



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Praxis-Information Waldnaturschutz

Durchgängigkeit und Vernetzung von Fließgewässern im Rahmen des Waldwegebaus



Impressum

Herausgeberin:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)

Abteilung Waldnaturschutz

Prof.-Oelkers-Straße 6

34346 Hann. Münden

Tel.: +49 551-69401-0

E-Mail: waldnaturschutz@nw-fva.de

www.nw-fva.de

Autoren: Julian Wellhäuser, Marcus Schmidt

Lektorat: Abteilung Waldnaturschutz

Grafiken: Etta Starick

Titelfotos: J. Wellhäuser (oben links), M. Schmidt (oben rechts, unten links und rechts)

Zitiervorschlag:

Wellhäuser, J., Schmidt, M. (2026): Durchgängigkeit und Vernetzung von Fließgewässern im Rahmen des Waldwegebaus. Praxis-Information Waldnaturschutz Nr. 3.

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt. 25 S.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21027520>

Hann. Münden, Juni 2026

Praxis-Information

Waldnaturschutz

Durchgängigkeit und Vernetzung von Fließgewässern im Rahmen des Waldwegebaus

Inhalt

1 Einleitung	4
2 Grundlagen	4
2.1 Warum ist die Längsdurchgängigkeit von Fließgewässern wichtig?	4
2.2 Wann ist die Durchgängigkeit von Fließgewässern unterbrochen?	5
2.2.1 An Wasserabstürzen	5
2.2.2 Bei nicht durchgängiger natürlicher Gewässersohle	7
2.2.3 Bei zu hohen Fließgeschwindigkeiten	7
2.2.4 Bei sehr langen Durchlässen	7
2.2.5 Bei zu niedrigem Wasserstand	7
2.3 Wie entstehen Wanderbarrieren?	8
2.4 Artenschutz durch Barrieren?	8
3 Maßnahmen	9
3.1 Wie können Barrieren verhindert werden?	9
3.1.1 Wasserabstürze unterhalb des Bauwerks	9
3.1.2 Zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Bauwerk	9
3.1.3 Eine fehlende natürliche Gewässersohle	9
3.1.4 Geringer Wasserstand	9
4 Umsetzung	10
4.1 Priorisierung von Baumaßnahmen zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit	10
4.2 Bauliche Realisierung von Durchgängigkeit an Kreuzungsbauwerken	11
4.3 Kosten	21
4.4 Rechtliches	21
Literatur	23

1 Einleitung

Wälder sind für den Landschaftswasserhaushalt sowie die Bereitstellung von hochwertigem Trinkwasser von großer Bedeutung. Während die Mittel- und Unterläufe von Fließgewässern meist durch landwirtschaftlich geprägte Landschaften fließen, liegen die Quellgebiete und Oberläufe häufig im Wald. Die Belastung des Wassers mit Nitrat und anderen Schadstoffen ist in diesen bewaldeten Wassereinzugsgebieten erheblich geringer als in Agrar- oder Siedlungslandschaften. Die Voraussetzungen für ökologisch funktionsfähige und artenreiche Gewässerökosysteme sind daher im Wald sehr gut (Abb. 1).

Entscheidend für das Vorkommen typischer und vollständiger Lebensgemeinschaften der Fließgewässer ist neben dem chemischen Zustand aber auch die Gewässerstruktur. Wurden Bachläufe zerschnitten oder verrohrt, dann ist in den meisten Fällen ihre Durchgängigkeit für die im Wasser lebenden Organismen nicht gewährleistet und die Artenvielfalt ist häufig reduziert. Das Gewährleisten der Durchgängigkeit von Fließgewässern im Wald ist somit als wichtiges Ziel einer nachhaltigen multifunktionalen Forstwirtschaft anzusehen.

In den letzten Jahrzehnten wurden vonseiten der Forstbetriebe schon zahlreiche Anstrengungen



Abb. 1: Fließgewässerlebensräume in bewaldeten Wassereinzugsgebieten weisen häufig eine sehr gute Wasserqualität auf. Davon profitieren viele aquatische Lebewesen. (Foto: M. Schmidt)

unternommen, um Fehler der Vergangenheit zu beheben. Dabei wurden bereits viele Erfahrungen mit dem Entfernen von Wanderbarrieren für Arten der Fließgewässer gesammelt. Tatsächlich lassen sich fast immer geeignete Lösungen finden, um die Durchgängigkeit der Bäche zu gewährleisten. Die vorliegende Praxis-Information will dazu beitragen, für das Thema zu sensibilisieren und gleichzeitig Wissen in kompakter und praxisorientierter Form bereitstellen, das für die Umsetzung geeigneter Maßnahmen unerlässlich ist.

2 Grundlagen

2.1 Warum ist die Längsdurchgängigkeit von Fließgewässern wichtig?

Die Durchgängigkeit eines Fließgewässers ist eine wichtige hydromorphologische Qualitätskomponente, die einen erheblichen Einfluss auf die ökologische Wertigkeit des Gewässers hat¹. Ohne menschlichen Einfluss wären die meisten Fließgewässer im Tiefland und Mittelgebirge für Wasserorganismen passierbar. Nur selten werden sie durch natürliche Abstürze unterbrochen, die eine Barriere darstellen können². Zwar kommt es häufiger zu temporären natürlichen Barrieren aufgrund von Totholzverklausungen oder Biberbauten (Abb. 2), diese bestehen im Gegensatz zu künstlichen Barrieren allerdings nur zeitlich begrenzt, sodass immer wieder Wandermöglichkeiten bestehen.

Zahlreiche, der in unseren Fließgewässern heimischen Fischarten und Wirbellosen (Flohkrebse, Insekten, Krebse, Schnecken etc.) unternehmen in ihrem Lebenszyklus Wanderungen, die mitunter für ihr Überleben und ihre Fortpflanzung entscheidend sind^{2,3}. Die Durchgängigkeit ist somit ausschlaggebend für ökologisch intakte Fließgewässer mit artenreichen und gewässertypischen Lebensgemeinschaften⁴. Tierpopulationen können oberhalb von Wanderbarrieren vollständig ausfallen, wenn eine Wiederbesiedelung durch Barrieren verhindert wird⁵. Auch der Genfluss zwischen Tierpopulationen in verschiedenen



Abb. 2: Natürlich entstandener Absturz durch eine Totholzverklausung im Wilhelmshäuser Bach bei Witzenhausen (Foto: W. Haaß)

Gewässerabschnitten kann nur gewährleistet werden, wenn keine Wanderbarrieren bestehen⁶.

Im Zuge des Klimawandels steigt zudem die Bedeutung der Durchgängigkeit aufgrund von häufigeren Trockenperioden und erhöhter Wassertemperatur. Zeitweise trockengefallene Bachläufe müssen nach Austrocknungsereignissen wiederbesiedelt werden können. Zahlreiche Arten werden außerdem immer stärker darauf angewiesen sein, aufwärts in kühlere Bachabschnitte wandern zu können, um den steigenden Temperaturen im Unterlauf des Gewässersystems auszuweichen.

2.2 Wann ist die Durchgängigkeit von Fließgewässern unterbrochen?

2.2.1 An Wasserabstürzen

Viele Wasserorganismen sind nicht in der Lage, Wasserabstürze zu überwandern oder zu überspringen, die sich über die gesamte Breite des Baches erstrecken (Abb. 3). Insbesondere wenn der Wasserstrahl vom Bachbett abgelöst ist, sind nur die wenigsten Arten in der Lage, das Hindernis zu bewältigen. Dabei ist es stark artabhängig, welche Absturzhöhen überwindbar sind.

– Aquatische wirbellose Fauna (Makrozoobenthos):

- Einige wirbellose Arten (z. B. Steinfliegen, Eintagsfliegen oder Köcherfliegen) leben nur im Larvenstadium im Wasser. Die flugfähigen



Abb. 3: Bereits kleine Abstürze schränken die Durchgängigkeit von Durchlässen stark ein. Selbst wenn der Absturz überwunden werden kann, scheitern Wasserorganismen an der Durchwanderung des glatten Betonrohres aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten, fehlender Strömungsheterogenität (Stillwasserbereiche für Schwimmpausen) und geringer Wasserstände. (Foto: M. Schmidt)



Abb. 4: Köcherfliegen sind typische Arten des Makrozoobenthos. Ihr Larvenstadium lebt auf und in der Gewässersohle von Fließgewässern und schützt ihren Körper durch einen Kokon aus kleinen Steinen, Blattstücken oder Ästchen vor Prädatoren. Adulte Tiere können Wanderbarrieren im Gewässer überfliegen. (Foto: J. Wellhäuser)

adulten Tiere sind in der Lage, Barrieren bachaufwärts zu überfliegen, sodass ihre Wanderung nur im ersten Teil ihres Lebenszyklus durch Barrieren beeinträchtigt wird (Abb. 4/5).

- Für Wirbellose ohne flugfähige Entwicklungsstadien (z. B. Strudelwürmer (Abb. 6), Bachflohkrebse) sind Abstürze ab 10 cm eine unüberwindbare Barriere⁷. Freifallende Abstürze können generell nicht passiert werden.



Abb. 5: Ausgewachsene Köcherfliege auf Wechselständigem Milzkraut. Das adulte Tier kann Wanderhindernisse im Bach überfliegen. (Foto K. Bogon)



Abb. 6: Der Dreieckstrudelwurm (*Dugesia gonocephala*) lebt in Bächen und wird etwa 2–2,5 cm lang. Größere Abstürze sind für diese Art nicht überwindbar. (Foto: K. Bogon)

– Fische:

Bei Fischen ist es art- und größenabhängig, welche Absturzhöhen überwunden werden können. Eine große Bachforelle (*Salmo trutta fario*, Abb. 7) kann beispielsweise höhere Abstürze passieren als ein kleines Exemplar oder eine Groppe (*Cottus gobio*, Abb. 8). Ein weiterer Einflussfaktor ist die Gewässertiefe unterhalb des Absturzes. Nur bei ausreichender Gewässertiefe ist ein nach oben gerichteter Sprung möglich.

- Bachforelle:

- Die meisten Passagen finden bei Abstürzen unter 0,3 m statt⁸.
- Die Wassertiefe unterhalb des Absturzes sollte mindestens das 1,25-fache der Höhe des Absturzes betragen³.
- Die Art kann freifallende Abstürze durch einen Sprung überwinden⁹.

