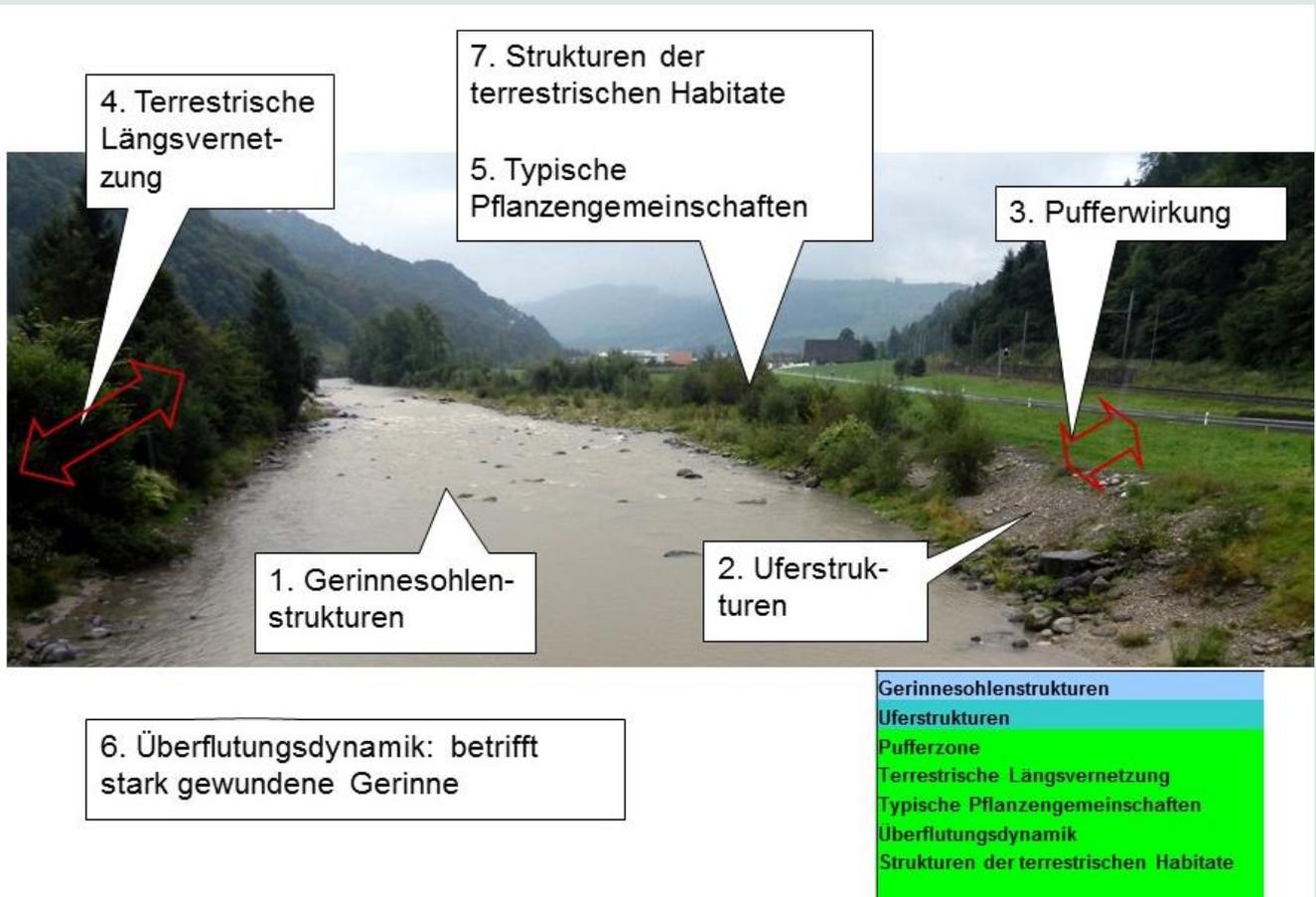


# Gewässerraum für grosse Fließgewässer in der Schweiz

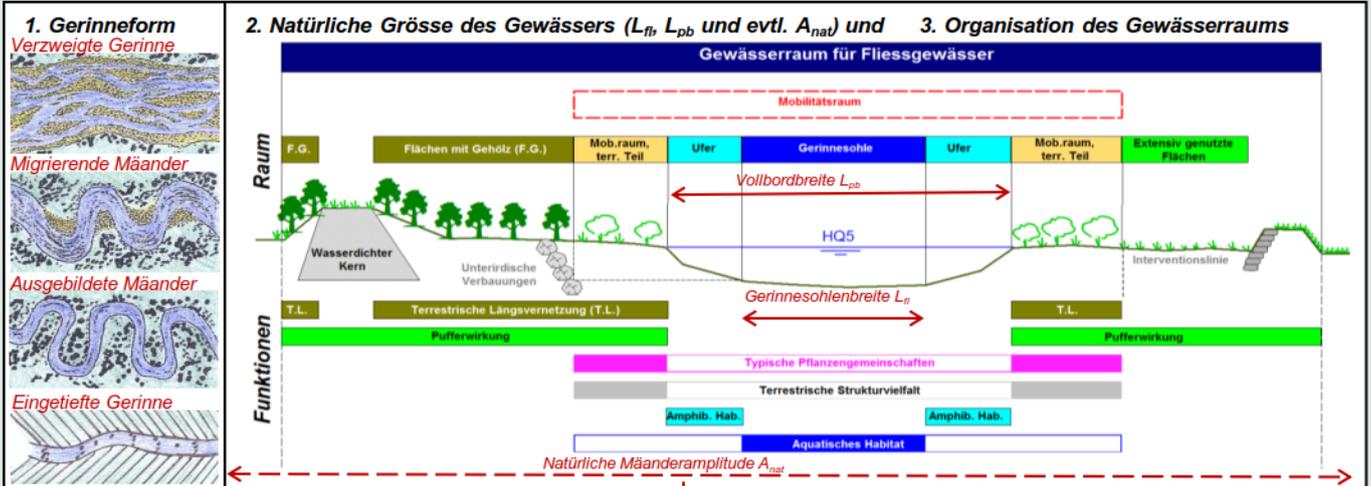
## Manual zum Webtool



Stand Februar 2020

Autoren: Tamara Ghilardi und Christian Roulier

# GEWÄSSERRAUM FÜR GROSSE FLIESSGEWÄSSER



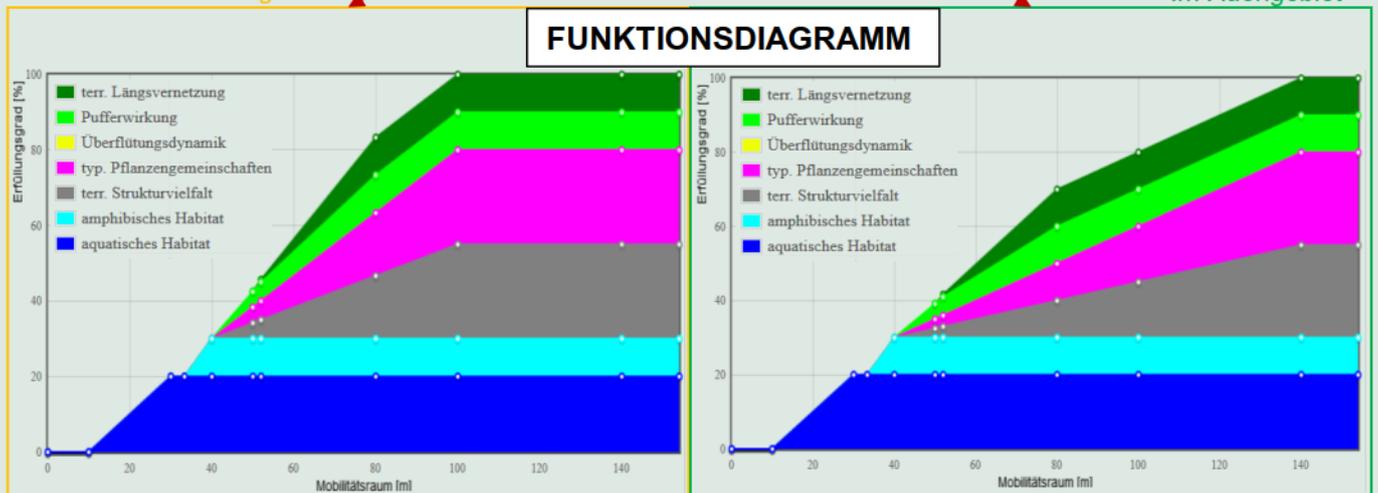
**4. Bestimmung des Raumbedarfs des Fließgewässers (Erfüllung der ökologischen Funktionen)**

Ausserhalb des Auengebiets

Auengebiet

Verzweigte Gerinne,  $L_{tr} = 30$  m,  $L_{pb} = 40$  m

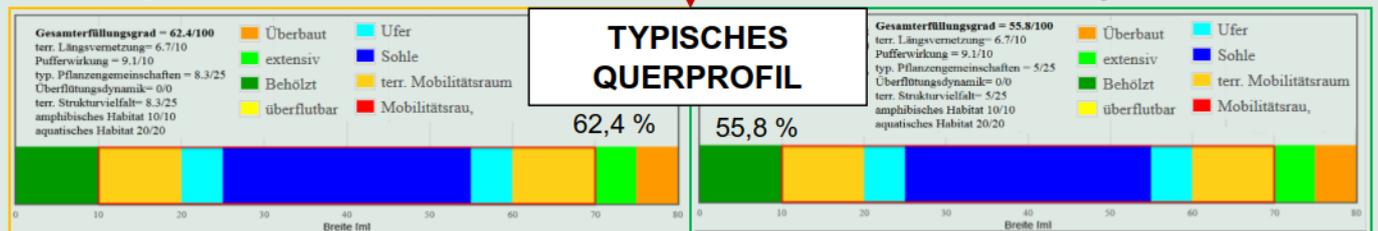
Im Auengebiet



**5. Prüfung der Auswirkungen verschiedener Breiten mit oder ohne Befestigung sowie verschiedener Bodennutzungen**

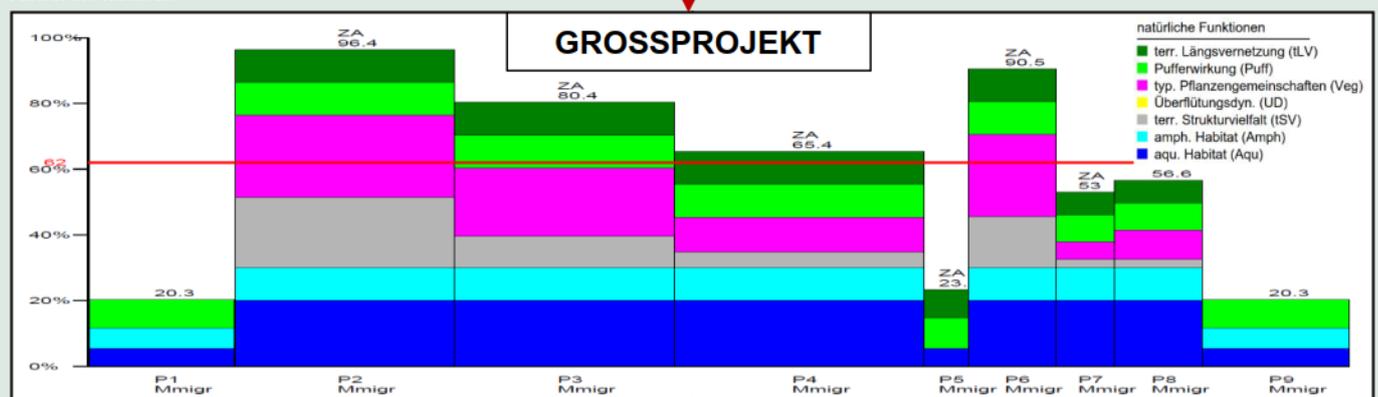
Nutzung des Raums

Verzweigte Gerinne,  $L_{tr} = 30$  m,  $L_{pb} = 40$  m, Mobilitätsraum = 60 m, Gehölzstreifen links = 10 m, extensive Nutzung rechts = 5 m, überbaut rechts = 5 m



