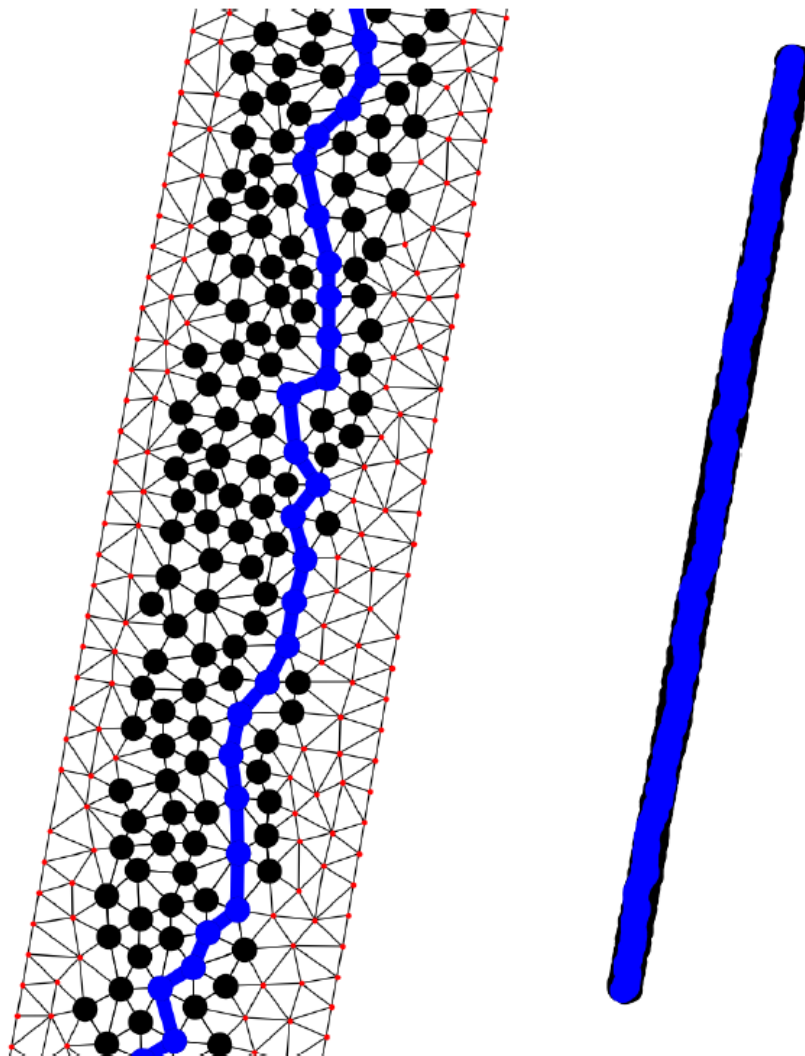




# Benutzerhandbuch Fischdurchgängigkeits-Tool

Grafische Benutzeroberfläche zur automatisierten Erhebung von  
Parametern der Fischdurchgängigkeit



Titelbild: Eigene Aufnahme

## **Vorwort**

Das vorliegende Benutzerhandbuch dient der korrekten Anwendung des Fischdurchgängigkeits-Tools, das im Zuge der Masterarbeit „Modellierung der Fischdurchgängigkeit von Fliessgewässern bei Niedrigwasserabflüssen“ ausgearbeitet wurde. Das Programm ermöglicht anhand einer Netzwerkanalyse ausgehend von einer hydraulischen Modellierung die Erhebung von Talwegen und deren hydraulischer Beschaffenheit.

Die Anwendung ist praxistauglich. Das Tool erleichtert die Ermittlung von Wanderkorridoren und der darin vorkommenden Tiefen- und Strömungsverhältnisse für gewässerökologische Gutachten.

## Inhalt

Vorwort.....	I
Abkürzungsverzeichnis und Glossar.....	V
1 Einführung.....	1
2 Installationen und Anwendung.....	2
3 Benutzeroberflächen .....	5
4 Notwendige Daten.....	7
4.1 Hydraulische Berechnungsergebnisse aus BASEMENT .....	7
4.2 Fischartspezifische Wanderansprüche .....	7
5 Generierte Fischartdurchgängigkeitsparameter .....	8
6 Programmierschritte des Fischartdurchgängigkeits-Tools .....	14
6.1 Netzwerkerstellung.....	14
6.2 Netzwerkanalyse.....	15
6.2.1 Shortest Path Analyse.....	15
6.2.2 Zentralitätsanalyse .....	17
7 Literaturverzeichnis .....	20

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Benutzeroberfläche py_Fishmigrationtool_alone.py .....	5
Abbildung 2: Grafische Benutzeroberfläche py_Fishmigrationtool_several.py .....	6
Abbildung 3: Massenkonservierung des Modells (Inflow und Outflow).....	9
Abbildung 4: .csv-Output im QGIS zur Erstellung der Talweglinie .....	9
Abbildung 5: Wassertiefen entlang des Talwegs .....	10
Abbildung 6: Kumulative Wassertiefen entlang des Talwegs .....	10
Abbildung 7: Fließgeschwindigkeiten entlang des Talwegs .....	11
Abbildung 8: Kumulative Fließgeschwindigkeiten entlang des Talwegs .....	11
Abbildung 9: Längsprofil mit Hindernishöhen.....	12
Abbildung 10: Kumulative Verteilung der Hindernishöhen .....	12
Abbildung 11: Häufigkeit und Länge der Unterschreitungen der generellen und der Mindestwassertiefe für Untiefen entlang der tiefsten Rinne für einen Abfluss .....	13
Abbildung 12: Häufigkeit und Länge der Unterschreitungen der generellen und der Mindestwassertiefe für Untiefen entlang der tiefsten Rinne für mehrere Abflüsse.....	13
Abbildung 13: Netzwerkerstellung .....	14
Abbildung 14: Beispielhaftes Netzwerk mit Nodes und gewichteten Edges (Wassertiefen) nach dem ersten Gewichtungsverfahren (Eigene Darstellung).....	16
Abbildung 15: Beispielhaftes Netzwerk mit Nodes und gewichteten Edges (Wassertiefen) nach dem zweiten Gewichtungsverfahren (Eigene Darstellung).....	17
Abbildung 16: Skizze mit verschiedenen Morphologietypen und Angaben des erreichten HMD als Referenzwerte. Illustration nach Walter Gostner (Gostner and Schleiss, 2012) .....	18
Abbildung 17: Schematische Darstellung von Elementen einer Flussstrecke: Pool, Riffle und Run (Fuller, 2018).....	19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingabe der Daten gemäss für py_Fishmigrationtool_alone.py .....	3
Tabelle 2: Eingabe der Daten gemäss für py_Fishmigrationtool_several.py .....	4
Tabelle 3: Netzwerk mit beispielhaften Daten für die Nodes und gewichteten Edges (Wassertiefen) .....	16

## Abkürzungsverzeichnis und Glossar

BASEMENT	BASic EnvironMENT for simulation of environmental flow and natural hazard Simulation, Software entwickelt von der VAW
GIS	Geoinformationssystem
HMID	Hydraulisch-Morphologischer Index nach Gostner und Schleiss (2012)
Python	Programmiersprache mit Eignung zur Anwendung der Netzwerkanalyse
QGIS	Quantum GIS umfangreiche Open Source GIS Software.
Shapefile	Vektorfileformat der Firma ESRI

# 1 Einführung

Das in diesem Benutzerhandbuch beschriebene Analysetool zur Untersuchung der Fischdurchgängigkeit wurde geschaffen zur Approximation von wichtigen Einflussgrößen der Fischdurchgängigkeit entlang des Talweges, wie zum Beispiel:

- Wassertiefen
- Fliessgeschwindigkeiten
- Hindernishöhen

Diese Parameter spielen eine wichtige Rolle für die ökologische Beurteilung von Niedrig- oder Restwassersituationen. Das Tool ist für Fachpersonen im Bereich hydraulischer Modellierungen und spezifisch für den Umgang mit der Software *BASEMENT* ausgerichtet. Das Benutzerhandbuch zeigt detailliert die Schritte der Installation sowie die Bedienung des Tools auf, um die optimale Nutzung zu gewährleisten. Ausserdem ist aufgeführt, welche Daten für die Verwendung des Programms vorausgesetzt werden.

In den ersten Kapiteln sind die Installation und die Anwendung illustrativ erklärt. Im Anschluss wird auf die einzelnen Produkte und Dienste des Fischdurchgängigkeits-Tools eingegangen. Das letzte Kapitel schafft einen Überblick über den Aufbau des Tools, dabei geht sehr differenziert auf die einzelnen Berechnungsschritte ein und ermöglicht demgemäss die vertiefte Auseinandersetzung mit dem Tool.



## 2 Installationen und Anwendung

In diesem Kapitel werden die nötigen Schritte für die Anwendung des Fischdurchgängigkeits-Tools auf einem Computer mit Microsoft Windows Betriebssystem erklärt. Die Anwendung des Tools wurde auf einem Computer mit dem Betriebssystem Windows 10 erfolgreich getestet.

### **Benötigte Software:**

Das Fischdurchgängigkeits-Tool basiert auf der Programmiersprache *Python* und benötigt Inputdaten aus *BASEMENT* v2.8, einem frei zugänglichen Simulationswerkzeug für die hydro- und morphodynamische Modellierung.

<https://www.python.org/downloads/> (Entwickelt wurde das Fischdurchgängigkeits-Tool mit Version 3.6)

<https://basement.ethz.ch/> (Inputdaten werden im Format von *BASEMENT* Version 2.7 oder 2.8 benötigt)

Um das Tool einwandfrei zu benutzen, muss das Python Skript über eine Kommandozeile oder eine integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) für die Programmiersprache Python angesteuert werden. Es liegen zwei Versionen des Tools vor, die je nach Verfügbarkeit der Inputdaten verwendet werden können. Die Funktionsweise ist in beiden Versionen des Tools dieselbe.