- Groppe, Elritze:

- Abstürze über 15–20 cm können in der Regel nicht passiert werden^{3,10,11} und freifallende Abstürze können generell nicht passiert werden. Für das Bachneunauge (kein Fisch, sondern der Klasse der Rundmäuler zuzuordnen) sind Abstürze dieser Höhe ebenfalls nicht überwindbar.

Bei Maßnahmen zur Herstellung der Durchgängigkeit an Abstürzen sollte die Durchgängigkeit für schwimm- und fortbewegungsschwache Fischarten und Arten des Makrozoobenthos angestrebt werden⁹.



Abb. 7: Als schwimmstärkste Fischart der kleinen Fließgewässer kommt die Bachforelle (*Salmo trutta fario*) noch am besten mit Wanderhindernissen zurecht. (Foto: K. Bogon)



Abb. 8: Die Groppe (*Cottus gobio*) ist ein schlechter Schwimmer und bewegt sich meist bodengebunden am Fließgewässergrund entlang. Daher sind bereits kleinere Abstürze ein unüberwindbares Hindernis für diese Fischart. (Foto: K. Bogon)

2.2.2 Bei nicht durchgängiger natürlicher Gewässersohle

Eine natürliche Gewässersohle ist überwiegend aus standortstypischem Gestein und Feinsediment in natürlicher Lagerung aufgebaut und in Richtung Grundwasser offen. In manchen Bächen oder Bachabschnitten spielen beim Aufbau der Gewässersohle zudem Totholz und Pflanzenreste eine wichtige Rolle. Viele wirbellose Arten (Makrozoobenthos) bewegen sich im oder entlang des strömungsarmen Porenraumes der Gewässersohle bachaufwärts. Wird die Gewässersohle an Querbauwerken durch eine glatte Betonsohle unterbrochen, so ist eine bachaufwärts gerichtete Wanderung im Gewässerbett für das Makrozoobenthos nicht möglich¹² (Abb. 9).



Abb. 9: Durchlass ohne natürliche Gewässersohle. Aufgrund des fehlenden Sohlsubstrats und des geringen Wasserstands ist dieser Durchlass für aquatische Organismen nicht passierbar. Positiv hervorzuheben ist die großzügige Dimensionierung des Rohres. Um eine Durchgängigkeit herzustellen, müssen Maßnahmen ergriffen werden, die im Durchlass zu einer natürlichen Sohle, höheren Wasserständen und einer größeren Strömungsheterogenität führen. (Foto: J. Wellhäuser)

2.2.3 Bei zu hohen Fließgeschwindigkeiten

Bei welchen Fließgeschwindigkeiten bachaufwärts gerichtete Wanderungen möglich sind, ist stark artabhängig. Wirbellose, die bevorzugt langsamer fließende Gewässerzonen besiedeln, benötigen eine intakte raue Gewässersohle mit Porenraum sowie Bereiche mit weniger starker Strömung, um sich bachaufwärts zu bewegen. Bei Fischen ist

es art- und größenabhängig, gegen welche Fließgeschwindigkeiten eine bachaufwärtsgerichtete Wanderung möglich ist. Zudem sind für Fische folgende Einflussfaktoren für eine erfolgreiche Querung zu beachten:

- Länge der Strecke mit hoher Strömungsgeschwindigkeit
- Bereiche mit geringerer Strömungsgeschwindigkeit für Pausen. Kurze Strecken mit hohen Fließgeschwindigkeiten können durch Sprints überwunden werden.
- Eine Strömungsgeschwindigkeit von maximal 0,5 m pro Sekunde ist ein guter Richtwert für eine zuverlässige Durchgängigkeit für verschiedene Fischarten⁸.

Um eine ungefähre Vorstellung von der Fließgeschwindigkeit des Gewässers zu erlangen, kann die Zeit gestoppt werden, in der ein Gegenstand (Laub, Holzstück) in voller Geschwindigkeit eine vordefinierte Fließstrecke passiert.

2.2.4 Bei sehr langen Durchlässen

Große Bauwerkslängen sind nicht wünschenswert und sollten nach Möglichkeit vermieden werden. Wenn sie eine ausreichende Breite, ein natürliches Bachbett und moderate Fließgeschwindigkeiten aufweisen, können sie von bestimmten Arten des Makrozoobenthos besiedelt werden. Für andere Arten stellt der Lichtmangel allerdings eine Barriere dar¹². Für Bachforellen ist die Passage von Durchlässen von 30–40 m Länge belegt⁸. Um eine Durchgängigkeit für alle aquatischen Organismen zu gewährleisten, sollte jedoch, wenn möglich, von Bauwerken dieser Länge abgesehen werden.

2.2.5 Bei zu niedrigem Wasserstand

Ein zu niedriger Wasserstand im Bauwerk kann ebenfalls die Durchgängigkeit beeinträchtigen oder unterbrechen³. Insbesondere Fischarten sind an eine Mindestwassertiefe gebunden, um sich stromaufwärts zu bewegen. Die Wassertiefe sollte das 2,5-fache der Fischhöhe, mindestens jedoch 10 cm betragen⁴.

2.3 Wie entstehen Wanderbarrieren?

Die meisten Barrieren in Fließgewässern entstehen im Wald an Kreuzungsbauwerken von Wegen. Daneben bestehen Wanderhindernisse an anderen Querverbauungen, wie Wehren, betonierten Sohlgleiten oder ähnlichen Bauwerken, die sich über die gesamte Breite eines Baches erstrecken². Die Ursachen für die Barrierewirkung sind folgende:

1. Die Verengung des Gewässers durch eine zu geringe Dimensionierung des Durchlasses und Bauwerke mit einer glatten Sohle führen zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten³.
2. Wasserabstürze unterhalb des Bauwerks entstehen meist aufgrund der erhöhten Strömungsgeschwindigkeit im Bauwerk. Die erhöhte Strömungsenergie trifft am Ende des Bauwerks auf die rauere natürliche Gewässersohle und löst dort Erosion aus. Im Laufe der Zeit wächst der Absturz unterhalb des Bauwerks^{4,10} (Abb. 10)
3. Wird beim Verbau von Rohren als Wegedurchlass keine natürliche Gewässersohle im Bauwerk eingeplant oder die Sohle hart mit Beton verbaut, so hat das Makrozoobenthos keine Möglichkeit, auf der glatten Betonsohle bachaufwärts durch das Bauwerk zu wandern.



Abb. 10: Die erhöhten Fließgeschwindigkeiten im Durchlass führen zu einer fortschreitenden Erosion unterhalb des Durchlassausgangs. Der wachsende Absturz erhöht wiederum die Erosionskraft des Wassers. (Foto: M. Schmidt)

2.4 Artenschutz durch Barrieren?

Während Wanderbarrieren in den meisten Fällen einen negativen Einfluss auf die faunistische Artenzusammensetzung von Gewässerabschnitten haben, gibt es wenige Ausnahmen, in denen Fließgewässerarten von Barrieren profitieren können. Sie ziehen einen Vorteil aus dem Umstand, dass bestimmte andere Organismen (Prädatoren/Krankheitsüberträger) in verbauten Gewässerabschnitten nicht (mehr) vorkommen und aufgrund der Barrieren nicht wieder einwandern können^{13,14}.

Unsere heimischen Flusskrebssarten sind durch die Krebspest (*Aphanomyces astaci*) stark bedroht. Diese tödlich verlaufende pilzähnliche Infektion wird von resistenten amerikanischen Flusskrebssarten übertragen. Fließgewässerabschnitte, die heute aufgrund von Wanderbarrieren nicht von den im 19. Jahrhundert eingeschleppten amerikanischen Flusskrebsen besiedelt sind, können noch intakte heimische Flusskrebspopulationen aufweisen. Von Durchgängigkeitsmaßnahmen sollte in einem solchen Fall meist abgesehen werden, um die heimischen Flusskrebssarten zu schützen¹⁴. Ein vollständiger Schutz ergibt sich dadurch allerdings nicht, da Krebse in der Lage sind, auch über Land zu gehen.

Eine weitere Art, die von Barrieren profitieren kann, ist der Feuersalamander. So sind in Gewässerbereichen ohne Forelle oder Groppe,



Abb. 11: Feuersalamanderlarven können von künstlichen Barrieren profitieren, wenn Prädatoren bestimmte Gewässerabschnitte nicht erreichen. (Foto: A. Mölder)

Salamanderlarven (Abb. 11) vor diesen Prädatoren sicher und weisen höhere Individuenzahlen auf¹⁰. Insbesondere vor dem Hintergrund der sich ausbreitenden Salamanderpest, einer tödlich verlaufenden Infektion mit dem Pilz *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal), wird der Schutz von Feuersalamanderpopulationen in Zukunft eine noch größere Rolle spielen¹⁵.

3 Maßnahmen

3.1 Wie können Barrieren verhindert werden?

3.1.1 Wasserabstürze unterhalb des Bauwerks

Wasserabstürze unterhalb des Bauwerks können verhindert werden, indem die Strömungsgeschwindigkeit im Durchlass und somit die Erosionskraft des Wassers beim Ausströmen aus dem Bauwerk durch eine erhöhte Rauigkeit der Gewässersohle verringert werden. Eine reich strukturierte Bachsohle aus Steinen verschiedener Größe ist empfehlenswert. Bestimmte Bauwerksformen, wie beispielsweise ein glattes Betonrohr, führen zu höheren Fließgeschwindigkeiten als andere, z. B. ein nach unten geöffnetes Haubenprofil oder ein Betonrohr, welches zu einem Drittel in die Bachsohle eingegraben wird.

Gleichzeitig sollte die Gewässersohle direkt unterhalb des Durchlasses eine ausreichende Festigkeit aufweisen, um die erhöhte Strömungsenergie aufzufangen, die im Bauwerk entstehen kann. Hier ist es oft notwendig, eine befestigte Blockrampe (raue Rampe, Sohlrampe) anzulegen, um die Strömungsenergie aufzufangen und Erosion zu verhindern. Für eine gute Durchgängigkeit im Bachbett sollte hierbei auf Beton verzichtet werden.

Zudem sollte sich das Durchlassgefälle am natürlichen Bachgefälle orientieren, sodass kein Höhenversatz am Durchlassein- oder -ausgang entsteht.

