

*Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt
Abteilungen Wasser, Gefahrenprävention
und Arten, Ökosysteme, Landschaften*

Gewässerraum für grosse Fließgewässer in der Schweiz



Die Saane und das Dorf Neirivue FR

BERICHT 2020

*Grégory Paccaud, Tamara Ghilardi, Christian Roulier
Gutachten: Lukas Hunzinger, Flussbau AG SAH*

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU) des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Abteilung Wasser, CH-3003 Bern

Auftragnehmer

Auenberatungsstelle – Service conseil Zones alluviales SCZA und CSD ingenieurs+, Avenue des Sports 14, CH-1400 Yverdon-les-Bains

Autoren

Grégory Paccaud, Umwelting. EPFL, SCZA, Yverdon-les-Bains
Dr Tamara Ghilardi, Umwelting. EPFL, CSD SCZA, Yverdon-les-Bains
Dr Christian Roulier, Biologe, CSD SCZA, Yverdon-les-Bains
Dr Lukas Hunzinger, Kulturing. ETHZ, Flussbau AG SAH, Bern

Begleitgruppe

Ulrich von Blücher (Projektleitung), Katharina Edmaier, Abteilung Wasser
Paul Dändliker, ehemals Abteilung Gefahrenprävention
Stephan Lussi, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften

Zitierung

Paccaud G., Ghilardi T., Roulier C., Hunzinger L. 2020. Gewässerraum für grosse Fließgewässer in der Schweiz. Bericht CSD Ingenieure+ SCZA im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Bern: 127 S.

Übersetzung

Annemieke Stössel-Lub, apoint Übersetzungen GmbH, Oberkirch
Francis Cordillot, ecolingua, Worblaufen (Lektorat)

Hinweis

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU realisiert und steht auch auf Französisch zur Verfügung. Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

© BAFU 20.02.2020

INHALTSVERZEICHNIS

i

	Glossar der verwendeten Begriffe	1
	Zusammenfassung	7
1	Einleitung	9
2	Ziel der Arbeit	10
3	Der Gewässerraum in der Schweiz	10
4	Funktionen des Gewässerraums	14
4.1	Aquatisches Habitat	16
4.1.1	<i>Transport von Wasser und Geschiebe</i>	16
4.1.2	<i>Aquatische Längsvernetzung</i>	17
4.1.3	<i>Selbstreinigungskraft</i>	18
4.1.4	<i>Strukturvielfalt der Gerinnesohle</i>	18
4.1.5	<i>Erhaltung typischer Arten des aquatischen Habitats</i>	19
4.2	Amphibisches Habitat	19
4.2.1	<i>Transversale (oder laterale) Vernetzung</i>	19
4.2.2	<i>Anreicherung von Grundwasser</i>	21
4.2.3	<i>Strukturvielfalt des amphibischen Habitats</i>	22
4.3	Terrestrisches Habitat	22
4.3.1	<i>Terrestrische Längsvernetzung</i>	22
4.3.2	<i>Pufferwirkung</i>	24
4.3.3	<i>Strukturvielfalt des terrestrischen Habitats</i>	28
4.3.4	<i>Überflutungsdynamik</i>	29
4.3.5	<i>Entwicklung von typischen Pflanzengemeinschaften</i>	29
4.3.6	<i>Erhaltung von typischen terrestrischen Arten</i>	37
4.3.7	<i>Resilienzvermögen von Populationen</i>	38
4.4	Soziale Funktionen	38
4.4.1	<i>Erholungsraum</i>	38
4.4.2	<i>Landschaft</i>	39
4.5	Berücksichtigte Funktionen	39
5	Merkmale des Fliessgewässers	42
5.1	Gerinneform	42
5.1.1	<i>Gerinneformen</i>	42

5.1.2	<i>Bestimmung der natürlichen Gerinneform eines korrigierten Fließgewässers</i>	45
5.2	Schätzung der Gerinnesohlen- und der Uferraumbreite	46
5.2.1	<i>Natürliche Gerinnesohlenbreite L_{fl} und Wasserspiegelbreite L_{pb} bei bettbildendem Abfluss</i>	46
5.2.2	<i>Natürliche Böschungsbreite</i>	47
6	Beurteilung der Funktionen	49
<hr/>		
6.1	Multikriterielle Methode	49
6.2	Erfüllungskurven	50
6.2.1	<i>Aquatisches Habitat</i>	50
6.2.2	<i>Amphibisches Habitat</i>	51
6.2.3	<i>Terrestrisches Habitat</i>	52
6.3	Gewichtung der Funktionen	58
6.3.1	<i>Gewichtungstabelle</i>	58
6.3.2	<i>Gerinneformen</i>	59
6.3.3	<i>Relative Bedeutung der Funktionen</i>	59
6.4	Anforderungen an Auengebiete	60
6.4.1	<i>Hartholzauen</i>	60
6.4.2	<i>Pendelband</i>	61
7	Kompartimente des Gewässerraums	63
<hr/>		
7.1	Mobilitätsraum	63
7.2	Böschungen	65
7.3	Überflutbarer Raum	65
7.4	Flächen mit Gehölz	65
7.5	Extensiv genutzte Flächen	66
7.6	Überbaute Flächen	66
7.7	Typisches Querprofil	66
8	Methode	68
<hr/>		
8.1	Funktionsdiagramm	68
8.1.1	<i>Allgemeiner Fall: breiter Talboden</i>	68
8.1.2	<i>Enger Talboden</i>	69
8.2	Typisches Querprofil	71
8.2.1	<i>Bewertung eines Ist- oder Projektzustands</i>	71
8.2.2	<i>Bestimmung des Gewässerraums anhand ökologischer Ziele</i>	74
8.3	Grossprojekt	75
9	Sensitivitätsanalyse von drei Parametern	76
<hr/>		
9.1	Bettbildender Abfluss	76

9.2	Gefälle des Fliessgewässers	77
9.3	Gerinneform	78
9.4	Schlussfolgerung	79
10	Anwendung auf sechs Fallbeispiele	80
<hr/>		
10.1	Die Birs zwischen Soyhières und Liesberg	80
10.1.1	<i>Gerinneform</i>	80
10.1.2	<i>Ökologisches Ziel</i>	81
10.1.3	<i>Funktionsdiagramm in Abhängigkeit des Mobilitätsraums</i>	81
10.1.4	<i>Bewertung</i>	83
10.2	Die Aare zwischen Büren und Solothurn	84
10.2.1	<i>Gerinneform</i>	84
10.2.2	<i>Typische Querprofile</i>	85
10.2.3	<i>Vorhandenes Normalprofil</i>	86
10.2.4	<i>Bewertung</i>	87
10.3	Die Kleine Emme bei Malters	88
10.3.1	<i>Gerinneform</i>	89
10.3.2	<i>Funktionsdiagramm in Abhängigkeit des Mobilitätsraums</i>	89
10.3.3	<i>Bewertung</i>	90
10.4	Die Maggia bei Someo	93
10.4.1	<i>Gerinnetform</i>	93
10.4.2	<i>Überprüfung der Stichhaltigkeit der Methode</i>	94
10.4.3	<i>Bemerkungen zu den Ergebnissen</i>	98
10.5	Die Aare zwischen Thun und Bern	99
10.5.1	<i>Drei Zustände</i>	99
10.5.2	<i>Gewählter Abschnitt</i>	100
10.5.3	<i>Gerinneform</i>	100
10.5.4	<i>Bewertung</i>	102
10.5.5	<i>Bewertung der zwei Szenarien</i>	104
10.6	Die Saane oberhalb des Lac de la Gruyère	105
10.6.1	<i>Bewertung der natürlichen Gerinneform</i>	105
10.6.2	<i>Typisches Querprofil des heutigen Zustands</i>	107
10.6.3	<i>Bewertung</i>	109
10.6.4	<i>Bemerkung</i>	109

11	Schlussfolgerungen	110
<hr/>		
12	Literaturverzeichnis	112
<hr/>		
13	ANHÄNGE	118
<hr/>		
ANHANG 1	Der Gewässerraum in Frankreich	118
ANHANG 2	Der Gewässerraum in Österreich	119
ANHANG 3	Der Gewässerraum in Deutschland	120
ANHANG 4	Wasserrahmenrichtlinie	120

Glossar der verwendeten Begriffe

Abiotische und biotische Faktoren des Fließgewässer-Ökosystems

Als abiotisch werden alle Umweltfaktoren des Fließgewässer-Ökosystems bezeichnet, an denen Lebewesen nicht erkennbar beteiligt sind, und als biotisch alle Umweltfaktoren, an denen Lebewesen erkennbar beteiligt sind. Die abiotischen Aspekte, die das System Fließgewässer prägen, beschreiben Parameter wie der bettbildende Abfluss, die Korngrösse und die Verfügbarkeit von Geschiebe. Diese Aspekte bewirken eine bestimmte Morphologie des Gewässers (Gerinneform) und beeinflussen die abiotische Dynamik des Systems (Erosion, Sedimentation, seitliche Verlagerung des Gerinnes). Als biotische Faktoren sind bei der Ermittlung des Raumbedarfs der natürlichen Funktionen einzubeziehen: die gewässertypische Fauna und Flora. Das Interagieren der abiotischen und biotischen Umweltfaktoren in einem Ökosystem beansprucht Raum. Bei der Festlegung des Gewässerraums für Fließgewässer müssen verschiedene biotische und abiotische Aspekte beachtet werden, um die natürlichen Funktionen des Gewässers zu beurteilen.

Alternierende Bänke

Alternierende Bänke entstehen als Übergangsstrukturen zwischen geraden und verzweigten Gerinnen, wenn eingeschränkte Raumverhältnisse vorherrschen. Sie bezeichnen das Anfangsstadium einer schwach gewundenen Gerinneformen (s. Kap. 5.1.1), bei dem sich längs des Flusslaufes abwechselnd am linken und rechten Ufer in annähernd regelmässigen Abständen Kiesbänke bilden (vgl. z. B. Jäggi 1979).

Auenwald und Hartholzformationen

Hartholzformationen finden sich in den vom Hauptgerinne an den weitesten entfernten Bereichen, sowie auf den oberen Terrassen des Auengebiets. Sie setzen sich hauptsächlich aus Esche, Bergulme und Bergahorn und Stileichen zusammen. Hartholzformationen werden ständig oder zeitweise vom Grundwasser beeinflusst sowie von Überschwemmungen bei aussergewöhnlichen Hochwasserereignissen (angepasst nach Hausammann et al. 2005).

Auenwald und Weichholzformationen

Weichholzformationen besiedeln die Inseln in den Gewässerläufen sowie den Bereich, der sich zwischen Hauptgerinne und Hartholzauenwald befindet. Diese Pioniergehölzformationen werden von Weiden, Grauerlen und Pappeln dominiert. Im Allgemeinen werden sie vom Grundwasser sowie von Hochwasserereignissen beeinflusst, die über den zwei- bis fünfjährlichen Ereignissen liegen (HQ₂ bis HQ₅) (angepasst nach Hausammann et al. 2005).

Bettbildender Abfluss

Der bettbildende Abfluss wird als den Abfluss verstanden, der für die Gerinnegröße und die Gerinneform eines Gewässers massgebend ist (Gestaltung durch Erosion, Ablagerung usw.; vgl. «Dynamik»). Dieser Abfluss kann je nach Gerinneform variieren und entspricht etwa dem bordvollen Abfluss, also dem Abfluss kurz vor dem Ausufern eines natürlich gebildeten Gerinnes. Der bettbildende Abfluss entspricht etwa einem HQ₅ (fünfjährliches Hochwasserereignis) bei verzweigten Gerinnen und migrierenden Mäandern und einem HQ₁ bis HQ₂ (zweijährliches Hochwasserereignis) bei ausgebildeten Mäandern.

Erfüllungskurve

Die verwendeten Erfüllungskurven (oder Präferenzfunktion) geben an, wie sich ausgewählte natürliche Funktionen (bspw. der Parameter «Entwicklung von typischen Pflanzengemeinschaften») in Abhängigkeit der Gewässerraubbreite verhalten. An den Kurven kann der prozentuale Erfüllungsgrad jeder natürlichen Funktion des Fließgewässers ermittelt werden. Die Bewertung liegt zwischen 0 (minimaler Schwellenwert: Funktion nicht erfüllt) und 100 % (maximaler Schwellenwert: Funktion vollständig erfüllt). Bewertungen zwischen beiden Extremwerten widerspiegeln eine Teilerfüllung der beurteilten Funktion (s. Kap. 6.2).

Gerinneform

Gerinneform bezeichnet die allgemeine Grundrissform des Gewässers. Die Gerinneform eines Fließgewässers hängt hauptsächlich von dem Sohlgefälle, der Sohlenbeschaffenheit, dem bettbildenden Abfluss, dem Geschiebeeintrag, der Kornverteilung und der verfügbaren Breite ab. In diesem Dokument werden 5 Gerinneformen unterschieden (Wildbäche und gestreckte Gerinne, eingetieftete Gerinne; verzweigte Gerinne; migrierende und ausgebildete Mäander). Es gibt auch Misch- bzw. Übergangsformen (alternierende Bänke). Für die Anwendung der vorliegenden Methode muss die Gerinneform des untersuchten Fließgewässers jeweils bestimmt werden.

Gerinneformen

- **«Gestreckte Gerinne und Wildbäche»**

Zwar ist ein gestrecktes Gerinne eine Gerinneform, aber ein Wildbach eine Gerinneform, als vergleichsweise kleines, steiles Gewässer, das sich durch starke Abflussschwankungen und viel Dynamik auszeichnet. Wildbäche können auch verzweigt sein. Ein gemeinsames Merkmal von Wildbächen und gestreckten Gerinnen stellt das grosse Gefälle dar. Gestreckte Gerinne weisen natürlicherweise nur eine minimale seitliche Verlagerung auf, bedingt durch geomorphologische Einengungen. Die natürlichen Funktionen sind beschränkt auf das aquatische und das terrestrische Habitat (s. Kap. 5.1.1).

- **«Eingetiefte Gerinne»**

Die eingetieften Gerinne haben sich im Laufe der Zeit durch fortschreitende Erosion ihrer Gerinnesohle in den Untergrund eingegraben. Die Gerinnesohle besteht meistens aus Kies. Bei eingetieften Gerinnen handelt z.B. um Schluchten oder Talmäander. Die Sohle ist in der Regel wenig mobil, weil der Untergrund äusserst erosionsbeständig ist. Der Uferbereich ist folglich durch die Topografie beschränkt. Die natürlichen Funktionen fokussieren sich vor allem auf die aquatischen und die amphibischen Habitate (s. Kap. 5.1.1).

- **«Verzweigte Gerinne»**

Verzweigte Gerinne entwickeln sich bei einem Gefälle zwischen 2 und 4 % mit ausreichenden Platzverhältnissen und bedeutendem Geschiebevorkommen. Sie zeichnen sich durch das Vorhandensein mehrerer miteinander verbundenen Teilgerinnen aus, die zahlreiche Inseln und Lebensraumstrukturen (morphologisch z. B. als Kiesbänken unterschiedlicher Mächtigkeiten) bilden, dadurch ein entsprechend vielfältiges Mosaik von Habitaten (s. Kap. 5.1.1). Meist bildet sich ein Hauptlauf aus, aber dieser ändert ständig seinen Grundriss und Ort innerhalb des Gewässerraums.

- **«Migrierende Mäander»**

Migrierende Mäander entwickeln sich bei kleinem bis mittlerem Gefälle mit einem relativ grossen Geschiebetrieb. Sie entstehen in relativ wenig erosionsbeständigen Böden, daher können die Mäanderschlaufen sich nicht vollständig ausbilden. Migrierende Mäander erodieren das Ufer am Prallhang und lagern ihre Sedimente am Gleithang ab. Sie verschieben sich folglich talwärts, ohne ihre Form stark zu verändern und weisen eine mittlere Krümmung (Sinuosität) auf. Die Mäanderschlaufen schnüren sich nicht ab. Die Vegetationszonierung bei migrierenden Mäandern ähnelt derjenigen der verzweigten Gerinne (s. Kap. 5.1.1)

- **«Ausgebildete Mäander»**

Ausgebildete Mäander sind charakteristisch für flaches Gelände mit schwachem Geschiebetrieb. Die Böschungen sind standfest und die Mäander können sich vollständig entwickeln. Ein wichtiges Merkmal von ausgebildeten Mäandern ist, dass sie durch Abschnürung von Flussschlaufen Altläufe bilden können. Ausgebildete Mäander treten leicht über die Ufer und bilden einen feuchten Streifen im Uferbereich. Regelmässige Überschwemmungen sowie Grundwasseranstiege führen zu einer höheren Feuchtigkeit und beeinflussen die Vegetation auf dem an den Gewässerlauf angrenzenden Gelände und in der ganzen Talaue (s. Kap. 5.1.1).

Mobilitätsraum E_{mob}

Der Mobilitätsraum (E_{mob}) ist der Raum bzw. die Breite zwischen zwei Uferbefestigungen. In diesem Bereich kann sich die Sohle morphologisch frei bewegen. Dies ermöglicht die natürliche Entwicklung der aquatischen, amphibischen und terrestrischen Habitate.(s. Kap. 7 und Abbildung 15).

Morphologische Dynamik

Kontinuierliche Veränderungen der morphologischen Strukturen des natürlichen Gerinnes in einem dynamischen Gleichgewicht. Darunter werden u.a. die Migration des Gerinnes, die Verlagerung von Kiesbänken, die Erosion der Ufer und die Erneuerung des Sohlsubstrats und der Flussauen verstanden. Diese Dynamik trägt der Erhaltung der angestammten Biodiversität bei.

Morphologische Strukturen

Die unterschiedlichen hydraulischen Bedingungen (Wassertiefe, Fliessgeschwindigkeit usw.) in einem Gewässerabschnitt führen zu verschiedenen Habitat- bzw. Lebensraumstrukturen im Gewässerlauf. Je ausgeprägter die Diversität der Habitate, desto grösser ist die Vielfalt der Biozönosen (Lebensgemeinschaften). Die morphologischen Strukturen umfassen bspw. Stufen-Becken-Abfolgen (*step-pool*) und Furt-Kolk (*riffle-pool*), Kies- und Sandbänke, Verzweigungen.

Natürliche Gerinnesohlenbreite L_{fl}

Die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_{fl}) ist die natürliche mittlere Breite der Gewässersohle innerhalb eines ausgewählten Gewässerabschnittes. Die Gewässersohle entspricht jenem Bereich, welcher in der Regel bei bettbildenden Abflüssen (mittlere Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von zwei bis fünf Jahren) umgelagert wird und somit frei von höheren Wasser- und Landpflanzen ist. Verbaute und eingetieftete Gewässer verfügen in der Regel nicht mehr über eine

natürliche Sohlenbreite. Ihre Sohle ist verschmälert und weist eine geringe, eingeschränkte oder fehlende Breitenvariabilität auf. Es gibt verschiedene Methoden, welche es ermöglichen, die natürliche Gerinnesohlenbreite zu ermitteln.

Natürliche Mäanderamplitude A_{nat}

Die natürliche Mäanderamplitude (A_{nat}) definiert den gesamten Raum, der von einem mäandrierenden Gerinne unter natürlichen Bedingungen beansprucht wird (s. Kap. 5.1.1).

Pendelband

Das Pendelband (oder die Pendelbreite) grenzt den Raum für eine natürliche Dynamik ab und dient der Sicherstellung der natürlichen Funktionen und naturnahen Eingliederung des Fließgewässers in die Landschaft. Darin sind die Schutzgebiete (wie Inventarobjekte von nationaler Bedeutung) sowie der Raumbedarf für eine extensive Nutzung (z. B. Erholungsraum) ausgewiesen. Im Korridor ist genügend Raum für die Bildung von Mäandern und Verzweigungen des Flusslaufs vorhanden. Begrenzte Ufererosion ist erlaubt (BWG et al. 2000).

Das Pendelband, das in der Schlüsselkurve des BWG-Faltprospekts vorgesehen ist, entspricht der 5- bis 6-fachen natürlichen Gerinnesohlenbreite. Dieser Koeffizient entspricht ungefähr $3.5 L_{pb}$, die für typische Pflanzengemeinschaften und für die terrestrischen Strukturen bei verzweigten Gerinnen nötig sind. Bei grossen mäandrierenden Gerinnen hingegen, reicht die Norm der Schlüsselkurve im BWG-Faltprospekt (s.o.) meist nicht aus. Es ist eine Pendelbandbreite vorgesehen, die der natürlichen Mäanderamplitude entspricht. Diese Anforderung stützt sich auf den Raumbedarf der terrestrischen Strukturen (100 % A_{nat}) sowie teilweise auf die Anforderungen der Überflutungsdynamik (5-fach L_{pb}). Dies entspricht der vollen Erfüllung des Raumbedarfs von Gerinnen in nationalen und kantonalen Schutzgebieten mit gewässerbezogenen Schutzziele (z. B. Auenschutzgebiete)

Verjüngungsdynamik

Die Dynamik trägt durch eine regelmässige Verjüngung der Auenterrassen zum Erhalt einer grossen Biodiversität bei (Verjüngungsdynamik). Dabei wird das Auengebiet bei Hochwasser überschwemmt, Kiesbänke erodiert und nicht permanente Vegetation weggespült. Geschiebe und Sedimente an neuen Orten abgelagert.

Wasserspiegelbreite beim bettbildenden Abfluss L_{pb}

Die Wasserspiegelbreite beim bettbildenden Abfluss im natürlichen Gerinne (=Vollbordbreite) (L_{pb}) wird in der vorliegenden Methode als Grundparameter verwendet. Sie entspricht der Breite des Wasserspiegels bei gegebenem Abfluss in einem definierten Querprofil und umfasst die aquatischen und amphibischen Habitate. Die Wasserspiegelbreite kann auf diverse Arten bestimmt werden (s. Kap. 5.2.1) und hängt vom Abfluss und der Gerinneform ab (Abbildung 5). Der Bettbildende Abfluss wiederum variiert ebenfalls je nach der sich bildenden Gerinneform (s. «bettbildender Abfluss»). Er entspricht in der Regel einem HQ_5 (fünfjährliches Hochwasserereignis) bei verzweigten Gerinnen und migrierenden Mäandern sowie einem HQ_1 bis HQ_2 (ein bis zweijährliches Hochwasserereignis) bei ausgebildeten Mäandern (Paccaud und Roulier 2010).

Zusammenfassung

Dieser Bericht befasst sich mit dem Gewässerraum für grosse Fliessgewässer in der Schweiz. Er zeigt Wasserbaufachleuten wie ein Gewässerraum bei der Umsetzung der Gewässerschutzverordnung (GSchV; Fassung vom 4. Mai 2011, in Kraft seit 1. Juni 2011) beurteilt werden kann. Basierend auf der Gerinneform und den Abmessungen des Fliessgewässers kann ein gegebener Gewässerraum bezüglich seines Gestaltungsraums mit einer Gesamtnote beurteilt werden. Zudem ermöglicht diese Methode den Vergleich von verschiedenen Zuständen und Varianten von Revitalisierungsprojekten (z.B. Ist- und Projektzustand, Kapitel 1 bis 3).

Zuerst werden die wissenschaftlichen Grundlagen zum Raumbedarf für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von über 15 m inklusive der Funktionen und Anforderungen vorgestellt. Die natürlichen Funktionen der Fliessgewässer werden erläutert und dabei aufgezeigt, welche Funktionen vom verfügbaren Raum abhängen (Kapitel 4).

Kapitel 5 stellt die Methode vor, aber um diese anwenden zu können, müssen die Merkmale des Fliessgewässers bekannt sein. Also werden in Kapitel 6 die Ausgangstheorien, die Erfüllungskurven und ihre Gewichtung sowie die besonderen Anforderungen für Auengebiete und das Pendelband eingehend behandelt. Im Ergebnis gibt die Methode an, zu welchem Prozentsatz die natürlichen Funktionen in Abhängigkeit zum vorhandenen Raum erfüllt werden. Bis zu einem bestimmten Grenzwert gilt der Grundsatz, dass bei mehr verfügbarem Raum auch mehr natürliche Funktionen erfüllt werden können.

Der Mobilitätsraum bezeichnet den Raum, der vollständig dem Fliessgewässer zur Verfügung steht. Er ist frei von menschlichen Einflüssen oder Sohlen- und Uferbefestigungen. Gewisse Funktionen können auch ausserhalb des Mobilitätsraums erfüllt werden (Kapitel 7). Die Methode erlaubt Grösse des Gewässerraums und seiner Kompartimente optimal einzustellen. Dies umfasst folgende Schritte (Kapitel 8):

- **Funktionsdiagramm:** Diese Grafik wird für jeden homogenen Abschnitt eines Fliessgewässers individuell generiert. Sie gibt den Erfüllungsgrad jeder Funktion in Abhängigkeit zur Gewässerbreite in Form einer Gesamtbewertung in Prozent an ;
- **Typisches Querprofil:** Für einen homogenen Abschnitt wird ein repräsentatives Querprofil definiert, anhand dessen der Abschnitt auf seine Erfüllung der natürlichen Funktionen bewertet wird;
- **Grossprojekt:** Für einen längeren Flussabschnitt wird die durchschnittliche Erfüllung aus mehreren repräsentativen Querprofilen berechnet. Dies findet bei Projektperimetern mit mehreren Kilometern Laufstrecke Anwendung.

Eine Sensitivitätsanalyse der Methode wird auf der Grundlage von drei Basisparametern durchgeführt: Abfluss, Gewässerneigung und Gerinneform (Kapitel 9).

Am Schluss illustrieren 6 Fallbeispiele die Anwendung der Methode. Dabei werden ihre Funktionsweise und Vorteile, aber auch ihre Grenzen aufgezeigt. Ausgewählt wurden folgende Gewässerabschnitte: die Birs in Soyhières, die Aare zwischen Büren und Solothurn, die Kleine Emme zwischen Malters und Littau, die Maggia unterhalb von Someo, die Aare zwischen Thun und Bern sowie die Saane oberhalb des Lac de la Gruyère (Kapitel 10).

*Die Methode steht allen Benutzerinnen und Benutzern in Form eines **Webtools** zur Verfügung:*

<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/accueil-espace-ce-de.html>

1 Einleitung

Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Art. 36a GSchG; SR 814.20) und seine Verordnung (Art. 41a GSchV; SR 814.201) verlangen, dass die Kantone den Raumbedarf für Fliessgewässer festlegen. Die Verordnung gibt Grössenordnungen zum Raumbedarf für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von bis zu 15 m (Art. 41a Abs. 2 GSchV) und für Gewässer, die ein Biotop oder eine Landschaft von nationaler oder kantonaler Bedeutung durchfliessen (Art. 41a Abs. 1 GSchV), an.

Art. 41a – Gewässerraum für Fliessgewässer

1. Die Breite des Gewässerraums muss in Biotopen von nationaler Bedeutung, in kantonalen Naturschutzgebieten, in Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung, in Wasser- und Zugvogelreservaten von internationaler oder nationaler Bedeutung sowie, bei gewässerbezogenen Schutzziele, in Landschaften von nationaler Bedeutung und kantonalen Landschaftsschutzgebieten mindestens betragen:

- a. *für Fliessgewässer mit einer Gerinnesohle von weniger als 1 m natürlicher Breite: 11 m;*
- b. *für Fliessgewässer mit einer Gerinnesohle von 1–5 m natürlicher Breite: die 6-fache Breite der Gerinnesohle plus 5 m;*
- c. *für Fliessgewässer mit einer Gerinnesohle von mehr als 5 m natürlicher Breite: die Breite der Gerinnesohle plus 30 m.*

Bei Fliessgewässern mit einer Gerinnesohlenbreite von über 15 m nehmen die Kantone die Bestimmung und Festlegung fallweise vor.

Gemäss Artikel 41a (Abs. 3 Bst. b) GSchV ist der Gewässerraum für Fliessgewässer zu erhöhen, falls der nach Art. 41a Abs. 1 und 2 berechnete Gewässerraum für die Ansprüche einer Revitalisierung nicht ausreicht. Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Anwendung dieser Bestimmung ist, dass die Grundlagen für die Festlegung des Raumbedarfs für Revitalisierungen fehlen.

Die vorgeschlagene Methode ist ein systematischer, aber pragmatischer Ansatz zur Bestimmung des Gewässerraums für grosse Fliessgewässer. Systematisch, weil sie die wichtigsten Funktionen des Gewässerraums berücksichtigt, und pragmatisch, da sie eine Auswahl trifft und Vereinfachungen vornimmt, damit sie auf alle grossen Fliessgewässer anwendbar ist.

Die vorgestellte Methode zur Berechnung des Gewässerraums für Fliessgewässer legt grössere Breiten für die Biotope oder Schutzgebiete von nationaler und kantonaler Bedeutung mit Gewässerbezug fest, aber auch für Abschnitte, wo die Breite eines Pendelbands angestrebt wird.

Der Begriff «groses Fliessgewässer» gilt für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von über 15 m. Demzufolge kann ein begradigtes, stark verbautes Gewässer mit einer bestehenden

Sohlenbreite von 8 m auch in diese Kategorie fallen, wenn ein begradigtes Fliessgewässer eine doppelt so breite natürliche Gerinnesohlenbreite wie die bestehende aufzuweisen hat (also 16 m statt 8 m). Die vorliegende Studie gilt für grosse und mittelgrosse Fliessgewässer.

2 Ziel der Arbeit

Diese Studie fasst die theoretischen Grundlagen zum Raumbedarf für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von über 15 m zusammen und dient als Entscheidungsgrundlage für die Bestimmung und Festlegung des Gewässerraums unter Berücksichtigung der Anforderungen an Wasserbauprojekten, z. B. bei Revitalisierungsmassnahmen.

Die vorgeschlagene Methode basiert auf den wichtigsten Funktionen des Gewässerraums, die als Erfüllungskurven dargestellt und mit dem Erfüllungsgrad der natürlichen Funktionen bewertet werden.

3 Der Gewässerraum in der Schweiz

Die erste Publikation des Bundes zum Thema Gewässerraum stammt aus dem Jahr 2000. Damals gaben vier Bundesämter (BWG, BUWAL, BLW und BRP 2000) gemeinsam einen Faltprospekt mit dem Titel «*Raum den Fliessgewässern!*» heraus. Dieser enthält die sogenannte Schlüsselkurve, die bekanntlich als Grundlage für die Bestimmung und Festlegung des Gewässerraums für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von bis zu 15 m dient (Abbildung 1).

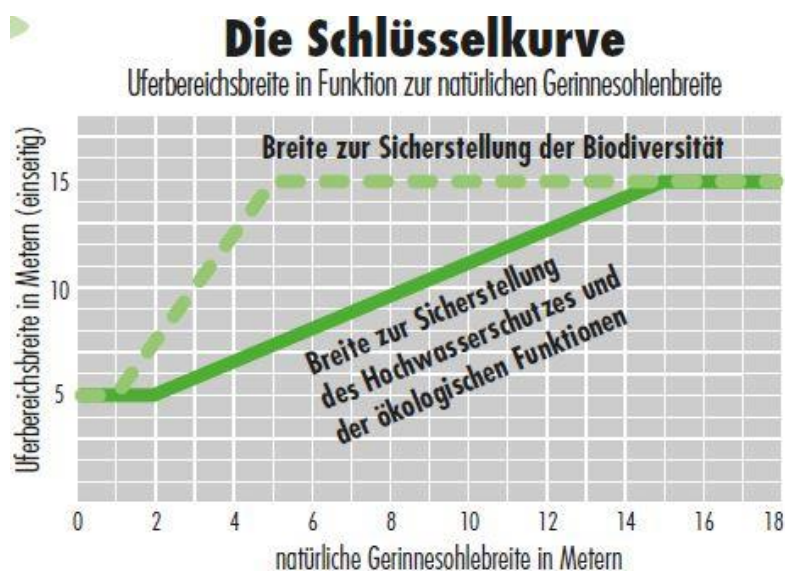


Abbildung 1. Schlüsselkurve für die Bestimmung des Gewässerraums für Fliessgewässer mit einer Gerinnebreite von bis zu 15 m.

Diese Schlüsselkurve wurde in der GSchV als Referenzmethode für die Festlegung einer **minimalen Breite eines Gewässerraums** für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von höchstens 15 m festgehalten (Art. 41a Abs. 1 und 2 GSchV).

Es gibt zwei Kurven: Die Kurve, die mehr Raum fordert, gibt die Mindestbreite zur Sicherstellung der Biodiversität in Schutzgebieten an, während die Mindestbreite zur Gewährleistung der ökologischen (oder natürlichen) Funktionen und des Hochwasserschutzes geringere Anforderungen stellt. Die Broschüre aus dem Jahr 2000 gibt an, dass «die aufgrund der Schlüsselkurve ermittelten Werte (ausgezogene grüne Linie) eine empfohlene minimale Breite darstellt und nicht unterschritten werden sollen. Sie dienen der Sicherstellung der grundlegenden ökologischen Funktionen und dem Hochwasserschutz. Zur Förderung der natürlichen Vielfalt von Pflanzen und Tieren sollen sie erhöht werden (gestrichelte grüne Linie)».

Das Dokument weist auch auf die **Pendelbandbreite** hin, die der 5- oder 6-fachen natürlichen Gerinnesohlenbreite entspricht. Diese Breite ist notwendig, damit sich Mäander ausbilden können.

2003 haben die oben bereits erwähnten Bundesämter ein weiteres Dokument veröffentlicht: «*Leitbild Fliessgewässer Schweiz. Für eine nachhaltige Gewässerschutzpolitik*». In dieser Broschüre ist eine Seite dem Entwicklungsziel «ausreichender Gewässerraum» gewidmet. Sie übernimmt die meisten Elemente aus dem Prospekt aus dem Jahr 2000, insbesondere auch die Schlüsselkurve, aber auch einige neue Elemente, die sich an die heutige GSchV anlehnen. Neben den Funktionen des Gewässerraums werden zwei weitere Funktionen genannt:

- Strukturvielfalt in den aquatischen, amphibischen und terrestrischen Lebensräumen
- Gedeihen standortgerechter Lebensgemeinschaften

Zum Pendelband wird Folgendes präzisiert: «Das Pendelband (genügend Raum für die Bildung von Mäandern, Verzweigungen des Laufes, begrenzte Ufererosion) erlaubt eine räumlich-zeitliche Entwicklung des Gewässers in der Landschaft» Die wichtigste Neuheit ist jedoch, dass der Status des Gewässerschutzes zur Bestimmung des Pendelbands berücksichtigt wird. In den Biotopen und Landschaften von kantonaler oder nationaler Bedeutung (vgl. Art. 41a Abs. 1 GSchV), wird die Biodiversitätskurve als minimaler Raum empfohlen oder gar ein Pendelband (sofern diesbezüglich Ziele festgelegt wurden).

Das GSchG liefert keine Definition des Gewässerraums für Fliessgewässer, sondern erklärt, wozu dieser dient (Art. 36a), während die Verordnung sich zur Bestimmung und Festlegung sowie zu den dort erlaubten und verbotenen Handlungen äussert. Der Gewässerraum für Oberflächengewässer (Gewässerraum für Fliessgewässer) soll folgende Punkte garantieren:

- a. die natürlichen Funktionen der Gewässer;

- b. den Schutz vor Hochwasser;
- c. die Gewässernutzung.

Im vorliegenden Bericht werden die Begriffe *natürliche* und *ökologische Funktion* als Synonyme verwendet.

Ein Auszug aus dem erläuternden Bericht (BAFU 2011) zur parlamentarischen Initiative (07.492 Schutz und Nutzung der Gewässer), der den Nutzen und die Funktionen des Gewässerraums für Fließgewässer (Art. 41a GSchV) genauer umschreibt, wird anschliessend zitiert:

«In Artikel 41a GSchV wird der Gewässerraum für Fließgewässer konkretisiert. Der Raumbedarf für Fließgewässer wird gemäss dem *Leitbild Fließgewässer Schweiz* (op. cit.) definiert. Der Gewässerraum besteht aus dem Raum für eine natürliche Gerinnesohle und den beiden Uferbereichen. Er stellt einen Korridor dar, wobei das Gerinne nicht in der Mitte dieses Korridors liegen muss. Er kann aber auch mit fixen Abständen links und rechts des Gewässers ausgewiesen werden (z. B. Baulinien in der erschlossenen Bauzone). Die Behörde hat somit einen gewissen Spielraum bei der Festlegung des Gewässerraums. Die Festlegung des Gewässerraums als Korridor ermöglicht es, diesen an die Gegebenheiten im Umfeld des Gewässers anzupassen (z. B. bei Gebäuden, Strassen, Fruchtfolgefleichen, ...). Der Gewässerraum steht dem Gewässer zur Verfügung und gewährleistet damit die natürlichen Funktionen des Gewässers: Den **Transport von Wasser und Geschiebe**, die Ausbildung einer naturnahen **Strukturvielfalt** in den aquatischen, amphibischen und terrestrischen Lebensräumen, die Entwicklung **standorttypischer Lebensgemeinschaften**, die dynamische Entwicklung des Gewässers und die **Vernetzung der Lebensräume**. Der Gewässerraum gewährleistet auch den **Schutz vor Hochwasser**; ein ausreichender Gewässerraum dient der Gefahrenprävention und ermöglicht es, erforderliche Hochwasserschutzbauten wesentlich kostengünstiger zu erstellen. Er dient der **Erholung** der Bevölkerung und ist ein wichtiges Element der **Kulturlandschaft**. Zudem **verringert** ein ausreichender Abstand der Bodennutzung zum Gewässer den **Eintrag von Nähr- und Schadstoffen**.

Die natürlichen Funktionen des Gewässerraums für Fließgewässer sind in dieser Publikation sozusagen deckungsgleich mit denjenigen im *Leitbild*. Eine Funktion ist aber neu:

- die Eigendynamik des Gewässers.

In früheren Unterlagen wurde diese Funktion niemals explizit erwähnt, und sie bedingt eine eingehendere Betrachtung in den folgenden Kapiteln. In den Handbüchern zu den Programmvereinbarungen des BAFU (2018) wird die Bedeutung der Wiederherstellung der Eigendynamik der Gewässer mehrfach hervorgehoben.

Für Revitalisierungen gelten besondere Bestimmungen. Artikel 41a Absatz 3 Buchstabe b GSchV erwähnt beispielsweise, dass die Breite

des Gewässerraums erhöht werden muss, «soweit dies erforderlich ist zur Gewährleistung des für eine Revitalisierung erforderlichen Raumes». Revitalisierungen und der Gewässerraum sind folglich eng miteinander verbunden und voneinander abhängig.

Das GSchG definiert die Revitalisierung wie folgt (Art. 4 Bst. m):

«Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen».

Die Ziele von Revitalisierungen stimmen mit den Zielen des Gewässerraums überein, die meisten der natürlichen Funktionen, die wiederherzustellen oder zu gewährleisten sind, sind ähnlich. Ausserdem finden sich darunter einige Umweltaspekte:

- Austausch mit dem Grundwasser
- Selbstregulation und die Fähigkeit zur Resilienz von Populationen

In einem anderen Zusammenhang hat die EAWAG ein «Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen» (Woolsey et al. 2005) herausgegeben. Ziel dieser Publikation ist es a priori nicht, den Gewässerraum, sondern den Erfolg einer Revitalisierung zu beurteilen. Dazu ist eine abschliessende Liste der Punkte zu erstellen, die von einem Revitalisierungsprojekt erwartet werden können, und anzugeben, welche Ziele erreicht und wie sie gemessen werden sollen. Dieses Dokument liefert eine Liste der natürlichen Funktionen, die aus einer Revitalisierung hervorgehen, sowie eine Bewertungsmethode, die auf verschiedenen Indikatoren basiert.

Das Handbuch für die Erfolgskontrolle der EAWAG schlägt für die Vegetation vier Indikatoren sowie Methoden vor, um sie zu messen:

- autotypische Pflanzenarten
- Sukzession und Verjüngung
- zeitliches Mosaik
- Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften

Einige Indikatoren aus diesem Handbuch werden nachfolgend etwas genauer vorgestellt (Kapitel 4), weil sie für die Festlegung und die Bewertung des Raumbedarfs verschiedener natürlicher Funktionen grundlegend sind.

Bei der Planung wurden diverse wichtige Schweizer Fliessgewässer, an denen Wasserbaumassnahmen durchgeführt werden oder wurden, hinsichtlich des Raums, den sie benötigen, genauer betrachtet. Von diesen Fliessgewässern wurden die Rhone in den Kantonen Wallis und Waadt (3. Rhonekorrektur, s. Roulier et al. 2007) sowie die Aare zwischen Thun und Bern (Bonnard und Witschi 2012) einem Verfahren zur Ermittlung des Raumbedarfs unterzogen. Die Ergebnisse dieser beiden Arbeiten werden in diesem Bericht wiederverwertet. In den ANHÄNGEN wird das Vorgehen der Nachbarländer sowie der Europäischen Union vorgestellt.

4 Funktionen des Gewässerraums

Ziel dieser Studie ist es, ein objektives und systematisches Vorgehen bereitzustellen, um den Raum für Gewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von über 15 m bezüglich Grösse und Qualität so festzulegen, dass die ökologischen Funktionen des Fliessgewässers erfüllt werden können. Der Gewässerraum muss anhand der Bedürfnisse des Ökosystems bestimmt werden, wobei sowohl abiotische (Morphologie, Dynamik) als auch biotische Aspekte (typische Fauna, Vegetation usw.) sowie der gesetzliche Rahmen zu berücksichtigen sind. Die Ziele für den Gewässerraum (Art. 36a GSchG) beinhalten die Gewährleistung:

- a. der natürlichen Funktionen der Gewässer;
- b. des Schutzes vor Hochwasser;
- c. der Gewässernutzung.

Diese Studie befasst sich mit dem ersten Punkt: die natürlichen Funktionen. Zu diesem Thema gibt es zwar wenig Unterlagen, es stösst aber auf ein grosses Interesse. Denn die natürlichen Funktionen der Fliessgewässer sind sehr vielseitig, deshalb lohnt es sich, sie im Detail zu analysieren.

Der **Schutz vor Hochwasser** ist auch ein sehr wichtiger Aspekt für den Gewässerraum, heutige hydraulische Modellierungen liefern aber weitgehend präzise Angaben für den dafür nötigen Raum. Zudem ist der Raumbedarf zur Gewährleistung der natürlichen Funktionen der Fliessgewässer in den meisten Fällen gleich oder grösser als der Raumbedarf zur Sicherstellung der Hochwassersicherheit. Im Allgemeinen wird daher angenommen, dass die Sicherheit punkto Hochwasser- und Überschwemmungsrisiken gewahrt ist, wenn auch die natürlichen Funktionen gewährleistet sind. Ausnahmen sind aber möglich, weshalb dieser Aspekt bei der Bestimmung und Festlegung des Gewässerraums nicht vernachlässigt werden darf. Denn dieser muss in jedem Fall dem Anspruch des Hochwasserschutzes genügen.

