



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser,
Energie und Luft

Raumbedarf grosser Gewässer im Kanton Zürich

Limmat



Festlegung des Raumbedarfs an Gewässern mit Sohlenbreite > 15 m
im Kanton Zürich: Gewässerraum-Gutachten

Projekt A-844

Juni 2015

Auftraggeber

Kanton Zürich
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Walcheplatz 2
8090 Zürich

Kontaktperson:

Simone Knecht

+41 43 259 32 59

email: simone.knecht@bd.zh.ch

Auftragnehmer

Hunziker, Zarn & Partner AG
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau
Schachenallee 29
5000 Aarau

Kontaktpersonen:

Roni Hunziker, Sammy Mirjan

Tel.: 062 - 823 94 61

email: roni.hunziker@hzp.ch,
sammy.mirjan@hzp.ch

INHALTSVERZEICHNIS

1. AUSGANGSLAGE.....	1
2. AUFTRAG UND UNTERSUCHTE GEWÄSSER	1
3. GESETZGEBUNG	3
3.1. GEWÄSSERSCHUTZGESETZ UND GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG.....	3
3.2. WASSERBAUGESETZ.....	5
3.3. VORGABEN DES BUNDES	5
4. GRUNDLAGEN.....	6
5. VORGEHEN.....	7
5.1. ABGRENZUNG	7
5.2. ABSCHNITTSBILDUNG.....	8
5.3. MORPHOLOGIE IM NATURZUSTAND.....	8
5.4. NATÜRLICHE SOHLENBREITE.....	11
5.5. NATÜRLICHE UFERBREITE.....	13
5.6. GERINNEBREITE	13
5.7. MINIMALER GEWÄSSERRAUM	14
5.8. BREITE ZUR ERFÜLLUNG DER MINIMALEN ANFORDERUNG NACH WASSERBAUGESETZ ART.4	15
5.9. NATÜRLICHER RAUMBEDARF / ERHÖHTER GEWÄSSERRAUM	16
5.9.1. <i>Natürlicher Raumbedarf nach Roulier</i>	16
5.9.2. <i>Erhöhter Gewässerraum</i>	19
5.10. PENDELBANDBREITE	19
5.11. HOCHWASSERSCHUTZBREITE	20
5.12. PRODUKTE	24
5.13. ANWENDUNG DER VERSCHIEDENEN BREITEN BEI DER GEWÄSSERRAUMFESTLEGUNG.....	25
6. RESULTATE LIMMAT.....	27
6.1. CHARAKTERISTIKEN GESAMTER UNTERSUCHUNGSPERIMETER.....	28
6.2. ABSCHNITT 1 (GEWISS KM 18.1 – 31.9)	35
6.3. ABSCHNITT 2 (GEWISS KM 31.9 – 34.3)	45
6.4. ABSCHNITT 3 (GEWISS KM 34.3 – 36.3)	50

Pläne

A-844.c1	Limmat ermittelte Breiten	km 18.1 – 24.0	1:5'000
A-844.c2	Limmat ermittelte Breiten	km 24.0 – 30.0	1:5'000
A-844.c3	Limmat ermittelte Breiten	km 29.5 – 36.3	1:5'000
A-844.c4	Limmat historische Gewässerläufe	km 18.1 – 36.3	1:25'000

1. Ausgangslage

Das Gewässerschutzgesetz Art. 36a verlangt, dass die Kantone nach Anhörung der betroffenen Kreise den Raumbedarf der oberirdischen Gewässer festlegen. Die Definition des Raumbedarfs ist erforderlich zur Gewährleistung der natürlichen Funktion des Gewässers, des Hochwasserschutzes und der Gewässernutzung. In Schutzgebieten von überkommunaler Bedeutung ist in der Gewässerschutzverordnung (Art. 41a Abs. 1) bei einer natürlichen Sohlenbreite von über 15 m der minimale Gewässerraum mit „natürliche Sohlenbreite + 30 m“ definiert. Bei Flüssen in nicht inventarisierten Gebieten mit über 15 m natürlicher Sohlenbreite macht die GSchV Art. 41a keine Vorgaben für die Gewässerraumbreiten. Die Kantone können in diesem Fall die Breite selber bestimmen. Im Hinblick auf spätere Hochwasserschutz- und Renaturierungsprojekte ist es aber wichtig, dass der Gewässerraum auf die Anforderungen des Bundes abgestützt wird, da die Subventionsansätze vom Gewässerraum abhängen werden.

2. Auftrag und untersuchte Gewässer

Das Büro Hunziker, Zarn & Partner, Aarau, wurde vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft eingeladen, die entsprechenden Abklärungen durchzuführen und einen Vorschlag zur Definition des Raumbedarfs der Flüsse über 15 m natürliche Sohlenbreite auf dem Gebiet des Kantons Zürich zu erarbeiten.

Untersuchte Gewässer

Folgende Flüsse wurden im Rahmen des vorliegenden Gutachtens bearbeitet:

Tabelle 1 Übersicht über die untersuchten Bäche

Gewässer	Abschnitt	Länge in km
Rhein	Feuerthalen - Weiach	41.8
Thur	Altikon - Rhein	22.1
Limmat	Zürich - Kantonsgrenze	18.2
Sihl	Hütten - Limmat	37.2
Reuss	Lorzemündung - Ottenbach	5.3
Aabach Uster	Robenhausen - Uster	10.2
Jona	Wald - Kantonsgrenze	8.6
Reppisch	Stadtgrenze Dietikon - Limmat	5.3

Die **Glatt** und die **Töss** wurden im Rahmen von anderen Studien bearbeitet und sind darum nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Der vorliegende Teilbericht enthält nur die Ergebnisse der Limmat.

Übersicht Einzugsgebiete

Die untersuchten Gewässerabschnitte unterscheiden sich teils stark in Abfluss und Topografie. Kleinere Gewässer wie Aabach, Jona, und Reppisch haben den grössten Teil ihres Einzugsgebietes im Kanton Zürich, wo hingegen die Flüsse Rhein, Reuss, Limmat, Thur und auch die Sihl schon vor der Kantonsgrenze ein beträchtliches Einzugsgebiet aufweisen. Abb. 1 gibt eine Übersicht über die Einzugsgebiete der einzelnen Flüsse im Kanton Zürich.

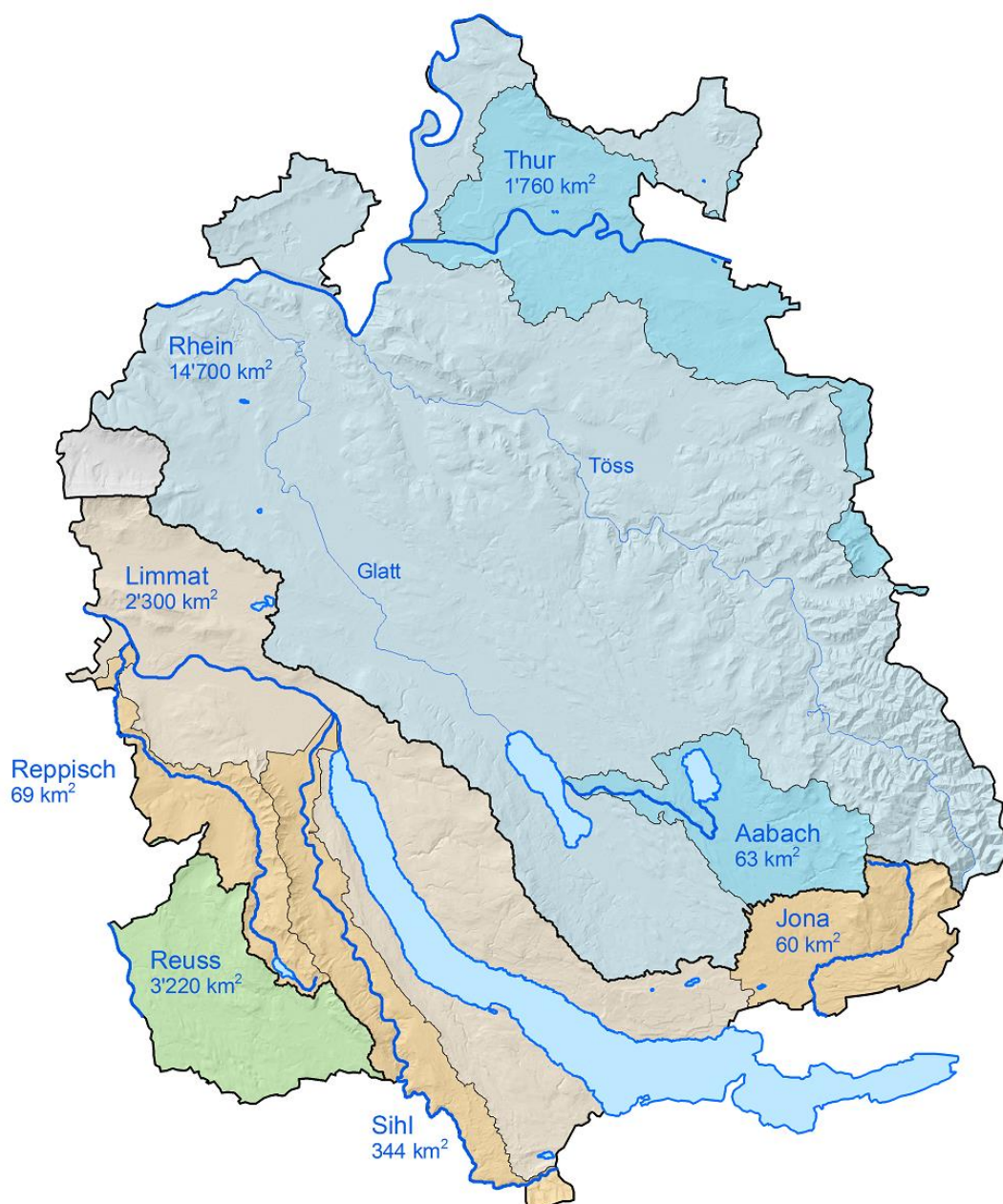


Abb. 1 Übersicht über die Einzugsgebiete der untersuchten Gewässer
Flächenangaben = maximales EZG bis und mit Kanton ZH

*Absprache mit
Anrainerkantonen*

Die Anrainerkantone Aargau und Thurgau wurden über die Erarbeitung des Raumbedarfs im Kanton Zürich informiert. Es wurde abgemacht, die vorhandenen Berichte auszutauschen und bei Bedarf abzugleichen. Der Kanton Schaffhausen wurde ebenfalls informiert und erhält vom Kanton Zürich ein Exemplar der vorliegenden Untersuchung. Eine weitere Absprache mit dem Kanton Schaffhausen ist nicht notwendig.

3. Gesetzgebung

Nachfolgend sind die für das vorliegende Gutachten wichtigsten gesetzlichen Grundlagen aufgeführt.

3.1. Gewässerschutzgesetz und Gewässerschutzverordnung

GSchG Art. 36a

Im Art. 36a des Gewässerschutzgesetzes ist der Gewässerraum wie folgt definiert:

- 1 Die Kantone legen nach Anhörung der betroffenen Kreise den Raumbedarf der oberirdischen Gewässer fest, der erforderlich ist für die Gewährleistung folgender Funktionen (Gewässerraum):
 - a. *die natürliche Funktion der Gewässer;*
 - b. *den Schutz vor Hochwasser;*
 - c. *die Gewässernutzung.*
- 2 Der Bundesrat regelt die Einzelheiten.
- 3 Die Kantone sorgen dafür, dass der Gewässerraum bei der Richt- und Nutzungsplanung berücksichtigt sowie extensiv gestaltet und bewirtschaftet wird. Der Gewässerraum gilt nicht als Fruchtfolgefläche. Für einen Verlust an Fruchtfolgeflächen ist nach den Vorgaben der Sachplanung des Bundes nach Artikel 13 des Raumplanungsgesetzes vom 22. Juni 1979 Ersatz zu leisten.

GSchG, Art. 37

Gemäss Art. 37 Abs. 2 GSchG müssen Gewässer und Gewässerraum so gestaltet sein, dass:

- sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können,
- die Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischem Gewässer weitgehend erhalten bleiben,
- eine standortgerechte Ufervegetation gedeihen kann.

GSchV Art. 41a

Im Art. 41a der Gewässerschutzverordnung werden die Anforderungen an den Gewässerraum wie folgt präzisiert:

- 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.*
- 2 In den übrigen Gebieten muss die Breite des Gewässerraums mindestens betragen:
 - a. *für Fliessgewässer mit einer Gerinnesohle von weniger als 2 m natürlicher Breite: 11 m;*
 - b. *für Fliessgewässer mit einer Gerinnesohle von 2-15 m natürlicher Breite: die 2.5-fache Breite der Gerinnesohle plus 7 m.*

Bei Flüssen mit einer natürlichen Bettbreite von mehr als 15 m muss gemäss BAFU ein Fachgutachten erstellt werden, falls ein höherer Subventionssatz für einen erhöhten Gewässerraum geltend gemacht werden soll. Es gibt keine Vorgaben für den minimalen Gewässerraum bei grossen Flüssen.

- 3 Die nach den Absätzen 1 und 2 berechnete Breite des Gewässerraums muss erhöht werden, soweit dies erforderlich ist zur Gewährleistung:
 - a. *des Schutzes vor Hochwasser;*
 - b. *des für eine Revitalisierung erforderlichen Raumes;*
 - c. *der Schutzziele von Objekten nach Absatz 1 sowie anderer überwiegender Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes*
 - d. *einer Gewässernutzung.*

- 4 Die Breite des Gewässerraumes kann in dicht überbauten Gebieten¹ den baulichen Gegebenheiten angepasst werden, soweit der Schutz vor Hochwasser gewährleistet ist.
- 5 Soweit keine überwiegenden Interessen entgegenstehen, kann auf die Festlegung des Gewässerraumes verzichtet werden, wenn das Gewässer:
 - a. *sich im Wald oder in Gebieten, die im landwirtschaftlichen Produktionskataster gemäss der Landwirtschaftsgesetzgebung nicht dem Berg- oder Talgebiet zugeordnet sind, befindet;*
 - c. *eingedolt ist; oder*
 - d. *künstlich angelegt ist.*

3.2. Wasserbaugesetz

Das Wasserbaugesetz (Art. 4 WBG) verlangt:

Art. 4

- 2 Bei Eingriffen in das Gewässer muss dessen natürlicher Verlauf möglichst beibehalten oder wiederhergestellt werden. Die Gewässer und der Gewässerraum müssen so gestaltet werden, dass:
 - a) *sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können,*
 - b) *die Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischen Gewässern weitgehend erhalten bleiben,*
 - c) *eine standortgerechte Ufervegetation gedeihen kann.*²

3.3. Vorgaben des Bundes

Aufgaben des
Gewässerraumes

Gemäss dem Leitbild „Fließgewässer Schweiz“ benötigen die Fließgewässer einen ausreichenden Gewässerraum für:

- *Die Sicherstellung der Hochwasserabflüsse, des Geschiebetransportes und der Entwässerung des Kulturlandes und der Siedlungen.*

¹ Erläuterungen zum Begriff „dicht überbaute Gebiete“ können dem Merkblatt des Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) und des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) entnommen werden.

² Zusatzinformation: Das BAFU argumentiert, dass aufgrund Art. 4 WBG der minimale Gewässerraum an der Emme = nat. Sohlenbreite + amphibischer Bereich + 2x20 m betragen muss.