### **Schritte zum Ausführen des Fischdurchgängigkeits-Tools**

1. Notwendig ist eine Installation von Python (python.org), die eine Reihe von Bibliotheken installiert hat. Der Autor verwendet die Open-Source-Distribution inklusive Kommandozeileninterpreter mit dem Namen *Anaconda* (<https://www.anaconda.com/>), die über die meisten der benötigten Bibliotheken verfügt. Die Mindestbibliotheken sind: tkinter, numpy, pandas, networkx und matplotlib
2. Die bevorzugte Methode ist von der Kommandozeile aus:
  - a. Öffnen Sie Ihr gewünschtes Kommandozeilen-/Terminalprogramm.
  - b. Wechseln Sie Ihr Verzeichnis an den Ort, an dem das Python Skript des Fischdurchgängigkeits-Tools gespeichert ist.
  - c. Führen Sie das Skript aus mit:
    - i. Python py\_Fishmigrationtool\_alone.py  
→wenn nur eine hydraulische Simulation gespeichert in einem Ordner vorliegt.
    - ii. python py\_Fishmigrationtool\_several.py  
→wenn mehrere hydraulische Simulationen verteilt auf mehrere Ordner vorliegen, die gleichzeitig untersucht werden sollen

## 3. Eingabe der Daten gemäss Tabelle 1 für py\_Fishmigrationtool\_alone.py:

Tabelle 1: Eingabe der Daten gemäss für py\_Fishmigrationtool\_alone.py

Feldname	Aktion
inflow.dat	Querprofil, an dem das Wasser ins Modell fliesst
outflow.dat	Querprofil, an dem das Wasser aus dem Modell fliesst
Output Ordner	Ordner, für Sicherung des Massenkonservierungsplots
Prozentuale Abweichung inflow und outflow	Dadurch werden die timesteps für die angegebene Abweichung zwischen inflow und outflow definiert
edg. File Pfad	Edge File mit allen Edges
2dm File Pfad	File mit Informationen zur Gerinnetopographie
nds_depth.sol File Pfad	Simulierte Wassertiefen
nds_abs_velocity.sol File Pfad	Simulierte Fliessgeschwindigkeiten
nds_wse.sol File Pfad	Simulierte Wasserspiegel
Timestep	Zeitschritt für den die Berechnungen durchgeführt werden
Remove Nodes	Nodes, welche aus dem Netzwerk entfernt werden (Leerschlag nach Koma)
Sourcenodes	Nodes, aus denen der beste Node als Startpunkt für den simulierten Talweg berechnet wird (Leerschlag nach Koma)
Targetnodes	Nodes, aus denen der beste Node als Endpunkt für den simulierten Talweg berechnet wird (Leerschlag nach Koma)
Generelle Mindestwassertiefe	Mindestwassertiefe, die grundsätzlich vorhanden sein muss, sodass sich Fische ohne beachtlichen Energieaufwand bewegen können
Mindestwassertiefe für Untiefen	Unterschreitungen der generellen Mindestwassertiefe sind in räumlich begrenzten Abschnitten mit natürlichen Untiefen möglich
Mindestwassertiefe für Einzelfälle	Unterschreitungen der Mindestwassertiefe für Untiefen sind als Sonderfälle über kurze Distanzen möglich
Maximale Länge passierbarer Untiefen	Streckenlänge, die die Länge der Unterschreitung der generellen Mindestwassertiefe definiert
Maximale Länge passierbarer Einzelfälle	Streckenlänge, die die Länge der Unterschreitung der Mindestwassertiefe für Untiefen definiert
Maximale Geschwindigkeit	Maximale Geschwindigkeiten, bei denen eine Wanderung der Fische noch möglich ist
Maximale Sprunghöhe	Maximale Sprunghöhen, bei denen eine Wanderung der Fische noch möglich ist

Timsteps	Berechnung erfolgt für die angegebenen Zeitschritte
Sourcenode	Startpunkt für die Simulation des Talweges
Targetnode	Endpunkt für die Simulation des Talweges
Plot Outputformat	Format der Ausgabeplots, bspw. .pdf oder .png und weitere
Output File Pfad	Ordner, in dem die Plots und Textfiles der Talweganalyse gespeichert werden
Talweg mit oder ohne Bedingungen berechnen	Auswahl, ob die angegebenen Ansprüche als Restriktionen in die Berechnung einfließen (mit) oder ob sie einfach in den Plots abgebildet werden (ohne)
Kürzester oder tiefster Talweg berechnen	Auswahl, ob tiefster oder kürzester Talweg berechnet wird
betweenes-centrality_subset Sourcenodes	Startnodes für die Zentralitätsanalyse
betweenes-centrality_subset Targetnodes	Endnodes für die Zentralitätsanalyse
Output File Pfad	Ordner in dem das Textfile der Zentralitätsanalyse gespeichert wird

**Wichtig1:** inflow.dat und outflow.dat müssen dieselben Timesteps aufweisen wie depth.sol, abs\_velocity.sol und wse.sol.

4. Eingabe der Daten gemäss Tabelle 2 für py\_Fishmigrationtool\_several.py

Tabelle 2: Eingabe der Daten gemäss für py\_Fishmigrationtool\_several.py

Feldname	Aktion
Input übergeordneter Ordner	Pfad des übergeordneten Ordners, in welchem sich mehrere Unterordner mit den Simulationen befinden
inflow.dat	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format
outflow.dat	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format
edg. File Pfad	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format
2dm File Pfad	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format
nds_depth.sol File Pfad	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format
nds_abs_velocity.sol File Pfad	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format
nds_wse.sol File Pfad	Name des Files in Anführungszeichen inklusive Format

5. Nach dem Ausfüllen sämtlicher Felder können die Berechnungsprozesse durch einen Mausklick auf das dunkelblaue Kästchen gestartet werden. Die Rechenzeit ist abhängig von der Modellgrösse und dem Computerbetriebssystem.

### 3 Benutzeroberflächen

py\_Fishmigrationtool\_alone.py: Diese grafische Benutzeroberfläche kann benutzt werden, wenn nur eine Simulation in einem Ordner vorliegt. Es ist jedoch möglich für mehrere Zeitschritte innerhalb der Simulation das Fischdurchgängigkeits-Tool anzuwenden.

**Fischdurchgängigkeit Tool**

**Massenkonservierung und Suche der Source- und Targetnodes**

inflow.dat File Pfad:

outflow.dat File Pfad:

Output Ordner:

Prozentuale Abweichung inflow und outflow

.edg File Pfad:

.2dm File Pfad:

nds\_depth.sol File Pfad:

nds\_abs\_velocity.sol File Pfad:

nds\_wse.sol File Pfad:

Timestep  Example: 33

Sourcenodes  Example: 33465, 10, 5430, 5

Targetnodes  Example: 31257, 39, 6531, 4

**Hydraulische Durchgängigkeitsparameter entlang des Talwegs und Zentralitätsanalyse**

Generelle Mindestwassertiefe [m]  Beispiel: 0.4

Mindestwassertiefe für Untiefen [m]  Beispiel: 0.2

Mindestwassertiefe für Einzelfälle [m]  Beispiel: 0.07

Maximale Länge passierbarer Untiefen [m]  Beispiel: 30

Maximale Länge passierbarer Einzelfälle [m]  Beispiel: 5

Maximale Geschwindigkeit [m/s]  Beispiel: 1.4

Maximale Sprunghöhe [m]  Beispiel: 0.5

Timesteps  Example: 33, 44, 52

Sourcenode  Example: 35879

Targetnode  Example: 13267

Plot Outputformat  Example: pdf

Output File Pfad:

Talweg mit oder ohne Bedingungen berechnen   Tiefster oder kürzester Talweg berechnen

betweenness Centrality\_subset Sourcenodes  Example: 33465, 10, 5430

betweenness Centrality\_subset Targetnodes  Example: 31257, 38, 6531

Output File Pfad:

Abbildung 1: Grafische Benutzeroberfläche py\_Fishmigrationtool\_alone.py

py\_Fishmigrationtool\_several.py: Diese grafische Benutzeroberfläche kann benutzt werden, wenn nur mehrere Simulationen aufgeteilt auf verschiedene Ordner vorliegen. Es ist möglich für mehrere Zeitschritte innerhalb eines Ordners das Fischdurchgängigkeits-Tool anzuwenden.

**Fischdurchgängigkeit Tool**

**Massenkonservierung und Suche der Source- und Targetnodes**

Input übergeordneter Ordner:

inflow.dat File Name:  Example: gadmer\_DOM\_kst\_sd\_inflow\_th.dat

outflow.dat File Name:  Example: gadmer\_DOM\_kst\_sd\_outflow\_th.dat

Prozentuale Abweichung inflow und outflow

.edg File Name:  Example: gadmer\_DOM\_kst.edg

.2dm File Name:  Example: 2dm\_gadmer\_kst.2dm

nds\_depth.sol File Name:  Example: gadmer\_DOM\_kst\_nds\_depth.sol

nds\_abs\_velocity.sol File Name:  Example: gadmer\_DOM\_kst\_nds\_abs\_velocity.sol

nds\_wse.sol File Name:  Example: gadmer\_DOM\_kst\_nds\_wse.sol

Sourcenodes  Example: 33465, 10, 5430, 5432

Targetnodes  Example: 33465, 10, 5430, 5432

**Hydraulische Durchgängigkeitsparameter entlang des Talwegs und Zentralitätsanalyse**

Generelle Mindestwassertiefe [m]  0 Beispiel: 0.4

Mindestwassertiefe für Untiefen [m]  0 Beispiel: 0.2

Mindestwassertiefe für Einzelfälle [m]  0 Beispiel: 0.07

Maximale Länge passierbarer Untiefen [m]  0 Beispiel: 30

Maximale Länge passierbarer Einzelfälle [m]  0 Beispiel: 5

Maximale Geschwindigkeit [m/s]  0 Beispiel: 1.4

Maximale Sprunghöhe [m]  0 Beispiel: 0.5

Plot Outputformat  pdf Example: pdf

Talweg mit oder ohne Bedingungen berechnen   Tiefster oder kürzester Talweg berechnen

**START HYDRAULISCHE DURCHGÄNGIGKEITSANALYSE**

Abbildung 2: Grafische Benutzeroberfläche py\_Fishmigrationtool\_several.py

## 4 Notwendige Daten

Für die Ausführung des Fischdurchgängigkeits-Tools sind mehrere hydraulische Daten aus der hydro-numerischen Simulationssoftware *BASEMENT* sowie fischspezifische Daten über die Wanderansprüche notwendig. In diesem Kapitel werden die benötigten Datengrundlagen beschrieben.