Gewässernutzung wird grundsätzlich in Zusammenhang mit der Produktion von Strom aus Wasserkraft verstanden. Der Gewässerraum zur Gewährleistung der Gewässernutzung betrifft nicht direkt die Wasserkraftwerke, sondern eher die Massnahmen zur Herabsetzung von negativen Auswirkungen der Kraftwerke. Die Grundidee ist, dass eine nachhaltige Nutzung der Gewässer sichergestellt werden kann, erst wenn genügend Massnahmen zur Begrenzung der negativen Auswirkungen getroffen wurden. Gemäss dem erläuternden Bericht zur parlamentarischen Initiative (s. Kap. 3) handelt es sich insbesondere um den «Gewässerraum [...], der für die Realisierung von Massnahmen zur Minderung negativer Auswirkungen von Schwall und Sunk (z. B. Ausgleichsbecken bei Speicherkraftwerken), für Becken zur

Pumpspeicherung oder für die Schaffung von Umgehungsgerinnen bei Kraftwerken oder Wehren benötigt wird». Da diese Funktion punktuelle und lokalisierte Entnahmen bedingt, ist es nicht sinnvoll, sie in das systematische Vorgehen einzubeziehen. Diese Verbauungen und die dazu notwendigen Flächen, müssen spezifisch, unter Berücksichtigung der ökologischen Funktionen, geplant werden. Der dafür benötigte Raum darf aber die ökologischen Funktionen nicht beeinträchtigen.

Die Übersichtstabelle (Tabelle 1) umfasst die verschiedenen **natürlichen Funktionen** des Gewässerraums, die in den Referenzdokumenten genannt werden (s. Kap. 3).

	Habitat	Funktion
Natürliche Funktionen	Aquatisch	Transport von Wasser und Geschiebe Aquatische Längsvernetzung Selbstreinigungskraft Strukturvielfalt der Gerinnesohle Erhaltung typischer Arten
	Amphibisch	Transversale Vernetzung Anreicherung von Grundwasser Strukturvielfalt des amphibischen Habitats
	Terrestrisch	Terrestrische Längsvernetzung Pufferwirkung Terrestrische Strukturvielfalt Überflutungsdynamik Entwicklung typischer Pflanzengemeinschaften Erhaltung typischer Arten Fähigkeit zur Resilienz von Populationen
Weitere Funktionen	Gesamtnetz	Landschaft Erholungsraum Hochwasserschutz Gewässernutzung

Tabelle 1. Liste der Funktionen des Gewässerraums.

Die meisten dieser Funktionen können nur dann vollumfänglich erfüllt werden, wenn keine menschliche Beeinflussung stattfindet. Dieser von menschlichen Eingriffen baulicher Art verschonte Raum, wird «**Mobilitätsraum**» genannt. In diesem Raum können sich das Fließgewässer und die angrenzenden Ökosysteme natürlich entwickeln.

In den folgenden Abschnitten werden diese natürlichen Funktionen im Detail behandelt und diejenigen ermittelt, anhand deren der Raumbedarf für grosse Fließgewässer festgelegt werden kann.

4.1 Aquatisches Habitat

4.1.1 Transport von Wasser und Geschiebe

Der Wassertransport ist die wohl grundlegendste Funktion eines Fliessgewässers. Sie hängt vereinfacht vom Durchflussquerschnitt sowie von allfälligen Hindernissen in der Gerinnesohle ab. Diese Funktion kann nicht direkt mit einer genauen Breite verknüpft werden: Bei einem Fliessgewässer mit ungenügender Abflusskapazität wird sich eine Tendenz zur Erosion der Gerinnesohle einstellen, was den Abflussquerschnitt sicherstellt. Dies wirkt sich zwar negativ auf andere Funktionen aus, nicht aber auf den Transport von Wasser.

Der kontrollierte Transport von Wasser muss bis zu einem gewissen Abfluss gewährleistet sein, um den Schutz vor Hochwasser sicherzustellen. In der Schlüsselkurve für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von bis zu 15 m ist der Raumbedarf für die Gewährleistung des Hochwasserschutzes eine lineare Funktion die ausschliesslich von der Breite des Gewässers abhängt. Dieser Ansatz ist jedoch nicht für hydraulische Dimensionierungen geeignet. Es sind weitere Parameter in Betracht zu ziehen, wie etwa die Rauigkeit der Gerinnesohle oder das Sohlgefälle. .

Von Gesetzes wegen darf die genügend grosse Abflusskapazität eines Fliessgewässers nicht vernachlässigt werden. Das Bundesgesetz über den Wasserbau (Art. 3; SR 721.100) verlangt einen Unterhalt, bei dem der vorhandene Hochwasserschutz und die Abflusskapazität im Gerinne gewährleistet werden muss. Da die Anforderungen vom Hochwasserschutz gross sind, darf man annehmen, dass die Bestimmungen zur Gewährleistung des Hochwasserschutzes ausreichen, um den Transport des Wassers als natürliche Funktion sicherzustellen.

Für den Transport von Sedimenten gibt es zwei Voraussetzungen:

1. Die Feststoffzufuhr (Geschiebe, Schwebstoffe) aus dem Einzugsgebiet muss gewährleistet sein, d. h. die Geschiebedurchgängigkeit aus dem Einzugsgebiet darf nicht unterbrochen sein;
2. Es sind relativ hohe Abflüsse mit genügend hohen Abflussgeschwindigkeiten für die Geschiebeführung notwendig.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist der Sedimenttransport gewährleistet, sofern keine Hindernisse im Gewässer vorhanden sind. Diese Transportfunktion ist (im Gegensatz zur Sedimentablagerung) nicht direkt mit dem vorhandenen Gewässerraum des Fliessgewässers korreliert. Der Sedimenttransport erfolgt z. B. in engen, eingetieften Gewässern effektiver als bei breiten, flachen Gewässern. Die Frage der

Ablagerung von Sedimenten wird im Kapitel zur Strukturvielfalt der Gerinnesohle behandelt (s. Kap. 4.1.4).

Für das weitere Vorgehen wird angenommen, dass der Transport von Wasser und Geschiebe in den natürlichen Fliessgewässern gewährleistet ist, wenn die Breite des Fliessgewässers der natürlichen Gerinnesohlenbreite entspricht. Diese Breite stellt auch einen gewissen Schutz vor Hochwasser sicher.

4.1.2 Aquatische Längsvernetzung

Die Längsvernetzung ist eine der Hauptfunktionen von Fliessgewässern. Für Wasserlebewesen hängt sie insbesondere vom Vorhandensein von Hindernissen im Gewässer, sowie von allfälligen Bauten, die eine Überwindung dieser Hindernisse ermöglichen ab.

Laut Hefti (2012) hängt das Überleben und der längerfristige Fortbestand einer Fischpopulation und seiner Art sehr stark von den Wandermöglichkeiten im Gewässer und seinen seitlichen Zuflüssen ab. Ausserdem kann eine örtliche Verschmälerung des Gewässers, die zu höheren Abflussgeschwindigkeiten führt, die Fische am Aufstieg hindern. Funktional ausgedrückt spricht man von einem «longitudinalen Kontinuum». Die Wiederherstellung der freien Fischwanderung entlang von stark verbauten Wasserläufen (und ihren Zuflüssen) stellt eine wesentliche Massnahme zur Erhaltung der jeweiligen Fischart dar. Sie ist aber nur dort angebracht, wo künstliche Hindernisse die Wanderung der Fische unterbrochen haben. Die Überwindung eines natürlichen Hindernisses ist aus biologischer Sicht kaum sinnvoll und kann sich punkto Biodiversität gar als kontraproduktiv erweisen.

Gute Strukturen in der Gerinnesohle verbessern die Längsvernetzung, vor allem wenn die Fliessgeschwindigkeit ein Hindernis für die Fischwanderung darstellt (Staas und Paulusch 2010). Aufgrund der Strukturvielfalt gibt es Bereiche mit unterschiedlichen (auch kleineren) Fliessgeschwindigkeiten. Die Fische können diese Bereiche mit variablen Geschwindigkeiten oder den Gegenstrom nutzen, um den Aufstieg in Gewässeroberläufe mit minimaler Anstrengung zu bewältigen. Diese Habitate mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Wassertiefen und Sohlensubstraten gewährleisten die aquatische Längsvernetzung. Die Bedürfnisse der Fische variieren je nach Art und Alter der einzelnen Tiere (Pedroli et al. 1991, Zaugg et al. 2003, Büttiker 2008).

In der Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie (BAFU 2012) zeigt die Untersuchung unterschiedlicher typischer aquatischer (Groppe, Bachflohkrebse, Eintagsfliegen) und terrestrischer Arten (Kiesbankgrashüpfer, Deutsche Tamariske), dass die Stabilität der Populationen hauptsächlich von der longitudinalen, der lateralen sowie der vertikalen Vernetzung abhängt.

Die aquatische Längsvernetzung ist sichergestellt, wenn der Transport von Wasser und Sedimente gewährleistet ist und keine vom Mensch erstellten Hindernisse diese Vernetzung behindern. Die Grösse des verfügbaren Gewässerraums ist bei dieser Funktion nicht entscheidend.

4.1.3 Selbstreinigungskraft

Die Selbstreinigung der Fliessgewässer erfolgt durch Mikroorganismen, Algen und Makrophyten (grössere Wasserpflanzen), auf und in der Gerinnesohle, sowie im Übergangsbereich zwischen Wasser und Land. Ähnlich wie in Abwasserreinigungsanlagen können diese Organismen organisches Material abbauen. Um sie zu fördern, braucht es angepasste vielfältige Habitate, sowie eine durchlässige Sohle und gute physikalisch-chemischen Bedingungen. Der grösste Teil der Selbstreinigung läuft über aerobe Prozesse ab.

Diese Funktion ist mit den Strukturen der Gerinnesohle korreliert und in geringerem Mass auch mit derjenigen der Böschungen.

4.1.4 Strukturvielfalt der Gerinnesohle

Die Strukturvielfalt der Gerinnesohle ist eine sehr wichtige Funktion. Je unterschiedlicher und je zahlreicher die Strukturen sind, desto mehr Arten kann das Fliessgewässer aufnehmen. So bestimmt die Strukturvielfalt die Vielfalt und die Anzahl der Habitate der aquatischen Lebensräume. Gostner (2012) hat gezeigt, dass in natürlichen Flüssen mit vielfältigen Strukturen langfristig verschiedene geeignete Habitate, auch für sehr breitflächige Abflussbereiche, Bestand haben. Hingegen können Fliessgewässer mit einer verarmten Morphologie einigen Arten bei ganz bestimmten Abflussmengen ausreichende Lebensbedingungen bieten, doch die Vielfalt der Habitate schwankt je nach Abfluss stark und besteht nicht lange Zeit.

Hat ein Fliessgewässer eine genügend grosse Mobilitätsbreite und reicht der Geschiebehalt für die Entwicklung einer natürlichen Gerinnebreite (Regimebreite) aus, dann bilden sich die verschiedenen Strukturen spontan. Unterschiedliche Strukturen entstehen je nach Abflussgeschwindigkeit, Wassertiefe und Art des Substrats (Spreafico et al. 2001, Ahmari und da Silva 2011). Die häufigsten Strukturen sind Sedimentbänke, Kolke und Furten (*Riffle-Pool-Sequenzen*).

Um diese Funktion zu gewährleisten, spielt die Mobilitätsbreite eine wichtige Rolle. Korrigierte Fliessgewässer mit einer ungenügend breiten aktiven Sohle (Gerinne und Ufer stabilisiert) weisen im Allgemeinen keine Strukturvielfalt auf. Das Abflussprofil ist gleichförmig, mit wenig Abwechslung hinsichtlich Fliessgeschwindigkeit und Wassertiefe. Um sein ganzes Potenzial auszuschöpfen, muss ein

Fliessgewässer die Breite zur Verfügung haben, die es unter natürlichen Bedingungen hätte.

Fazit: Die Strukturvielfalt der aquatischen Habitate ist gewährleistet, wenn der nicht befestigte zur Verfügung stehende Raum mindestens gleich gross ist wie die natürliche Gerinnesohlenbreite und ein ausreichender Geschiebeeintrag garantiert ist.

4.1.5 Erhaltung typischer Arten des aquatischen Habitats

Die für die aquatischen Lebensräume in Fliessgewässern signifikantesten typischen Arten sind die Fische. Andere Lebewesen, wie benthische Makroinvertebraten, sind aber auch wichtig, da sie Teil der Nahrungskette sind, einige davon dienen als Indikatoren für die Gewässerqualität.

Das Vorhandensein von Fischen steht nicht in einem direkten Zusammenhang mit dem verfügbaren Gewässerraum. Es ist nicht so, dass Forellen ein 5 m, Elritze ein 7 m und Alet ein 9 m breites Gewässer benötigen. Bekanntlich variieren die Anforderungen je nach Art und Alter der Fische, und zwar in Bezug auf Fliessgeschwindigkeit, Wassertiefe, Temperatur und Sohlensubstrat (Pedroli et al. 1991, Zaugg et al. 2003). Diese variierenden abiotischen Faktoren folgen aus der Vielfalt der morphologischen Strukturen der Sohle in den Fliessgewässern der unterschiedlichen Höhenlagen. Je grösser die Strukturvielfalt, desto mehr entsprechen die Lebensräume den Bedürfnissen einer grösseren Anzahl Arten. Typische Arten der aquatischen Lebensräume sind also stark abhängig von den Gerinnestrukturen. In der Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie (BAFU 2012) zeigt die Untersuchung unterschiedlicher typischer aquatischer (Groppe, Bachflohkrebse, Eintagsfliegen) und terrestrischer Arten (Kiesbankgrashüpfer, Deutsche Tamariske), dass die Stabilität der Populationen von der Vernetzung (s. Kap. 4.1.2) sowie von der Qualität und der Vielfalt der aquatischen und terrestrischen Lebensräume abhängt.

Fazit: Der für die Erhaltung der typischen Arten des aquatischen Habitats erforderliche Gewässerraum reicht aus, wenn darin ebenso vielfältige Strukturen wie in seinem natürlichen Zustand vorkommen können.

4.2 Amphibisches Habitat

4.2.1 Transversale (oder laterale) Vernetzung

Die transversale, auch laterale Vernetzung genannt, ermöglicht es verschiedenen Arten, aus Biotopen ausserhalb des Uferbereichs ans

Fließgewässer zu gelangen und zurück in die Biotope. Die Bedürfnisse sind artenspezifisch. Die transversale Vernetzung wird durch eine durchgehende Vegetation gewährleistet, die vom Ufer bis zur äusseren Grenze des Uferstreifens reicht. Für einige Arten muss die laterale Vernetzung sogar hindernisfrei sein (weder Dämme noch Betonmauern) (Ward und Stanford 1995, Ward et al. 1999). Obwohl die laterale Vernetzung stellenweise durch steile Böschungen unterbrochen werden kann, garantieren normalerweise dazwischenliegende flach abfallende Böschungen die Vernetzung für terrestrische und amphibische Organismen.

Jüngst veröffentlichte Studien (s. Kap. 12 die Webseite des *Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés* der Universität Lyon) zeigen, dass, anhand der ökologischen Anforderungen von Pflanzen, Karten über die hydrologische Beziehung der aquatischen Lebensräume und der Landschaften mit dem Fließgewässer oder mit dem Grundwasser erstellt werden können. Amphibien fungieren als Indikatoren für die Erstellung von Karten zur funktionellen Vernetzung, welche die räumliche Struktur biologischer Korridore berücksichtigen. Für Fische ist der Austausch zwischen den Gewässerkompartimenten (Hauptrinne, Altläufe, Feuchtgebiete) äusserst wichtig, sowohl als Rückzugsmöglichkeit bei Hochwasser als auch für die Nahrungssuche oder ihre Fortpflanzung. Diese Verbindungen tragen zum langfristigen Erhalt der Fischbestände bei.

Abbildung 2 veranschaulicht die Komplexität der lateralen Vernetzungen in Bezug auf Fließgewässer. Wenn genauere Angaben zur Messung der Vernetzung fehlen, wird davon ausgegangen, dass die transversale Vernetzung teils in der Qualität der Böschungsstrukturen (Strukturvielfalt des amphibischen Habitats, s. Kap. 4.2.3) und teils in der terrestrischen Längsvernetzung (s. Kap. 4.3.1) enthalten ist.

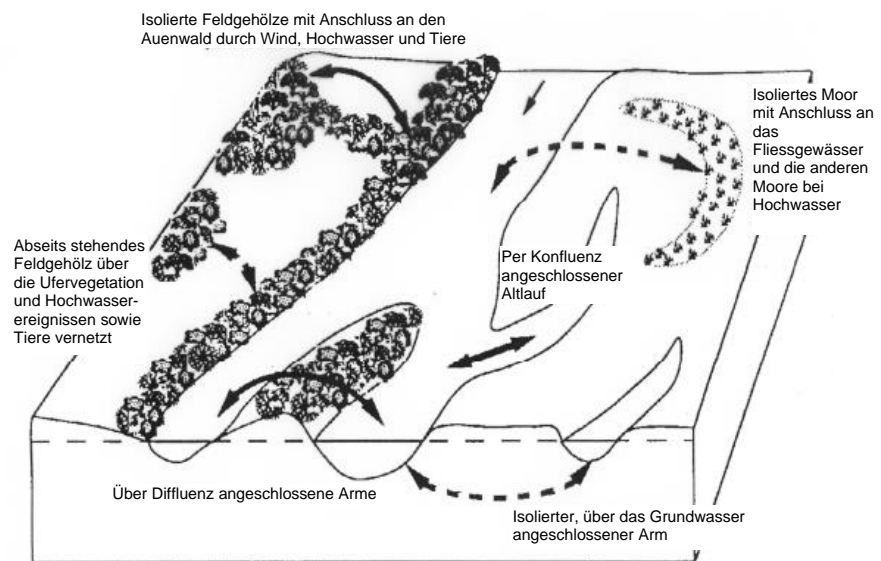


Abbildung 2. Verbindungen, die zur lateralen Vernetzung gehören. (Gautier 2009 angepasst)

4.2.2 Anreicherung von Grundwasser

Die Anreicherung von Grundwasser erfolgt durch einen Wasseraustausch, der im Hauptgerinne, d. h. an der Gerinnesohle, oder über die Böschungen stattfindet. Voraussetzung dafür ist, dass die Sohle nicht kolmatiert und die Böschungen durchlässig sind, zudem der Abfluss genügend gross. Der Wasseraustausch läuft in beide Richtungen ab. Bei Niedrigwasserstand kann das Grundwasser das Fließgewässer speisen und trägt zum Basisabfluss bei. Bei Hochwasser, wenn der Wasserstand des Fließgewässers höher ist als der Grundwasserspiegel, kann ein Teil des Abflusses versickern und das Grundwasser speisen (Sophocleus 2002). Diese Funktion hängt teilweise vom verfügbaren Gewässerraum ab. Bei korrigierten Fließgewässern mit einer kleineren als ihre natürliche Breite besteht die Tendenz, dass ihre Gerinnesohle sich durch Erosion eintieft, was den Wasserspiegel der nahegelegenen Grundwasservorkommen absinken lassen kann. Es gibt fürs Absinken des Grundwasserspiegels auch andere Einflussfaktoren, die geologischen Verhältnisse des Bodens und das Abflussregime: Es braucht genügend grosse Hochwasserereignisse, um kolmatierte Gerinnesohle wieder aufzureissen, sowie genügend Wasser, um das Grundwasser zu speisen. Wird im Gewässer Kies abgebaut oder ist der Geschiebenachschub nicht ausreichend, kann dies das Problem der Eintiefung des Gerinnes vergrössern.

Die Funktion erfolgt vor allem dann über das amphibische Habitat, wenn die Gerinnesohle unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegt, was häufiger vorkommt. Folglich ist das Sohlensubstrat unter der Gerinnesohle mit Wasser gesättigt, ein Austausch findet in der Regel nicht mehr dort statt. In diesem Fall erfolgt die Anreicherung des Grundwassers erst wenn der Wasserspiegel des Gewässers über dem Grundwasserspiegel liegt. Der Wasseraustausch findet dann vor allem über die Böschung, d. h. über das amphibische Habitat statt. In einigen Fällen jedoch befindet sich der Grundwasserspiegel unterhalb der Gerinnesohle. Dann erfolgt der Austausch mit dem Grundwasser hauptsächlich über die Gerinnesohle.

Man kann also davon ausgehen, dass die Funktion des Grundwasseraustauschs mit einem ausreichenden Raumangebot der aquatischen und amphibischen Lebensräume abgedeckt ist. Dies bedeutet, dass der verfügbare Raum, falls er für die Schaffung qualitativ hochstehender Strukturen ausreicht, ebenfalls für den Austausch mit dem Grundwasser genügt. Gemäss Grundwasserschutz BAFU findet bei den bestehenden Raumverhältnissen der Gerinne in der Schweiz ein genügender Austausch mit dem Grundwasser statt, so dass diese Funktion für den Gewässerraum nicht massgebend sein dürfte.

4.2.3 Strukturvielfalt des amphibischen Habitats

In einem Fließgewässer kennzeichnen wechselfeuchte Verhältnisse das amphibische Habitat, das den Wasserspiegelschwankungen unterworfen ist. Das amphibische Habitat entspricht den Uferböschungen des Hauptgerinnes, im Übergangsbereich zwischen der Gerinnesohle und dem Beginn des terrestrischen Habitats. Wichtige Strukturelemente stellen Erosionsstellen (steile Böschungen) und flache Ufer dar. Die Verbauung dieser Uferstrukturen hat grosse Auswirkungen auf das amphibische Habitat. Stabilisierte Böschungen können diverse natürliche Funktionen beeinträchtigen, da die Befestigungen den Austausch zwischen dem aquatischen und dem terrestrischen Habitat einschränken und kein geeignetes Bodensubstrat für Lebewesen an dieser Schnittstelle darstellen. Die transversale Vernetzung, die Selbstreinigungskraft und die Anreicherung von Grundwasser können durch solche Befestigungen wesentlich geschwächt werden (Woosley et al. 2005). Eine optimale Strukturvielfalt herrscht bei natürlichen Ufern, die der Dynamik des Fließgewässers ausgesetzt sind. Erosions- und Sedimentationsprozesse erhalten die Vielfalt der Uferstrukturen und gewährleisten die Qualität des amphibischen Habitats.

Punkto Vegetation können solche Uferabschnitte teilweise durch Vegetationsgruppen mit einer Lebensdauer von unter 5 Jahren besiedelt werden (Roulier et al. 2007), insbesondere mit Gemeinschaften krautiger Pionierarten, Flussröhrichten und jungen Weidengebüschen.

Diese Funktion hängt direkt vom verfügbaren Gewässerraum ab. Der optimale Zustand setzt natürliche Ufer voraus, was bedeutet, dass Uferbefestigungen, wenn erforderlich, vom Hauptgerinne entfernt errichtet werden müssen. Einige Uferbefestigungen lassen eine ziemlich gute Strukturvielfalt zu (Buhnen, ingenieurbio-logische Bauweisen; s. Zeh 2010, Frossard et al. 2014).

4.3 Terrestrisches Habitat

4.3.1 Terrestrische Längsvernetzung

Die terrestrische Längsvernetzung ermöglicht die Wanderung von Arten entlang von Gewässern. Sie erfordert einen Uferstreifen mit einer durchgehenden, dichten Vegetation, die sowohl als Unterschlupf als auch als Nahrungsquelle für die wandernden Tiere dient. Diese Funktion hängt vom verfügbaren Gewässerraum ab. Je grösser der Uferstreifen ist, desto mehr kann er die Bedürfnisse vieler Arten abdecken. Wird eine maximale Breite erreicht, erfüllt der Streifen sogar

die Bedürfnisse der anspruchsvollsten Arten. Die meisten Studien zu diesem Thema sind qualitativer Natur und liefern keine genauen Werte für den für die Vernetzung erforderlichen Gewässerraum. Werth et al. (Merkblatt 2, in BAFU 2012) stellen die Ausbreitungsdistanzen einiger Uferlebewesen dar, ohne im Detail auf die Bedürfnisse der Lebewesen für ihre Wanderung einzugehen. Roulier et al. (2007) haben die Bedürfnisse von 18 Tierarten (maximale Distanz, Qualität der Lebensräume) für die Längsvernetzung entlang der Rhone dokumentiert.

Die terrestrische Längsvernetzung wird speziell bei der Festlegung ökologischer Netzwerke berücksichtigt. Vier Informationsquellen wurden dafür genutzt:

- das Nationale ökologische Netzwerk REN (Berthoud et al. 2004)
- der Richtplan des ökologischen Netzwerks der Rhoneebene (Delarze 2005)
- das ökologische Netzwerk der unteren Rhoneebene (Plumettaz et al. 2010)
- das ökologische Netzwerk des Kantons Waadt (BEB SA 2012)

Die «Karte mit vereinfachter Darstellung des Potenzials der wichtigsten ökologischen Netzwerke und ihren Verbindungen» des REN hebt das Gewässernetz hervor, das von den grossen Fliessgewässern in der Schweiz gebildet wird. Es entspricht den Bedürfnissen der Wasserlebewesen, insbesondere der Fische. Aber die Bewegungsachsen für die grösseren Wildtiere folgen im Allgemeinen anderen Korridoren als denjenigen der Fliessgewässer, meistens durch grössere Waldgebiete. Es gibt keine Normen für die minimale oder die optimale Breite der Elemente des Netzwerks. Gilden von Wirbellosen (Gruppen von Arten mit analogen Bedürfnissen), die auf den Daten des Schweizerischen Zentrums für die Kartografie der Fauna (Info fauna – CSCF) basieren, werden erwähnt, um die Funktionalität des Netzwerks zu beurteilen.

Das oben erwähnte ökologische Netzwerk der Rhoneebene (Delarze 2005) stellt einen grossräumigeren Ansatz vor. Es wurden mehrere Subnetzwerke ausgeschieden, entsprechend den Lebensräumen (z. B. Fliessgewässer, mesophile Wälder) den pflanzlichen und tierischen Zielarten. Darin werden Mindestbreiten angegeben, welche die Funktionen als Verbindung (Korridore mit günstigen Bedingungen für die Arten) oder als Trittsteine («Stepstones») gewährleisten, zum Beispiel:

- Verbindungen für Amphibien: 10 m
- Aquatische Verbindungen mit trockenen «Stepstones»: 15 m
- vielseitige Verbindungen zu Kanalverläufen: 10 m

- Auentrittstein: Breite: 20 m (Fläche: 5 ha); dieses Biotop umfasst einen Teil des Gerinnes, die Böschungen sowie erste Stadien der Auenvegetation

Das ökologische Netzwerk des Kantons Waadt (BEB SA 2012) liefert Zahlen zu den Abmessungen der biologischen Verbindungen je nach ihrer lokalen, regionalen oder überregionalen Bedeutung. Für die Verbindungen von regionaler Bedeutung ist eine Breite von 40 bis 150 m vorgesehen (zentraler Korridor und Seitenstreifen), für die Verbindungen von überregionaler Bedeutung eine solche von 100 bis 400 m. Diese Werte sind mit dem gesamten Gewässerraum zu vergleichen, d. h. mit der Addition der Breiten der aquatischen, amphibischen und terrestrischen Lebensräume.

Die Funktion der terrestrischen Längsvernetzung entlang eines Fließgewässers hängt mehr von der Struktur in Kraut-Strauch-Baumschicht als von der Artengarnitur des Pflanzenbestands ab. Vor allem eine natürliche Stufung und die räumliche Verteilung des Pflanzenbestands erfüllt die Vernetzungsfunktionen für Wanderung und Unterschlupf und ist deshalb wichtiger als deren Zusammensetzung. Eine gut strukturierte nicht-alluviale Waldvegetation erfüllt die gleiche Rolle wie eine auentypische Bewaldung. Einige Arten der extensiven landwirtschaftlichen Bodennutzung, die in der GSchV genannt werden, eignen sich nicht für die Erfüllung dieser Funktion, wie etwa Wege oder extensive Wiesen ohne Gehölz. Dies wird bei der Beurteilung berücksichtigt. Diese Aspekte werden in Kapitel 7 diskutiert.

4.3.2 Pufferwirkung

Diese Funktion wird vom Uferbereich gewährleistet und trägt zur Wahrung der Wasserqualität bei, indem den Eintrag von Schmutz- oder Schadstoffen einschränkt. Auf die vier wichtigsten Stoffeinträge, die normalerweise bezüglich Wasserqualität genauer untersucht werden (CORPEN 2007), wird nachfolgend eingegangen: Schwebstoffe, Phosphor, Stickstoff und Pflanzenschutzmittel.

Schwebstoffe (ausgeschwemmte Bodenpartikel)

Belastungen durch Schwebstoffe können durch die Verschlämzung von Stillgewässern, eine erhöhte Trübung des Wassers oder durch den Wegfall von Lebensräumen der Wasserlebewesen (Kolmation) verursacht werden. Ausserdem können Schwebstoffe als Träger für andere Schadstoffe fungieren. Mit der Bodenerosion durch Regen über den Oberflächenabfluss gelangen sie ins Gewässer. Pufferzonen können den Eintrag von Schwebstoffen auf zwei Arten begrenzen: Erstens durch die Oberflächenrauigkeit, welche die Abflussgeschwindigkeit verringert. Denn, wie in Fließgewässern sinkt bei einer Verlangsamung der Geschwindigkeit die Transportkapazität, während die Sedimentablagerungen zunehmen. Zweitens durch

Förderung der Wasserversickerung. Falls das gesamte Abflusswasser versickern kann, lagern sich die Schwebstoffe in der Pufferzone ab.

Phosphor

Phosphor kann bereits in relativ schwachen Konzentrationen (einige Dutzend $\mu\text{g/l}$) in Gewässern zu Eutrophierungsproblemen führen. Es gibt zahlreiche Phosphorquellen (Industrie, Haushalte, landwirtschaftliche und gewerbliche Nutztierhaltung). Die Pufferzonen stellen einen wirksamen Schutz vor Phosphor dar, das aus Landwirtschaftsflächen ausgeschwemmt wird. Phosphor kommt in zwei Formen vor: in gelöster Form und an Feststoff (Partikel) adsorbiert. Im Allgemeinen fällt nur ein kleiner Anteil auf die gelöste Form an, doch in dieser Form, ist er für Gefässpflanzen und Algen biologisch verfügbar. Adsorbierter Phosphor ist an Bodenpartikeln gebunden. Das Wasser, das in den Boden versickert, verliert einen grossen Anteil an Phosphor, weil es sich leicht auf festen Oberflächen adsorbiert. Aus diesem Grund weisen unterirdische Gewässer in der Regel eine geringe Phosphorkonzentration auf (wenige $\mu\text{g/l}$). In den Pufferzonen hängt das Schicksal des Phosphors als Feststoff mit den Schwebstoffen zusammen. Der gelöste Phosphor fixiert sich teils auf dem Boden und wird teils von Pflanzen aufgenommen.

Stickstoff

Nitrate können das Wasser belasten. In der Schweiz darf Grundwasser, das zur Trinkwassergewinnung verwendet wird, höchstens eine Nitratkonzentration von 25 mg/l aufweisen. Ausserdem sind Nitrit und Ammonium für Wasserlebewesen giftig. Die maximal zulässige Ammoniumkonzentration in Fliessgewässern beträgt 0,2 mg/l Stickstoff bei Temperaturen über 10°C. Wie Phosphor trägt auch Stickstoff zur Eutrophierung von Lebensräumen bei. Die von den Pflanzen meist- absorbierte Form des Stickstoffs ist Nitrat. Im Gegensatz zu Phosphor lagert sich Stickstoff nur in äusserst geringen Mengen im Boden und auf Partikeln ab. Im Allgemeinen erfolgt der Stickstofftransfer aus Landwirtschaftspartellen unterirdisch und oberflächlich. Die Stickstoffbewegungen im Oberflächenabfluss bleiben gering. Die wichtigsten Prozesse zur Entfernung von Stickstoff aus dem Wasser sind die Absorption durch Pflanzen und die Denitrifikation (Bildung von Stickstoffgasen). Die Denitrifikation findet hauptsächlich in hydromorphen anaeroben Lebensräumen statt, etwa in Senken von Feuchtwiesen und Auenwäldern. Die Reinigungskraft von Nitraten durch die Pufferzone hängt folglich von deren Breite ab.

Pflanzenschutzmittel

Stoffe wie Insektizide, Herbizide oder Fungizide sind definitionsgemäss giftig (für gewisse Organismen). Daher ist es nicht erstaunlich, dass sie in höheren Konzentrationen im Wasser zu beträchtlichen Belastungen führen können. Sie liegen vor allem in gelöster oder kolloidaler Form vor: Ihre Verbreitung wird mehr durch Oberflächenabfluss oder

Versickerung als durch Erosion gesteuert. Einige Produkte verfügen über einen höheren Adsorptionskoeffizienten und können auch an Schwebstoffen fixiert transportiert werden, doch dieser Prozess findet untergeordnet statt. Pflanzenschutzmittel, die kaum zurückgehalten in die Tiefe migrieren, sind im Grundwasser nachweisbar. Werden sie jedoch durch Oberflächenabfluss oder flachgründige Versickerungen verfrachtet, können sie in der Pufferzone zurückgehalten und abgebaut werden. Die Pufferzonen weisen eine gute Fähigkeit auf, Pflanzenschutzmittel abzufangen.

4.3.2.1 **Zusammensetzung einer Pufferzone**

Der Vegetationstyp in der Pufferzone spielt eine Rolle bei der Abschwächung von schädlichen Einträgen. Doch kann nicht gesagt werden, dass eine Pflanzengemeinschaft geeigneter als eine andere wäre. Jede Artengruppe hat hinsichtlich der Pufferwirkung ganz bestimmte Eigenschaften. Gräser weisen beispielsweise eine hohe Stängeldichte auf, was den Abfluss bremst und Schwebstoffe zurückhält. Gehölze fördern am besten die Wasserversickerung in der Pufferzone, und ein dichtes Blattwerk schützt den Boden vor Erosion durch den Regen. Ausser die Nadelhölzer bewerkstelligen die meisten Pflanzen die Denitrifikation. Nach dem CORPEN-Bericht (2007) ist die wirksamste Pufferzone wohl eine **Kombination eines Krautsaums (ausser, auf der Seite des Feldes) und eines Gehölzstreifens (innen, auf der Seite des Fliessgewässers)**. Allerdings gibt es nur wenige Studien zu diesem Thema. Mangels genauerer Informationen und zur Vereinfachung gehen wir davon aus, dass bei gleicher Breite ein Gehölzstreifen dieselbe Pufferkapazität wie ein Krautsaum aufweist.

4.3.2.2 **Grösse der Pufferzonen**

Aus praktischen Gründen ist es sinnvoll, eine Pufferzonenbreite querab zum Fliessgewässer festzulegen. Die Wirksamkeit der Pufferzone hängt von der Distanz ab, die das Wasser in der Pufferzone zurücklegt, und von der Dauer, die es dafür benötigt. So erfordern sehr steile Böschungen eine breitere Pufferzone, wegen der kurzen Strecke des Oberflächenwassers bis zum Fliessgewässer. Die Topografie hat daher einen grossen Einfluss, da sie den Wasserabfluss gestaltet.

Die Wirksamkeit einer Pufferzone kann beim Zusammentreffen von verschiedenen Oberflächenabflüssen signifikant reduziert sein (Erosionsrinnen). Wird die Landwirtschaftsfläche mit Drainagen in das Gewässer entwässert, verliert die Pufferzone auch ihre Wirkung. In einem geringeren Ausmass weisen ebenso Gräben oder Abflussrinnen denselben Nachteil auf.

Bei sehr durchlässigem Gelände versickern sämtliche Niederschläge und fliessen direkt ins Grundwasser. Auch in diesem Fall ist die Pufferzone weniger wirksam, da keine direkte Interaktion mit dem mit Schadstoffen belasteten Wasser stattfindet.

Die Bodenfeuchtigkeitsbedingungen beeinflussen ebenfalls die Pufferfunktion. Bei einem bereits wassergesättigten Boden findet keine Versickerung statt, und ein Grossteil des Oberflächenabflusses erreicht das Gewässer ohne reinigende Wirkung der Pufferzone. Dafür begünstigt ein wassergesättigter Boden die Denitrifikation.

Das oberste Ziel der Pufferzonen besteht darin, die Schadstoffkonzentration im Fliessgewässer zu begrenzen. Die Konzentration ist das Verhältnis zwischen der Menge an Substanzen und dem Wasservolumen. Bei einem gleich grossen Schadstoffeintrag sind die Konzentrationen bei kleinen oder mittleren Fliessgewässern höher als bei Gewässern mit hohen Abflussvolumen. Um folglich einen Qualitätsstandard für Wasser einzuhalten, der auf Konzentrationswerten beruht, müssen die Anforderungen an die Funktion der Pufferzone für kleine und mittelgrosse Fliessgewässer höher sein als für grosse Fliessgewässer. Konzeptuell verhält sich die Bedeutung der Pufferzone umgekehrt proportional zur Breite des Fliessgewässers.

4.3.2.3 Raumbedarf der Pufferzonen

In der Schweiz sind Pufferstreifen mit einer Breite von 6 m beidseits des Fliessgewässers im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) zwingend einzuhalten, und zwar gemäss Artikel 21 und dem Anhang 1 Ziffer 9.6 der Direktzahlungsverordnung (DZV; SR 910.13). Diese Streifen müssen auf ihrer ganzen Breite (6 m) und Länge ganzjährig mit Krautvegetation bedeckt sein. Auf einer Mindestbreite von 6 m dürfen keine Pflanzenschutzmittel und auf einer Breite von 3 m keine Düngemittel ausgebracht werden. Säumen Hecken oder Ufergehölze das Gewässer, beginnt der 6 m breite Streifen ohne Pflanzenschutzmittelanwendung am Ufer des Gewässers und schliesst das Ufergehölz, unabhängig von der Böschungsneigung, ein. Das Gehölz selbst ist von einem 3 m breiten Krautsaum umgeben, in dem weder Dünger noch Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen dürfen (AGRIDEA 2009).

Tabelle 2 (CORPEN 2007) zeigt Erfahrungswerte bei durchschnittlichen Gegebenheiten. Diese Mittelwerte sind gemäss Anmerkungen des vorangehenden Kapitels anzupassen. Die Werte können sehr unterschiedlich ausfallen.

Breite der Pufferzone [m]	ist ausreichend für :
0	-
5	Schwebstoffe
10	Phosphor (Feststoff) und Stickstoff
15	Gelöster Phosphor
20	Pflanzenschutzmittel

Tabelle 2. Pufferzonenbreiten und Art der gefilterten Substanz (Quelle: CORPEN-Bericht 2007).

Wir gehen von der pragmatischen, vereinfachenden Hypothese aus, dass die Filterwirkung mit einem 20 m breiten Pufferstreifen zu 100% erfüllt ist. Dieser Streifen muss beidseits des Gewässers vorhanden sein. Mikroverunreinigungen sind in der Methode nicht berücksichtigt.

4.3.3 Strukturvielfalt des terrestrischen Habitats

Die Verjüngungsdynamik durch Erosions- und Sedimentationsprozesse bewirkt die Strukturvielfalt des terrestrischen Habitats. Es werden insbesondere zwei Arten von Strukturen unterschieden: Auenterrassen und feuchte Mulden. Die feuchten, manchmal überfluteten Mulden sind auf den Verlauf eines Altarmes zurückzuführen. Sie sind nicht mehr ständig mit dem Hauptfliessgewässer verbunden und werden durch das Grundwasser gespeist. Die Auenterrassen entstehen durch die Ablagerung von Sedimenten bei grossen Hochwassern, indem das mit Sedimenten beladene Wasser ausfert. Mehrere Arbeiten beschreiben die Bildung und die Funktionen der Auenterrassen sowie der Altarme (Amoros und Petts 1993, Amoros und Bornette 2002, Piégay et al. 2003).

Die Landstrukturen eines Gewässers hängen von der Gerinneform sowie von den transportierten Sedimenten ab. Auenterrassen werden vor allem mit verzweigten Gerinnen und Altarme mit Mäandern in Verbindung gebracht. Häufig finden sich auch Übergangssysteme mit beiden Arten von Strukturen.

In den verzweigten Gerinnen mit hohem Feststofftransport bewirken die Überflutungen bei hohen Abflüssen (grösser als HQ_5) Sedimentablagerungen ausserhalb der Hauptrinne, was zur Bildung von Auenterrassen führt. Der für die Bildung von Auenterrassen erforderliche Raum hängt von der Ausdehnung der Überflutung und der Topographie ab.

Im natürlichen Zustand schnüren sich ausgebildete Mäander ab, sobald der Mäander seine maximale Amplitude erreicht hat. Dies führt zur Bildung von Altarmen, die zur grossen Strukturvielfalt des terrestrischen Habitats beitragen (Paccaud et al. 2010). Damit ein

Mäander sich abschnürt, muss er ein fortgeschrittenes Wachstumsstadium erreicht haben, was viel Raum erfordert. Zur Erfüllung dieser Funktion, muss der verfügbare nicht befestigte bzw. stabilisierte Raum der Amplitude entsprechen, die die Mäander unter natürlichen Bedingungen aufweisen würden. Obwohl ein Altarm ein Lebensraum ist, der über das Grundwasser gespeist wird, wird er nicht als amphibisches oder aquatisches Habitat betrachtet, da er vom Hauptgewässer abgetrennt ist: Seine Struktur gehört zum terrestrischen Habitat, sobald sich das Fließgewässer verlagert hat.

In den Auengebieten von nationaler Bedeutung finden sich zahlreiche Altarme oder deren topografische Spuren am Rande des Auengebiets, manchmal sogar ausserhalb des Objektperimeters. Diese früheren Altarme belegen den maximalen Pendelraum von Malavoi et al. (1998). Dies lässt sich insbesondere in den Auengebieten «Les Iles de Villeneuve FR VD» (Objekt 52 des Aueninventars des Bundes), «Eggrank-Thurspitz ZH SH» (Objekt 5) sowie bei den Altarmen in der Aareebene BE SO beobachten.

4.3.4 Überflutungsdynamik

Überflutungen beeinflussen die an das Gewässer angrenzenden Lebensräume. In den Auen- oder Moor-Systemen mit schwachem Geschiebehalt wirken sich die Überflutungen auf die Ufervegetation aus und begünstigen Feuchtwiesen und Sumpfvegetation. Das flache Gelände besteht meistens aus feinem, schlecht durchlässigem Material, was die Überflutungsdauer der Ufervegetation erhöht. Ausserdem steigert dieser flache Relieftyp die seitliche Ausdehnung der Überschwemmungen. Der vom Fließgewässer beeinflusste Streifen kann daher ein Vielfaches der Breite des Hauptgerinnes erreichen. Die Überflutungsdynamik kann auch bei befestigten bzw. stabilisierten Systemen auftreten. Überflutungen können einerseits durch Ausuferungen an dafür vorgesehenen Stellen auftreten, oder sich andererseits durch einen Anstieg des Grundwasserspiegels einstellen. Solche Überflutungsereignisse müssen häufig genug auftreten, damit sie einen signifikanten Einfluss auf die Vegetation im überflutbaren Raum haben. Der Abfluss, ab dem eine Überflutung stattfindet, liegt bei etwa HQ_1 oder HQ_2 (Paccaud et al. 2010).