- *Die Ausbildung einer natürlichen Strukturvielfalt in den aquatischen, amphibischen und terrestrischen Lebensräumen.*
- *Das Gedeihen standortgerechter Lebensgemeinschaften und die Vernetzung der Lebensräume.*
- *Zur Erholung der Bevölkerung sowie zur Wahrnehmung und Identifikation mit der Kulturlandschaft.*
- *Zur Vermeidung von Gewässerverschmutzung durch einen ausreichenden Abstand der Bodennutzung.*

4. Grundlagen

- [1] Gewässerschutzgesetz (GSchG), Stand 1. Januar 2011
- [2] Gewässerschutzverordnung (GSchV), Stand 1. August 2011
- [3] Wasserbaugesetz (WBG), Stand 1. Januar 2011
- [4] Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung des BAFU, Bern 2001
- [5] Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse, Service conseil Zones alluviales, Grégory Paccaud, Christian Roulier, Yverdon, 2013
- [6] GIS-Grundlagen des Kantons Zürich
 - Geotechnische Karte
 - Schutzinventare
 - Daten zu öffentlichen Gewässer
 - Gefahrenkarten
 - historische Karten
 - digitale Höhenmodelle
 - Landnutzungsflächen (Fruchtfolge, Wald...)
 - Grundwasserschutzzonen
 - Übersichtspläne
- [7]* Hydrologische Jahrbücher Kanton ZH,
http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/wasserwirtschaft/messdaten/abfluss_wasserstand/jb_abfluss.html, Dezember 2014
- [8]* Hydrometrie Bundesamt für Umwelt,
<http://www.hydrodaten.admin.ch/de/index.html>, Dezember 2014
- [9] Thur – Grünek bis Rohr A-067, Konzept für sohlenstabilisierende Massnahmen, HZP Februar 2011
- [10] Faltblatt: Raum den Fleissgewässern, Bundesamt für Wasser und Geologie (heute BAFU), Mai 2000

*** Die im vorliegenden Gutachten angegebenen Abflusswerte dürfen nicht zur Dimensionierung von Wasserbauprojekten verwendet werden.**

5. Vorgehen

In der vorliegenden Studie werden aufgrund unterschiedlicher Ansätze abschnittsweise gewässerspezifische Breiten hergeleitet. Diese bilden die Grundlage zur späteren Definition des Gewässerraumes. Folgenden Breiten sind Gegenstand dieses Gutachtens und werden in diesem Kapitel beschrieben:

- natürliche Sohle- und Uferbreite
- minimaler Gewässerraum
- natürlicher Raumbedarf / erhöhter Gewässerraum
- Pendelbandbreite
- Hochwasserschutzbreite

5.1. Abgrenzung

In der vorliegenden Studie werden die Grundlagen für die spätere Definition des raumplanerisch verankerten Gewässerraums erarbeitet. Wichtig dabei ist die Unterscheidung von Raumbedarf und Gewässerraum. Die beiden Begriffe werden wie folgt definiert:

Raumbedarf

Der Raumbedarf definiert die theoretisch erforderliche Breite des Gewässers in jedem Querschnitt entlang des Flusses. Die Gerinnebreite setzt sich zusammen aus der Sohlenbreite im natürlichen, auf die heutigen Gegebenheiten bezogenen Zustand, plus eines Uferbereichs. Die Breite des Uferbereichs muss bei Flüssen mit einer natürlichen Sohlenbreite über 15 m aufgrund morphologischer und ökologischer Kriterien definiert werden. Die Schlüsselkurve des Bundes [4] ist nicht anwendbar. Generell wird davon ausgegangen, dass die Uferbereichsbreite bei grossen Flüssen mehr als 15 m beträgt. Der Raumbedarf nimmt keine Rücksicht auf lokale Randbedingungen. Er wird zu gleichen Teilen beidseitig der Gewässerachse definiert.

Gewässerraum

Der Gewässerraum wird in einem zweiten Schritt festgelegt. Dabei wird auf Basis des vorher ermittelten Raumbedarfs der eigentliche Gewässerraum unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen definiert.

Der vorliegende Bericht enthält die Erarbeitung einiger gesetzlich definierter gewässerspezifischen Breiten und des natürlichen Raumbedarfs, nicht aber des Gewässerraumes.

5.2. Abschnittsbildung

In einem ersten Schritt werden die zu untersuchenden Gewässer in homogene Abschnitte unterteilt. Die zu bestimmenden Breiten werden im Anschluss für jeden Abschnitt einzeln ermittelt. Die Abschnittsbildung orientiert sich an signifikanten Veränderungen des Gefälles, des Abflusses, der Morphologie oder der Topographie (eingeschnitten oder offenes Gelände). Auch natürliche Referenzabschnitte und historische Dokumente liefern wertvolle Hinweise zur Abschnittsbildung.

Die Abschnittsbildung bleibt während der gesamten Bearbeitung ein iterativer Prozess, bei der neue Erkenntnisse zu Anpassungen führen.

5.3. Morphologie im Naturzustand

Die Gerinneform eines Gewässers hat grossen Einfluss auf dessen natürliche Breite. Ein verzweigtes Gerinne hat beispielsweise einen grösseren Raumbedarf als ein eingetieftes Gewässer mit alternierenden Bänken.

Die Gerinneform wird durch Abfluss, Gefälle, Korndurchmesser, Topologie und Geologie bestimmt. Auch die Vegetation kann Einfluss auf die Gerinneform haben. Zur Bestimmung des natürlichen morphologischen Typs werden nebst den oben genannten Parametern auch natürliche Referenzabschnitte und alte Karten miteinbezogen.

Natürliche Gerinneformen

Im vorliegenden Gutachten wurde zwischen den folgenden Gerinneformen unterschieden und diese abschnittsweise den untersuchten Gewässern zugeordnet (Abb. 2):

- a. **Gestreckter Lauf mit ebener Sohle:** Diese Form tritt vor allem bei Wildbächen, stark eingeschnittenen oder eingeengten/kanalisierten Gewässern auf.
- b. **Alternierende Bänke:** Diese spezielle Form tritt bei Gewässern mit begrenzten Platzverhältnissen auf.
- c. **Mäander:** Es wird zwischen Talmäandern und freien Mäandern unterschieden.

Talmäander: Es handelt sich um eingeschnittene Gerinne mit einem mäandrierenden Lauf, welcher jedoch auch durch die geologischen und topographischen Verhältnisse geprägt sein kann.

Freie Mäander: Diese Mäander weisen ein aktives Einzelgerinne auf und bilden mehr oder weniger grosse Mäanderschleifen. Bei Hochwasser wird das Vorland überflutet. Es kann zwischen schwach und ausgeprägt mäandrierend unterschieden werden. Die Windungen von schwach mäandrierenden Flüssen wandern flussabwärts und die Amplitude ist weniger stark ausgeprägt. Bei ausgeprägten Mäandern sind die Windungen wesentlich grösser und es bilden sich Altarme.

- d. **Verzweigte Gerinne:** Diese Form weist ausgeprägte Sohlenstrukturen mit Verzweigungen, Bänken und Kolken auf.

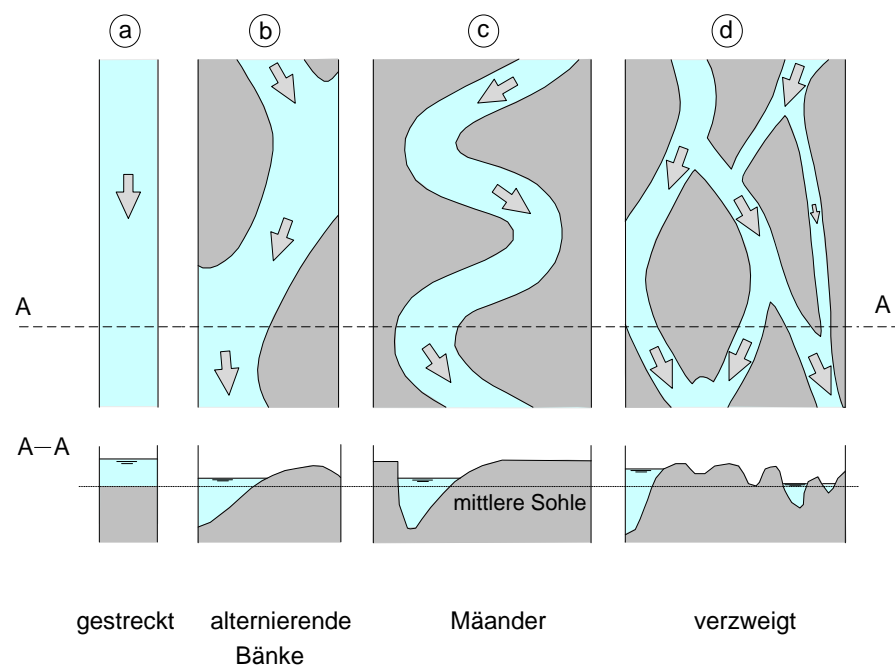


Abb. 2 Gerinneformen

Eine weitere Gerinneform bilden **anastomosierende Gewässer**. Diese Form zeigt wie bei verzweigten Gerinnen eine Teilung des Gewässerlaufes. Im Gegensatz zu verzweigten Gerinnen sind die einzelnen Läufe aber stabiler. Dies gibt ihnen den Charakter eines eigenständigen Gerinnes.

*Einteilung
Gerinneformen im
System Roulier*

Zur Ermittlung des natürlichen Raumbedarfs wird im vorliegenden Gutachten das System nach Roulier (siehe Kap. 5.9.1) angewandt. Darin hat die Definition der Gerinneform eine zentrale Bedeutung. Im System von Roulier wird zwischen geraden und verzweigten sowie schwach gewundenen und stark gewundenen Gerinnen unterschieden. Diese Einteilung unterscheidet sich teilweise von den oben beschriebenen Gerinneformen. Einige Gerinneformen müssen deshalb für die Roulierauswertung neu zugeordnet werden.

Die Zuordnung der natürlichen Gerinneformen in das System von Roulier wurde wie folgt vorgenommen:

Tabelle 2 Zuordnung Gerinneformen in das System nach Roulier

gewählte natürliche Gerinneform	Einteilung der Gerinneform im System von Roulier
gestreckter Lauf	gerades Gerinne
alternierende Bänke	gerades Gerinne *
verzweigt	verzweigtes Gerinne
schwach mäandrierend	schwach gewundenes Gerinne
ausgeprägt mäandrierend	stark gewundenes Gerinne
Talmäander	gerades Gerinne *

* **Gemäss Absprache mit dem BAFU ist die Zuordnung von Gerinnen mit alternierenden Bänken und von Talmäandern noch nicht abschliessend geklärt. In Rücksprache mit dem AWEL wird die Zuordnung im vorliegenden Gutachten gemäss Tabelle 2 umgesetzt. Eine spätere Änderung der Zuordnung kann nicht ausgeschlossen werden.**

5.4. Natürliche Sohlenbreite

Die natürliche Sohlenbreite bildet die Grundlage zur Herleitung des Raumbedarfs und zur Berechnung der gesetzlich vorgeschriebenen Breiten (z.B. minimaler GWR).

Verwendete Grundlagen

Das angewandte Verfahren zur Ermittlung der natürlichen Sohlenbreite basiert auf:

- der Analyse alter Karten und Fotos
- der Analyse von Abschnitten im unverbauten Zustand (naturnahe Referenzzustände)
- der Ermittlung der Gleichgewichtsbreite nach Yalin³ mit der Formel

$$b_{gl} = 1.5 \cdot Q^{0.5} / dm^{0.25}$$
- der Ermittlung der Grenzbreite nach Ashmore⁴ mit der Formel

$$b_{gl} = 0.0098 (pgQJ)^{0.777} / dm^{0.7}$$

Gewichtung der Grundlagen

Die beste Grundlage zur Bestimmung der natürlichen Sohlenbreite sind natürliche oder naturnahe Referenzabschnitte. In unserer dicht besiedelten Kulturlandschaft sind solche jedoch nur selten vorhanden.

Historische Karten oder andere Dokumente bilden bei guter Qualität ebenfalls eine wertvolle Referenz. Auch bei diesen Quellen muss jedoch mit einem gewissen Verbaungsgrad gerechnet werden.

Die regimetheoretischen Ansätze bilden, insbesondere bei fehlenden Referenzabschnitten und fehlenden historischen Daten, einen wichtigen Ansatz, um das Raumpotential eines Gewässers abzuschätzen. Die Regimetheorie kann aber auch zur Plausibilisierung der, aufgrund historischer Karten oder Referenzabschnitten ermittelten Breiten, eingesetzt werden.

Anwendung der Regimetheorie

Bei den regimetheoretischen Ansätzen wird zwischen der Gleichgewichtsbreite (Yalin) und der Grenzbreite (Ashmore) unterschieden. Im Gleichgewichtszustand liegt die natürliche Sohlenbreite zwischen der Gleichgewichtsbreite, welche sich nach der primären Seitenerosion einstellt, und der Grenzbreite, welche nach der sekundären Seitenerosion erreicht wird. Tendenziell orientiert sie sich eher an der Gleichgewichtsbreite.

³ Yalin, M.S., (1992). River Mechanics, Pergamon Press, Oxford, 219 pp.

⁴ Ashmore, P.E., (2001). Braiding phenomena: statistics and kinetics. In: Gravel-Bed River V, pp. 95-120. New Zealand Hydrological Society, Wellington, New Zealand.

Die Begriffe primäre und sekundäre Seitenerosion sowie Gleichgewichts- und Grenzbreite basieren auf dem Gedankenmodell von P. Requena⁵, welche an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich eine Forschungsarbeit zum Thema Seitenerosion durchführte.

In der Regimetheorie sind die bettbildenden Abflüsse eine zentrale Grösse. Roulier [5] empfiehlt für mäandrierende Gerinne HQ_2 , für verzweigte oder geradlinige Gerinne HQ_5 als bettbildenden Abfluss einzusetzen.

Wahl der natürlichen Sohlenbreite

Die eigentliche Wahl der natürlichen Sohlenbreiten erfolgt unter Berücksichtigung aller verfügbaren Grundlagen. Wie stark welche Grundlage gewichtet wird, hängt von ihrer Plausibilität ab. Die Plausibilität wurde von Abschnitt zu Abschnitt **gutachterlich** festgelegt.

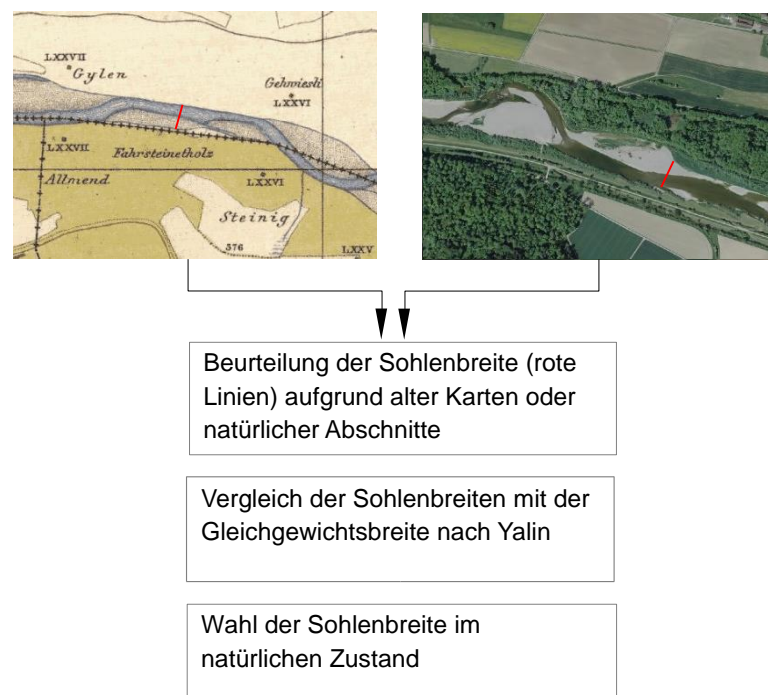


Abb. 3 Schema zur Ermittlung der natürlichen Sohlenbreite

Natürlich als Zielgrösse

Bei dem oben beschriebenen Verfahren wird davon ausgegangen, dass für den Raumbedarf die Sohlenbreite in einem natürlichen, den heutigen Gegebenheiten entsprechenden Zustand, massgebend ist. Bei diesem Zustand handelt es sich nicht um einen anthropogen unbeeinflussten

⁵ Requena, P., (2008), Seitenerosion in kiesführenden Flüssen, Mitteilung Nr. 210 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

Zustand. Vielmehr wird angenommen, dass harte Randbedingungen, wie zum Beispiel Stauanlagen, welche einen Einfluss auf das Abflussregime haben, bei der Bestimmung des Raumbedarfs mitberücksichtigt werden müssen. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Geschiebeführung so bewirtschaftet wird, dass sich ein Flussabschnitt in einem Gleichgewichtszustand befindet. Ein Auflandungszustand wäre aus Sicht Hochwasserschutz mehrheitlich nicht akzeptabel. Bei der Beurteilung der natürlichen Sohlenbreite spielt also auch der Geschiebehaushalt eine wichtige Rolle.

