

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 70 (1952)
Heft: 28

Artikel: Wahrscheinlichkeits-Betrachtungen im Zusammenhang mit
Dauerkurven
Autor: Escher, Arnold
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-59642>

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: 11.07.2025

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

Wahrscheinlichkeits-Betrachtung im Zusammenhang mit Dauerkurven

Von Dipl. Ing. ARNOLD ESCHER, Zürich

DK 627.133.5

Bei Entwurf und Ueberprüfung von Wasserkraftanlagen mit gegebenen oder zu schaffenden Speichermöglichkeiten für kurzfristigen Lastausgleich (z. B. über Woche oder Monat) ist die Kenntnis der minimalen, während bestimmter, relativ kleiner Zeitintervalle (t) verfügbaren Wassermengen (M_t) von Bedeutung. Wenn die Abflussmengen des zu nutzenden Gewässers in Funktion der Zeit (Q_z) über genügend lange Zeiträume bekannt sind, erfolgt die Bestimmung von M_t auf elementare Art gemäss Bild 1 durch statistische Feststellung des kleinsten der in Frage kommenden Werte, wobei:

$$(1) \quad M_t = \min \int_z^{z+t} Q_z dz = (\min Q_{mt}) t$$

Sind jedoch die Abflussmengen nur in Form von Dauerkurven (Bild 2) bekannt, so nimmt das Problem einen grundsätzlich anderen Charakter an. Durch die Anordnung der Q -Werte nach ihrer Grösse werden die zeitabhängigen Gruppierungen willkürlich gestört, und das tatsächliche Bild des Geschehens verschwindet, womit auch die Grundlage für die elementare Bestimmung der gesuchten M_t -Werte dahinfällt.

Im Folgenden stellen wir uns daher die Aufgabe, die minimale Gesamtwassermenge M_t , wie sie in Bild 1 durch die kreuzweise schraffierte Fläche gekennzeichnet ist, oder, was auf das selbe herauskommt, die für ein bestimmtes Zeitintervall t minimale mittlere Wassermenge $\min Q_{mt}$ auf Grund von gegebenen Dauerkurven zu bestimmen. Diese Dauerkurven können an Hand von direkten Beobachtungen und Messungen, durch Analogieschlüsse aus vergleichbaren Gebieten, oder mit Hilfe von theoretischen Betrachtungen erhalten worden sein; es wird vorausgesetzt, dass sie ein genügend genaues Bild der hydrologischen Verhältnisse vermitteln.

Ein angenäherter Wert für $\min Q_{mt}$ lässt sich in der Weise bestimmen, dass in der Dauerkurve, ausgehend vom Minimum, also von $x = 0$, das Mittel der Wassermengen über das gewünschte Zeitintervall gebildet wird, das heisst

$$(2) \quad \text{approx. } \min Q_{mt} = \frac{1}{t} \int_0^t Q_x dx$$

Das so erhaltene Mittel ist aber auf jeden Fall zu klein. Indem nämlich die Dauerkurve definitionsgemäss die nach der Grösse geordneten Werte darstellt, ist es klar, dass beim natürlichen, ungeordneten Ablauf der Ereignisse in einem, das minimale Mittel aufweisenden Zeitintervall immerhin auch noch einzelne grössere Werte auftreten, die in der Dauerkurve grössenordnungsmässig ausserhalb des für die angenäherte Bestimmung angenommenen Zeitintervalles fallen. Gleichermassen werden in der Wirklichkeit einzelne kleinere Werte ausserhalb des Zeitintervalles des minimalen Mittels auftreten.

Die Bestimmung eines mit den tatsächlichen Verhältnissen besser übereinstimmenden Mittelwertes, den wir als wahrscheinliches minimales Mittel bezeichnen können, erfordert daher gewissermassen die Befreiung der in der Dauerkurve geordneten Werte aus dieser Zwangsordnung und ihre Rückfüh-

rung in die im natürlichen Geschehen möglichen Gruppierungen, unter denen wir die das minimale Mittel ergebende Gruppe zu ermitteln haben.

Falls unsere Untersuchungen sich auf verhältnismässig kleine Zeitintervalle (t) innerhalb eines hydrologisch einheitlichen Zeitraumes (T) beziehen, darf wohl angenommen werden, dass die Gruppierung der fraglichen Q -Werte den Gesetzen des Zufalls unterworfen ist. Unter dieser Voraussetzung können die Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung zur Lösung unserer Aufgabe herbeigezogen werden.