4.3.5 Entwicklung von typischen Pflanzengemeinschaften

Die Beobachtung natürlicher oder wenig beeinträchtigter Auensysteme wurde genutzt, um Beispielsituationen zu schildern. Die Auengebiete des Aueninventars des Bundes stellen dazu nützliche räumliche Referenzen dar.

Der Bezug zwischen dem vorhandenen Gewässerraum und der Vielfalt der Pflanzengemeinschaften wurde in den letzten Jahren in drei verschiedenen Ansätzen behandelt.

4.3.5.1 Transektbasierter Ansatz

Beim «Forschungsprojekt Rhone-Thur» (2001 – 2005) wurden mehrere Vegetationstransecte an den Ufern von Rhone und Thur untersucht. Die Ergebnisse stellen in allgemeiner und empirischer Weise einen Bezug zwischen dem Aufweitungsfaktor der beiden korrigierten Fliessgewässer (Rhone, Thur) und der Vielfalt der Vegetation her (Auftreten von verschiedenen auentypischen Lebensraum-Kompartimenten), die die Aufweitungen besiedelt (Roulier und Vadi 2004, Vadi et al. 2006). Im Vergleich zu den Aufweitungen der Hauptgerinne von Thur und Rhone (erste zwei Zeilen der Tabelle 3) wurden die Absenkung des Hauptgerinnes der Thur in Warth-Weiningen TG (3. Tabellenzeile) und die Struktur der Aue in Pfywald (4. Tabellenzeile) analysiert. Für den Pfywald stellt man fest, dass die Entwicklung sämtlicher Auenkompartimente einen Raumbedarf von rund der 3-fachen Breite des «wenig korrigierten» Gerinnes voraussetzt. Diese vier Beispiele geben eine allgemeine Vorstellung über das Verhältnis der Gerinnebreite zum Raumbedarf eines Fliessgewässers.

Korrigiertes Gerinne, aufgeweitet um den Faktor 1,5 bis 2	Auftreten von krautigen Pionierpflanzen-Gesellschaften auf den Sedimentbänken. Eine solche Breite kommt der von den Wasserbauern festgelegten Regimebreite nahe. Die terrestrischen Flächen werden durch zwei- bis fünfjährliche Hochwasserereignisse verjüngt.
Korrigiertes Gerinne, aufgeweitet um den Faktor 2 bis 3	Auftreten von krautigen Pionierpflanzen-Gesellschaften auf den Sedimentbänken und von Weichholzformationen auf den Auenterrassen des Hauptgerinnes
Keine Aufweitung des Gerinnes, Absenkung des korrigierten Vorlandes.	Hauptgerinne: keine krautige Vegetation Korrigiertes Vorland mit Auen: Auftreten von Weichholzformationen
Auengebiet von Pfywald: wenig korrigiertes Gerinne (250 m), intaktes Gewässerbett mit Auen (700 m)	Entwicklung sämtlicher Bestandteile des Auengebiets: auentypische Kraut-, Weichholz- und Hartholzformationen , Trockenstandorte (Trockenwiesen, Föhrenwälder), Stillgewässer

Tabelle 3. Bezug zwischen dem Aufweitungsfaktor des korrigierten Hauptgerinnes und der Vegetationsvielfalt der Aufweitungen (Roulier und Vadi 2004, Vadi et al. 2006).

4.3.5.2 Ansatz mit Vegetationskarten: der Rhein im Kanton Graubünden

Die Vegetationskarten, die für jedes Auengebiet von nationaler Bedeutung vom BAFU erstellt werden, zeigen die räumliche, mosaikartige Verteilung der Vegetationseinheiten. Wie in Gallandat et al. (1993) beschrieben, wurden seit 1987 22 Einheiten nach demselben System kartiert. Die Vegetationskarten werden ergänzt mit Karten zu Nutzung und Beeinträchtigungen. Dämme und Uferbefestigungen sind dort erfasst. Diese Dokumente erlauben es, den Inhalt der Objekte zu kennen, ihren natürlichen Wert zu beurteilen, sie zu vergleichen und zu klassifizieren und schliesslich auch ihre zeitliche Entwicklung zu dokumentieren.

Für die Bedürfnisse der 3. Rhonekorrektur wurden repräsentative Abschnitte des Rheins zwischen Rhäzüns und Mastrils GR analysiert, um die räumlichen und zeitlichen ökologischen Anforderungen der Vegetation dieser Art Auensystem zu ermitteln (kolline Systeme der Zentralalpen, s. Hausammann et al. 2005).

Als Beispiele werden nachfolgend 6 Situationen vorgestellt und kurz interpretiert. Diese 6 Kartenausschnitte erlauben es, wie im vorherigen Kapitel, einen allgemeinen Bezug zwischen der Grösse des Fliessgewässers und dem Raum, der für die Entwicklung der Auenkompartimente benötigt wird, herzustellen (Abbildung 3).

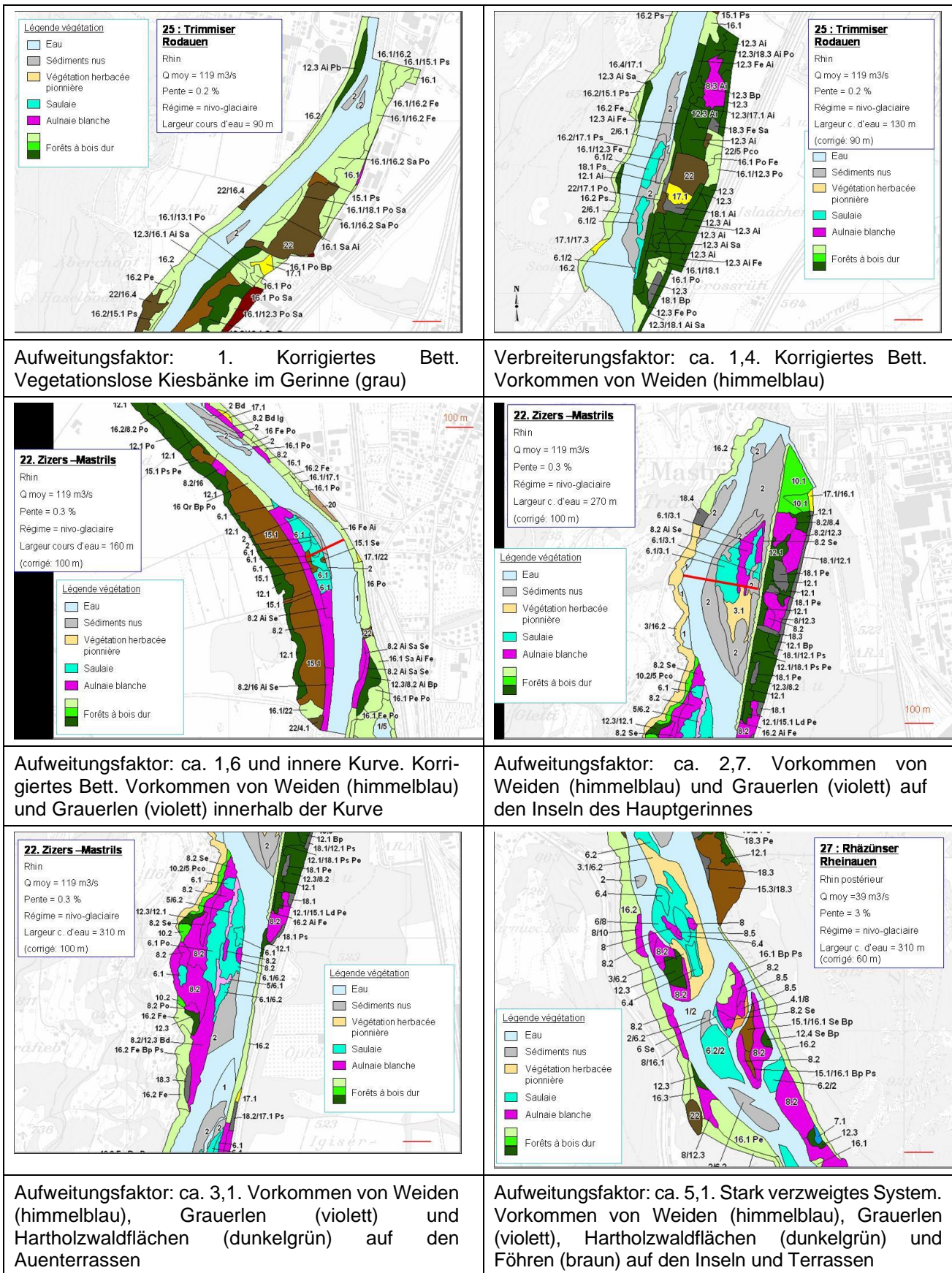


Abbildung 3. Bezug zwischen dem Aufweitungsfaktor des Hauptgerinnes und der Zusammensetzung des Mosaiks der auentypischen Vegetationseinheiten (nach Roulier et al. 2007).

Tabelle 4 fasst die Sukzession der auentypischen Pflanzenformationen zusammen.

Korrigiertes, nicht aufgeweitetes Gerinne	Vorkommen von nackten Sedimenten bei Niedrigwasser
Korrigiertes, aufgeweitetes Gerinne 1,4 bis 1,6 -fach	Vorkommen von krautiger Pioniervegetation und von Weichholzformationen auf den Sedimentbänken sowie auf den Auenterrassen, die das Hauptgerinne umgeben
Korrigiertes, aufgeweitetes Gerinne 2,7 bis 3,1 -fach	Vorkommen von krautiger Pioniervegetation und von Weichholzformationen auf den Sedimentbänken sowie auf den Auenterrassen, die das Hauptgerinne umgeben. Ausserdem kleine Flächen mit Hartholzformationen
Auengebiet von Rhäzüns: verzweigtes System, dass einer 5-fachen Aufweitung des korrigierten Gerinnes entspricht	Auentypische Kraut-, Weichholz- und Hartholzformationen , Trockenstandorte (Trockenwiesen, Föhrenwälder)

Tabelle 4. Bezug zwischen dem Aufweitungsfaktor des Hauptgerinnes und dem Vorhandensein von auentypischen Pflanzenformationen.

Dieser empirische Ansatz birgt einige Grenzen, denn es wird nicht zwischen Mäandern und verzweigten Gerinnen unterschieden. Ausserdem ist die natürliche Gerinnesohlenbreite in den vorgestellten Fällen nicht genau bekannt. Immerhin beschreibt der Ansatz wie sich die Gewässervegetation entwickeln kann. Zudem hebt sie den Raumbedarf der auentypischen Formationen und ihr Bezug zur Fliessgewässerbreite deutlich hervor.

4.3.5.3 **Ansatz mit Vegetationskarten: die Aare zwischen Thun und Bern**

Bonnard und Witschi (2012) haben den Raumbedarf der Auenv egetation an der Aare zwischen Thun und Bern untersucht. Dazu haben sie 110 Querprofile aus Vegetationskarten von 5 Auengebieten (Aare, Reuss und Rhone unterhalb des Genfersees) mit ähnlichen Bedingungen wie die Aare analysiert, und eine Tabelle mit den für die Auenformationen erforderlichen Breiten erstellt. Tabelle 5 fasst die

Ergebnisse der Messungen der durchschnittlichen und maximalen Breiten der Pflanzenformationen, die beide Ufer besiedeln, zusammen.

Vegetation	Durchschnittliche Breite [m]	Maximale Breite [m]
Nackte Sedimente	7	12
Krautige Pioniervegetation	21	64
Weichholzformationen	20	119
Hartholzformationen	31	133
Flachmoore	28	176

Tabelle 5. Durchschnittliche und maximale Breiten der auentypischen Ufervegetation auf beiden Ufern.

Die Mittelwerte erscheinen am repräsentativsten zu sein. Die nicht angegebenen Medianwerte liegen alle unter den Mittelwerten. Im Vergleich mit der Grösse des Fliessgewässers wird die natürliche Gerinnesohlenbreite der Aare zwischen Thun und Bern mit 40 bis 80 m angenommen. Die Uferbereichsbreite (einseitig), welche die Vegetationszonen bis und mit Weichholzformationen beherbergen kann, beträgt 50 m (ähnlich wie die natürliche Gerinnesohlenbreite).

Dabei wird das Vorkommen einer neuen Pflanzenformation, den Flachmooren, festgestellt. Die Flachmoore belegen die Altläufe sowie die feuchten und überfluteten Mulden, die vom Fliessgewässer in den grossen kollinen Auensystemen des Mittellandes geschaffen wurden. Ausserdem haben die geringe Geschiebemenge sowie Bauwerke der Gewässerkorrekturen in den 5 untersuchten Auengebieten wahrscheinlich einen Einfluss auf die Messwerte.

4.3.5.4 Minimaler Flächenbedarf: die Rhonekorrektur

Im Rahmen der 3. Rhonekorrektur wurde der Flächenbedarf dreier Zielvegetationseinheiten in 13 Auengebieten von nationaler Bedeutung ermittelt, um den minimal erforderlichen Aufweitungsfaktor für die typische Vegetation zu kennen (Roulier et al. 2007). Wie in den vorherigen Kapiteln wurden die Vegetationskarten der Auengebiete verwendet.

Die Zielhabitate mit Vegetationseinheiten:

- Alluvionen mit krautiger Pioniervegetation (*Epilobion fleischeri*), Einheit 3.1
- Auen-Weidengebüsch mit Tamarisken (*Salici-Myricarietum*), Einheit 6.2

- Montaner Grauerlen-Auenwald (*Calamagrostio-Alnetum incanae*), Einheit 8.2

Anschliessend wurde eine Statistik über die Breiten und die Flächen der Polygone der Vegetationszonen erstellt. Die Ergebnisse der Messungen werden hier nicht vorgestellt. Tabelle 6 zeigt die daraus abgelesenen Mindestanforderungen punkto Breite und Fläche der untersuchten Pflanzenformationen. Die Anforderungen von Mischformationen (Weichholz – Hartholz) sowie von Hartholzformationen werden ebenfalls aufgeführt.

Auenformation		Code gemäss Tool	Minimale Breite [m]	Minimale Fläche [m ²]
Krautige Pioniergesellschaften der Auen		AI 1	15	1500
Bestände von Weiden, Sanddorn, Tamariske	Zieleinheit 6.2	AI 2.1	15	1500
Grauerlengebüsch	Zieleinheit 8	AI 2.2	30	8000
Dynamischer Grauerlenwald		AI 2.3		
Grauerlen-Pappel-Wald		AI 3.1	30	3000
Stabiler Grauerlenwald		AI 3.2		
Eschenwald		AI 4	30	3000

Tabelle 6. Minimale Breiten und Flächen der Zielhabitate (Vegetationstypen) der 3. Rhonekorrektur (Werte für beide Ufer).

Die für die 3. Rhonekorrektur ermittelten Zielhabitate sind farblich hervorgehoben. Diese Mindestwerte dienen dazu, die minimale Breite des dynamischen Raums zu definieren, der sich zwischen den zwei künftigen Rhonedämmen befindet. Entsprechend wurde der mittlere Querschnitt der neuen Rhone auf das 1,6-fache der heutigen Breite zwischen den zwei Dämmen festgelegt. Punktuelle grössere Aufweitungen in Abständen von 10 km ermöglichen die Entwicklung aller Vegetationszonen (bis zu den Hartholzformationen) und bieten den Organismen bei ausserordentlichen Hochwasserereignissen Rückzugsmöglichkeiten.

Die auf Basis der Vegetationskarten vorgeschlagenen Werte rechtfertigen sich auch durch die direkte Beobachtung der natürlichen Systeme:

- Die Breite einer Pflanzenformation muss mindestens der doppelten Höhe der diese Pflanzenformation dominierenden Sträucher oder Bäume betragen. So erlauben es diese Werte der Vegetation, sich weiterzuentwickeln. Der typische Aspekt der Zonen und des Ufermosaiks wird dadurch wiederhergestellt; es entstehen keine engen und parallel verlaufenden Streifen (Art von Uferhecken);
- Die Mindestbreiten müssen eine Entwicklung der typischen Vegetationseinheiten ohne zu grossen Randeffekt ermöglichen (Eindringen von Arten aus benachbarten Lebensräumen);

- Ausserdem müssen diese Breiten eine gewisse Stabilität (Resilienz) gegenüber äusserem Druck erlauben (Trittbelastung, Störung im Uferbereich oder am Dammweg).

Das Merkblatt «Förderung der Dynamik bei Revitalisierungen» von Scheidegger et al. (in BAFU 2012) gibt Werte für den minimalen Flächenbedarf an, sie liegen leicht über den obengenannten Werten.

4.3.5.5 Fazit

Die in diesem Kapitel vorgestellten Werte stammen sowohl aus den grossen Auengebieten den kollinen und montanen Stufen der Schweizer Alpen als auch aus solchen des kollinen Mittellandes. Zurzeit kann diese Stichprobe als repräsentativ gelten.

Um Referenzwerte für die Entwicklung typischer Pflanzengemeinschaften festzulegen, werden **prioritär die Weichholzformationen im Gewässerraum begünstigt, da diese infolge der grossen Korrekturen am seltensten geworden sind.** Bei einer gesamthaften Betrachtung der Werte des Raums, der je nach Breite des Gewässers Weichholzformationen beherbergt, stellt man fest, dass diese folgenden Raum beanspruchen:

- 2- bis 3-fache korrigierte Gerinnebreite (Rhone und Thur)
- 1,4- bis 3,1-fache korrigierte Gerinnebreite (Rhein)
- 1,2- bis 2,4-fache natürliche Gerinnesohlenbreite (2 × 48,68 m: 40 – 80 m): Mittelwerte (Aare, Reuss, Rhone GE)
- 1,0- bis 1,5-fache Regimebreite (= natürliche Gerinnesohlenbreite) (2 × 45 m: 60 – 90 m): Mindestwerte (Rhone)

Als Fazit der obigen Werte kann gefolgert werden, dass die für die **Entwicklung von Weichholzformationen vorgeschlagene minimale Mobilitätsbreite der 1,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss** entspricht. **Der maximale Mobilitätsraum (einschliesslich des Gewässers) entspricht folglich der 2,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss.** Die technischen Begriffe werden im Glossar definiert.

Jenseits des Maximalwerts entwickeln sich die Vegetationszonen weiter und diversifizieren sich: Hartholzformationen können sich ansiedeln, anschliessend eine Trockenvegetation. Abbildung 4 zeigt die Ansiedelung typischer Pflanzenformationen je nach Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Fliessgewässers.

Aus dieser Grafik geht hervor, dass in Fällen, in denen die Regeneration von Hartholzwäldern durch eine Revitalisierung angestrebt wird, der erforderliche Mobilitätsraum (einschliesslich des Gewässers) folglich der 3,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss entspricht. Diese Anforderung kommt bei Auengebieten (s. Kap. 6.4.1) zum Tragen.

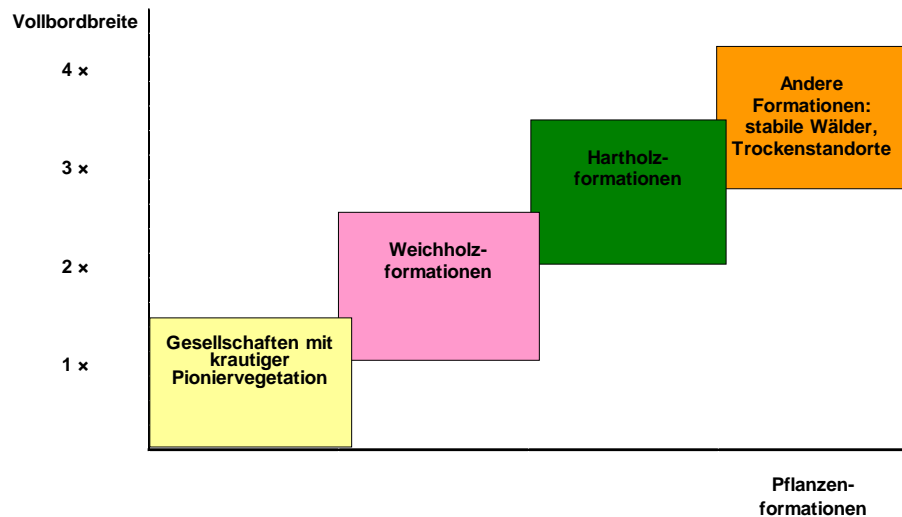


Abbildung 4. Ansiedelung typischer Pflanzengemeinschaften je nach Gewässerraum (dargestellt in Vielfachen der Wasserspiegelbreite bei Vollbord bzw. bettbildendem Abfluss).

4.3.6 Erhaltung von typischen terrestrischen Arten

Der Lebenszyklus auentypischer amphibischer und terrestrischer Arten, insbesondere von Tieren, erfordert Flächen von Auenlebensräumen ab dem Gewässer bis in die Auenwälder, gar bis hinaus in angrenzende Habitate wie Altarme, Moore oder Zuflüsse.

Je nach Fall, Anforderungen und ökologischen Zielen der Eingriffe kann das Verfahren noch eine oder mehr Anforderungen für anspruchsvolle Arten berücksichtigen. Für die 3. Rhonekorrektur (Roulier et al. 2007) wurden 18 Tierarten bezeichnet, die für verschiedene Lebensräume oder Kombinationen von Lebensräumen typisch sind. Ihre qualitativen und quantitativen Ansprüche erlaubten, Varianten aus Sicht der Fauna zu vergleichen sowie die longitudinale Durchgängigkeit zu beurteilen. Solch typische Arten sind etwa die Türks-Dornschrecke (*Tetrix tuerki*), der Europäische Biber (*Castor fiber*), der Flussuferläufer (*Actitis hypoleucos*) und der Kleine Schillerfalter (*Apatura ilia*), die verschiedene Kompartimente des Gewässerraums besiedeln.

In Anbetracht der Vielfalt der Arten, ihrer ökologischen Ansprüche und ihrer geografischen Verbreitung werden die Anforderungen der Arten im vorliegenden Verfahren nicht erörtert. Diese Anforderungen spiegeln sich in der Erfüllungskurve der typischen Gemeinschaften wider. Für die Umsetzung der Biodiversitätsstrategie Schweiz werden die Flächen- und die Qualitätsbedingungen für ausgewählte Zielarten erarbeitet, die dadurch in das Verfahren integriert werden können.

4.3.7 Resilienzvermögen von Populationen

Hierbei handelt es sich um die Fähigkeit von Populationen im terrestrischen Habitat, sich nach einer Störung der Pflanzenbestände zu reetablieren.

Amoros und Petts (1993) erklären, dass im abiotischen Teil des Gewässersystems die erforderliche Dauer, damit sich nach geomorphologischen Veränderungen ein neues Gleichgewicht einstellt oder das System wieder zu den Merkmalen vor dem Ereignis zurückkehrt, «*Relaxationszeit*» genannt wird. Aber die beiden Autoren äussern sich nicht über die Wiederherstellung von Pflanzenpopulationen (z. B. des Mosaiks) nach einer Störung. Frontier und Pichod-Viale (1995) sehen diese Eigenschaft in der Populationsdynamik der Arten: «Resilienz herrscht, wenn der Bestand einer Art zusammenbricht, aber nicht vollständig verschwindet, d. h. sie zieht sich zurück und bleibt in der Lage, wieder ihre Stellung als vorherrschende Art zurückzugewinnen.» Ausgehend davon (Resilienz von Populationen) wird vorgeschlagen, den Begriff der Resilienz auf ufertypische Vegetationsgruppen der Fließgewässer anzuwenden, insbesondere auf Weichholzformationen.

Das Messen der Resilienz und die Umrechnung in Messwerten zur Erstellung einer Erfüllungskurve ist eine komplexe Angelegenheit. Bekanntlich ist ein grosses Auensystem, das ein Fließgewässer umgibt, stabiler gegenüber Störungen (Hochwasserereignisse) und hält die Elemente des Vegetationsmosaiks besser zurück als ein reduziertes System mit schmalspurigen Streifen entlang des Fließgewässers (Bezzola und Hegg 2008).

Bei der 3. Rhonekorrektur wurden grosse Aufweitungen (Pendelband von rund der 3-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss) projektiert, um die terrestrische Vegetation zu schützen und zu bewahren (alle Weichholzformationen und ein Teil der Hartholzauen) sowie um als Rückzugsgebiet für die Tiere bei grossen Hochwassern (HQ₅₀ – HQ₁₀₀) zu dienen.

Gemäss heutigem Kenntnisstand kann das Resilienzvermögen von Populationen durch die Erfüllungskurve der typischen Pflanzengemeinschaften dargestellt werden.

4.4 Soziale Funktionen

4.4.1 Erholungsraum

Die Erholungsfunktion (Erholungsraum) wird in allen Unterlagen zum Gewässerraum genannt. Es handelt sich um eine wichtige Funktion, die dennoch in die Definition der natürlichen Funktion miteinbezogen wird,

da es sich um eine soziale Funktion des Fliessgewässers handelt. Zudem hängt sie nicht direkt vom verfügbaren Raum ab, sondern von den Anlagen entlang des Flusses. Eine interessante Frage ist, inwieweit Freizeitfunktionen im Gewässerraum gemäss GSchV zulässig sind. Die Antwort ist klar (Art. 41c GSchV): Die Verordnung erlaubt «nur standortgebundene, im öffentlichen Interesse liegende Anlagen wie Fuss- und Wanderwege». Für grössere Infrastrukturen muss belegt werden, dass standortgebundene Anlagen im öffentlichen Interesse liegen, was schwierig sein dürfte.

4.4.2 Landschaft

Die landschaftliche Perspektive weist häufig eine subjektive Komponente auf. Manche Personen messen einem begradigten und «sauberen» Fliessgewässer einen höheren landschaftlichen Wert bei als einem ungeordnet wilden (sprich: natürlichen) Gewässer. Dennoch weist ein mit Ufergehölz gesäumtes Fliessgewässer unbestrittenermassen einen landschaftlichen Mehrwert gegenüber einem kanalisierten, eingengten Gewässer in einem intensiv genutzten Landwirtschaftsgebiet auf. Dieser Mehrwert drückt sich in der Auflockerung der eintönigen Ebene durch das Ufergehölz aus, verstärkt durch das Leuchten der Blätter in ihren Frühlings- und Herbstfarben, was von der Öffentlichkeit anerkannt und geschätzt wird (sozialer Aspekt des Waldes, Schatten für Wanderer; vgl. auch Arnold et al. 2009).

Veuve und Lasserre (in Rey et al. 2008) schätzen aufgrund der obengenannten Merkmalen, dass die Landschaftsbilanz der 3. Rhonekorrektur insgesamt sehr positiv ausfallen wird.

Die soziale Funktion der Landschaft in den Raumbedarf einzubringen, ist nicht ganz einfach. Aber wenn ein gut ausgestatteter Uferbewuchs mehr zur Landschaftsqualität beiträgt als nackte oder nur sehr spärlich bestockte Ufer, darf man wohl davon ausgehen, dass die Landschaftsfunktion sich mit der Entwicklung typischer Pflanzengemeinschaften abbilden lässt.

4.5 Berücksichtigte Funktionen

Tabelle 7 führt die Funktionen auf, die für die Beurteilung des Gewässerraums für Fliessgewässer berücksichtigt werden. Die meisten dieser Funktionen können nur innerhalb eines Mobilitätsraums ohne physische oder unterhaltsbezogene Einschränkung erfüllt werden. Andere Funktionen, darunter die Pufferfunktion und die terrestrische Längsvernetzung, können auch ausserhalb des Mobilitätsraums erfüllt werden.

	Habitat	Funktion	Bewertetes Element
Natürliche Funktionen	Aquatisch	Transport von Wasser und Geschiebe Aquatische Längsvernetzung Selbstreinigungskraft Strukturvielfalt der Gerinnesohle Erhaltung typischer Arten	in Strukturvielfalt der Gerinnesohle enthalten teils in Strukturvielfalt der Gerinnesohle enthalten in Strukturvielfalt der Gerinnesohle enthalten ja in Strukturvielfalt der Gerinnesohle enthalten
	Amphibisch	Transversale Vernetzung Anreicherung von Grundwasser Strukturvielfalt des amphibischen Habitats	in Strukturvielfalt des amphib. Hab. enthalten in Strukturvielfalt des amphib. Hab. enthalten ja
	Terrestrisch	Terrestrische Längsvernetzung Pufferwirkung Terrestrische Strukturvielfalt Überflutungsdynamik Entwicklung typischer Pflanzengemeinschaften Erhaltung typischer Arten Fähigkeit zur Resilienz von Populationen	ja ja ja ja ja in typischen Pflanzengemeinschaften enthalten in typischen Pflanzengemeinschaften enthalten
Weitere Funktionen	Gesamtnetz	Landschaft Erholungsraum Hochwasserschutz Gewässernutzung	nein nein nein nein

Tabelle 7. Liste der natürlichen Funktionen zur Bewertung des Gewässerraums.

Zur Erinnerung, das Verfahren zielt nicht darauf ab, sämtliche Funktionen des Systems «grosse Fließgewässer» zu bewerten, sondern nur die Funktionen zu beurteilen, die von der Grösse und der Qualität des Gewässerraums abhängen.

Abschliessend sei festgehalten: Die Erfüllung mehrerer Funktionen des Gewässerraums ist direkt von der Breite des Fließgewässers abhängig, während andere von dieser Grösse unabhängig sind.

Folgende Funktionen hängen von der Breite des Fließgewässers und seinem Mobilitätsraum ab:

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

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

- Überflutungsdynamik
- die Funktionen des amphibischen Habitats

Folgende Abmessungen des Gewässers üben einen Einfluss auf diese Funktionen aus (vgl. Glossar und Kapitel 5):

- natürliche Gerinnesohlenbreite L_{fl}
- Wasserspiegelbreite beim bettbildenden Abfluss L_{pb} (Vollbordbreite)

- Mäanderamplitude A_{nat} für mäandrierende Gerinne

Folgende Funktionen sind unabhängig von der Breite des Fließgewässers und seinem Mobilitätsraum:

- Funktion der Pufferzone
- terrestrische Längsvernetzung

5 Merkmale des Fliessgewässers

Mehrere natürliche Merkmale des Fliessgewässers müssen bemessen werden, um daraus den für die ökologische Funktionsfähigkeit notwendigen Raum abzuleiten.

Die Gerinneform (Kap. 5.1) relativiert besonders die Bedeutung der verschiedenen Funktionen des Mobilitätsraums. Er wirkt sich ebenfalls auf die Gerinnesohlen- und die Uferbreite aus, die für die Anwendung der Methode zu berücksichtigen sind (Kap. 5.2). Einige Methoden für die Ermittlung dieser Angaben werden nachfolgend vorgestellt. In der Literatur finden sich weitere Vorgehensweise zur Herleitung der Kenndaten, mit denen die Methode angewandt werden kann.

5.1 Gerinneform

Die Bedeutung der ökologischen Funktionen sowie der für deren Erfüllung benötigte Gewässerraum hängen eng mit der natürlichen Gerinneform (Morphologie) des Fliessgewässers zusammen.

Die verschiedenen Gerinneformen funktionieren recht unterschiedlich, d.h. sie erfüllen ihre natürlichen Funktionen auf unterschiedlicher Art und Weise. Einige benötigen mehr Raum als andere, und beherbergen unterschiedliche Artenzusammensetzungen. Denn diese hängen vom Substrattyp, von der Bodenfeuchtigkeit oder der Strömungsgeschwindigkeit ab. Zudem bringt jede Gerinneform spezifische Habitate hervor. Ist die Gerinneform ermittelt, können die zu berücksichtigenden natürlichen Funktionen gewichtet werden, um den Raumbedarf der Fliessgewässer zu bestimmen. Die wichtigsten Gerinneformen sind verzweigte Gerinne, migrierende Mäander, ausgebildete Mäander, gestreckte (Wildbäche) und eingetieft Gerinne.

5.1.1 Gerinneformen

Entscheidende Parameter der Gerinneformen (S. Abbildung 5) sind das Gefälle und die Verfügbarkeit von Raum und Geschiebe.

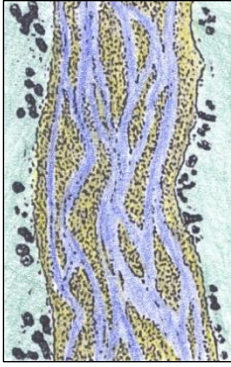
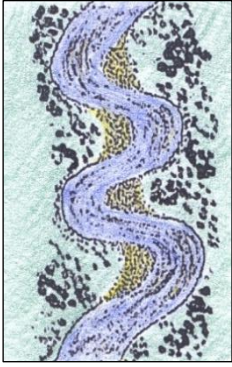
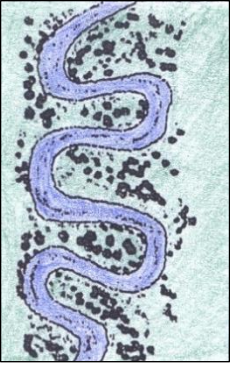
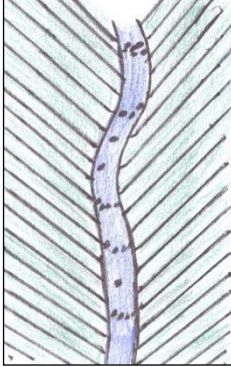
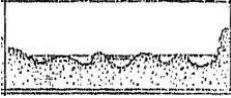
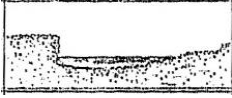


Gerinneform	Verzweigte Gerinne	Migrierende Mäander	Ausgebildete Mäander	Gerade und eingetiefte Gerinne
Planimetrie				
Querprofil				
Verhältnis Breite/Abflusstiefe	>40	>12 normal 20–30	<12 normal 5-8	variabel

Abbildung 5. Gerinneformen und Angabe der Verhältnis Gewässerbreite/Abflusstiefe. Quelle: nach Rosgen (1994).

5.1.1.1 Verzweigte Gerinne

Verzweigte Gerinne entwickeln sich in stärkeren Hanglagen und bei bedeutendem Geschiebevorkommen. Typisch ist das Vorhandensein mehrerer mit einander verbundenen Abflussrinnen, die zahlreiche Inseln bilden. Verzweigte Gerinne treten häufig am Fusse der Alpen auf, wo die Fliessgewässer auf kleinere Gefälle treffen und ihre Sedimente ablagern. Verzweigte Gerinne erfüllen viele natürliche Funktionen und beherbergen durch ihre Vielzahl an morphologischen Strukturen, wie Inseln und Sedimentbänken von unterschiedlichen Mächtigkeiten, ein Mosaik an artenreichen und vielfältigen Habitaten.

5.1.1.2 Migrierende Mäander (schwach mäandrierende Gerinne)

Migrierende Mäander entwickeln sich bei mittlerem oder schwachem Gefälle mit einem relativ grossen Geschiebetrieb. Sie entstehen auf Böden mit einer relativ geringen Erosionsbeständigkeit, dadurch können sich die Mäanderschlaufen nicht vollständig ausbilden. Migrierende Mäander erodieren das Ufer am Prallhang und lagern ihre Sedimente am Gleithang ab. Sie winden sich folglich talwärts, ohne ihre Form zu verändern, weisen eine mittlere Sinuosität auf und schnüren sich nicht ab. Die Morphologie mit alternierenden Bänken, wie sie Yalin und da Silva (2001) beschreiben (s. auch Yalin 1992), stellt ein Anfangsstadium der migrierenden Mäander dar, die häufig durch Uferbefestigungen eingeengt werden. Die Vegetationszonen bei migrierenden Mäandern ähneln denjenigen der verzweigten Gerinne.

Die natürliche Mäanderamplitude (A_{nat}) legt den Gesamtraum fest, der von der Sohle belegt wird, und kann im Allgemeinen auf der Basis historischer Karten oder Spuren alter Gerinne, die auf dem Gelände noch immer sichtbar sind, ermittelt werden. Fehlen historische Angaben, wird die Amplitude als 6- bis 10-fache Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss angenommen (Paccaud und Roulier 2010).

5.1.1.3 Ausgebildete Mäander (ausgeprägt mäandrierende Gerinne)

Ausgebildete Mäander sind typisch für flaches Gelände mit schwachem Geschiebetrieb. Die Böschungen sind standfest und die Mäander können sich vollständig bis zur Abschnürung einer Schlaufe entwickeln, was zur Bildung von Altläufen führt. Gewundene Mäander treten leicht über die Ufer und halten einen Streifen im Uferbereich feucht. Regelmässige Überschwemmungen und häufige Grundwasseranstiege führen zu einer höheren Feuchtigkeit im Vorland des Gewässers, das die ganze Talaue umfassen kann. Die Mäanderamplitude spielt eine Rolle beim Raumbedarf und kann wie bei den migrierenden Mäandern festgelegt werden.

5.1.1.4 Wildbäche oder gestreckte Gerinne

Ein Merkmal von gestreckten Gerinnen ist ein grosses Gefälle. Da das Wasser beträchtliche Energie speichert, bietet ihm der Untergrund nur wenig Widerstand. Deshalb folgen diese Gewässer im Allgemeinen der Falllinie. Gerade Gerinne weisen nur eine minimale seitliche Verlagerung auf; ihr Raumbedarf zur Erfüllung der natürlichen Funktionen ist daher gering. Die natürlichen Funktionen bei gestreckten Gerinnen beschränken sich auf das aquatische und das amphibische Habitat sowie auf die terrestrische Längsvernetzung und die Pufferwirkung. Definitionsgemäss stellen Wildbäche ein Gerinnetyp innerhalb der Gerinneform als Kategorie dar. Da sie über starke Erosionskräfte verfügen, können Wildbäche eine Destabilisierung des umliegenden Geländes bewirken und ein Sicherheitsproblem darstellen. Auf Schwemmfächern kann sich der Verlauf eines Wildbachs in mehrere Arme aufteilen und sich räumlich ausdehnen. Dieser Fall wird den verzweigten Gerinnen zugeordnet.

5.1.1.5 Eingetieftete Gerinne

Die eingetieften Gerinne haben sich im Laufe der Zeit durch fortschreitende Erosion ihrer Sohle in den Untergrund eingegraben. Die Gerinnesohle besteht im Allgemeinen aus Kies. Bei eingetieften Gerinnen handelt es sich in der Regel um Schluchten oder Talmäander, z. B. bei der Glatt nordwestlich von Flawil (Objekt 14 SG) oder an der «Saane: Rossens – Freiburg» (Objekt 62 FR). Die Sohle ist wenig mobil, besteht aus groben Korngrössen und bewegt sich nur sehr

langsam, weil der Untergrund äusserst erosionsbeständig ist. Der Uferbereich ist folglich durch die Topografie beschränkt. Die natürlichen Funktionen fokussieren vor allem auf die aquatischen und die amphibischen Habitate.

5.1.1.6 Mischformen

Es gibt zahlreiche Mischformen. In solchen Fällen ist das Fließgewässer der hauptsächlich prägenden Gerinneform zuzuordnen.

5.1.2 Bestimmung der natürlichen Gerinneform eines korrigierten Fließgewässers

Historischer Ansatz

Die Methode besteht darin, die natürliche Gerinneform anhand historischer Unterlagen, die aus der Zeit vor der Fließgewässerkorrektur stammen herauszulesen. Diese Methode ist in den meisten Fällen am einfachsten und am zuverlässigsten, doch sie bedingt, dass die hydrologischen und sedimentbezogenen Zustände des damaligen Referenzdokuments den heutigen Bedingungen ähnlich sind. Sollten sich die Bedingungen signifikant und unwiderruflich geändert haben, wenn beispielsweise der bettbildende Abfluss wegen Wasserentnahmen zurückgegangen ist oder der Geschiebehalt wegen des Baus eines flussaufwärts gelegenen Stausees reduziert wurde, ist der historische Ansatz allein ungeeignet.

Beim Bezug alter Karten ist die Geschichte der Flusskorrekturen einzubeziehen. Häufig wurden bereits vor den grossen Gewässerkorrekturprojekten des 18. Jahrhunderts das Gewässerbett mit kleineren Befestigungen stabilisiert.

Bei den mäandrierenden Gerinnen erlauben es die historischen Karten und die häufig auf dem Gelände noch sichtbar Spuren alter Gerinne, die **natürliche Mäanderamplitude** (A_{nat}) zu bestimmen. Fehlen historische Angaben, wird die Amplitude als 6- bis 10-fache Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss angenommen.

Räumliche Referenz

Bei dieser Methode wird die Gerinneform von einem analogen, nicht korrigierten Fließgewässer abgeleitet. Das als Referenz verwendete Fließgewässer muss ähnliche Bedingungen punkto Abfluss, Neigung, Korngrösse und Geschiebehalt aufweisen wie das untersuchte Fließgewässer.

Empirische Ansätze: Bauspiel von Yalin und da Silva

Anhand des Ansatzes von Yalin und da Silva (2001) können die Regimbreite B , die Regimewassertiefe h und das Regimegefälle i auf Basis des bettbildenden Abflusses (HQ_2 oder HQ_5) sowie des Sedimentdurchmessers ($D = d_{50}$ oder d_m) berechnet werden. Die Werte B/h und h/D erlauben die Bestimmung der Gerinneformen des Fließgewässers.

Verzweigte Systeme entwickeln sich in breiten Gerinnen und haben kleine Wassertiefen. Die gesamte Palette an Kornverteilung ist vorhanden, insbesondere grobe Korngrößen.

Mäandrierende Gerinne zeichnen sich durch grosse Wassertiefen, ein kleines Verhältnis B/h und kleine Korngrößen aus.

Alternierende Bänke entsprechen keiner eigentlichen Gerinneform, sondern stellen ein frühes Entwicklungsstadium von mäandrierenden Gerinnen dar, mehrere Kiesbänke über die Breite des Fließgewässers verteilt sind Vorläufer von verzweigten Gerinnen.

Gerade Sohlen entsprechen gestreckten Gerinnen. Eingetieftete Gerinne zeigen sich manchmal auch in der Form von Talmäandern.