5.5. Natürliche Uferbreite

Die natürliche Uferbreite wird aus der Abflusstiefe beim bettbildenden Abfluss (HQ_2/HQ_5) und einer Böschungsneigung von 1:3 berechnet.

In der Natur variiert die Uferneigung je nach Gerinneform. Im vorliegenden Gutachten wurde der Einheitswert 1:3 angesetzt, weil damit die ermittelte natürliche Uferbreite mit der Berechnung der Breite „Minimalanforderung WBG“ und des Raumbedarfs nach Roulier übereinstimmt.

5.6. Gerinnebreite

Im vorliegenden Bericht wird der Begriff Gerinnebreite wie folgt definiert:

Gerinnebreite = Sohlenbreite + Ufer

Bei der natürlichen Gerinnebreite entspricht die Sohlenbreite in der Berechnung der natürlichen Sohlenbreite, die Uferbreiten werden mit 1:3 Böschungen angesetzt.

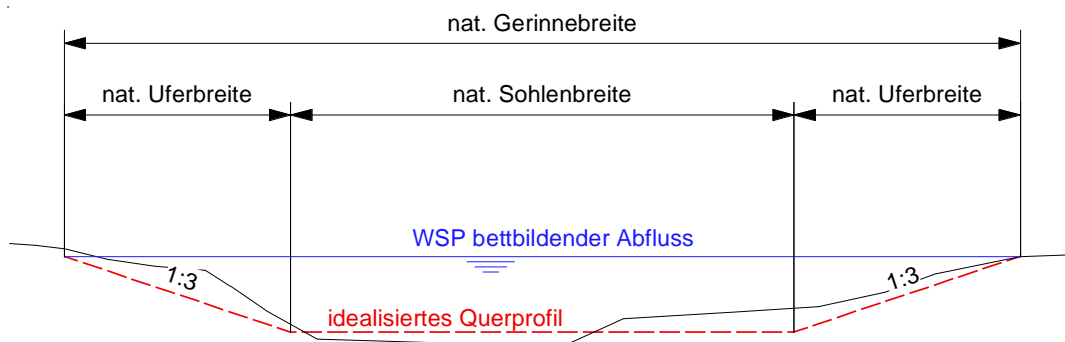


Abb. 4 Definition der natürlichen Gerinnebreite

5.7. Minimaler Gewässerraum

Der minimale Gewässerraum ist in der Gewässerschutzverordnung (GSchV Art. 41a, siehe Kap. 3.1) festgehalten.

Die Berechnung des minimalen Gewässerraums ist in Tabelle 3 dargestellt. Ausserhalb von Schutzgebieten gibt es in der GSchV keinen minimal vorgegebenen Gewässerraum bei Sohlenbreiten > 15 m. Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wurde zusammen mit dem AWEL definiert, dass in diesem Fall der minimale Gewässerraum gleich wie in Schutzgebieten berechnet wird.

Tabelle 3 Berechnung des minimalen Gewässerraums

	natürliche Sohlenbreite (SB)	minimaler Gewässerraum	Grundlage
Innerhalb von Schutzgebieten	weniger als 1 m	11 m	GSchV
	1 bis 5 m	$6 \times SB + 5 \text{ m}$	
	grösser als 5 m	SB + 30 m	
ausserhalb von Schutzgebieten	weniger als 2 m	11 m	
	2 bis 15 m	$2.5 \times SB + 7 \text{ m}$	
	grösser als 15 m	SB + 30 m	Definition AWEL

5.8. Breite zur Erfüllung der minimalen Anforderung nach Wasserbaugesetz Art.4

Definition

Die Breite zur Erfüllung der minimalen Anforderungen nach Wasserbaugesetz Art.4 (WBG [3]) wird bei der Subventionierung von Wasserprojekten angewendet. Sie ermöglicht die Grundsubvention durch den Bund von 35%.

Gemäss Art. 4 WBG müssen Gewässer und Gewässerraum so gestaltet sein, dass:

- sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können
- die Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischem Gewässer weitgehend erhalten bleiben
- eine standortgerechte Ufervegetation gedeihen kann

Berechnung

Um die minimalen Anforderungen nach WBG Art.4⁶ bei Gewässern mit einer natürlichen Sohlenbreite⁷ von über 15 m zu erfüllen, müssen folgende Breiten eingehalten werden:

$$\text{min. Breite (WBG)} = \text{nat. Sohlenbreite} + \text{amphib. Bereich} + \text{min. Uferbereichsbreite}$$

natürliche Sohlenbreite: Herleitung aus naturnahen Referenzstrecken, historischen Quellen und regimetheoretischen Ansätzen

amphibischer Bereich: Breite der Ufer (zwei pro Gerinne) mit einer Neigung von 1:3, als Uferhöhe wird die Fliesstiefe beim bettbildendem Abfluss (HQ₂-HQ₅) angesetzt

min. Uferbereichsbreite: 2 x 20 m

Link zum Raumbedarf nach Roulier

Im System Raumbedarf nach Roulier (Kapitel 5.9.1) entspricht die minimale Anforderung nach WBG Art.4 der vollen Erfüllung der folgenden Habitate bzw. Zonen:

- aquatischer Raum
- amphibischer Raum
- terrestrische Längsvernetzung
- Pufferstreifen

⁶ Berechnung gemäss BAFU in Anlehnung an Art.4 WBG

⁷ Falls die natürliche Sohlenbreite kleiner als 15 m ist, so stellt der minimale Gewässerraum nach GSchV Art. 41a die Minimalanforderung dar.

5.9. Natürlicher Raumbedarf / erhöhter Gewässerraum

Natürlicher Raumbedarf

Der natürliche Raumbedarf ist jener Raum, welcher dem Gewässer in einem natürlichen oder naturnahen Zustand ohne anthropogene Einflüsse morphologisch und ökologisch zur Verfügung stehen würde. Die Grösse des natürlichen Raumbedarfs ist eine wichtige Grösse zur späteren Definition des Gewässerraumes.

Methodik

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde entschieden, ein von Christian Roulier und Grégory Paccaud (Service conseil Zones alluviales) entwickeltes Verfahren zur Ermittlung des Raumbedarfs zu verwenden [5]. Für dieses Vorgehen spricht, dass das BAFU in Zukunft dieses Werkzeug unterstützen wird und auch die Bewertung von Projekten auf Basis des Verfahrens von Roulier erfolgen wird.

5.9.1. Natürlicher Raumbedarf nach Roulier

Ermittlung des Raumbedarfs

Das Verfahren von Roulier basiert darauf, dass zur Erfüllung der natürlichen Funktion eines Gewässers verschiedene Habitatszonen vorhanden sein müssen. Die Autoren unterscheiden zwischen bis zu sieben Zonen, die zur Erfüllung der natürlichen Funktionen beitragen. Jede Zone hat ihre eigene Gewichtung (Erfüllung in %). Die Gewichtung der Zonen ist abhängig vom Gewässertyp (gradlinig, verzweigt, schwach gewunden und stark gewunden, siehe Kap. 5.3). Die natürliche Sohlen- und Uferbreite (siehe Kap. 5.4 und 5.5) sind Referenzgrössen zur Definition der Breiten der Zonen und spielen darum im Verfahren eine zentrale Rolle.

Das Verfahren ermöglicht nicht nur den Raumbedarf (100 % Erfüllung der natürlichen Funktionen), sondern auch den Erfüllungsgrad eines beliebig breit gewählten Gewässerraumes zu ermitteln.

*Einteilung und
Gewichtung der
Habitats*

Je nach Gerinneform werden die einzelnen Habitats nach Roulier unterschiedlich gewichtet. In der Tabelle 4 sind alle Habitats sowie ihre Gewichtungen, bezogen auf die Gesamtbreite, zusammengestellt.

Tabelle 4 Beschreibung und Gewichtung der Habitats nach Roulier

Habitat / Zone	Beschreibung	Gewichtung nach Gerinneform		
		gerades Gerinne	verzweigt oder schwach gewundenes Gerinne	stark gewundenes Gerinne
aquatischer Raum	Gewässersohle	40%	20%	20%
amphibischer Raum	Uferzone	20%	10%	10%
terrestrische Längsvernetzung	Gehölz / Wald	20%	10%	10%
Pufferzone	Schutz vor Schadstoffeintrag	20%	10%	10%
Pionierstandorte / typische terrestrische Strukturen	terrestrische Standorte, welche regelmässig durch das Gewässer morphologisch umgestaltet werden	-	25%	20%
um das Gewässer typische Lebensgemeinschaften	Flora und Fauna, welche sich unmittelbar am Gewässer bildet und deren Existenz vom Bestehen des Gewässers mit seinen typischen terrestrischen Strukturen abhängt	-	25%	20%
Überflutungsdynamik bzw. Schwemmland	Flächen, welche schon bei einem kleineren Hochwasser (> HQ ₂) überschwemmt werden können	-	-	10%
Total		100%	100%	100%

Ermittlung des Raumbedarfs

Der Raumbedarf resp. der Erfüllungsgrad eines beliebig breit gewählten Gewässerraumes kann so nach dem System von Roulier hergeleitet werden. Für jeden Abschnitt ergibt sich ein Diagramm (Abb. 5), welches den Erfüllungsgrad in Abhängigkeit zur Breite darstellt. Die maximale Breite (100% Erfüllung) bildet den natürlichen Raumbedarf. Steht einem Gewässer aufgrund anthropogener Einflüsse nicht 100% seiner natürlichen Breite zur Verfügung, so reduziert sich dessen Erfüllungsgrad. Im Beispiel von Abb. 5 benötigt die Thur eine Breite von 510 m für eine 100 %-ige Erfüllung ihrer natürlichen Funktionen. Stünde ihr nur 347 m zur Verfügung betrüge ihr Erfüllungsgrad nur noch 80%. Die zonenspezifische Berechnung der Breiten bzw. Erfüllungsgrade ist im Bericht von Roulier und Paccaud [5] detailliert beschrieben.

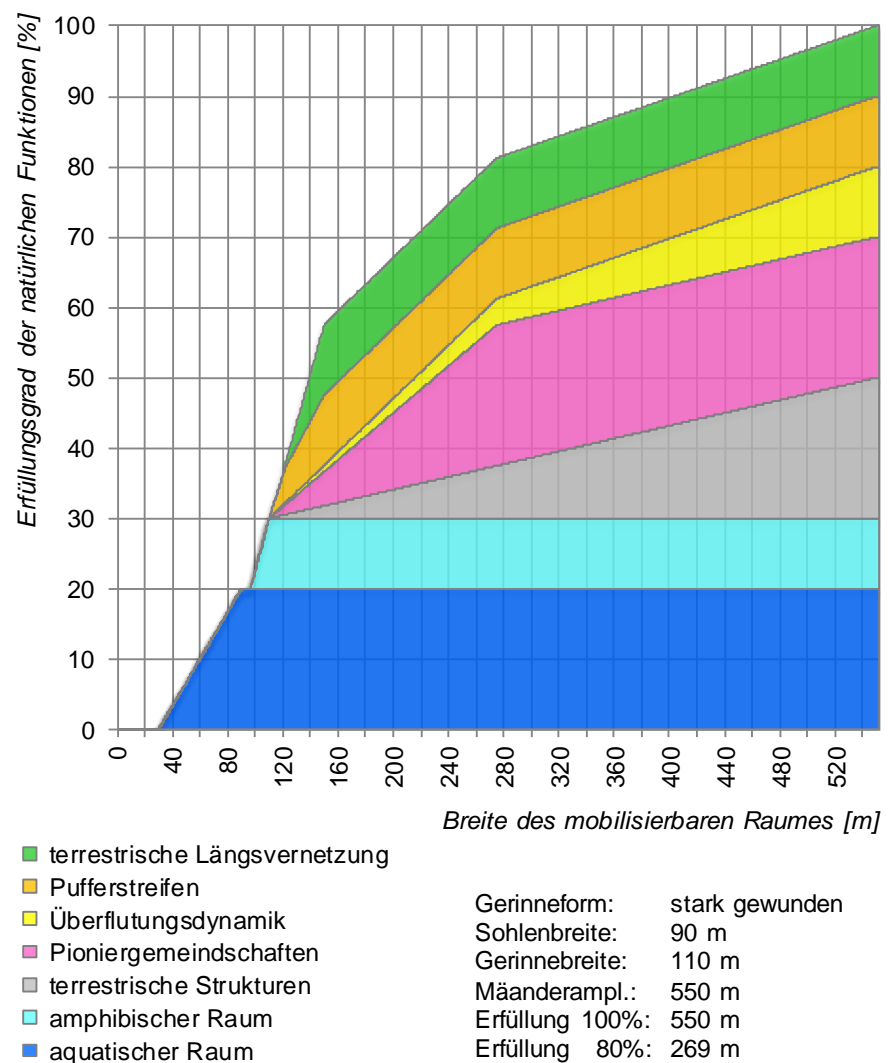


Abb. 5 Beispiel eines Diagramms nach Roulier, welches den Erfüllungsgrad eines Gewässerabschnittes (Thur Abschnitt 1) in Abhängigkeit zur Breite aufzeigt. Der Raumbedarf (100% Erfüllung) beträgt hier 510m.

*Umsetzung des
Verfahrens Roulier*

Im Vorliegenden Gutachten wurden für jeden Gewässerabschnitt die Funktionendiagramme sowie die Breiten für 80, 90 und 100% Erfüllung ermittelt. Auf den Karten sind jeweils die Breiten von 80 und 100% Erfüllung dargestellt.

5.9.2. Erhöhter Gewässerraum*Definition*

Das BAFU spricht bei einer Gewässerraumbreite, welche die ökologischen Funktionen (Biodiversität) fördern, von einem erhöhten Gewässerraum. Gemäss Empfehlungen des BAFU wird der erhöhte Gewässerraum (siehe Kapitel 3.1 und 3.2) mit dem Verfahren nach Roulier bestimmt.

Der erhöhte Gewässerraum ist eine Grösse, welche bei der Subventionierung von Wasserbauprojekten als Referenzgrösse genutzt wird, um zusätzliche Beiträge zu beantragen. Unter dem erhöhten Gewässerraum versteht das BAFU jenen Raum oder Mehrwert, welcher die Minimalanforderung nach WBG Art.4 übertrifft (siehe Kapitel 5.8). Der erhöhte Gewässerraum ist somit keine fixe Grösse.

