

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 36 (1995)
Heft: 2

Artikel: Wasserkraftnutzung an Gebirgsbächen : Morphologie als Grundlage zur Beurteilung und Verminderung der morphologischen Auswirkungen von Wasserkraftnutzungen auf Gebirgsbäche
Autor: Schälchli, Ueli
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088524>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wasserkraftnutzung an Gebirgsbächen

Morphologie als Grundlage zur Beurteilung und Verminderung der morphologischen Auswirkungen von Wasserkraftnutzungen auf Gebirgsbäche

Ueli Schälchli

Zusammenfassung

Grundlage für die Beurteilung der Auswirkungen von Wasserkraftwerken auf Gebirgsbäche sind Kenntnisse der morphologischen Erscheinungsformen mit den dazugehörenden Strömungsverhältnissen. Im ersten Teil des vorliegenden Beitrags wird daher eine Klassifikation der Gebirgsbäche vorgestellt. Die Unterscheidung von charakteristischen Typen erfolgt in Abhängigkeit des Untergrundmaterials, dem Längenprofil sowie charakteristischen Merkmalen einheitlicher Streckenabschnitte. Im zweiten Teil des Beitrags werden die morphologischen Aspekte der Wasserkraftnutzung an Gebirgsbächen anhand des systematischen Vorgehens Eingriffe – Auswirkungen – Bewertung – Massnahmen, aufgezeigt. Der Schwerpunkt des Eingriffs bildet die Wasserentnahme; es werden jedoch auch Aspekte der schwallartigen Wasserrückgabe angesprochen. Bezuglich der Auswirkungen werden die morphologisch bedeutenden Problemkreise dargestellt. Das Bewertungsverfahren nimmt Bezug auf die ausgesprochen grosse morphologische und strömungshydraulische Vielfalt der Gebirgsbäche.

1 Einleitung

Das Ziel des vorliegenden Artikels besteht darin, aufgrund der natürlichen morphologischen Vielfalt von Gebirgsbächen die möglichen Auswirkungen von Wasserkraftnutzungen aufzuzeigen, ein Beurteilungsverfahren anhand massgebender Bewertungskriterien darzustellen und mögliche Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen aufzulisten.

Die morphologische Vielfalt von Gebirgsbächen ist beeindruckend, sie beruht auf der extremen Variationsbreite des Gefälles und der Korngrösse des Sohlenmaterials, der grossen Abflussschwankungen und der stark variierenden Geschiebezufluss. Morphologisch unterschiedliche Streckenabschnitte reagieren verschieden auf eine Wasserentnahme mit zum Teil beträchtlichen morphologischen und strömungshydraulischen Auswirkungen. Die Morphologie kann als Zeiger für die Empfindlichkeit des Systems Gebirgsbach verwendet werden.

In Kap. 2 wird als Grundlage eine Klassifikation der morphologischen Erscheinungsformen von Gebirgsbächen dargestellt. Anschliessend werden entsprechend Abb. 1 die Eingriffe (Kap. 3), die Auswirkungen (Kap. 4 und 5), geeignete Parameter zur Bewertung des Eingriffs (Kap. 6) und mögliche Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen (Kap. 7) beschrieben.

2 Morphologische Klassifikation von Gebirgsbächen

Gebirgsbäche sind Lebensadern von Gletschervorfeldern, Alpebenen, Schluchten, Schwemmfächern oder Bergtälern. Ihre Vielfalt ist einzigartig und kaum ein Abschnitt gleicht dem anderen. Trotz dieser Vielfalt können bestimmte Elemente oder Strukturen (z.B. die Anordnung von Blöcken) immer wieder gefunden werden. Das Ziel der im folgenden dargestellten Klassifikation ist, die charakteristischen morphologischen Erscheinungsformen als Grundtypen darzustellen. In Natur sind diese "reinrassigen" Typen eher selten zu finden. Einzelne Streckenabschnitte zeigen jedoch häufig eine Gestalt, wo die charakteristischen Elemente eines Typs dominieren. Daneben können auch Übergangsformen oder Kombinationen von einzelnen Typen beobachtet werden.