### 4.1 Hydraulische Berechnungsergebnisse aus BASEMENT

Das Fischdurchgängigkeits-Tool beruht auf den hydraulischen Berechnungsergebnissen der Software *BASEMENT*. Dabei bedarf es im Minimum folgender Anforderungen für die Ausführung des Tools angegeben werden: Informationen zur Gerinnetopographie im 2dm-Format, Kenntnisse zum Netzwerk im .edg-Format, Querprofile für den inflow und outflow im .dat-Format und simulierte Wassertiefen im .sol-Format. Für weitere Analysen wären die Wasserspiegellage und die absoluten Fließgeschwindigkeiten im .sol-Format notwendig.

### 4.2 Fischspezifische Wanderansprüche

Im Fischdurchgängigkeits-Tool können Angaben über die Anforderungen der Fische während der Wanderung gemacht werden. Zum Beispiel können Mindestwassertiefen für bestimmte Distanzen, maximale Geschwindigkeiten oder maximale Hindernishöhen definiert werden. Anhand von roten Linien werden diese Parameter dann in den Plots sichtbar. Die Festlegung von solch minimalen oder maximalen Anforderungen ist optional. Wird nichts definiert, erfolgt die Berechnung des Talweges trotzdem und die Plots werden ohne die Abbildung von Anforderungen erstellt.

## 5 Generierte Fischdurchgängigkeitsparameter

1. Textfiles (Format .csv): Resultate des Fischdurchgängigkeits-Tools in Textform zum Einlesen in ein GIS Programm.
  - a. Talweg\_*Timestep\_Abfluss.csv*
    - i. Textfile mit allen generierten Parametern entlang der tiefsten Rinne
  - b. Zentralitätsanalyse\_*Timestep\_Abfluss.csv*
    - i. Textfile mit allen benetzten Nodes und deren Wichtigkeit für das gesamte Netzwerk
2. PyPlots (Format .pdf, .png, .jpeg, weitere)
  - a. Plot\_Wassertiefen-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Längsprofil der Wassertiefen entlang der tiefsten Rinne
  - b. Plot\_Fliessgeschwindigkeiten-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Längsprofil der Fliessgeschwindigkeiten entlang der tiefsten Rinne
  - c. Plot\_Wasserspiegel-Sohlenlage-und-Absturzhöhen-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Längsprofil der Hindernishöhen und der Sohlenlage entlang der tiefsten Rinne
  - d. Plot\_Kumulative-Verteilungskurve-Wassertiefen-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Kumulative Verteilungskurve der Wassertiefen entlang der tiefsten Rinne
  - e. Plot\_Kumulative-Verteilungskurve-Fliessgeschwindigkeiten-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Kumulative Verteilungskurve der Fliessgeschwindigkeiten entlang der tiefsten Rinne
  - f. Plot\_Kumulative-Verteilungskurve-Hindernishöhen-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Kumulative Verteilungskurve der Hindernishöhen entlang der tiefsten Rinne
  - g. Plot\_Häufigkeit-Länge-der-Tiefenunterschreitungen-Talweg\_*Timestep.format*
    - i. Häufigkeit und Länge der Unterschreitungen der generellen und der Mindestwassertiefe für Untiefen entlang der tiefsten Rinne für die untersuchten Abflüsse

Folgend sind die Output Grafiken mit fiktiven Daten dargestellt. Sie dienen dazu einen Überblick über die Möglichkeiten des Tools zu erhalten.

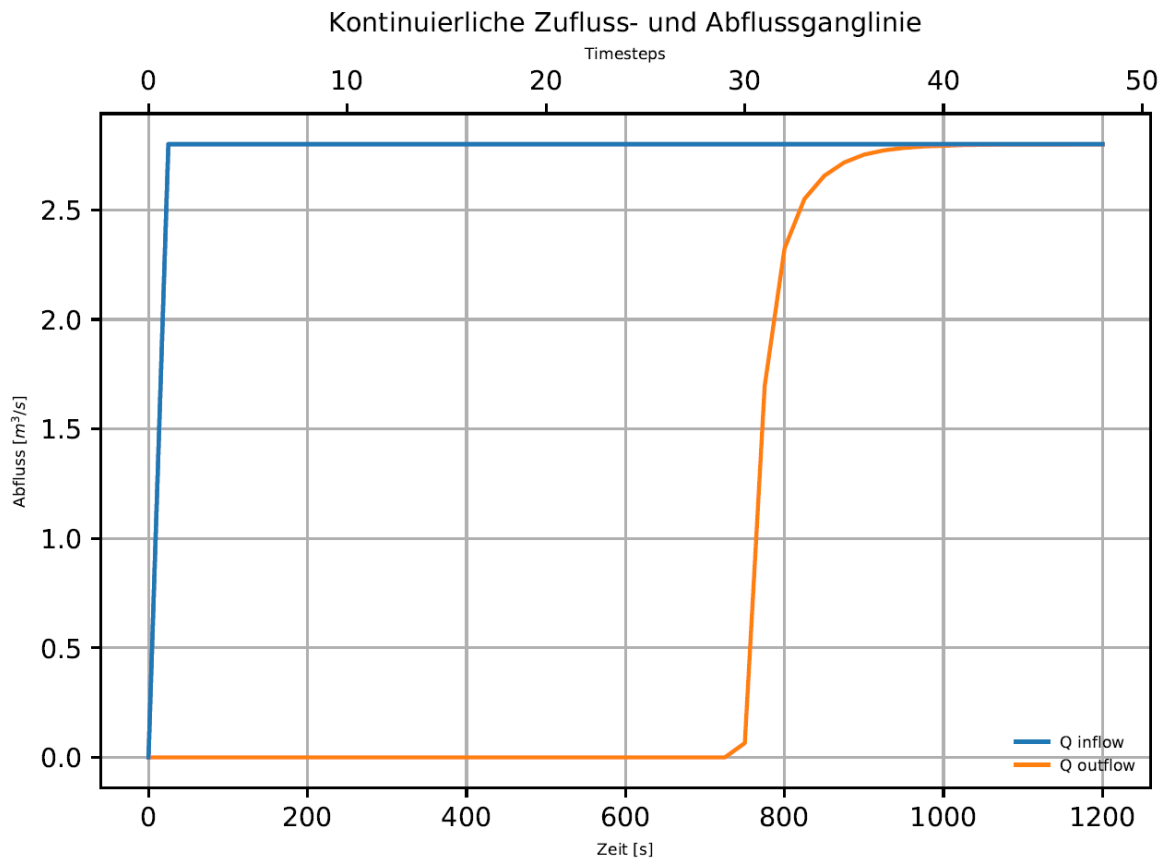


Abbildung 3: Massenkonservierung des Modells (Inflow und Outflow)

Die ausgegebenen .csv-Dateien können anhand der Koordinaten in ein GIS Programm geladen werden. Danach kann in QGIS mit der Funktion *Points to path* aus den Punkten (*Nodes*) eine Linie generiert werden.

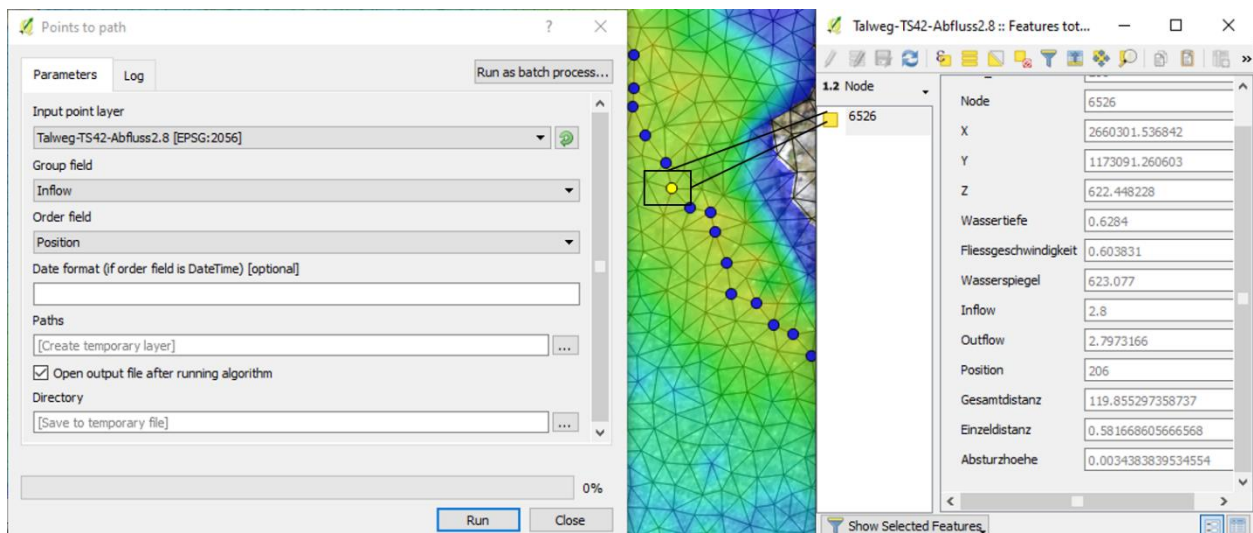


Abbildung 4: .csv-Output im QGIS zur Erstellung der Talweglinie



Wassertiefen entlang der tiefsten Rinne  
TS: 42 und Abfluss:  $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$