Anwendung

Der natürliche Raumbedarf ist eine wichtige Grundlage zur Definition des erhöhten Gewässerraumes. Bei Wasserbauprojekten muss der erhöhte Gewässerraum von Fall zu Fall gutachterlich ermittelt werden.

In der vorliegenden Studie wird nur der natürliche Raumbedarf mit den verschiedenen Erfüllungsgraden und nicht der erhöhte Gewässerraum hergeleitet. Die Ermittlung bzw. der Nachweis eines erhöhten Gewässerraums ist im Zusammenhang mit der Bewertung von Wasserbauprojekten notwendig.

5.10. Pendelbandbreite

Die Pendelbandbreite beträgt gemäss Roulier 5-mal die natürliche Sohlenbreite. Diese Definition entspricht auch dem Faltblatt "Raum den Fliessgewässern" [10], wo von einer Pendelbandbreite von 5- bis 6-mal die natürliche Sohlenbreite ausgegangen wird.

Im vorliegenden Gutachten wurde die Pendelbandbreite mit 5-mal der natürlichen Sohlenbreite berechnet. Die Pendelbandbreite wurde in allen Abschnitten berechnet und dargestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass in gewissen Abschnitten eine Pendelbewegung aufgrund einengender Talflanken nur beschränkt bzw. in geologischen Zeiträumen möglich ist (z.B. bei Talmäandern).

5.11. Hochwasserschutzbreite

Anforderungen der GSchV an den Hochwasserschutz

Laut der GSchV Art. 41a Abs. 3 soll der Raumbedarf erhöht werden, falls zur Abfuhr von Hochwasserereignissen grössere Breiten erforderlich sind. In dicht überbauten Gebieten kann gemäss GSchV Art. 41a Abs. 4 die Breite des Gewässerraums den baulichen Gegebenheiten angepasst werden, soweit dann noch der Schutz vor Hochwasser gewährleistet werden kann. Die für die sichere Abfuhr von Hochwasserereignissen erforderliche Gerinnebreite ist in beiden genannten Fällen eine zentrale Grösse.

Möglichkeiten des Hochwasserschutzes

Der Hochwasserschutz kann i.A. mit verschiedenen Massnahmen (Ufererhöhungen, Gewässerverbreiterung, Sohlenabsenkung, Hochwasserrückhalt) sichergestellt werden. Bei Hochwasserschutzprojekten wird die auszuführende Lösung in der Regel nach einem Variantenvergleich unter Berücksichtigung verschiedener Beurteilungskriterien (Kosten-Nutzen-Analyse, Wirksamkeit, Vereinbarkeit mit äusseren Randbedingungen, Revitalisierungspotential) gewählt. Auf Grundlage der Beurteilung wird für den Hochwasserschutz gegebenenfalls auf eine Verbreiterung des Gewässers verzichtet.

Hydraulische Mindestbreite

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens können diese umfangreichen, projektbezogenen Abklärungen nicht durchgeführt werden. Stattdessen wird eine theoretische Breite zur Sicherstellung des Hochwasserschutzes (HWS-Breite) bestimmt. Diese HWS-Breite ist eine Indikatorgrösse und dient:

- dem Erkennen allfällig zu vergrössernder Gerinnebreiten gemäss GSchV Art. 41a Abs. 3 und
- der Information über eine in dicht überbauten Gebieten (GSchV Art. 41a Abs. 4) mindestens zu erreichende Gerinnebreite.

Bei einer Verbreiterung des Gerinnes auf die HWS-Breite kann der Hochwasserschutz inkl. Freibord, unter Annahme der heutigen topographischen Verhältnisse (mit den vorhandenen Dämmen), gewährleistet werden.

Vorgehen

Die HWS-Breite wird im vorliegenden Gutachten folgendermassen definiert:

Das Gewässer ist breit genug, um mit der heutigen Gewässertiefe und dem Längsgefälle unter Normalabflussbedingungen ein Hochwasser mit einem ausreichenden Freibord (gemäss Freibordpapier des Kantons Zürich) abzuführen.

Das Gewässerprofil wird vereinfachend als Regelprofil mit beidseitigen Böschungsneigungen von 1:2 betrachtet. Allfällige Unterhaltswege werden bei den Breiten nicht dazugerechnet (vgl. Abb. 6).

Die HWS-Breite wird unabhängig von tatsächlich vorhandenen Schutzdefiziten und Gefährdungsbildern der Gefahrenkarte ermittelt. Der Einfluss von allenfalls problematischen Brücken, Durchlässen u.ä. wird nicht berücksichtigt.

Im Rahmen dieses Gutachtens werden die hydraulisch erforderlichen Breiten für das HQ_{100} und für das HQ_{300} berechnet. Die Hochwasserabflüsse werden aus den Technischen Berichten der Gefahrenkarten übernommen. Wo diese noch nicht vorliegen, wird auf hydrologische Studien oder Daten der Messstationen zugegriffen.

Die heutige Gewässertiefe (minimale Uferhöhe – mittlere Sohlenlage) und das Längsgefälle werden den Längsprofilen resp. Querprofilen aktueller Vermessungsdaten entnommen. Heutige gewässernahe Dämme werden berücksichtigt.

Bei der hydraulischen Berechnung wird nur der Rechteckquerschnitt über der Sohle als abflusswirksam angesetzt. Es wird damit, dem sich möglicherweise auf dem Ufer einstellenden Bewuchs Rechnung getragen, der den Abflussquerschnitt reduziert und als Rauheitselement wirkt⁸. Die Sohlenrauheit wird anhand des Sohlenmaterials über $k_{st} = 23.5 / d_{90}^{1/6}$ abgeschätzt.

⁸ Einfluss der Vegetation im Gerinne bei extremen Abflussmengen, Martin Jäggi und Pius Kuster, VAW, Ursachenanalyse HU87, BWW Nr. 4

Das einzuhaltende Freibord liegt zwischen 0.5 m bis 1.5 m („Freibord im Kanton Zürich“, AWEL, 15. Okt. 2014) und wird anhand der Fließgeschwindigkeit und Fliesstiefe ermittelt. Es wird kein Term für die Unsicherheiten der Sohlenlage berücksichtigt.

Anhand der Berechnungsergebnisse wird gutachterlich pro Abschnitt für das HQ_{100} und das HQ_{300} ein Wert festgelegt.

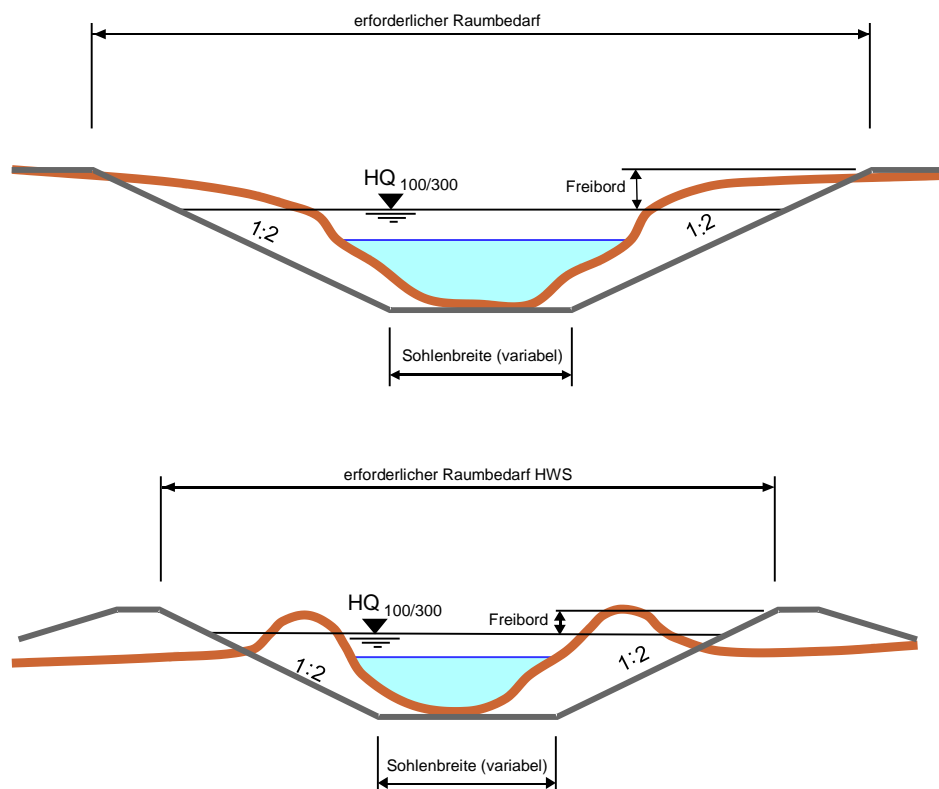


Abb. 6 Regelprofil für die Abschätzung der erforderlichen HWS-Breite⁹ ohne Damm (oben) resp. mit Damm (unten)

⁹ aus: Umsetzungsprogramm Gewässerschutzgesetz im Kanton Zürich, Festlegung des Gewässerraums im Siedlungsgebiet, Struktur und Inhalte der Arbeitshilfe («Werkzeugkasten»), Vernehmlassungsdokument, Zürich, 05.12.2014, angepasst von HZP (ohne Unterhaltswege)

Annahmen:

- Sicherstellung des Hochwasserschutzes nur mit einer Verbreiterung
- Vorhandene Schutzbauwerke (z.B. HRB, Dämme, etc.) werden berücksichtigt.
- Die hydraulische Mindestbreite wird unabhängig von tatsächlich vorhanden Schutzdefiziten und Gefährdungsbildern der Gefahrenkarte ermittelt.
- Brücken, Durchlässe u.a. Kunstbauwerke werden nicht berücksichtigt.
- Ein einzuhaltendes Freibord von 0.5 bis 1.5 m, gemäss aktueller Praxis des Kantons Zürich („Freibord im Kanton Zürich“, AWEL, 15. Okt. 2014), wird berücksichtigt.

5.12. Produkte

Für jedes untersuchte Gewässer wurde jeweils ein eigenes Dossier erstellt. Nach dem allgemeinen Beschrieb zum Gutachten (Kap. 1 bis 5) folgt der gewässerspezifische Beschrieb der Resultate.

Faktenblätter

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Form von Faktenblätter in Kapitel 6 beschrieben.

Karte Resultate

Eine Auswahl der Resultate ist auf Karten mit Massstab 1:5'000 dargestellt. Sie enthalten folgende Angaben:

auf Karte eingezeichnet:

- natürliche Sohlenbreite
- minimaler Gewässerraum (nach Schlüsselkurve)
- Breite Mindestanforderung WBG Art. 4
- Pendelbandbreite (5 x natürliche Sohlenbreite)
- Mobilitätsraum bei Roulier bei 80 und 100% Erfüllung
- Grundwasserschutzzonen Fruchtfolgeflächen, Waldflächen, Naturschutzgebiete
- Raumbedarf möglicher Revitalisierungsprojekte

in Tabellenform:

- Abschnittsdefinition
- natürliche Sohlenbreite
- minimaler Gewässerraum (nach Schlüsselkurve)
- Breite Mindestanforderung WBG Art. 4
- Pendelbandbreite
- Breiten Mobilitätsraum bei Roulier bei 80, 90 und 100% Erfüllung
- mindestbreite GWR Hochwasserschutz (HQ_{100} und HQ_{300})

Grundlagenkarte historischer Gewässerverlauf

Für jedes Gewässer wurden Grundlagenkarten mit Massstab 1:25'000 erstellt. Nach Grundlage von alten Karten sind darauf historische Gewässerverläufe eingezeichnet.

5.13. Anwendung der verschiedenen Breiten bei der Gewässerraumfestlegung

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wurden zahlreiche Breiten ermittelt die im nächsten Schritt als Grundlage zur Definition des Gewässerraums dienen. Dieses Kapitel beschreibt den Anwendungsbereich und die Aussagekraft der verschiedenen Breiten für die Gewässerraumfestlegung.

Natürliche Sohlen- und Gerinnebreite

Aus der natürlichen Sohlen- und Gerinnebreite leiten sich, mit Ausnahme der Hochwasserschutzbreite, alle relevanten Grössen (minimaler GWR, Breite WBG Art. 4, Pendelbandbreite, usw.) zur Festlegung des Gewässerraumes ab. Die Sohlen- und Gerinnebreite selbst stellen jedoch keine Zielgrössen im Hinblick auf die Gewässerraumausscheidung dar.

Minimaler Gewässerraum nach GschV

Der minimale Gewässerraum nach Gewässerschutzgesetz Art. 36a und Gewässerschutzverordnung Art. 41a definiert die gesetzlich vorgeschriebene Mindestgrösse des Gewässerraumes. Diese Breite muss bei der Gewässerraumfestlegung als Mindestmass eingehalten werden. In dicht überbauten Gebieten kann der Gewässerraum den baulichen Gegebenheiten angepasst werden, sofern der Schutz vor Hochwasser gewährleistet ist.

Breite Minimalanforderung WBG Art. 4

Die Breite gemäss der Minimalanforderung nach Wasserbaugesetz (WBG) Art. 4 ist eine Grösse, welche gemäss Aussage des BAFU (P. Dändliker) vom 27. Mai 2015 bei der Subventionierung von Flussbauprojekten relevant ist. Sie definiert den Raum, der einem Fluss zur Verfügung gestellt werden muss, um bei Wasserbauprojekten die 35% Grundsubventionen vom Bund beantragen zu können. Bei Abschnitten mit einem Hochwasserschutzdefizit sollte darum die Minimalanforderung nach WBG, wenn immer möglich, als Mindestgrösse für den Gewässerraum eingehalten werden. Auch ohne vorgesehene Wasserbauprojekte bildet diese Breite aber eine wichtige Mindestzielgrösse. Sie sichert dem Gewässer in der Regel den Raum zur Erfüllung seiner wichtigsten natürlichen Funktionen und auch genügend Platz für den Hochwasserschutz.

Raumbedarf nach Roulier

Die Breite des Raumbedarfs zur Erfüllung der natürlichen Funktionen wurde im vorliegenden Gutachten mit dem System nach Roulier ermittelt. Diese Breite definiert den Raum, welcher ein Gewässer braucht, um seine natürlichen Funktionen¹⁰ zu erfüllen. Die volle Breite des Raumbedarfs nach Roulier kann als ökologisches Optimum betrachtet werden.