Das wahrscheinliche Mittel der Abflussmengen stellt sich demnach dar als der Mittelwert vom Zufall abhängiger Ereignisse, oder als die Summe der Produkte der möglichen Werte mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten, das heisst ganz allgemein:

$$(3) \quad \text{wahrscheinl. } Q_{mt} = \int_0^T Q_x \frac{w_{xt} dx}{\int_0^T w_{xt} dx}$$

Das Problem besteht nun darin, die Wahrscheinlichkeitsfunktion w_{xt} zu bestimmen, das heisst die Wahrscheinlichkeit, die ein in der Dauerkurve der Abszisse x zugeordneter Q -Wert besitzt, innerhalb des Zeitintervalles t aufzutreten. Analytisch gesprochen wird es sich bei der Funktion w_{xt} um eine Kurvenschar handeln, wobei der Parameter t die den einzelnen Zeitintervallen entsprechenden Wahrscheinlichkeitskurven w_x festlegt.

Zur Bestimmung der Funktion w_{xt} gehen wir, in Anlehnung an den klassischen Ansatz von Gauss, in folgender Weise vor:

A. Aufstellen der strengen oder plausibeln Bedingungen, denen das Wahrscheinlichkeitsgesetz auf Grund der Natur der Aufgabe und der gegebenen Voraussetzungen logischerweise zu genügen hat.

B. Wahl eines analytischen Ausdruckes, der den Bedingungen unter A genügt und einer weiteren mathematischen Behandlung zugänglich sein soll.

Als Bedingungen nach A stipulieren wir für die, dem $\min Q_{mt}$ entsprechende Wahrscheinlichkeits-Kurvenschar:

a) Sämtliche Kurven weisen für $x = 0$, das heisst in der Ordinate des $Q_{\min}$, ein Maximum = 1 auf, indem wir annehmen, dass $Q_{\min}$ auf jeden Fall im Zeitintervall des minimalen Mittels enthalten ist, und dass die unmittelbar benachbarten Q -Werte ebenfalls die grösste Wahrscheinlichkeit besitzen, im fraglichen Zeitintervall aufzutreten.

b) Auf Grund der selben Ueberlegung ergibt sich, dass die Wahrscheinlichkeitskurven w_{xt} für kleines t sich immer mehr der Ordinatenaxe $x = 0$ nähern, um für den Grenzwert $t = 0$ mit ihr zusammenzufallen.

c) In der Axe von $Q_{\max}$, bzw. für $x = T$ erreichen sämtliche Kurven ihren relativ kleinsten Wert, unter der Annahme, dass $Q_{\max}$ von allen Werten die geringste Wahrscheinlichkeit besitzt, in das gleiche Zeitintervall mit $Q_{\min}$ zu fallen. Für kleines t wird dieser Wert w_{Tt} auf jeden Fall ~ 0 sein, für grössere Zeitintervalle jedoch können wir erwarten, dass w_{Tt} zwischen 0 und 1 liegt.

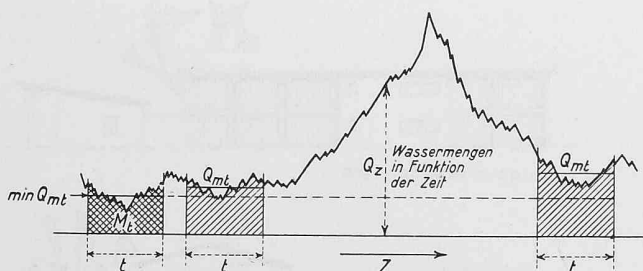


Bild 1. Ableitung des Begriffs der minimalen mittleren Wassermenge $\min Q_{mt}$ aus dem zeitlichen Verlauf der Wassermengenkurve Q_z