**6. Berechnung der Leistung einer Abfolge von typischen Querprofilen (Grossprojekt), wobei Gerinnetypen, Grösse und Räume variieren können**

Abfolge verschiedener typischer Querprofile



Dieses **Manual** zeigt wie das **Webtool** zur Berechnung des erforderlichen Gewässerraums für grosse Fliessgewässer mit natürlicher Gerinnesohlenbreite über 15 m zu bedienen ist. Das **Tool** basiert auf der Methode, die im Bericht «Gewässerraum für grosse Fliessgewässer in der Schweiz» (Paccaud, Ghilardi, Roulier und Hunzinger 2019) beschrieben wird. Der **Bericht** und das **Webtool** kann unter <http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/accueil-espace-ce-de.html> abgerufen werden.

---

## Einleitung

Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) verlangt von den Kantonen, dass sie den Raumbedarf der oberirdischen Fliessgewässer festlegen, der für die Gewährleistung der natürlichen Funktionen erforderlich ist (Art. 36a GSchG). Artikel 41a der Gewässerschutzverordnung (GSchV) spezifiziert den Raumbedarf für Fliessgewässer mit einer Breite von bis zu 15 m. Der Bericht von Paccaud et al. (2019) stellt eine Methode zur Bestimmung des «Gewässerraums für grosse Fliessgewässer in der Schweiz» vor. Die natürlichen Funktionen eines Fliessgewässers, sowie dessen Raumbedarf werden anhand der Grösse und der Gerinneformen des Fliessgewässers ermittelt. Insgesamt werden 7 natürliche Funktionen, zudem die Kenngrössen des Fliessgewässers und ihre Einflussfaktoren bestimmt. Das **Webtool** geht zur Anwendung der Methode schrittweise vor.

Folgende Funktionen hängen von der Grösse und dem Mobilitätsraum des Fliessgewässers ab:

- die Funktionen des aquatischen Habitats
- die terrestrischen Strukturen
- die Entwicklung von typischen Pflanzengemeinschaften

Folgende Funktionen hängen von der Grösse des Fliessgewässers ab, können aber auch ausserhalb des Mobilitätsraums erfüllt werden:

- Überflutungsdynamik
- die Funktionen des amphibischen Habitats

Folgende Abmessungen des Fliessgewässers üben einen Einfluss auf diese Funktionen aus:

- natürliche Gerinnesohlenbreite  $L_{fl}$
- natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss  $L_{pb}$  (Wasserspiegelbreite für  $HQ_2$  bis  $HQ_5$ )
- Mäanderamplitude  $A_{nat}$  für mäandrierende Gerinne

Folgende Funktionen sind unabhängig von der Grösse und dem Mobilitätsraum des Fliessgewässers:

- Funktion der Pufferzone
- terrestrische Längsvernetzung

Im Webtool stehen dem Nutzer 3 unterschiedliche Anwendungen zur Verfügung:

- Bestimmung des Funktionsdiagramms in Abhängigkeit des Mobilitätsraums
- Bewertung eines typischen Querprofils
- Beurteilung einer Reihe von mehreren typischen Querprofilen (Grossprojekt)

Nachfolgend werden die Anwendungsschritte der Methode in der entsprechenden Reihenfolge beschrieben:

1. Bestimmung der Gerinneform
2. Bestimmung der natürlichen Abmessungen des Fliessgewässers
3. Abgrenzung und Organisation des Gewässerraums
4. Erstellung des Funktionsdiagramms in Abhängigkeit zum Mobilitätsraum
5. Bewertung eines typischen Querprofils
6. Beurteilung eines Grossprojekts

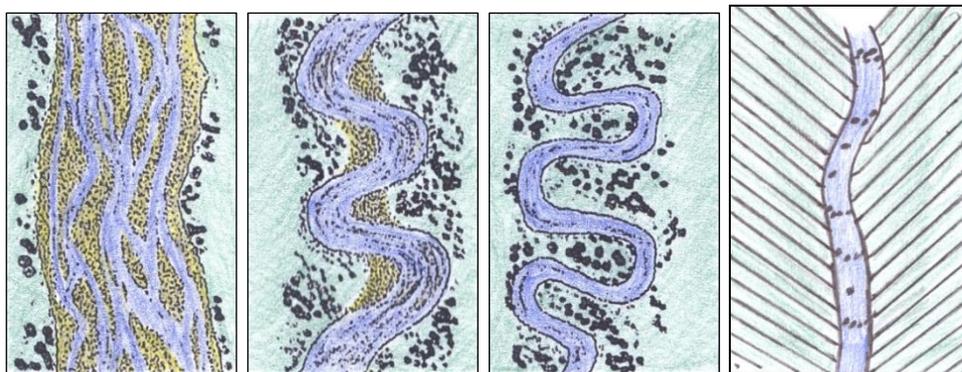
Es werden ausserdem einige Hinweise zur Nutzung des Tools abgegeben. Am Schluss wird ein Anwendungsbeispiel für die Methode vorgestellt.

## **1 Bestimmung der Gerinneform**

---

Der Raumbedarf des Fliessgewässers hängt von der Gerinneform ab. Folgende Gerinneformen wurden fürs Webtool gewählt (Abbildung 1):

- Verzweigte Gerinne: mehrere Teilgerinne; hohe Geschiebefracht.
- Migrierende Mäander: mäandrierendes Flussbett mit Kiesbänken, mässige Geschiebefracht.
- Ausgebildete Mäander: stark mäandrierendes Flussbett ohne Kiesbänke, geringe Geschiebefracht.
- Gestreckte Gerinne (Wildbäche) und eingetieftete Gerinne (Talböden, Schluchten): Fliessgewässer, deren Breite häufig durch die Breite des Tals vorgegeben wird.



**Abbildung 1. Gerinneformen. Von links nach rechts: verzweigte Gerinne, migrierende Mäander, ausgebildete Mäander, eingetieftes Gerinne (basierend auf Rosgen 1994).**

Die natürliche Morphologie (Gerinneform) der mittleren und grossen Schweizer Fliessgewässer kann häufig historischen Karten entnommen werden. Alternativ erlauben es Methoden wie diejenige von Yalin und da Silva (2001), den Gerinneform des Gewässers in Abhängigkeit des bettbildenden Abflusses ( $HQ_2$ – $HQ_5$ ) und der Korngrösse zu bestimmen.

**ZUR BEACHTUNG:** Es gibt viele unterschiedliche Methoden zur hydraulischen Ermittlung der natürlichen Gerinnesohlenbreite. Sie sind Abschätzungen, basieren teilweise auf Annahmen und reagieren sehr sensibel auf die Grösse der massgebenden Parameter und entsprechend sind die Ergebnisse dieser Formeln mit Vorsicht zu bewerten. Sie können mit grossen Unsicherheiten verbunden sein. Hier wird die Methode von Yalin und da Silva (2001) verwendet; die Ergebnisse stellen aber nur eine mögliche Variante der Gerinnesohlenbreite dar und sind exemplarisch anzusehen. **Die eigentliche Herleitung der natürlichen Gerinnesohlenbreite sollte gemäss Fachgutachten Gewässerraum grosse Fliessgewässer (BAFU 2019) erfolgen.**

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der natürlichen Gerinnesohlenbreite und dem Geschiebehaushalt (Vollzugshilfe BAFU in Vorb. [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/uv-umwelt-vollzug/geschiebehaushalt\\_massnahmen.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/uv-umwelt-vollzug/geschiebehaushalt_massnahmen.pdf)).

## **2 Natürliche Grösse des Fliessgewässers**

Der Raumbedarf des Fliessgewässers hängt auch von seinen natürlichen Dimensionen ab.

Folgende Abmessungen sind zu bestimmen:

- Die natürliche Gerinnesohlenbreite  $L_{fl}$
- Die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss  $L_{pb}$  (Wasserspiegelbreite für  $HQ_2$  bis  $HQ_5$ )

- Die natürliche Mäanderamplitude  $A_{nat}$  (nur für mäandrierende Gerinne). Dieser Wert kann aus historischen Karten abgeleitet werden oder indem ein Wert von 6 bis  $10 \times L_{pb}$  angenommen wird.

Es existieren mehrere Methoden, um die natürliche Gerinnesohlenbreite ( $L_{fl}$ ) zu bestimmen. Als verlässlichste Methoden empfehlen wir historisch basierte Methoden (Kartenwerke, Fotos, andere historische Dokumente, Referenzstrecken oder Terrainanalysen, empirische Formeln) zur Herleitung der natürlichen Gerinnesohlenbreite. Eine Abhandlung der unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung der natürlichen Sohlenbreite mit Erläuterung der Unsicherheiten und Anwendungsbeispielen findet sich im Dokument «Ermittlung der natürlichen Sohlenbreite an grossen Fließgewässern» (BAFU, Entwurf, November 2019).

Nach der Bestimmung der natürlichen Gerinnesohlenbreite ist die Berechnung der Gerinnebreite bei Vollbordabfluss (Wasserspiegelbreite bei Bettbildendem Abfluss) notwendig, um die vorliegende Methode anzuwenden. Die Beziehung der beiden Grössen kann über die folgende Formel definiert werden:

$$L_{fl} = L_{pb} * \left(1 - \frac{2}{r * m}\right)$$

$m$  bedeutet Neigung der Ufer und  $r$  ist das Verhältnis Breite/Tiefe des Gerinnes, abhängig von der Gerinneform

Bei Paccaud et al. (2020) muss für die Berechnung von  $L_{pb}$  und  $L_{fl}$  ein Verhältnis Breite/Abflusstiefe  $r$  ermittelt werden. Dieses Verhältnis hängt von der Gerinnetyp des Gewässers ab (verzweigte Gerinne:  $>40$ ; schwach mäandrierende Gerinne:  $>12$ , normalerweise 20–30; stark mäandrierende Gerinne:  $<12$ , normalerweise 5–8; eingetiefte Gerinne: variabel).