3.1.2 Zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Bauwerk

Zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten entstehen einerseits durch die Verengung des Fließquer-

schnitts im Durchlassbauwerk und ein zu hohes Durchlassgefälle, andererseits durch das Fehlen eines strukturreichen Gewässerbetts⁴. Die Anlage eines natürlichen Gewässerbetts im Bauwerk und großzügig dimensionierte Durchlässe mildern die Fließgeschwindigkeiten ab. Das Durchlassgefälle ist nicht frei wählbar, da sich der Durchlassein- und -ausgang am vor- und nachgelagerten Bachbett orientieren sollten. In steilem Gelände ist es daher wichtig, im Durchlass eine besonders stabil gesetzte und raue Fließgewässersohle herzustellen. In nach unten offenen Durchlässen, wie Haubenprofilen, hat das Sohlmaterial einen besseren Halt. Mitunter muss der Durchlass aber auch flacher als das natürliche Gefälle verlegt werden. Dann wird die Befestigung der nachgelagerten Bachsohle durch eine Blockrampe umso wichtiger.

Die meisten Passagen von Forellen finden bei Fließgeschwindigkeiten von unter einem Meter pro Sekunde statt. Für kleinere Fischarten sollte eine Fließgeschwindigkeit von einem halben Meter pro Sekunde nicht überschritten werden⁸.

3.1.3 Eine fehlende natürliche Gewässersohle

Um die bachaufwärts gerichtete Wanderung von vielen wirbellosen Arten in der Gewässersohle (Interstitial) zu gewährleisten, muss im Durchlassbauwerk eine natürliche Gewässersohle von mindestens 20 cm Höhe angelegt werden⁴.

3.1.4 Geringer Wasserstand

Geringe Wassertiefen im Bauwerk können durch eine raue Gewässersohle sowie ggf. durch den Einbau von Steinschwellen erhöht werden. In breiten Durchlassbauwerken kann die Profilierung einer Niedrigwasserrinne hilfreich sein. Die Steinschwellen dürfen die Durchgängigkeit nicht beeinträchtigen und müssen daher lückig gesetzt werden. Zudem sollten sie den Abfluss bei Hochwasser nicht wesentlich beeinflussen. Für Fische sollte die Wassertiefe das 2,5-fache der Körperhöhe, aber mindestens 10 cm betragen⁴.

4 Umsetzung

4.1 Priorisierung von Baumaßnahmen zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit

Aufgrund der begrenzten finanziellen Mittel für Durchgängigkeitsmaßnahmen ist es ratsam, unter den möglichen Maßnahmen, diejenigen mit dem größten ökologischen Nutzen auszuwählen. Im Folgenden werden einige von Warneck et al. (2008) nach Nummerierung gewichtete Faktoren aufgeführt, anhand derer eine Priorisierung im Sinne der ökologischen Wirksamkeit erfolgen kann (1 = höchste Gewichtung)¹⁰:

1. Chemische Wasserqualität

Die meisten Fließgewässer im Wald weisen eine gute chemische Wasserqualität auf, da der menschliche Einfluss vergleichsweise gering ist. Versauerung durch Nadelstreu kann eine Rolle spielen, sofern der Boden ein geringes Puffervermögen für Säuren hat.

Ist die chemische Wasserqualität beeinträchtigt (z. B. von Schwermetallen, Pestiziden, Nitrat oder durch Versauerung beeinträchtigte Gewässer), sind Durchgängigkeitsmaßnahmen als nachrangig zu betrachten. Der chemische Zustand sollte auf der gesamten Länge des Baches in Augenschein genommen werden.

2. Gewässergüte (Saprobie)

Fließgewässer im Wald weisen meist eine hohe Gewässergüte auf. Ist die Gewässergüte jedoch beeinträchtigt (z. B. bei Belastung durch sauerstoffzehrende organische Substanzen wie Abwässer aus Siedlungen, landwirtschaftlichen Flächen oder Fischteichen), so sind Durchgängigkeitsmaßnahmen als nachrangig zu betrachten. Auf entsprechende Einleitungen ist zu achten.

3. morphologisch-strukturelle Belastungen

Dies betrifft im Wald Eingriffe in Gewässerverlauf, -sohle und Ufer durch Wegebau. Das Fließgewässer ist in seiner Breite deutlich reduziert und verläuft in einem grabenartigen Bett. Die Bachsohle ist unter Umständen durch Stein, Holz oder Beton befestigt.

4. hydrologische Belastungen

Im Wald können neben dem Nährstoffeintrag auch hydrologische Belastungen durch die Stauhaltung von Fischteichen entstehen, sofern das Fließgewässer durch den Teich führt. Stillgewässer sind ein eigener Lebensraum und für Arten der Fließgewässer u. U. nicht passierbar.

5. Naturnähe des Gewässerumfeldes

Fließgewässerufer, die durch den Wegebau (beidseitig) stark überprägt sind oder längere Gewässerabschnitte, die von Nadelholzreinbeständen begleitet werden.

6. Distanz zum nächsten ober- und unterhalb gelegenen Wanderhindernis

Befinden sich weitere Durchgängigkeitsbarrieren in der Nähe des betrachteten Durchlasses, so ist der ökologische Nutzen der Wiederherstellung der Durchgängigkeit an einer Stelle geringer. Gleichwohl ist es wünschenswert, dass auch stark verbaute Gewässer in einen günstigeren Zustand gebracht werden.

Je schlechter die beschriebenen Kriterien für einen Bach bewertet werden, desto geringer ist die ökologische Wirkung von Durchgängigkeitsmaßnahmen. Niedrig priorisierte Bäche sollten dennoch nicht vollständig von Maßnahmen ausgeschlossen werden. Insbesondere, wenn die Erneuerung von Durchlässen notwendig wird, ist auf eine gute Durchgängigkeit zu achten.

Anhand der Gewässerbreite kann die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Durchgängigkeit generell nicht festgemacht werden. Das Makrozoobenthos besiedelt Waldbäche bis in die Quellbereiche und auch Fischpopulationen werden in Gewässern von nur einem Meter Breite und darunter gefunden⁵.

In temporären Fließgewässern ist der oberirdische, mitunter auch der unterirdische Wasserfluss im Jahresverlauf zeitweise unterbrochen. Entsprechende Gewässer trocknen in Abhängigkeit von der Witterungslage in den Sommermonaten unterschiedlich lange aus. Hier entsteht häufig die Frage, inwieweit eine Entfernung von Barrieren an Kreuzungsbauwerken sinnvoll sein kann, wenn es

bereits natürliche Barrieren in Form der Austrocknung gibt und welche Priorisierung entsprechende Gewässer bei Maßnahmen zur Herstellung der Durchgängigkeit erfahren sollen. Die Wasserführung kann generell nur nachrangig als Entscheidungskriterium für Maßnahmen herangezogen werden, da auch bei temporär fehlendem Wasser eine fließgewässertypische Lebensgemeinschaft vorhanden sein kann³. Bei trockenfallenden Gewässern handelt es sich um eigene Habitate, an die bestimmte Arten angepasst sind^{16,17}. Einige Arten des Makrozoobenthos können Trockenperioden durch verschiedene Anpassungen gut überstehen. Sie überdauern die Trockenheit beispielsweise durch die Fähigkeit einzutrocknen (einige Zuckmückenlarven) oder in Eiern, haben einen flexiblen Lebenszyklus, eine schnelle Larvenentwicklung oder eine Ei- oder Larvaldiapause (verschieden Eintagsfliegenarten)¹⁷. Zudem weisen Arten mit flugfähigen Entwicklungsstadien eine schnelle Wiederbesiedlungsfähigkeit auf, da Wanderbarrieren überflogen werden können. Andere Arten, wie Kleinkrebse oder Strudelwürmer, verschwinden schnell aus ausgetrockneten Bachabschnitten und eine Wiederbesiedlung kann nur über den Wasserweg stattfinden. Für diese Arten ist eine lineare Durchgängigkeit von entscheidender Bedeutung. Verlorene Lebensräume können nur auf diesem Weg wiederbesiedelt werden.



Abb. 12: Trockengefallener Waldbach. Ob sich eine Durchgängigkeitsmaßnahme hier lohnen könnte, zeigt der Blick ins Bachbett. Finden sich in den oberen 20 cm Arten des Makrozoobenthos? (Foto: J Wellhäuser)

Als generelle Entscheidungshilfe kann der Grundsatz gelten: Wenn im Bachbett des trockengefallenen Gewässers fließgewässertypisches Makrozoobenthos zu finden ist (Steine umdrehen) oder Vorkommen von Kleinkrebsen oder Strudelwürmern im Bachverlauf bekannt sind, sind Durchgängigkeitsmaßnahmen sinnvoll³. Je länger Trockenperioden in einem Gewässer im Vergleich zu anderen andauern, desto geringer ist jedoch die Priorität für Maßnahmen zur Durchgängigkeit (Abb. 12).

4.2 Bauliche Realisierung von Durchgängigkeit an Kreuzungsbauwerken

Grundsätzliches

Die folgenden Grundsätze sollten unabhängig vom Bauwerkstyp eingehalten werden, um die Durchgängigkeit der Durchlässe zu gewährleisten:

- Bevor ein Ersatzbauwerk gebaut wird, sollte die Notwendigkeit des Weges und damit des Durchlasses überprüft werden. Möglicherweise ist ein vollständiger Rückbau möglich.
- Der Ein- und Auslauf der Bauwerke sollte so gestaltet sein, dass weder Barrieren noch Abstürze entstehen.
- Durchlässe möglichst großzügig dimensionieren. Die Bachsohle im Durchlass sollte mindestens so breit sein wie die natürliche Breite der Bachsohle⁹.
- Eine durchgängige raue Gewässersohle aus gewässertypischen Steinen und Sediment innerhalb des Durchlasses (Mächtigkeit >20 cm)⁴. Keine harte Verbauung mit Beton, ggf. Stabilisierung durch große Wasserbausteine¹⁰.
- Für geringe Fließgeschwindigkeiten im Durchlass sorgen. Fließgeschwindigkeiten von maximal 0,5 m pro Sekunde bei mittlerem Abfluss im Bauwerk sind wünschenswert⁴.
- Beim Durchlassgefälle ist das natürliche Sohlengefälle und eine sohlengleiche Anbindung an das Ober- und Unterwasser anzustreben^{4,9}.

- Bei Gewässern mit großen Wasserstandsschwankungen und ausreichend breiter Sohle im Durchlass ist die Gestaltung einer Niedrigwasserrinne sinnvoll¹⁰.