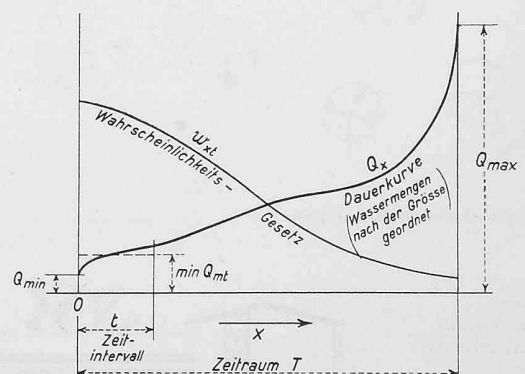
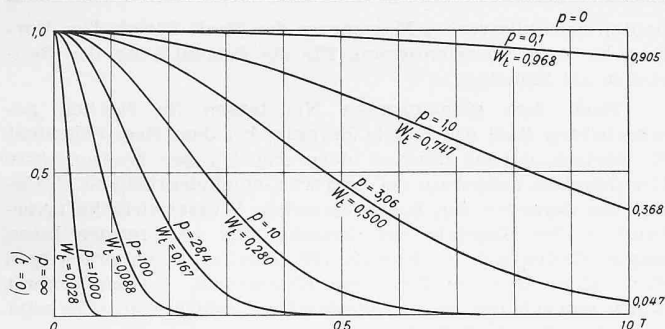


Bild 2. Ableitung der minimalen mittleren Wassermenge $\min Q_{mt}$ aus der Dauerkurve Q_x

Bild 3. Funktion w_{xt} für verschiedene Werte von p bzw. W_t

d) Wird das Zeitintervall $t = T$, so ist Gewissheit vorhanden, dass sämtliche Q -Werte im betrachteten Zeitintervall enthalten sind. Der vom Zufall abhängige Mittelwert fällt daher für diese Grenze mit dem gewöhnlichen Mittelwert zusammen, das heisst:

$$\frac{\int_0^T Q_x w_{xT} dx}{\int_0^T w_{xT} dx} = \frac{\int_0^T Q_x dx}{\int_0^T dx}$$

oder

$$w_{xT} = \text{const.} = 1$$

$$W_T = \int_0^T w_{xT} dx = T$$

e) Für ein beliebiges Zeitintervall kann angenommen werden, dass die entsprechende Wahrscheinlichkeitskurve derart beschaffen sei, dass:

$$\frac{W_t}{W_T} = \frac{\int_0^T w_{xt} dx}{\int_0^T w_{xT} dx} = \frac{t}{T}$$

Der Ausdruck:

$$W_t = \int_0^T w_{xt} dx$$

stellt nämlich in der Terminologie der Wahrscheinlichkeitsrechnung nichts anderes dar als «die Summe aller überhaupt möglichen Fälle» und muss dementsprechend im direkten Verhältnis zur Grösse des Zeitintervalles stehen.

Die Wahl des analytischen Ausdruckes nach B ist offensichtlich mit einer gewissen Willkür behaftet, da sich aus der Problemstellung nicht genügend Bedingungen zur eindeutigen Definition des Verlaufes der w_{xt} -Kurven ableiten lassen. Im Hinblick auf verwandte Probleme, wo analoge Verhältnisse auftreten, ist jedoch die Annahme naheliegend, dass eine Exponentialfunktion den geeignetsten Ansatz darstellt, und zwar in der für die Wahrscheinlichkeitstheorie grundlegenden Form:

$$(4) \quad y = e^{-px^2} = w_{xt}$$

Mit diesem Ansatz, in dem p den Parameter $= f(t)$ darstellt, werden die Bedingungen a) und c) auf jeden Fall erfüllt, ferner die Bedingung b) mit $p = \infty$ und d) mit $p = 0$.

Bedingung e) ergibt, wenn wir zugleich den Zeitraum T als Abszissen-Einheit wählen:

$$W_t = \int_0^T e^{-px^2} dx = t$$

oder für kleines t , wobei $w_{Tt} \sim 0$

$$W_t \sim \int_0^\infty e^{-px^2} dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{p}} = t$$

woraus

$$(5) \quad p = \frac{\pi}{4t^2}$$

Das Wahrscheinlichkeitsgesetz, das in Verbindung mit Formel (3) die Bestimmung der gesuchten minimalen Mittelwerte ermöglicht, lautet demnach:

$$(6) \quad w_{xt} = e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{t}\right)^2}$$