Im Durchschnitt entspricht die Neigung der natürlichen Böschungen  $m$  einem Verhältnis von 1:3.

### **3 Organisation des Gewässerraums**

Nachdem die natürlichen Merkmale des Gewässers ermittelt wurden (Kapitel 1 und 2), müssen die Grenzen des Gewässerraums bestimmt werden. Die natürlichen Gewässerfunktionen, die sich auf die Diversität der Habitate (aquatisches Habitat, terrestrische Strukturvielfalt und typische Pflanzengemeinschaften) beziehen, können nur in einem nicht durch Uferbefestigungen geschützten Raum erfüllt werden (Mobilitätsraum  $E_{mob}$ ), während die anderen Funktionen (amphibisches Habitat, Überflutungsdynamik, Pufferwirkung und terrestrische Längs- vernetzung) unter bestimmten Bedingungen auch in vom Menschen veränderten Räumen erfüllt werden können.

Folgende Räume müssen daher ermittelt werden (Abbildung 2):

- **Mobilitätsraum:**  $E_{mob}$ ; der Raum, in dem das Gewässer und die

angrenzenden Habitate sich natürlich, ohne bauliche Beeinträchtigungen entwickeln können. Der aquatische Raum und die Sohle sind innerhalb des Mobilitätsraums nicht befestigt. Dies ist der Raum, in dem alle ökologischen Gewässerfunktionen erfüllt werden können.

- **Breite des amphibischen Raums** (pro Ufer, falls  $E_{mob} < L_{pb}$ ): Raum zwischen  $E_{mob}$  und  $L_{pb}$ , der befestigt ist (kann die Funktionen des amphibischen Habitats erfüllen). Die Funktionen des amphibischen Raums können vollständig oder teilweise von Uferbefestigungen übernommen werden, sofern sie eine strukturelle Vielfalt, eine Pflanzendecke und eine mittlere Neigung von 1:3 aufweisen.
- **Breite des überflutbaren Raums** (pro Ufer): bei stark mäandrierenden Gerinnen, die (vom Menschen veränderten) Räume, die mindestens alle 2 Jahre einmal überflutet werden (kann die Funktion der Überflutungsdynamik übernehmen).
- **Flächen mit Gehölz** (pro Ufer): Gehölzstreifen, die an das Gewässer grenzen, können die Funktionen der terrestrischen Längsvernetzung und der Pufferwirkung übernehmen.
- **Extensiv genutzte Flächen** (pro Ufer): extensiv genutzte Streifen nach GSchV (extensiv genutzte Landwirtschaftsflächen wie Streueflächen, Hecken, Feld- und Ufergehölze, Uferwiese entlang von Fließgewässern, extensive Wiesen, extensive oder bestockte Weiden), die zwischen der Interventionsgrenze (Uferstabilisierung oder Schnitt) und der äusseren Gewässerraumgrenze liegen (können als Pufferwirkung angerechnet werden, max. 20 m pro Ufer).
- **Überbaute Flächen** (pro Ufer): jegliche nicht begrünte oder versiegelte Fläche kann als überbaute Fläche betrachtet werden. Unter gewissen Bedingungen dürfen sie im Gewässerraum vorhanden sein, aber diese Flächen erfüllen keine natürlichen Funktionen.

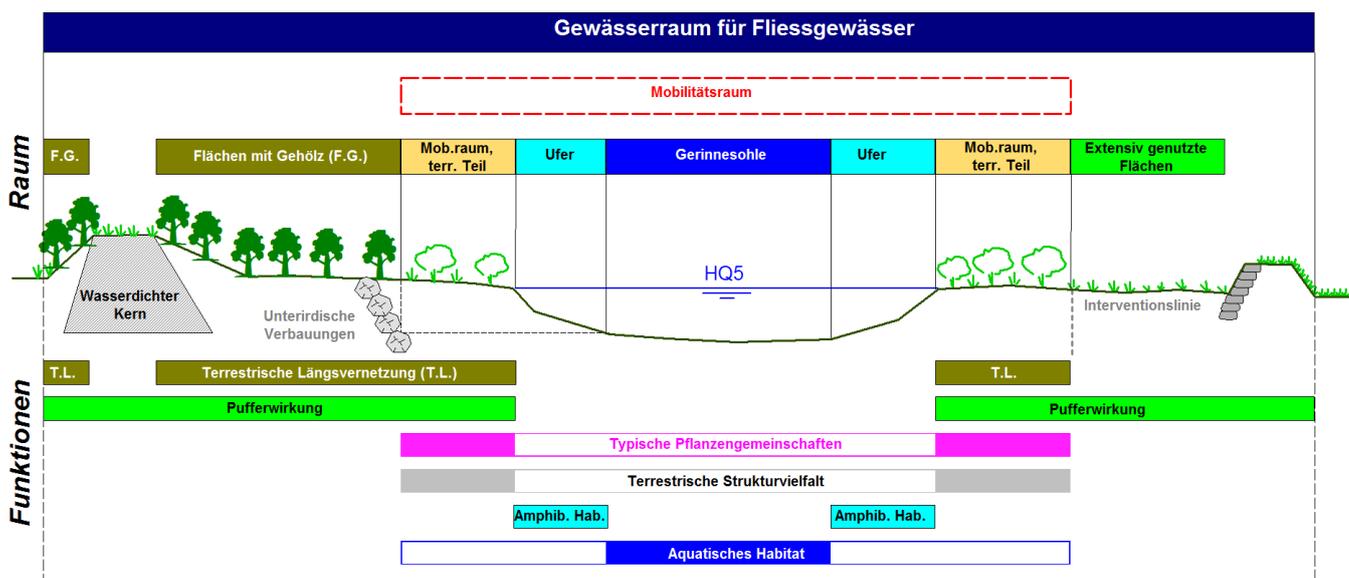


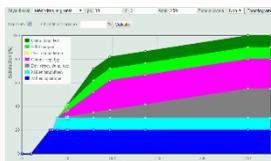
Abbildung 2. Habitate und Funktionen des Gewässerraums.

## ANFORDERUNG IN AUENGEBIETEN

Für Fliessgewässer mit einer Gerinnesohle von bis zu 15 m natürlicher Breite fordert die GschV grössere Gewässerräumlichkeiten, wenn das Gewässer ein Schutzgebiet von nationaler oder kantonaler Bedeutung durchfliesst (Art. 41a GSchV). Diese Unterscheidung gilt grundsätzlich ebenfalls für die grossen Fliessgewässer.

Die Erfüllung der natürlichen Funktionen (ausserhalb von Schutzgebieten) zielen nur auf die Bildung von Weichholzaunen ab, die einen vergleichsweise geringeren Raumbedarf haben. Bei den **Auengebieten oder in Abschnitten, in denen ein Pendelband erzielt werden soll**, müssen auch die Raumanforderungen der Hartholzaunen erfüllt werden, da die Wiederherstellung des gesamten Auensystems angestrebt wird. Dieses Ziel verändert die Erfüllungskurven der Funktionen «Entwicklung von typischen Pflanzengemeinschaften» (100 % bei  $E_{mob} = 3,5 \times L_{pb}$  vs. 100 % bei  $E_{mob} = 2,5 \times L_{pb}$  ausserhalb des Biotops) sowie «terrestrische Strukturen» (für verzweigte Gerinne: 100 % bei  $E_{mob} = 3,5 \times L_{pb}$  vs. 100 % bei  $E_{mob} = 2,5 \times L_{pb}$  ausserhalb des Biotops; für mäandrierende Gerinne: Das Maximum bleibt bei  $A_{nat}$ ).

## 4 Funktionsdiagramm



<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/fonctiogramme-de.html>

Das Funktionsdiagramm zeigt den Erfüllungsgrad der verschiedenen natürlichen Funktionen eines Gewässers, in Abhängigkeit des Mobilitätsraums (Gewässerbreite zwischen zwei unbefestigten Ufern bzw. nicht befestigte Gewässerbreite). So kann der für die Erreichung eines gewissen Erfüllungsgrads der natürlichen Funktionen erforderliche Mobilitätsraum ermittelt werden.

Um ein Funktionsdiagramm eines Fliessgewässers zu erstellen, müssen folgende Parameter ermittelt werden (Abbildung 3):

- Gerinneform
- Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss
- Natürliche Gerinnesohlenbreite
- Natürliche Mäanderamplitude (nur für mäandrierende Gerinne)
- Vorhandensein eines Auengebiets (höherer Raumbedarf)

Die Schaltfläche «Funktionsdiagramm» zeichnet die obere Kurve des Funktionsdiagramms für alle Funktionen. Mit der Option «Farben» können die Funktionen unterschieden werden. Auch kann der Mobilitätsraum berechnet werden, der für die Erreichung eines spezifischen ökologischen Ziels erforderlich ist (weisses Feld, danach auf «Rechnen» klicken).

## Übersicht der Kennzahlen des naturnahen Zustands

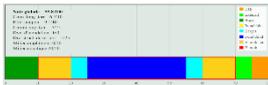
Bemerkung:  $Lfi < Lpb$  ( $< Anat$ ). Der Wert von Anat ist für die verzweigten und die geraden Gerinne nicht erforderlich.

Gerinnentyp :  Lpb:  Lfi:  Anat:  Aue :

Farben  ökologisches Ziel :  %

Abbildung 3. Erforderliche Kennzahlen für die Erstellung des Funktionsdiagramms.

## 5 Typisches Querprofil



<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/evaluation-de.html>

Mit dieser Anwendung kann ein bestehendes typisches Querprofil oder eine Gestaltungsvariante ausgewertet werden. Hierbei werden die Merkmale des Fliessgewässers, der dem Fliessgewässer zugewiesene Mobilitätsraum sowie die Breiten für die anderen Nutzungstypen des Gewässerraums (Kap. 3) festgelegt.