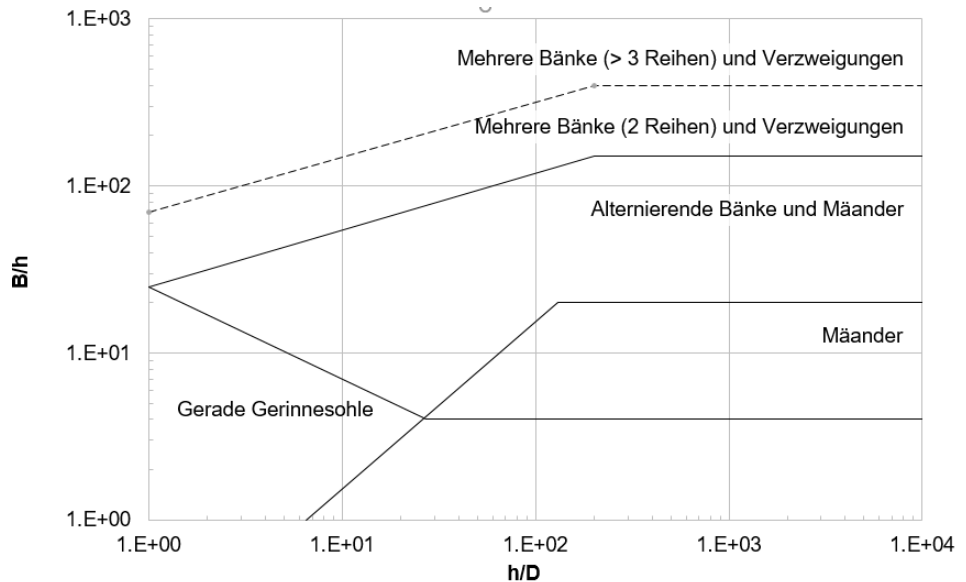


Abbildung 6. Gerinneformen nach Ahmari und da Silva (2011), auf der Basis von Yalin und da Silva (2001). B ist die Gleichgewichtsbreite, h die Wassertiefe und D der Sedimentdurchmesser.

5.2 Schätzung der Gerinnesohlen- und der Uferraumbreite

5.2.1 Natürliche Gerinnesohlenbreite L_{fl} und Wasserspiegelbreite L_{pb} bei bettbildendem Abfluss

Es existieren mehrere Methoden, um die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_{fl}) zu bestimmen. Es eignen sich jedoch nicht für jeden Gewässerabschnitt alle Methoden, dies ist im Einzelfall zu prüfen.

Allerdings ist es immer sinnvoll, die natürliche Gerinnesohlenbreite anhand so vieler Methoden wie möglich zu ermitteln, um eine Plausibilisierung der Ergebnisse zu ermöglichen. Als verlässlichste Methoden empfehlen wir historisch basierte Methoden (Kartenwerke, Fotos, andere historische Dokumente) zur Herleitung der natürlichen Gerinnesohlenbreite. Mögliche Alternativen sind Referenzstrecken oder Terrainanalysen. Zur Plausibilisierung oder auch, wenn keine verlässlichen Grundlagen für andere Methoden zur Verfügung stehen, können empirische hydraulische Formeln angewandt werden.

Bei jeder ausgewählten Methode ist jeweils eine Überprüfung der Sensitivität der Parameter vorzusehen.

Die Auswahl der besten Methode ist davon abhängig, welche Grundlagen zur Verfügung stehen.

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.

5.2.2 Natürliche Böschungsbreite

Die natürliche Breite der Böschung (L_b ; Raum zwischen dem Fuss und der Oberkante der Uferböschung) hängt von der natürlichen Böschungsneigung ab. Die Angabe der natürlichen Böschungsneigung fehlt häufig. Allerdings hat die Analyse verschiedener natürlicher Fliessgewässer gezeigt, dass die Böschungsneigung im Mittel 1:3 für Ufer betragen. So kann die natürliche Böschungsbreite geschätzt werden, wenn die Wassertiefe für den bettbildenden Abfluss bekannt ist. (Diese Tiefe kann von der Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) und vom Verhältnis Wasserspiegelbreite / Abflusstiefe (r) abgeleitet werden.

h_{2-5} = mittlere Wassertiefe bei bettbildendem Abfluss

L_b = Uferböschungsbreite = 6 h_{2-5}

h = L_{pb} / r

L_{pb} = Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss

$r = \text{Verhältnis Wasserspiegelbreite} / \text{Abflusstiefe}$

Die Böschungsneigung selbst hat keinen Einfluss auf den Erfüllungsgrad der Funktionen des amphibischen Habitats (Kap. 4.2), sondern wirkt sich auf den Raumbedarf für die Gewässerufer aus.

6 Beurteilung der Funktionen

6.1 Multikriterielle Methode

Das System der Präferenzkurven (oder Erfüllungskurven) wurde angewandt, um den natürlichen Wert der vorgeschlagenen Auengebiete von nationaler Bedeutung der 2. Ergänzung des Bundesinventars zu ermitteln (Thielen et al. 2002). Das System beruht auf einem von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) entwickelten Verfahren, das in den 90er-Jahren auf Trockenwiesen und -weiden angewandt wurde. Dieses multikriterielle System erlaubt es, Parameter und Kennzahlen mit verschiedenen Messeinheiten (m^1 , m^2 , m^3 , Bewegungen, Geschwindigkeiten, Präsenz/Absenz einer Zielart usw.) zusammenzustellen, um eine Gesamtbeurteilung zu bekommen. Die Beurteilung des für grosse Fliessgewässer erforderlichen Gewässerraums erfolgt anhand des Erfüllungsgrads von 7 ökologischen Funktionen.

Für jedes Kriterium wird ein **Erfüllungsgrad** berechnet: Der Erfüllungsgrad beträgt 100 %, wenn der Wert des Kriteriums einen günstigen Zustand darstellt. Die Schwellenwerte (minimal 0 % und maximal 100 %) basieren auf Messungen oder auf einem empirischen Ansatz. Sie können auch auf eine subjektive Wahl oder eine Expertenbeurteilung beruhen.

Beispiel

Ein nicht befestigter Geländestreifen mit einer Breite von $1,5 L_{pb}$ erlaubt die Entwicklung von Weichholzauen (Beispiele im Kap. 4.3.5). Für die Entwicklung von Hartholzauen ist eine zusätzliche Breite von $1 L_{pb}$ notwendig. Als Anforderung für eine autotypische Vegetation, die sich aus Weichholz- und Hartholzformationen zusammensetzt, ist der Schwellenwert von 100 % folglich bei $3,5 L_{pb}$ festgelegt (einschliesslich $1 L_{pb}$ für das Fliessgewässer). Steht beispielsweise ein Raum von $4,5 L_{pb}$ zur Verfügung, steigt der Erfüllungsgrad nicht weiter als 100% bei $3,5 L_{pb}$.

Eine **Erfüllungskurve** (oder **Präferenzfunktion**) gibt für jeden Wert eines Kriteriums den Erfüllungsgrad einer entsprechenden Funktion an. Sie erlaubt es, alle Kriterien einer Auswertung im selben Messbereich zu vereinen: 0 bis 100 %. Die Schwellenwerte basieren auf der Beobachtung natürlicher Systeme (Woolsey et al. 2005, Bonnard et al. 2008); diese können verhandelt und diskutiert werden. Dasselbe gilt für die Gewichtungen, die den verschiedenen Funktionen zugewiesen werden. Die Erfüllungskurven von 6 der 7 ökologischen Funktionen sind linear, weil kein Element für eine weitere Gleichung vorhanden ist (die Funktionen hängen vom verfügbaren Raum ab und zurzeit ist kein

Schwelleneffekt bekannt). Nur die Funktion der Pufferwirkung weist einen Knick auf (Erfüllung von 50 % bei einer Breite von 6 m), um sich den entsprechenden Gesetzesbestimmungen (ChemRRV; SR 814.81) anzunähern.

Die Kriterien werden je nach ihrer Bedeutung für die Bewertung der Auengebiete **gewichtet** (vgl. Kap. 6.3). Wie die Schwellenwerte können die Gewichtungen empirisch oder gar subjektiv je nach Zielsetzungen festgelegt werden.

6.2 Erfüllungskurven

Die oben erwähnten Kurven stellen den Erfüllungsgrad jeder natürlichen Funktion des Fließgewässers in Bezug auf die Qualität und die Grösse des verfügbaren Raums dar.

6.2.1 Aquatisches Habitat

Die Bewertung für die ökologischen Funktionen des aquatischen Habitats ergibt sich, indem die Breite der Gerinnesohle mit der natürlichen Gerinnesohlenbreite (L_{fi}) verglichen wird. Diese wird vom Benutzer anhand einer der « Ermittlung der natürlichen Sohlenbreite » (BAFU, Entwurf November 2019) ermittelt. Der Erfüllungsgrad beträgt 100 %, falls die Breite des Mobilitätsraums mindestens L_{fi} entspricht, und 0 % bei einem Mobilitätsraum von weniger als einem Drittel von L_{fi} , da sich dann keinerlei Sohlenstrukturen ausbilden können (Abbildung 7). Das bedeutet, dass im Gerinne keine relevanten Strukturen vorhanden sind, wenn es durch Uferbefestigungen auf weniger als ein Drittel seiner natürlichen Breite eingeengt wird. Diese Funktion hängt ausschliesslich vom Mobilitätsraum ab.

Die Bedeutung des Begriffs natürliche Gerinnesohlenbreite (L_{fi}) entspricht derjenigen, die für Fließgewässer mit einer Breite unter 15 m verwendet wird. Die Annahme, dass sämtliche Funktionen des aquatischen Habitats durch diese natürliche Breite erfüllt werden, basiert auf den Werken, die in Kapitel 4.1 zitiert werden, d. h. Pedroli et al (1991), Zaugg et al. (2003), BAFU (2012) und Gostner (2012). Falls der Pendelraum die Gerinnesohlenbreite effektiv übersteigt, dann schafft das Gewässer spontan natürliche Böschungen und entwickelt seine eigene Gerinneform. Dabei verändert sich die Struktur des aquatischen Habitats nicht.

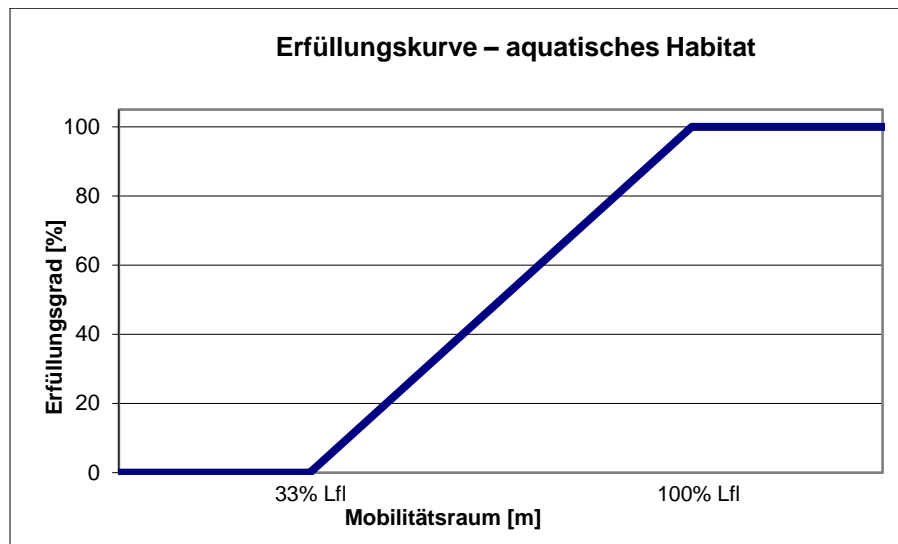


Abbildung 7. Erfüllungskurve für das aquatische Habitat. L_{fi} = natürliche Gerinnesohlenbreite.

6.2.2 Amphibisches Habitat

Die ökologischen Funktionen des amphibischen Habitats stehen im Zusammenhang mit der Qualität der Böschungsstrukturen. Analog der Bewertung für die natürlichen Funktionen des aquatischen Habitats wird das amphibische Habitat unter natürlichen Bedingungen erfasst und der verfügbare Raum für die Uferböschungen mit dem notwendigen Raum verglichen.

Der Raumbedarf des Uferraums im natürlichen Zustand wird so berechnet, dass der Erfüllungsgrad bei einer mittleren Neigung von 1:3 an jeder Böschung 100 % beträgt. Da der Raum der beiden Böschungen zusammen berechnet wird, können die 100 % auch bei einer steileren und einer flacheren Böschung erreicht werden. Ein Erfüllungsgrad von 0 % zeichnet einen Zustand aus, bei dem die Neigung der beiden Böschungen gleich oder steiler als 1:1 ist. Die Böschungsneigung selbst ist für die Qualität des Habitats nicht wirklich von Belang. Die natürliche Böschungsneigung wird einfach als Mass für die Bestimmung des Raumbedarfs des Uferraums verwendet.

Wie in Kapitel 5.2.2 erläutert, verhält sich der Raumbedarf des Uferraums proportional zur Wassertiefe h_{2-5} . Diese mittlere Wassertiefe kann mithilfe der Formel von Manning-Strickler für den bettbildenden Abfluss in der natürlichen Sohle berechnet werden (Abfluss bei einem 2- bis 5-jährlichen Hochwasserereignis). Die Anforderung des amphibischen Habitats ist vollständig erfüllt (Erfüllungsgrad von 100 %), wenn der gesamte Raum der beiden Ufer mindestens der 6-fachen Wassertiefe entspricht (h_{2-5}), d.h. wenn die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss erreicht wird. Dies entstammt der Annahme, dass die mittlere Neigung der natürlichen Böschungen 1:3 beträgt (Abbildung 8). Die Funktion ist nur teilweise

erfüllt, wenn der Uferraum die Wassertiefe beim bettbildenden Abfluss übersteigt (also $2 \times h_{2-5}$ für beide Ufer).

Diese Funktion soll, möglichst, innerhalb des Mobilitätsraums erfüllt werden. Falls aber naturnahe befestigte Böschungen mit einer 1:3 Neigung vorliegen, können diese auch angerechnet werden. Diese Ausnahme gilt jedoch nur, wenn der Mobilitätsraum schmaler ist, als die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss.

Das amphibische Habitat umfasst die Böschungen sowie die Sedimentbänke des Hauptgerinnes. Besiedelt wird es von Pioniervegetationseinheiten mit einer Lebensdauer von 2 bis 5 Jahren (Roulier et al. 2007).

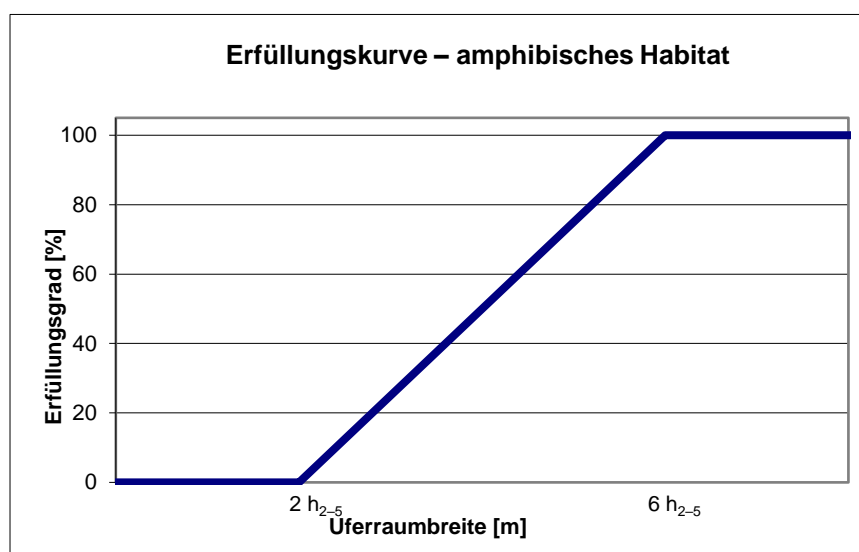


Abbildung 8. Erfüllungskurve für das amphibische Habitat. H_{2-5} = mittlere Wassertiefe bei bettbildendem Abfluss unter natürlichen Bedingungen.

6.2.3 Terrestrisches Habitat

6.2.3.1 Terrestrische Längsvernetzung

Die Gehölzstreifen, die überflutbaren Räume sowie der Mobilitätsraum tragen zur Gewährleistung der Funktion der terrestrischen Längsvernetzung bei. Die Breite des Raums, der zur Vernetzung dient, wird von der Oberkante der Uferböschung bis zur Gewässerraumgrenze gemessen (vgl. Abbildung 15). Jedes Ufer wird separat bewertet.

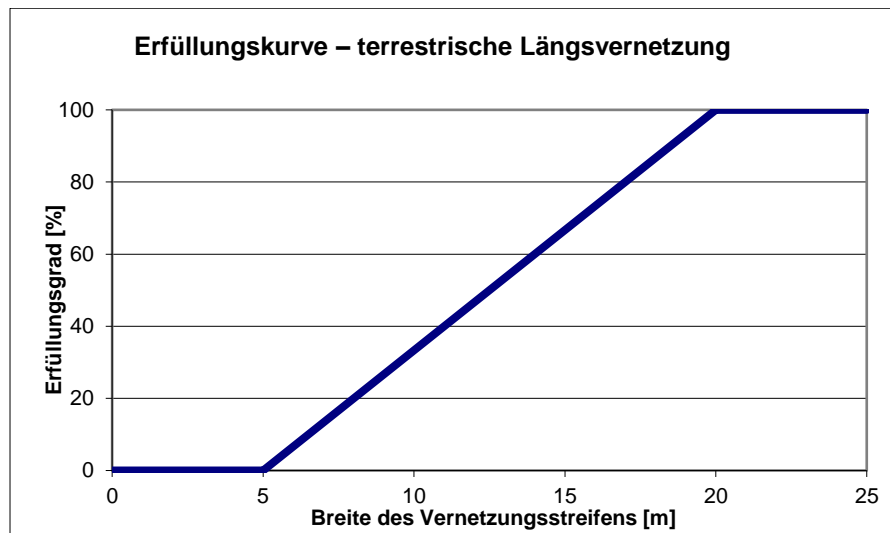


Abbildung 9. Erfüllungskurve für die terrestrische Längsvernetzung an einem Ufer. Jedes Ufer wird separat bewertet.

Die Werte der Kurve (Abbildung 9) basieren auf verschiedenen Konzepten ökologischer Netze (Berthoud et al. 2004, Delarze 2005, Plumettaz et al. 2010, BEB SA 2012, s. Kap. 4.3.1) sowie auf dem Grundlagenbericht (Literaturstudie) betreffend der Uferstreifen entlang von Fließgewässern (Heeb et al. 2004). Die terrestrischen Interaktionen der Tiere (zumindest der Kleintiere) werden durch 10 bis 20 m breite Ufervegetationsstreifen gewährleistet. Die untere Begrenzung der Erfüllungskurve (minimaler Gewässerraum) ist gemäss GschV auf 5 m festgelegt worden.

Diese Funktion ist auch erfüllt, wenn ein Gehölzstreifen ausserhalb des Mobilitätsraums vorhanden ist (z. B. Wald ausserhalb der befestigten Ufer, Bewaldung von Dammböschungen oder bewaldete Talflanken in Schluchten, die an ein Fließgewässer angrenzen).

Wird der gesamte Gewässerraum betrachtet, ist die Funktion der terrestrischen Längsvernetzung zu 100 % erfüllt, wenn der Gehölzstreifen insgesamt 40 m (20 m pro Böschung) übersteigt.

6.2.3.2 Pufferwirkung

Alle Arten von Oberflächen können den Eintrag von Schadstoffen reduzieren, mit Ausnahme von bebauten Flächen. Die Pufferzonen werden für das linke und rechte Ufer separat bewertet, indem der Raum zwischen der Oberkante der Uferböschungen und der Grenze des Gewässerraums gemessen wird (vgl. Abbildung 15). Der Erfüllungsgrad von 100 % basiert auf den Werten, die im CORPEN-Bericht erwähnt sind (s. Kap. 4.3.2). Die Kurve ist eine geknickte Linie (Abbildung 10), da der Erfüllungswert für eine Breite von 6 m auf 50 % festgelegt wurde (Wahl der Experten). Dieser Wert von 6 m entspricht dem gesetzlichen Minimum für die Landwirtschaft in Bezug auf

Pufferzonen an Fliessgewässern (Art. 21 und Anh. 1, Ziff. 9.6 DZV, SR 910.13; AGRIDEA 2009).

Die Pufferwirkung wird auch von externen Gehölzstreifen ausserhalb des Mobilitätsraums erfüllt, insbesondere auch durch Dämme.

Wird der gesamte Gewässerraum betrachtet, ist die Funktion der Pufferwirkung zu 100 % erfüllt, wenn der nicht begrünte, nicht bewirtschaftete Streifen (intensive Landwirtschaft) insgesamt 40 m (20 m pro Böschung) übersteigt.

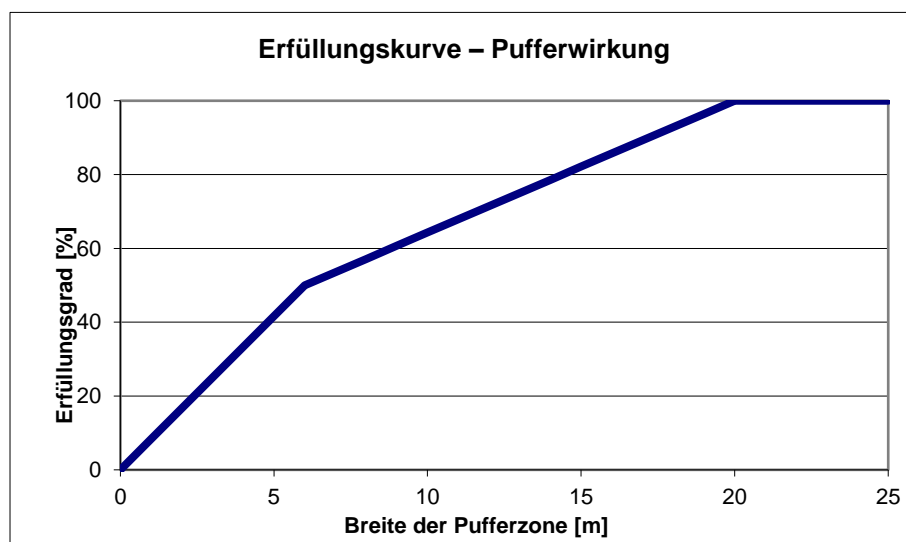


Abbildung 10. Erfüllungskurve für die Pufferwirkung an einem Ufer. Jedes Ufer wird separat bewertet.

6.2.3.3 Terrestrische Strukturen

a Verzweigte Gerinne

Die Kurve der terrestrischen Strukturen für verzweigte Gerinne basiert auf den Bedürfnissen der Auenv egetation. Es wird dasselbe Verfahren angewandt wie bei der Festlegung der Bedürfnisse der typischen Lebensgemeinschaften, deshalb auch die gleiche Erfüllungskurve (Abbildung 11; s. Kap. 4.3.5.5 und 6.4.1).

Bei den **Auengebieten oder in Abschnitten, in denen ein Pendelband erzielt werden soll**, müssen auch die Raumanforderungen für Hartholzstandorte erfüllt werden, da die Wiederherstellung des gesamten Auensystems angestrebt wird. Ein Erfüllungsgrad von 100 % wird vergeben, wenn der Mobilitätsraum dem **3,5-Fachen der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss L_{pb}** entspricht. Diese Anforderung erlaubt die optimale Wiederherstellung eines Pendelbands und gilt als Standardvorgabe für die Auengebiete. Das Ziel besteht nicht zwangsläufig darin, einen Erfüllungsgrad von 100 % zu erreichen, sondern sämtliche Lebensraumkompartimente im

Gewässerraum wieder herzustellen. Im [Webtool](#) steht den Benutzern diese Anforderung an Auengebiete als Option zur Verfügung.

Bei Fliessgewässern **ausserhalb von Auengebieten** (das sind die meisten Gewässerabschnitte) wird sich der Raum für die Erfüllung der **ökologischen Funktionen** der typischen terrestrischen Strukturen auf eine Breite beschränken, die dem **2,5-fachen der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss L_{pb}** entspricht. Hier wird die Wiederansiedlung von Weichholzformationen angestrebt.

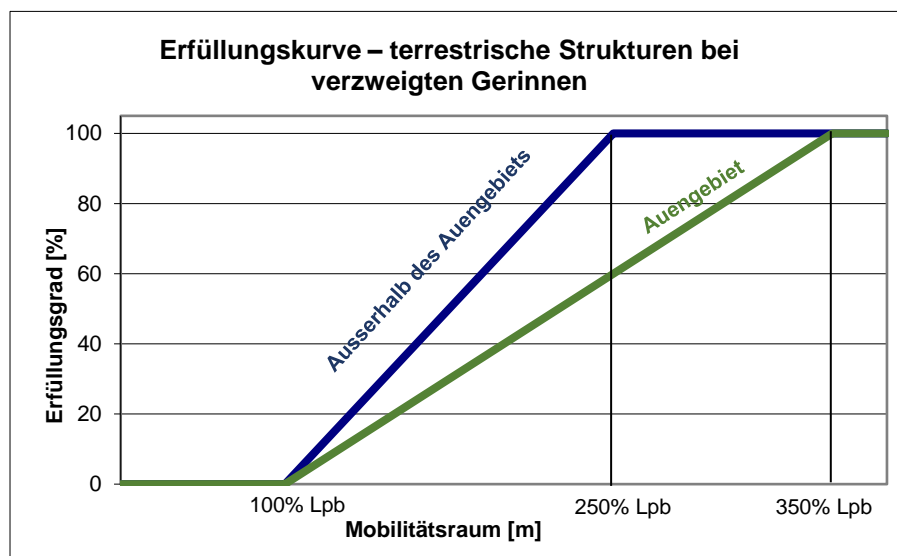


Abbildung 11. Erfüllungskurve für die terrestrischen Strukturen bei verzweigten Gerinnen. L_{pb} = natürliche Vollbordbreite.

b Mäandrierende Gerinne

Typische Strukturen von mäandrierenden Gerinnen sind Altarme, die durch das Abschnüren von Mäanderschlaufen entstehen. Mäander können sich abschnüren, wenn sie gut ausgebildet sind (stark ausgeprägte Mäander), sei es durch einen Wasserdurchbruch oder wenn sie sich durch eine fortschreitende Erosion treffen. Migrierende Mäander bilden im Allgemeinen keine Altarme, sondern sie beeinflussen das terrestrische Habitat auf einem Streifen von der Breite ihrer Amplitude. Je grösser die Amplitude, desto grösser ist das terrestrische Habitat, das vom Fliessgewässer beeinflusst wird. Diese Funktion kann ausschliesslich im Mobilitätsraum erfüllt werden (Abbildung 12).

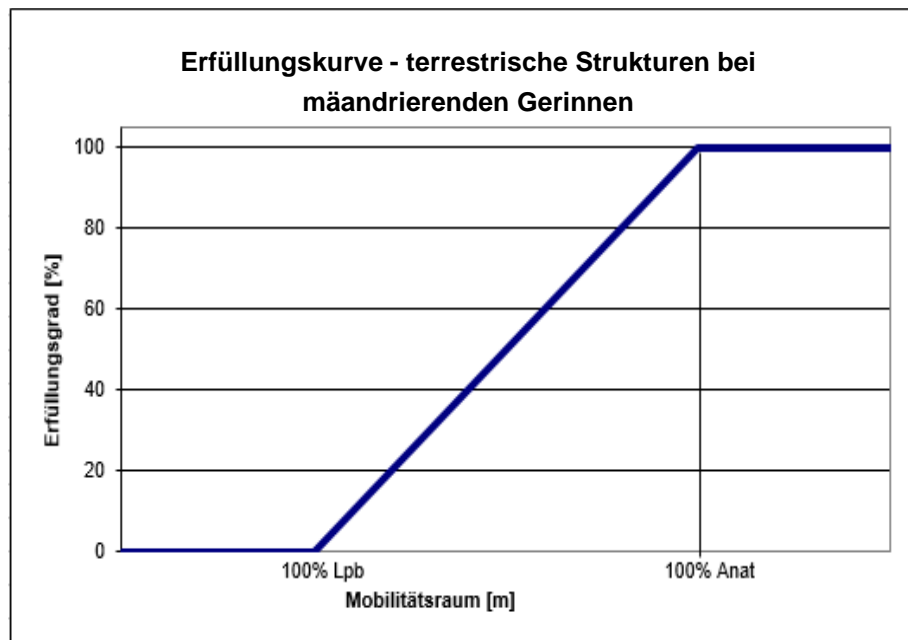


Abbildung 12. Erfüllungskurve für die terrestrischen Strukturen bei mäandrierenden Gerinnen. A_{nat} = natürliche Mäanderamplitude. L_{pb} = natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Hauptgerinnes.

6.2.3.4 Überflutungsdynamik

Die Überflutungsdynamik findet im Mobilitätsraum sowie in überflutbaren Räumen statt. Diese Funktion ist nicht bei allen Gerinneformen von Bedeutung, sondern nur bei ausgebildeten Mäandern. Die ausgebildeten Mäander sind zwar nicht die einzige Gerinneform, bei der Überflutungen auftreten, aber die einzige Form, bei der diese Art von Wasserzufuhr die Vegetation signifikant beeinflusst. Denn im flachen und wenig durchlässigen Gelände können Überflutungen häufiger auftreten als bei anderen Gerinneformen. Der Uferbereich wird daher häufiger und länger überschwemmt. In dieser Funktion zählen die direkten Auswirkungen des Wassers durch Überschwemmungen des terrestrischen Uferhabitats, nicht aber die indirekten Auswirkungen durch Sedimentablagerungen.

In der Schweiz können als typische Systeme dieser Gerinneform im natürlichen Zustand die Orbe im Vallée de Joux (Auengebiet 50 VD), die Versoix (Auengebiet 118 VD) oder die Aare im Seeland genannt werden. Verschiedene Beobachtungen nicht korrigierter Fließgewässer zeigen, dass die Breite der regelmässig überfluteten Bereiche ungefähr der Mäanderamplitude entspricht. Doch die direkte Umsetzung dieser Anforderung erscheint als unverhältnismässig. Daher geht man davon aus, dass die Funktion zu 100 % erfüllt ist, wenn der überflutbare Raum die Hälfte der natürlichen Mäanderamplitude erreicht, und zu 0 %, wenn es ausser der Gerinnesohle und den Böschungen keinen überflutbaren Raum gibt. Die Mäanderamplitude

unter natürlichen Bedingungen kann auf das 6- bis 10-Fache der Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Hauptgerinnes (L_{pb}) geschätzt werden (Paccaud und Roulier 2010). Als oberer Schwellenwert zur Erfüllung der Überflutungsdynamik wird deshalb eine Breite von $5 L_{pb}$ vorgeschlagen (Abbildung 13).

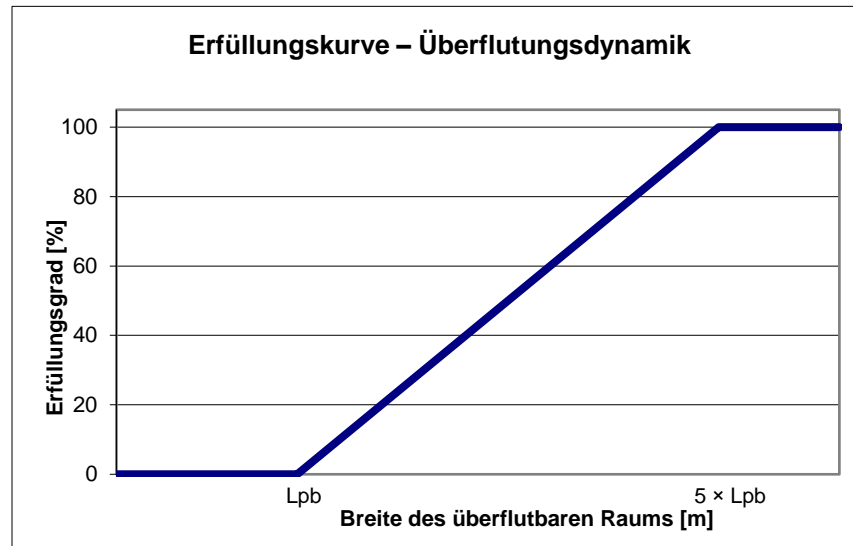


Abbildung 13. Erfüllungskurve der Überflutungsdynamik.
 L_{pb} = natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Hauptgerinnes.

6.2.3.5 Typische Pflanzengemeinschaften

Für diese Funktion ist zwischen dem Raumbedarf in Auengebieten von nationaler oder kantonaler Bedeutung und demjenigen ausserhalb dieser Biotope zu unterscheiden (Abbildung 14).

Bei den **Auengebieten oder in Abschnitten, in denen ein Pendelband erzielt werden soll**, müssen auch die Raumanforderungen der typischen Pflanzengemeinschaften für Hartholzstandorte erfüllt werden, da die Wiederherstellung des gesamten Auensystems angestrebt wird. Ein Erfüllungsgrad von 100 % ist erreicht, wenn der Mobilitätsraum dem **3,5-fachen der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss L_{pb}** entspricht. Diese Anforderung erlaubt die optimale Wiederherstellung eines Pendelbands und gilt als Standardvorgabe für Auengebiete (vgl. Kap. 6.4.1). Das Ziel besteht nicht zwangsläufig darin, einen Erfüllungsgrad von 100 % zu erreichen, sondern sämtliche Gemeinschaften im Gewässerraum wieder anzusiedeln. Im [Webtool](#) steht den Benutzern diese Anforderung an Auengebiete als Option zur Verfügung.

Ausserhalb der Biotope sind die Anforderungen weniger hoch. Bei Fliessgewässern **ausserhalb** von Auengebieten (das sind die meisten Fliessgewässer) wird sich der Raum für die Erfüllung der **ökologischen Funktionen** der typischen Pflanzengemeinschaften im terrestrischen

Habitat auf eine Breite beschränken, die dem **2,5-fachen der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss L_{pb}** entspricht. In diesem Fall wird die Wiederansiedlung von Weichholzformationen angestrebt.

Diese Werte stammen aus Beobachtungen der Entwicklung der Auenvegetation in natürlichen Systemen (s. Kap. 4.3.5).

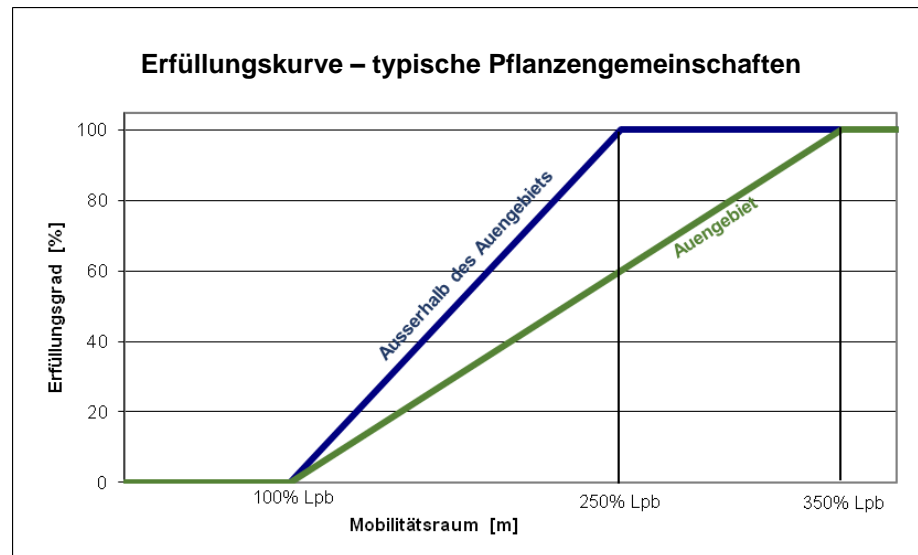


Abbildung 14. Erfüllungskurve für typische Pflanzengemeinschaften. L_{pb} = natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Hauptgerinnes.

6.3 Gewichtung der Funktionen

6.3.1 Gewichtungstabelle

Die folgende Gewichtungstabelle (Tabelle 8) zeigt die Kombinationen von Gewichtungen für die verschiedenen Gerinneformen, womit die Funktionen des benötigten Raums bewertet werden. Um die Projekte gleichermassen beurteilen zu können, **verlangt das BAFU diese Gewichtungen anzuwenden.**

	Verzweigte Gerinne	Migrierende Mäander	Ausgebildete Mäander	Wildbäche	Eingetieftete Gerinne
Aquatisches Habitat	20	20	20	40	40
Amphibisches Habitat	10	10	10	20	20
Terrestrisches Habitat	70	70	70	40	40
- Terrestrische Längsvernetzung	10	10	10	20	20
- Pufferwirkung	10	10	10	20	20
- terrestrische Strukturen	25	25	20	0	0
- Überflutungsdynamik	0	0	10	0	0
- typische Pflanzengemeinschaften	25	25	20	0	0

Tabelle 8. Gewichtung der Funktionen nach Gerinneform.

Um eine Gesamtbeurteilung für die Erfüllung der natürlichen Funktionen zu erhalten, muss für die verschiedenen Funktionen eine Gewichtung festgelegt werden. Diese Gewichtung hängt sowohl von der Gerinneform des bewerteten Fließgewässers als auch von der relativen Bedeutung der Funktionen und ihrem Raumbedarf ab

Die Gewichtung der Funktionen wurde durch die Experten mit 20-10-70 % für die Lebensräume festgelegt: für aquatische 20 %, amphibische 10 % und terrestrische 70 %. Eine Ausnahme bildet die Form der gestreckten Gerinne, bei der die Gewichtung 40–20–40 % zu verwenden ist. Die Gewichtungen ergeben zusammen immer 100 %.

Die **gewichtete Summe** der 7 Erfüllungsgrade ergibt den **Gesamterfüllungsgrad (Note)** für das Objekt (0 bis 100):

$$\text{Gesamterfüllungsgrad} = S_1 \times P_1 + S_2 \times P_2 + \dots + S_n \times P_n$$

$$S_n = \text{Erfüllung der Funktion } n \text{ (0 – 100 \%)}$$

$$P_n = \text{Gewichtung der Funktion } n \text{ (0 – 1)}$$

6.3.2 Gerinneformen

Nicht alle natürlichen Funktionen sind für alle Gerinneformen massgeblich (s. Kap. 5.1.1). So ist bei geraden und eingetieften Gerinnen der Einfluss des Fließgewässers auf das terrestrische Uferhabitat begrenzt, da diese Gewässer nur eine schwache Mobilität auf die Seiten aufweisen. Im terrestrischen Habitat werden nur die Funktionen der Pufferzone und der Vernetzung berücksichtigt. So erhalten die aquatischen und die ufernahen Lebensräume mehr Gewicht.

Die Überflutungsdynamik ist nur für ausgebildete Mäander von Bedeutung. Denn ausgebildete Mäander entwickeln sich in einem sehr flachen Gelände und sind häufig von Feuchtgebieten gesäumt (im natürlichen Zustand), die bei jährlichen Hochwasserereignissen überflutet werden.

6.3.3 Relative Bedeutung der Funktionen

Die Gewichtung (relative Bedeutung) der sieben natürlichen Funktionen, die im Verfahren verwendet werden, hat einen grossen Einfluss auf die Gesamtbewertung. Die Gewichtung basiert auf objektiven Elementen, stellt allerdings eine strategische Wahl dar. Ein Beispiel: Der natürliche Wert, die Funktionen und die Bedeutung (aus ökologischer Sicht) der typischen Pflanzenformationen des terrestrischen Habitats sind wichtig und anerkannt (Kuhn und Amiet, 1988, Gallandat et al. 1993). Dabei handelt es sich um ein objektives Element, das die Grundlagen für eine starke Gewichtung liefert (25 %). Trotzdem ist die Wahl dieser Gewichtung von 25 % eine subjektive und

strategische Entscheidung, die auf der Grundlage von Expertenmeinungen getroffen wurde. Pragmatische oder Nutzenaspekte können ebenfalls auf den Plan treten, um die Bewertung zu lenken (z. B. kann das Vorhandensein eines Zielhabitats oder einer Zielart stark gewichtet werden, um die Bewertung im Hinblick auf die angestrebten Ziele zu steuern). Die in Tabelle 8 veranschaulichte Gewichtung wurde von Auen- und Wasserbauexperten geprüft und gutgeheissen. Sie verleiht dem terrestrischen Habitat grossen Einfluss auf den Gesamterfüllungsgrad. Die fünf Funktionen dieses Habitats haben insgesamt eine Gewichtung von 70 % in den drei verbreitetsten Arten von Fliessgewässern: verzweigte sowie migrierende und ausgebildete Mäander.

6.4 Anforderungen an Auengebiete

6.4.1 Hartholzauen

In den Vegetationszonen von intakten oder naturnahen Auensystemen (insbesondere in inventarisierten Auengebieten), stellen die Hartholzauen ein typisches Kompartiment der kollinen und montanen Auengebiete dar. Dieses Kompartiment findet sich kaum in Höhenlagen über 1200 m. Hartholzauen setzen sich aus Arten wie Gemeine Esche, Berg-Ahorn, Stiel-Eiche und Berg-Ulme zusammen. Diese Pflanzengesellschaften siedeln sich zeitlich gesehen nach den Weichholzformationen an und benötigen hinter den Weichholzstandorten zusätzlichen Raum.

Der Einbezug der Raumanforderungen für Hartholzauen wurde genau analysiert und von Auen- und Wasserbauspezialisten diskutiert. Schliesslich wurde festgehalten, **dass die Anforderungen der Hartholzauen beim Wasserbau (Revitalisierungen) miteinbezogen werden müssen, falls sich die Fliessgewässer im Perimeter von Biotopen von nationaler oder kantonaler Bedeutung oder in Abschnitten befinden, wo ein Pendelband als Entwicklungsziel angestrebt wird.** In Fliessgewässern ausserhalb von Auengebieten (das sind die meisten Fliessgewässer) sind für die Festlegung des Raumbedarfs im Allgemeinen nur die Anforderungen von Weichholzauen zu erfüllen.

Die unter 4.3.5.1 bis 4.3.5.5 vorgestellten Messungen und Bewertungen zeigen, dass eine zusätzliche Breite von $1 \times L_{pb}$ die Entwicklung dieses Kompartiments erlaubt, was zu einem Mobilitätsraum von insgesamt $3,5 \times L_{pb}$ führt. Diese Breite entspricht der Definition eines Pendelbandes (s. Kap. 6.4.2) für verzweigte Gerinne. Diese Anforderung beeinflusst die Erfüllungskurve der typischen Pflanzengemeinschaften (vgl. Kap. 6.2.3.5 und Abbildung 14) für

mäandrierende und verzweigte Gerinne sowie die Erfüllungskurve der terrestrischen Strukturen für verzweigte Gerinne (Kap. 6.2.3.3 und Abbildung 11).

Bei Revitalisierungen in Auengebieten wird diese zusätzliche Anforderung berücksichtigt, um genügend Raum für die Revitalisierung des gesamten Auensystems zu gewährleisten.