¹⁰ Nach dem System Roulier entspricht der volle Raumbedarf einer 100% Erfüllung der natürlichen Funktionen

<i>Erhöhter Gewässerraum</i>	<p>Der erhöhte Gewässerraum ist wie die Minimalanforderung nach WBG eine Grösse, welche bei der Finanzierung von Wasserbauprojekten von Bedeutung ist. Wird der erhöhte Gewässerraum erreicht, so erhöht sich bei Projekten der Beitrag durch den Bund zusätzlich zur Grundsubvention (35%) um weitere 25%. Unter dem erhöhten Gewässerraum versteht sich der Mehrwert, welcher die Minimalanforderung nach WBG Art. 4 übertrifft. In Gewässerraumbreite ausgedrückt heisst dies, dass alles was breiter ist als die Breite gemäss der Minimalanforderung nach WBG Art. 4 zum erhöhten Gewässerraum gehört. Die notwendige Grösse des Mehrwertes ist nicht definiert, sondern wird von Projekt zu Projekt vom Bund geprüft und entschieden. In der Regel liegt der erhöhte Gewässerraum zwischen dem Raumbedarf¹¹ nach Roulier und der Minimalanforderung nach WBG. Es ist jedoch zu beachten, dass nicht alleine die Grösse des Gewässerraums, sondern auch die Qualität des zur Verfügung gestellten Platzes für die Anrechenbarkeit wichtig ist. Vom Fluss morphologisch nutzbare Flächen werden z.B. viel höher bewertet als befestigtes Schwemmland. Für ein Wasserbauprojekt bedeutet dies, dass für den Gewässerraum wenn immer möglich eine Breite grösser als die Minimalanforderung nach WBG Art. 4 angestrebt werden sollte. Dies würde sich bei der Finanzierung von Projekten bezahlt machen.</p>
<i>Pendelbandbreite</i>	<p>Die Pendelbandbreite ist eine klar definierte Grösse, welche bei Wasserbauprojekten einen weiteren Subventionszuschlag ermöglicht. Sobald die Pendelbandbreite erreicht und als Gewässerraum gesichert wird, erhöht sich die Bundessubvention fürs Projekt um weitere 10%. Die Pendelbandbreite ist im dicht genutzten Mittelland aber oft nur schwer zu erreichen. Bei natürlicherweise mäandrierenden oder breit verzweigten Gewässern liegt sie in der Regel nahe dem Raumbedarf nach Roulier und somit am erhöhten Gewässerraum. Hier lohnt es sich, mit der Gewässerraumausscheidung das Erreichen der Pendelbandbreite zu prüfen. Bei eingeschnittenen Gewässerläufen ist das Umsetzen der Pendelbandbreite nicht sinnvoll.</p>
<i>Hochwasserschutzbreite</i>	<p>Die Hochwasserschutzbreiten geben an, welche Gerinnebreiten auf Basis der heutigen Gerinnetiefe gebraucht würden, um ein Hochwasser (inkl. Freibord) abführen zu können. Sie liefert einen wichtigen Anhaltspunkt, welcher Gewässerraum nötig ist, um ein Hochwasser schadlos abführen zu können. Bei einer Reduktion des Gewässerraums im dicht überbauten Gebiet gibt die Hochwasserschutzbreite an, wie stark der Gewässerraum je nach Schutzziel reduziert werden darf. Die Breiten bieten nur Aussagen zum Hochwasserschutz und nicht zur Ökologie.</p>

¹¹ Zu beachten ist: Bei geraden Gerinnen entspricht der Raumbedarf der minimalen Anforderung nach WBG.

6. Resultate Limmat

6.1. Charakteristiken gesamter Untersuchungsperimeter

Flusslauf

Die Limmat entspringt am Nordende des Zürichsees (km 36.3). Auf den ersten 4.4 km fliesst sie in nordwestlicher Richtung durch die Zürcher Innenstadt, anschliessend, unterhalb des Zürcher Hauptbahnhofs, mündet die Sihl (km 31.9) in den Vorfluter. Die Limmat fliesst weiter Richtung Nordwesten, vorbei an der Hardbrücke (km 32.9), Wipkingen (km 32.4), Höngg (km 30.8) und Altstetten (km 30.0) entlang der nördlichen Flanke des Limmattals. Bei Schlieren (km 27.1) wendet sich der Fluss Richtung Südwesten bis er bei Dietikon (km 22.8) wieder nach Nordwesten abbiegt. Nach der Mündung der Reppisch (km 21.2) unterhalb Dietikon fliesst die Limmat wieder entlang der nördlichen Talflanke vorbei an Spreitenbach (km 18.4). Hier wird die Talebene topografisch zunehmend enger. Unterhalb Spreitenbach (km 18.1) verlässt die Limmat den Kanton Zürich Richtung Aargau.

Einzugsgebiet

Die Limmat hat beim Ausfluss aus dem Zürichsee bereits ein grosses Einzugsgebiet von 1'830 km². Unterhalb des Zürichsees bildet die Sihl (EZG = 344 km²) den grössten Zufluss. Dieser führt als erster Zulauf grössere Mengen an Geschiebe in die Limmat. Nebst zahlreichen kleineren Zuflüssen bildet im Kanton Zürich noch die Reppisch (EZG = 69 km²) einen wichtigen Zulauf. Das Gesamteinzugsgebiet der Limmat vor dem Verlassen des Kanton Zürichs beträgt 2'310 km².



Abb. 7 Übersicht Teileinzugsgebiet der Limmat im Kanton ZH

Abschnittsunterteilung

Zur Bestimmung des Raumbedarfs wurde die Limmat in drei Abschnitte unterteilt. Nachfolgend werden die Abschnitte detailliert beschrieben. Nach einer Übersicht zur Abschnittsdefinition und der dafür verwendeten Parametern (Abb. 8, Tabelle 5, Abb. 9) werden die Abschnitte einzeln vorgestellt sowie die Herleitung der natürlichen Sohlenbreite und des Raumbedarfs beschrieben.

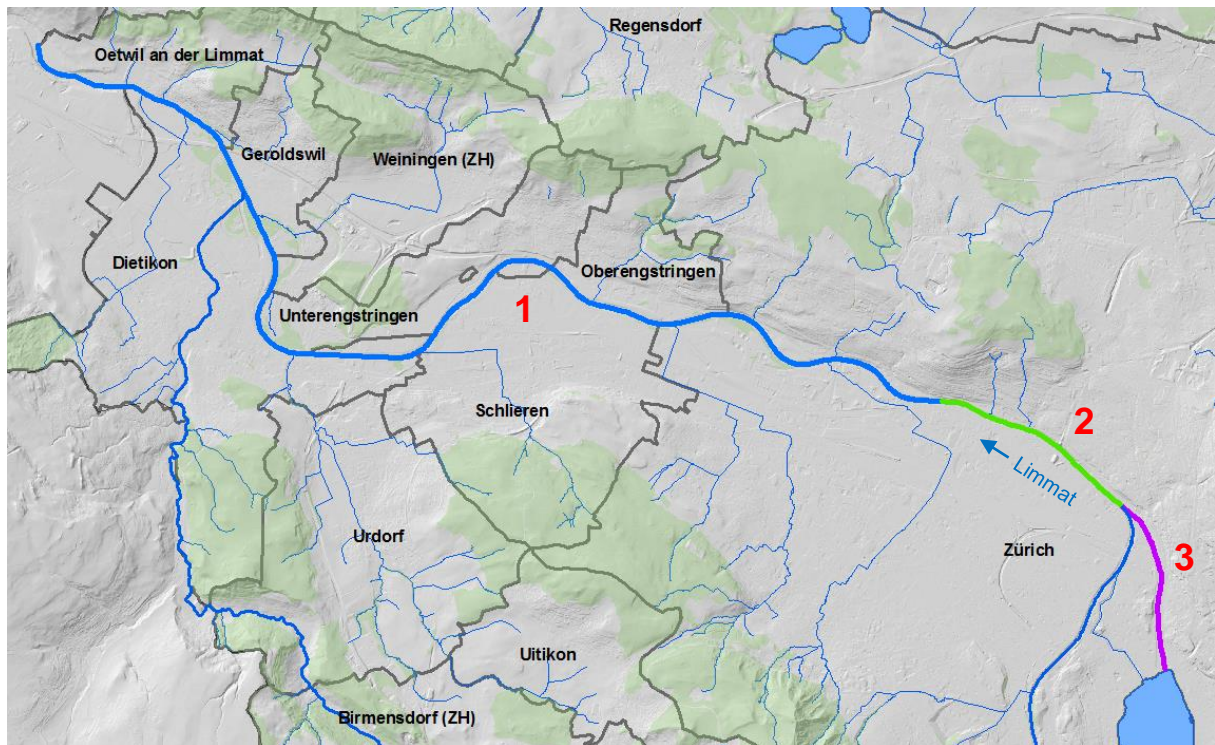


Abb. 8 Übersicht über die gewählten Abschnitte an der Limmat (rot nummeriert)

Tabelle 5 Charakteristiken Abschnitte

		Limmat		
Abschnittsdefinition	Abschnittsnummer	1	2	3
	GEWISS km	18.1 - 31.9	31.9 - 34.3	34.3 - 36.3
	Länge [km]	13.8	2.4	2.0
heutiger Flusslauf	Brutogefälle [m/m]	0.0015	0.0017	0.0009
	mittleres Netogefälle [m/m]	0.0013	0.0017	eingestaute Strecke
	Sohlenbreite [m] (nach Ökomorph. Stufe F)	55 - 60	50 - 60	55 - 120
	mittlere Gerinnetiefe [m]	4.3	4.7	eingestaute Strecke
Hydrologie	Einzugsgebiet [km ²]	2310	2170	1830
	HQ2 [m ³ /s]	357	335	240
	HQ5 [m ³ /s]	430	406	260
	HQ100 [m ³ /s]	oberhalb Reppisch: 640 unterhalb Reppisch: 720	600	350
	HQ300 [m ³ /s]	oberhalb Reppisch: 690 unterhalb Reppisch: 800	600	380
GWR aus Sicht HWS	Breite [m] bei HQ100	oberhalb Reppisch: 95 unterhalb Reppisch: 105	70	70
	Breite [m] bei HQ300	oberhalb Reppisch: 101 unterhalb Reppisch: 110	70	70
Gerinneform	natürliche Gerinneform	verzweigt anastomosierend	alternierende Bänke	alternierende Bänke
	Einteilung Gerinneform nach System Roulier	verzweigtes Gerinne	gerades Gerinne	gerades Gerinne
Regime-theorie	Gleichgewichtsbreite [m] (nach Yalin)	65	61	47
	Grenzbreite [m] (nach Ashmore)	70	67	-
gewählte natürliche Breiten	ausgewählte Grundlagen zur Breitenbestimmung	alte Karten Berechnungen IST-Zustand	alte Karten Berechnungen IST-Zustand	alte Karten Berechnungen IST-Zustand
	Sohlenbreite [m]	70	60	55
	Gerinnebreite [m] (Sohle + Ufer)	100	75	70
	Mäanderamplitude [m]	-	-	-
GSchG	Minimaler GWR [m] (Biodiversitätskurve BAFU)	100	90	85
	Pendelbandbreite [m] (5 x nat. Sohlebreite)	350	300	275
WBG	Breite [m] gemäss Mindestanforderung Wasserbaugesetz Art. 4	140	115	110
Erfüllung natürliche Funktionen (Roulier)	Breite Raumbedarf [m] bei 80 % Erfüllung	190	96	91
	Breite Raumbedarf [m] bei 90 % Erfüllung	220	106	101
	Breite Raumbedarf [m] bei 100 % Erfüllung	250	115	110

