfahren für die Abschätzung von Hochwasserflüssen bei Einzugsgebieten ohne Abflussbeobachtungen stützt sich auf eine Übertragungsfunktion, die aus den bekannten empirischen Hochwasserformeln abgeleitet ist. Dabei wird aber die sogenannte Gerinnenetzdichte als neuer hydrologischer Parameter eingeführt, der durch das Verhältnis zwischen kumulativer Gerinnenetzlänge und wirksamer Fläche des Einzugsgebiets dargestellt ist. Das Verfahren wurde für zwei unabhängige Fälle angewendet und ergab erstaunlicherweise das gleiche Resultat; die Spitzenabflüsse sind proportional dem Quadrat der Gerinnenetzdichte. Neben der Grösse des Einzugsgebietes scheint somit die Gerinnenetzdichte ein wichtiger Parameter zu sein.

Dieser Beitrag soll als Anregung dienen, weitere Gerinnenetzdichten zu untersuchen, möglicherweise bei Einzugsgebieten mit Flächen über 200 km².

Literatur

[1] *Bruschin J., North M.* (1977): Projekthochwasser für Einzugsgebiete ohne Abflussbeobachtungen «Schweizerische Bauzeitung» (25): 340–344.

[2] *Hager W.* (1989): Abflussmaximum aus kleinen Einzugsgebieten «Schw. Ingenieur und Architekt» *107* (22): 577–583.

[3] *Kölla E.* (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. VAW Mitteilung Nr. 87: Zürich.

[4] *Kölla E.* (1987): Abschätzung von Spitzenabflüssen in kleinen natürlichen Einzugsgebieten der Schweiz. «Schw. Ingenieur und Architekt» *105* (33/34): 965–972.

[5] *Spreafico M., Weingartner R.* (1992): Hochwasserabflüsse. «Schw. Ingenieur und Architekt» *110* (10): 199–206.

[6] *Vischer D.* (1983): Le piene della Maggia in confronto nazionale e internazionale – Cenni sulla piena massima possibilie e sul valore limite empirico. «Rivista tecnica della Svizzera italiana» (1): 61–66.

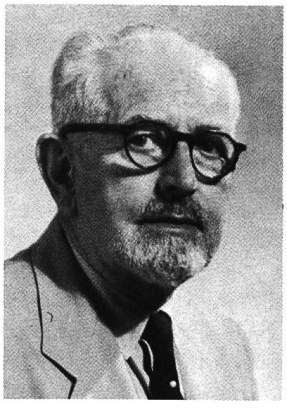
[7] *Vischer D. Naef F.* (1985): «Hochwasserabschätzung zur Bemessung der Hochwasserentlastung von Talsperren». «wasser, energie, luft» *77* (5/6): 110–115.

[8] *Widmoser P.* (1974): «Extremabflüsse aus vierzig kleinen Einzugsgebieten der Schweiz.» «Schw. Bauzeitung» *92* (32): 757–765.

[9] ASF (1974): Die grössten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflussmengen von schweizerischen Gewässern. Bern.

Adresse des Verfassers: Dr. Ing. *Giuliano Anastasi,* Via Arch. Pisoni 16, CH-6612 Ascona.

René Neeser (1880–1962)



Neeser, am 19. Juni 1880 in Sonvilier BE geboren, trat 1898 in die ETH ein und erhielt 1902 das Diplom als Maschineningenieur. Nach zwei Jahren Assistenztätigkeit beim berühmten Prof. *Prasil* und zwei Jahren Praxis wurde er als Professor für Hydraulik an die Ecole d'Ingénieurs in Lausanne berufen. 1910 nahm er auch die Tätigkeit eines beratenden Ingenieurs auf, und 1921 wurde ihm die Direktion der neugegründeten Charmilles SA in Genf übertragen, deren Präsident er später gar wurde. Daneben hatte er eine Vielzahl von Ämtern in grossen Gesellschaften inne, so etwa bei der Grande Dixence als Verwaltungsrat oder als Zentralspräsident des SIA. 1937 verlieh ihm die Universität Lausanne den Ehrendoktor, und 1944 beehrte ihn die ETH mit derselben Auszeichnung. René Neeser verstarb am 12. Januar 1962. *WHH*

René Neeser, ingénieur (1880–1962). «Bulletin Technique de la Suisse romande» *88*: 58–59.
A la mémoire de René Neeser, édité par ses enfants. Genève 1963.