Folgende Punkte tragen zusätzlich zur ökologischen Verträglichkeit der Maßnahme bei:

- Das beim Bau verwendete Gesteinsmaterial sollte möglichst gebietstypisch sein⁴. Gründe hierfür sind in erster Linie die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Gesteine. Darüber hinaus fügen sich gebietstypische Gesteine optisch am besten in das Bild des zu renaturierenden Gewässers ein.
- Zum Bau eines neuen Durchlasses ist in den meisten Fällen temporär eine künstliche Wasserumgehung notwendig, die durch einen Bagger angelegt werden kann. Auf diese kann ggf. verzichtet werden, wenn es sich um einen periodisch wasserführenden Bach handelt oder der neue Durchlass leicht versetzt angelegt wird¹⁰.
- Die bei den Bauarbeiten entstehende Sedimentfracht, die ins Gewässer gelangt, sollte so gering wie möglich gehalten werden, um wasserfiltrierende Organismen, wie beispielsweise Muscheln, nicht zu schädigen¹⁸.
- Bauarbeiten sollten in den fischökologisch sensiblen Laich- und Entwicklungszeiten möglichst unterbleiben¹⁸.
- Insbesondere bei größeren Durchlässen (z. B. unter öffentlichen Straßen) ist ebenfalls auf die Durchgängigkeit der Uferzone zu achten, um Tieren, die entlang von Gewässern wandern (z. B. Frösche, Kröten, Igel) eine sichere Passage zu ermöglichen⁴.
- Vor dem Hintergrund der sich ausbreitenden Salamanderpest, einer meist tödlich verlaufenden Infektion mit dem Pilz *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal), ist es ratsam, vor Gewässerwechseln in potentiellen Befallsgebieten darauf zu achten, die Bereifung der verwendeten Baumaschinen zu reinigen und abtrocknen zu lassen. Bei lokal tätigen

Bauunternehmen ist die Wahrscheinlichkeit geringer, den Pilz aus anderen Regionen einzuschleppen. Schuhe sollten gesäubert, getrocknet und desinfiziert werden. Handlungsempfehlungen und ein Desinfektionsprotokoll finden sich beispielsweise auf der Internetseite des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)¹⁹.

Im Zuge der Einrichtung von Durchlassbaustellen können folgende Hinweise nützlich sein:

- Werden mehrere Baustellen im räumlichen Zusammenhang gemeinsam vergeben, so können Kosten bei der Baustelleneinrichtung gespart werden²⁰.
- Für größere Durchlässe muss ggf. ein Standplatz und das Lichtraumprofil für einen Schwerlastkraneinsatz vorhanden sein¹⁰.
- Für Bauwerke an Wegen mit Schwerlastverkehr sind statische Berechnungen vorzusehen. Die Planung durch ein Ingenieurbüro ist bei vielen größeren Bauwerken sinnvoll, sofern kein eigenes Fachpersonal vorhanden ist.

Brücken

Der Bau einer Brücke stellt in vielen Fällen den geringsten Eingriff in das Gewässer dar und sollte insbesondere bei größeren Fließgewässern im Wald in Betracht gezogen werden (Abb. 13). Für kleinere Fließgewässer sind Brücken in der Rahmenbauweise (Haubenprofile) oder Bogenprofile aus Wellblechstahl gut geeignet. Der Bachquerschnitt wird bei ausreichender Dimensionierung kaum eingeengt und die natürliche Gewässer-sohle bleibt erhalten¹⁴. Gewässerrandstreifen können bei Bedarf angelegt werden.

Der Bau einer Brücke ist kostenaufwändig und macht bei größeren Bauwerken den Einsatz eines Schwerlastkrans notwendig. Es werden beidseitige Widerlager/Fundamente benötigt, die gegen Unterspülung gesichert werden müssen^{4,10}. Dazu eignen sich größere Wasserbausteine.



Abb. 13: Brücken verengen den Fließgewässerquerschnitt kaum und beeinträchtigen die Durchgängigkeit bei natürlicher Sohlanlage nur wenig. Trockene Seitenstreifen ermöglichen auch Landtieren die Passage durch das Bauwerk. (Foto: M. Schmidt)

– Haubenprofildurchlass:

Eine spezielle Ausführung einer Brücke sind Haubenprofile aus Stahlbeton, die geringer dimensioniert sind als herkömmliche Brücken (Abb. 14). Diese umgedrehten U-Profile sind ebenso wie eine größere Brücke nach unten hin offen, sodass sich ein strukturreiches Bachbett ausbilden kann. Ein Durchlass in dieser Bauweise besteht meist aus mehreren Elementen, die hintereinander gesetzt und miteinander verbunden werden. Auf diese Weise wird für die Verlegung meist kein Schwerlastkran benötigt.



Abb. 14: Haubenprofildurchlass mit Geländer und Kopfbalken. Ein Geländer wird notwendig, wenn die potentielle Absturzhöhe größer als ein Meter ist. Der Kopfbalken, auf dem das Geländer steht, sichert den Wegekörper seitlich gegen Abrutschung ab. (Foto: J. Wellhäuser)



Abb. 15: Streifenfundamente für einen Haubenprofildurchlass im Bau. Bevor die Betonelemente darauf gesetzt werden, kann die Gewässersohle zwischen den Fundamenten modelliert werden¹⁰. (Foto: W. Haaß)

Haubenprofile werden entweder auf ein zuvor angelegtes Streifenfundament gesetzt (Abb. 15) oder haben am Fuß eine nach außen weisende Verbreiterung, die als Auflagefläche dient (Abb. 16). Letztere wurden in der hessischen Rhön (Forstamt Hofbieber) erprobt und eignen sich dort besonders auf festen Böden (hoch anstehendes Grundgestein), die den Bauelementen ausreichend Halt geben. Die einzelnen Elemente können entweder aus einem Guss sein oder aus zwei L-Profil-Seitenwänden und einem darauf verschraubten Dach bestehen.



Abb. 16: Haubenprofildurchlässe ohne Fundamentstreifen. Auf dem linken Bild ist das Haubenprofil im unteren Bereich verbreitert und weist so eine erhöhte Standfestigkeit auf. Das rechte Bild zeigt einen Durchlass, der seitlich aus nach außen gedrehten L-Profilen und einem darauf verschraubten Deckel besteht. Beide Varianten wurden bisher nur auf sehr festem Boden verbaut. (Fotos: M. Schmidt)

Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, Haubendurchlässe aus Wellstahl zu realisieren (Abb. 17). Hierbei wird ein Wellstahlbogen auf den Streifenfundamenten platziert. Haubenprofile aus Wellstahl können die Anforderungen an eine Traglast

von 60 t erfüllen¹⁰. In entsprechender Ausführung ist ihre Haltbarkeit der von Betonrohren gleichzusetzen²¹.



Abb. 17: Wellstahldurchlass als Haubenprofil auf Streifenfundamenten. Auch sehr große Spannweiten sind in dieser Bauweise realisierbar.

(Foto: Ettwig, Büro für Ingenieurbiologie und Landschaftsplanung)



Abb. 18: Ein Haubenprofilelement wird mit einem Gabelträger über das vorgeformte Bachbett gesetzt. Der gesamte Durchlass besteht aus mehreren hintereinander gesetzt und miteinander verschraubten Elementen.

(Foto: S. Hartmann, Forstamt Hofbieber)

Im Gegensatz zu geschlossenen Rohrdurchlässen besteht bei diesen Durchlassausformungen generell die Möglichkeit, das Gewässerbett im Durchlass auszuformen, bevor die Betonelemente auf die Fundamente gesetzt werden (Abb. 18).

Ist trotz großzügiger Dimensionierung und rauem Bachbett mit erhöhten Fließgeschwindigkeiten im Bauwerk und am Bauwerksausgang zu rechnen, wird eine entsprechende Befestigung der Sohle im Bauwerk sowie der Ein- und Ausgangsbereiche mit ausreichend großen Wasserbausteinen notwendig, um das Bachbett gegen Erosion und das Bauwerk gegen Unterspülung zu sichern. Die Kraft des Wassers bei Hochwasserabfluss sollte hier nicht unterschätzt werden.

Werden Haubenprofile in höherem Gefälle verbaut, sind Profile mit einem Kopfbalken (Abb. 14) sinnvoll, um den darüber liegenden Wegekörper seitlich zu stabilisieren. Eine Befestigung der Elemente selbst in den Fundamenten ist zudem möglich.

Haubenprofile in ausreichender Dimensionierung sind eine empfehlenswerte Variante bei der Neugestaltung von Durchlässen. Sie weisen eine natürliche und bei richtiger Installation stabile Bachsohle auf. Die Fließgeschwindigkeit wird entsprechend abgebremst und Abstürze sind weniger wahrscheinlich.

Verrohrungen

Verrohrung ist die häufigste und kostengünstigste Bauwerksform von Durchlässen an Wegekreuzungen. Das einzubauende Rohr wird auf einem verdichteten Schotterbett platziert und in den Wegekörper eingebaut. Verrohrungen haben in der Vergangenheit zu unzähligen Barrieren in Fließgewässern geführt, die bis heute bestehen. Grund dafür sind die schnellen Fließgeschwindigkeiten und niedrigen Wasserstände in glatten und gering dimensionierten Rohren, sowie ein zu hoher Einbau in Bezug auf das Gewässerbett unterhalb des Durchlasses und eine fehlende Sohlsicherung, die zu Erosion und somit Wasserabstürzen am Ende des Rohres führt (Abb. 19).