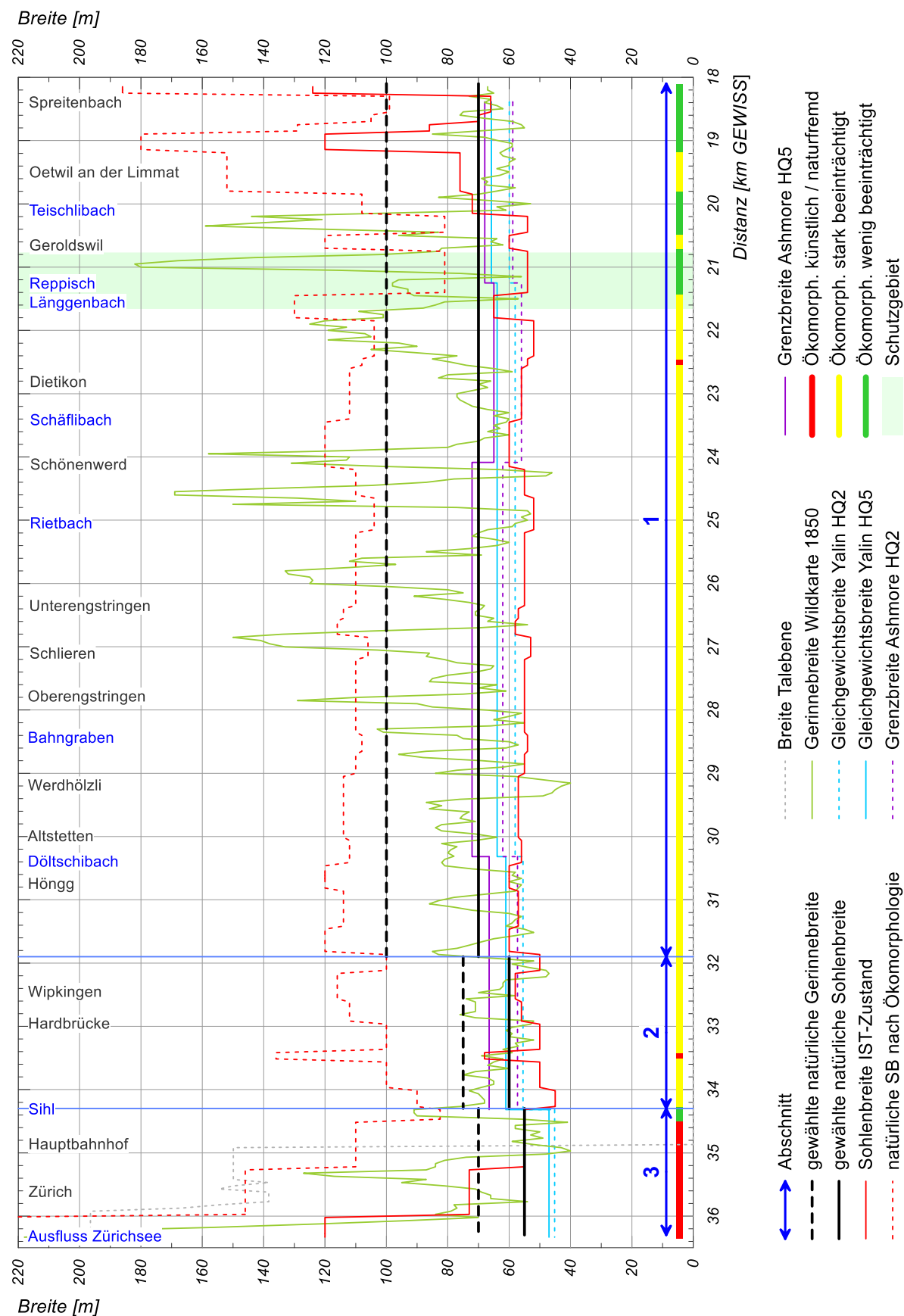


Abb. 9 natürliche Breite der Limmat km GEWISS 18.1 – 36.3

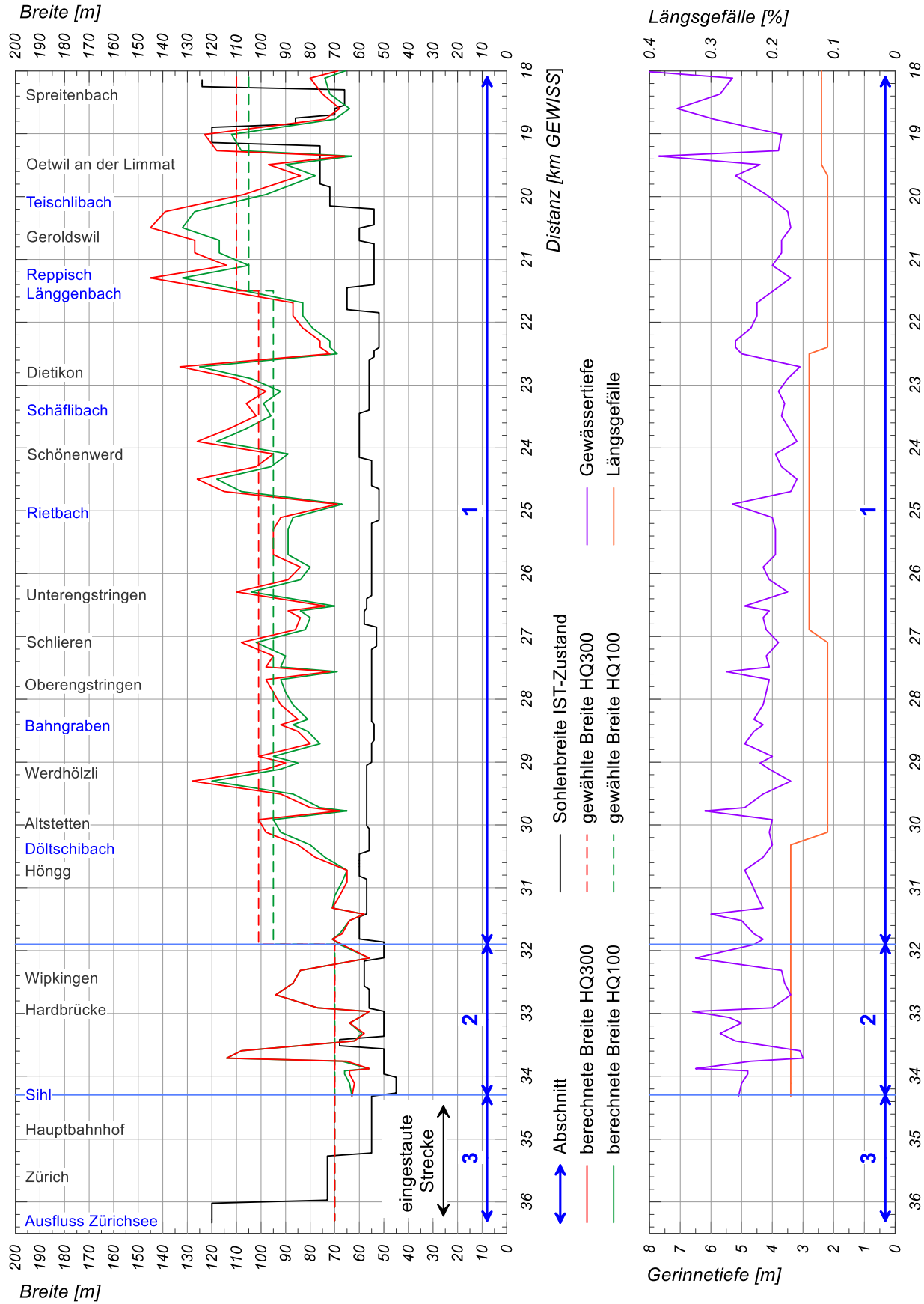


Abb. 10 HWS-Breite der Limmat km GEWISS 18.1 – 36.3

*Plausibilisierung
Gerinneform in
Yalin - Da-Silva –
Diagramm*

Im vorliegenden Gutachten wurden die natürlichen Gerinneformen abschnittsweise aufgrund von naturnahen Referenzstrecken, historischen Dokumenten und morphologischen Gegebenheiten hergeleitet. (siehe Kapitel 6.2 - 6.4)

Zur Plausibilisierung der gewählten Gerinneformen wurden die Abschnitte zusätzlich in einem sogenannten Yalin – da Silva – Diagramm¹² dargestellt. Das Diagramm zeigt, welche Morphologie sich als Funktion der Verhältnisse von Abflusstiefe zu Korndurchmesser resp. Bettbreite zu Abflusstiefe einstellen wird. Bei der Gerinnebreite und der Gerinnetiefe wurden jeweils die natürlichen hergeleiteten Grössen eingesetzt. Die dargestellten Übergänge zwischen den Gerinneformen sind fließend und können nicht scharf abgegrenzt werden.

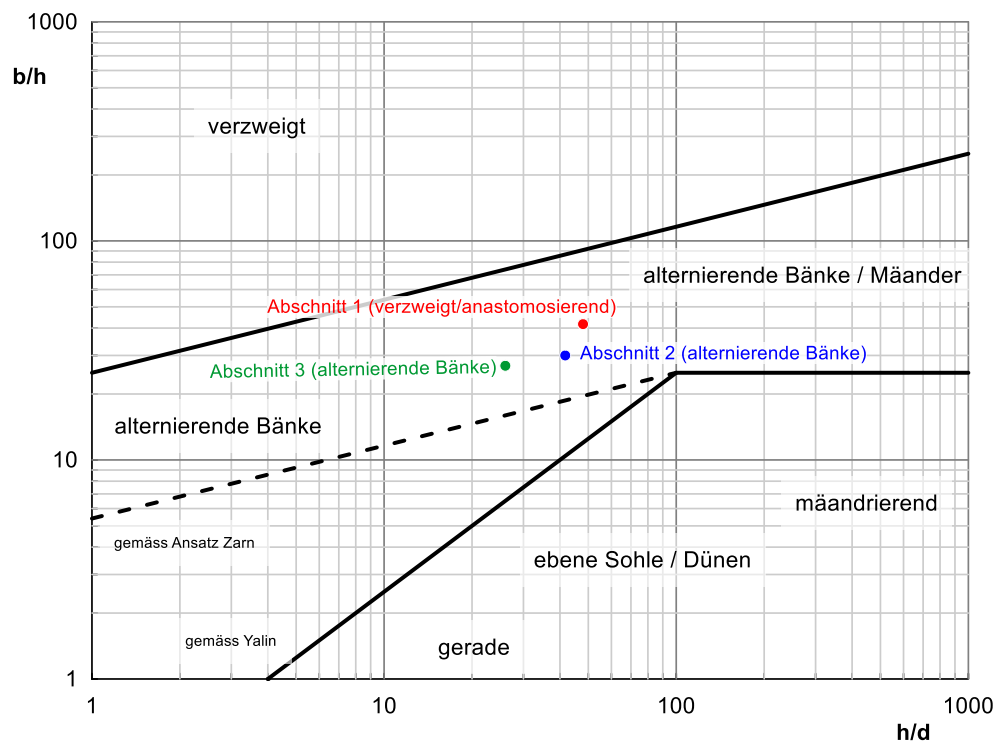


Abb. 11 Einordnung der Abschnitte an der Limmat im Yalin - Da-Silva – Diagramm. Bei b (Gerinnebreite) und h (Gerinnetiefe) wurden jeweils die hergeleiteten natürlichen Grössen eingesetzt. In Klammer sind die gewählten natürlichen Gerinneformen angegeben.

¹² da Silva, A.M.A.F., Alternate bars and related alluvial processes, Queen's University, Kingston, 1991

6.2. Abschnitt 1 (GEWISS km 18.1 – 31.9)

Der Abschnitt 1 erstreckt sich von Spreitenbach (km 18.1) bis oberhalb von Höngg (km 31.9). Die Limmat verläuft in diesem Abschnitt durch das breite Limmattal. Obwohl die Schuttkegel der Sihl und der Reppisch den Fluss an die rechte Talflanke drängten, hatte die Limmat im Naturzustand Platz sich zu verzweigen. Auf den historischen Karten (Abb. 22 - Abb. 27) ist ein Flusslauf erkennbar, welcher mehrere Einzelgerinne, bewachsene Inseln sowie eine leicht gewundene Form aufwies (anastomosierender Flusslauf). Zur Ermittlung des Raumbedarfs nach Roulier wird für diesen Regimetyp eine verzweigte Morphologie angenommen. Der Zufluss der Reppisch bei km 21.25 hat einen verhältnismässig geringen Einfluss auf die Regimetreite der Limmat. Dies zum einen weil der Geschiebeeintrag durch die Reppisch relativ gering ist, zum anderen weil sich die Änderung im bettbildenden Abfluss nicht massgebend auf die regimetheoretischen Berechnungen auswirkt. Die Reppisch wurde deshalb nicht zur Abschnittsunterteilung berücksichtigt. Bei der Auswertung der Hochwasserschutzbreite wurde hingegen an der Reppischmündung eine Unterteilung vorgenommen.

Im heutigen Zustand ist die Limmat in Abschnitt 1 mehrheitlich stark verbaut (Abb. 13 - Abb. 21). Sie wird aus ökomorphologischer Sicht als stark beeinträchtigt eingestuft.

Grundlagen Breitenbestimmung

Die regimetheoretischen Ansätze ergeben bei einem bettbildenden Abfluss HQ5 eine Gleichgewichtsbreite von 65 m und eine Grenzbreite von 70 m. Da es sich um ein verzweigtes Gerinne handelt, welches im Naturzustand genügend Platz hatte, liegt die natürliche Sohlenbreite näher an der Grenzbreite als an der Gleichgewichtsbreite.

Die Wild-Karte von 1850 zeigt eine Gerinnebreite von 50 bis 150 m auf. Die Gerinnebreite ergibt sich aus der Sohle und den mehrheitlich vegetationsfreien Ufern. Da der Bewuchs auf der Wildkarte nicht immer eindeutig ersichtlich ist, müssen die Breiten aus der Wildkarte kritisch hinterfragt werden. (Abb. 9, Abb. 23, Abb. 26).

Festlegung der natürlichen Breiten

Aufgrund der regimetheoretischen Ansätze (Ashmore) und der historischen Karten wurden die natürliche Gerinnebreite¹³ bei 100 m und die natürliche Sohlenbreite bei 70 m festgelegt.

¹³ verzweigtes Gerinne bei Limmat Abschnitt 1 = 2 Gerinne mit je 2 Uferbreiten

Tabelle 6 Herleitung der natürlichen Sohlenbreite im Abschnitt 1

	Sohlenbreite	Gewichtung
naturnahe Referenzstrecken	-	0%
historische Karten	80 m	0%
Gleichgewichtsbreite	65 m	0%
Grenzbreite	70 m	100%
resultierende Sohlenbreite	70 m	

Daraus ergibt sich nach Roulier bei 100% Erfüllung ein Raumbedarf von 250 m (Abb. 12). Die Schlüsselkurve des BAFU ergibt einen minimalen Gewässerraum von 100 m. (Tabelle 5).

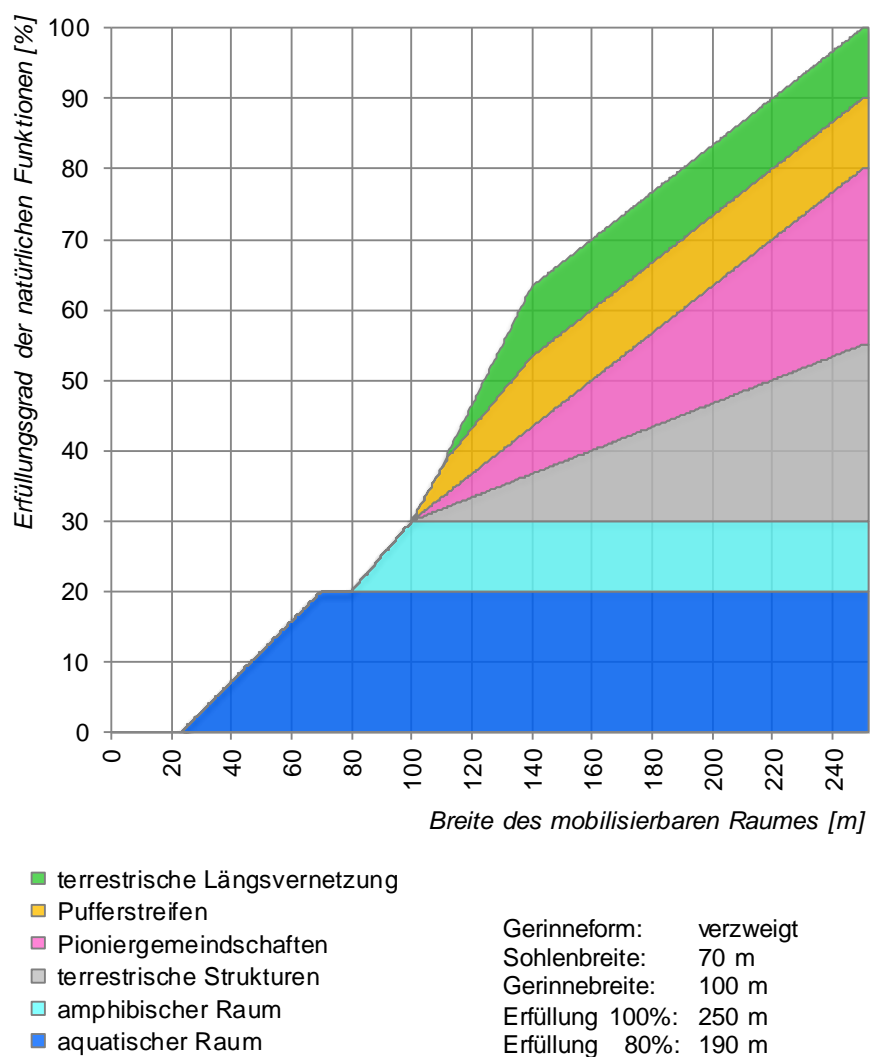


Abb. 12 Limmat Abschnitt 1, Erfüllung der natürlichen Funktionen in Abhängigkeit zur Breite des Gewässerraumes nach Roulier

Hochwasserschutzbreite Im heutigen Zustand hat der Abschnitt 1 im Mittel eine Gerinnetiefe von 4.3 m und ein Netogefälle von 0.13 %. Die Hochwasserabflüsse oberhalb der Reppischmündung betragen beim HQ_{100} 640 m³/s und beim HQ_{300} 690 m³/s. Daraus ergeben sich Hochwasserschutzbreiten bei HQ_{100} von 95 m und beim HQ_{300} von 101 m. Unterhalb der Reppischmündung betragen die Hochwasserabflüsse beim HQ_{100} 720 m³/s und beim HQ_{300} 800 m³/s. Daraus ergeben sich Hochwasserschutzbreiten beim HQ_{100} von 105 m und beim HQ_{300} von 110 m.



