

Grundlagen der Hydrologie

2. Flow Duration und Direktabfluss¹

Übung im WiSe 2022/23 - TU Bergakademie Freiberg

Ziele der Übung sind Beispiele und Klarheit zur:

- Analyse von Abflussdaten
- Bewertung von Gebietseigenschaften auf Grundlage ihres direkten Abflussbildungsverhaltens

Zu diesem Aufgabenblatt gibt es ein Jupyter Notebook unter https://github.com/cojacoo/hydro_tutorial/blob/master/Tutorial_2_FlowDuration_RunoffGeneration.ipynb²

Aufgabe 2.1: Flow Duration Curve

Sie erhalten in Abb. 1 die Flow Duration Curves (FDCs) von zwei Einzugsgebieten.

1. Erklären Sie das Konzept der Flow Duration Curve.
2. Wie wird die FDC berechnet?
3. Bewerten Sie die beiden Einzugsgebiete hinsichtlich ihrer ableitbaren Gebietseigenschaften. Gehen Sie dabei insbesondere auf Wasserverfügbarkeit im Gewässer und auf Neigung zu Extremen ein.

Lösung:

Die FDC ist eine kumulative Verteilungsfunktion bzw. -graph der Überschreitungswahrscheinlichkeiten (in % des Beobachtungszeitraumes) eines bestimmten Abflusswertes. Mögliche Anwendungen sind die Auslegung von Hochwasserschutzanlagen oder das Design von Kühlungsstrukturen für Kraftwerke, welche einen minimalen Fluss benötigen.

FDCs sind eine direkte Rang-basierte Analyse des gemessenen Abflusses. Dazu werden die gemessenen Werte in absteigender Reihenfolge sortiert und einer relativen Position zugeordnet: Mit n als Anzahl der gemessenen Datenpunkte wird der höchste gemessene Wert $\frac{1}{n+1}$ und der geringste gemessene Wert $\frac{n}{n+1}$ zugeordnet. Somit erhalten wir die Überschreitungswahrscheinlichkeit (P_{ex}) des gemessenen Minimums bei 100% und von dort absteigend alle P_{ex} der anderen Pegelstände.

In Abb. 1 sind die 33% und 66% Quantile als Bereiche für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasser eingetragen. Der Huewelerbach zeigt ein recht enges Band an beobachteten Abflüssen (beachten Sie, dass wir hier den spezifischen Abfluss benutzt haben). Extreme sind also

¹ Begleitend zur Vorlesung **Grundlagen der Hydrologie** von Jun.Prof. Dr. Conrad Jackisch, Rückfragen in der Vorlesung oder per eMail conrad.jackisch@tbt.tu-freiberg.de

² Jupyter ist eine sehr einfache und gleichzeitig sehr mächtige Umgebung zur Benutzung der Programmiersprache Python. Es kann via Anaconda sehr leicht auf jedem Rechner installiert werden: <https://www.anaconda.com/>

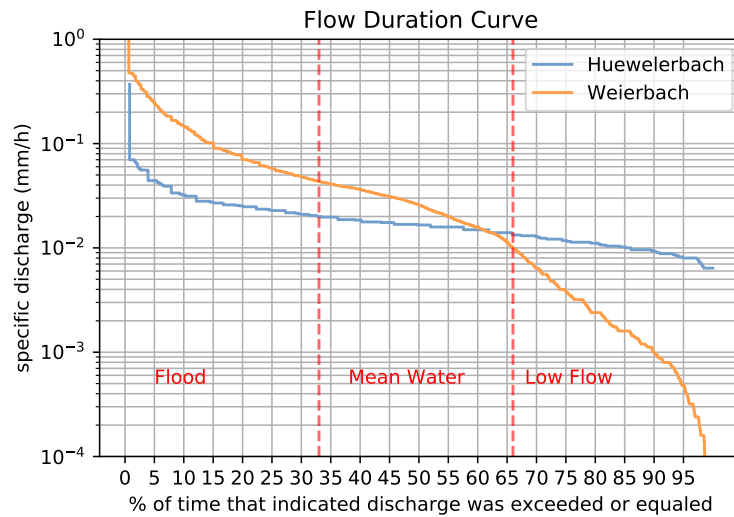


Figure 1: Flow Duration Curve von zwei Untereinzugsgebieten der Attert. Basis stündliche Mittelwerte des gemessenen Pegels.

selten und weichen nur gering vom beobachteten Mittel ab. Die Niedrig- und Hochwasser sind deutlich geringer ausgeprägt (höher Abfluss bei Niedrigwasser, niedriger Abfluss bei Hochwasser) als am Weierbach. Aber auch die Mittleren Abflüsse sind am Huewelerbach geringer.