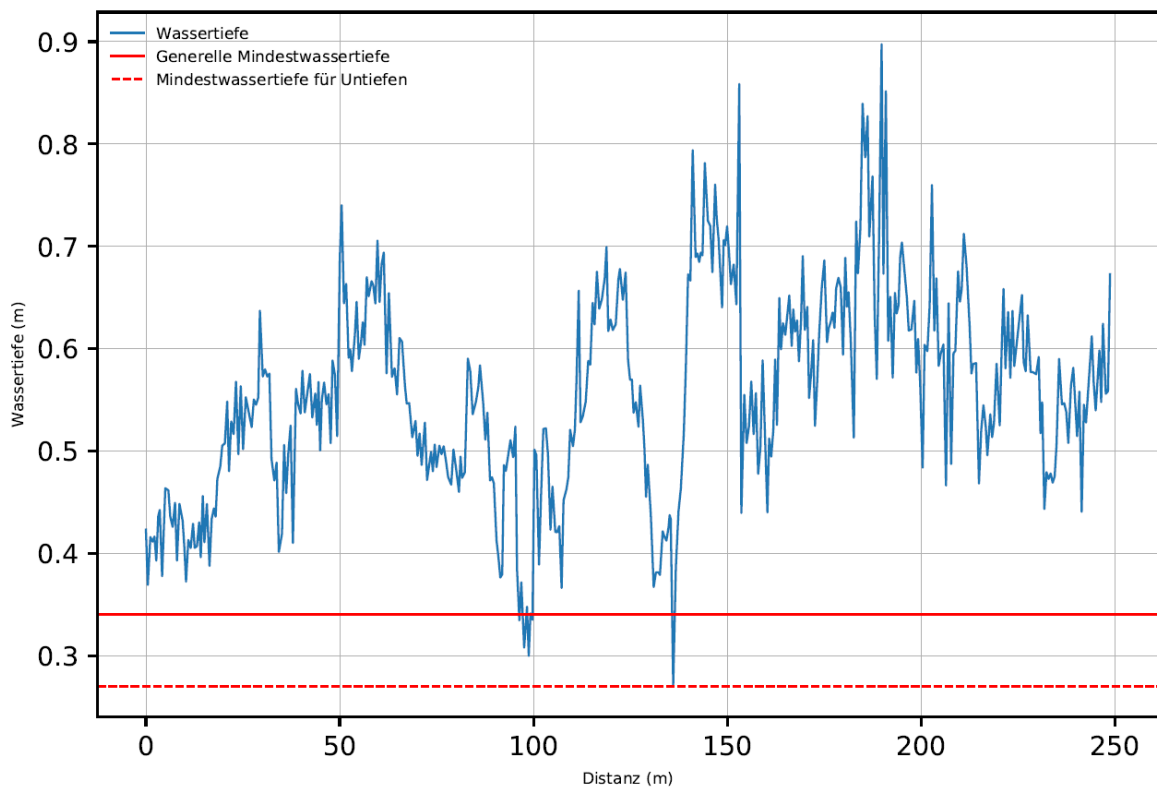


Abbildung 5: Wassertiefen entlang des Talwegs

Kumulative Verteilungskurve der Wassertiefen entlang des Talwegs  
TS: 42 und Abfluss:  $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$