Abb. 13 *Limmat Abschnitt 1, Oetwil an der Limmat km 19.4, Blick flussabwärts*



Abb. 14 *Limmat Abschnitt 1, Oetwil an der Limmat km 19.4, Blick flussaufwärts*



Abb. 15 *Limmat Abschnitt 1, Dietikon km 22.4, Blick flussabwärts*



Abb. 16 *Limmat Abschnitt 1, Lacheren km 25.7, Blick flussabwärts*



Abb. 17 *Limmat Abschnitt 1, Unterengstringen km 26.6, Blick flussabwärts*



Abb. 18 *Limmat Abschnitt 1, Schlieren/Oberengstringen km 27.6 , Blick flussabwärts*



Abb. 19 *Limmat Abschnitt 1, Schlieren/Oberengstringen km 28.4 ,Blick flussabwärts*



Abb. 20 *Limmat Abschnitt 1, Höngg/Altstetten km 30.6, Blick flussabwärts*



Abb. 21 *Limmat Abschnitt 1, Höngg/Altstetten km 30.6, Blick flussaufwärts*



Abb. 22 Limmat Abschnitt 1, Gygerkarte 1667, Dietikon / Weiningen, km 21.0 – 26.0

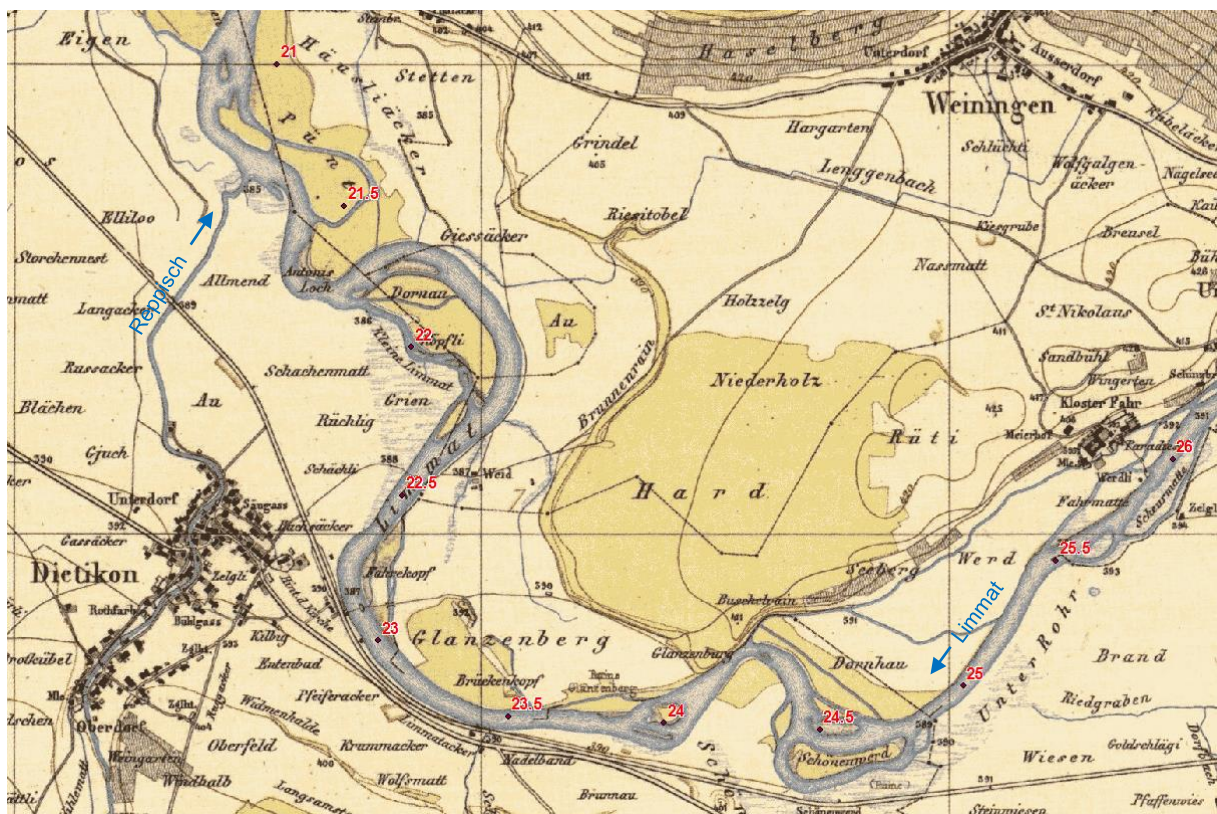


Abb. 23 Limmat Abschnitt 1, Wildkarte 1850, Dietikon / Weiningen, km 21.0 – 26.0

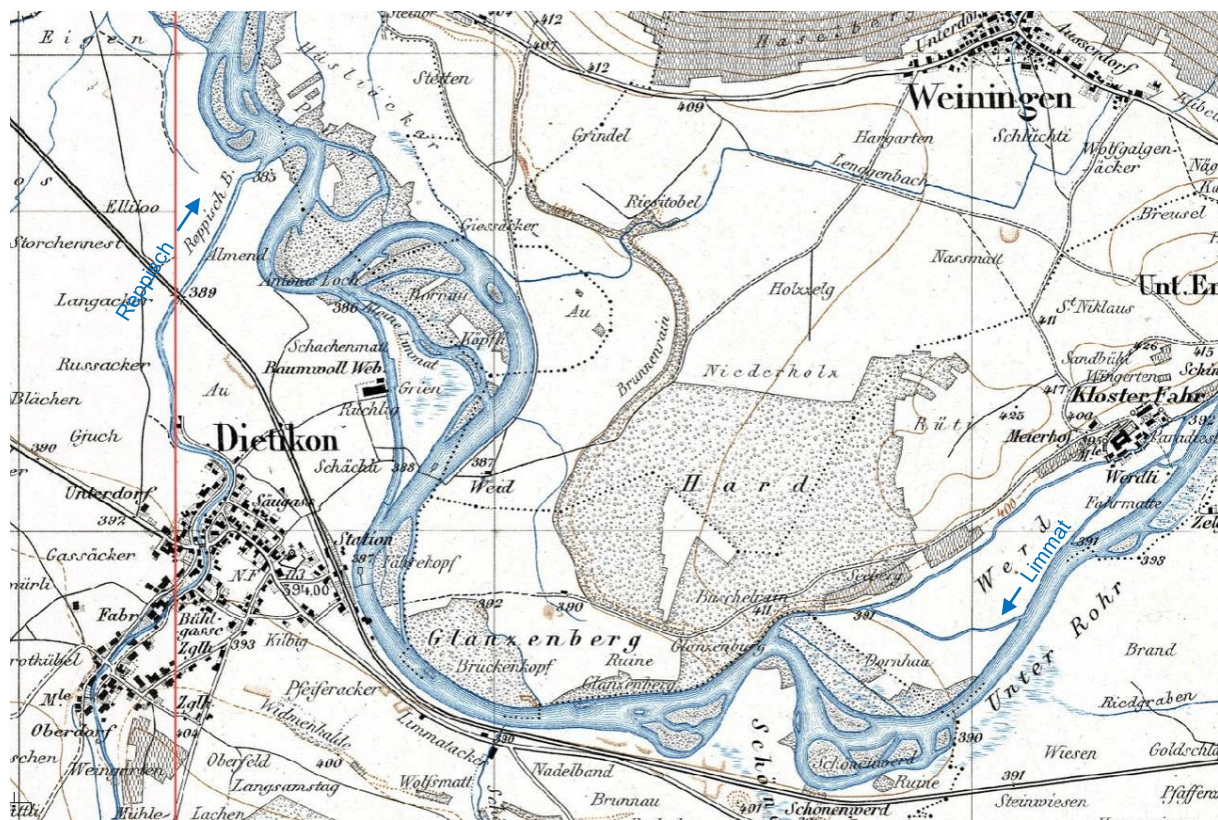


Abb. 24 Limmat Abschnitt 1, Siegfriedkarte 1880, Dietikon / Weiningen, km 21.0 – 26.0



Abb. 25 Limmat Abschnitt 1, Gygerkarte 1667, Schlieren / Engstringen, km 25.5 – 29.5

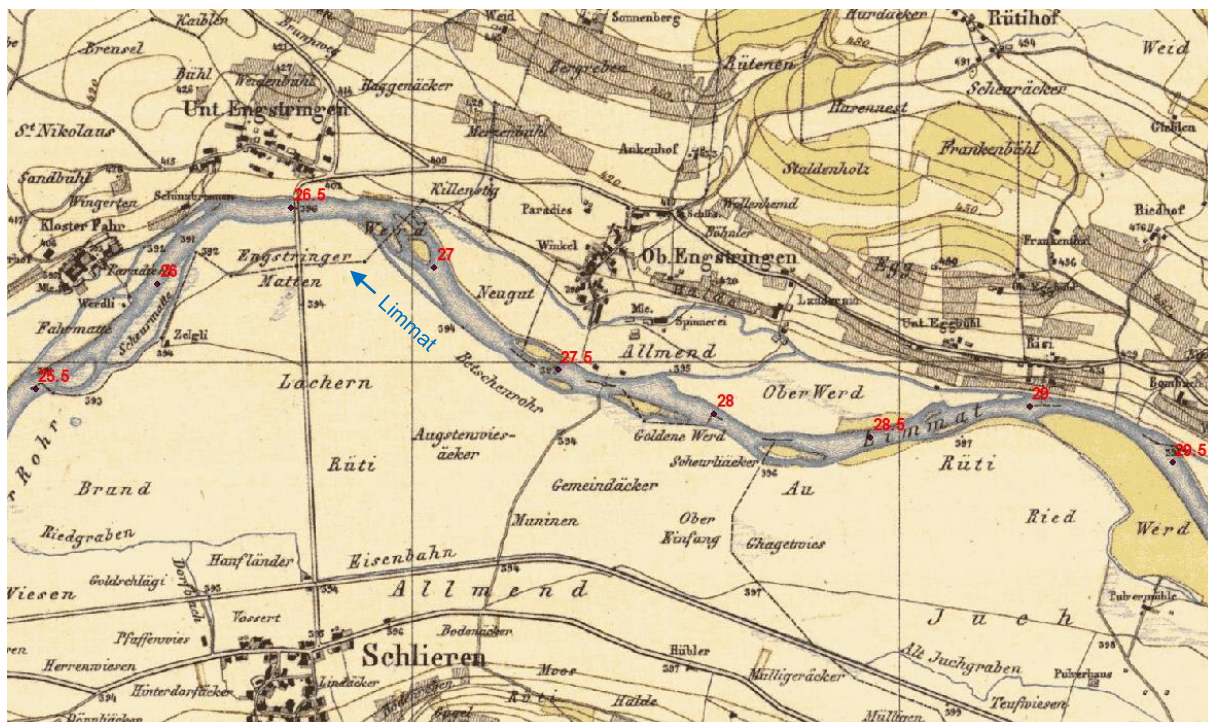


Abb. 26 Limmat Abschnitt 1, Wildkarte 1850, Schlieren / Engstringen, km 25.5 – 29.5

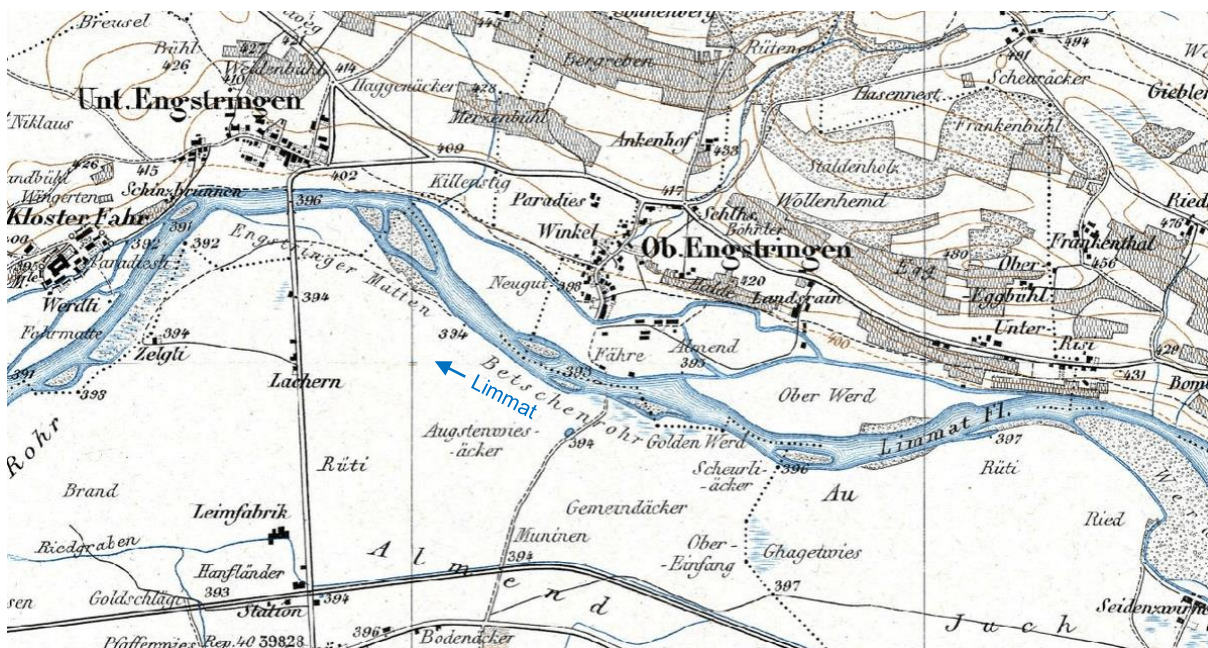


Abb. 27 Limmat Abschnitt 1, Siegfriedkarte 1880, Schlieren / Engstringen, km 25.5 – 29.5

6.3. Abschnitt 2 (GEWISS km 31.9 – 34.3)

Der Abschnitt 2 erstreckt sich von Wipkingen (km 31.9) bis zur Mündung der Sihl (km 34.3). Nach dem Ausfluss aus dem Zürichsee erhält die Limmat durch den Zufluss der Sihl wieder grössere Mengen an Geschiebe. Das zugeführte Geschiebe würde eigentlich in der Limmat die Bildung von verzweigten Sohlenstrukturen fördern. Diese können sich aber nicht richtig ausbilden, weil der Schwemmkegel der Sihl die Limmat an die rechte Talflanke drückt. Die Breitenentwicklung der Limmat wird dadurch verhindert. Sie weist deshalb direkt unterhalb der Sihlmündung ein geradliniges Gerinne auf. Auf den historischen Karten (Abb. 32, Abb. 33) ist ebenfalls ein geradliniges Gerinne sichtbar, wobei hier ein anthropogener Einfluss nicht ausgeschlossen werden kann. Die untere Abschnittsgrenze wurde in diesem Sinne an den Rand des Sihler Schwemmkegels gelegt. Die Hydrologie hat keinen massgebenden Einfluss auf den Übergang von Abschnitt 2 zum darunterliegenden Abschnitt 1. Im heutigen Zustand ist die Limmat im Abschnitt 2 stark verbaut (Abb. 28 - Abb. 31). Der Flussabschnitt wird ökomorphologisch als stark beeinträchtigt beurteilt.

Grundlagen Breitenbestimmung

Die regimetheoretischen Ansätze ergeben bei einem bettbildenden Abfluss HQ5 eine Gleichgewichtsbreite von 61 m und eine Grenzbreite von 67 m. Wegen der durch den Schwemmkegel der Sihl provozierten geradlinigen Gerinneform, liegt die natürliche Sohlenbreite eher nahe bei der Grenzbreite.

Die Wild-Karte von 1850 zeigt eine Gerinnebreite von 55 bis 70 m. (Abb. 9, Abb. 33).

Festlegung der natürlichen Breiten

Aufgrund der regimetheoretischen Ansätze (Yalin, Ashmore) und der historischen Karten wurden die natürliche Gerinnebreite bei 75 m und die natürliche Sohlenbreite bei 60 m festgelegt.

Tabelle 7 Herleitung der natürlichen Sohlenbreite im Abschnitt 2

	Sohlenbreite	Gewichtung
naturnahe Referenzstrecken	-	0%
historische Karten	60 m	50%
Gleichgewichtsbreite	61 m	50%
Grenzbreite	67 m	0%
resultierende Sohlenbreite	60 m	

Daraus ergibt sich nach Roulier bei 100% Erfüllung ein Raumbedarf von 115 m (Abb. 28). Die Schlüsselkurve des BAFU ergibt einen minimalen Gewässerraum von 90 m. (Tabelle 5).