Die morphologische Klassifikation (Abb. 2, siehe Falttafel) richtet sich nach

1. dem *Untergrund* (Lockergestein, Fels)
Unterscheidung von Streckenabschnitten mit felsigem Untergrund von solchen mit Sohlen aus Lockermaterial. Felsiger Untergrund bedeutet Fixpunkt, keine Sickerströmung und, abgesehen von der Entwicklung in geologischen Zeiträumen, keine morphologischen Veränderungen.
2. dem *Längenprofil* (ausgeglichen oder mit Abtreppung, kleines/grosses Gefälle)
Bei den Gebirgsbachabschnitten, wo das Bett aus Lockermaterial besteht, werden drei Streckentypen unterschieden:

Wasserkraftnutzung an Gebirgsbächen					
Eingriff ↓ mögliche Auswirkungen ↓ Bewertung ↓ Massnahmen	Abfluss: Wasserentnahme	Abfluss: Wasserrückgabe			
	<p>Geschiebe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fassung ohne Einstau: Geschiebe wird an Unterwasser-Strecke weitergegeben 2. mit Einstau: Geschiebe wird vorübergehend zurückgehalten 3. Geschiebe wird permanent zurückgehalten 	<p>Geschiebe: Keine Zufuhr ins Gewässer</p>			
	Restwasserstrecken		Schwallstrecken		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Flachstrecken (v.a. verzweigte Gerinne)</th> <th>Abgestufte Strecken Steilstrecken</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <p>Abfluss:</p> <p>Änderung der Strömungsverhältnisse, Fließgeschwindigkeit, Benetzung Haupt-/Nebengerinne</p> <p>Morphologie:</p> <p>Ohne Rückhalt Geschiebe: Auflandungstendenz</p> <p>Bei Rückhalt Geschiebe: Sohleneintiefung, Entwicklung zu Einzelgerinne, Erosion Kiesbänke / Inseln, abnehmende morphologische Dynamik</p> </td><td> <p>Abfluss:</p> <p>Grundsätzliche Veränderung des Abflusscharakters</p> <p>Morphologie:</p> <p>Ohne Rückhalt Geschiebe: Tendenz zur Bildung von Geschiebedepots und Schwebstoffablagerungen</p> <p>Bei Rückhalt Geschiebe: Ausräumung des Feingeschiebes, Verschwinden von kleineren morphologischen Strukturen, Beeinträchtigung der morphologischen Dynamik</p> </td></tr> </tbody> </table>	Flachstrecken (v.a. verzweigte Gerinne)	Abgestufte Strecken Steilstrecken	<p>Abfluss:</p> <p>Änderung der Strömungsverhältnisse, Fließgeschwindigkeit, Benetzung Haupt-/Nebengerinne</p> <p>Morphologie:</p> <p>Ohne Rückhalt Geschiebe: Auflandungstendenz</p> <p>Bei Rückhalt Geschiebe: Sohleneintiefung, Entwicklung zu Einzelgerinne, Erosion Kiesbänke / Inseln, abnehmende morphologische Dynamik</p>	<p>Abfluss:</p> <p>Grundsätzliche Veränderung des Abflusscharakters</p> <p>Morphologie:</p> <p>Ohne Rückhalt Geschiebe: Tendenz zur Bildung von Geschiebedepots und Schwebstoffablagerungen</p> <p>Bei Rückhalt Geschiebe: Ausräumung des Feingeschiebes, Verschwinden von kleineren morphologischen Strukturen, Beeinträchtigung der morphologischen Dynamik</p>
Flachstrecken (v.a. verzweigte Gerinne)	Abgestufte Strecken Steilstrecken				
<p>Abfluss:</p> <p>Änderung der Strömungsverhältnisse, Fließgeschwindigkeit, Benetzung Haupt-/Nebengerinne</p> <p>Morphologie:</p> <p>Ohne Rückhalt Geschiebe: Auflandungstendenz</p> <p>Bei Rückhalt Geschiebe: Sohleneintiefung, Entwicklung zu Einzelgerinne, Erosion Kiesbänke / Inseln, abnehmende morphologische Dynamik</p>	<p>Abfluss:</p> <p>Grundsätzliche Veränderung des Abflusscharakters</p> <p>Morphologie:</p> <p>Ohne Rückhalt Geschiebe: Tendenz zur Bildung von Geschiebedepots und Schwebstoffablagerungen</p> <p>Bei Rückhalt Geschiebe: Ausräumung des Feingeschiebes, Verschwinden von kleineren morphologischen Strukturen, Beeinträchtigung der morphologischen Dynamik</p>				
<p>Hydraulische und geschiebemechanische Berechnungen, morphologische Kriterien</p>	<p>Morphologische Kriterien</p>	<p>Hydraulische und geschiebemechanische Berechnungen</p>			
<p>Direkte Massnahmen bei der Fassung:</p> <p>Gestaltung und Betrieb des Wehres</p> <p>Erhöhung Restwasserabfluss</p> <p>Jahreszeitlich variabler Restwasserabfluss</p> <p>Begrenzung Fassungskapazität</p> <p>Spülungen</p>	<p>Direkte Massnahmen bei der Fassung:</p> <p>Gestaltung und Betrieb des Wehres</p> <p>Erhöhung Restwasserabfluss</p> <p>Jahreszeitlich variabler Restwasserabfluss</p> <p>Begrenzung Fassungskapazität</p> <p>Spülungen</p>	<p>Dämpfung Schwallganglinie</p> <p>Begrenzung Schwallspitze</p> <p>Umleitgerinne, -stollen</p> <p>Massnahmen zur Sohlen- und Ufersicherung</p> <p>Renaturierungen (Aufweiterungen)</p>			