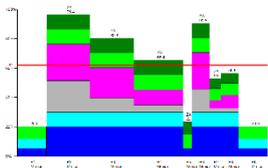
Gerinnentyp :  Lpb:  Lfi:  Anat:  Aue :

Mobilitätsraum:

Ufer links:	<input type="text"/>	Ufer rechts:	<input type="text"/>
Überflutbare Flächen links:	<input type="text"/>	Überflutbare Flächen rechts:	<input type="text"/>
Flächen mit Gehölz links:	<input type="text"/>	Flächen mit Gehölz rechts:	<input type="text"/>
Extensiv genutzte Flächen links:	<input type="text"/>	Extensiv genutzte Flächen rechts:	<input type="text"/>
Überbaute Flächen links:	<input type="text"/>	Überbaute Flächen rechts:	<input type="text"/>

Abbildung 4. Kennzahlen, die für die Berechnung des Erfüllungsgrads der Funktionen eines typischen Querprofils zu bestimmen sind. Angaben in Metern.

## 6 Grossprojekt



<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/grand-projet-de.html>

Mit dem Webtool können als dritte Anwendung die Gesamtergebnisse einer Folge von typischen Querprofilen ausgewertet werden. Um ein Grossprojekt zu beurteilen, muss im Vorfeld eine Abfolge von **homogenen Gewässerabschnitten** festgelegt werden. Für jeden Gewässerabschnitt müssen alle Kennzahlen nach Abbildung 4 in einer csv-Datei eingetragen werden, mit den Spalten in der unten dargestellten Reihenfolge. Als Trennzeichen für die Spaltenbildung ist ein Strichpunkt „;“ zu verwenden (Abbildung 5 und Abbildung 6). Auf der Website kann eine csv-Beispieldatei heruntergeladen werden. Anschliessend wird für das ganze Projekt eine gewichtete Durchschnittsnote berechnet.

## Bedeutung der Spalten in der csv-Datei

Alle Distanzen sind in Meter anzugeben. Die Reihenfolge der Spalten darf nicht verändert werden.

- NoTroncon: Nummer oder Name des Gewässerabschnitts
- Longueur: Länge des Gewässerabschnitts
- StyleF: Gerinnetyp des naturnahen Gewässers. Es ist wichtig, folgende Syntax zu verwenden: *Tresses* für verzweigte Gerinne, *Mmigr* für Migrierende Mäander, *Mdev* für Ausgebildete Mäander, *Crec* für gerade Gerinne und Gerinne in Schluchten.
- Lpb: Wasserspiegelbreite beim bettbildenden Abfluss (Vollbordbreite)
- Lfi: Natürliche Gewässersohlenbreite
- Anat: Mäanderamplitude (0 eingeben, falls kein Mäander)
- Emob: Mobilitätsraum
- EberG, EberD: Breite des aquatischen Raums, links und rechts
- EinondG, EinondD: Breite des überflutbaren Raums (Überschwemmungsgebiete) links und rechts, nur bei Ausgebildete Mäander
- EboisG, EboisD: Gehölzbreite, links und rechts
- EextG, EextD: Breite der extensiven Wiese, links und rechts
- EdurG, EdurD: Überbauter Raum (Parkplätze, Wege, usw.), links und rechts
- estZA: angeben, ob der Abschnitt in einem Auengebiet liegt ( ja=1 ; nein=0), rechtes und linkes Ufer zusammengenommen

csv-Datei öffnen:  Aucun fichier sélectionné.

Abbildung 5. Inhalt der für die Auswertung eines Projekts hochzuladenden csv-Datei.

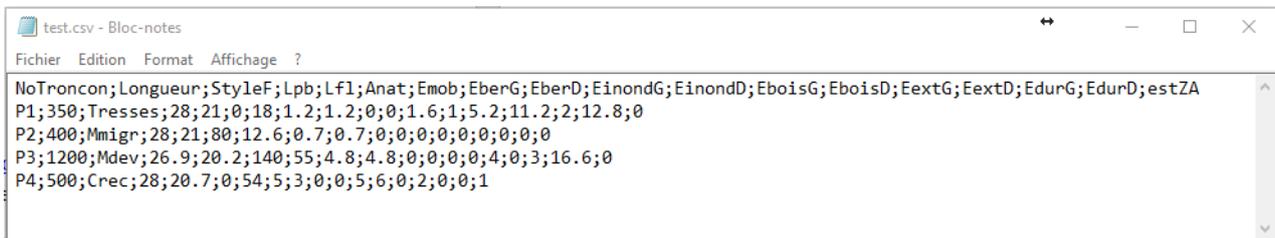


Abbildung 6. Für die Beurteilung des Projekts hochzuladende csv-Beispieldatei.

*Wichtiger Hinweis:* Manchmal enthält die csv-Datei am Ende der Datei eine oder mehrere «Leerzeilen». Dies geschieht hauptsächlich bei der Bearbeitung mit Excel. Für diese Anwendung ist es wichtig, dass die letzte Zeile ausgefüllt ist. Um zu überprüfen, ob Leerzeilen am Ende der Datei vorhanden sind, wird empfohlen, die Datei mit dem Microsoft-Editor zu öffnen, den Cursor ans Ende der Datei zu setzen und allfällige Leerzeilen zu löschen.

## 7 Empfehlungen

Weitere Anwendungsbeispiele des Webtools an Projekten (Fallbeispiele) werden im vollständigen Bericht «*Gewässerraum für grosse Fliessgewässer in der Schweiz*» (Paccaud et al. 2020) vorgestellt.

### ■ Enger Talboden

Der Gewässerraum kann lokal durch die Breite des Talbodens begrenzt werden, ohne dass es sich beim Gewässer um ein eingetieftes Gewässer handelt. Das ist der Fall, wenn die Talbodenbreite  $\geq 2 \times L_{pb}$ , aber  $< A_{nat}$ , für mäandrierende Gerinne, beträgt.

- Auengebiete

Bei den **Auengebieten oder in Abschnitten, in denen ein Pendelband erzielt werden soll**, müssen auch die Raumanforderungen der vorhandenen Strukturen in der Hartholzaue erfüllt werden, da die Wiederherstellung des gesamten Auensystems angestrebt wird.

Die Funktionen des amphibischen Raums können vollständig oder teilweise von Uferbefestigungen übernommen werden, die eine strukturelle Vielfalt sowie eine Pflanzendecke aufweisen. Es ist daher sinnvoll, die Fähigkeit der befestigten Böschungen, die Funktionen des amphibischen Habitats zu erfüllen, für jeden Fall einzeln zu prüfen. Das Webtool nimmt eine vollständige Erfüllung der amphibischen Funktionen durch vom Benutzer angegebenen Uferbefestigungen an

Bei Zweifeln bezüglich die Gerinneform des Gewässers (Übergangssituation) wird empfohlen, den Raum für beide Fälle zu berechnen und die realistischere Variante zu wählen.

**Das Webtool ist ein Hilfsinstrument für die Beurteilung von Projekten. Für die Erstellung einer vollständigen ökologischen Bilanz müssen jedoch auch andere Parameter einbezogen werden.**

## 8 Beispiel: die Broye

---

Zwischen Lucens und Granges-près-Marnand ist die Broye kanalisiert. Im mittleren Teil des Abschnitts befindet sich am linken Ufer ein Auengebiet von nationaler Bedeutung (Obj. 52 «Illes de Villeneuve», Kantone Freiburg und Waadt) mit einer Länge von 3,3 km. Am rechten Ufer gibt es an dieser Stelle keine Gehölzvegetation (Abbildung 7, links). Flussaufwärts und flussabwärts des Auengebiets ist an beiden Ufern keine Gehölzvegetation vorhanden (Abbildung 7, rechts). Die Ist-Breite der Gerinnesohle beträgt rund 16 m.

Eine Revitalisierung sieht eine Verbreiterung der Broye im Auengebiet vor. Die zusätzliche Breite, die dem Gewässer zur Verfügung gestellt werden kann, variiert je nach Breite des Waldes, die zwischen 40 und 200 m beträgt.



**Abbildung 7. Links: die Broye im Auengebiet, flussaufwärts gesehen. Rechts: die Broye ausserhalb des Auengebiets, flussaufwärts gesehen.**

Im Folgenden werden in der entsprechenden Reihenfolge alle für die Bestimmung des Gewässerraums sowie für die Beurteilung der Erfüllung der Gewässerfunktionen der gewählten Wasserbauvariante notwendigen Schritte vorgestellt.

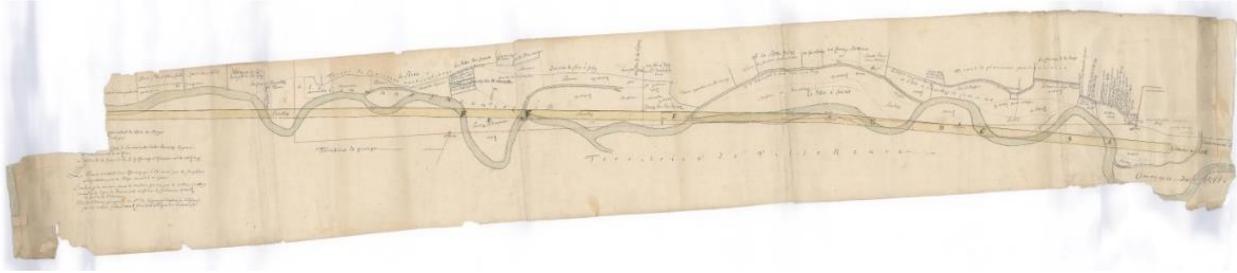
### 8.1 Bestimmung der natürlichen Gerinneform

---

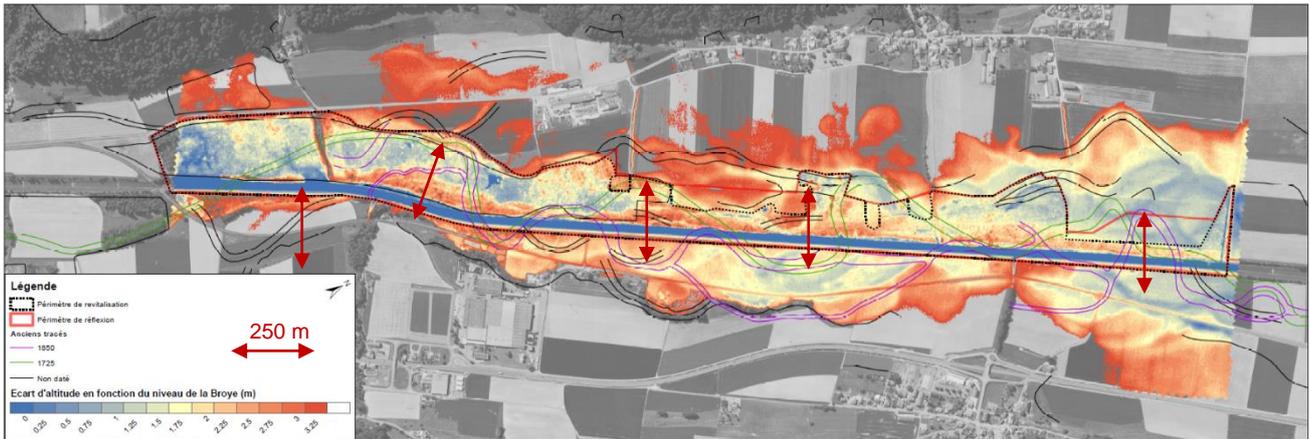
Die historischen Karten in den Gemeindefarchiven (Abbildung 8) sowie der Geologische Atlas der Schweiz und die alten, auf dem Gelände noch sichtbaren Verläufe (Abbildung 9) haben es erlaubt, die Gerinneform der Broye vor der Korrektur festzustellen. Es handelt sich um **migrierende Mäander** mit einer Mäanderamplitude von **250 m**. Die Gründe, weshalb diese Gerinneform gewählt wurde:

- Fehlende Zeichen für das Abschnüren von Mäandern (typisch für ausgebildete Mäander)
- Keine sehr grosse Sinuosität (vs. grössere Sinuosität bei ausgebildeten Mäandern)
- Mittleres Gefälle (vs. sehr schwaches Gefälle bei ausgebildeten Mäandern)

- Kein Vorkommen von mehreren Teilgerinnen (typisch für verzweigte Gerinne)



**Abbildung 8. Historischer Verlauf und korrigierter Verlauf – historische Karte aus dem Jahr 1850 (Quelle: Archive der Gemeinde Villeneuve).**



**Abbildung 9. Karte der historischen Verläufe der Broye, basierend auf: dem Geologischen Atlas der Schweiz, den Archiven von Villeneuve (FR), dem aktuellen DHM (Spuren alter Flussbetten). Rote Pfeile: verschiedene Orte, wo eine natürliche Mäanderamplitude von 250 m gemessen wurde.**

Die Gerinneform wurde zudem anhand des theoretischen Ansatzes von Yalin und da Silva (2001) bestimmt, mit dem die Regimebreite  $B$  (entspricht der Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss), die Regimewassertiefe ( $h$ ) sowie das Regimegefälle ermittelt werden. Mit den Werten  $B$  und  $h$  sowie dem Durchmesser der Sedimente  $D$  (Median  $d_{50}$  oder Mittelwert  $d_{65}$  verwenden) kann der Gerinneform auf der Basis der Grafik aus Abbildung 10 bestimmt werden. Für die Anwendung dieser Methode müssen der Abfluss ( $HQ_2$  bis  $HQ_5$ ) sowie die Korngrösse der Sedimente (Median oder Mittelwert des Sedimentdurchmessers, beide Werte sind zu prüfen) bekannt sein. Eine Sensitivitätsanalyse mit verschiedenen Wertepaaren ist erforderlich, um die Sensitivität der Parameter sowie die Grössenordnung der Resultate zu prüfen.

Bei diesem Ansatz gelangt man zum Schluss, dass es sich um ein Fliessgewässer des Übergangstyps «alternierende Bänke» handelt; Gerinneform ist ein migrierender Mäander.

Die natürliche Mäanderamplitude beträgt 6 bis  $10 \times L_{pb}$ . Gemäss dem Ansatz von Yalin und da Silva weist  $A_{nat}$  einen Wert zwischen 160,8 ( $26,8 \text{ m} \times 6$ ) und 491 m ( $49,1 \text{ m} \times 10$ ) auf, wobei diese als Extremwerte aufzufassen sind. Die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss

von 39 m wird im Verfahren verwendet (Kap. 8.2), was eine natürliche Mäanderamplitude von 234 bis 390 m impliziert. Der Wert  $A_{\text{nat}} = 250$  m, der auf historischen Karten gemessen wurde, wird so durch den theoretischen Ansatz bestätigt ( $\sim 6 \times L_{\text{pb}}$ ).

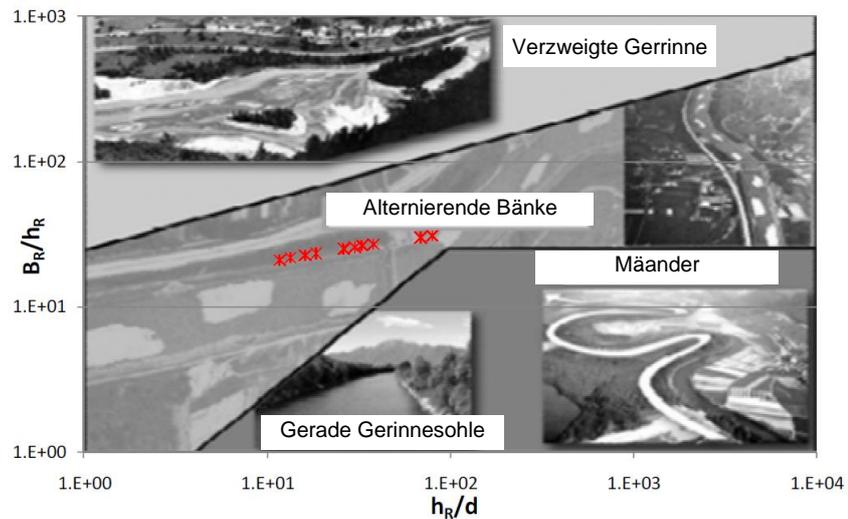


Abbildung 10. Gerinneform für mehrere Werte  $B_R/h_R$  und  $h_R/d$  (LCH 2010).

## 8.2 Natürliche Grösse des Gewässers

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, können einige Abmessungen bereits bei der Bestimmung der Gerinneform ermittelt werden. Es handelt sich hierbei insbesondere um die natürliche Mäanderamplitude ( $A_{\text{nat}} = 250$  m) sowie um die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss, falls der Ansatz von Yalin und da Silva (2001) zur Anwendung kommt.

Anschliessend wurden verschiedene empirische Formeln verwendet und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Schliesslich wurden die folgenden Werte für die Anwendung der Methode für die Bestimmung des Gewässerraums für grosse Fliessgewässer verwendet:

- $L_{\text{fl}} = 31$  m
- $L_{\text{pb}} = 39$  m
- $A_{\text{nat}} = 250$  m

## 8.3 Organisation des Gewässerraums

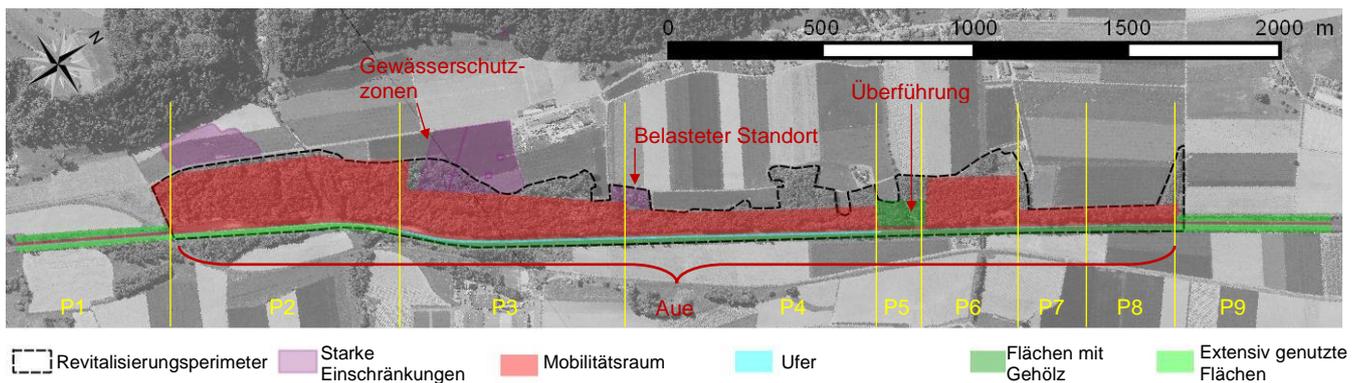
Die Organisation des Gewässerraums variiert pro Abschnitt je nach zur Verfügung stehendem Raum stark, insbesondere am linken Ufer (d. h. Breite des Auengebiets von nationaler Bedeutung). Abbildung 11 veranschaulicht die verschiedenen Kompartimente des Gewässerraums, und aus Tabelle 1 gehen die Abmessungen der Kompartimente der 9 ermittelten homogenen Gewässerabschnitte hervor. Die homogenen Gewässerabschnitte stellen eine Vereinfachung der Realität dar. Der

für das Projekt verantwortlichen Person obliegt es nun, den für das ausgewertete Projekt erforderlichen Genauigkeitsgrad festzulegen.

Im vorgestellten Fallbeispiel ist für das Gewässer am linken Ufer ein Mobilitätsraum mit variabler Breite vorhanden, innerhalb dessen sich die Broye verlagern könnte. Die Variabilität des Mobilitätsraums wurde für die Ermittlung der homogenen Abschnitte vereinfacht.

Am rechten Ufer wird die befestigte Böschung nach der Revitalisierung im grössten Teil des Perimeters bewaldet sein.

Beim Profil P5 befindet sich eine Fussgängerüberführung, welche die Mobilität der Broye stark einschränkt.



**Abbildung 11. Kompartimente des Raums sowie starke Einschränkungen, die den Mobilitätsraum begrenzen. Masstab: 1:25 000.**

NoTroncon	Longueur	StyleF	Lpb	Lfl	Anat	Emob	EberG	EberD	EinondG	EinondD	EboisG	EboisD	EextG	EextD	EdurG	EedurD	estZA
P1	500	Mmigr	39	31	250	16	3	3	0	0	0	0	16	16	0	0	0
P2	750	Mmigr	39	31	250	220		2				0		16			1
P3	750	Mmigr	39	31	250	120		2				16					1
P4	850	Mmigr	39	31	250	80		2				16					1
P5	150	Mmigr	39	31	250	16		2			90	16					1
P6	300	Mmigr	39	31	250	170		2				16					1
P7	200	Mmigr	39	31	250	60		2				16					1
P8	300	Mmigr	39	31	250	60		2				16					0
P9	500	Mmigr	39	31	250	16	3	3	0	0	0	0	16	16	0	0	0

**Tabelle 1. Parameter der 9 homogenen Projektabschnitte Für die Spaltenüberschriften siehe Abbildung 5. Angaben in Metern.**

**Bemerkungen:**

Für diese bildliche Darstellung wurde der Projektstand leicht verändert, insbesondere:

- Die Abschnitte P1 und P9 befinden sich ausserhalb des Projektbereichs für die Revitalisierung, werden aber in diesem Anwendungsbeispiel für die Methode mit verwendet, um den Unterschied des

Zustands des Gewässers je nach Ufervegetation und verfügbarem Raum aufzuzeigen.

- Abschnitt P8 wird für dieses Beispiel als «ausserhalb des Auengebiets liegend» ermittelt. Effektiv befindet sich aber dieser Abschnitt wie auch Abschnitt P7 im Auengebiet. Dieser Statusunterschied wurde eingeführt, um die Auswirkung der Option «Auengebiet» (höhere Raumanforderungen an die terrestrischen Habitate, damit sich auch Hartholzauen entwickeln) aufzuzeigen.