Abb. 19: Diese Verrohrung wurde vermutlich von Anfang an zu hoch eingebaut. Im Zusammenspiel mit der darauf folgenden Erosion ist eine unüberwindbare Barriere entstanden. (Foto: M. Schmidt)

Sollen heute Verrohrungen verbaut werden, sind folgende Aspekte beim Einbau zu beachten, um ihre Passierbarkeit zu gewährleisten (Abb. 20):

- Das Rohr muss groß dimensioniert sein. Jede Verengung des Gewässerquerschnitts führt zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten und zu Erosion. Auch bei kleinen Waldbächen ist ein Mindestdurchmesser von 80 cm zu empfehlen¹⁰.
- Um eine durchgängige und stabile Gewässer-
sohle zu gewährleisten, müssen Verrohrungen zu einem Drittel in die Gewässersohle eingelassen werden⁵. Der daraus resultierende geringere Durchlassquerschnitt sollte in Bezug auf die Abflussmengen des Gewässers berücksichtigt und entsprechend größere Rohrdurchmesser sollten gewählt werden.
- Das Gefälle im Rohr soll dem der Bachsohle entsprechen^{10,23}.
- Die Gewässersohle im Rohr kann durch grobe Steinschüttungen und/oder große tiefgesetzte Wasserbausteine im Zu- und Ablaufbereich gesichert werden. Insbesondere hinter den

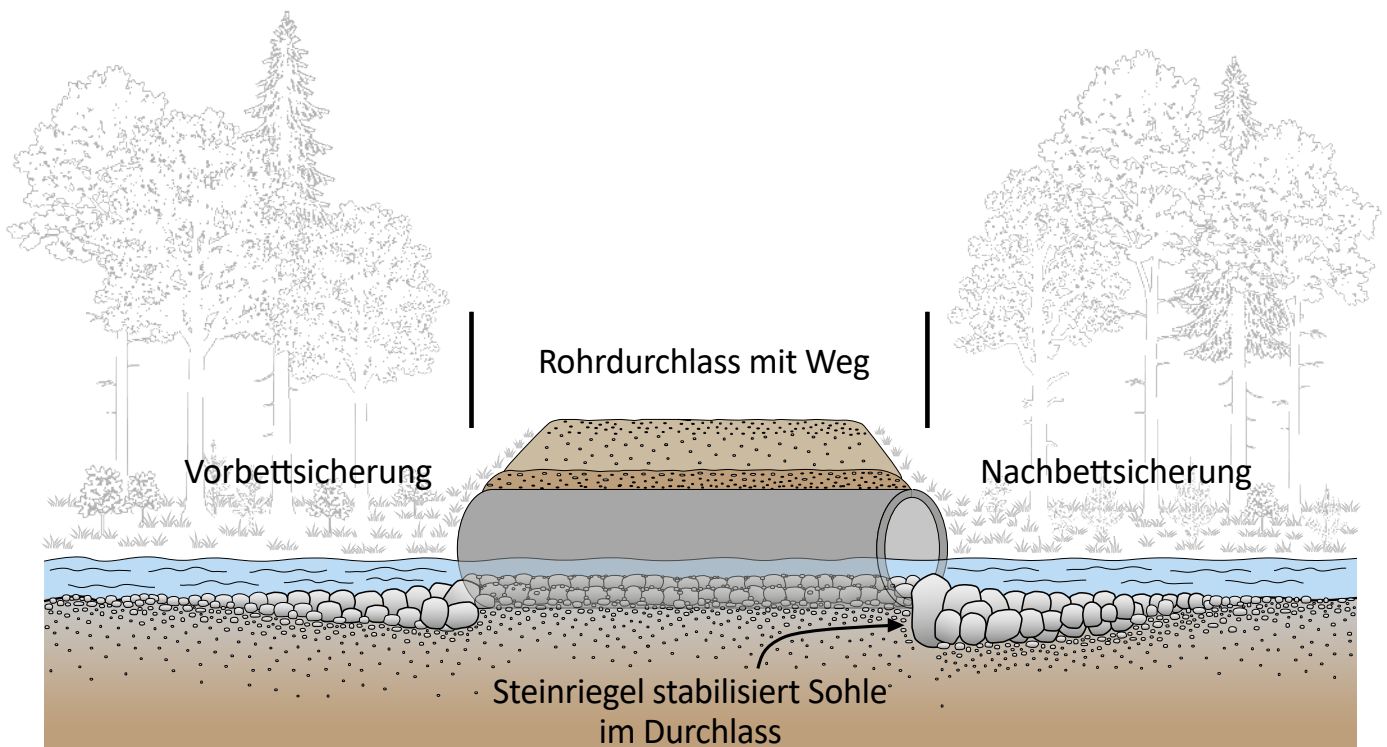


Abb. 20: Optimalerweise ist ein Rohrdurchlass zu einem Drittel in die Gewässersohle eingelassen, sodass sich im Rohr eine min. 20 cm hohe Substratschicht befindet. Der Einlauf- und insbesondere der Auslaufbereich werden durch größere Wasserbausteine gegen Erosion gesichert. (verändert nach ²²)

Durchlassausgang sollten sohlgleich große Wasserbausteine gesetzt werden. Um keinen Absturz entstehen zu lassen, sind die Steine lückig zu setzen.

- Je höher das Gefälle des Baches ist, desto schwieriger wird es, ein stabiles Bachbett im Bauwerk zu installieren. Ab ungefähr sechs Prozent Gefälle sollte ein nach unten offenes Bauwerk gewählt werden⁹.
- Rechteckprofildurchlässe (nicht in Richtung Bachbett offen) können Betonrohren entsprechend verbaut werden.

– Wellstahlprofile:

Maulprofile aus Wellstahl sind eine mögliche Alternative zu Betonrohren. Sie weisen ein ovales, nach unten abgeplattetes Profil und eine vergleichsweise geringe Bauhöhe auf. Sie werden vor Ort aus einzelnen Wellstahlblechen zusammengeschaubt. Das Wellstahlprofil wird von oben und seitlich von Stein- oder Erdmaterial überdeckt und erhält so seine Stabilität. Die seitliche Stützfunktion des verdichteten Einbettungsmaterials ist dafür entscheidend²³. Maulprofile können die Anforderungen an eine Traglast von 60 t erfüllen¹⁰. In entsprechender Ausführung ist ihre Haltbarkeit der von Betonrohren gleichzusetzen²¹.

Je nach Spannweite müssen bestimmte Überdeckungshöhen eingehalten werden. Ebenso wie Betonrohre sollten die Wellstahlprofile in die Bachsohle eingebaut werden. Auf welligen Blechen hat das Sohlsubstrat besseren Halt als in einem glatten Rohr. Gegenüber herkömmlichen Betonrohren bieten Wellstahlrohre zudem den Vorteil, dass das Sohlmaterial von oben im Rohr platziert werden kann, solange die oberen Wellstahlbleche noch nicht installiert sind²⁴.

– Nachbesserung:

Der Neubau eines Durchlasses ist im Hinblick auf die Durchgängigkeit des Gewässers stets zu bevorzugen. Ist er nicht möglich, so gibt es verschiedene Möglichkeiten, Rohrdurchlässe nachzurüsten, um sie durchgängiger zu gestalten. Beim Neubau nach den beschriebenen Grundsätzen zur Durch-

gängigkeit sind entsprechende Maßnahmen nicht notwendig⁹.

Um die Fließgeschwindigkeit in einem Rohr abzubremesen, den Wasserstand zu erhöhen und gleichzeitig die Sedimentation von natürlichem Sohlssubstrat zu fördern, können Störelemente im Rohr installiert werden⁴. Steine, Hölzer oder Metallplatten können auf den glatten Rohrboden gedübelt werden, um die Rauheit zu erhöhen. Dabei empfiehlt es sich häufig, die Elemente in Riegeln, abwechselnd rechts und links orientiert, anzuordnen, sodass eine gewisse Strömungsheterogenität im Rohr hergestellt wird. Querriegel über die gesamte Rohrbreite können potentiell zu Wasserabstürzen im Rohr führen, die die Durchgängigkeit wiederum einschränken (Abb. 21).



Abb. 21: Wellstahlprofil mit einem Sohlssubstrat, welches eine Durchwanderung ermöglicht. Die Sohle wurde durch schmale Querbalken stabilisiert, die seitlich und in der Mitte mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten überflossen werden. Idealerweise würden die Querbalken abwechselnd rechts und links Abflachungen aufweisen, die das Wasser lenken und sehr gut passierbare Bereiche entstehen lassen.

(Foto: M. Fels)²⁵

Der Wasserstand und die Sedimentation im Durchlass kann zusätzlich durch einen lückigen Querriegel aus großen Wasserbausteinen direkt vor dem Durchlassausgang erhöht werden. Damit der Einstau gelingt, muss die Oberkante der Steine ein Stück über den Rohrboden hinausragen und gut gesichert werden. Gleichzeitig ist es entscheidend, darauf zu achten, dass hinter dem Riegel kein Wanderhemmnis in Form eines Absturzes entsteht. Gegebenenfalls wird hier eine nachgelagerte Sohlsicherung in Form einer kleinen Blockrampe notwendig. Generell ist es bei kleineren

Abstürzen (bis 30 cm Höhe) am Ende eines Rohres vertretbar, eine Blockrampe anzulegen, um so die Bachsohle wieder zu erhöhen (s. Kap. Blockrampen, S. 19).

Für zusätzliche Sedimentation und Sohlbildung können Baustahlmatten mit Abstandshaltern auf dem Rohrboden befestigt werden. Im Gitter bleiben Steine und mit der Zeit auch feineres Sediment hängen und es entsteht ein schmaler Sohlbereich⁴.

Furten

Furten sind vergleichsweise kostengünstige und wartungsarme Gewässerquerungen im Wald¹⁰. Sie engen den Gewässerquerschnitt nicht ein und können eine gute Durchgängigkeit für Gewässerorganismen aufweisen (Abb. 22).



Abb. 22: Köcherfliegenlarve im Bereich einer Furt im Nationalpark Kellerwald-Edersee (Foto: W. Haaf)

Ihre Realisierung bietet sich vor allem an weniger genutzten Wegen und Rückegassen an²⁰. Der Fahrkomfort ist im Gegensatz zu anderen Kreuzungsbauwerken geringer, bei Hochwasser ist das Bauwerk u. U. nicht passierbar. Häufige Querungen mit Fahrzeugen bergen das Risiko einer Gewässerverunreinigung. Es sollte bedacht werden, dass eine Furt bei Durchfahrung im Winter zu einer vereisten Zuwegung führen kann, da Wasser über die Reifen auf dem Forstweg verteilt wird.

Im Gegensatz zu anderen Wegequerungen ist der Bau von Furten stärker vom umliegenden Geländere relief abhängig. Je größer der Höhenunter-

schied zwischen Bachbett und Straßenoberfläche ist, desto höher ist der Aufwand für die Erstellung einer Furt²⁰. Rückegassen bilden hier eine Ausnahme, da dort auch recht steile Zufahrten realisiert werden können. Um den Höhenunterschied zwischen Furt und nachgelagertem Bachbett zu verringern, kann die Querneigung der Furt bis maximal sieben Prozent erhöht werden²⁶. Generell sollte die Neigung der Furt aber gering gehalten werden, um Erosion zu verhindern.