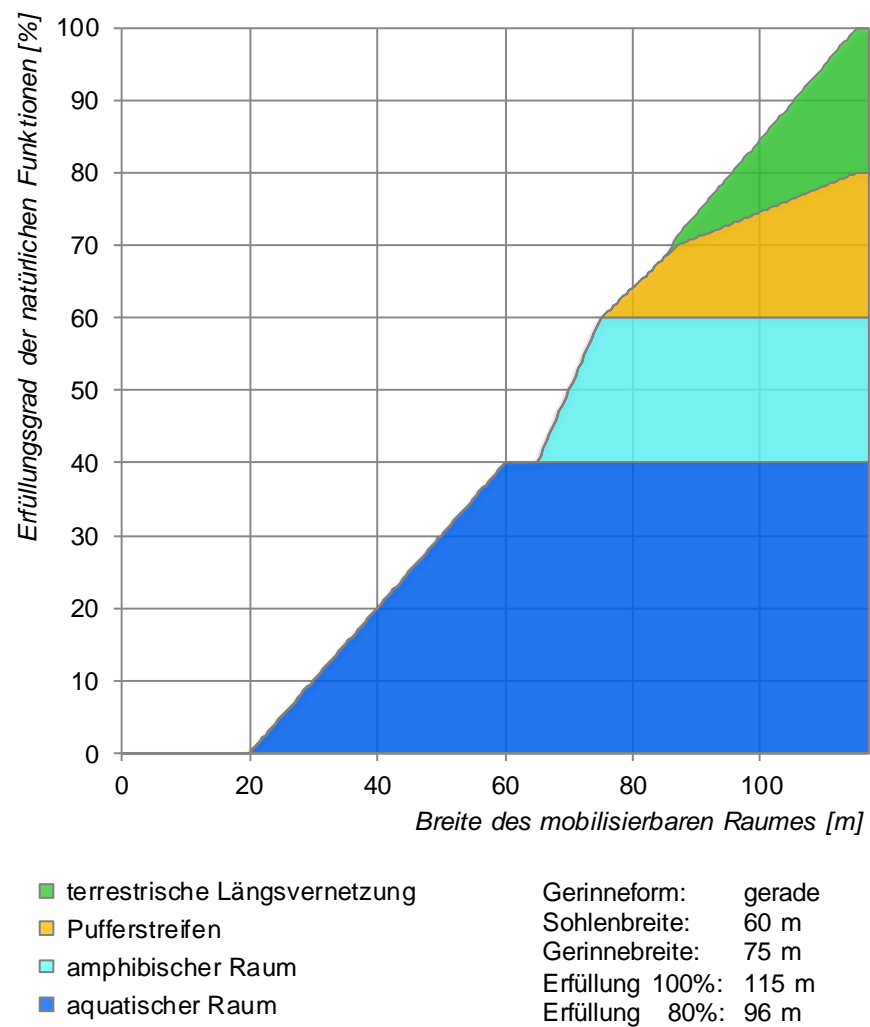


Abb. 28 Limmat Abschnitt 2, Erfüllung der natürlichen Funktionen in Abhängigkeit zur Breite des Gewässerraumes nach Roulier

Hochwasserschutzbreite

Im heutigen Zustand hat der Abschnitt 2 im Mittel eine Gerinnetiefe von 4.7 m und ein Netogefälle von 0.17 %. Die Hochwasserabflüsse betragen sowohl beim HQ₁₀₀ als auch und beim HQ₃₀₀ 600 m³/s. Daraus ergibt sich beim HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ eine Hochwasserschutzbreite von 70 m.



Abb. 29 *Limmat Abschnitt 2, Wipkingen/Hardbrücke km 33.0, Blick flussabwärts*



Abb. 30 *Limmat Abschnitt 2, Wipkingen/Hardbrücke km 33.5, Blick flussabwärts*



Abb. 31 *Limmat Abschnitt 2, Wipkingen/Zürich km 33.9, Blick flussabwärts*



Abb. 32 Limmat Abschnitt 2, Gygerkarte 1667, Höngg / Wipkingen , km 31.0 – 34.0

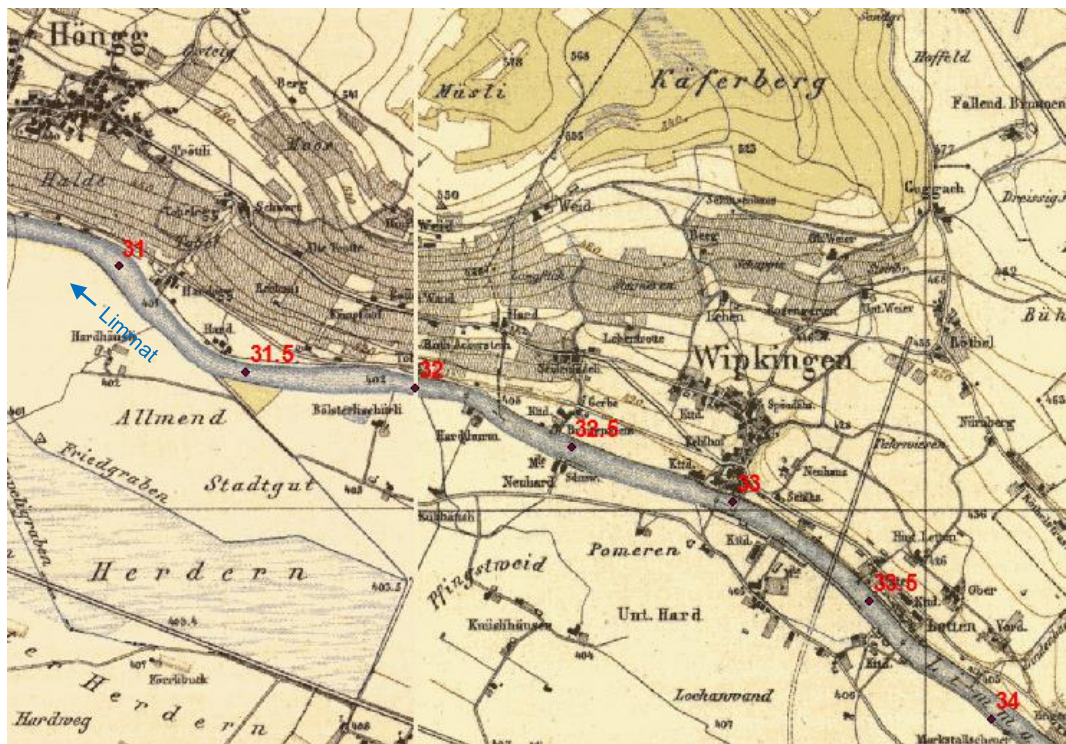


Abb. 33 Limmat Abschnitt 2, Wildkarte 1850, Höngg / Wipkingen , km 31.0 – 34.0

6.4. Abschnitt 3 (GEWISS km 34.3 – 36.3)

Der Abschnitt 3 erstreckt sich von der Mündung der Sihl (km 31.9) durch die Zürcher Innenstadt bis zum Ausfluss der Limmat aus dem Zürichsee (km 36.3). Wegen der frühen Besiedlung dieses Abschnittes ist der Naturzustand aus historischen Karten nur bedingt ablesbar (Abb. 40). Da der Fluss auf dieser Strecke quasi keinen Geschiebetrieb aufweist, dominiert ein geradliniges Gerinne. Das beidseitig leicht ansteigende Gelände fördert diese Gerinneform zusätzlich. Im heutigen Zustand ist die Limmat in Abschnitt 3 wegen der hohen Siedlungsdichte hart verbaut (Abb. 35 - Abb. 39). Sie wird ökomorphologisch als künstlich und naturfremd eingestuft.

Grundlagen Breitenbestimmung

Die regimetheoretischen Ansätze ergeben bei einem bettbildenden Abfluss HQ5 eine Gleichgewichtsbreite von 47 m. Da es sich um ein geradliniges Gerinne handelt, befindet sich die natürliche Sohlenbreite nahe der Gleichgewichtsbreite.

Die Wild-Karte von 1850 zeigt eine stark schwankende Gerinnebreite von 50 bis über 100 m auf. (Abb. 9, Abb. 40)

Festlegung der natürlichen Breiten

Aufgrund des regimetheoretischen Ansatzes (Yalin) sowie der historischen Karten wurden die natürliche Gerinnebreite bei 70 m und die natürliche Sohlenbreite bei 55 m festgelegt.

Tabelle 8 Herleitung der natürlichen Sohlenbreite im Abschnitt 3

	Sohlenbreite	Gewichtung
naturnahe Referenzstrecken	-	0%
historische Karten	70 m	40%
Gleichgewichtsbreite	47 m	60%
Grenzbreite	-	0%
resultierende Sohlenbreite	55 m	

Daraus ergibt sich nach Roulier bei 100% Erfüllung ein Raumbedarf von 110 m (Abb. 34). Die Schlüsselkurve des BAFU ergibt einen minimalen Gewässerraum von 85 m. (Tabelle 5).

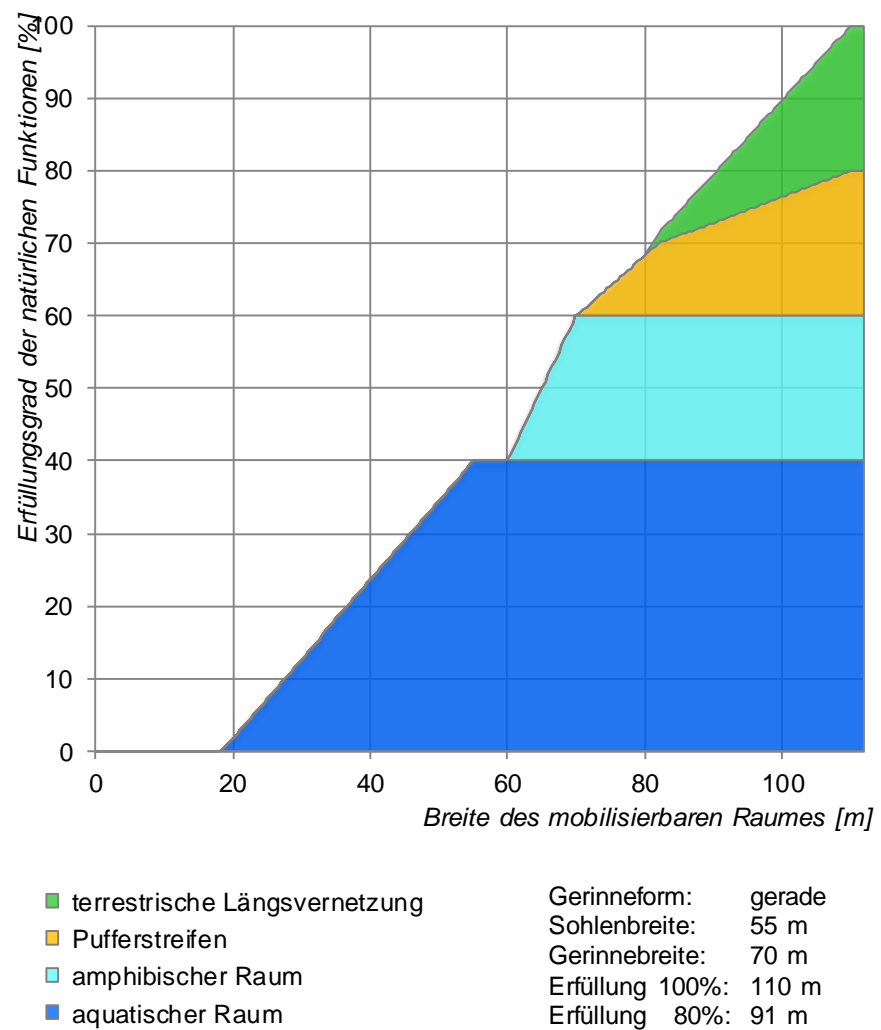


Abb. 34 Limmat Abschnitt 3, Erfüllung der natürlichen Funktionen in Abhängigkeit zur Breite des Gewässerraumes nach Roulier

Hochwasserschutzbreite

Im heutigen Zustand ist der Abschnitt 3 komplett eingestaut. Die Methodik der Hochwasserschutzbreitenermittlung konnte hier dadurch nicht angewandt werden. In Absprache mit dem AWEL wurden deshalb die Hochwasserschutzbreiten aus dem Abschnitt 2 in den Abschnitt 3 extrapoliert. Daraus betragen die Breiten beim HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ 70 m.



Abb. 35 *Limmat Abschnitt 3, Mündung der Sihl (rechts) in die Limmat (links) km 34.4, Blick flussaufwärts*



Abb. 36 *Limmat Abschnitt 3, Zürich km 34.8, Blick flussabwärts*



Abb. 37 *Limmat Abschnitt 3, Zürich km 35.0, Blick flussabwärts*



Abb. 38 *Limmat Abschnitt 3, Zürich km 35.5, Blick flussabwärts*



Abb. 39 Limmat Abschnitt 3, Zürich km 36.3, Blick flussabwärts

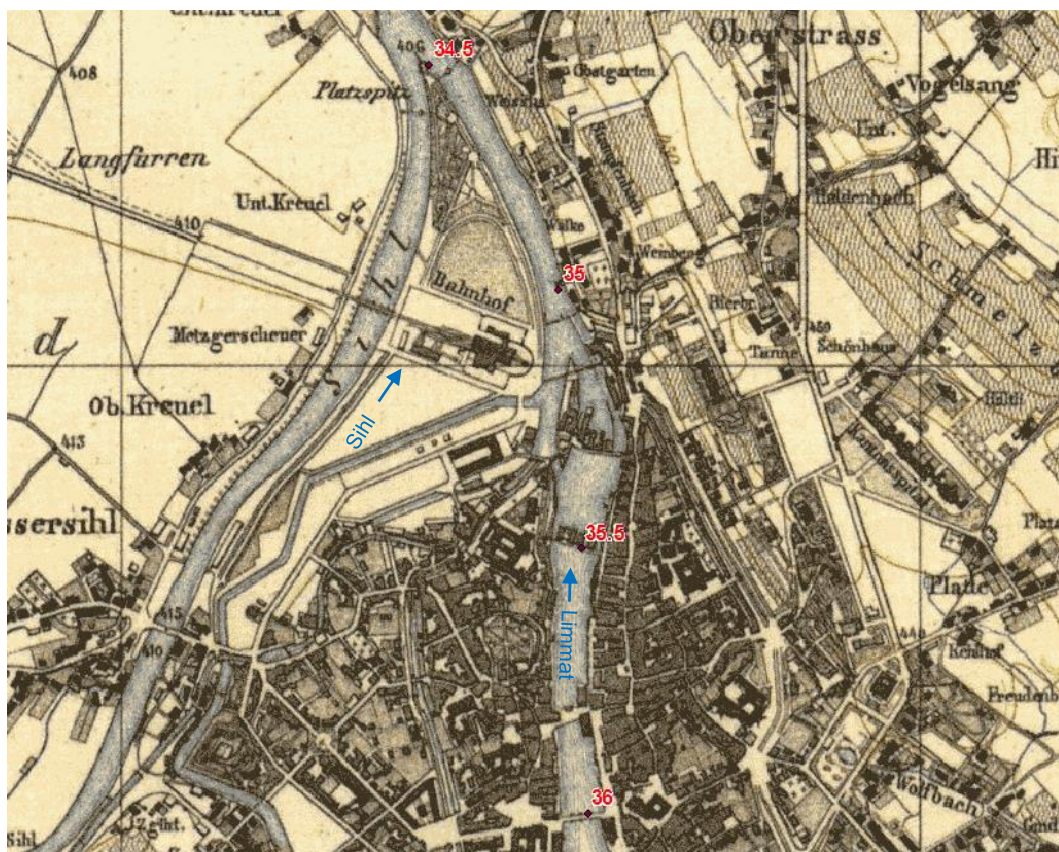


Abb. 40 Limmat Abschnitt 3, Wildkarte 1850, Zürich, km 34.5 – 36.0

Aarau, 24. März 2015, rev. 24. Juni 2015

Hunziker, Zarn & Partner AG
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau

Sammy Mirjan, dipl. Umwelt-Ing. FH
Dr. Roni Hunziker, dipl. Bau-Ing. ETH
Dr. Andreas Niedermayr, dipl. Bau-Ing. TMU