Der Weierbach zeigt sehr viel mehr Variabilität im Abfluss mit Tendenz zu Extremen, welche an beiden Seiten nicht selten sind und deutlich stärker als am Huewelerbach ausgeprägt sind. Die Kurve zeigt zudem mehrere Wendepunkte, was auf verschiedene Abflussregime hindeutet.

Aufgabe 2.2: Anwendung der FDC

Der Falkenmark Wasser Stress Index ist eine mögliche Referenz zur Bewertung von Wasserstress in einem Gebiet (Falkenmark, 1989). Der Index ist als benutzbarer Anteil am jährlichen Gesamtabfluss definiert und schlägt vor, dass Wasserknappheit bei Werten unter $1000 \text{ m}^3 \text{ pro Jahr und Einwohner*in}$ bestehe.

Sie erhalten die FDC nun mit Referenz zu den tatsächlichen Abflüssen in $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ in Abb. 2. Auch wenn die Aufgabe etwas theoretisch ist:

1. Ermitteln Sie die Unterschreitungswahrscheinlichkeit dieser Referenz für Wasserknappheit in einem Dorf mit 300 Einwohnerinnen in beiden Einzugsgebieten.
2. Bewerten Sie Ihr Ergebnis hinsichtlich dessen, dass sich der

Jahresabfluss der Flüsse sich auf $2.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ für den Weierbach und $4.8 \times 10^5 \text{ m}^3$ für den Huewelerbach summieren und der mittlere Jahresniederschlag 820 mm beträgt. Fläche der EZG ist 45 ha und 270 ha für jeweils Weierbach und Huewelerbach.

Lösung:

Wir berechnen zunächst den geforderten mittleren Abfluss für die Referenz für Wasserknappheit. D.h. wir rechnen 1000 m^3 für 300 Einwohnerinnen pro Jahr in $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ um:

$$q_m = \frac{1000 \text{ m}^3 \cdot 300}{(365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \text{ s}} = 0.00951 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad (1)$$

Diese Referenz (gerundet $10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) tragen wir in Abb. 2 ein. Die Schnittpunkte mit den FDCs sind die **Überschreitungswahrscheinlichkeiten**. Die Unterschreitungswahrscheinlichkeiten sind die entsprechenden Gegenwerte ($1-P$).

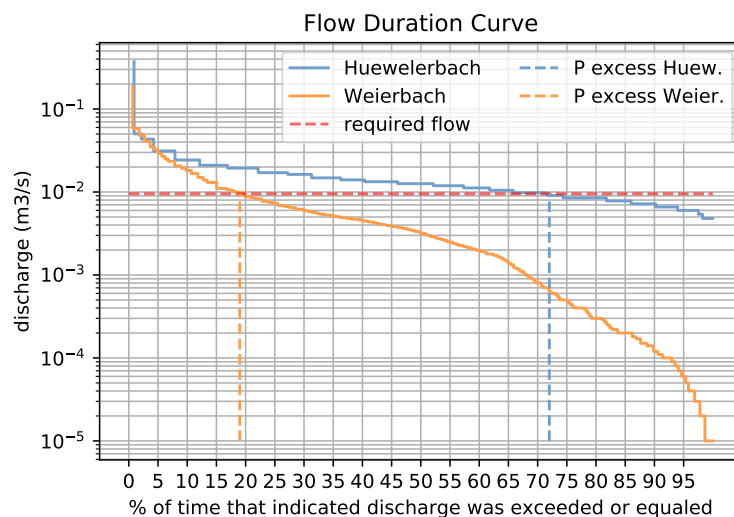


Figure 2: FDC Huewelerbach und Weierbach

Am Huewelerbach gibt es eine Wahrscheinlichkeit von 28%, am Weierbach von 81%, dass der geforderte mittlere Abfluss unterschritten wird.