Die Länge der Zuwegung einer Furt muss an die Eigenschaften der querenden Fahrzeuge angepasst werden. Ein Langholzzug braucht beispielsweise einen größeren Muldenradius als ein Pkw. Die Zu- und Abfahrtsbereiche der Furt sollten auf Forststraßen eine Neigung von ca. fünf Prozent haben, jedoch maximal zehn Prozent^{10,26}. Ab Wegeneigungen (Forststraße) von zehn Prozent sind Furten nicht mehr zu empfehlen, weil starke Veränderungen in den Höhenverlauf des Weges notwendig werden²⁶.

Aufgrund der meist erhöhten Fließgeschwindigkeiten im Bereich der häufig recht glatten Furt sollte insbesondere der Ausgangsbereich durch Sohlbefestigungen gesichert werden, um Erosion und somit Sohlstufen in diesen Bereichen zu verhindern (Abb. 23). Der Verbau von großen Wasserbausteinen (z. B. LMB 40/200 [40–200 kg]) als Riegel in der Sohle mit einer nachgelagerten Steinschüttung kann diese Aufgabe übernehmen (s. Kap. Blockrampen, S. 19). Welche Längenausdehnung, Steingröße und Schichtdicke notwendig ist, muss für einzelne Situationen in der Praxis erprobt und angepasst bzw. durch hydraulische Berechnungen ermittelt werden^{10,20,23}. Der in diesem Zuge entstehende Rückstau des Wassers auf die Furt durch den Steinriegel unterhalb der Furt kann zu höheren Wasserständen auf dem Bauwerk führen, und so Fischpassagen erleichtern⁴. Auf Beton sollte bei Sohlsicherungen verzichtet werden, um die Durchgängigkeit der Sohle aufrechtzuerhalten¹⁰.

Die Zuwegung der Furt sollte so gestaltet werden, dass möglichst wenig Substrat von Fahrzeugreifen

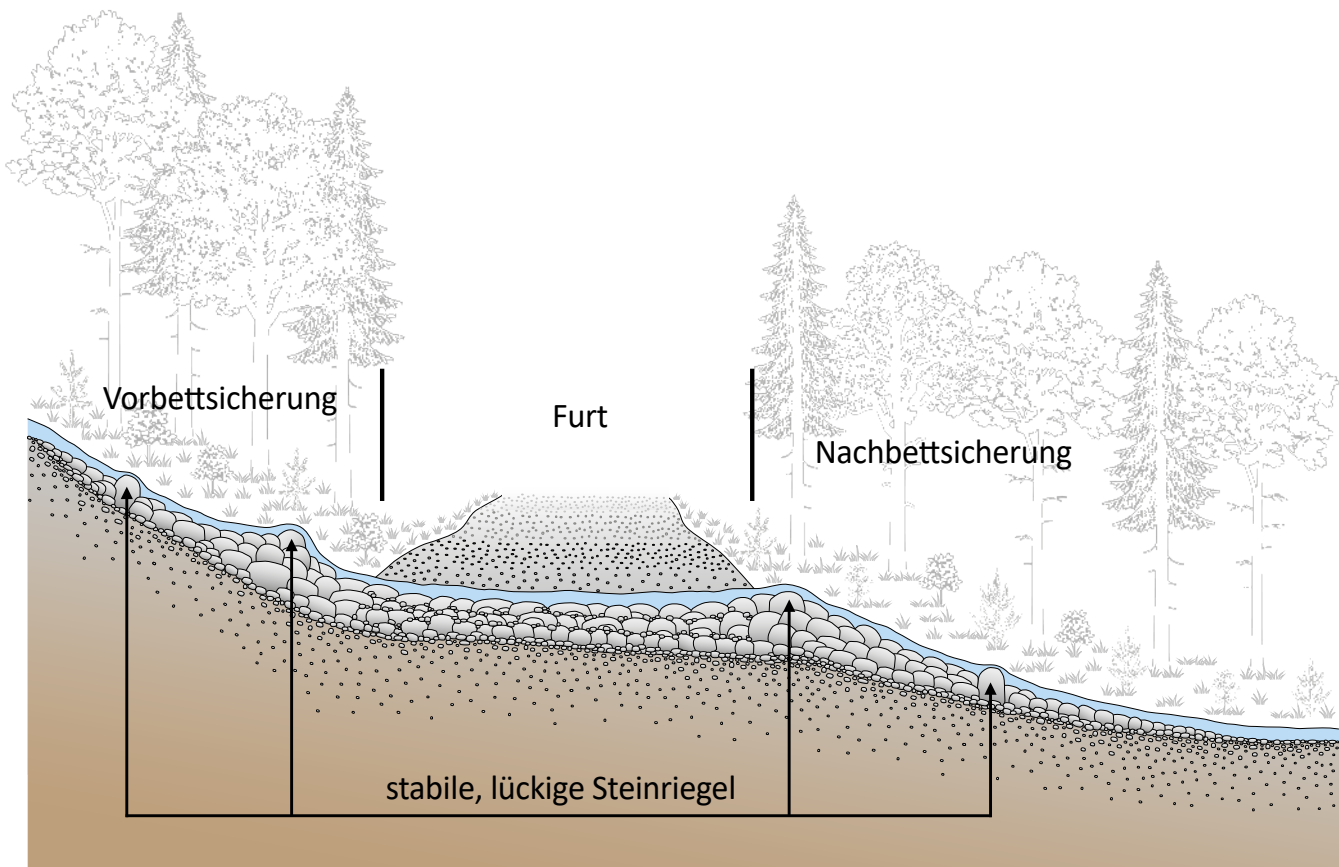


Abb. 23: Eine geschüttete Furt: Die Vorbetsicherung, ggf. mit Steinriegeln versehen, bremst das Wasser und sorgt für geringere Fließgeschwindigkeiten auf der Furt. Die Nachbetsicherung verhindert Erosion im nachgelagerten Bereich und staut das Wasser auf der Furt. Es ist auf eine stabile Einbindung der Riegel in die Sohle zu achten. (verändert nach ²⁰)

in das Gewässer gelangt, um wasserfiltrierende Organismen (z. B. Muscheln) zu schonen. Die Verwendung von grobem Wegebausubstrat in der Zuwegung ist daher zu empfehlen. Die Fahrspurbreite sollte im Furtbereich auf ein Minimum begrenzt werden⁴. Für die Überquerung der Furt zu Fuß können bei Bedarf seitlich Trittsteine gesetzt werden²⁷.

Je nach notwendiger Traglast und den Durchgängigkeitsanforderungen, können Furten aus geschütteten (Abb. 24) oder aus gesetzten Wasserbausteinen mit großen Fugen (Abb. 25, 26) bestehen¹⁴.

– Geschüttete Furt:

Eine geschüttete Furt eignet sich insbesondere für Wege, die nur eine geringe Traglast aufweisen müssen (Pkw). Bei erhöhten Anforderungen an die Traglast ist es jedoch möglich, das geschüttete und verdichtete Gesteinsmaterial im Bereich der Fahrspuren seitlich durch sohlgleiche Schwellen

zu befestigen, um zu verhindern, dass schwere Fahrzeuge das Material nach außen drücken.

Die Furt sollte mindestens aus Gewässerbausteinen der Größe 150–300 mm (LMB 5/40) ohne Fugenverguss bestehen^{20,27}. Zusätzlich kann dieses Grundgerüst mit Schotter der Korngröße 0–56 mm gemischt werden, damit das Wasser nicht ausschließlich zwischen den Steinen, sondern an der Oberfläche fließt. Ein Unterbau aus Schotter ist zudem in Abhängigkeit von der erwarteten Belastung des Weges notwendig²⁷. Auf Grundlage einer hydraulischen Berechnung sind je nach Gefälle und Abflussgröße ggf. Modifizierungen notwendig.

Ein eindeutiger Vorteil der geschütteten Furt gegenüber einer gesetzten Variante ist die durchlässige Gewässersohle. Das Makrozoobenthos kann im und entlang des Porenraumes der Schüttung bachaufwärts wandern. Eine geschüttete Furt benötigt allerdings eine stärkere Sicherung gegen Erosion im Zu- und Ablaufbereich.



Abb. 24: Furt mit Schüttung aus 15–25 cm Wasserbausteinen, gemischt mit 0–56 mm Schotter. Linkerhand wurden Trittsteine eingebaut²⁷. (Foto: C. Morkel)

– Gesetzte Furt:

Eine gesetzte Furt zeichnet sich insbesondere durch eine große Stabilität (Traglast bis 60 t möglich) und lange Haltbarkeit aus. Dadurch ist diese Bauvariante gut für Rückegassen geeignet (Abb. 25). Sie ist weniger erosionsanfällig, weist jedoch eine geringere Durchgängigkeit der Sohle auf als die geschüttete Variante. Wasserbausteine der Dimension 20–60 cm werden im Fahrbahnbereich im Verbund verlegt¹⁰. Um ein durchgängiges Gewässerbett zu gewährleisten, ist hier auf breite Fugenräume zu achten, die mit feinerem Substrat verfüllt werden (Abb. 26). Es ist außerdem möglich, nur die Fahrspur mit zwei Reihen gesetzter Steine zu versehen. Dies erhöht die Durchgängigkeit der Sohle. Werden die Wasserbausteine im



Abb. 25: Furt mit großen gesetzten Wasserbausteinen. Auf Rückewegen ist die Herstellung einer steileren Zuwegung möglich. (Foto: J. Wellhäuser)

Furtbereich im Längsschnitt des Fließgewässers etwas tiefer gelegt als das restliche Bachbett, besteht zudem die Möglichkeit, dass sich immer wieder natürliches Substrat im Furtbereich absetzt. In diesem Sinne kann auch eine Schüttung von kleineren Steinen und Schotter auf die gesetzten Steine erfolgen. Diese Schüttung sollte am Auslauf der Furt gesichert werden.



Abb. 26: Bei der Herstellung einer gesetzten Furt ist auf ausreichend breite Fugen zu achten. Diese können mit feinerem Substrat verfüllt werden. (Foto: M. Schmidt)

Blockrampen (Raue Rampe)

Blockrampen werden in Fließgewässerabschnitten verbaut, die ein erhöhtes Gefälle aufweisen und daher mit einem Gemisch aus Steinblöcken und Schotter befestigt werden. Diese Sohlbefestigung verhindert Erosion und führt zu verringerten Fließgeschwindigkeiten, sodass entsprechende Bereiche besser von Wasserorganismen flussaufwärts passiert werden können^{11,28}. Im Kontext von Durchlässen im Wald können Blockrampen der Erosion vor und insbesondere hinter Durchlassbauwerken vorbeugen und somit die Durchgängigkeit am Durchlass aufrechterhalten.