## **8.4 Funktionsdiagramm**

---

Im Rahmen dieses Projekts gibt es sowohl Abschnitte innerhalb (P2 bis P7) als auch ausserhalb des Auengebiets (P1, P8 und P9). Daher müssen für diesen Untersuchungsabschnitt zwei Funktionsdiagramme erstellt werden.

Im vorliegenden Fall ist  $A_{nat}$  (250 m)  $>$   $3,5L_{pb}$  (136,5 m). Folglich sind sowohl ausserhalb (Abbildung 12) als auch innerhalb des Auengebiets (Abbildung 13) sämtliche Funktionen bei einem Mobilitätsraum von 250 m zu 100 Prozent erfüllt.

Die zwei Funktionsdiagramme sind jedoch nicht identisch. Ausserhalb des Auengebiets ist der Erfüllungsgrad bei der Funktion der typischen Pflanzengemeinschaften bei 97,5 m vollständig gegeben ( $2,5 \times L_{pb}$ ) gegenüber 136,5 m ( $3,5 \times L_{pb}$ ) innerhalb des Auengebiets. Ausserhalb des Auengebiets wird bei einem Mobilitätsraum von 94 m ein Erfüllungsgrad der Gewässerfunktionen von 80 % erreicht, während innerhalb des Auengebiets ein solcher Erfüllungsgrad erst bei einem Mobilitätsraum von 119 m erreicht wird.

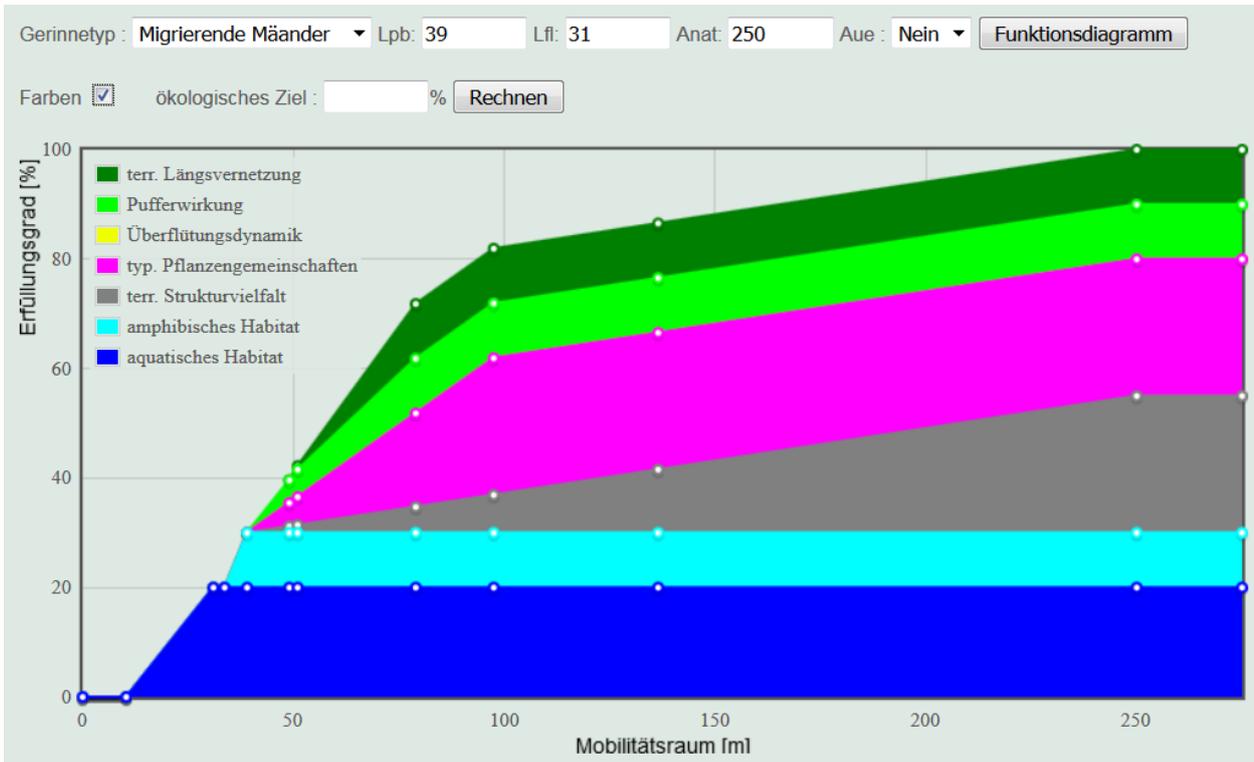


Abbildung 12. Funktionsdiagramm der Broye, Anforderungen ausserhalb des Auengebiets.

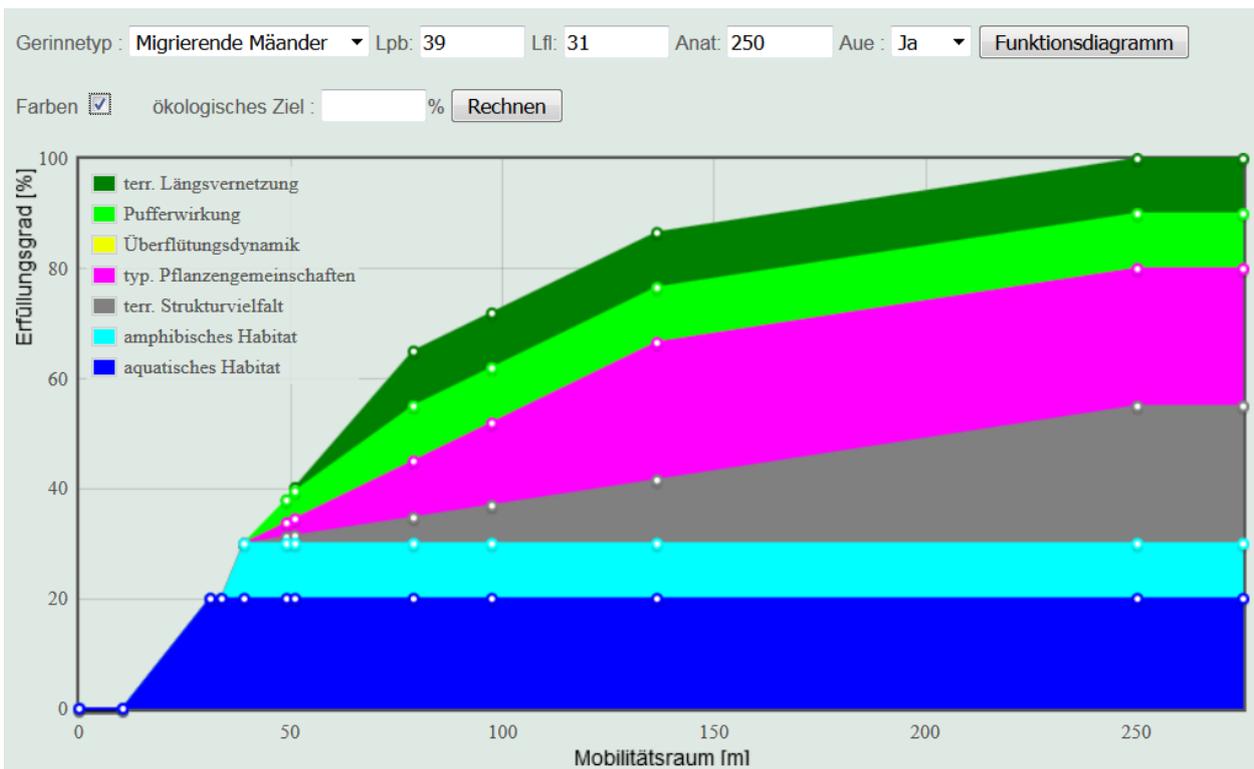


Abbildung 13. Funktionsdiagramm der Broye, Anforderungen innerhalb des Auengebiets.

## 8.5 Typisches Querprofil

---

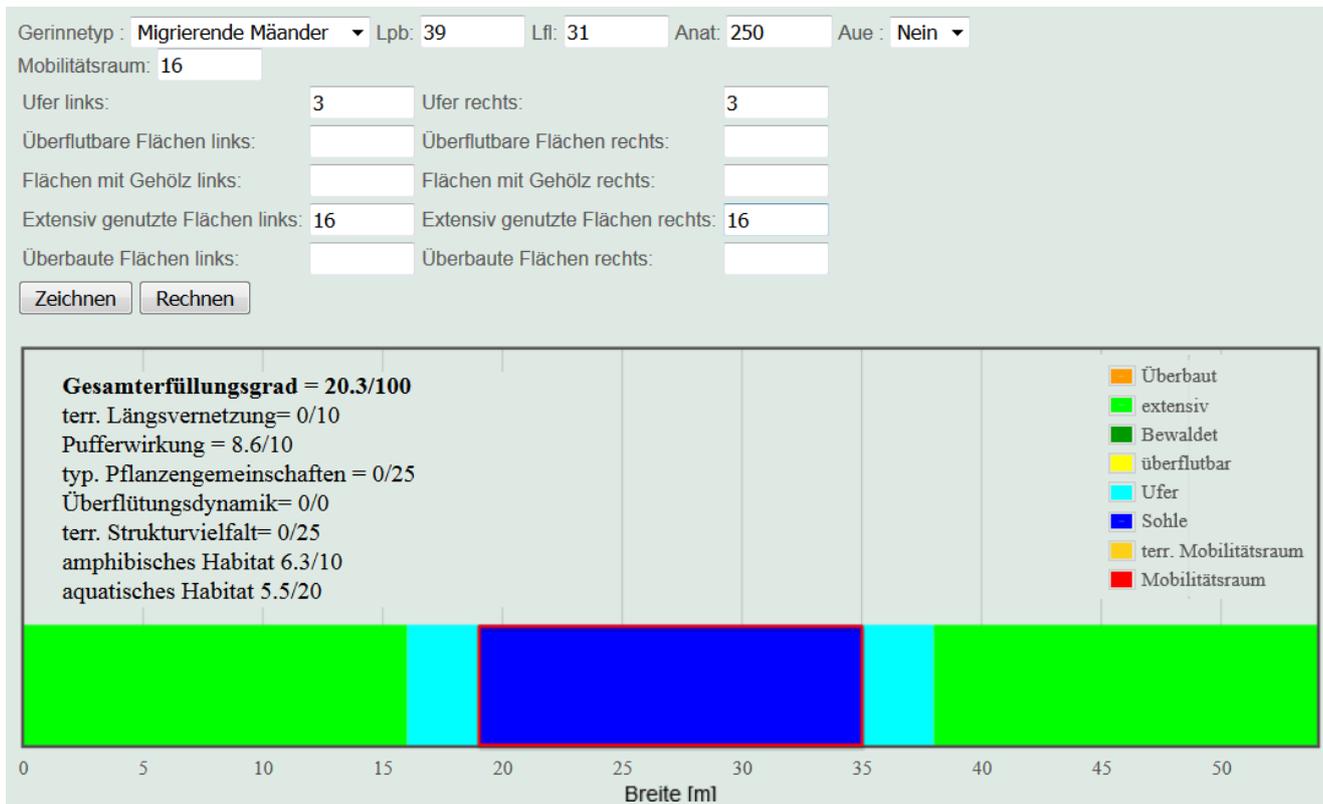
Basierend auf der Nutzung des Raums, die im Kapitel 8.2 (Abbildung 11 und Tabelle 1) vorgestellt wird, kann der Erfüllungsgrad der ökologischen Funktionen für jedes typische Querprofil berechnet werden.