Die Jahresniederschläge ergeben eine Summe von $2.21 \times 10^6 \text{ m}^3$ im Huewelerbach und $3.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ im Weierbach. Der Bedarf von $3 \times 10^5 \text{ m}^3$ für das Dorf kann in beiden EZG gedeckt werden. Gemessen an den Jahresabflüssen würde die Referenz am Weierbach für nur 220 Einwohner*innen reichen. Der Huewelerbach könnte 480 Personen versorgen. Es zeigt also, dass Wasserrückhaltstrukturen vor allem am Weierbach massiv über die Versorgung entscheiden können.

Aufgabe 2.3: Direktabfluss und Abflusskonzentration

Im Sommer 2013 gab es im Attertgebiet ein recht starkes Regenereignis nach einiger Trockenheit. In Abb. 4 erhalten Sie den beobachteten Niederschlag an der Station Roodt und die Abflüsse an unseren vier aus der letzten Übung bekannten Pegeln. In Abb. 3 finden Sie eine schematische Darstellung von Direktabfluss und Konzentrationszeit.

1. Bestimmen Sie die Konzentrationszeiten sowie den Direktabfluss und die Abflusskoeffizienten für die Pegel.
2. Vergleichen Sie die Pegel und bewerten Sie die beobachtete Reaktion hinsichtlich der Ihnen bekannten Abflussbildungsprozesse.

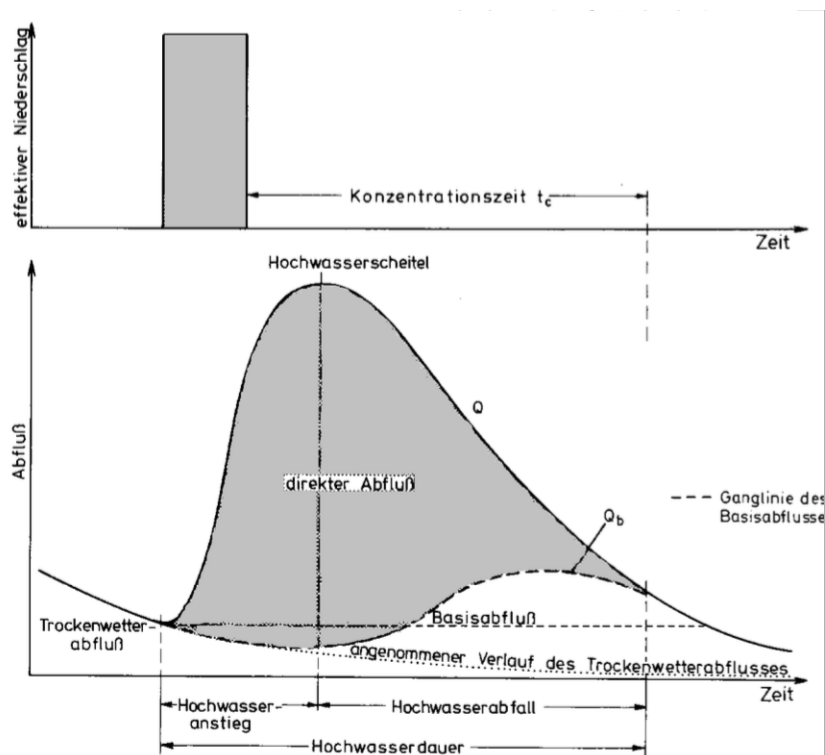


Figure 3: Direktabfluss und Konzentrationszeit aus Baumgartner & Liebscher (1996)

Lösung:

Die Konzentrationzeit ($t_{\text{konzentration}}$) ist die Zeitdifferenz zwischen dem Ende des Niederschlagsimpulses und dem Durchgang des Direktabflusses.

Der Direktabfluss (Q_{direkt}) ist die Fläche unter der Abflusskurve und über dem Basisabfluß. Dabei muss natürlich der Abfluss mit dem Zeitschritt in ein Volumen umgerechnet und aufaddiert werden.

$$Q_{\text{Direkt}} = \sum_{t=\text{start}}^{t=\text{ende}} Q_{\text{Pegel}}(t) - Q_{\text{Basis}}(t) \tag{2}$$

Der Abflussbeiwert (*RC*, Runoff coefficient) ist der Anteil des Niederschlags, der Direktabfluss geworden ist.

$$RC = Q_{\text{Direkt}} / \sum P \tag{3}$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 und Abb. 4 zusammengefasst. Exemplarisch für den Weierbach kommt man folgendermaßen zu diesen Ergebnissen: Gesucht ist das Gesamtvolumen des Direktabflusses (m^3). Gegeben ist der Verlauf des Abflusses Q in (m^3s^{-1}). Das gesuchte Volumen ist also $V = Q * t$ und somit die Fläche unter der Kurve, die wir dem Direktabfluss zuweisen. Im Diagramm lässt sich ein Kästchen gut ablesen: Es ist $0.01m^3s^{-1} * 3h$ groß. Nachdem ich $3h$ in Sekunden umgerechnet habe, erhalte ich $108m^3$ für ein Kästchen. Der Direktabfluss entspricht in etwa einer Fläche von 2 Kästchen also ca. $200m^3$.