Blockrampen können klassisch geschüttet oder gesetzt werden oder eine Mischform der beiden Varianten darstellen (Abb. 27). Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in der Größe des verwendeten Blockmaterials³⁰. Geschüttete Rampen bestehen aus mehreren Lagen vergleichsweise kleinerer Steine und weisen häufig eine höhere Rauigkeit auf (Das hängt auch stark von der Form

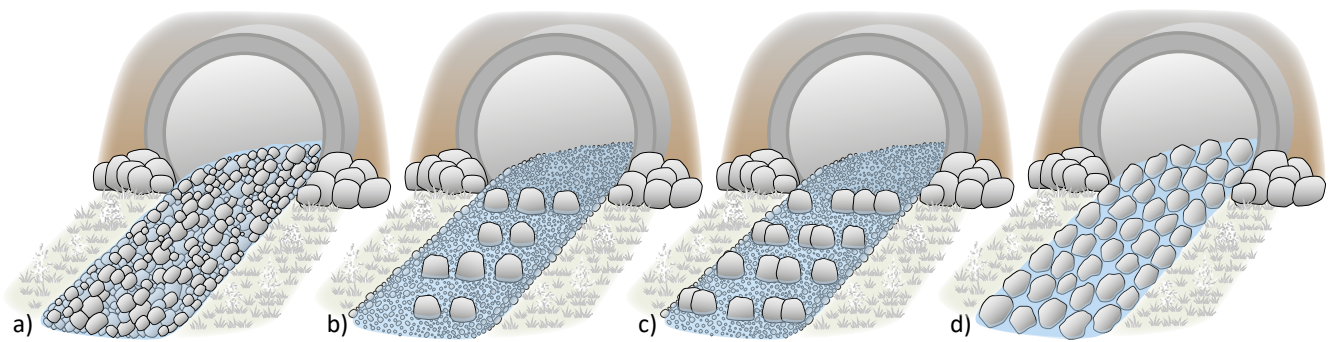


Abb. 27: Skizzierung verschiedener Rampenbauweisen: a) geschüttete Rampe, b) gleichmäßig verteilte Einzelblöcke, c) lückige Querriegel, d) gesetzte Rampe. (verändert nach ²⁹)

des verwendeten Materials ab) (Abb. 28). Sie sind etwas anfälliger für Erosion. Ihre Funktion wird durch leichte Erosion allerdings nicht beeinträchtigt. Gesetzte Blockrampen bestehen aus größeren Blöcken, die einlagig fest nebeneinander gesetzt werden und weniger zu Erosion neigen (Abb. 29). Findet dort Erosion statt, ist jedoch schnell die Funktionsfähigkeit des gesamten Bauwerks beeinträchtigt, weil betroffene Bereiche leicht weiter erodieren³⁰.



Abb. 28: Geschüttete Blockrampe unterhalb eines Durchlasses. Unmittelbar unterhalb des Durchlasses (an die untere Bildkante anschließend) wurde eine Grundschwelle aus größeren Steinen lückig in die Sohle eingebaut. Diese ragen etwa 10–15 cm über die Sohle des Durchlasses hinaus; weitere Grundswellen liegen im Abstand von etwa 8–10 m bachabwärts. Für Grundswellen eignen sich Steine der Größe LMB 40/200 oder LMB 60/300, bei kleinen Gewässern auch kleinere Steine. (Foto: W. Haaß)

Bei den Mischformen werden größere Steinblöcke in oder auf die Sohle der Rampe gesetzt, um ihre Rauigkeit zu erhöhen. Dies kann strukturiert in Querriegeln oder unstrukturiert, als Einzelblöcke über die gesamte Rampe verteilt, erfolgen. Der Versatz in die Sohle erhöht die Stabilität³⁰. Im Fall

von Querriegeln sollte darauf geachtet werden, dass hinter einem Riegel kein durchgängiger Absturz entsteht. Um die Stabilität zu erhöhen, kann ein Riegel aus zwei Steinreihen bestehen.



Abb. 29: Eine aus großen Wasserbausteinen gesetzte Blockrampe. Die Durchgängigkeit der Rampe könnte durch etwas breitere Fugen (20–30 cm) und die Einbringung von feinem Substrat in den Fugenbereichen weiter erhöht werden. (Foto: J. Wellhäuser)

Generell sollten die Anfangs- und Endbereiche einer Blockrampe am besten gegen Erosion gesichert werden, da es in diesen Bereichen meist zu einer Veränderung der Fließgeschwindigkeit kommt und die Erosionskräfte somit am stärksten sind. Je steiler das Gelände und je höher die Fließgeschwindigkeit (bei Hochwasser), desto stabiler sollte die Rampe ausfallen.

Die Schüttung sollte mit feinerem Substrat gemischt werden. Andernfalls kann es sein, dass das Wasser ausschließlich im Rampenkörper und nicht darüber fließt. Das ist insbesondere wichtig, wenn Fischpopulationen vorhanden sind. Arten des Makrozoobenthos können sich im Porenraum der Rampe fortbewegen.

Bei einer gleichmäßigen Schüttung oder Setzung ist darauf zu achten, dass das verwendete Blockmaterial eine unregelmäßige (Birnen-)Form aufweist. Quaderförmige Steine setzen sich häufig so, dass die Rampe einer Sohlpflasterung ähnelt und so nicht ihren Zweck erfüllt³¹. Das Setzen von Steinen erfolgt bachaufwärts entgegen der Strömungsrichtung, um eine gute Festigkeit zu erreichen. Eine Verzahnung der gesetzten Blöcke mit der Böschung erhöht die Stabilität³¹.

4.3 Kosten

Die Kosten (brutto) für Durchlassbauwerke schwanken in Abhängigkeit von der Bauwerkslänge und dem erforderlichen Aufwand für die Vor- und Nachbettsicherung²². Im Folgenden sind beispielhaft Kosten von verschiedenen Kreuzungsbauwerken aufgeführt. Die Werte können nur als grobe Orientierung dienen, da die Kosten in Abhängigkeit von der Eigenleistung, Gewässerunterhaltung/Gewässerausbau und dem Erbauungszeitpunkt stark variieren können.

– Verrohrungen mit Einbindung in die Bachsohle:

- Verschiedene Verrohrungen der Größe DN 800: 2 000 bis 8 000 € (ab 2011)²²
- Verschiedene Verrohrungen der Größe DN 1 000: 5 000 bis 10 000 € (ab 2011)²²
- Praxisbeispiel: „Verrohrung der Größe DIN 1 200“, Kosten: ca. 14 000 € (2007)¹⁰:
5 Betonrohre, L = 2,0 m (Rohre 2. Wahl 20 % günstiger), Dauer 2 ½ Tage, Baumaschinen: Bagger/ Schwerlastkran (Kranplatz herstellen), Gewässerunterhaltungsmaßnahme, manuelle Eigenleistungen einberechnet, Planung, Bauaufsicht und Bauüberwachung durch ein Ingenieurbüro einberechnet

– Furten:

Die Kosten für die Herstellung von Furten schwanken in der Praxis zwischen 2 000 € und 31 500 €^{10,20,27}

- Praxisbeispiel: Kosten ca. 6 000 € (2007)¹⁰:

Wasserbausteine 20–60 cm + Juraschotter, Dauer: 2 Tage + 1 Tag Nacharbeiten, Baumaschinen: Bagger, manuelle Eigenleistungen einberechnet, Planung, Bauaufsicht und Bauüberwachung durch ein Ingenieurbüro einberechnet.

– Brücken:

Die Kosten für die Herstellung von Haubenprofilen aus Stahlbeton schwanken in der Praxis zwischen 5 000 € und 75 000 €^{10,27,32}.

- Praxisbeispiel „offenes Rahmenbauwerk (Haubenprofil)“, Kosten: ca. 26 000 € (2007)¹⁰:
3 Elemente (Länge/Breite 2 m), 2 Fundamentstreifen, Dauer: 1 Woche, Baumaschinen: Bagger, kein künstlicher Graben zum Bau erforderlich, da neuer Durchlassstandort, Gewässerausbaumaßnahme, Planung, Bauaufsicht und Bauüberwachung durch ein Ingenieurbüro einberechnet.
- Praxisbeispiel „offenes Rahmenbauwerk (Haubenprofil)“, Kosten: ca. 34 300 € (2007)¹⁰:
4 Elemente (Länge u. Breite 2 m), 2 Fundamentstreifen, Dauer: 1 Woche, Baumaschinen: Bagger, künstlicher Graben zur Wasserumleitung beim Bau, Gewässerausbaumaßnahme, Planung, Bauaufsicht und Bauüberwachung durch ein Ingenieurbüro einberechnet.
- Praxisbeispiel „Durchlass aus Betonwinkel-elementen + Abdeckung“, Kosten: 5 300 €³²:
Quellnaher Durchlass aus 12 Winkelstützen und 3 Abdeckplatten (separat angefertigte Bauteile), Länge: 6 m, lichte Breite: 0,5 m.

4.4 Rechtliches

Die folgenden Angaben sollen Hinweise darauf geben, welche rechtlichen Vorgaben beachtet werden müssen. Sie wurden jedoch keiner juristischen Überprüfung unterzogen.

Bei den beschriebenen Baumaßnahmen steht meist die Frage im Raum, ob es sich um eine Gewässerunterhaltung oder einen Gewässerausbau handelt. Der Planungsaufwand unterscheidet sich

in Abhängigkeit von dieser Frage erheblich. Die zuständige Wasserbehörde nimmt die rechtliche Einordnung des Vorhabens vor. Häufig kommt es auf den Einzelfall an, ob die jeweilige Wasserbehörde die geplante Baumaßnahme als Gewässerunterhaltung oder Gewässerausbau einstuft. Es wurde in der Praxis die Erfahrung gemacht, dass für recht ähnliche Maßnahmen von den Behörden unterschiedliche Einstufungen vorgenommen wurden¹⁰.