6.4.2 Pendelband

Gemäss dem Faltprospekt BWG et al. (2000) sollte die Pendelbandbreite mindestens der 5- bis 6-fachen Gerinnesohlenbreite entsprechen. Diese Norm entspricht annähernd der 3-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss oder Vollbroadbreite (je nach Sohlenbreite und Böschungsneigung), wenn im Durchschnitt L_{pb} mit rund $2 \times L_{fl}$ gleichgesetzt wird. Mit diesen Werten beträgt der Gesamterfüllungsgrad nach der Anwendung der vorliegenden Methode nur 80 %. Diese Definition des Pendelbands (vom Faltprospekt empfohlen) kann auf Fliessgewässer ausserhalb von Auengebieten angewandt werden und zu einer sehr günstigen Situation führen. Die Anforderungen an Auengebiete von grossen Fliessgewässern sind jedoch grösser.

Für **mäandrierende** Gerinne entspricht die Pendelbandbreite der natürlichen Mäanderamplitude, d. h. der 6- bis 10-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (Malavoi 1998, Paccaud und Roulier 2010). Mit einer solchen Anforderung kann ein Erfüllungsgrad von 100 % gemäss der Methode für grosse Fliessgewässer bei migrierenden oder ausgebildeten Mäandern erreicht werden. Der Wert von 100 % entspricht den Anforderungen an Auengebiete.

In einigen seltenen Fällen könnte die natürliche Breite der Mäander kleiner sein als die 3,5-fache Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss. Dann beträgt der Erfüllungsgrad aber nicht 100 %, weil die Bedürfnisse der typischen Pflanzengemeinschaften erst bei $3,5 \times L_{pb}$ erfüllt sind.

Bei **verzweigten** Systemen kann die Pendelbandbreite mit keiner Formel ermittelt werden, zumal die Vollbroadbreite noch schwieriger zu bestimmen ist. Die Schlüsselkurve (BWG et al. 2000) sagt nichts spezifisches über verzweigte Gerinne aus, da sie für alle Gerinneformen konzipiert ist. Das Konzept des Pendelbands entspricht eher den mäandrierenden Gerinnen. Das Pendant zur Bildung von Mäandern ist bei verzweigten Gerinnen die Bildung von Inseln und Auenterrassen, die Weich- und Hartholzformationen ermöglichen. Dies bedingt einen Raum, der der 3,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Fliessgewässers entspricht, um einen Erfüllungsgrad von 100 % zu erreichen.

Daher wird für das Pendelband schliesslich vorgeschlagen, dass die anhand der Methode «Gewässerraum für grosse Fliessgewässer» berechnete Breite mithilfe der Höchstwerte der anspruchsvollsten Kennzahl erstellt wird, d. h.:

- **$3,5 \times L_{pb}$ (Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss) für verzweigte Gerinne,**
- **A_{nat} (natürliche Mäanderamplitude) oder $3,5 \times L_{pb}$ (falls dieser Wert höher ist als A_{nat}) für mäandrierende Gerinne.**

Dieser Erfüllungsgrad von 100 % soll, falls realisierbar, bei Revitalisierungen von Auengebieten angestrebt werden.

Der Mobilitätsraum (Abbildung 15) ist der Raum, in dem das Gewässer und die angrenzenden Habitate sich natürlich entwickeln können. Er bezeichnet die gesamte Fläche, die von der seitlichen Verlagerung des Fliessgewässers betroffen ist oder sein könnte. Der aquatische Raum und die Sohle sind innerhalb des Mobilitätsraums nicht befestigt.

Falls sich Uferbefestigungen in der Böschung befinden, wird der Mobilitätsraum nicht auf der Ebene des Wasserspiegels bei bordvollem Abfluss gemessen, sondern auf der Ebene der Gerinnesohle. Ist der Mobilitätsraum kleiner als die natürliche Gerinnesohlenbreite oder gleich gross, kann sich das Gewässer seitlich nicht verschieben.

Die in Abbildung 15 dargestellte Interventionslinie gibt an, dass Eingriffe zur Eindämmung der Dynamik erfolgen, sobald das Fliessgewässer diese Linie erreicht. Der Raum ausserhalb der Interventionslinie leistet folglich keinen Beitrag zu den Funktionen im Mobilitätsraum.

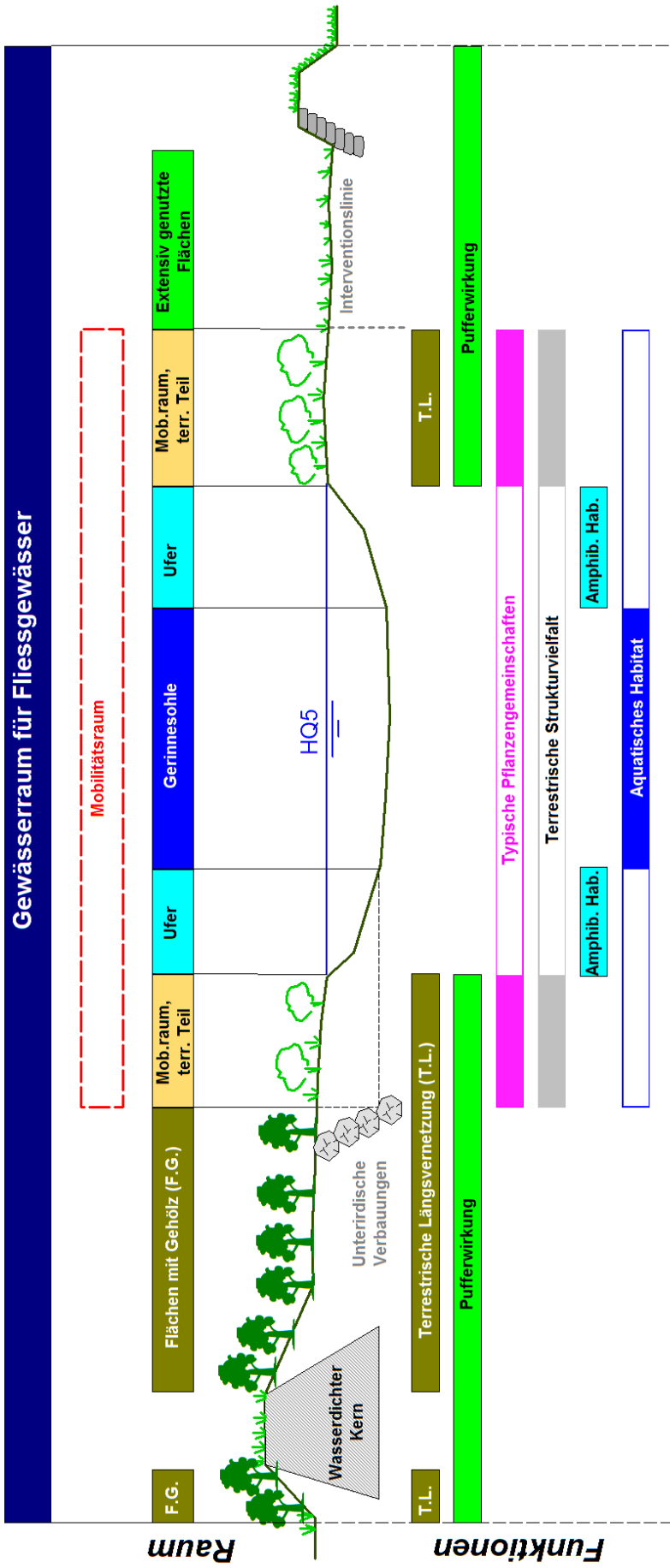


Abbildung 15. Schematischer Querschnitt des Gewässerraums und der verschiedenen, für die Anwendung der Methode zu identifizierenden Kompartimente.

7.2 Böschungen

Sind Uferbefestigungen vorhanden, wird die Böschung definiert als Fläche, die von den Uferbefestigungen zwischen der Gerinnesohle und der Böschungsoberkante eingenommen wird. Sind keine Uferbefestigungen vorhanden, geht man davon aus, dass die Böschung dem Zustand unter natürlichen Bedingungen entspricht. In diesem Fall wird der Uferraum innerhalb des Mobilitätsraums dargestellt.

Die Funktionen des amphibischen Raums können vollständig oder teilweise von Uferbefestigungen übernommen werden, die eine strukturelle Vielfalt und eine Pflanzendecke aufweisen.

Falls aber naturnah befestigte Böschungen mit einer 1:3 Neigung vorliegen, können diese angerechnet werden. Diese Ausnahme gilt jedoch nur, wenn der Mobilitätsraum schmaler als die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss ist.

7.3 Überflutbarer Raum

Damit ein Raum als überflutbar gilt, muss er genügend häufig überflutet werden, sodass sich dies signifikant auf die Ufervegetation auswirkt. Dies tritt ab einem Abfluss in der Grössenordnung von HQ_1 bis HQ_2 ein. Überflutbare Räume sind nur im flachen und undurchlässigen Gelände von Bedeutung. Überflutungen können mit der Absenkung eines der Dämme als seitlichen Überlauf aktiv gefördert werden. In einem natürlichen ausgebildeten Mäander bildet das Fliessgewässer bei ausgeprägten Hochwasserereignissen einen Überflutungskorridor, dessen Breite der Mäanderamplitude entspricht. Aus diesem Grund wird der überflutbare Raum einschliesslich des Gerinnes gemessen, ohne zwischen den Anteilen des linken Ufers und des rechten Ufers zu unterscheiden.

Der bei HQ_1 bis HQ_2 überflutbare Raum wird in Abbildung 15 nicht dargestellt, da er nur ausgebildete Mäander betrifft.

7.4 Flächen mit Gehölz

Die Flächen mit Gehölz **im Mobilitätsraum** eignen sich für die Erfüllung aller vorgesehenen Funktionen des terrestrischen Habitats.

Gehölzstreifen, die sich **im befestigten Teil des Gewässerraums** befinden (z.B. zwischen den Uferbefestigungen und dem äusseren Dammfuss) können nur die Funktionen der terrestrischen Längsvernetzung und der Pufferwirkung erfüllen.

Gehölzflächen **ausserhalb des Gewässerraums** werden bei dieser Methode nicht berücksichtigt, können aber trotzdem zur terrestrischen

Längsvernetzung beitragen. Dies ist beispielsweise der Fall bei Wäldern, die den Talgrund eines engen Tals säumen (s. Kap. 8.1.2).

7.5 Extensiv genutzte Flächen

Gemäss GSchV ist innerhalb des Gewässerraums nur eine extensive landwirtschaftliche Nutzung zulässig (Art. 41c Abs. 4): Der Gewässerraum darf landwirtschaftlich genutzt werden, sofern er gemäss den Anforderungen der Direktzahlungsverordnung (DZV) für Biodiversitätsförderflächen als Streuefläche, Hecke, Feld- und Ufergehölz, Uferwiese entlang von Fliessgewässern, extensiv genutzte Wiese, extensiv genutzte Weide oder als Waldweide bewirtschaftet wird. Diese Anforderungen gelten auch für die entsprechende Bewirtschaftung von Flächen ausserhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche

Bei der vorgeschlagenen Methode sind die extensiv genutzten Flächen in der Lage, die Funktion der Pufferwirkung zu erfüllen, doch sie tragen nicht zur terrestrischen Längsvernetzung bei (ausser die Ufergehölze), da sie nicht genügend bewaldet sind.

Die Dämme sind als extensiv genutzte Flächen zu werten. Sie wirken in der Breite als Pufferzone.

7.6 Überbaute Flächen

Der Gewässerraum kann überbaute Flächen wie Wege, Parkplätze oder allenfalls Dämme beinhalten. Für diese Methode gelten alle unbewachsenen und undurchlässigen Flächen als überbaute Flächen. Unter gewissen Bedingungen sind Wege im Gewässerraum zulässig, aber sie erfüllen keine natürliche Funktion.

7.7 Typisches Querprofil

Für die Bewertung der natürlichen Funktionen eines bestimmten Abschnitts muss darin das typische (repräsentative) Querprofil definiert werden, das den Mobilitätsraum sowie die verschiedenen oben beschriebenen Räume umfasst.

Es ist sinnvoll, ein Projekt mit stark unterschiedlichen Strecken in homogene Gewässerabschnitte zu unterteilen (vgl. Kap. 8.3). Der Mobilitätsraum befindet sich vielfach nicht in der Mitte des Gewässerraums. Falls GIS-Daten zur Verfügung stehen, kann die durchschnittliche Breite jedes Habitat- und Landnutzungstyp einfach ermittelt werden, indem ihre Fläche durch die Länge des Abschnitts geteilt wird. Wenn der gemessene Mobilitätsraum breiter ist als die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss, wird im

typischen Querprofil das Gerinne in der Mitte des Mobilitätsraums dargestellt (Abbildung 16).

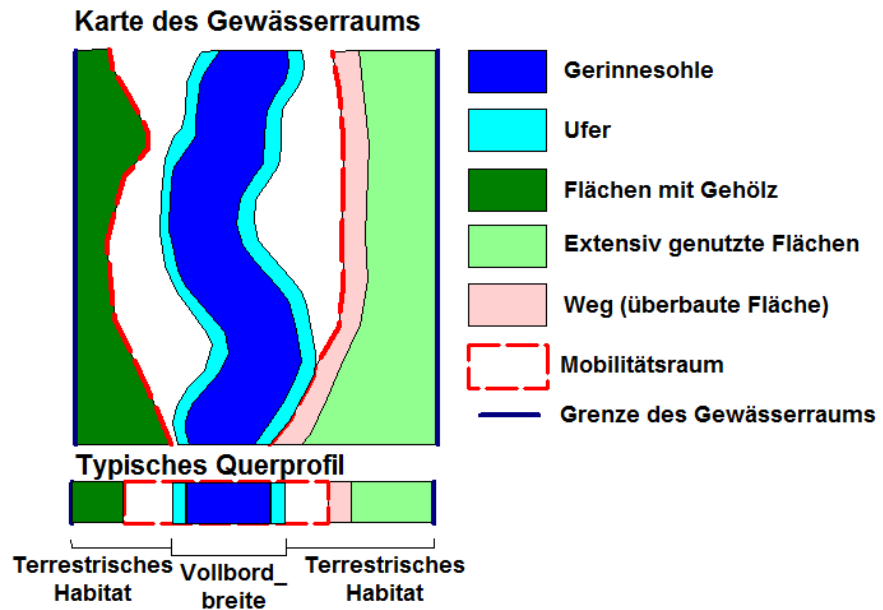


Abbildung 16. Illustration eines fiktiven typischen Querprofils auf der Basis der Karte eines momentanen Zustands des Gewässerraums, mit Blick in Fliessrichtung.

Es ist üblich, das typische Querprofil mit dem linken Ufer auf der linken Seite und dem rechten auf der rechten Seite der Grafik abzubilden. In diesem Beispiel ist der Mobilitätsraum grösser als die natürliche Gerinnesohlenbreite und somit die Lage des Gerinnes variabel. Am rechten Ufer wird angenommen, dass der Uferweg entlang des extensiven Streifens durch Uferbefestigungen vor Erosion geschützt ist. Am linken Ufer besteht ein Erosionsschutz des Ufergehölzes, der die seitliche Verlagerung der Sohle begrenzt. Der Mobilitätsraum (blaue und weisse Flächen) kann alle natürlichen Funktionen des terrestrischen Habitats erfüllen. Ausserhalb des Mobilitätsraums befindet sich am rechten Ufer eine extensive Wiese, die die Pufferfunktion übernimmt. Am rechten Ufer verläuft ausserdem ein Weg, der keine natürliche Funktion erfüllt, jedoch im Gewässerraum toleriert wird. Ein Gehölzstreifen am linken Ufer erfüllt sowohl die Pufferfunktion als auch die Funktion der terrestrischen Längsvernetzung.

Das Standardverfahren sieht 3 Schritte vor:

- **Funktionsdiagramm:** Diese Grafik wird für jeden homogenen Abschnitt eines Fließgewässers individuell berechnet. Sie stellt die Funktionen dar, die in Abhängigkeit zur Mobilitätsbreite erfüllt sind, und gibt eine Teilbewertung an (Prozentualer Erfüllungsgrad der natürlichen Funktionen).
- **Typisches Querprofil:** Ein technisches Profil, das für die Berechnung des Erfüllungsgrades in ein «repräsentatives» Profil des Gewässerabschnitts umgewandelt wird.
- **Grossprojekt:** Für grössere Wasserbauprojekte von mehreren Kilometern Länge mit unterschiedlichen Abschnitten wird eine Gesamtbewertung erstellt, diese widerspiegelt den Durchschnittswert des Projekts.

8.1

Funktionsdiagramm

Mit der Bestimmung der Gerinneform (einschliesslich der natürlichen Mäanderamplitude A_{nat} bei mäandrierenden Gerinnen), der Gerinnesohlenbreite (L_{fi}) und der Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) können die Erfüllungsgrade der ökologischen Funktionen anhand des Mobilitätsraums dargestellt werden. Diese Grafik wird Funktionsdiagramm genannt.

8.1.1

Allgemeiner Fall: breiter Talboden

Das Funktionsdiagramm legt den Erfüllungsgrad aller natürlichen Funktionen im Gewässerraum anhand des Mobilitätsraums des Fließgewässers fest. Ist der Mobilitätsraum kleiner als die natürliche Gerinnesohlenbreite, werden die Funktionen des aquatischen Habitats nur teilweise erfüllt. Bei einem Mobilitätsraum, dessen Breite sich zwischen Gerinnesohlenbreite und der Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss befindet, werden zusätzlich die Funktionen des amphibischen Habitats teilweise erfüllt. Sobald der Mobilitätsraum die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss übersteigt, können die anderen Funktionen (terrestrisches Habitat) schrittweise erfüllt werden, indem zusätzlicher terrestrischer Raum bereitgestellt wird, ausgehend von den Erfüllungskurven in Kapitel 6.2.

Abbildung 17 zeigt ein Funktionsdiagramm für das folgende Fließgewässer:

- Gerinneform: ausgebildeter Mäander
- Bettbildender Abfluss Q : $400 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rauigkeit K : $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

- Energieliniengefälle i : 0,01 m/m
- Verhältnis Wasserspiegelbreite/Abflusstiefe r : 5 m/m

Folgende Werte wurden verwendet:

- Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss L_{pb} : 20,4 m
- Gerinnesohlenbreite L_{fl} : 17,7 m
- Die natürliche Mäanderamplitude wird mit $8 \times L_{pb}$ angenommen, d. h. mit rund 160 m

Ausserdem befindet sich das Objekt nicht in einem Auengebiet.

Für die Erfüllung von 80 % der ökologischen Funktionen dieses Fließgewässers ist ein Mobilitätsraum (nicht befestigt und ohne Unterhalt oder andere menschliche Eingriffe) von 60 m notwendig (Abbildung 17).

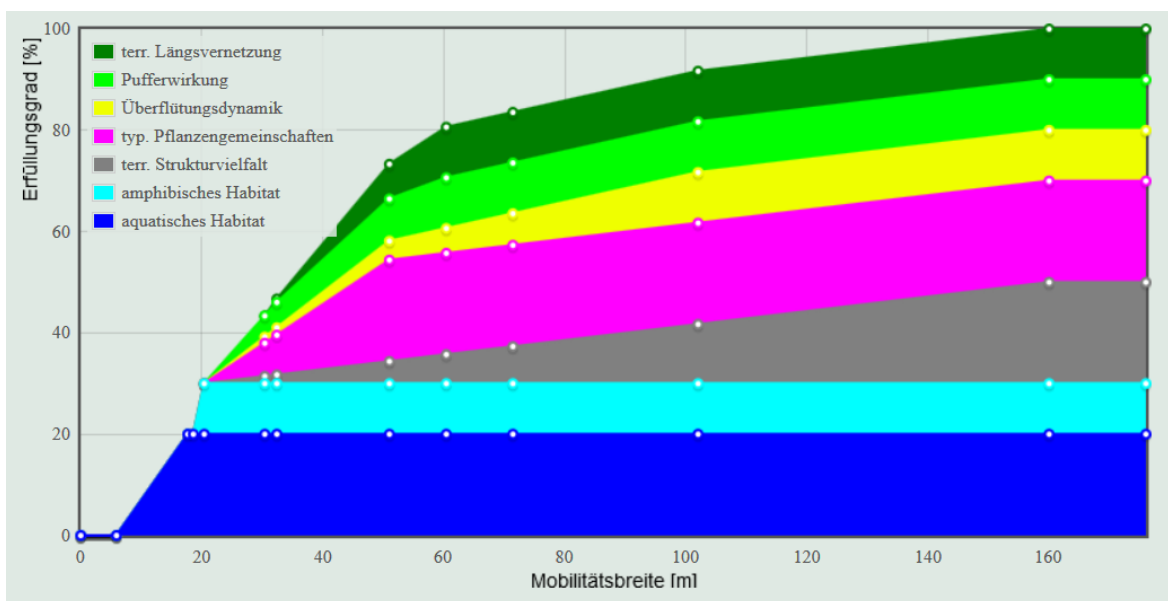


Abbildung 17. Beispiel eines Funktionsdiagramms für einen ausgebildeten Mäander (alle Werte gelten für 2 Ufer).

Das Funktionsdiagramm erlaubt es, einen Erfüllungsgrad für die ökologischen Funktionen anhand des Mobilitätsraums festzulegen. Dieses Hilfsmittel stellt einen ersten Ansatz für die Entwicklung eines Revitalisierungsprojekts dar.

Häufig sind Einschränkungen (z. B. Uferbefestigungen) vorzunehmen, die Anlagen vor Hochwasser schützen. Dadurch verringert sich der Mobilitätsraum. Aus diesem Grund wurden die Ansätze im Kapitel 8.2 weiterentwickelt.

8.1.2 Enger Talboden

Zahlreiche Fließgewässer in der Schweiz entwickeln sich in relativ engen Talböden, die unter der Mäanderamplitude des Gewässers in offenerem Gelände liegen. Trotzdem gehören sie nicht zur Kategorie

der eingetieften Fließgewässer im eigentlichen Sinne. Bei Fließgewässern wie dem Rhein im Kanton Zürich und dem Doubs bei Clos du Doubs im Kanton Jura befinden sich Auenterrassen mit begrenzter Breite. Der Talboden ist flach und setzt sich häufig aus alten Auenterrassen zusammen, die eine ungefähre Breite der 2-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss aufweisen. Dieser Umstand muss bei der Schätzung des Raumbedarfs des Fließgewässers berücksichtigt werden.

Die Funktionen des aquatischen und des amphibischen Habitats werden durch die Vollbordbreite sowie durch den Uferraum erfüllt, ohne Einschränkung durch die begrenzte Breite des Talbodens. Von den Funktionen des terrestrischen Habitats können die Talflanken aber nur die Pufferwirkung und die terrestrische Längsvernetzung erfüllen.

Für die Berechnung des Erfüllungsgrades der anderen terrestrischen Funktionen (terrestrische Strukturvielfalt, Überflutungsdynamik und Entwicklung typischer Pflanzengemeinschaften) ist es sinnvoll, die Breite des Talbodens festzustellen und bei der Erfüllung der Funktionen zu berücksichtigen. Die maximale Erfüllung dieser Funktionen wird anhand der verfügbaren Talbreite festgelegt. Daher wird wegen topografischer Einschränkungen vorgeschlagen, dass **die Breite des Talbodens der maximalen Erfüllung (100 %) für alle drei Funktionen entspricht. Ausgenommen dabei sind die Funktionen «terrestrische Längsvernetzung» und «Pufferzone», welche auch über den Talboden hinaus im steilen Gelände erfüllt werden können.**

Beispiel: Ein 50 m breiter Talboden wird topografisch durch 2 bewaldete Talflanken begrenzt und es befindet sich darin ein migrierend mäandrierendes Gerinne mit folgenden Parametern: $L_{pb} = 20$ m, $L_{fl} = 15$ m. Die Mäanderamplitude A_{nat} betrage im offenen Gelände theoretisch 80 m (nicht eingeschränkter Talboden). Eine solche Amplitude kann jedoch aufgrund der natürlichen engen Verhältnisse nicht erreicht werden. Weiter säumt ein Wald an den Talflanken den Talboden und gewährleistet so einen 20 m breiten Gehölzstreifen auf jeder Seite. Somit werden die natürlichen Funktionen des aquatischen und amphibischen Habitats wie üblich anhand ihrer natürlichen Breiten L_{fl} und L_{pb} erfüllt. Auch die Pufferwirkung und die terrestrische Längsvernetzung können unabhängig der Breite des Talbodens erfüllt werden, da diese Funktionen auch über den Talboden hinaus, an den Hängen, erfüllt werden können. Die maximale Erfüllung der typischen Pflanzengemeinschaften und die der terrestrischen Strukturvielfalt sowie der Überflutungsdynamik kann hingegen über die Breite des Talbodens hinaus (z. B. 50 m) nicht erreicht werden. Sie werden somit

bei 50 m voll erfüllt und nicht etwa bei 80 m, wie es im offenen Gelände der Fall wäre (ausserhalb des Engnisses).

In der gleichen Situation beträgt der Gesamterfüllungsgrad nur 65 von 100, falls nur ein Geländestreifen von 20 m den Kriterien des Mobilitätsraums genügt und eine der zwei Talflanken durch Siedlungen bebaut ist, weil die Hälfte des Beitrags der Funktionen Puffer ($\frac{1}{2}$ von 10 %) und Vernetzung ($\frac{1}{2}$ von 10 %) sowie der beiden terrestrischen Funktionen ($\frac{1}{2}$ von 50 %) nicht erfüllt sind.

8.2 Typisches Querprofil

Das typische Querprofil kann auf zwei leicht verschiedene Vorgehensweisen erstellt werden:

- Für die Bewertung eines Gewässerraums kann eine bereits bekannte Projektsituation im Ist- oder im Projektzustand herangezogen werden
- Die Bewertung eines Gewässerraums kann aufgrund der ökologischen Ziele erfolgen, die sich aus dem Prozentsatz des Erfüllungsgrads der natürlichen Funktionen ergeben

8.2.1 Bewertung eines Ist- oder Projektzustands

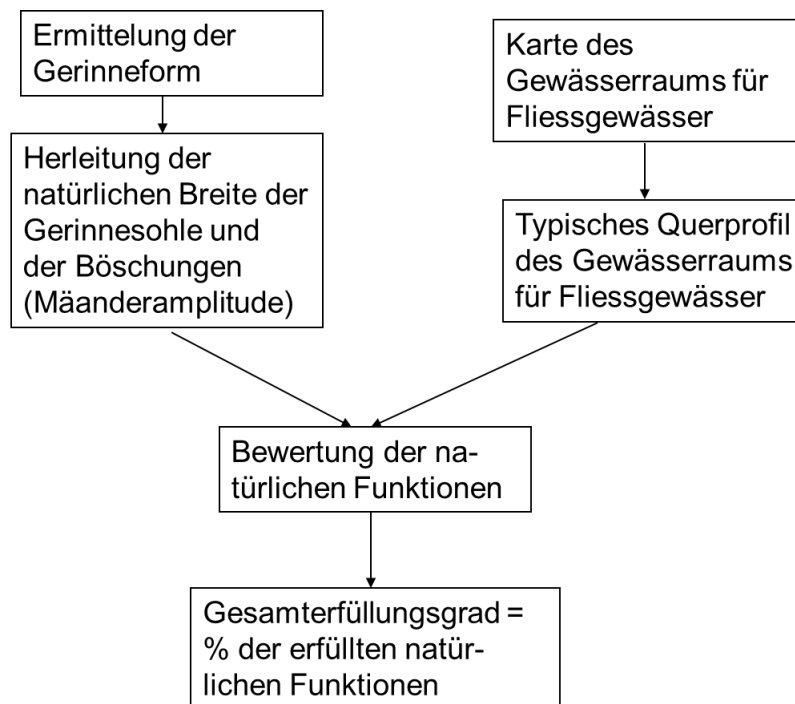


Abbildung 18. Vorgehen bei einer Bewertung eines bekannten Zustands.

Die Bewertung eines bekannten Zustands, der dem Ist-Zustand des Fliessgewässers oder dem künftigen, geplanten Zustand entsprechen kann, erfolgt in mehreren Schritten (Abbildung 18). Zuerst sind die Anforderungen des Fliessgewässers zu definieren, und zwar auf der Basis der bestehenden aktuellen Ausgangslage. Insbesondere müssen die Gerinneform, die natürliche Gerinnesohlenbreite, die natürliche Uferbreite sowie die natürliche Mäanderamplitude (für mäandrierende Gerinne) definiert werden. Gleichzeitig ist der tatsächlich vorhandene Platz des Fliessgewässers zu erfassen. Anschliessend gilt es, die Grenzen des Gewässerraums zu definieren und innerhalb dieses Raums die verschiedenen Habitate und Bodennutzungsarten zu ermitteln (s. Kap. 6.2 und Abbildung 15). Danach kann anhand der Karte des Gewässerraums das typische Querprofil (Abbildung 16) erstellt werden, welches die jeweiligen Breiten der verschiedenen Arten der Bodennutzung darstellt. Schliesslich wird das typische Querprofil bewertet, indem die in Kapitel 6.2 definierten Erfüllungskurven angewandt werden. Diese Kurven liefern eine Bewertung zwischen 0 und 100 und geben an, inwiefern im verfügbaren Gewässerraum die natürlichen Funktionen erfüllt werden können.

Für dieses Verfahren wurde ein *Webtool* geschaffen, das auf der folgenden Website abrufbar ist:

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

Abbildung 19 zeigt ein Beispiel für die Anwendung der Methode anhand eines technischen Projektprofils in einem Abschnitt ausserhalb eines Auengebiets.

Dämme können nur die Funktionen der Längsvernetzung und des Puffers erfüllen. In diesem Beispiel stellt man fest, dass sie nicht zur Längsvernetzung beitragen, da nicht bestockt. Sie leisten aber einen grossen Beitrag zur Pufferfunktion.

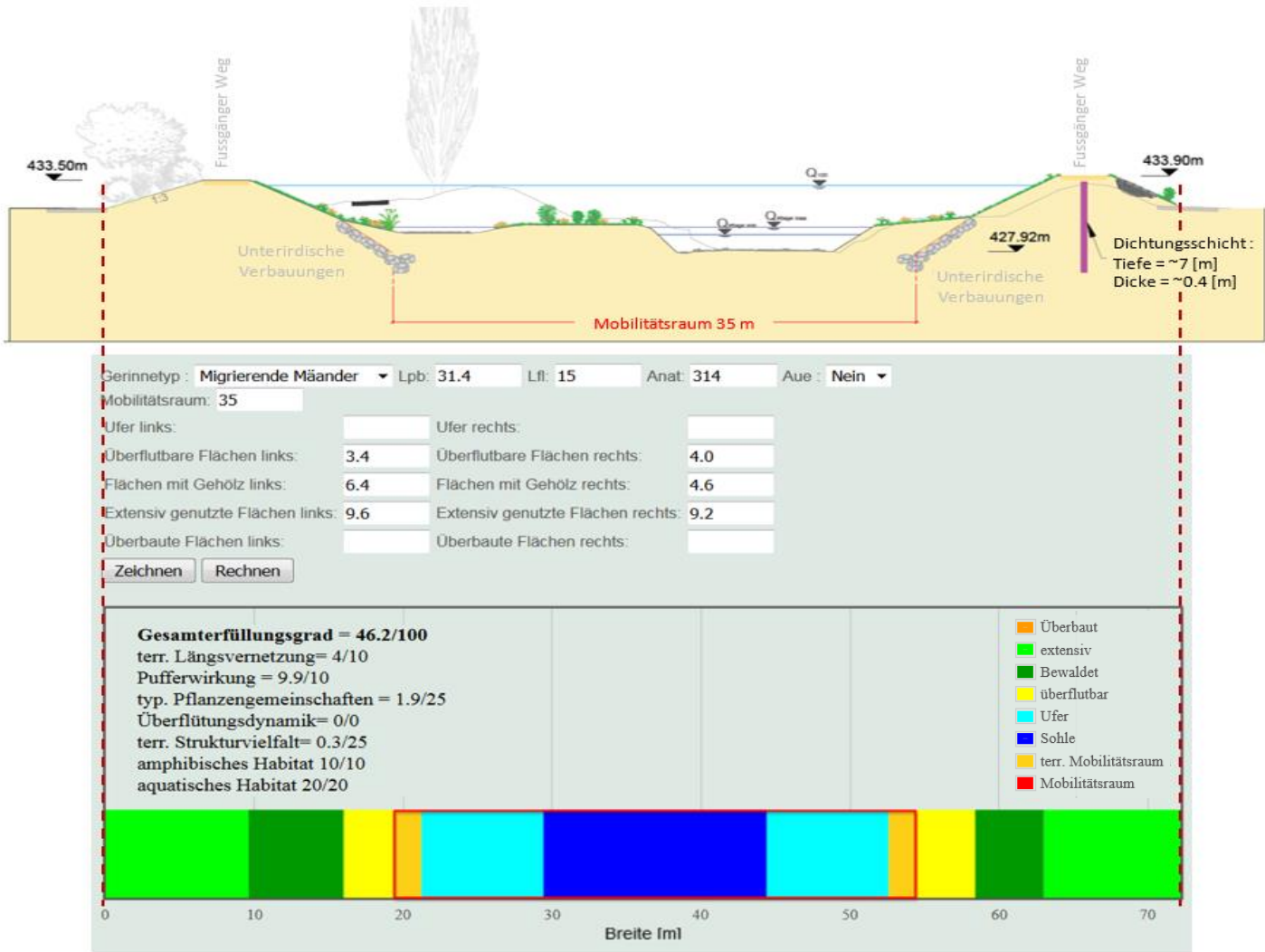


Abbildung 19. Anwendung der Methode bei einem ausgebildeten Mäander (oben das bewertete technische Querprofil; unten: das typische Querprofil; unten links: Bewertung der ökologischen Funktionen des Abschnitts sowie Angabe des Erfüllungsgrades).

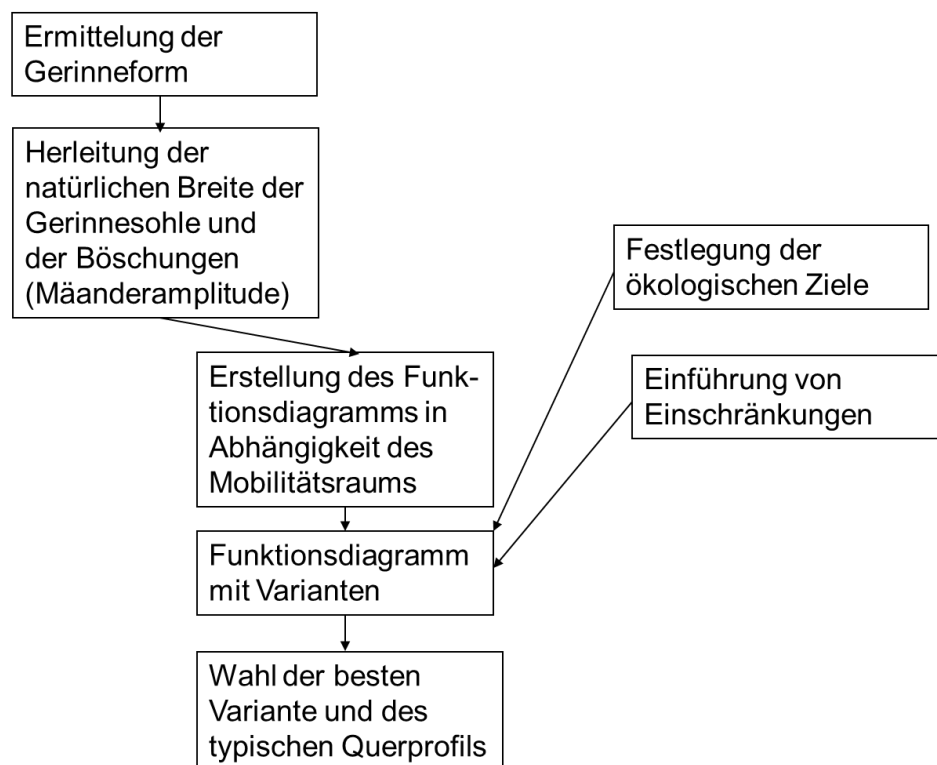


Abbildung 20. Vorgehen, falls ökologische Ziele erreicht werden müssen.

Werden im Vorfeld ökologische Ziele definiert, dann geht es primär um die Ermittlung der dafür notwendige Breite des Gewässerraums und des darin liegenden Mobilitätsraums (Abbildung 20). In Auengebieten müssen die ökologischen Ziele die Entwicklung von Hartholzauen vorsehen und dabei die Funktionen der typischen Pflanzengemeinschaften und der terrestrischen Strukturen vollständig erfüllen, bei einem Mobilitätsraum, der der 3,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (verzweigte Gerinne) und der natürlichen Mäanderamplitude (mäandrierende Gerinne) entspricht.

Für die Festlegung ökologischer Ziele wird empfohlen, ein **Funktionsdiagramm** zu erstellen, d. h. eine Grafik, die den Prozentsatz der erfüllten natürlichen Funktionen in Abhängigkeit zum verfügbaren Mobilitätsraum angibt (s. Abbildung 17). In einem ersten Schritt geht man davon aus, dass der gesamte Gewässerraum nicht befestigt ist (natürlicher Mobilitätsraum) und alle natürlichen Funktionen in diesem Raum erfüllt werden. Das ist der Idealfall hinsichtlich der ökologischen Interessen, jedoch gleichzeitig vielleicht auch der schwierigste um in die Praxis umzusetzen. So muss der Mobilitätsraum oft den bestehenden Platzverhältnissen angepasst werden. Es empfiehlt sich

in der Regel die Prüfung verschiedener Varianten, z. B. indem der Mobilitätsraum auf einen bestimmten Wert beschränkt wird und Gehölzstreifen oder extensive Wiesen hinzugefügt werden. Das Ergebnis dieser Analyse mündet in einem typischen Querprofil mit den Breiten der verschiedenen Bodennutzungsarten.

Ein konkretes Beispiel dieses Vorgehens findet sich in Kapitel 10.1 und betrifft die Birs (JU und BL).

8.3 Grossprojekt

Ein Grossprojekt setzt sich aus einer Folge typischer Querprofile zusammen, die Abschnitte unterschiedlicher Länge repräsentieren. Pro Profil wird ein Teilerfüllungsgrad berechnet und anschliessend anhand der Länge des Abschnitts gewichtet, um die Durchschnittsbewertung für das Projekt zu erhalten. In der Abbildung 21 umfasst das Projekt 5 typische Querprofile mit unterschiedlichen Längen. Der gewichtete durchschnittliche Gesamterfüllungsgrad (zusammengesetzte Bewertung, die den Mittelwert des Projekts widerspiegelt) beträgt 66,9 %.

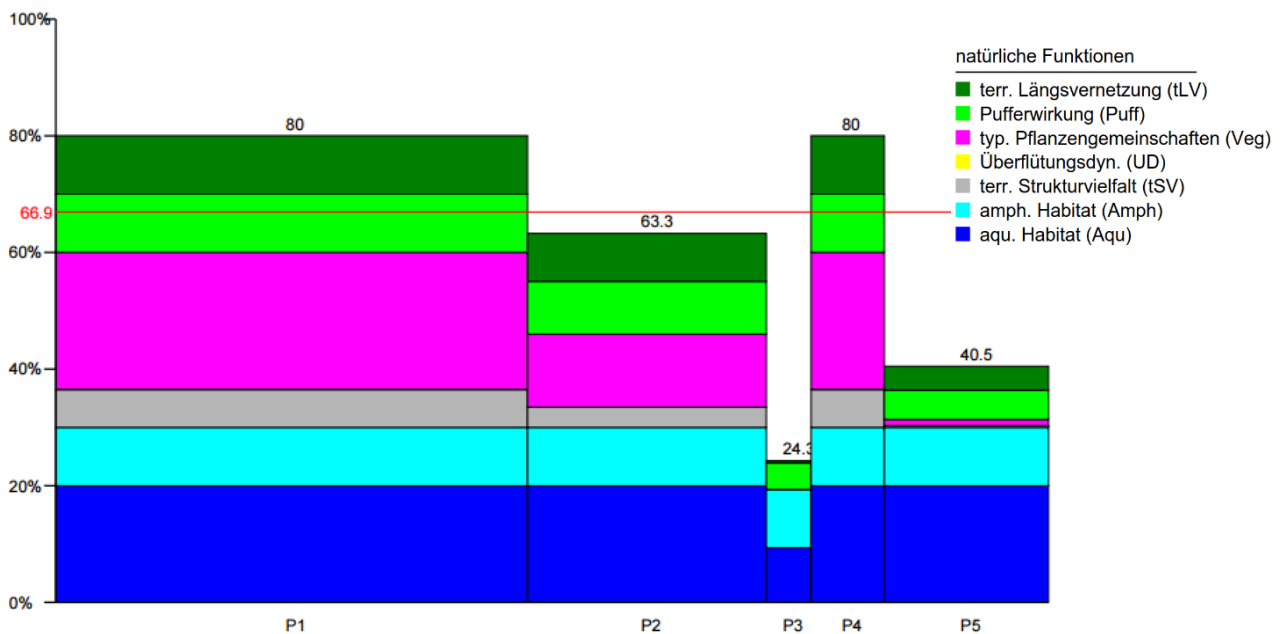


Abbildung 21. Anwendung des Webtools auf ein Grossprojekt.

Der Schritt «Grossprojekt» wird im *Webtool* auf der folgenden Website angeboten:

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

9 Sensitivitätsanalyse von drei Parametern

Die Sensitivität von 3 Parametern wurde geprüft, um zu sehen, wie sich Schwankungen dieser Parameter auf die Gesamtbewertung auswirken:

- Bettbildender Abfluss (Unterschied zwischen HQ_2 und HQ_5)
- Gefälle des Fließgewässers oder Energieliniengefälle (x , $2x$, $x/2$)
- Gerinneform (migrierender Mäander, respektive verzweigte Gerinne)

9.1 Bettbildender Abfluss

Es ist allgemein anerkannt, dass der bettbildende Abfluss eines Fließgewässers eine Wiederkehrperiode von 2 bis 5 Jahren aufweist. In der Schweiz sind diese beiden Abflusswerte (HQ_2 und HQ_5) dank der Messstationen des Bundes häufig bekannt. Zuerst werden diese Abflusswerte für die 6 Fallbeispiele im Kapitel 10 untereinander verglichen (Tabelle 9). Anschliessend wird für den am Durchschnitt nächstgelegenen Fall, die Auswirkung auf die Gesamtbewertung berechnet.

Fließgewässer	Abschnitt	Referenzstation	HQ_2 [m ³ /s]	HQ_5 [m ³ /s]	Differenz [%]
Birs	Soyhières–Riederwald	Birse Soyhieres, Bois Du Treuil (2478)	103	151	31.8%
Aare	Büren–Solothurn	Aare Brügg, Aegerten (2029)	505	587	14.0%
Aare	Thun–Bern	Aare Thun (2030)	304	348	12.6%
Kleine Emme	Malters–Reuss	Kleine Emme Littau, Reussbühl (2425)	317	423	25.1%
Saane	Les Ponts–Broc	Saane Broc, Château D'en Bas (2160) –10 %	194	248	21.8%
Maggia	Giumaglio–Someo	Maggia Bignasco, Ponte Nuovo (2475) +20 %	342	510	32.9%
Mittelwert					23.0%

Tabelle 9. Abflusswerte HQ_2 und HQ_5 der in den Fallbeispielen untersuchten Fließgewässer.