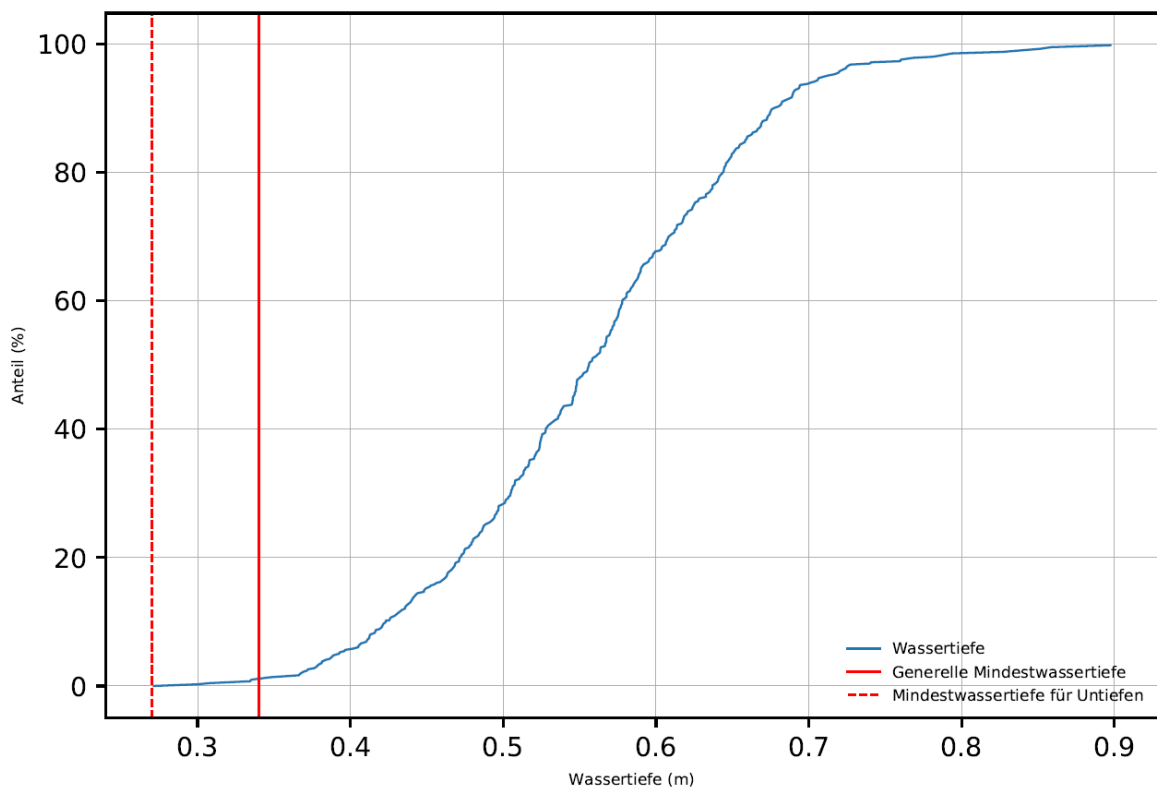


Abbildung 6: Kumulative Wassertiefen entlang des Talwegs

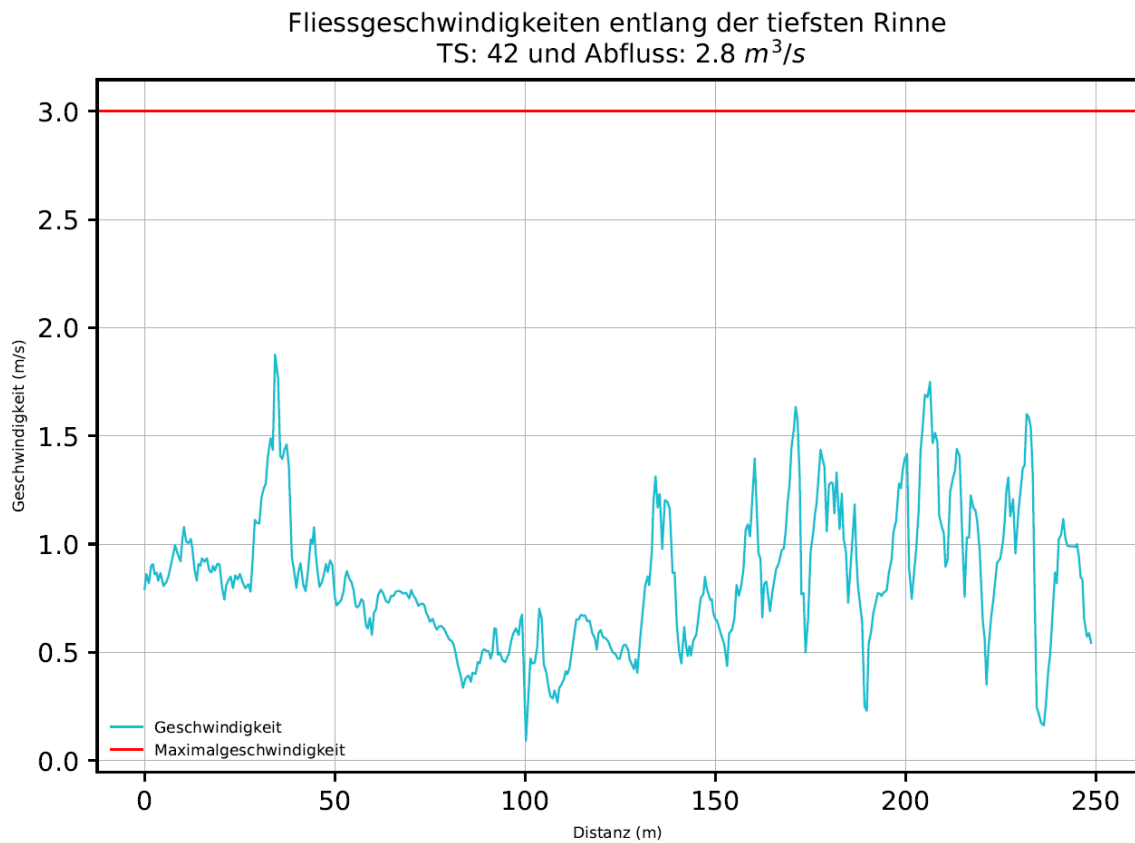


Abbildung 7: Fließgeschwindigkeiten entlang des Talwegs

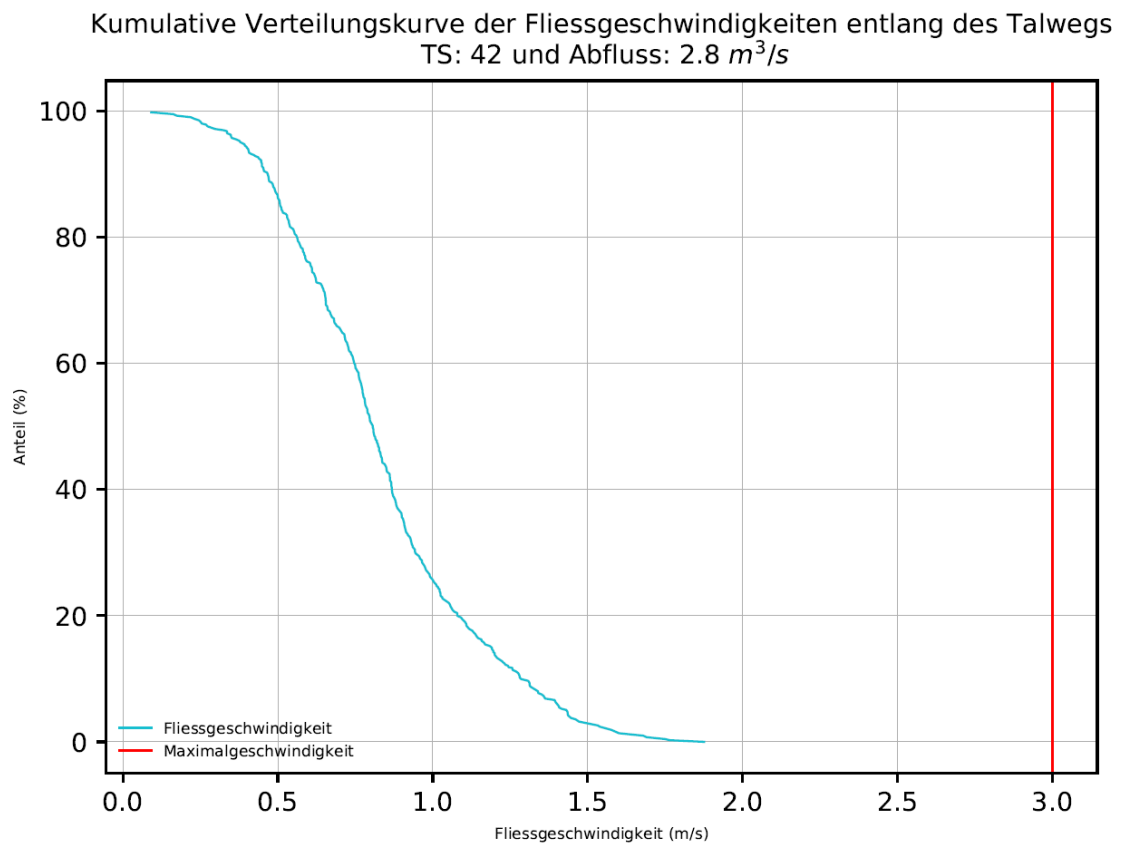


Abbildung 8: Kumulative Fließgeschwindigkeiten entlang des Talwegs

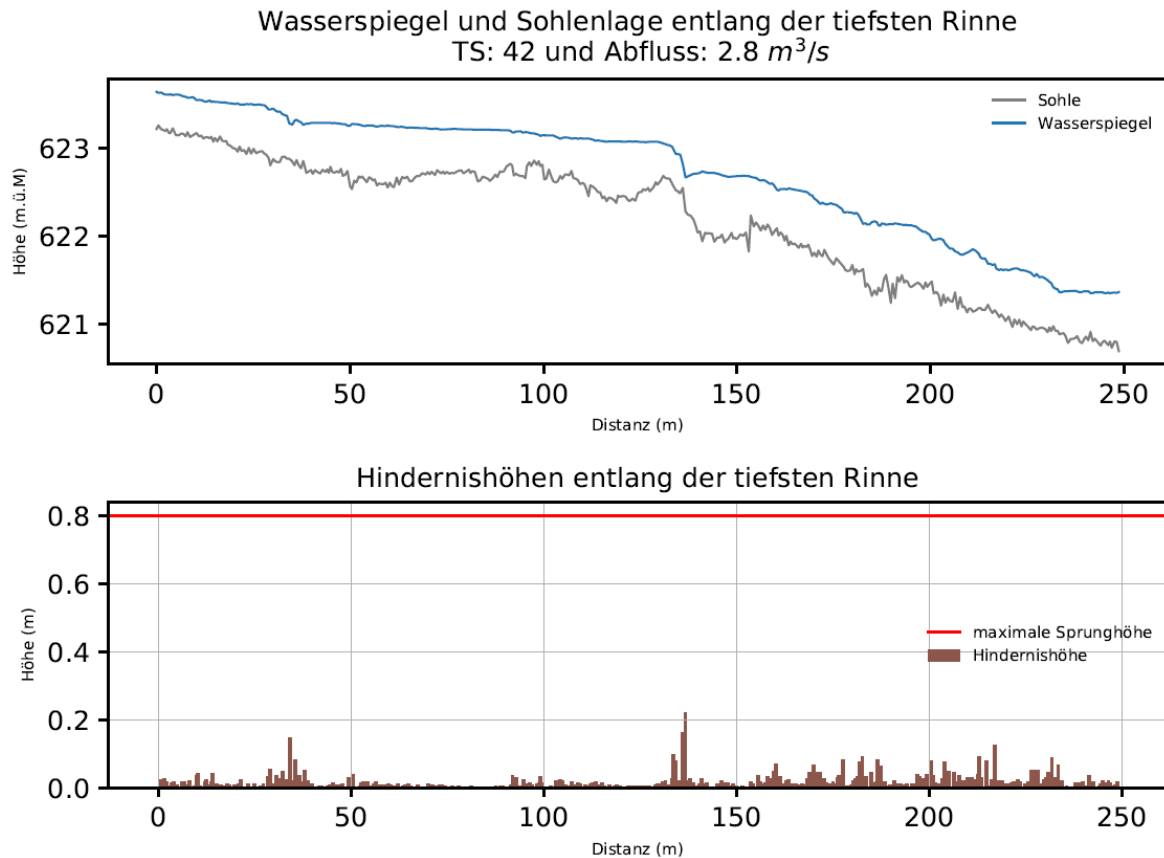


Abbildung 9: Längsprofil mit Hindernishöhen

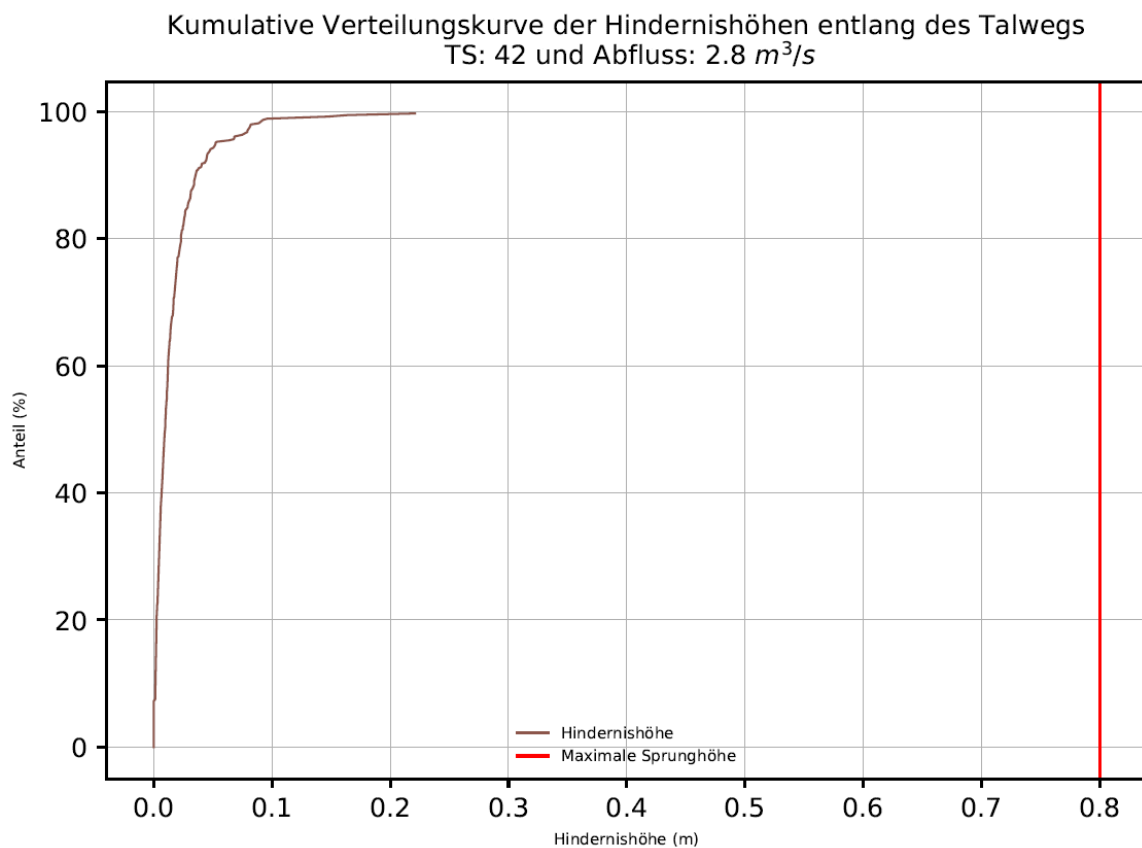


Abbildung 10: Kumulative Verteilung der Hindernishöhen

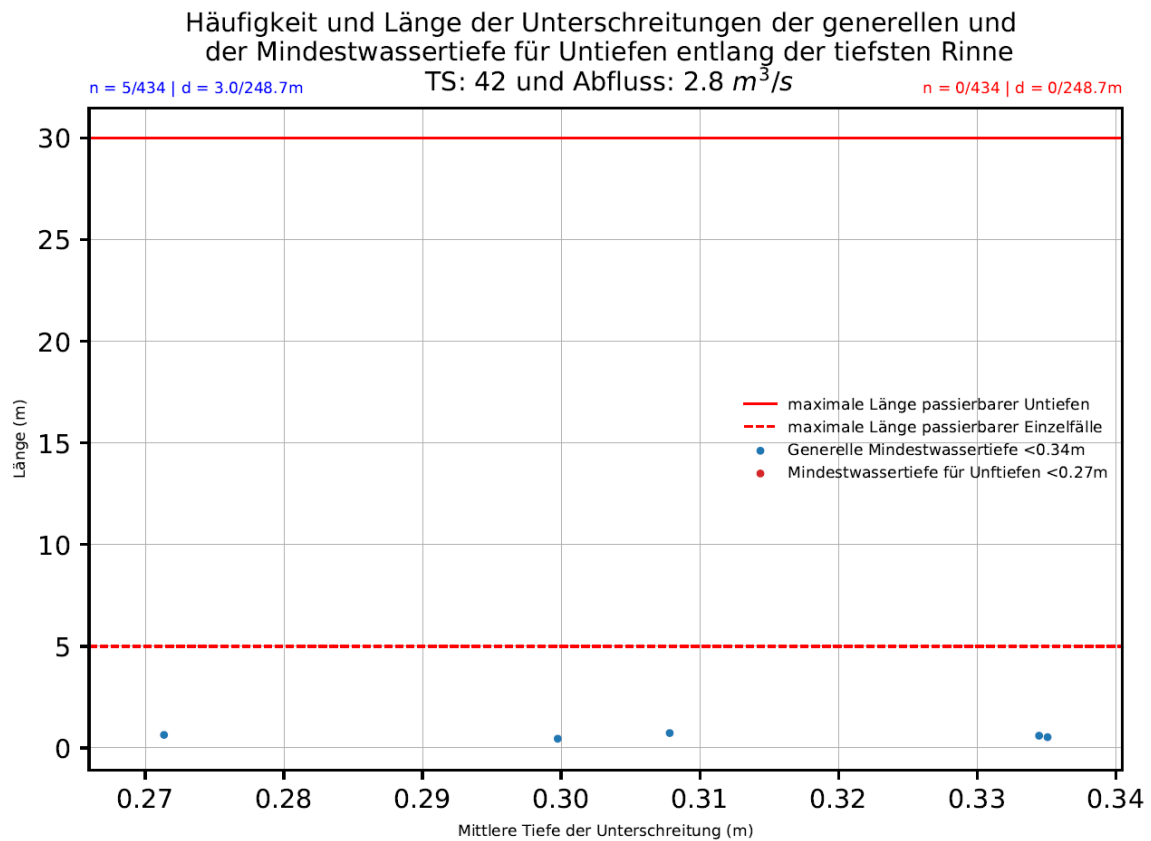
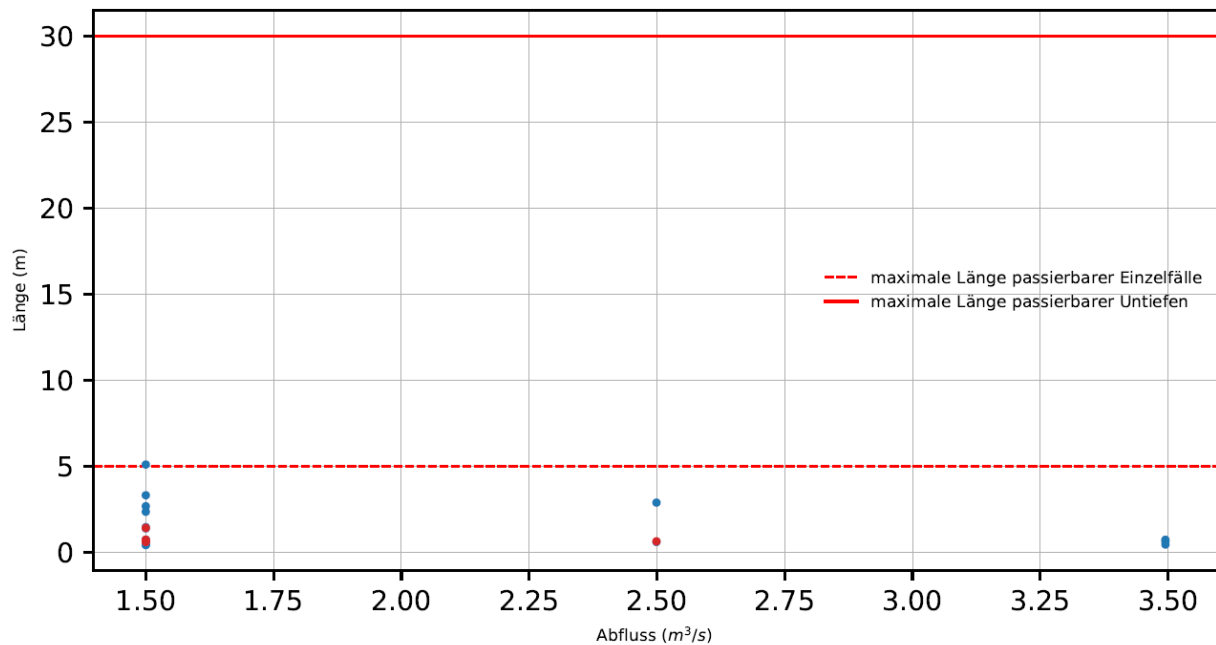


Abbildung 11: Häufigkeit und Länge der Unterschreitungen der generellen und der Mindestwassertiefe für Untiefen entlang der tiefsten Rinne für einen Abfluss



	Abfluss	Anzahl Längen zwischen 0.34m und 0.27m	Summierte Längen (m) zwischen 0.34m und 0.27m	Anzahl Längen kleiner 0.27m	Summierte Längen (m) kleiner 0.27m
15	1.5	(19, 438)	(23.9, 249.6)	(4, 438)	(3.4, 249.6)
45	2.5	(2, 434)	(3.5, 248.4)	(1, 434)	(0.6, 248.4)
75	3.5	(3, 430)	(1.8, 246.6)	0	0

Abbildung 12: Häufigkeit und Länge der Unterschreitungen der generellen und der Mindestwassertiefe für Untiefen entlang der tiefsten Rinne für mehrere Abflüsse

## 6 Programmierschritte des Fischdurchgängigkeits-Tools

Das Fischdurchgängigkeits-Tool ist in zwei Teile gegliedert, die nachfolgend erklärt werden: Der erste Teil (6.1) umfasst den Aufbau eines Netzwerkes aus den hydraulischen Outputdaten von *BASEMENT*. Im zweiten Teil (6.2) werden dann diverse Berechnungen anhand des aufgebauten Netzwerkes durchgeführt. So werden die Berechnung des Talweges und die Zentralitätsanalyse durchgeführt. Die folgenden