Catchment	Weierbach	Colpach	Useldange
$t_{\text{konzentration}}$	5 h	7 h	17 h
Q_{direkt}	195.2 m ³	17 424.0 m ³	560 009.7 m ³
RC	0.017	0.036	0.089

Table 1: Ergebnis zu 2.3

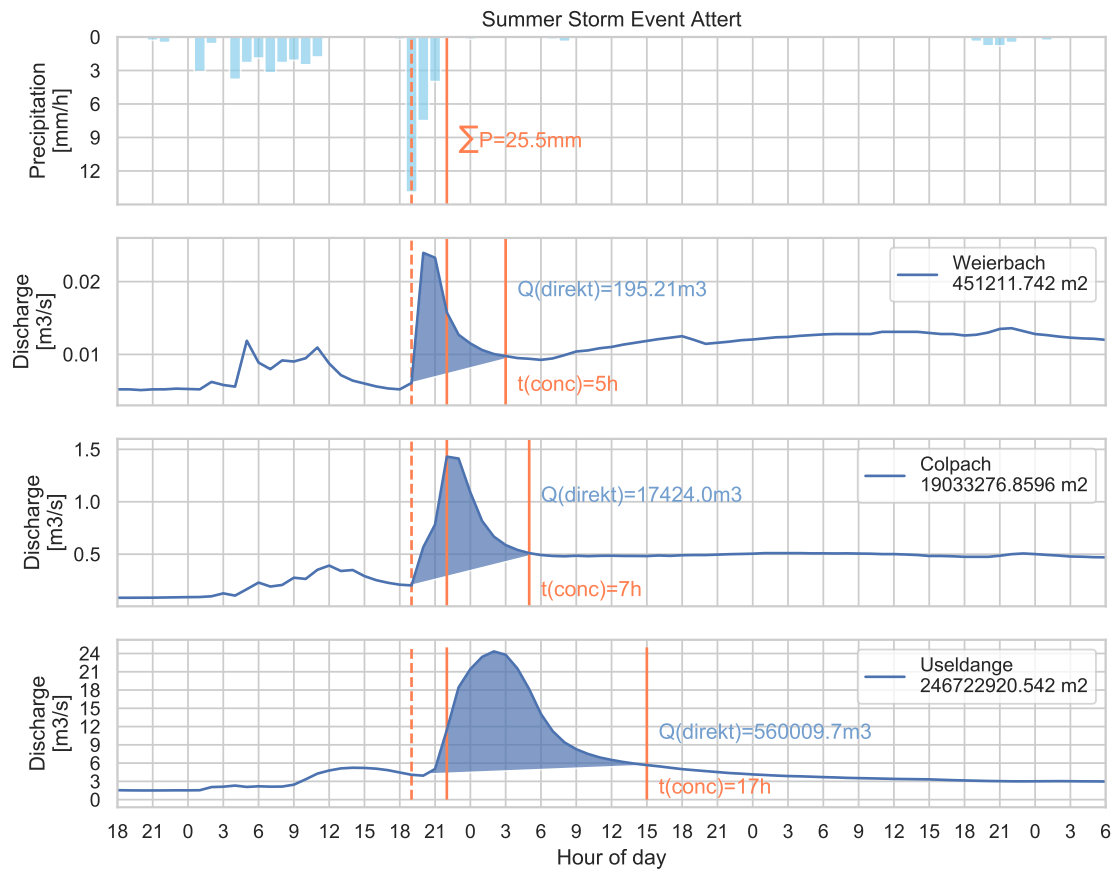


Figure 4: Abfluss (Stundenmittel) und Niederschlag (Stundensummen) für ein Ereignis zwischen 19.06. und 23.06.2013 im Attert Einzugsgebiet.