Der Gewässerraum für Fliessgewässer flussaufwärts und flussabwärts des Projektbereichs ist sehr beschränkt und die Böschungen werden extensiv genutzt. Bei dieser Situation sind die ökologischen Funktionen nur zu 20,3 % erfüllt (Abbildung 14). Die oben auf der Böschung in Abständen angeordneten Bäume (vgl. Abbildung 7, rechts) fungieren nicht als Gehölzstreifen, der die terrestrische Längsvernetzung ermöglicht.

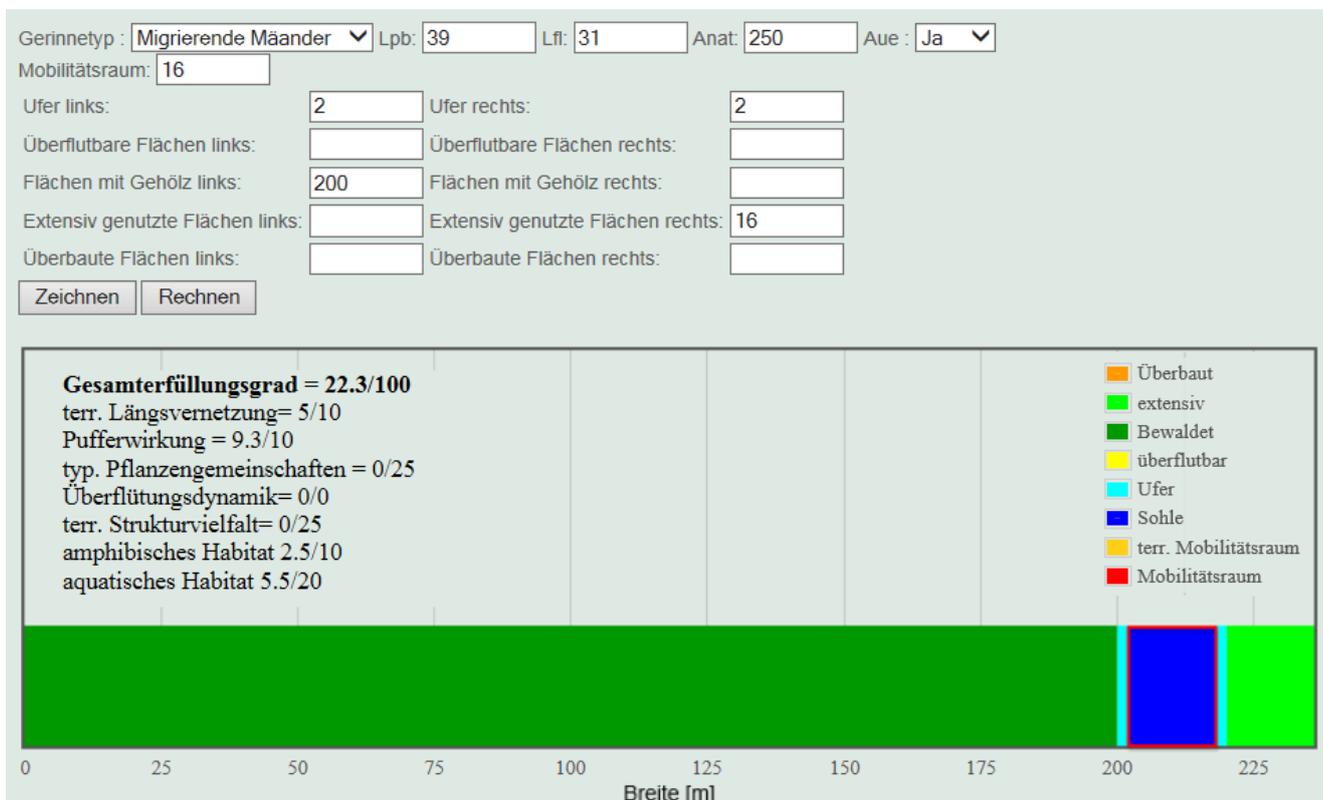
Im momentanen Zustand ist der Gehölzstreifen im Auengebiet sehr breit, doch dieser Raum steht nicht als Mobilitätsraum zur Verfügung, da die Böschung befestigt ist. So bleibt der Erfüllungsgrad des Profils sehr gering (22,3 %, kaum höher als oberhalb des Auengebiets; Abbildung 15).

Während der Revitalisierungsarbeiten werden die Befestigungen an der linken Böschung entfernt und der gesamte Auenwald des Profils P2 wird der Broje als Mobilitätsraum zur Verfügung stehen. So können nach der Revitalisierung 96 % der Funktionen des Fliessgewässers erfüllt werden (Abbildung 16).

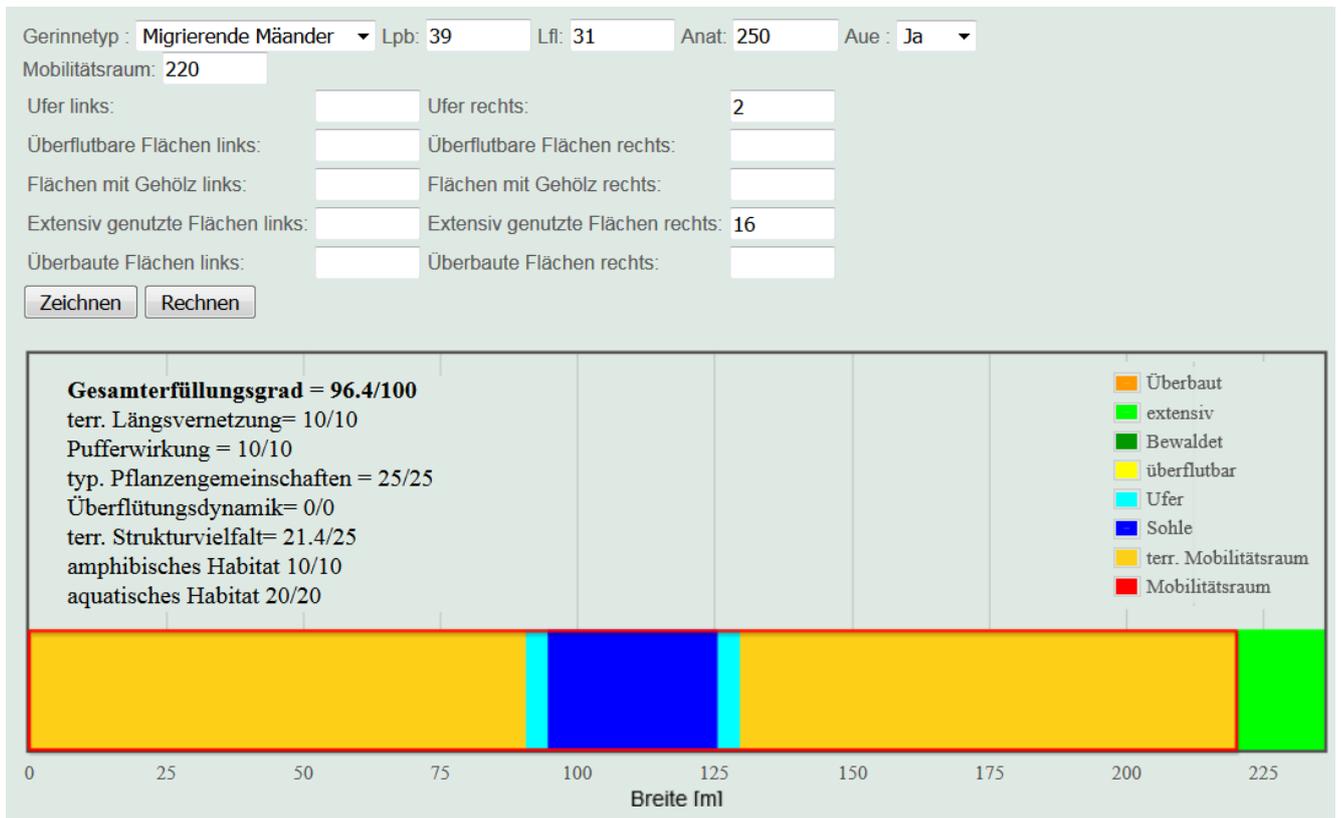
Im Teil mit einem schmalen Waldstreifen, im Bereich unterhalb des Revitalisierungsprojekts (Profil P7), ist der Erfüllungsgrad der Funktionen weniger hoch, erreicht aber dank einem Mobilitätsraum von 60 m immerhin einen Wert von 53 % (Abbildung 17). An dieser Stelle wird das rechte Ufer auf einer Breite von 16 m bewaldet sein. So kann der Erfüllungsgrad der Pufferfunktion sowie der Funktion der terrestrischen Längsvernetzung verbessert werden, da  $E_{mob} < L_{pb} + 40$  m (ein Gehölzstreifen von 20 m pro Böschung ist notwendig, um die Funktionen der Pufferzone sowie der terrestrischen Längsvernetzung vollständig zu erfüllen).