Die mittlere Abweichung zwischen HQ_2 und HQ_5 beträgt 23 %. Die Saane liegt mit 21,8 % am nächsten am Mittelwert und dient deshalb in der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse als Testbeispiel.

Die Bewertung der Saane in ihrem heutigen Zustand ergibt einen Gesamterfüllungsgrad von 38,9 % (s. Kap. 10.6.3) bei einem bettbildenden Abfluss von 248 m³/s (HQ_5). Mit einem bettbildenden Abfluss von 194 m³/s (HQ_2) (alle anderen Parameter bleiben gleich) resultiert ein Gesamterfüllungsgrad von 42,7 %.

Die höhere Bewertung ist nachvollziehbar. Tatsächlich bewirkt eine Verringerung des bettbildenden Abflusses eine geringere natürliche Gerinnesohlenbreite und eine kleinere Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss. Da der Raumbedarf abnimmt und das beurteilte Querprofil sich nicht verändert, ist es normal, dass ein bettbildender

Abfluss bei HQ₂ den höheren Gesamterfüllungsgrad erreicht als bei HQ₅.

Die Veränderung der Bewertung um 9,7 % ist signifikant. **Der bettbildende Abfluss ist folglich ein empfindlicher Parameter**, insbesondere bei Wertebereichen, welche die Funktion der Strukturvielfalt der Gerinnesohle betreffen und diese Funktion 20 % des Gesamterfüllungsgrads ausmacht.

9.2 Gefälle des Fliessgewässers

Das Gefälle des Fliessgewässers kann im Allgemeinen auf einfache Art genau gemessen werden. In einigen Fällen insbesondere bei ausgebildeten Mäandern kann das Fliessgewässergefälle auf kurzen Distanzen stark variieren, dies wegen der Sinuosität des Gerinnes und weil die Fliessgewässerrichtung nicht immer in die Richtung des Talwegs („Wassersammellinie“) ausgerichtet ist. Manchmal kann eine Abweichung von über 90° beobachtet werden.

Um die Sensitivität der Fliessgewässerneigung zu prüfen, wird das Fallbeispiel der Aare zwischen Büren und Solothurn verwendet – das einzige der sechs Beispiele in Kapitel 10 mit einem ausgebildeten Mäander als Gerinneform. Im Fallbeispiel (Kap. 10.2) wird das Sohlgefälle im natürlichen Zustand auf 0,1 ‰ geschätzt. Die Bewertung wird neu berechnet, indem eine zweimal höhere Neigung und eine zweimal schwächere Neigung verwendet werden (Tabelle 10).

		normale Neigung	doppelte Neigung	halbe Neigung
Erfüllungs- grad (%)	L_{pb} (m)	108	95	123
	L_{fl} (m)	70	61	79
	Minimales Gewässerprofil	24,8	28,1	20,6
	Heutiges Normalprofil	31,8	34,2	31,4

Tabelle 10. Einfluss des Sohlgefälles.

Wird die natürliche Referenzneigung verringert, erhöht sich dadurch die natürliche Gerinnesohlenbreite sowie die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss. Der Raumbedarf ist bei einer geringeren Neigung also höher. Dieser **Parameter ist ziemlich sensitiv**, vor allem wenn der Mobilitätsraum kleiner ist als die natürliche Gerinnesohlenbreite.

9.3 Gerinneform

Einige Fliessgewässer weisen eine natürliche Gerinneform auf, die nicht genau den fünf in Kapitel 5.1. beschriebenen Formen entspricht, sondern einer Mischung von zwei Referenz-Gerinneformen. In diesem Fall empfiehlt die Methode, dem Fliessgewässer die überwiegend vorkommende Gerinneform zuzuweisen. Das Fliessgewässer kann je nach lokalen Bedingungen in seinem Verlauf auch verschiedenen Gerinneformen entsprechen. Die Wahl der natürlichen Gerinneform kann sich auf das Ergebnis auswirken. Hier ist das Beispiel der Saane zu nennen, da ihr natürlicher Verlauf oberhalb von Broc eine Mischform von verzweigtem Gerinne und migrierendem Mäander ist. Sie wird als verzweigtes Gerinne betrachtet (s. Kap. 10.6). Bei einem migrierenden Mäander sähen die Ergebnisse leicht anders aus.

Die Gewichtung der verschiedenen Funktionen des Gewässerraums ist bei beiden Formen (verzweigte Gerinne und migrierende Mäander) gleich. Im Unterschied zu verzweigten Gerinnen wird jedoch bei migrierenden Mäandern die Funktion «terrestrische Strukturvielfalt» in Abhängigkeit zur Grösse der Mäanderamplitude und nicht zur natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss. Bei der Saane wird die Mäanderamplitude unter natürlichen Bedingungen anhand der Dufourkarte auf 200 m geschätzt. Bei einem verzweigten Gerinne wird hingegen die Funktion der terrestrischen Strukturvielfalt bei einer Breite von 117,5 m ($2,5 \times L_{pb} = 2,5 \times 47 \text{ m}$) zu 100 % erfüllt. In diesem Fall fällt die Bewertung für die Strukturvielfalt des terrestrischen Habitats für migrierende Mäander schlechter aus. Da diese Bewertung im Fallbeispiel jedoch bereits 0 beträgt, bleibt sie auch 0, wenn als natürliche Referenz-Gerinneform der migrierende Mäander gewählt wird. Der maximale Unterschied zwischen diesen beiden Gerinneformen tritt bei einem Mobilitätsraum von $2,5 L_{pb}$ auf. Für diese Breite erzielt ein verzweigtes Gerinne bei allen Funktionen 100 % in der Bewertung, während ein migrierender Mäander bei der terrestrischen Strukturvielfalt im Allgemeinen keine 100 % erreicht. Tatsächlich entspricht die Mäanderamplitude häufig rund $8 L_{pb}$ und erhält daher den Erfüllungsgrad 21,5 % für die terrestrische Strukturvielfalt. Bei der Betrachtung der Gewichtung (25 % der Bewertung entfallen auf die terrestrische Strukturvielfalt) beträgt die maximale Differenz zwischen beiden Gerinneformen 5 % des Gesamterfüllungsgrads, der sich also für gewisse Gerinneformen **hinsichtlich dieses Parameters wenig sensitiv** zeigt.

Wird hingegen ein eingetieftes Gerinne anstelle eines mäandrierenden oder verzweigten Gerinnes gewählt, kann sich dies stark auf den Raumbedarf des Fliessgewässers auswirken. Im ersten Fall wird der maximale Erfüllungsgrad (100 %) bei einem Mobilitätsraum von $L_{pb} + 40 \text{ m}$ erreicht, der häufig kleiner ist als $2,5 L_{pb}$ und praktisch immer kleiner als A_{nat} .

9.4 Schlussfolgerung

Die für 3 ausgewählte Parameter durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt eine relativ hohe Sensitivität des Bewertungssystems. Dies erklärt sich durch die begrenzte Anzahl an verwendeten Kennzahlen und durch ihre Gewichtung. Trotz dieser Sensitivität bewährt sich die Methode beim Vergleichen von Varianten, Abschnitten oder Projekten in verschiedenen Fließgewässern.

Der untersuchte Abschnitt der Birs ist 2,3 km lang und befindet sich in den Gemeinden Soyhières (JU) und Liesberg (BL). Die korrigierte Breite der Birs beträgt 15 m. Die Methode wird für die Erstellung des typischen Querprofils des Gewässerraums verwendet, um das Ziel z. B. von 60 % der natürlichen Funktionen zu erfüllen.

Die hydrologischen Bedingungen des Einzugsgebiets haben sich im Vergleich zum historischen Referenzzustand der Dufourkarte nicht signifikant verändert (Abbildung 22 und Abbildung 23). Es ist daher ersichtlich, dass die natürliche Gerinneform der Birs in Soyhières ein migrierender Mäander ist (schwache Sinuosität).

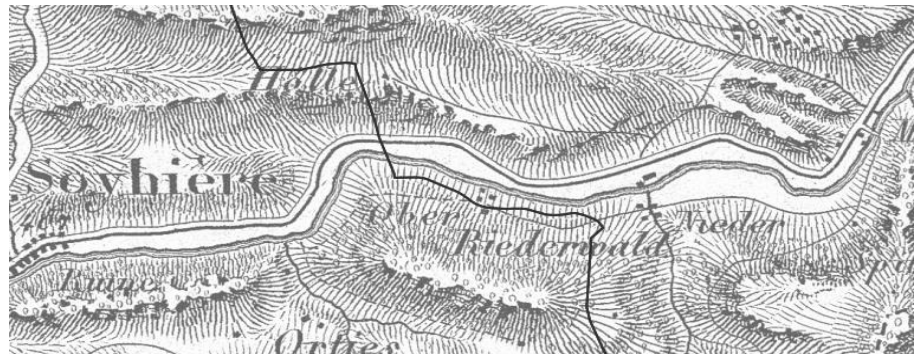


Abbildung 22. Dufourkarte der Birs 1850.

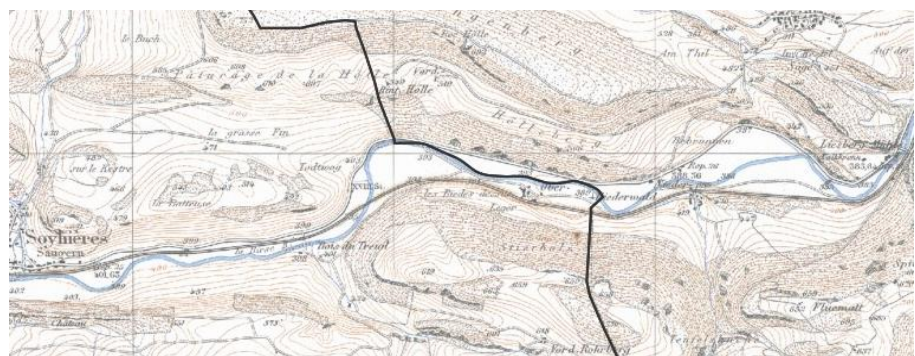


Abbildung 23. Siegfriedkarte der Birs 1875.

Bei der Qualitätsanalyse der historischen Karten werden genügend Differenzen zwischen den kartierten Verläufen um 1850 und um 1875 festgestellt, um daraus zu schliessen, dass das Gerinne mobil ist.

Festgehalten wird, dass beträgt die Gerinnesohlenbreite (L_{ri}) 13 m, die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) 32 m, die Tiefe (h_{2-5}) 3.2 m und die natürliche Mäanderamplitude (A_{nat}) 150 m betragen.

10.1.2 Ökologisches Ziel

Dieser Abschnitt befindet sich nicht in einem Auengebiet, weshalb die Anforderungen an Hartholzauen nicht erfüllt werden müssen. Als ökologisches Ziel wurde eine Erfüllung der natürlichen Funktionen von 60% gewählt.

10.1.3 Funktionsdiagramm in Abhängigkeit des Mobilitätsraums

Die natürlichen Funktionen werden für verschiedene Raumbreiten bewertet. In einem ersten Schritt wird davon ausgegangen, dass der gesamte zur Verfügung stehende Raum dem Mobilitätsraum des Fließgewässers entspricht. In späteren Optimierungsphasen könnte untersucht werden, inwiefern der Mobilitätsraum zugunsten anderer Raumarten eingeschränkt werden könnte.

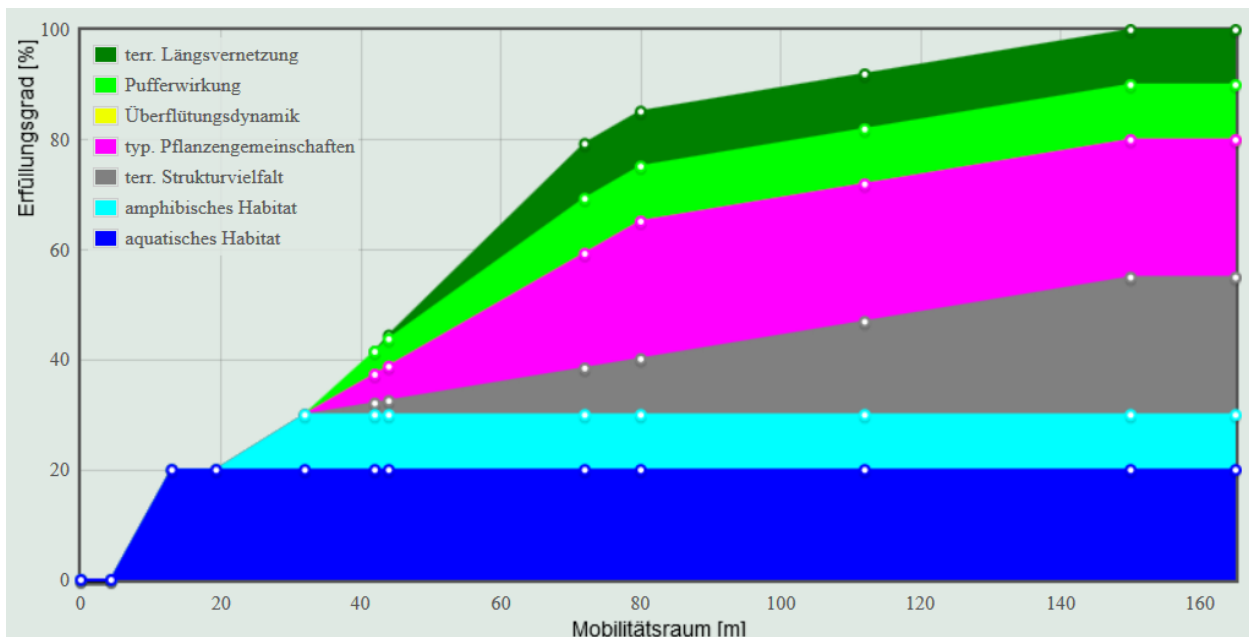


Abbildung 24. Das Funktionsdiagramm der Birs in Soyhières zeigt das Verhältnis zwischen dem verfügbaren Gewässerraum (entspricht hier einem Mobilitätsraum) und dem Prozentsatz der erfüllten natürlichen Funktionen.

Es wird festgestellt, dass für einen Erfüllungsgrad von 60 % der natürlichen Funktionen ein Mobilitätsraum von 56 m notwendig ist (Abbildung 24).

Dann können die Varianten untersucht werden, indem der Inhalt des Gewässerraums verändert wird. Unter der Annahme, dass eine Beschränkung den Mobilitätsraum auf 45 m begrenzt, können dank Gehölzstreifen im Gewässerraum, jedoch ausserhalb des Mobilitätsraums, noch gewisse natürliche Funktionen erfüllt werden (Abbildung 25).

Wird der Mobilitätsraum auf 45 m beschränkt, zeigt das Funktionsdiagramm, dass 45,7 % der natürlichen Funktionen erfüllt werden. Fügt man jedoch Gehölzstreifen hinzu, sieht man, dass mit einem Mobilitätsraum von 45 m + 28 m Gehölzstreifen = insgesamt 73 m auch 60 % der natürlichen Funktionen erfüllt werden.

Es könnte noch eine weitere Beschränkung eingeführt werden: Anstelle der Gehölzstreifen sorgt ein Maximum an extensiv genutzten Wiesen dafür, dass die natürlichen Funktionen zu mindestens 55 % erfüllt werden (Abbildung 26). In diesem Fall zeigen die Berechnungen, dass mit einem Mobilitätsraum von 45 m + 14 m Gehölzstreifen + 14 m extensiv genutzter Streifen 55 % der natürlichen Funktionen erfüllt werden.

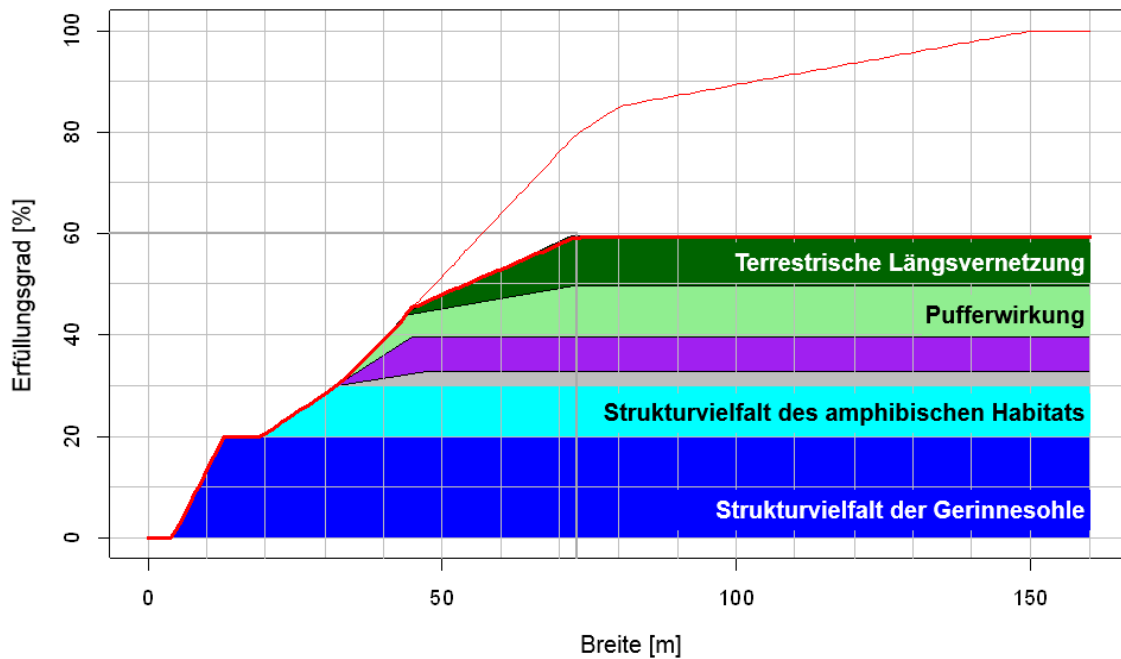


Abbildung 25. Funktionsdiagramm mit teilweise befestigter Breite der Variante «Mobilitätsraum und Gehölzstreifen ab 45 m».

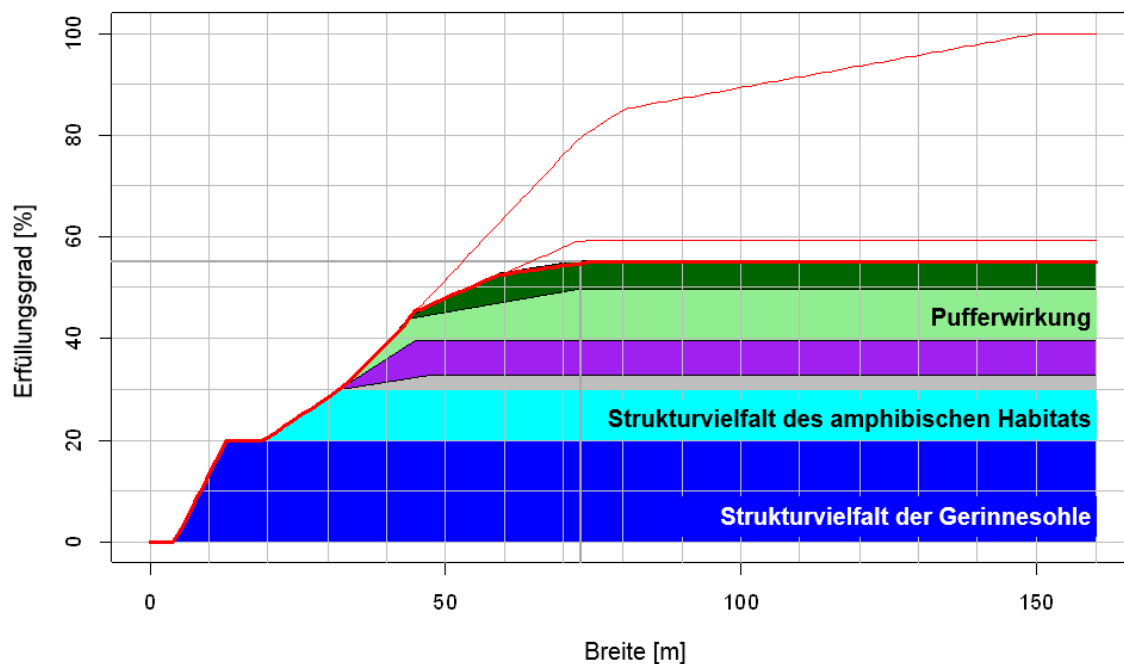


Abbildung 26. Funktionsdiagramm mit teilweise befestigter Breite der Variante «Mobilitätsraum, Gehölzstreifen ab 59 m und extensiv genutzter Streifen ab 73 m». Auf 45 m beschränkter Mobilitätsraum, 14 m Gehölzstreifen und Maximum an extensiven Wiesen.

10.1.4 Bewertung

Insgesamt zeigt die Analyse der Funktionsdiagramme, dass die drei folgenden typischen Querprofile bei der Erfüllung der natürlichen Funktionen eine Zielerreichung von nahezu 60 % erreichen (Abbildung 27, Tabelle 11). Die Wahl der besseren Variante hängt je nach Abschnitt von anderen Einflüssen betreffend Raumplanung und Bodennutzung ab.

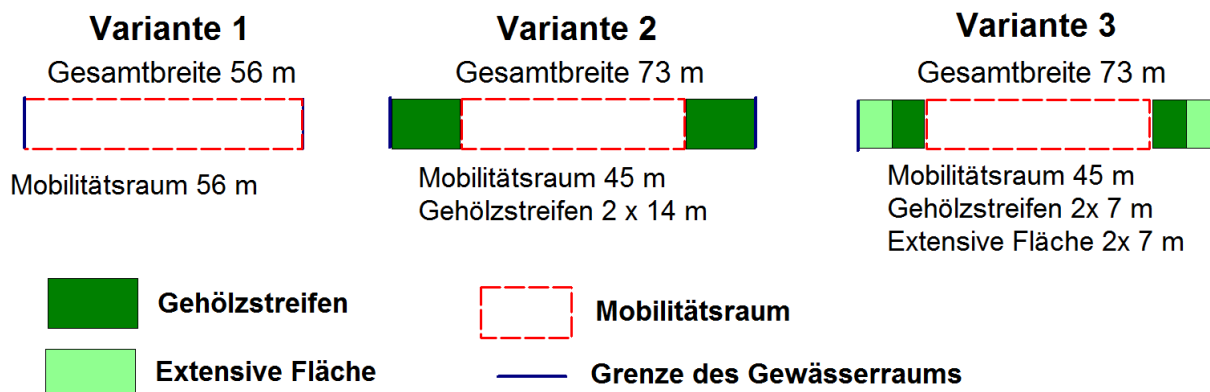


Abbildung 27. Typische Querprofile der Birs in Soyières für eine Erfüllung der natürlichen Funktionen zu rund 60 %.

Funktionen	Bewertung Variante 1	Bewertung Variante 2	Bewertung Variante 3	Gewichtung
Aquatisches Habitat	100	100	100	0,2
Amphibisches Habitat	100	100	100	0,1
Terrestrische Längsvernetzung	47	100	57	0,1
Pufferwirkung	71	100	100	0,1
Terrestrische Strukturen	20,4	11,2	11,2	0,25
Typische Pflanzengemeinschaften	50	27,2	27,2	0,25
Erfüllungsgrad	59,4	59,5	55,3	

Tabelle 11. Bewertung der natürlichen Funktionen von drei Varianten der Birs, um eine Gesamterfüllungsgrad von rund 60 % zu erhalten.

10.2 Die Aare zwischen Büren und Solothurn

Der untersuchte Abschnitt weist eine Länge von rund 17 km auf und liegt zwischen Büren und Solothurn. Die Aare ist durch Blockwurf an den Ufern befestigt, ihre korrigierte Breite schwankt zwischen 80 und 180 m, ebenso ihre Tiefe, die bei Altreu bis zu 18 m erreicht.

10.2.1 Gerinneform

In diesem Abschnitt hat die Aare die Form eines ausgebildeten Mäanders. Das Gelände weist Spuren alter, durch Kurzschliessen der Flussschlingen, abgeschnürter Mäander auf. Historische Dokumente belegen häufige Überflutungen, ein Gewässer, das von Feuchtgebieten und Sümpfen gesäumt war (Nast 2006).

Allerdings entspricht dieser natürliche Zustand der Aare, auf den man sich für die Festlegung der natürlichen Funktionen und des Raumbedarfs bezieht, nicht mehr dem überwiegenden Zustand von Anfang des 19. Jahrhunderts, weil in ihrem Einzugsgebiet grosse Veränderungen stattgefunden haben. Bei der ersten Juragewässerkorrektur wurde die Aare in den Bielersee umgeleitet, was den Geschiebehaushalt und die Überflutungshäufigkeit wesentlich beeinflusst. Der grösste Teil der von der Aare transportierten Sedimente lagern sich im Bielersee ab, was das Volumen des Feststofftransports verringert. Die Hochwasserereignisse werden durch die Rückhaltewirkung der drei Jurarandseen gepuffert, was die Überflutungshäufigkeit verringert (ein Ziel der Korrektur). Diese Änderungen sind unumkehrbar, weshalb die Gerinneform, die natürliche Gerinnesohlenbreite und die natürlichen Funktionen (Abbildung 28) auf Basis der heutigen Abfluss- und Geschiebebedingungen zu bewerten sind. Der historische Zustand vor den Juragewässerkorrekturen kann folglich ohne Anpassung nicht mehr als Referenzzustand gelten.

Die Gerinneform bleibt daher ein ausgebildeter Mäander, da eine Verringerung des Geschiebehaushalts diese Form begünstigt.

Die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_n) beträgt 70 m, die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) 108 m, die Tiefe (h_{2-5}) 3.2 m und die natürliche Mäanderamplitude (A_{nat}) 756 m.

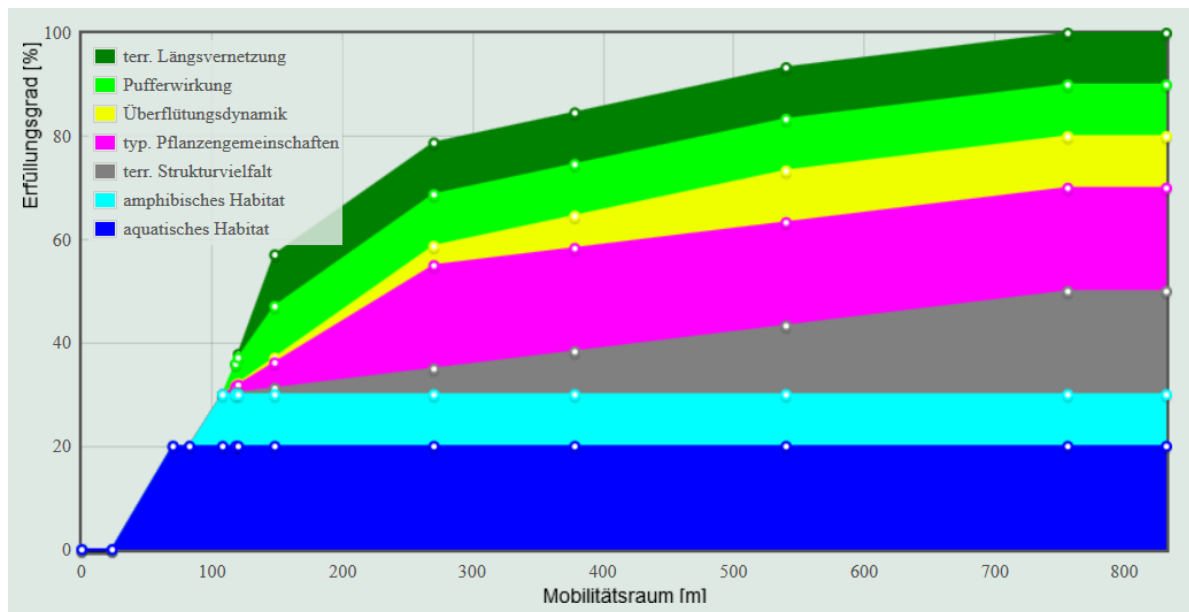
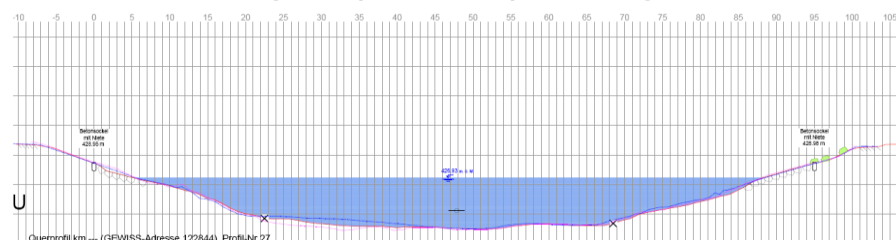


Abbildung 28. Funktionsdiagramm der Aare zwischen Büren und Solothurn (ausserhalb des Auengebiets).

10.2.2 Typische Querprofile

Die Situation der Aare wird anhand von zwei unterschiedlichen Profilen bewertet. Das erste Profil (Nr. 122844) entspricht dem minimalen Abflussprofil zum Schutz vor Hochwasser (Abbildung 29), d. h. Dieses Profil befindet sich im Nidau-Büren-Kanal bei Brügg, wo der hydraulische Einfluss des Kraftwerkes in Flumental bei Niederwasser noch schwach ist. Das zweite Profil wird als repräsentativ für den untersuchten Abschnitt erachtet. Es handelt sich um das Profil Nr. 109882 (Abbildung 30 und Abbildung 31).

Minimales Gewässerprofil (Nr. 122844): nicht repräsentativ



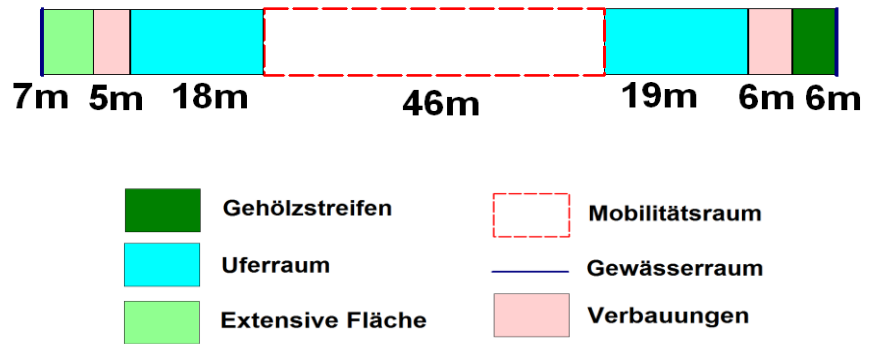


Abbildung 29. Schema des typischen Querprofils, das dem minimalen Gewässerprofil der Aare zwischen Büren und Solothurn entspricht.

In diesem Fall werden die Blockwurfoberflächen auf den Böschungen als Wege betrachtet, d. h. sie erfüllen keine natürlichen Funktionen.

10.2.3

Vorhandenes Normalprofil

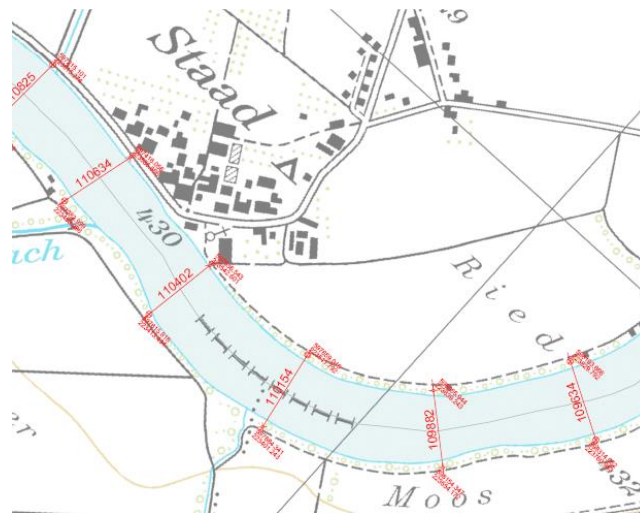
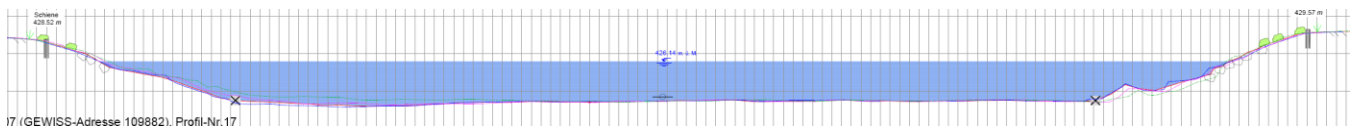


Abbildung 30. Situation der Querprofile der Aare unterhalb von Staad. - Profil Nr. 109882 ist repräsentativ.



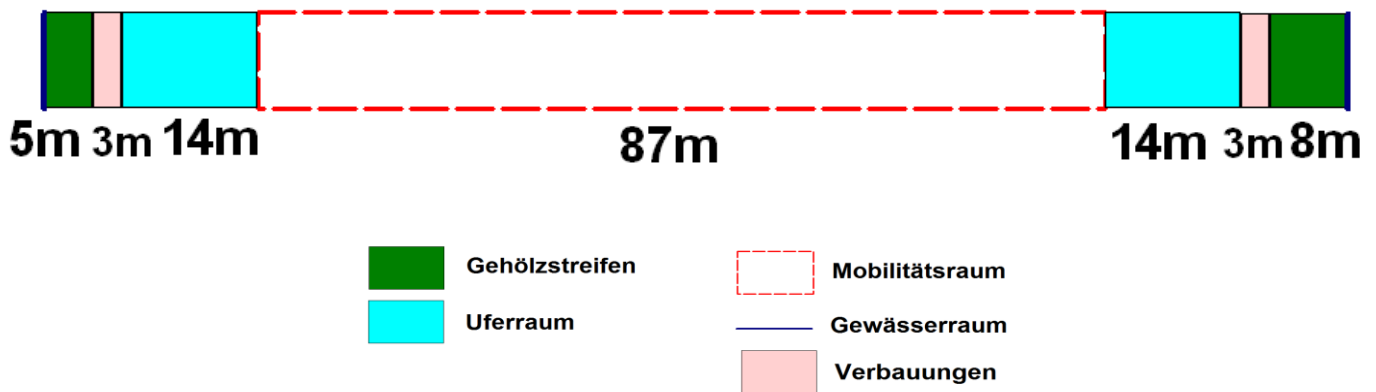


Abbildung 31. Schema des typischen Querprofils, das für den heutigen Zustand der Aare zwischen Büren und Solothurn repräsentativ ist.

10.2.4

Bewertung

Aquatische Strukturen

Mit einem Mobilitätsraum von 46 m und einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von geschätzten 70 m, erhält das minimale Gewässerprofil eine Bewertung von 49 %. Das vorhandene Profil wird mit 100 % bewertet, da der Mobilitätsraum grösser ist als die natürliche Gerinnesohlenbreite.

Uferstrukturen

Die natürliche Uferbreite wird auf 38,4 m geschätzt. Das minimale Gewässerprofil erhält mit einer Uferbreite von 37 m die Bewertung 95 %, das vorhandene Profil mit einer Uferbreite von 28 m eine Bewertung von 59 %.

Pufferzone

Die zwei Profile weisen eine Pufferzone von insgesamt 13 m auf. Dabei fällt die Erfüllungskurve im minimalen Gewässerprofil mit Streifen von 7 m und 6 m höher aus als im vorhandenen Profil mit Streifen von 8 m und 5 m Breite. So erhält das minimale Gewässerprofil eine Bewertung von 52 % im Vergleich zu 49 % für das vorhandene Profil.

Terrestrische Vernetzung

Das minimale Gewässerprofil mit nur einem Gehölzstreifen von 6 m am rechten Ufer erhält die Bewertung 3 %, das Vorhandene Profil 10 %.

Überflutbarer Raum

Es gibt ausserhalb des Hauptgerinnes keinen überflutbaren Raum. Für beide Profile beträgt die Bewertung daher 0 %.

Terrestrische Strukturen

Der Streifen, der für die terrestrischen Strukturen bereitsteht, entspricht dem Teil des Mobilitätsraums, der nicht von der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss ausgefüllt wird. In

diesem Fall gibt es keinen. Für beide Profile beträgt die Bewertung daher 0 %.

Typische Pflanzengemeinschaften

Wie bei den terrestrischen Strukturen entspricht der Streifen, der für die typischen Pflanzengemeinschaften zur Verfügung steht, dem Teil des Mobilitätsraums, der nicht von der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss ausgefüllt wird. Auch in diesem Fall gibt es keinen. Für beide Profile beträgt die Bewertung daher 0 %.

Erfüllungsgrad

Funktionen	Bewertung min. Gewässerprofil	Bewertung akt. Normalprofil	Gewichtung
Aquatisches Habitat	49.0	100.0	0.2
Amphibisches Habitat	95.0	59.0	0.1
Terr. Längsvern. rechtes Ufer	6.7	20.0	0.05
Terr. Längsvern. linkes Ufer	0.0	0.0	0.05
Pufferzone rechtes Ufer	50.0	56.7	0.05
Pufferzone linkes Ufer	53.3	41.7	0.05
Überflutungsdynamik	0.0	0.0	0.1
Terrestrische Strukturen	0.0	0.0	0.2
Typische Pflanzengemeinschaften	0.0	0.0	0.2
Gesamterfüllungsgrad	24.8	31.8	

Tabelle 12. Bewertung der natürlichen Funktionen der beiden Aareprofile zwischen Büren und Solothurn.

In der Vergleichstabelle (Tabelle 12) erhält das vorhandene Profil eine um 7 % höhere Bewertung als das minimale Gewässerprofil. Der Unterschied beruht hauptsächlich auf den unterschiedlichen Gerinnesohlenstrukturen. Doch die beiden Profile werden durch das Fehlen einer Verjüngung und von Überflutungen im terrestrischen Habitat beeinträchtigt.

Zur Verbesserung der Lage wäre es am sinnvollsten, Uferbefestigungen zurückzubauen oder überflutbare Räume zu schaffen, indem die Uferböschungen und das Gelände an bestimmten Stellen abgesenkt werden.

10.3 Die Kleine Emme bei Malters

Der untersuchte, 5030 m lange Abschnitt erstreckt sich von Malters bis nach Littau. Das mittlere Gefälle beträgt 1,27 %. Die hydrologischen Bedingungen des Einzugsgebiets wurden nicht wesentlich vom Menschen verändert, deshalb könnte eine historische Karte mit einem nicht korrigierten Zustand als Referenzzustand dienen. Leider war die Kleine Emme bei der Erstellung der Dufourkarte aber bereits kanalisiert.

10.3.1 Gerinneform

Die Hesskarte aus dem Jahr 1785 zeigt an den Stellen mit breiterem Talboden ein nur leicht verzweigtes Gerinne mit grossen Sedimentbänken (Abbildung 32).

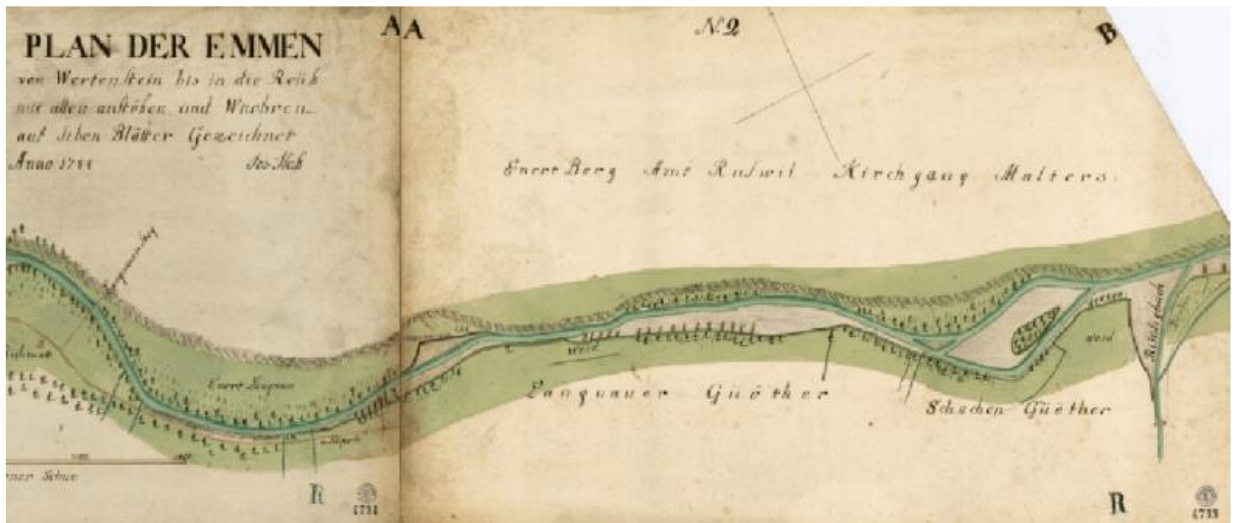


Abbildung 32. Historische Karte der Kleinen Emme unterhalb von Werthenstein, Hess 1785.

In diesem untersuchten Bereich führt die Kleine Emme im natürlichen Zustand eine bis drei Abflussrinnen. Bei der vorliegenden Methode wird ein Mittelwert von zwei Rinnen verwendet.

Die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_n) beträgt 44 m, die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) 55 m, die Tiefe (h_{2-5}) 1.8 m und die Böschungsneigung 0.66 m.

10.3.2 Funktionsdiagramm in Abhängigkeit des Mobilitätsraums

Abbildung 33 zeigt das Funktionsdiagramm der Kleinen Emme unterhalb von Malters (ausserhalb des Auengebiets). Die Erfüllung von 80 % der Gewässerfunktionen bedingt einen Mobilitätsraum von 104 m.