Abbildung 1 Analyse, Bewertung und Verminderung des morphologischen Konfliktpotentials bei Wasserkraftnutzungen an Gebirgsbächen.

a) Flachstrecken:

- Kleines und eher ausgeglichenes Gefälle
- Grobblockiges Material fehlt weitgehend (oder deren strukturierende Wirkung wird durch Korrektionsmassnahmen weitgehend verhindert)

Speziell bei verzweigten Flachstrecken:

- Mehrere Teilgerinne
- Bedeutende Geschiebezufluss
- Der Geschiebetransport ist massgeblich verbunden mit der Entstehung und dem Wiederauffüllen von Teilgerinnen (Dosier- / Umlagerungsstrecke)

b) Abgestufte Strecken:

- Abgetrepptes Längenprofil
- Bachsohle mit breiter Kornverteilung (mit zunehmendem Gefälle dominieren die grösseren Komponenten)
- Die grösseren Komponenten des Sohlenmaterials sind quer über das Gerinne angeordnet und bilden die schnellfließenden Bereiche
- Sortierung des Sohlenmaterials in Fließrichtung

c) Steilstrecken:

- Grosses Gefälle und ausgeglichenes Längenprofil (“natürliche Blockrampen”)
- Grobblockige Bachsohle, mit zunehmendem Gefälle wird das Maximalkorn grösser
- Keine besondere Struktur des Sohlenmaterials, resp. die ihr eigene Struktur liegt in der scheinbar zufälligen gegenseitigen Anordnung der Blöcke

3. *morphologischen Merkmalen* (vgl. Abb. 2)

Flachstrecken:

Gliederung in Einzelgerinne und verzweigte Abschnitte. Die Entwicklung zum einen oder anderen Typ ist abhängig von der Topographie, der Geschiebezufluss und vom Abflussregime (oder anthropogen durch Einengung).

Abgestufte Strecken:

Unterscheidung der Typen nach Anordnung der Blöcke und der Höhe der steileren Abschnitte (Schnellen, Stufen, Abstürze). Sowohl das Gefälle als auch die Blockgrösse nehmen von Typ 3 nach Typ 5 zu.

Steilstrecken:

Unterscheidung zwischen Typ 6 und 7 in Abhängigkeit der Blockform (gerundete oder kantige Blöcke). Die gerundeten Blöcke deuten auf einen Transport im Bach hin; die kantigen Blöcke sind kaum über grössere Strecken verfrachtet worden.

Anwendungsmöglichkeiten

Die morphologische Klassifikation eignet sich für folgende Aufgabenbereiche:

- Beschreibung der morphologischen Vielfalt eines Fliessgewässerabschnitts oder Vergleich verschiedener Gebirgsbäche einer Region.
- Festlegung von öko-morphologisch erforderlichen Restwasserabflüssen.
- Die morphologische Kartierung eines Gebirgsbaches liefert einen Anhaltspunkt über die Gerinnestabilität und das vorhandene Gefahrenpotential. Fixpunkte, Umlagerungsstrecken und morphologisch stabile Typen (4 und 5) deuten auf eine kleinere Gefahr von plötzlichen grösseren Massenverlagerungen als beispielsweise Typ 6 (Blockrampe mit gerundeten Blöcken, instabile Blockstruktur).

3 Eingriffe

Bei der Wasserkraftnutzung wird ein Teil des Abflusses eines Fliessgewässers durch ein Fassungsbauwerk ausgeleitet, eventuell zwischengespeichert, genutzt und zuletzt wieder in ein Gewässer zurückgeleitet. Damit entsteht zwischen dem Fassungs- und dem Rückgabebauwerk eine Strecke mit verringertem Abfluss (Restwasserstrecke) und nach dem Rückgabebauwerk eine Strecke mit – über ein Jahr betrachtet – natürlichem Abflussvolumen, jedoch veränderter Ganglinie mit zum Teil stark schwankendem Abfluss (Schwallstrecke).