Generell ist ein frühzeitiger Kontakt und Austausch mit der Wasserbehörde für den reibungslosen und erfolgreichen Ablauf von Durchgängigkeitsmaßnahmen sehr hilfreich^{4,33}. Das Vorhaben kann anhand von einfachen Skizzen oder Plänen und Fotos erläutert werden. Wenn sich herausstellt, dass der Eingriff in das Gewässer gering ist, sollte es in vielen Fällen möglich sein, die Maßnahme im Zuge der Gewässerunterhaltung durchzuführen¹⁰.

– Gewässerunterhaltung:

Gewässerunterhaltung ist die Pflege und Entwicklung von Gewässern (§ 39 WHG). Dazu zählen unter anderem die Erhaltung und Förderung der ökologischen Funktionsfähigkeit des Gewässers, wozu auch Durchgängigkeitsmaßnahmen zählen können. Gewässerunterhaltung beinhaltet somit eine Gewässerentwicklung, die jedoch noch nicht den Tatbestand des Gewässerausbaus erfüllt.

Wasserstand und Wasser- bzw. Hochwasserabfluss sollten weitestgehend unberührt bleiben¹⁰. Die Unterhaltung oberirdischer Gewässer obliegt zumeist den Eigentümern der Gewässer (§ 40 WHG). Eine Gewässerunterhaltung findet ohne förmlichen Antrag statt. Sonstige rechtliche Vorgaben sind zu beachten (Natur- und Artenschutz, Bodenschutz, Fischschutz³⁴).

– Gewässerausbau:

Gewässerausbau umfasst die Herstellung, Beseitigung oder wesentliche Umgestaltung eines Gewässers oder seiner Ufer (§ 67 WHG). Ein Gewässerausbau bedarf der Planfeststellung durch die zuständige Behörde (§ 68 WHG), sobald private Eigentumsrechte durch die Maßnahme berührt

werden¹⁰ oder wenn Wasserstand und Wasser- bzw. Hochwasserabfluss verändert werden.

Sonstige rechtliche Vorgaben sind zu beachten (Natur- und Artenschutz, Bodenschutz, Fischschutz³⁴). Ein förmlicher Antrag ist notwendig. Dieser kann Information zur Notwendigkeit der Maßnahme, zu technischen Einzelheiten, untersuchten Varianten, Eingriffen in Natur und Landschaft, Zeitpunkt der Bauausführung sowie einen Übersichtslageplan, Lagepläne in verschiedenen Maßstäben, Längs- und Querschnitte des Gewässers, einen hydraulischen Nachweis, Bauwerkszeichnungen, Bauwerkspläne und ein Grundstücksverzeichnis erfordern¹⁰.

Literatur

1. Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1 vom 22.12.2000.
2. UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2022): Die Wasserrahmenrichtlinie. Gewässer in Deutschland 2021. Fortschritte und Herausforderungen. Dessau-Roßlau. 120 S.
3. LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2005): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 1 – Grundlagen. Karlsruhe. 52 S.
4. LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (2008): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 4 – Durchlässe, Verrohrungen, sowie Anschluss Seitengewässer und Aue. Karlsruhe. 109 S.
5. Rinderspacher, H., Bönecke, G. (2004): Waldbäche – Morphologische Strukturen und Fauna. FVA-Einblick 8(2): 1-5.
6. Werth, S., Weibel, D., Alp, M., Junker, J., Karpatis, T., Peter, A., Scheidegger, C. (2011): Lebensraumverbund Fließgewässer: Die Bedeutung der Vernetzung. Wasser Energ. Luft 103(3): 224-234.
7. Mehl, D., Thiele, V., Degen, B., Berlin, A., Gräwe, D. (2005): Konzeption zur Ableitung des höchsten und des guten ökologischen Potentials von erheblich veränderten/künstlichen Fließgewässern Mecklenburg-Vorpommerns anhand der charakteristischen Belastungen und Zönosen. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. Bützow. 69 S.
8. Schwevers, U., Schindehütte, K., Adam, B., Steinberg, L. (2004): Zur Passierbarkeit von Durchlässen für Fische. LÖBF-Mitt. 28: 37-43.
9. Natmessnig, A. (2007): Auswirkungen der EU-WRRL auf den Forststraßenbau. Diplomarb. Univ. Bodenkultur Wien. 104 S.
10. Warneck, S., Schaber-Schoor, G. (Red.) (2008): Erhalt und Entwicklung naturnaher Bachläufe im Wald im Rahmen der Waldbewirtschaftung. DBU-Projekt Nr. 22388-33/2. Abschlussbericht 2008 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Freiburg. Abschlussber. 245 S. zzgl. Anhang.
11. Weibel, D., Peter, A., Schleiss, A. (2012): Durchgängigkeit von Blockrampen. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Merkblatt 6. Bern. 6 S.
12. Brehm, J., Meijering, M. P. D. (1996): Fließgewässerkunde – Einführung in die Ökologie der Quellen, Bäche und Flüsse. 3. Aufl. Wiesbaden. 302 S.
13. Schaber-Schoor, G. (2007): Kleine Gewässerläufe im Wald – Grundlagen für den Erhalt und die Entwicklung naturnaher Bachläufe in bewirtschafteten Wäldern. Culterra – Schriftenr. Inst. Landespl. Albert-Ludwig-Univ. Freiburg 49: 1-247.
14. Bönecke, G., Gilly, I., Rinderspacher, H. (2004): Empfehlungen für Gestaltungsmaßnahmen zur besseren Durchwanderbarkeit von Fließgewässern. FVA. Freiburg. 149-152.
15. Böning, P., Plewina, A., Virgo, J., Adam, J., Banowski, J. (2024): Die Salamanderpest: Charakterisierung, aktuelle Situation in Deutschland, Handlungsempfehlungen. Z. Feldherpetol. 31: 1-38.
16. Wolf, B. (2007): Die Verbreitung von *Capnia bifrons* (Plecoptera), *Metreletus balcanicus* und *Siphonurus armatus* (Ephemeroptera) in temporären Bächen des Vogelsberges, Hessen. Lauterbornia 62: 127-135.
17. Řezníčková, P., Tajmrová, L., Pařil, P. & Zahrádková, S. (2013): Effects of drought on the composition and structure of benthic macroinvertebrate assemblages – a case study. Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun. 61: 1853-1865.
<http://dx.doi.org/10.11118/actaun201361061853>
18. LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2021): Gewässerunterhaltung. Ausführungszeiten planen – rechtliche Vorgaben beachten. Kompaktinfo 2 – Vitale Gewässer in Baden-Württemberg. Karlsruhe. 4 S.
19. <https://www.hlnug.de/themen/naturschutz/tiere-und-pflanzen/arten-melden/feuersalamander> (zuletzt abgerufen am 18.3.2026).
20. Naturstiftung (Hrsg.) (o. J.): Durchgängigkeit und Vielfalt in kleinen Bächen – Furt statt Durchlass. Steckbrief 07.
https://www.naturstiftung-david.de/fileadmin/Medien/Downloads/Waldbach/Steckbriefe_Waldbach.pdf (zuletzt abgerufen am 22.06.2026).

21. Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz (Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung – ABBV). Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung vom 1. Juli 2010 (BGBl. I S. 856), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Mai 2021 (BGBl. I S. 1181) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/abbv/BJNR085600010.html> (zuletzt abgerufen am 22.06.2026).
22. Naturstiftung (Hrsg.) (o. J.): Durchgängigkeit und Vielfalt in kleinen Bächen – Rohr in Bachsohle einbinden. Steckbrief 10. https://www.naturstiftung-david.de/fileadmin/Medien/Downloads/Waldbach/10_Rohr_in_Bachsohle_einbinden.pdf (zuletzt abgerufen am 22.06.2026).
23. Kraettli, W. (2014): Waldstrassen und Gerinnequerungen. Tagungsunterlagen. Maienfeld. 49 S. https://www.fobatec.ch/de-wAssets/docs/Bauwerke/de/Erschliessung/Tagungsunterlage_14_rev1.pdf (zuletzt abgerufen am 22.06.2026).
24. Bates, K., Barnard, B., Heiner, B., Klavas, J. P., Powers, P. D. (2003): Design of Road Culverts for Fish Passage. Washington. 110 S.
25. Fels, M. (2013): Auswirkungen von Lichtmangel in Rohrdurchlässen auf die Makrozoobenthos-Organismen am Beispiel des Hungershäuser-Baches bei Ermschwerd. Studienarbeit im Rahmen der Berufspraktischen Studien (unveröff.).
26. Puhlmann, H. (2025): Ersetzen von Rohrdurchlässen durch Furten. FVA Steckbrief. Freiburg. 2 S. https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/faltblaetter/FOR_25_008_Steckbrief_Furten_Okt25.pdf (zuletzt abgerufen am 22.06.2026).
27. Schock, B., Krawina, J., Zaenker, S. (2024): Quellen und Fließgewässer im Nationalpark Kellerwald-Edersee. Forschungsber. Nationalparks Kellerwald-Edersee 3: 1-234.
28. Studer, M., Schleiss, A. (2011): Analyse von Fließgeschwindigkeiten und Abflusstiefen auf verschiedenen Typen von Blockrampen. Wasserwirtsch. 101: 67-71. <https://doi.org/10.1365/s35147-011-0013-z>
29. Steegmüller, S. (2021): Lineare Durchgängigkeit an Kreuzungsbauwerken – Empfehlungen der Oberen Wasserbehörde. Regierungspräsidium Hessen, Abteilung IV – Umwelt. Gießen.
30. Boes, R. M. (Hrsg.) (2017): Aufgelöste Unstrukturierte Blockrampen – Eine Praxisanleitung. VAW-Mitt. 240: 1-86.
31. LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (2006): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 2 – Umgebungsgewässer und fischpassierbare Querbauwerke. Karlsruhe. 247 S.
32. Reiss, M., Zipprich, N., Lorentz, G. v. (2014): Ökologische Durchgängigkeit von Fließgewässern im Oberlauf – Grundlagen, Zustandserfassung und Best-Practice-Beispiele zur Gewässerentwicklungsplanung. Arb. Geogr. Schr. 147: 67-88.
33. Kommunal Agentur NRW (o. J.): Wie wird die Gewässerunterhaltung vom Gewässerausbau und dem Hochwasserschutz abgegrenzt? <https://zukunftsgewaesser.nrw/qa/> (zuletzt abgerufen am 22.06.2026).
34. LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2022): Gewässerunterhaltung oder Gewässerausbau. Kompakt-info 6 Vitale Gewässer in Baden-Württemberg. Karlsruhe. 4 S.