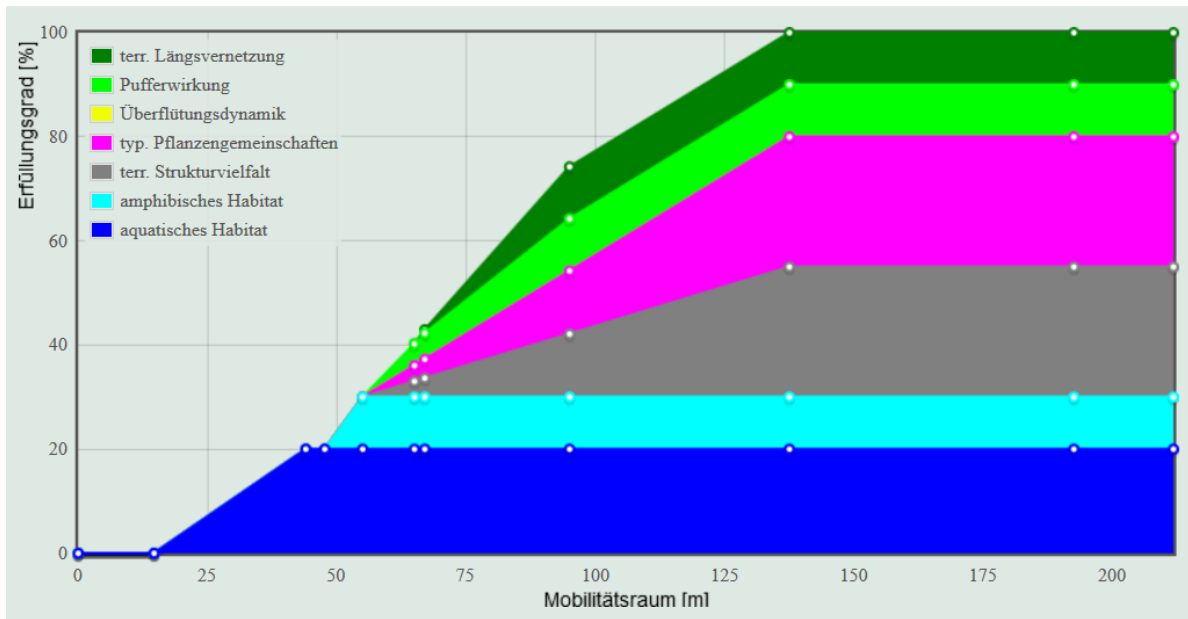
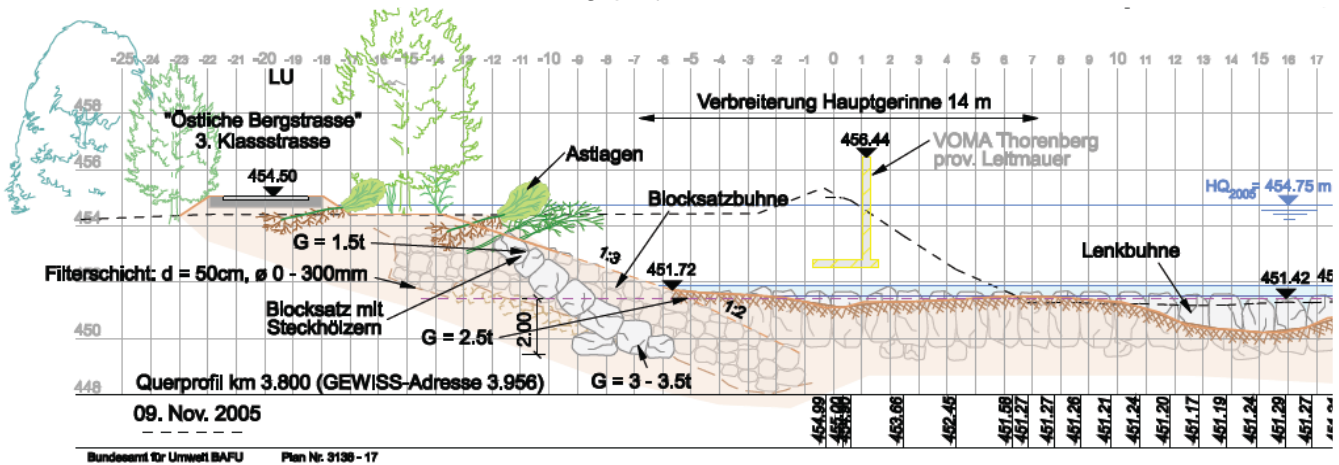


Abbildung 33. Funktionsdiagramm der Kleinen Emme unterhalb von Malters.

10.3.3 Bewertung

Die Methode kann verwendet werden, um ein Projekt anhand eines Plans oder eines Querprofils zu bewerten (Abbildung 34). Untersucht wird ein Hochwasserschutzprojekt aus dem Jahr 2005, also kein Revitalisierungsprojekt.



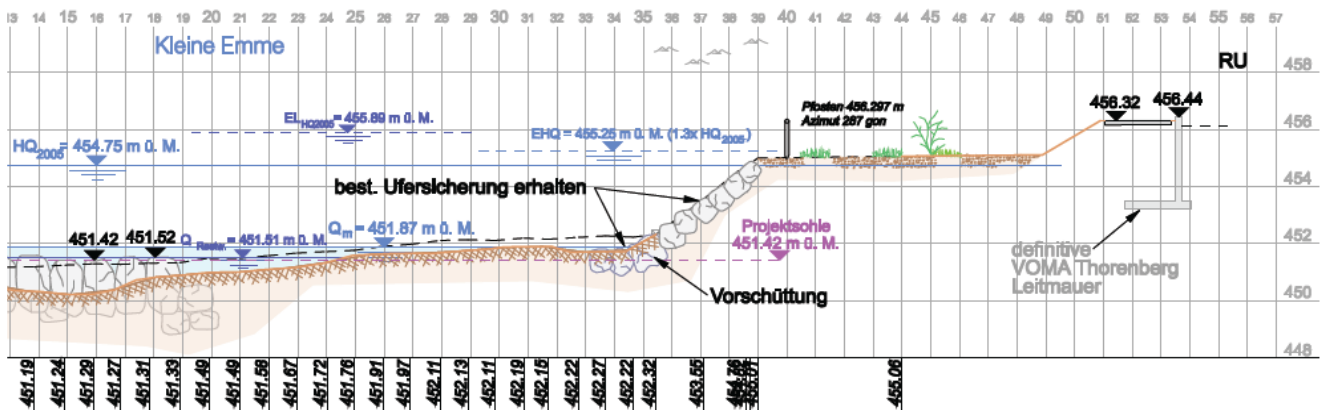


Abbildung 34. Wasserbauplan der Kleinen Emme, gemäss einem Projekt von 2005 (oben: linkes Ufer; unten: rechts Ufer).

Anhand dieses Schemas lässt sich leicht das typische Querprofil ableiten. Der Mobilitätsraum wird zwischen den Uferbefestigungen auf der Höhe der Gerinnesohle gemessen. Anschliessend wird die Vegetation aus dem Plan abgeleitet: Am rechten Ufer ein extensiver Streifen und am linken Ufer ein Gehölzstreifen. Am linken Ufer endet der Gewässerraum am Weg, der im Querprofil ersichtlich ist. Das typische Querprofil zeigt Abbildung 35.

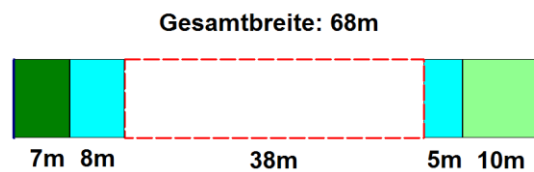


Abbildung 35. Typisches Querprofil, das dem Profil von Abbildung 34 des Wasserbauplans entspricht.

Die Ergebnisse der Bewertung des Profils bei Verwendung der Erfüllungskurven zeigt Tabelle 13.

Funktionen	Bewertung Profil 1	Gewichtung
Aquatisches Habitat	80	0,2
Amphibisches Habitat	100	0,1
Terr. Längsvern. rechtes Ufer	0	0,05
Terr. Längsvern. linkes Ufer	13,3	0,05
Pufferzone rechtes Ufer	63,3	0,05
Pufferzone linkes Ufer	53,3	0,05
Terrestrische Strukturen	0	0,25
Typische Pflanzengemeinschaften	0	0,25
Gesamterfüllungsgrad	32,5	

Tabelle 13. Bewertung des typischen Querprofils, das dem Projekt von Abbildung 34 entspricht.

Das Hochwasserschutzprojekt wirkt sich auf den ökologischen Zustand aus. Der Gesamterfüllungsgrad von 32,5 % kann hier als mittelmässig bis schlecht eingestuft werden. Grund dafür ist hauptsächlich der Mobilitätsraum, der fast der natürlichen Gerinnesohlenbreite entspricht, sowie die leicht geneigten Böschungen. Dies trägt zu einer guten Bewertung bei, auch wenn die Böschungen befestigt sind. Die Funktionen des terrestrischen Habitats werden hingegen kaum wiederhergestellt. Dieser Fall zeigt, dass ein Hochwasserschutzprojekt den Zustand im Hauptgerinne signifikant verbessert, wenn für einen besseren Wasserabfluss verbreitert werden muss, die Wirkung auf das terrestrische Habitat (vor allem für die typische Vegetation) jedoch sehr beschränkt bleibt.

Dieses Ergebnis wird mit einem minimalen Abflussprofil nach einem Jahrhunderthochwasser verglichen. Das Profil bei km 14,000 (Abbildung 36) liegt zwischen Werthenstein und Malters, in der Nähe des untersuchten Abschnitts. Die rote Linie zeigt den Zustand nach dem Hochwasser 2005 vor den geplanten Arbeiten.

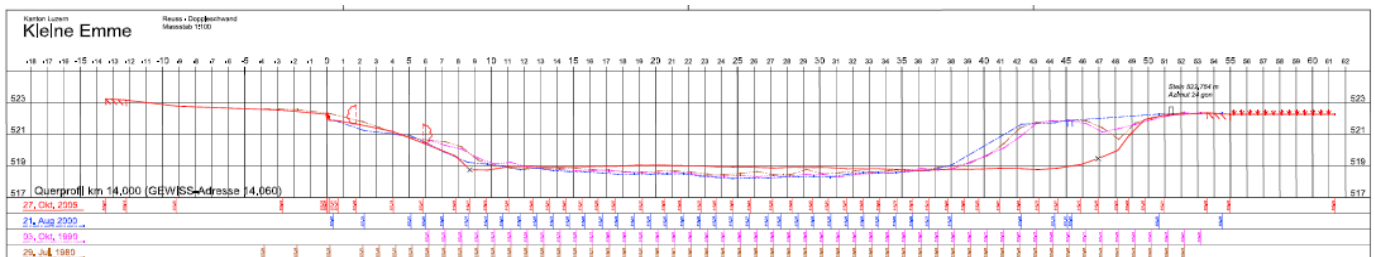


Abbildung 36. Gewässerprofil nach Hochwasser 2005 der Kleinen Emme bei Malters.

Das entsprechende typische Querschnittsprofil zeigt Abbildung 37.

Gesamtbreite: 66m

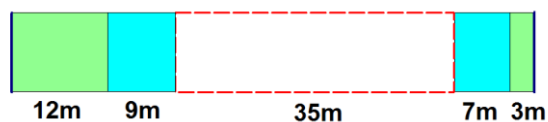


Abbildung 37. Typisches Querschnittsprofil nach Hochwasser 2005 der Kleinen Emme bei Malters.

Dieses Profil ähnelt dem vorhergehenden und wird wie folgt bewertet (Tabelle 14):

Funktionen	Bewertung min. Gewässerprofil	Gewichtung
Aquatisches Habitat	69	0,2
Amphibisches Habitat	100	0,1
Terr. Längsvern. rechtes Ufer	0	0,05
Terr. Längsvern. linkes Ufer	0	0,05
Pufferzone rechtes Ufer	25	0,05
Pufferzone linkes Ufer	70	0,05
Terrestrische Strukturen	0	0,25
Typische Pflanzengemeinschaften	0	0,25
Gesamterfüllungsgrad	28,6	

Tabelle 14. Bewertung des minimalen Gewässerprofils der Kleinen Emme bei Malters.

Die Ergebnisse der beiden Profile unterscheiden sich kaum. Das erste Ergebnis ist leicht besser, weil ein Gehölzstreifen die terrestrische Längsvernetzung begünstigt. Die Bewertungen sind allgemein tief, aufgrund der relativ schwachen Gewichtung der aquatischen und amphibischen Lebensräume und dem kleinen Anteil des terrestrischen Habitats.

10.4 Die Maggia bei Someo

Der untersuchte, 2250 m lange Abschnitt verläuft von Someo nach Giu-maglio. Das mittlere Gefälle beträgt 0,89 %. Der Abfluss der Maggia wird an dieser Stelle durch Wasserentnahmen zur Wasserkraftnutzung beeinflusst. Daher werden die Abflussmengen bei Hochwasser weniger beeinflusst als die durchschnittlichen Abflussmengen. Der Abfluss HQ₅ der Maggia in Bignasco beträgt 425 m³/s. Da die Messstation 8 km weiter flussaufwärts liegt und dazwischen mehrere Nebenflüsse in die Maggia münden, kann mit einem Abfluss HQ₅ von 510 m³/s gerechnet werden. Dieses Fallbeispiel eines naturnahen Abschnitts erlaubt es, die Methode zu testen und zu sehen, ob sie kohärente Ergebnisse liefert.

Da sich dieser Abschnitt in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung (Objekt 171 TI) befindet, wird die Entwicklung von Hartholzauen (Abbildung 11 und Abbildung 14) angestrebt, um den Raumbedarf des Fließgewässers zu bewerten.

10.4.1 Gerinnetform

Die Gerinneform ist ein verzweigtes Gerinne mit grossem Geschiebeeintrag, auch wenn dieser im Vergleich zum natürlichen Zustand wegen der Stauseen flussaufwärts zurückgegangen ist.

Die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_{fi}) beträgt 70 m und die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) 101 m.

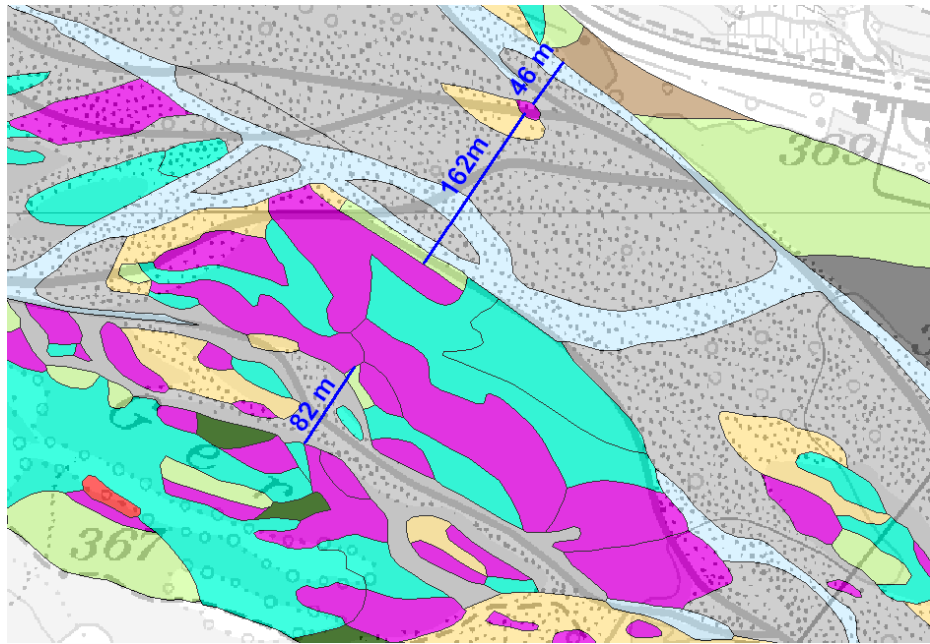
10.4.2 Überprüfung der Stichhaltigkeit der Methode

Da sich der Abschnitt bereits im natürlichen Zustand befindet und genügend Raum zur Verfügung steht, kann verglichen werden, ob der theoretische Wert gemäss der Methode der Wirklichkeit entspricht. Als Erstes wird geprüft, ob die natürliche Gerinnesohlenbreite und die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss übereinstimmen, anschliessend konzentriert man sich auf den Raum, der die natürlichen Funktionen zu 100 % erfüllt. Wendet man die Methode an, entspricht die Breite zur Erfüllung der natürlichen Funktionen zu 100 % der 3,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (im Auengebiet).

Die Vegetationskarte der Auengebiete von nationaler Bedeutung zeigt das Mosaik der Auenvegetation sowie die Ausdehnung der Zone (Abbildung 38). Der optimale Zustand ist erreicht, wenn alle auentypischen Pflanzenformationen vorhanden sind: nackte Sedimentbänke, Krautformationen, Weichholz- und Hartholzformationen. Der untersuchte Abschnitt weist variable Breiten auf, die den Einfluss des verfügbaren Raums auf die Vegetationsvielfalt veranschaulichen.

Natürliche Gerinnesohlenbreite und Vollbroadbreite

Hier besteht das Ziel darin, die aus der Methode resultierenden theoretischen Werte mit den effektiven Werten zu vergleichen. Der reelle Wert ist nicht so leicht ermittelbar. Bei verzweigten Gerinnen ist die Abgrenzung zwischen dem Hauptgerinne gegenüber den Nebengerinnen nicht so deutlich wie bei den anderen Formen, etwa bei mäandrierenden Gerinnen. Die Kengrösse der Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss ist daher für diese Gerinneform ziemlich vage und schwer zu messen. Deshalb schlagen einige Autoren vor, das Hauptgerinne als den Teil der Sohle zu definieren, der nicht von Gehölzvegetation besiedelt ist. Es handelt sich also gemäss der Kartierung der Auengebiete um Wasser, nackte Sedimente und Krautformationen (Einheiten 1, 2 und 3 in Abbildung 38). Die von den drei Einheiten belegte Breite wird gemessen, um die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss zu schätzen.



	1. Wasser		8. Grauerlen-Auenwälder und Mäntel
	2. Nackte Sedimente		10. Eschen-Auenwälder und Mäntel auf grobem Substrat
	3. Pionier-Krautfluren in Höhenlagen		12. Auenwälder in Übergangsstadien an Flüssen
	6. Weidengebüsche und Mäntel in Höhenlagen		16.1 Wälder und Mäntel im Auenbereich (Zuordnung unbestimmt)

Abbildung 38. Auszug der Vegetationskarte des Auengebiets Nr. 171 und Schätzung der natürlichen Gerinnesohlenbreite, mit Auszug der Legende der Vegetationskarte der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Weichhölzer entsprechen den Einheiten 6 und 8, Harthölzer den Einheiten 10 und 12. Da 16.1 nicht zugeordnet ist, kann es zu den Weichholz- oder zu den Hartholzformationen gehören.

Rechnet man die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss des Hauptgerinnes über die Flächen von Wasser, nackten Sedimenten und Krautformationen zusammen, kommt man auf eine Breite von 290 m (82 m + 162 m + 46 m). Diese Messung wird an der breitesten Stelle durchgeführt, wo alle Auenformationen vorhanden sind.

Erfolgt die Messung an einer anderen Stelle im Auengebiet (Abbildung 39), ergibt sich ein Wert von 180 m (125 m + 45 m + 10 m). An einer engen, 127 m breiten Stelle entwickelt sich gar keine Auenvegetation. Daraus lässt sich schliessen, dass die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss grösser ist als 127 m und zwischen 180 m und 290 m liegen muss. Als Durchschnittswert für den untersuchten Abschnitt werden 210 m angenommen. Der Wert liegt daher erheblich über dem theoretischen Wert, der 101 m betrug.

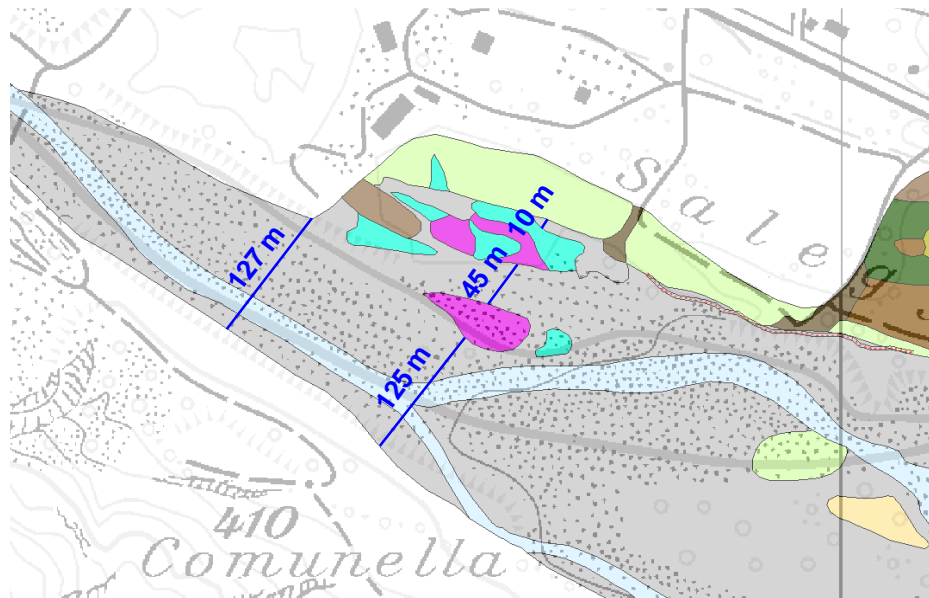


Abbildung 39. Auszug der Vegetationskarte des Auengebiets Nr. 171 und Schätzung der natürlichen Gerinnesohlenbreite (vgl. Abbildung 38 für die Legende der Vegetationseinheiten).

Diese Differenz lässt sich unterschiedlich erklären:

Das Verhältnis Wasserspiegelbreite/Abflusstiefe wird unterschätzt. Effektiv liefert das Verfahren keine sehr genauen Ergebnisse, insbesondere wenn dieses Verhältnis über $r = 60$ liegt.

Der bettbildende Abfluss wird unterschätzt – entweder, weil die Messstation zu weit entfernt und die Schätzung des Abflusses im Abschnitt nicht präzise genug ist, oder weil das Hochwasserereignis HQ_5 nicht dem bettbildenden Abfluss entspricht. O. Overney (BAFU, mündlich) schätzt, dass das bettbildende Hochwasser näher bei HQ_{50} liegt.

Die Vegetation ist variabel. Wird die Vegetation nach einem grossen Hochwasser erhoben, können im Vergleich zu einer Durchschnittssituation übermässig viele Sedimentbänke vorhanden sein. Dies ist hier der Fall, da die Erhebung aus dem Jahr 1988 stammt, d. h. ein Jahr nach den grossen Hochwasserereignissen von 1987.

Mobilitätsraum für eine Erfüllung der Funktionen zu 100 %

Wie im vorherigen Abschnitt dargelegt, wird die Wasserspiegelbreite bei der Berechnung des bettbildenden Abflusses unterschätzt. Daher ist es besser, für die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss einen Wert von 210 m anzunehmen. So bräuchte es gemäss der Methode einen Mobilitätsraum von 525 m, um 100 % der natürlichen Funktionen ausserhalb eines Auengebiets zu erfüllen (keine Hartholzformationen), und 735 m im Auengebiet (Hartholzformationen erforderlich; s. Abbildung 41).

Untersucht man den Bezug zwischen Mobilitätsraum und Auenformationen anhand eines repräsentativen Profils (s. Abbildung 40), gelangt man zum folgenden Schluss:

- 0 – 250 m: Wasser + nackte Sedimente + Krautformationen
- 250 – 520 m: + Weichhölzer
- > 520 m: + Harthölzer

Das Profil mit einer Breite von 525 m (Abbildung 40) entspricht dem optimalen theoretischen Zustand ausserhalb des Auengebiets. Man findet dort alle Auenformationen bis zu den Weichhölzern sowie Hartholzformationen im Anfangsstadium (in Dunkelgrün).

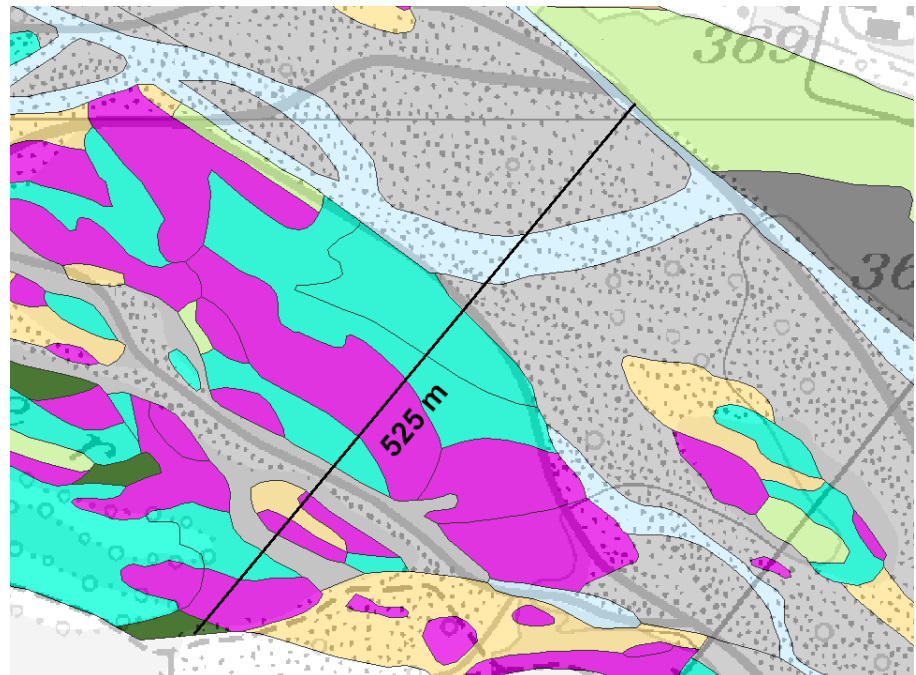


Abbildung 40. Auszug aus der Vegetationskarte des Auengebiets Nr. 171. Profil, das zu 100 % den natürlichen Funktionen entspricht (vgl. Abbildung 38 Für die Legende der Vegetationseinheiten.

Aus der Vegetationskarte geht hervor, dass Harthölzer erst ab einem Mobilitätsraum von 520 m auftreten. Insgesamt bestätigt dies die Erfüllungskurve der typischen Pflanzengemeinschaften, die auf der Hypothese beruht, dass Weichhölzer sich bei einer Breite mit der 2,5-fachen natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss maximal entwickeln können. Es wird angenommen, dass die Hartholzformationen sich genügend entwickeln können, wenn der Mobilitätsraum der 3,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss entspricht. Dieses letzte Kriterium ist in den Auengebieten anzuwenden, wie im Abschnitt der Maggia bei Someo. Da diese Funktion bei verzweigten Gerinnen ausgesprochen mehr Raum fordert, bedingt ein Erfüllungsgrad von 100 %, dass alle anderen Funktionen gleichfalls zu 100 % erfüllt sind (Abbildung 41).

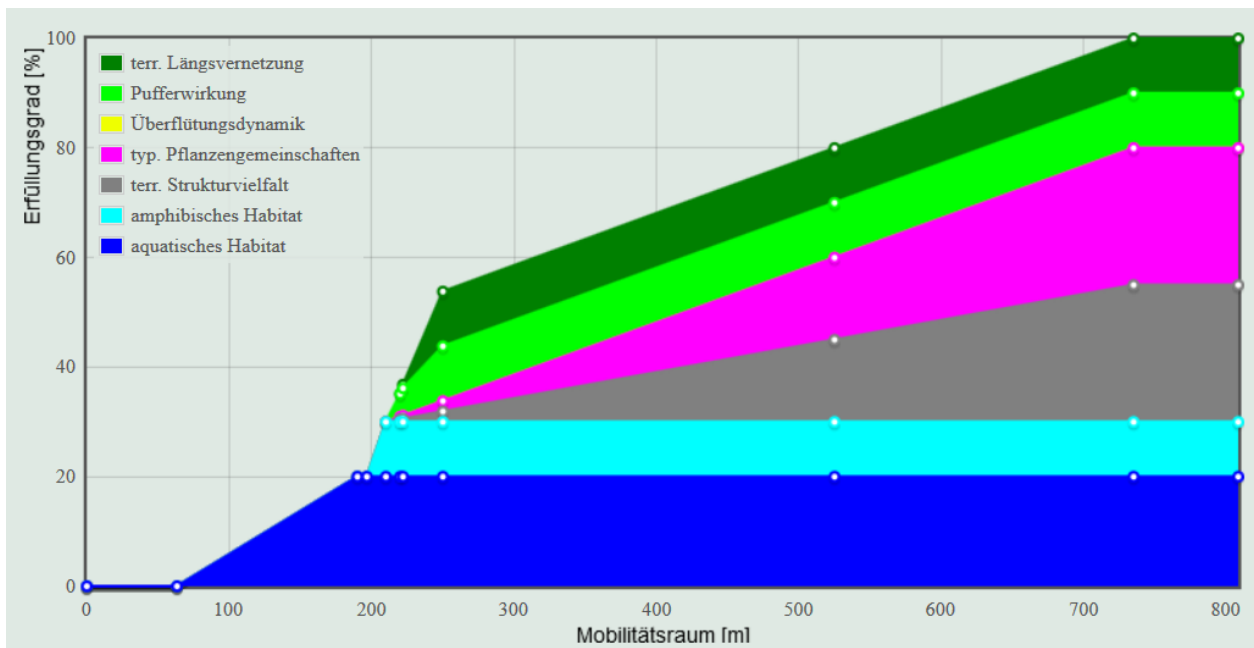


Abbildung 41. Funktionsdiagramm der Maggia bei Someo, unter Annahme einer natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss von 210 m (im Auengebiet).

10.4.3 Bemerkungen zu den Ergebnissen

Dieses Fallbeispiel erlaubt es, die Methode an einem natürlichen Fliessgewässer zu testen. Es zeigt, dass die Schätzung der natürlichen Gerinnesohlenbreite und der natürlichen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss mit der angepassten Formel von Manning-Strickler ein zu schwaches Resultat ergibt. Diese Ungenauigkeit wird auf eine allfällige schlechte Schätzung des Verhältnisses Wasserspiegelbreite/Abflusstiefe und besonders auf die Variabilität des Systems und auf die schwer zu bestimmende Kenngrössen der Gerinnesohle sowie des bettbildenden Abflusses eines so mäandrierenden verzweigten Gerinnes wie der Maggia zurückgeführt.

Für die Bewertung der natürlichen Funktionen stimmt die Realität (beschrieben durch die Vegetationskarte des Auengebiets) mit der Theorie gut überein (geschätzter Bedarf ausserhalb des Auengebiets von 525 m für einen Erfüllungsgrad von 100 % der natürlichen Funktionen). Denn man geht davon aus, dass Hartholzformationen nachweislich ab einem Mobilitätsraum von 520 m aufkommen. In der Theorie entfalten sich die Weichhölzer bei einem Raum von 525 m vollständig. Für die Bildung von Hartholzauen, die im Auengebiet erforderlich ist, wird für die vollständige Erfüllung dieses Kriteriums eine Breite von 735 m benötigt (3,5-fache Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss). Diese beiden Bedingungen sind kompatibel, weil es gemäss den Regeln der Vegetationszonation normal ist, dass Harthölzer dort auftreten, wo die Weichhölzer aufhören.

10.5 Die Aare zwischen Thun und Bern

Der Bericht «Aarewasser. Raumbedarf der Aare zwischen Thun und Bern» (Bonnard und Witschi 2012) diene als Grundlage für dieses Fallbeispiel. Für die Planung der Revitalisierung dieses Abschnitts haben die Autoren ein genaues Vorgehen definiert und Werte erhalten, die wir mit der vorliegenden Methode vergleichen werden.

Hauptziel der Sanierung der Aare zwischen Thun und Bern ist die Stabilisierung der Flusssohle der Aare (Verhindern von weiterer Eintiefung). Zusätzlich wurden folgende Ziele definiert:

- Nachhaltiger Hochwasserschutz
- Entwicklung des Fliessgewässers
- Im Gleichgewicht stehender Geschiebehalt
- Langfristiger Erhalt von Grundwasservorkommen
- Bewahrung und Weiterentwicklung des ökologischen Potenzials
- Erhaltung und Entwicklung attraktiver Naherholungsgebiete

Wie bei vielen anderen Schweizer Fliessgewässern kann das Gewässer nicht in einen früheren Zustand zurückgeführt werden, weil es im betreffenden Abschnitt stark verändert wurde. Die Autoren weisen auch auf den Sonderfall dieses Gewässerabschnitts hin: er liegt unterhalb des Thunersees und weist einen äusserst reduzierten Geschiebehalt auf, besonders seit der Umleitung der Kander in den Thunersee (Kanderdurchstich).

10.5.1 Drei Zustände

Im Bericht werden drei Zustände definiert:

- Der «aktuelle Gewässerraum», der dem vorhanden korrigierten Fliessgewässer entspricht (Wasserbreite)
- Der «minimale Gewässerraum», der der natürlichen Breite der Gerinnesohle und des Uferbereichs entspricht und der in der Lage ist, die drei in Art. 37 GSchG aufgeführten Funktionen zu erfüllen: Lebensraum für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt, Wechselwirkung zwischen ober- und unterirdischem Gewässer, standortgerechte Ufervegetation
- Der «erhöhte Gewässerraum», der einem natürlichen oder einem extensiv bewirtschafteten Raum entspricht, dessen Lebensräume vom Fliessgewässer abhängen.

Der Bericht soll den Raumbedarf der Aare zwischen Thun und Bern ermitteln. Dazu werden alle verfügbaren Grundlagen berücksichtigt.

Die Regimebreite beträgt gemäss einem Bericht von Hunziker, Zarn und Partner aus dem Jahr 2011 (in Bonnard und Witschi 2012) je nach

Abschnitt zwischen 40 und 80 m. Zwei andere Ansätze (ökomorphologische Kartierung, historische Karten) bewerten die Sohlenbreite mit 40 bis 120 m bzw. 40 bis 80 m.

Die vorgeschlagene Breite der Uferstreifen basiert ebenfalls auf mehreren Ansätzen: die historischen Karten ergeben eine Breite von 30 bis 70 m pro Ufer. Ein systematischer kartografischer Ansatz von fünf Referenz-Auengebieten (110 gemessene Querprofile) empfiehlt 40 bis 45 m breite Uferstreifen, die sich auf bis zu 90 m pro Ufer ausdehnen können. Die grössten Breiten erlauben die Entwicklung von krautigen auentypischen Beständen, Weichholz- und Hartholzformationen sowie von Flachmooren als Bestandteilen des untersuchten Auensystems.

10.5.2

Gewählter Abschnitt

Der gewählte Abschnitt für die Anwendung der Methode ist etwa 3 km lang und liegt auf der Höhe des Dorfs Belp zwischen km 17,95 und km 20,90. Gemäss Bericht umfasst dieser Abschnitt drei Wasserbaumassnahmen (von oben nach unten):

- M16: Verbreiterung Hunzigenau
- M17: Ausleitung Chlihöchstettenau
- M18: Verbreiterung beim Flühli

Dieser Abschnitt befindet sich in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung (Objekt 69 BE). Für die Bewertung des Gewässerraums müssen daher die Erfüllungskurven für Auengebiete (Entwicklung von Hartholzauen, Abbildung 11 und Abbildung 14) angewandt werden.

10.5.3

Gerinneform

Die Gerinneform dieses Abschnitts ist auf den Siegfriedkarten von 1870 bis 1876 nicht zu ermitteln, da die Aare schon damals korrigiert war (Abbildung 42). Der Kartenauszug auf der Höhe von Kleinhöchstetten und die Vegetationskarte von Objekt 69 BE (Belper Giessen) weisen darauf hin, dass sich vor der Aarekorrektur ein migrierender Mäander entwickelt hatte. Vischer (2003) erstellt eine Karte dieses Abschnitts mit einem Fliessgewässer mit Mehrbettgerinnebildung (Mischform zwischen verzweigten und mäandrierenden Gerinnen) vor der Korrektur von 1830. Doch eine langsame Entwicklung in Richtung einer mäandrierenden Gerinneform erscheint infolge der Umleitung der Kander in den Thunersee wahrscheinlicher.

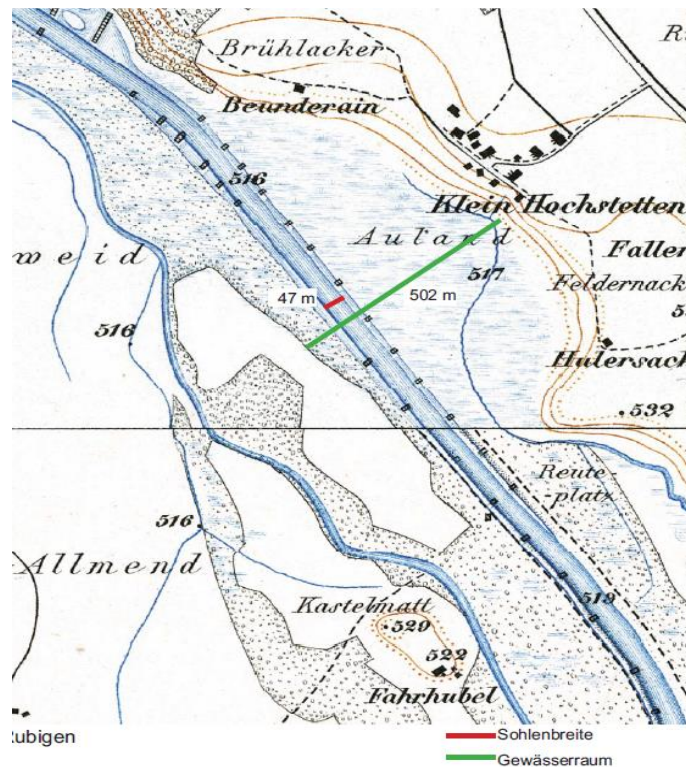


Abbildung 42. Siegfriedkarte der Aare bei Belp 1870 – 1876.

Dieser Abschnitt befindet sich in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung (Objekt 69 BE). Bei der Festlegung des Gewässerraums ist daher die Entwicklung von Hartholzauen anzustreben. Das Funktionsdiagramm in Abbildung 43 berücksichtigt die Raumanforderungen in Auengebieten.

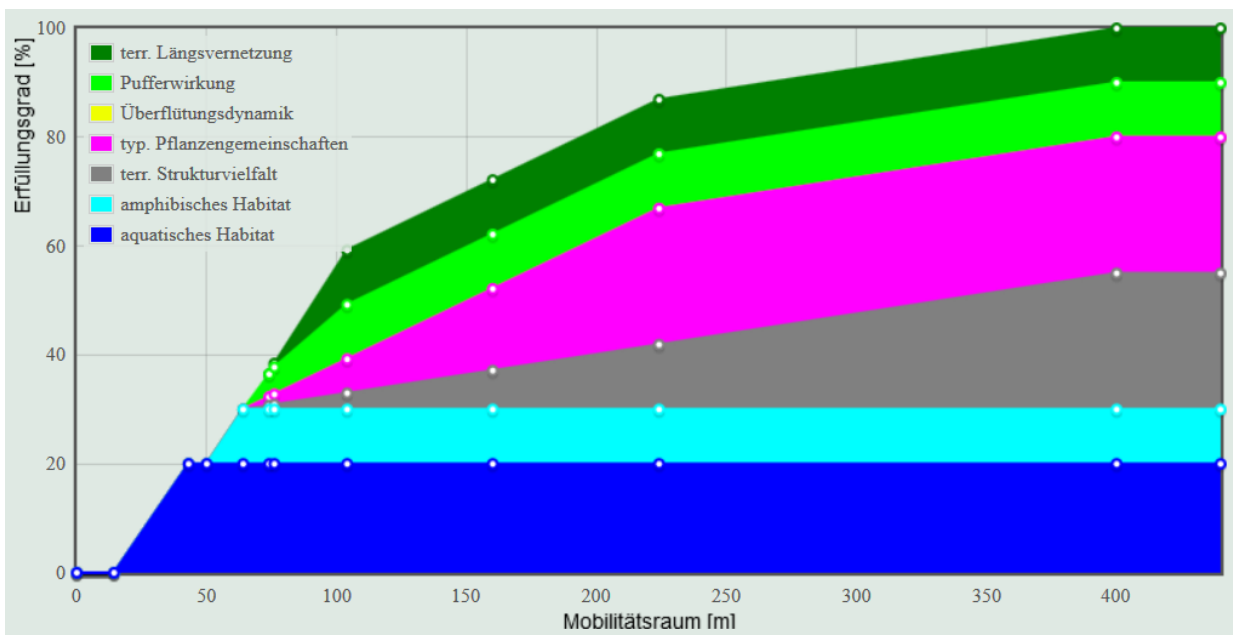


Abbildung 43. Funktionsdiagramm der Aare zwischen Thun und Bern (im Auengebiet).

Die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_{fi}) beträgt 45 m und die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) 64 m und die natürliche Mäanderamplitude (A_{nat}) 400 m.

Nachfolgend wird der Gewässerraum von zwei geplanten Zuständen bewertet:

- Der minimale Gewässerraum
- Der vergrösserte Gewässerraum

10.5.4

Bewertung

Im untersuchten Abschnitt stellt der minimale Gewässerraum auf der Höhe von Kleinhöchstetten einen Streifen von 150 m dar, der vom heutigen Gewässerverlauf, der im Perimeter des heutigen Auengebiets (Objekt 69 Belper Giessen) enthalten ist, überlagert wird (Abbildung 44). Wir gehen davon aus, dass das auf 64 m (L_{pb}) aufgeweitete Fliessgewässer sich in der Mitte des Mobilitätsraums befindet. Ein Flachmoor (überflutbarer Raum), das von Weidengebüschen besiedelt wird, belegt den terrestrischen Raum auf der rechten Seite (Chlihöchstettenau), der nicht mit einem Damm vom Fliessgewässer abgetrennt wird. Er gehört folglich zum Mobilitätsraum. Am linken Ufer hat der terrestrische Raum die Form einer Hartholzaue. Ein 10 m breiter Damm (dessen Sanierung auf dem Plan vorgesehen ist) trennt das Fliessgewässer vom Auenwald. Dieser terrestrische Raum befindet sich ausserhalb des Mobilitätsraums und gilt daher als Gehölzstreifen.

Der vergrösserte Gewässerraum ist 400 m breit (Mittelwert für den betrachteten Abschnitt). Allgemein ist dieser Gewässerraum gleich gegliedert wie das minimale Profil. Nur die Breite der beiden Streifen mit Moor und Auenwald ist viel grösser (Moor: 167 m, Gehölzstreifen: 157 m).

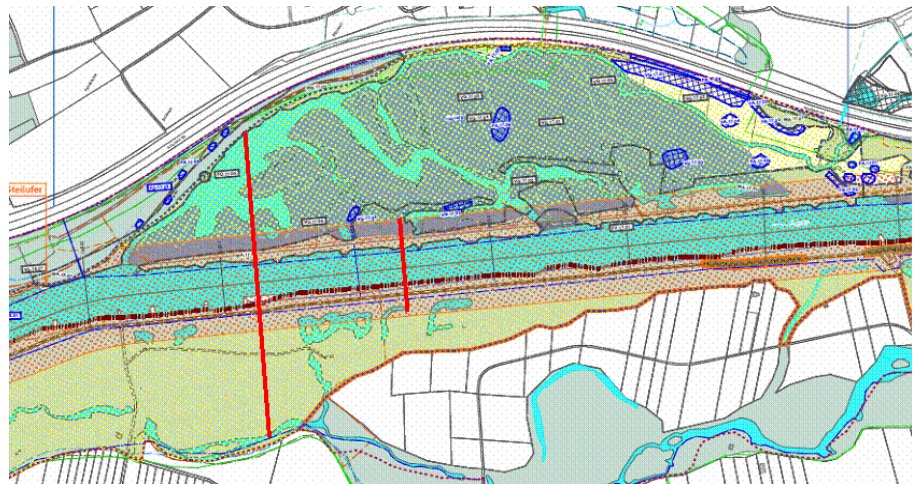
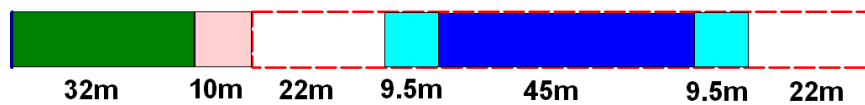


Abbildung 44. Standort der zwei in der Bewertung verglichenen Profile (erhöhter Raum links, minimaler Raum rechts). Am linken Ufer (unteres Ufer) bleibt der Damm erhalten.