Unterkapitel fassen die Berechnungsschritte kurz zusammen. Für die Anwendung sind die folgenden Informationen nicht notwendig. Jedoch ermöglichen sie eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Thematik. Kenntnisse zum Thema der Netzwerktheorie und zur Programmiersprache Python erleichtern das Verständnis, der in diesem Kapitel folgenden Ausführungen.

### 6.1 Netzwerkerstellung

Abbildung 13 stellt die Erstellung des Netzwerkes für die nachfolgenden Berechnungen dar. Die Netzwerkerstellung findet anhand der Python Bibliothek *NetworkX* statt.

Das Netzwerk wird basierend auf den *Nodes* aufgebaut. Die *Edges* ergeben sich aus dem *.edg*-File, in welchem definiert ist welche zwei *Nodes* einen *Edge* bilden. Das *.2dm*-File wird verwendet, um den *Nodes* Koordinaten zuzuweisen. Nach der Erstellung des Netzwerkes werden die Outputs von *BASEMENT* im *.sol* Format als Attribute auf die *Nodes* projiziert.

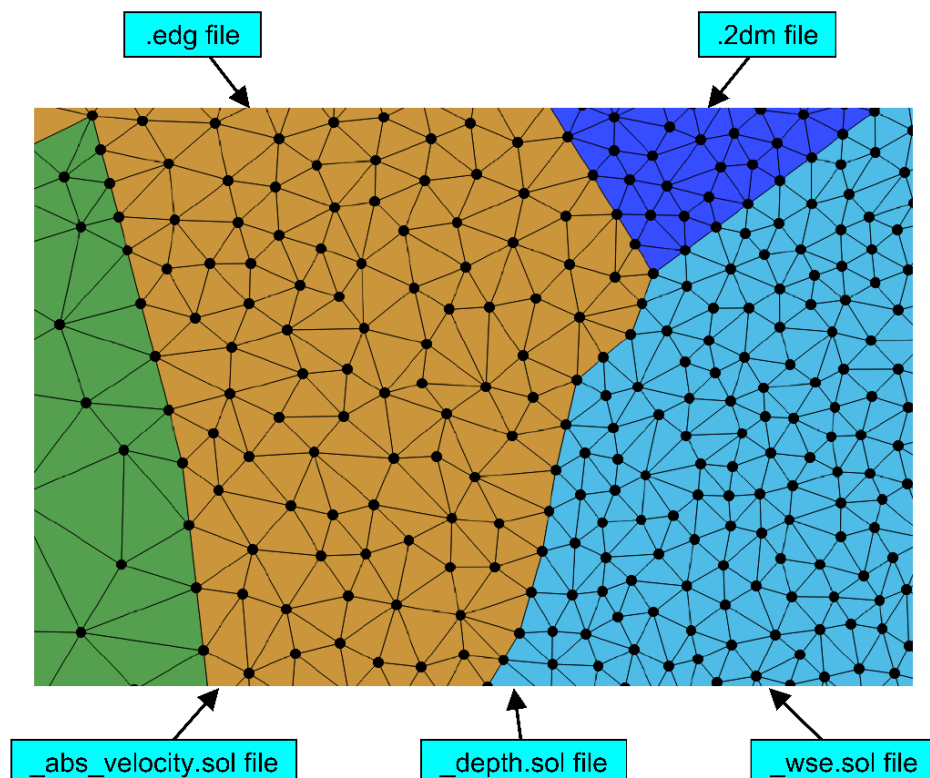


Abbildung 13: Netzwerkerstellung

## 6.2 Netzwerkanalyse

Das folgende Kapitel beinhaltet Erläuterungen zum Python-Skript, welche für die Berechnungen im Fischdurchgängigkeits-Tool verwendet werden. Die einzelnen Schritte der Netzwerkanalyse werden in den folgenden Unterkapiteln erklärt und stimmen mit ausgewählten Arbeitsschritten im Python Skript überein.

### 6.2.1 Shortest Path Analyse

Das Modell basiert auf zwei Hauptannahmen: 1. Fische wählen den Weg mit den geringsten Energiekosten, auf dem flachere Gewässer vermieden und tiefere Gewässer bevorzugt werden. 2. Ein *Node* darf in einem Pfad jeweils nur einmal angesteuert werden und es sind keine negativen Gewichte zulässig.