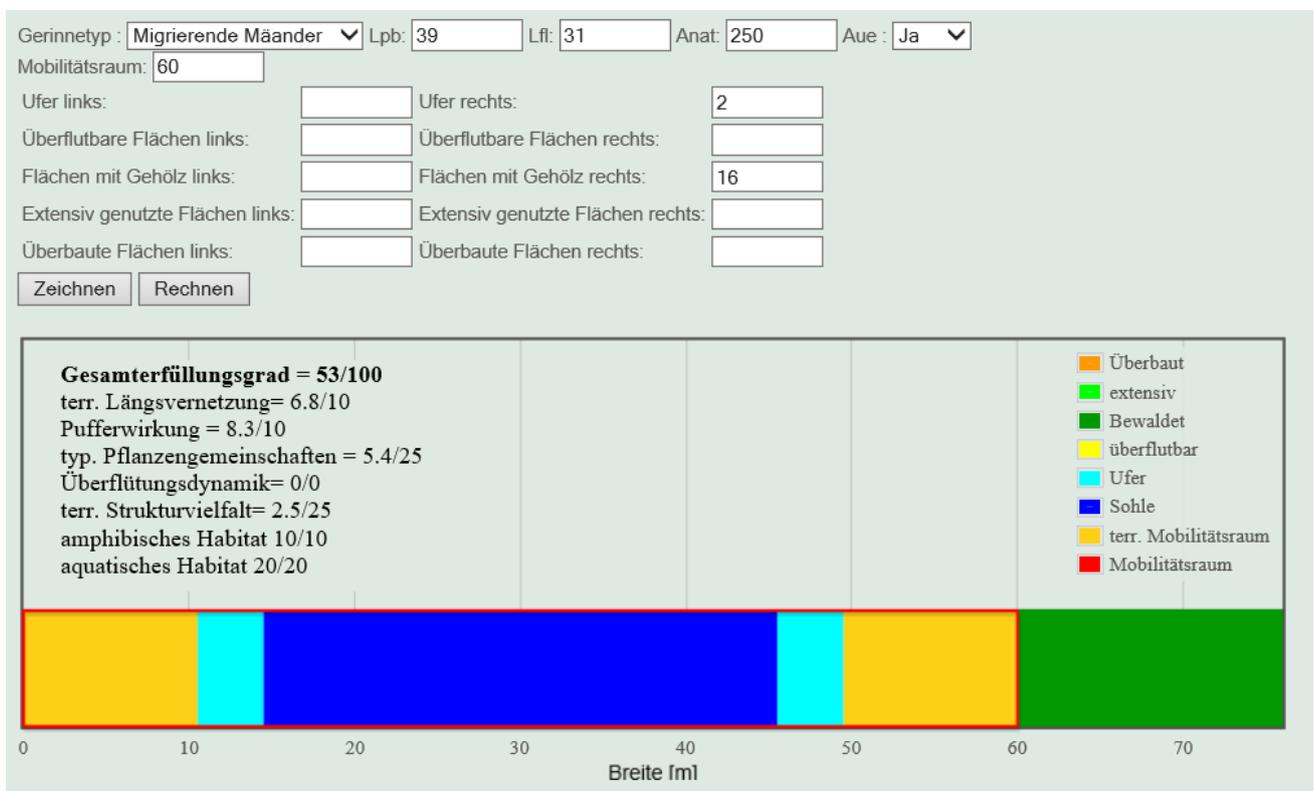
**Abbildung 14. Auswertung des typisches Querprofils flussaufwärts des zu revitalisierenden Bereichs (Profil P1 in Abbildung 11).**



**Abbildung 15. Auswertung des typischen Querprofils im flussaufwärts liegenden Teil des Auengebiets (Profil P2 in Abbildung 11) vor der Revitalisierung.**



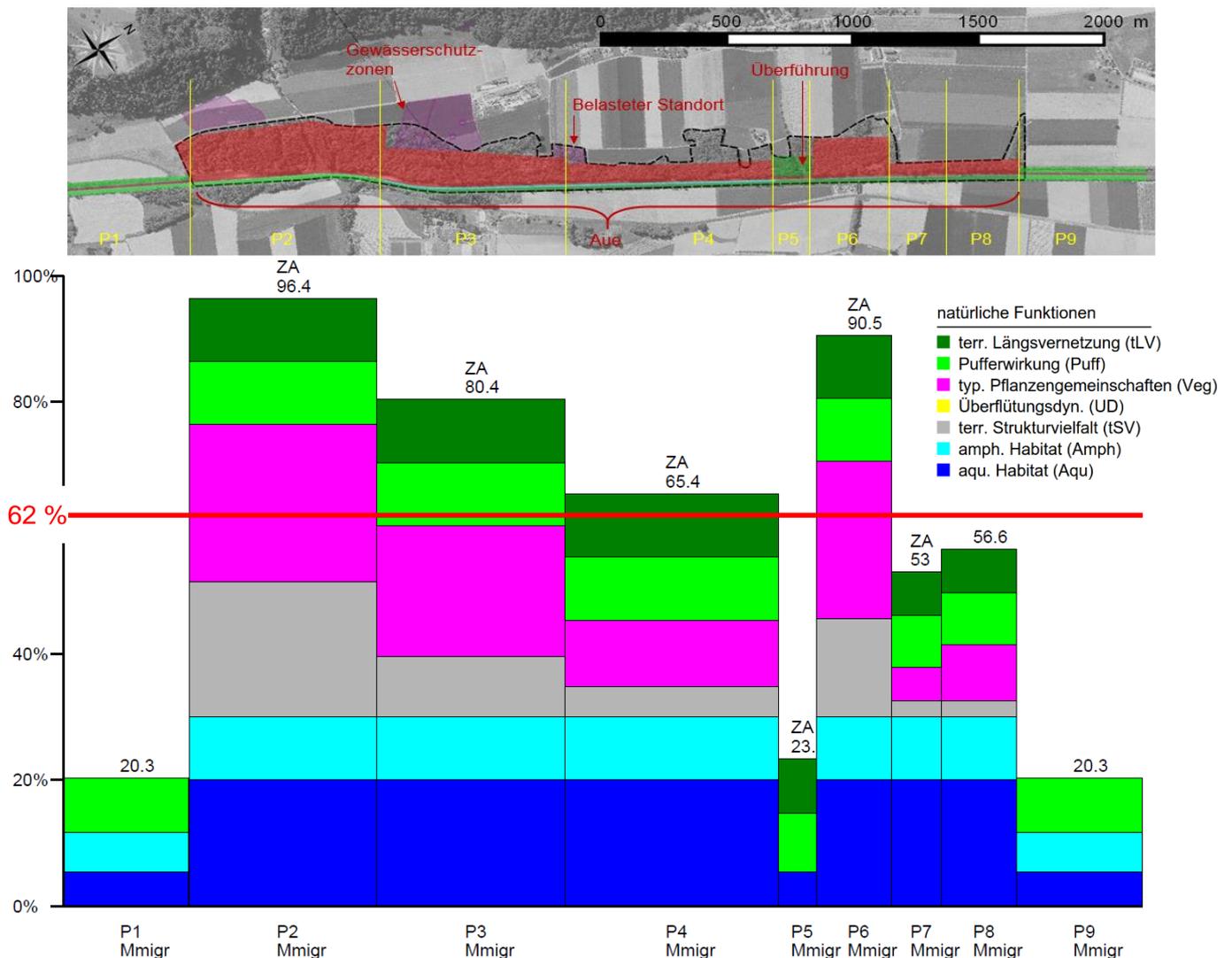
**Abbildung 16. Auswertung des typischen Querprofils P2 (in Abbildung 11) im flussaufwärts liegenden Teil des Auengebiets nach der Revitalisierung.**



**Abbildung 17. Auswertung des typischen Querprofils im flussabwärts liegenden Bereich (Profil P7 in Abbildung 11).**

## 8.6 Grossprojekt

Abbildung 18 zeigt den Gesamterfüllungsgrad des Revitalisierungsprojekts (inkl. eines Bereichs von 500 m flussaufwärts und flussabwärts des tatsächlichen Projekts) basierend auf den in Kapitel 3 ermittelten homogenen Gewässerabschnitten. Der geplante Erfüllungsgrad beträgt 62 % (Durchschnitt der Noten der 9 Profile, gewichtet nach der jeweiligen Länge), während dieser 4500 m lange Abschnitt heute nur etwa 22 % erreicht. Die Wirkung des Einschnitts durch die vorhandene Fussgängerüberführung im Profil P5 ist offensichtlich. Das Tool liefert ausserdem den Erfüllungsgrad für jede Funktion für jedes ausgewertete typische Querprofil (Abbildung 19).



**Abbildung 18.** Revitalisierungsprojekt der Broye in Villeneuve. Zum Vergleich wurde je ein Abschnitt flussauf- und flussabwärts dargestellt, um den Unterschied beim Zustand des Fließgewässers aufzuzeigen.

No	Note	ConL	Tamp	ComV	DIn	STer	Amph	Aqu
P1	20.3	0	8.6	0	0	0	6.3	5.5
P2	96.4	10	10	25	0	21.4	10	20
P3	80.4	10	10	20.8	0	9.6	10	20
P4	65.4	10	10	10.5	0	4.9	10	20
P5	23.4	8.7	9.3	0	0	0	0	5.5
P6	90.5	10	10	25	0	15.5	10	20
P7	53	6.8	8.3	5.4	0	2.5	10	20
P8	56.6	6.8	8.3	9	0	2.5	10	20
P9	20.3	0	8.6	0	0	0	6.3	5.5

**Abbildung 19. Tabelle der Noten pro Funktion für jedes ausgewertete typische Querprofil des Grossprojekts.**

## 8.7 Fazit des Fallbeispiels

**Der Vergleich zwischen Ist- und Soll-Zustand** erlaubt eine Messung der Revitalisierungswirkung. Wie aus Abbildung 15 (Ist-Zustand P2) und Abbildung 16 (Soll-Zustand nach Revitalisierung P2) hervorgeht, verändert das Vorhandensein eines Mobilitätsraums anstelle eines stabilisierten Auenwaldes den ökologischen Wert des Habitats vollständig (22 % vs. 96 %).

Das Projekt sieht ausserdem die Revitalisierung der Broye-**Zuflüsse** sowie dank dieser Massnahme eine Erhöhung der Vernässung des Waldes vor. Doch dieser Eingriff wird bei der Anwendung des Tools nicht berücksichtigt.

## 9 Quellenangaben

**Bundesamt für Umwelt (BAFU)** Entwurf November 2019: «*Fachgutachten Gewässerraum grosse Fliessgewässer*». 58 S.

**Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)** 2010: «*Aménagement de la Broye à Villeneuve. Hydraulique, morphologie et sécurité. Expertise*». Lausanne, 42 S. in **Service des eaux, sols et assainissement du Canton de Vaud (SESA) et Service conseil**

**Zones alluviales** 2010: «*Aménagement de la Broye du km 26.5 au km 25.5 – Dossier d'enquête et soumission.*» Société d'endiguement de la Broye, gemäss Auftrag der Gemeinde Villeneuve FR, Section lacs et cours d'eau. Lausanne und Yverdon-les-Bains.

**Paccaud G., Ghilardi T., Roulier C. und Hunzinger L.** 2020: «*Gewässerraum für grosse Fliessgewässer in der Schweiz.*» Service conseil Zones alluviales (SCZA) und CSD Ingénieurs SA. Yverdon-les-Bains. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Bern. 127 S.

**Rosgen D.** 1994: «*A classification of natural rivers.*» Pagosa Springs, USA. 31 S.

**Yalin M. S., da Silva A. M. F.** 2001: «*Fluvial Processes.*» IAHR. Delft. 216 S.