Der Mobilitätsraum setzt sich aus dem Fliessgewässer und dem terrestrischen Raum am rechten Ufer zusammen. Er weist eine Breite von 108 m bzw. 233 m für die Varianten «minimaler Raum» und «vergrösserter Raum» auf (Abbildung 45). Für die Bewertung wird das Fliessgewässer in der Mitte des Mobilitätsraums angenommen.

Minimaler Gewässerraum (Gesamtbreite: 150 m)



Vergrosserter Gewässerraum (Gesamtbreite: 400 m)

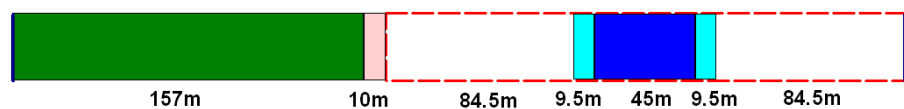


Abbildung 45. Minimaler und vergrösserter Raum der Aare zwischen Thun und Bern (im Auengebiet).

Die beiden typischen Querprofile sind asymmetrisch, weil der Mobilitätsraum am linken Ufer vom Damm unterbrochen wird, während er sich am rechten Ufer bis zum Ende der Talbreite erstreckt.

10.5.5 Bewertung der zwei Szenarien

Die Methode ergibt die folgende Bewertung der beiden Varianten mit minimaler (150 m) und vergrößerter (400 m) Gesamtbreite des Gewässerraums.

Funktion	Bewertung für den minimalen Raum	Gewichtung
Aquatisches Habitat	100	0,20
Amphibisches Habitat	100	0,10
Terr. Längsvern. rechtes Ufer	100	0,05
Terr. Längsvern. linkes Ufer	100	0,05
Pufferzone rechtes Ufer	100	0,05
Pufferzone linkes Ufer	100	0,05
Terrestrische Strukturen	13,2	0,25
Typische Pflanzengemeinschaften	27,6	0,25
Gesamterfüllungsgrad	60,2	

Tabelle 15. Bewertung der Funktionen des minimalen Gewässerraums der Aare zwischen Thun und Bern (im Auengebiet). Variante mit Gesamtbreite = 150 m.

Der minimale Raum der Aare entspricht einem Erfüllungsgrad von 60,2 % (Tabelle 15). Die Funktionen der aquatischen und amphibischen Lebensräume werden zu 100 % erfüllt, sofern das Fließgewässer die natürliche Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (64 m) belegt und die Böschungen mobil sind, zumindest am rechten Ufer. Die ungenügend erfüllten Funktionen sind diejenigen der auentypischen Lebensgemeinschaften (Weichholzauen: $108 - 64 = 44$ m Breite) und der terrestrischen Strukturen (ungenügende Mäanderamplitude). Diese beiden Funktionen tragen gemeinsam zu 50 % zum Erfüllungsgrad bei.

Funktion	Bewertung für den vergrößerten Raum	Gewichtung
Aquatisches Habitat	100	0,20
Amphibisches Habitat	100	0,10
Terr. Längsvern. rechtes Ufer	100	0,05
Terr. Längsvern. linkes Ufer	100	0,05
Pufferzone rechtes Ufer	100	0,05
Pufferzone linkes Ufer	100	0,05
Terrestrische Strukturen	50,3	0,25
Typische Pflanzengemeinschaften	100	0,25
Gesamterfüllungsgrad	87,6	

Tabelle 16. Bewertung der Funktionen des vergrösserten Gewässerraums der Aare zwischen Thun und Bern (im Auengebiet). Variante mit Gesamtbreite = 400 m.

Der vergrösserte Raum der Aare entspricht einen Erfüllungsgrad von 87,6 % (Tabelle 16). Die Funktionen der aquatischen und amphibischen Lebensräume werden aus den obengenannten Gründen zu 100 % erfüllt. Die autotypischen Pflanzengemeinschaften entwickeln sich optimal, da der Mobilitätsraum (233 m) mehr als der 3,5-fachen Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss ($3,5 \times 64 \text{ m} = 224 \text{ m}$) entspricht, was eine Auflage in Auengebieten ist (Entwicklung von Hartholzauen). Insgesamt ist die Bewertung 87,6 als sehr gut zu werten, sie charakterisiert gut die Situation, wie sie in einem Auengebiet angetroffen werden könnte.

Der Bewertungsunterschied zwischen dem minimalen und dem vergrösserten Projekt ist ziemlich gross (27,4 %). Allerdings muss man sich bewusst sein, dass das erste Projekt bereits ehrgeizig ist und das zweite noch viel ambitionierter. Dank der für die verschiedenen natürlichen Fließgewässerfunktionen verwendeten Gewichtung widerspiegelt das Ergebnis recht gut den grossen Gewinn an biologischer Vielfalt, der durch die Bereitstellung eines grossen Auensystems erwartet wird.

10.6 Die Saane oberhalb des Lac de la Gruyère

Der untersuchte Abschnitt ist 2,1 km lang und befindet sich zwischen dem «Pont-qui-branle» und der Mündung der Trême. Der heutige korrigierte Verlauf ist auf eine durchschnittliche Breite von 30 m beschränkt. Ausserdem ist das Fließgewässer wegen Stauseen flussaufwärts (Lac de Lessoc und Lac du Verney) stark eingetieft, weil die Sedimente dort abgelagert werden. Die Methode wird verwendet, um den natürlichen Zustand der Saane an dieser Stelle zu bewerten.

10.6.1 Bewertung der natürlichen Gerinneform

Die Dufourkarte (1860) zeigt den nicht korrigierten Zustand (Abbildung 46), eine Mischform zwischen einem mäandrierenden und einem verzweigten Gerinne. Tatsächlich lässt sich ein Hauptgewässer ermitteln, das einige kleinere Nebenarme aufweist. Da die Gerinneform des Hauptgewässers nicht einem mäandrierenden Gerinne gleicht, wird sie als verzweigtes Gerinne festgelegt.



Abbildung 46. Untersuchungsabschnitt der Saane, Dufourkarte 1860 und neue Landeskarte.

Die natürliche Gerinnesohlenbreite (L_{fi}) beträgt 36 m und die Wasserspiegelbreite bei bettbildendem Abfluss (L_{pb}) 47 m.

Der heutige Abfluss ist als natürlicher Abfluss zu betrachten, weil er das Ergebnis von Verhandlungen zwischen den Stromproduzenten und dem Kanton ist und das heutige Gewässermanagement für die Stromerzeugung wie für den Hochwasserschutz günstig ist. Der fehlende Geschiebeabfluss ist hingegen auf die Sedimentanreicherung in den Stauseen zurückzuführen. Diese Situation behagt weder den Produzenten, die Speichervolumen verlieren, noch den Naturschutzbehörden. Ausserdem wird die Sanierung des Geschiebehaushalts von der GSchV gefordert. Da die heutige Situation also nicht sehr günstig und verbesserungswürdig ist, dürfen die aktuellen Geschiebebedingungen nicht als natürliche Bedingungen angesehen werden. Vorzuziehen ist es daher, die natürliche Breite anhand des heutigen bettbildenden Abflusses zu schätzen (Abbildung 47). Diese Breite müsste geringer sein als die historische Breite.

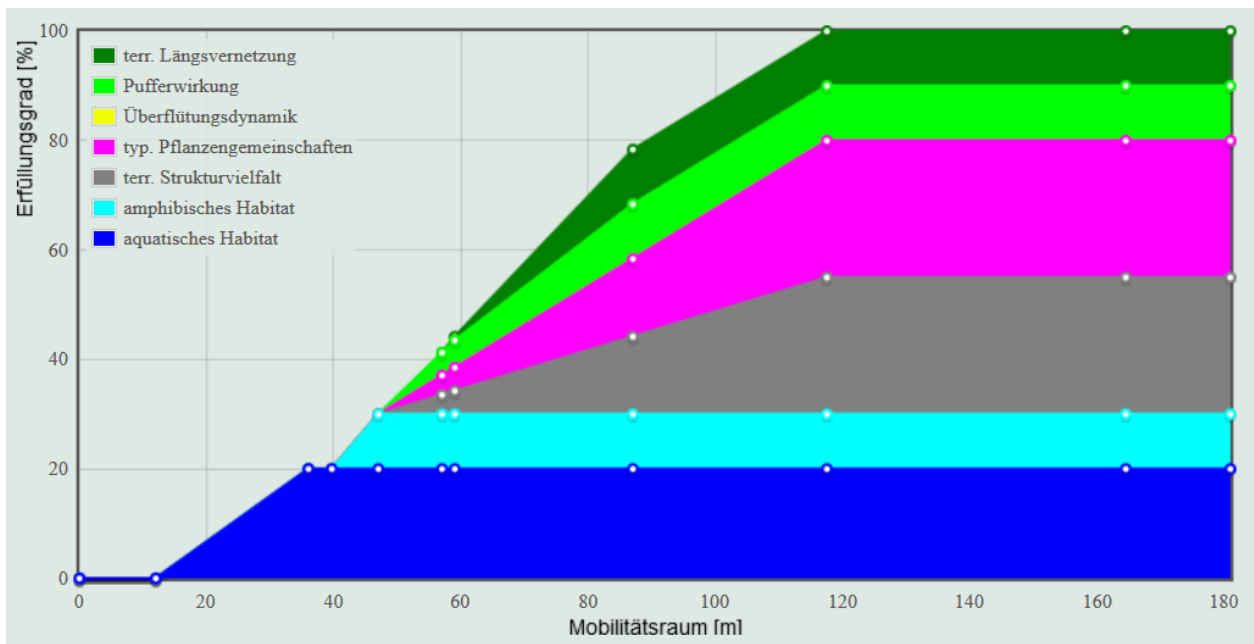


Abbildung 47. Funktionsdiagramm der Saane bei Broc (ausserhalb des Auengebiets).

10.6.2

Typisches Querprofil des heutigen Zustands

Das Fliessgewässer ist fast auf der gesamten Länge befestigt. Nur das erste Drittel des rechten Ufers ist unbefestigt, doch die Topografie begrenzt die Mobilität des Fliessgewässers an dieser Stelle (Abbildung 48).

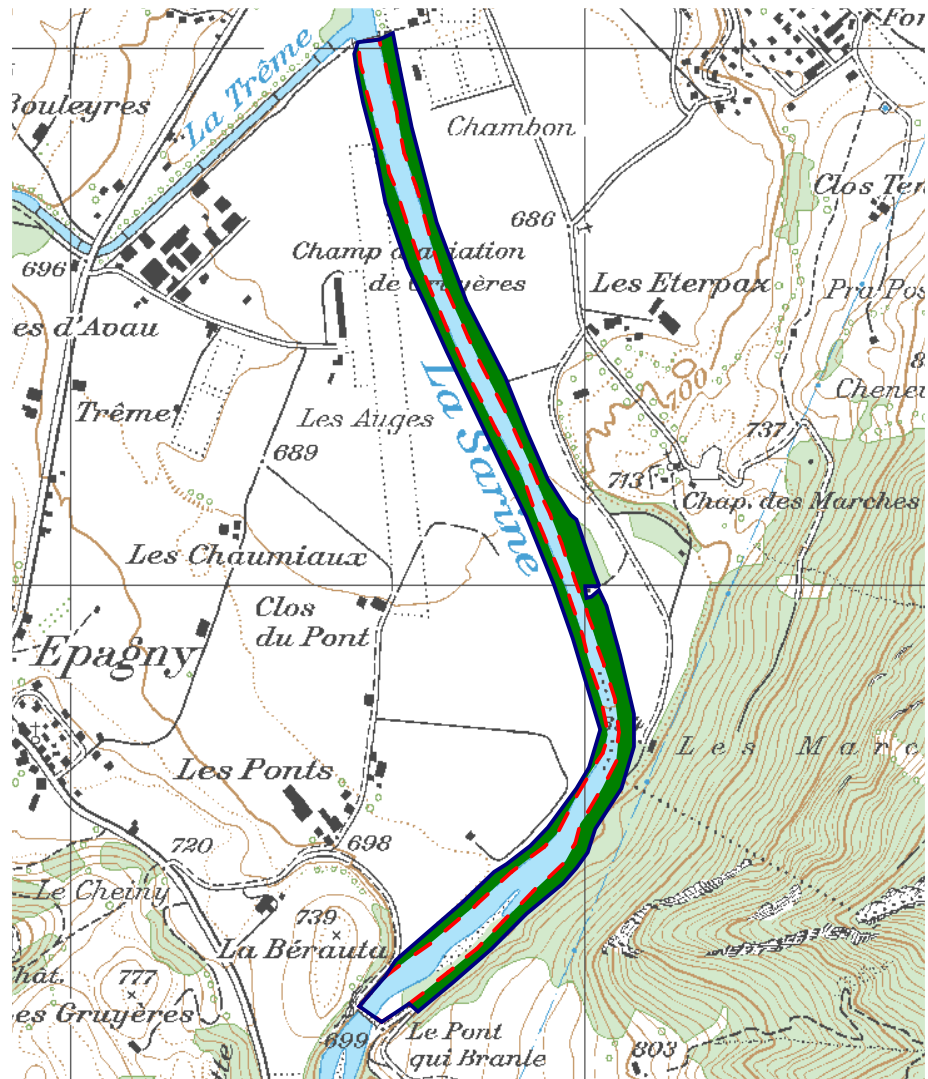


Abbildung 48. Fallbeispiel der Saane, Bodennutzungskarte zur Ermittlung des typischen Querprofils.

Das typische Querprofil weist bei der heutigen Bodennutzung im Schnitt einen 82 m breiten Gewässerraum auf (Abbildung 49). Die Grenze des Gewässerraums entspricht der Grenze des Gehölzstreifens ausser beim Hangwald, wofür eine Breite von 20 m ab dem Mobilitätsraum genommen wurde. Eine Begehung vor Ort hat gezeigt, dass der Uferraum eine Breite von rund 4 m pro Böschung aufwies.



Abbildung 49. Typisches Querprofil des Fallbeispiels der Saane.

10.6.3 Bewertung

Bei der Anwendung der Erfüllungskurven von verzweigten Gerinnen auf das typische Querprofil resultieren die folgenden Ergebnisse (Tabelle 17):

Funktion	Bewertung	Gewichtung
Aquatisches Habitat	75.0	0.2
Amphibisches Habitat	55.3	0.1
Terr. Längsvern. rechtes Ufer	100.0	0.05
Terr. Längsvern. linkes Ufer	80.0	0.05
Pufferzone rechtes Ufer	100.0	0.05
Pufferzone linkes Ufer	86.7	0.05
Terrestrische Strukturen	0.0	0.25
Typische Pflanzengemeinschaften	0.0	0.25
Gesamterfüllungsgrad	38.9	

Tabelle 17. Resultate der Bewertung des untersuchten Abschnitts der Saane im heutigen Zustand (ausserhalb des Auengebiets).

10.6.4 Bemerkung

Dieser Abschnitt erhält eine sehr mittelmässige Bewertung (38,9/100). Positiv zu werten sind die aquatischen Strukturen, da der Mobilitätsraum nur wenig von der natürlichen Gerinnesohlenbreite abweicht, und die Funktionen der Vernetzung und der Pufferzone erfüllt sind, da ein Gehölzstreifen die Saane auf beiden Ufern entlang des ganzen Abschnitts säumt. Negativ ist, dass sich das Gewässer wegen Uferbefestigungen seitlich kaum verschieben kann. Das wirkt sich schlecht auf die typischen Pflanzengemeinschaften sowie auf die terrestrischen Strukturen aus (Abbildung 50).



Abbildung 50. Sohle der Saane im untersuchten Abschnitt. Trotz eines Geschiebedefizits erlaubt der verfügbare Gewässerraum einige interessante Strukturen im Hauptgerinne. Foto vom 29. Juli 2012.

Der erforderliche Gewässerraum eines Fliessgewässers dient dazu, das Gewässer zu schützen und eine künftige Revitalisierung zu ermöglichen. Die vorgeschlagene Methode erlaubt die Messung dieser beiden Ziele:

- Der Raumbedarf für den Gewässerschutz wird durch den berechneten Erfüllungsgrad ausgedrückt.
- Der Raumbedarf für eine künftige Revitalisierung kann mit derselben Methode bewertet werden. Eine Bewertung von 100 (von 100) bedeutet, dass der Raum ausreicht, um alle wichtigen Funktionen optimal zu erfüllen.

Anwendung

Die Anwendung des Verfahrens ist komplexer als die Anwendung der Bestimmungen in Artikel 41a GSchV, die für kleine Fliessgewässer gilt. Jedoch muss für genauere Resultate eine gewisse Komplexität in Kauf genommen werden, indem die Besonderheiten der Gerinneform, der hydrologischen Bedingungen und der Topografie des Einzugsgebiets berücksichtigt werden. In Anbetracht des hohen Stellenwerts der Bodenressource in der Schweiz lohnt es sich, etwas Zeit in eine sorgfältig durchdachte Festlegung des Gewässerraums für Fliessgewässer zu investieren, die auf objektive und wissenschaftlich fundierte Ausführungen basiert.

Gewichtung

Die Gesamtbewertung der natürlichen Funktionen erfolgt über ihre Gewichtung. Es ist nicht einfach, Gewichtungen objektiv zu bestimmen, da man die ökologische Bedeutung in Bezug auf die verschiedenen Funktionen messen können müsste. Wegen dieser Schwierigkeit wurde beschlossen, die Gewichtungen pro Habitat und Funktion festzulegen. Die vorgestellten Gewichtungen weisen **20 % dem aquatischen, 10 % dem amphibischen und 70 % dem terrestrischen Habitat (bzw. 40% - 20% - 40% für eingetieftete Gerinne und Wildbäche)** zu.

Für das **aquatische** Habitat kann davon ausgegangen werden, dass die natürliche Gerinnesohlenbreite (sowie die Breite der leicht geneigten Böschungen) heutzutage fast einen Standard im Wasserbau darstellt, zumindest in nicht bebauten Gebieten.

Das **amphibische** Habitat belegt weniger Raum als die zwei benachbarten Habitate, birgt aber eine starke biologische Aktivität und ermöglicht die Erfüllung vieler natürlichen Funktionen. Seine Gewichtung ist zwar schwächer als diejenige der aquatischen Lebensräume, doch insgesamt ist die Gewichtung im Verhältnis zur Breite am grössten der drei Habitate. Aus den Funktionsdiagrammen geht hervor, dass die

Neigung der Kurve für das amphibische Habitat am grössten ist. Dies gibt die ökologische Bedeutung dieses Ökotonen deutlich wieder.

Die Qualität und die Grösse des **terrestrischen** Habitats sind für die natürliche und dynamische Funktionsweise der Fließgewässer unabdingbar. Dieses Habitat ist von den Fließgewässerkorrekturen am meisten betroffen und leidet stark unter dem Druck im Zusammenhang mit der Bodenbewirtschaftung. Es ist in der Schweiz selten geworden, da es viel Raum erfordert.

Fazit: Die Verteilung 20–10–70 % widerspiegelt die relative ökologische Bedeutung des aquatischen, des amphibischen und des terrestrischen Habitats sowie deren Raumbedarf. Diese Gewichtung hebt den Gewinn an biologischer Vielfalt und an typischen Strukturen eines natürlichen terrestrischen Habitats hervor, das nahezu die ideale Breite aufweist.

Fallbeispiele

Die Anwendung der Methode auf die Fallbeispiele zeigt, dass sie kohärente Ergebnisse hervorbringt. Es wurde belegt, dass die Zusammensetzung des Gewässerraums für die Bewertung in Betracht gezogen werden muss. Die vorgeschlagene Formel für die Schätzung der natürlichen Breite ergibt Resultate, die beinahe denen aus anderen von Fachleuten durchgeführten Studien entsprechen. Das Verhältnis Wasserspiegelbreite/Abflusstiefe ist anhand der vorgeschlagenen Methode offensichtlich schwierig zu schätzen, wenn über dem Wert 60, wie das Fallbeispiel der Maggia gezeigt hat. Zur Berechnung des Gesamterfüllungsgrad muss das typische Querprofil eines Abschnitts herangezogen werden, das aus einer summarischen Kartierung der Zusammensetzung des Gewässerraums hervorgeht. Weiter ist mit homogenen Abschnitten zu arbeiten, weil der Mittelwert ggf. nicht genügend repräsentativ für das Ganze Fließgewässer ist, und somit die Bewertung verfälscht werden kann.

Fazit: Die Methode entspricht den Zielen der Studie, auch wenn einige Aspekte konsolidiert werden könnten. Ihre Struktur ist flexibel und erlaubt bei Bedarf die einfache Einbindung neuer Elemente.

AGRIDEA 2009: «*Comment entretenir les bords de cours d'eau.*» Kurs Nr. 1520, Vicques, 1. Oktober 2009. AGRIDEA – Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raums. Lausanne. 64 S.

Ahmari H., da Silva A.M.F. 2011: «*Regions of bars, meandering and braiding in da Silva and Yalin's plan.*» Journal of Hydraulic Research, 49:6, 718–727.

Amoros C. und Bornette G. 2002: «*Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains*» Freshwater Biology, **47** (4). 761–776.

Amoros C. und Petts G.E. 1993: «*Hydrosystèmes fluviaux.*» Masson, Collection d'écologie. Paris. 300 S.

Arnold M., Schwarzwälder B., Beer-Tóth K., Zbinden M., Baumgart K. 2009: «*Mehrwert naturnaher Wasserläufe. Untersuchung zur Zahlungsbereitschaft mit besonderer Berücksichtigung der Erschliessung für den Langsamverkehr.*» Umwelt-Wissen Nr. 0912. Bundesamt für Umwelt, Bern: 124 S.

BEB SA – Bureau d'études biologiques 2012: «*Réseau écologique – Analyse au niveau cantonal (REC-VD).*» Kanton Waadt, Service des forêts, de la faune et de la nature (Dienststelle für Wald, Wild und Natur). Aigle. 66 S.

Berthoud G., Lebeau R. P. und Righetti A. 2004: «*Das nationale ökologische Netzwerk REN – Schlussbericht.*» Schriftenreihe Umwelt, Natur und Landschaft. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern. 132 S.

Bezzola G. R. und Hegg C. 2008: «*Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahregrundlagen.*» Umwelt-Wissen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Bern und Birmensdorf. 426 S.

Bonnard L., Roulier C., Thielen R., Gsteiger P., Cosandey A.-C., Hausammann A. und Rast S. 2008: «*Handbuch Erfolgskontrolle Auen.*» Biotopinventar BAFU > Auen. Service conseil Zones alluviales / Auenberatungsstelle. Yverdon-les-Bains und Bern. CD.

Bonnard L. und Witschi F. 2012: «*Aarewasser. Raumbedarf der Aare zwischen Thun und Bern.*» Interner Bericht. Im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Bern. 15 S. + Anhänge.

Büttiker B. 2008: «*Les poissons revendiquent le droit au libre déplacement.*» Génie Biologique, **4**. 22–28.

Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) und Bundesamt für Raumplanung (BRP) 2000: «*Eine neue Herausforderung: Raum den Fliessgewässern!*» Bern. 4 S.

Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) und Bundesamt für Raumplanung (ARE) 2003: «*Leitbild Fliessgewässer Schweiz. Für eine nachhaltige Gewässerpolitik.*» Bern. 12 S.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2011: «*Erläuternder Bericht. Parlamentarische Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer.*» Bern. 42 S.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2012: «*Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie – Erkenntnisse aus dem Projekt Integrales Flussgebietsmanagement.*» Umwelt-Wissen, Oberflächengewässer. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern. 8 Merkblätter.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2018: «*Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2019–2024. Teil 8: Fachspezifische Erläuterungen zur Programmvereinbarung im Bereich Revitalisierungen.*» Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. UV-1817. Bern. 251 – 293.

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

Chow V.T. 1959: «*Open-channel hydraulics.*» McGraw-Hill, New York, USA.

CORPEN Commission d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement 2007: «*Les fonctions environnementales des zones tampon. Les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux.*» Paris. Bericht. 75 S.

Degoutte G. 2007: «*Aide mémoire d'hydraulique à surface libre, chapitre 1.*» Agroparistech. Paris. 32 S.

Delarze R. 2005: «*Réseau Ecologique Cantonal pour la plaine du Rhône (REC) – Concept directeur.*» Aigle. 51 S.

Frontier S. und Pichod-Viale D. 1995: «*Ecosystèmes: structure, fonctionnement, évolution.*» Collection d'écologie 21. Masson. Paris. 392 S.

Frossard P.A., Prunier P., Evette A., Valé N. 2014: «*Géni'Alp – Génie végétal en rivière de montagne. Génie Biologique.*» 14. 25-31. (Download der Publikation über <http://ouvrage.geni-alp.org>)

Gallandat J.-D., Gobat J.-M., Roulier Ch. 1993: «*Cartographie des zones alluviales d'importance nationale*». Cahier de l'environnement,

199. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). Berne. 112 pp.

Gautier J.-N. 2009: «*L'espace de liberté des cours d'eau.*» Kolloquium «Les grands cours d'eau dynamiques d'Europe et le concept d'espace de mobilité». Moulins sur Allier. Vortrag.

Gostner W. 2012: «*The Hydro-Morphological Index of Diversity: a Planning Tool for River Restoration Projects.*» Dissertation. EPFL. 238 S.

Graf W.H. und Altinakar M.S. 2008: «*Hydraulique fluviale – écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple.*» Traité de Génie Civil 16, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes PPUR, Lausanne. 627 S.

Habersack H., Schober B., Krapesch G., Jäger E., Muhar S., Poppe M., Preis S., Weiss M. und Hauer C. 2010: «*Neue Ansätze im integrierten Hochwassermanagement: Floodplain Evaluation Matrix FEM, flussmorphologischer Raumbedarf FMRB und räumlich differenziertes Vegetationsmanagement VeMaFlood.*» Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft (öwaw) (1–2). 15–21.

Hausammann A., Gsteiger P., Roulier C., Righetti A. und Thielen R. 2005: «*Das Aueninventar.*» Faktenblatt Auen Nr. 11. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

Heeb J., Schönborn A., Huber F. und Mosimann T. 2004: «*Festlegung und Sicherung des Raumbedarfs von Fliessgewässern – Grundlagenbericht – Entwurf 04.*» Bern. 50 S.

Hefti D. 2012: «*Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken – Checkliste Best Practice.*» Umwelt-Wissen / Fischerei Nr. 1210. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern. 39 S.

Honecker U., Kinsinger C., Löffler E. und Charrier P. 2004: «*Auenschutz- und Auenentwicklungskonzept für das Saarland – Floodplain protection and floodplain development concept for the Saarland.*» Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, **48** (1). 12–21.

Jäggi M. 1979: «*Die Bildung von alternierenden Kiesbänken in geraden Flussläufen.*» Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) Nr. 36: 49 S.

Kirchhofer A., Breitenstein M. und Zaugg B. 2007: «*Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Fische und Rundmäuler.*» Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna (SZKF). Bern. 44 S.

Kuhn N. und Amiet R. 1988: «*Inventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Entwurf für die Vernehmlassung.*» Im Auftrag des Eidg.

Dept. Intern. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Löffler E., Honecker U., Kinsinger C., Bauer B., Charrier P., Kiefer S., Wolf P., Brenk Ch., Hirsch R. und Schwarzer A. 2003: «*Auenschutz- und Auenentwicklungskonzept für das Saarland.*» Universität des Saarlandes. Saarbrücken-Dudweiler.

Malavoi J.-R. 1998: «*Bassin Rhône Méditerranée Corse. Guide technique no 2. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau.*» Agence de l'eau Rhône, Méditerranée, Corse. Lyon. 40 S.

Nast M. 2006: «*Überflutet – überlebt – überlistet. Die Geschichte der Juragewässerkorrekturen.*» Verein Schlossmuseum Nidau. Nidau. 192 S.

Paccaud G. und Roulier C. 2010: «*Espace nécessaire aux cours d'eau en méandres – Rapport final.*» Service conseil Zones alluviales. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Yverdon-les-Bains. 101 S.

Paccaud G. Roulier C. und Jäggi M. 2012: «*Bilan forestier. Pronostic de végétation dans les C3 de l'état futur.*» Im Auftrag der Dienststelle für Strassen- und Flussbau des Kantons Wallis. 24 S. + Anhänge.

Paccaud G. und Roulier C. 2013: «*Gewässerraum für grosse Fliessgewässer in der Schweiz.*» Service conseil Zones alluviales. Yverdon-les-Bains. 108 S.

Paccaud G. und Roulier C. 2013: «*Anwendung der Methodik <Gewässerraum für grosse Fliessgewässer> auf den Alpenrhein – Abschätzung des aktuellen Zustands und von zwei Kombinationsvarianten.*» Auenberatungsstelle, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention. Yverdon-les-Bains. 1–29.

Pedroli J.-C., Zaugg B. und Kirchhofer A. 1991: «*Verbreitungsatlas der Fische und Rundmäuler der Schweiz.*» Documenta Faunistica Helvetiae. Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna. Neuenburg. 207 S.

Piégay H., Pautou G. und Ruffinoni C. 2003: «*Les forêts riveraines des cours d'eau: écologie, fonctions et gestion.*» Institut pour le développement forestier. Paris. 465 S.

Plumettaz A.-C., Delarze R. und Hunziker C. 2010: «*Réseau écologique de la Basse Plaine du Rhône – Propositions de revitalisation.*» Kanton Waadt – Service des forêts, de la faune et de la nature (Dienststelle für Wald, Wild und Natur). Echallens, Aigle und Yverdon-les-Bains. 36 S.

Rey Y., Nicoud S., G. Romailier, Planungsbüro Impact SA 2008: «*Troisième correction du Rhône – Sécurité pour le futur – Rapport d'impact sur l'environnement (1ère étape) – Plan d'aménagement pour*

information publique.» Departement für Verkehr, Bau und Umwelt, Dienststelle für Strassen- und Flussbau. Sitten. 127 S.

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

Roulier C. und Vadi G. 2004: «*Erfolgskontrolle der Vegetationsdynamik Rhone: Stand der Forschung 2004.*» Wasser, Energie, Luft, 96 (11/12). 309–314.

Roulier C., Rast S. und Hausammann A. 2007: «*Plan d'aménagement du Rhône PA-R3 – Outil prédictif du développement des milieux riverains.*» Service conseil Zones alluviales. Yverdon-les-Bains. 71 S.

Sophocleus M. 2002: «*Interactions between groundwater and surface water: the state of the science.*» Hydrogeology journal. 16 S.

Spreafico M., Hodel H.P., Kaspar H. 2001: «*Rauheiten in ausgeschuchten schweizerischen Fliessgewässern.*» Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) – Serie Wasser Nr. 1. Bern. 104 S.

Staas S. und Paulusch J. 2010: «*Fischwanderung und die Bedeutung der Auenhabitats – Tagungsband.*» BfN-Skripten 280. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg. 52 S.

Thielen R., Tognola M., Roulier C. und Teuscher F. 2002: «*2. Ergänzung des Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Technischer Bericht.*» Schriftenreihe Umwelt. Natur und Landschaft. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern. 143 S.

Vadi G., Roulier C. und Gobat J.-M. 2006: «*Erfolgskontrolle der Vegetationsdynamik – Thur: Stand der Forschung 2005.*» Wasser, Energie, Luft, 98 (3). 223–232.

Vischer D. 2003: «*Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz – Von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert.*» Wasser Nr. 5. Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG). Biel. 208 S.

Ward J.V und Stanford J.A. 1995: «*Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation.*» Regulated Rivers: Research and Management, 11. 105–119.

Ward J. V., Tockner K. und Schiemer F. 1999: «*Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity.*» 1 S.

Woolsey S., Weber C., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S., Tockner K. und Peter A. 2005: «*Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen – eine Publikation des Rhone-Thur-Projektes.*» EAWAG, WSL, EPFL, VAW-ETHZ. Kastanienbaum. 112 S.

Yalin M. S. 1992: «*River Mechanics.*» Pergamon Press, Oxford, 219 S.
in Requena Méndez P. 2008: «*Seitenerosion in kiesführenden Flüssen.*

Prozessverständnis und quantitative Beschreibung.» Dissertation Nr. 18074. ETH Zürich 244 S.

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

Zaugg B., Stucki P., Pedroli J.-C. und Kirchhofer A. 2003: «*Pisces – Atlas Fauna Helvetica.*» Fauna Helvetica 7. Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna (SZKF). Neuenburg. 233 S.

Zeh H. 2010: «*Ingenieurbioologische Bauweisen im naturnahen Wasserbau – Praxishilfe.*» Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1004. 59 S.

Webseiten

Forschungsprojekt Rhone–Thur (2001–2005):

<http://www.rhone-thur.eawag.ch/>

Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés de l'université de Lyon:

<http://umr5023.univ-lyon1.fr/index.php?lang=fr&pid=28>)

Webtool Grosse Fliessgewässer:

<http://www.zones-alluviales.ch/OutilGCE/accueil-espace-ce-de.html>

Wissensstand und Festlegung des Gewässerraums in Nachbarländern

In diesem Kapitel wird dargelegt, wie die Nachbarländer der Schweiz heutzutage den Gewässerraum festlegen. So lassen sich insbesondere die Schlüsselemente ermitteln, die zur Bestimmung des Raumbedarfs für Fliessgewässer beitragen. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Beurteilung von Nutzen und Funktionen dieses Raums gelegt.

ANHANG 1

Der Gewässerraum in Frankreich

Der Guide technique Nr. 2 «*Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau.*» (Malavoi et al. 1998) dient in diesem Bereich als Referenzwerk und schlägt die Festlegung von drei eingebetteten Räumen vor:

- einem **maximalen Mobilitätsraum**, der im Allgemeinen dem Talboden entspricht. Es handelt sich um den gesamten Raum, den das Fliessgewässer zu einem bestimmten Zeitpunkt einnehmen könnte, falls keine anthropogenen Einschränkungen vorhanden sind;
- einem **funktionalen Mobilitätsraum**, der als Gewässerraum festgelegt wird, den das Fliessgewässer beansprucht, um normal zu funktionieren. Das heisst konkret, dass das Gewässer seine Morphologie zur Gewährleistung eines optimalen Transport von Wasser und Geschiebe anpassen kann. Dieser Raum berücksichtigt grössere anthropogene Einschränkungen;
- einem **minimalen Mobilitätsraum**, der die sekundären anthropogenen Einschränkungen berücksichtigt (Sammelbecken, sekundäre Verkehrsachsen). Der minimale Raum garantiert, dass das Gewässersystem nicht durch Eintiefungen oder andere Probleme beeinträchtigt wird.

Der Begriff Mobilitätsraum deckt sich gewissermassen mit der Idee der Verordnung, welche die Übernahme bestimmter Funktionen durch das Fliessgewässer vorsieht, auch wenn für Malavoi et al. (1998) die Funktionen des Fliessgewässers sich auf die Wasserdynamik und die Sedimente beziehen. Wir halten einfach fest, dass aus morphologischer Sicht ein Raum mit einer kritischen Grösse existiert, in dem das Fliessgewässer alle Funktionen erfüllt. Dieser Raum ist in den meisten Fällen kleiner als die Breite des Talbodens.

Die natürliche Gerinneform des Fliessgewässers ist für die Festlegung des Raumbedarfs einzubeziehen. Es wird zwischen Fliessgewässern mit mobiler Sohle und solchen mit fester, oder zumindest nach menschlichen Zeitbegriffen wenig mobiler Sohle unterschieden. Es ist nicht

sinnvoll, einem Fliessgewässer, das im natürlichen Zustand immobil ist, einen Mobilitätsraum zuzuweisen. Bei den Fliessgewässern mit mobiler Sohle wird zwischen mäandrierenden und verzweigten Gerinnen unterschieden. Bei diesen Gerinneformen wird der Raumbedarf nicht auf die gleiche Art bewertet. Bei verzweigten Gerinnen, die in Frankreich seltener auftreten, empfehlen Malavoi et al. (1998) einen historischen Ansatz, während der Korridor des Mobilitätsraums für gewundene Gerinne anhand der maximalen Mäanderamplitude festgelegt werden kann.

ANHANG 2 **Der Gewässerraum in Österreich**

Habersack et al. (2010) schlagen drei Verfahren vor, die im Rahmen des Forschungsprojekts «FloodRisk II» entwickelt wurden:

- eine Bewertungsmatrix «Flood Plain Evaluation Matrix», die das Vorhandensein oder das Nichtvorhandensein von überflutbaren Räumen berücksichtigt, die die Hochwasserabflussmengen auf der Ebene eines Fliessgewässerabschnitts abschwächen;
- ein flussmorphologischer Raumbedarf auf der Grundlage der Gerinnesohlenbreite, die durch ausserordentliche Hochwasserereignisse geschaffen wird;
- ein Konzept zum Unterhalt der Ufervegetation an Fliessgewässern.

Das zweite Verfahren liefert Informationen im Rahmen der vorliegenden Problematik. Der geomorphologische Raum ist das Ausbreitungsgebiet bei ausserordentlichen Hochwasserereignissen (HQ₁₀₀ – HQ₃₀₀) und belegt einen breiten Streifen in der Auenebene, manchmal sogar die ganze Ebene. Er entspricht dem Mobilitätsraum von Malavoi et al. (1998). Der minimale geomorphologische Raum, der von den Autoren empfohlen wird, entspricht einem Streifen von mindestens der 3- bis 7-fachen vorhanden Gewässerbreite. Im Gegensatz zur in der Schweiz verwendeten Schlüsselkurve wird nicht die natürliche Fliessgewässerbreite berücksichtigt. Daher ist eine Breite, die der 3-fachen Breite der korrigierten Sohle entspricht, sehr schmal. Allerdings tritt diese Situation häufig in Agglomerationsgebieten auf. Dieser Raum ist vergleichbar mit dem minimalen Raum von Malavoi et al. (1998).

Habersack et al. (2010) sprechen Empfehlungen aus, die typischen Auenhabitats in den Sektoren mit wenigen Einschränkungen wiederherzustellen und die landwirtschaftliche Nutzung in den von Hochwasserereignissen HQ₃₀ überfluteten Sektoren extensiv zu gestalten. Der Feststofftransport wird berücksichtigt: Übertragungskontinuum, Entstehung von geomorphologischen Formen.

ANHANG 3 Der Gewässerraum in Deutschland

Honecker et al. (2004) haben ein Schutz- und Entwicklungskonzept für die Auengebiete im Saarland entwickelt (s. auch Löffler et al. 2003). Für die Festlegung von Kompartimenten in der Auenebene stützen sich die Autoren auf den Ansatz von Malavoi et al. (1998) und identifizieren einen Raum, den sie «Maximalaue» nennen und die die gesamte Auenebene umfasst. Der Entwicklungskorridor ist ein Band, welches das Fliessgewässer beinhaltet, und entspricht dem «funktionalen Mobilitätsraum» von Malavoi et al. (1998). Laut Honecker et al. (2004) gewährleistet dieser Raum mit einer Mindestbreite von 30 m (einschliesslich des Fliessgewässers) zudem die longitudinale Kontinuität des Fliessgewässers. Homogene Fliessgewässerabschnitte werden entsprechend der Breite der Auengebiete, der Sinuosität des Fliessgewässers, der Mündungen, der korrigierten und der bebauten Abschnitte abgegrenzt.

Einige Beispiele für (deutschlandweit) mittelgrosse Fliessgewässer am Beispiel der Lippe (Nord-Rhein-Westphalen) zeigen, dass der betrachtete funktionale Mobilitätsraum den integralen Mobilitätsraum, d. h. die von den Mäandern dieses Flusses durchquerte Ebene, umfasst. Bei der Ruhr (Arnsberg im Sauerland) wurde ein korrigiertes Fliessgewässer mit einer Breite von rund 30 m, einem funktionalen Mobilitätsraum von der 2- bis 3-fachen Gewässerbreite, in einem stark städtebaulich erschlossenen Abschnitt wiederhergestellt. Das Gleiche gilt für die Isar beim Durchfliessen der Stadt München. Auf einem Abschnitt der Nidda wurde ein Auengebiet auf einer Länge von 3,5 km wiederhergestellt. Der Gewässerraum bildet einen Raum mit der 6- bis 7-fachen Fliessgewässerbreite, im natürlichen Zustand hauptsächlich mit Ufergehölzen und Landwirtschaftsflächen.

Der Haupteindruck aus Revitalisierungsprojekten in Auengebieten von mittelgrossen deutschen Fliessgewässern (Nebenflüsse von Rhein, Elbe oder Donau) ist, dass die Aufweitung des Hauptgerinnes systematisch durchgeführt wird (Revitalisierung) mit, in einigen Fällen, der periodischen Überflutung angrenzender Flächen. In den meisten der vorgestellten Fälle werden hingegen die parallel zum Fliessgewässer verlaufenden Uferstreifen, die als extensiv bewirtschafteten Gewässerraum gelten könnten, nicht einbezogen.

ANHANG 4 Wasserrahmenrichtlinie

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) strebt einen guten ökologischen Zustand der Fliessgewässer und der aquatischen Lebensräume an. Sie geht vom Konzept der ökologischen Kontinuität

aus. Ziele betreffend hydrologische und morphologische Qualität müssen vollumfänglich oder fast den Bedingungen entsprechen, die im Habitat ohne anthropogene Störungen herrschen würden.

Die ökologische Kontinuität wird durch die hindernisfreie Bewegung freilebender Arten und den reibungslosen Ablauf des natürlichen Sedimenttransports definiert. Die Wiederherstellung der ökologischen Kontinuität erlaubt es den Flüssen, ihrem Verlauf von oben nach unten natürlich zu folgen (longitudinale Durchgängigkeit), aber auch ihr Hauptgerinne bei Hochwassern zu überfluten (transversale Durchgängigkeit). Will man die ökologische Kontinuität der Fliessgewässer wiederherstellen, muss man alle Arten von einengenden Hindernissen im Fliessgewässer berücksichtigen, unabhängig von ihrer Grösse. Es sind daher Querbauwerke im Hauptgerinne (Staudämme, Düsen, Brückenpfeiler usw.), aber auch Verbauungen, die den Zugang zum Hauptgerinne blockieren, betroffen. Die Richtlinie legt hingegen keine genauen Normen betreffend des Mobilitätsraums für Fliessgewässer fest.