Die Simulation der Fischpfade basiert auf einem *Shortest Path* Algorithmus, der darauf abzielt, Routen mit den grösstmöglichen Wassertiefen zu suchen und der gewisse hydraulische Präferenzen (Fließgeschwindigkeiten, Abstürze usw.) von Fischen miteinbezieht. Dabei sucht der Algorithmus den günstigsten Weg von einem definierten Startpunkt zu einem festgelegten Zielpunkt anhand der *Edges* mit der geringsten Gewichtung. Der kürzeste Weg ergibt sich durch die tiefst mögliche Summe aller *Edges* entlang des Pfades. Der Algorithmus mit dem Namen *shortest\_simple\_paths* befindet sich in der *Python* Bibliothek *NetworkX* (Hagberg et al. 2019) und wurde für die Verwendung im Fischdurchgängigkeits-Tool leicht angepasst. Ursprünglich basiert das Verfahren auf dem Algorithmus von Jin (1971). Schlussendlich resultieren Listen mit einfachen Pfaden in der Reihenfolge vom kürzesten bis zum längsten Pfad.

Die Gewichtung der *Edges* wird aus den *Nodes* berechnet und ist relevant für die anschliessende Berechnung der Fischpfade, denn je nach Gewichtung der *Edges* variiert das Resultat. Für die Bestimmung der Gewichtung der *Edges* werden in dieser Arbeit zwei Varianten aufgezeigt.

Erstens werden die Wassertiefen der *Nodes* invertiert ( $1/\text{Wassertiefe}$ ) und aus den daraus resultierenden invertierten Wassertiefen erfolgt schliesslich die Berechnung des Mittelwerts zweier benachbarter *Nodes*, sodass grössere Wassertiefen eine kleinere Gewichtung erhalten. Tabelle 3 zeigt beispielhaft diese erste Berechnungsvariante der Gewichtung eines *Edges* anhand der *Nodes* D und F in Abbildung 14. Der Pfad, der sich anhand dieser Gewichtung ergibt, wird in Abbildung 14 veranschaulicht dargestellt und zeigt in blauer Farbe, welche *Nodes* und *Edges* vom Startpunkt D zum Zielpunkt F durchlaufen werden. Diese Form der Gewichtung wird in der grafischen Benutzeroberfläche als kürzester Talweg bezeichnet.

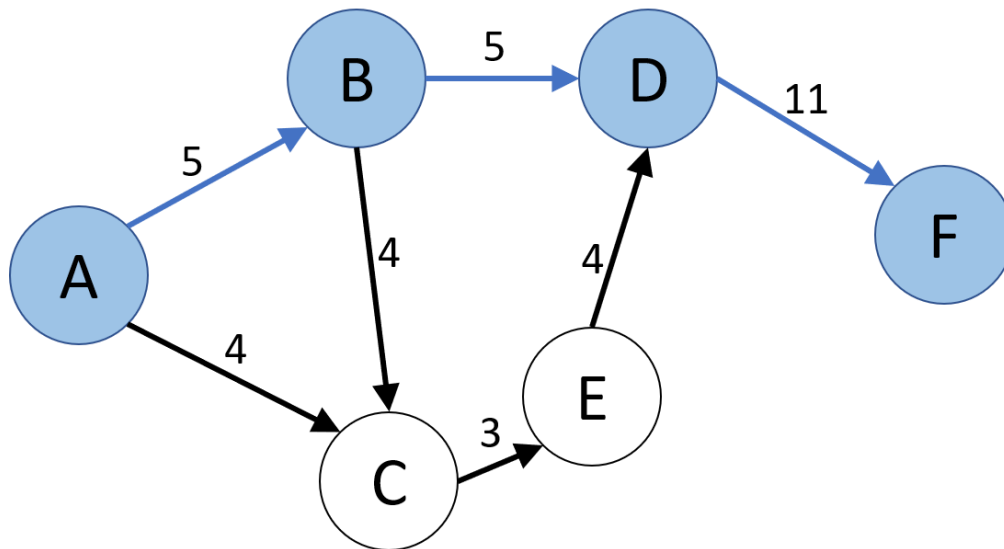


Abbildung 14: Beispielhaftes Netzwerk mit Nodes und gewichteten Edges (Wassertiefen) nach dem ersten Gewichtungsverfahren (Eigene Darstellung)

Tabelle 3: Netzwerk mit beispielhaften Daten für die Nodes und gewichteten Edges (Wassertiefen)

Node_ID	D	F
X [m]	2635000	2636000
Y [m]	1278000	1277000
Wassertiefe [m]	0.06	0.18
Gewichtung Node	$1/0.06 = 16.66$	$1/0.18 = 5.55$
Edge_ID	DF	
Gewichtung Edge	$(5.55 + 16.66) / 2 \approx 11$	

Die zweite Möglichkeit zur Berechnung der Gewichtung der *Edges* funktioniert ähnlich der ersten Berechnungsvariante. Jedoch werden hier grössere Wassertiefen noch stärker gewichtet, sodass der tiefst mögliche Pfad wiedergeben wird. Das bedeutet, dass die bisher kleinsten Gewichtungen mit der grössten Wassertiefe nach wie vor klein bleiben und grössere Gewichtungen potenziell stärker zunehmen. Infolgedessen entsteht ein neuer kürzester Pfad (vgl. Abbildung 15) mit den roten Zahlen als neue stärkere Gewichtung von grossen Wassertiefen, wobei ein anderer kürzester Pfad resultiert. Nachfolgend wird diese Gewichtung als Gewichtung2 bezeichnet. Diese Form der Gewichtung wird in der grafischen Benutzeroberfläche als tiefster Talweg bezeichnet.

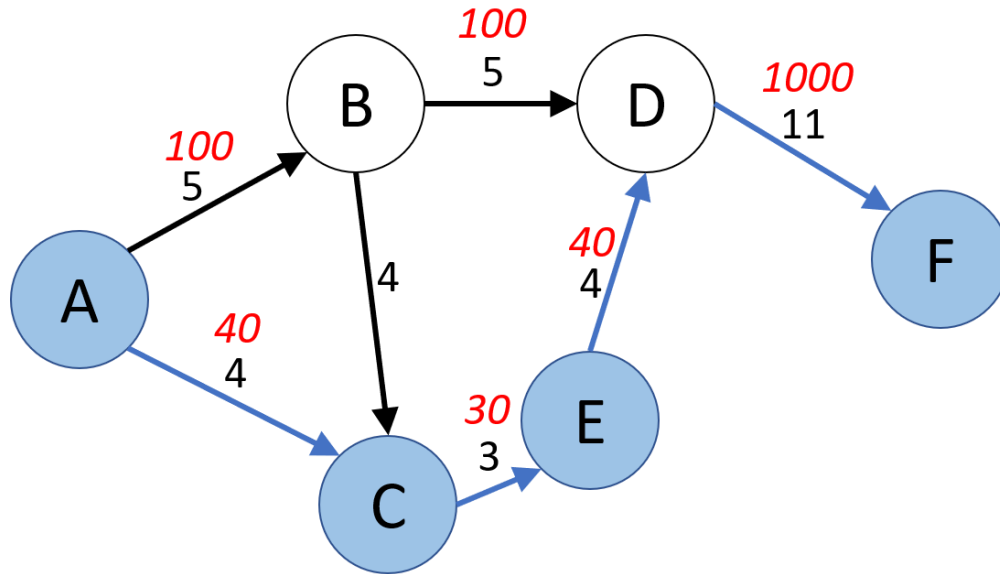


Abbildung 15: Beispielhaftes Netzwerk mit Nodes und gewichteten Edges (Wassertiefen) nach dem zweiten Gewichtungsverfahren (Eigene Darstellung)

Um weitere Einflüsse auf die Fischwanderung miteinzubeziehen, werden dieselben Berechnungen auch für die Fließgeschwindigkeiten vorgenommen. Die Gewichtung der Edges der Fließgeschwindigkeiten erfolgt analog derjenigen für Wassertiefen.

### 6.2.2 Zentralitätsanalyse

Die Zentralität zeigt eine Schätzung der Wichtigkeit einzelner Nodes und Edges für die Konnektivität des Netzwerks. Wenn innerhalb eines Netzwerks eine grosse Anzahl kürzester Pfade (*shortest paths*) durch einen bestimmten Node  $v$  führen und nur wenige Pfade diesen Node nicht beinhalten, so hat der Node  $v$  einen grossen Betweenness-Wert. Für alle Kombinationen zwischen definierten Start- und Zielnodes die den Node  $v$  miteinschliessen, wird die Menge an kürzesten Pfaden berechnet. Durch das Aufsummieren dieser Mengen ergibt sich für alle Nodepaare die *Betweenness Centrality* von Node  $v$  (Freeman 1977). Schwachstellen im Fluss können anhand von Nodes mit hoher Zentralität und geringer Wassertiefe erkannt werden.

$$c_B(v) = \sum_{s \in S, t \in T} \left( \frac{\sigma(s, t|v)}{\sigma(s, t)} \right) \quad (1)$$

Gleichung (1) zeigt die Berechnung der Zentralität.  $S$  ist die Anzahl der Startnodes (*Sources*),  $T$  die Anzahl der Zielnodes (*Targets*),  $\sigma(s, t)$  die Menge der kürzesten  $(s, t)$ -Pfade von Node  $s$  zu Node  $t$  und  $\sigma(s, t|v)$  die Menge der Pfade, die den Node  $v$  durchqueren. Wenn  $s=t$ , ist  $\sigma(s, t)=1$ , und wenn  $v \in s, t$ , ist  $\sigma(s, t|v)=0$  (Hagberg et al. 2019). Der hydraulisch morphologische Index der Diversität von Gostner und Schleiss (2012) sowie die hydraulischen Habitattypen nach Jowett (1993) ergänzen die Zentralitätsanalyse.



### 6.2.2.1 Hydraulisch Morphologischer Index der Diversität (HMID)

See- und Bachforellen bedürfen für die Entwicklung unterschiedliche Habitate. Das Angebot an Habitat wird nebst der Wandertiefe auch von der Abflussmenge bestimmt, die darüber hinaus einen grossen Einfluss auf das Nahrungsangebot hat. Ein Verfahren zur quantitativen Charakterisierung von Habitaten beinhaltet der hydraulisch-morphologische Index der Diversität (HMID) (Gostner und Schleiss 2012). Der HMID wird anhand des Variationskoeffizienten der hydraulischen Grössen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe berechnet, die nachweislich die Strukturvielfalt der aquatischen Lebensräume eines Fließgewässerabschnittes charakterisieren und den Zusammenhang zwischen den physikalischen Parametern und der Biodiversität herstellen. Der HMID reagiert sensitiv auf verschiedene Abflüsse und somit verschieden benetzte Breiten (Gostner et al. 2013).