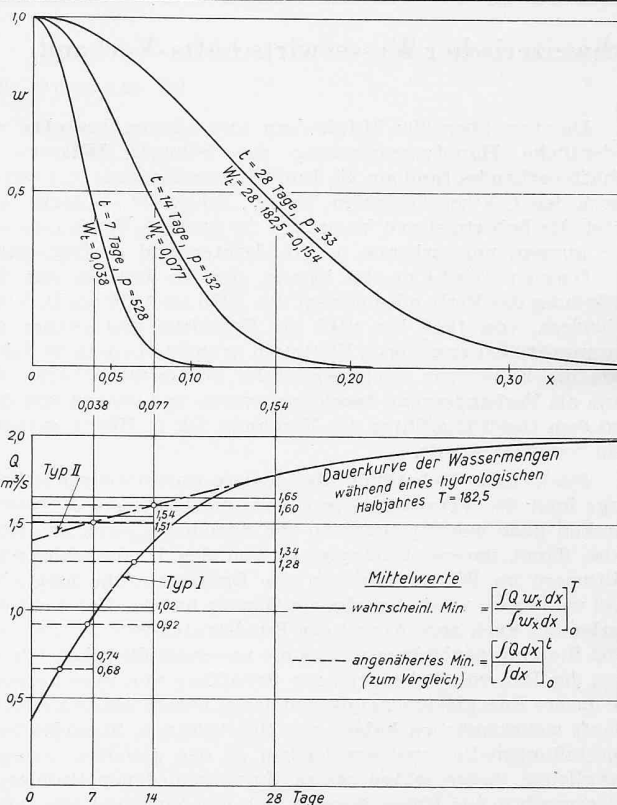


Bild 4. Bestimmung der wahrscheinlichen minimalen mittleren Wassermengen für die Zeitintervalle von 7, 14 und 28 Tagen aus der Dauercurve der Wassermengen während eines hydrologischen Halbjahres

In Bild 3 sind die w_{xt} -Kurven für verschiedene Werte von t bzw. W_t wiedergegeben. Aus der graphischen Darstellung ist leicht ersichtlich, dass in dem für unsere Aufgabe in Frage kommenden Bereich von im Maximum $t/T = 1$ Monat auf 6 Monate, oder $W_t < 0,67$ die Formel (6) als praktisch genau angesehen werden kann, indem die Differenz von $\int_0^T$ und $\int_0^\infty$, die vernachlässigt wird, sehr schnell verschwindend kleine Werte annimmt.

In Bild 4 skizzieren wir den Gang der praktischen Anwendung der Methode, wobei wir den für die Bestimmung des 7- bis 28-tägigen minimalen Mittels in Frage kommenden Teil einer Halbjahres-Dauercurve in zwei typischen Formen (Typ I und Typ II) wiedergeben. Darauf werden die w_{xt} -Kurven nach Formel (6) aufgezeichnet für $W_t = 7/182,5$ Tage $= 0,038$, bzw. 0,077 für 14 Tage und 0,154 für 28 Tage. Der gesuchte Mittelwert lässt sich nun nach Gleichung 3 wie folgt anschreiben:

$$\min Q_{mt} = \frac{1}{W_t} \int_0^T Q_x w_{xt} dx$$

wobei das Integral ohne weiteres auf Grund der gegebenen Q_x und w_{xt} -Kurven nach einer der geläufigen Methoden ausgewertet werden kann.

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind ebenfalls in Bild 4 wiedergegeben, und zum Vergleich sind noch die angenäherten Mittelwerte nach Formel 2 über die entsprechenden Zeitintervalle eingetragen. Mit den zu Grunde gelegten, der Praxis entnommenen Annahmen ergibt sich dabei eine maximale Verbesserung der wahrscheinlichen gegenüber den angenäherten minimalen Mittelwerten von rund 10%. Da diese Werte auch die minimale Jahreskonstantleistung bestimmen, die ihrerseits für die Bewertung einer Wasserkraft von ausschlaggebender Bedeutung sein kann, mag sich eine Untersuchung nach der vorliegenden Methode in manchen Fällen als lohnend erweisen.

Abschliessend sei noch bemerkt, dass sich die gleiche Methode auch auf den Bereich der Maxima einer Dauercurve anwenden lässt, wobei die über ein bestimmtes Zeitintervall wahrscheinlich zu erwartenden Hochwassermengen abgeschätzt werden können.