Um die Vielfalt zu beschreiben, wird die Standardabweichung  $\sigma$  genutzt. Ihre Gewichtung steht im Zusammenhang mit dem Mittelwert  $\mu$  und wird mithilfe des Variationskoeffizienten  $c_v = \sigma/\mu$  dargestellt. Die Vielfalt  $V(i)$  einer individuellen hydraulischen Komponente berechnet sich auf folgende Weise (Schleiss 2005):

$$V(i) = \left(1 + \frac{\sigma_i}{\mu_i}\right)^2 \quad (2)$$

Für einen Abschnitt berechnet sich der HMID durch die Multiplikation der Teilvielfältigkeitsindizes aus obenstehender Formel für Wassertiefe  $t$  und Fliessgeschwindigkeit  $v$ :

$$HMID_{Abschnitt} = \prod_i V(i) = V(t) \times V(v) = \left(1 + \frac{\sigma_t}{\mu_t}\right)^2 \times \left(1 + \frac{\sigma_v}{\mu_v}\right)^2 \quad (3)$$

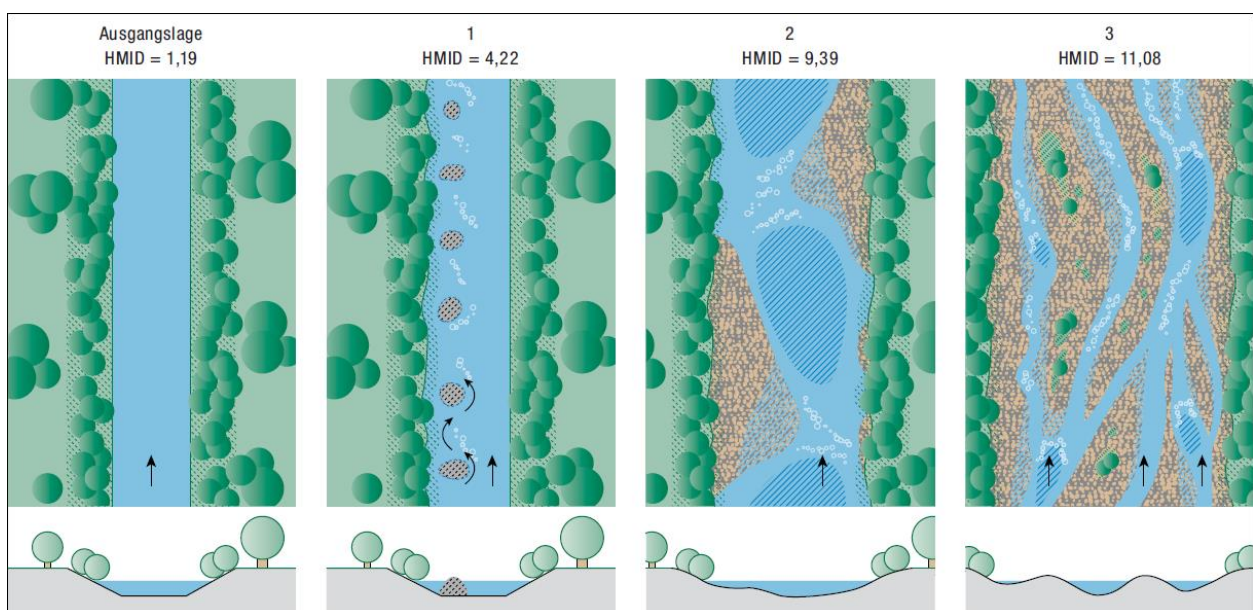


Abbildung 16: Skizze mit verschiedenen Morphologietypen und Angaben des erreichten HMID als Referenzwerte. Illustration nach Walter Gostner (Gostner und Schleiss 2012)

### 6.2.2.2 Hydraulische Habitattypen nach Jowett (1993)

Studien konnten zeigen, dass Fische vorwiegend in der Nacht wandern und sich tagsüber in einem Unterstand ausruhen. Daher sind Unterstände und weitere zweckentsprechende Ruhehabitate (z.B. tiefe Kolke) von grosser Relevanz (Dönni et al. 2016). Jede Flussmorphologie weist eine spezifische Anatomie verschiedener hydraulischer Habitattypen auf, die sich aus einer Reihe von Pools (Becken), Riffeln (Riffle) und Läufen (Runs) zusammensetzt (vgl. Abbildung 17). Als Pools werden Becken von grosser Fliesstiefe und kleiner Fliessgeschwindigkeit definiert. Unter Riffeln versteht man Bereiche mit gebrochener Wasseroberfläche von grosser Fliessgeschwindigkeit und geringer Fliesstiefe. Die Bereiche zwischen Pools und Riffeln werden als Runs bezeichnet, deren Wasseroberfläche ist jedoch nicht aufgebrochen (Jowett 1993).

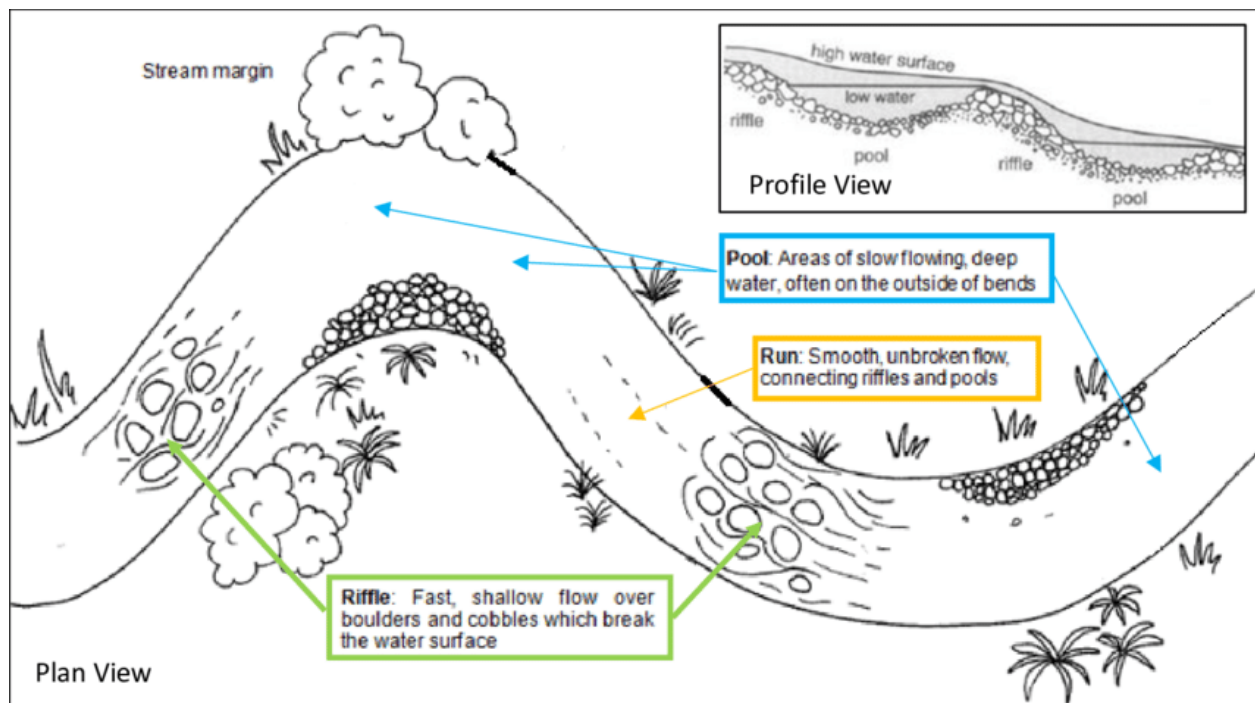


Abbildung 17: Schematische Darstellung von Elementen einer Flussstrecke: Pool, Riffle und Run (Fuller 2018)

In seinen Untersuchungen zu Kiesflüssen in Australien versuchte Jowett (1993) Unterschiede zwischen hydraulischen Habitattypen anhand der Froudezahl (Gleichung ( 4 )) und dem Verhältnis der Fliessgeschwindigkeit gegenüber der Fliesstiefe zu kontrastieren. Dadurch wird die objektive Klassifikation aufgrund einfach messbarer Grössen ermöglicht. Rund 65% der Habitate können laut Jowett (1993) mit folgender Klassifizierung korrekt prognostiziert werden:

- Pool:  $Fr < 0.18$ , Fliessgeschwindigkeit/Fliesstiefe  $< 1.24$
- Riffle:  $Fr > 0.42$ , Fliessgeschwindigkeit/Fliesstiefe  $< 3.2$
- Run: Dazwischen

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h}} \quad (4)$$

## 7 Literaturverzeichnis

- Dönni, W., Boller, L., & Zaugg, C. (2016). Mindestwassertiefen für See- und Bachforellen – Biologische Grundlagen und Empfehlungen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt.
- Freeman, L. C. (1977). A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35–41. <https://doi.org/10.2307/3033543>
- Fuller, J. (2018). *Defining Ordinary and Natural Conditions for State Navigability Determinations*.
- Gostner, W., Alp, M., Schleiss, A. J., & Robinson, C. T. (2013). The hydro-morphological index of diversity: a tool for describing habitat heterogeneity in river engineering projects. *Hydrobiologia*, 712(1), 43–60. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1288-5>
- Gostner, W., & Schleiss, A. J. (2012). *Index für hydro-morphologische Diversität*. In: *Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie*. BAFU, Bern. Merkblatt 3.
- Hagberg, A., Schult, D., & Swart, P. (2019). NetworkX Reference, 772.
- Jin Y. Yen (1971). "Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network", *Management Science*, Vol. 17, No. 11, Theory Series, pp. 712-716.
- Jowett, I. G. (1993). A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 27(2), 241–248. <https://doi.org/10.1080/00288330.1993.9516563>
- Schleiss, A. J. (2005). *Flussbauliche Hochwasserschutzmassnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulischmorphologischen Vielfältigkeitsindexes*. *Wasser Energie Luft*: 7/8 2005, 195–199.