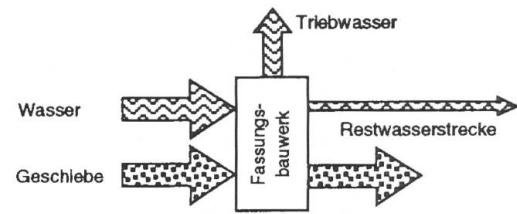
Die Fassung entnimmt Wasser entweder direkt aus der fliessenden Strömung (Tirolerwehr, Seitenentnahme ohne Einstau) oder aus einem Staubereich (Stauhaltung, Stausee). Im ersten Fall wird das Geschiebe mehr oder weniger vollumfänglich und kontinuierlich in die Unterwasserstrecke weitergegeben. Im zweiten Fall wird das Geschiebe entweder vorübergehend oder permanent oberhalb der Fassung zurückgehalten. Zusammen mit der schwallartigen Rückgabe des turbinierten Wassers ergeben sich die vier verschiedenen Eingriffe entsprechend Abb. 3.

4 Auswirkungen bei Wasserentnahmen

Durch die verschiedenen Eingriffe ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen in den betroffenen Fliessgewässerstrecken. Im Rahmen dieser Publikation ist es nicht möglich, die Auswirkungen für alle morphologischen Typen einzeln aufzulisten. Es wird deshalb versucht, eine kurze Übersicht der Auswirkungen von Wasserentnahmen auf verzweigte Flachstrecken (Typ 1) und summarisch für abgestufte und Steil-Strecken (Typen 3 - 7), unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Eingriffe, zu geben. Ein Überblick der Auswirkungen zeigt Abb. 1.

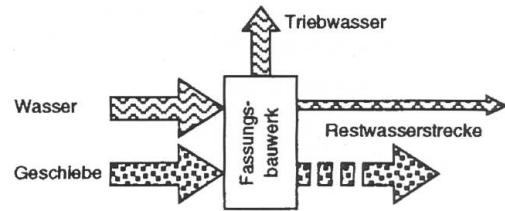
Fall 1

Wasserentnahme bei kontinuierlicher Weitergabe des anfallenden Geschiebes



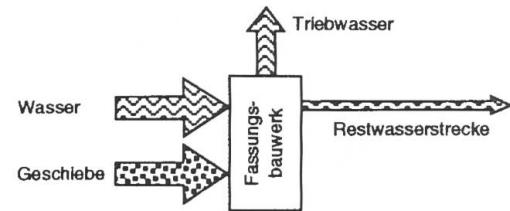
Fall 2

Wasserentnahme mit vorübergehendem Geschieberückhalt (schubweise Weitergabe des Geschiebes bei Spülungen)



Fall 3

Wasserentnahme mit permanentem Geschieberückhalt



Fall 4

Schwallartige Reinwasserrückgabe nach temporärer Speicherung und bedarfsorientierter Turbinierung des Wassers

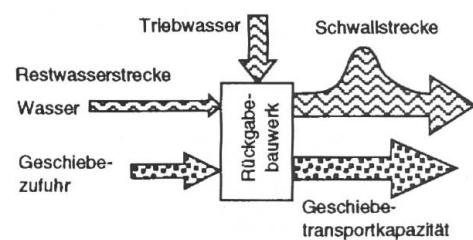


Abb. 3 Schematische Darstellung von vier Eingriffen, die sich unterschiedlich auf die Morphologie eines Gebirgsbaches auswirken.

4.1 Verzweigte Flachstrecken

Charakteristische Auswirkungen auf die Abfluss- und Strömungsverhältnisse

- Massive Reduktion der benetzten Breite
- Reduktion der Fliessgeschwindigkeit in Zwischenstrecken (Hinterwasserbereiche)
- Tendenz zur Benetzung eines Einzelgerinnes (Hauptgerinne)

Auswirkungen auf die Morphologie

Fassungen ohne Geschieberückhalt:

Die höhere Geschiebekonzentration (kleinerer Abfluss bei gleichbleibendem Geschiebeeintrag) kann (wegen der verringerten Schleppkraft des reduzierten Abflusses) zu einer Auflandung der Sohle führen. Der Verzweigungscharakter wird dadurch zwar nicht gefährdet, die Überflutungsgefahr des angrenzenden Geländes wird jedoch vergrössert (verringerte Hochwasser-Sicherheit).

Fassungen mit periodischem Geschieberückhalt:

Nach einem Geschiebeschub zeigt die Sohle einen eher aufgelandeten Charakter mit ausgeglichenem Querprofil. Anschliessend bilden sich neue Teilgerinne. Mit dem Weitertransport des Geschiebes dominiert längerfristig ein Hauptgerinne, das sich zunehmend eintieft, wodurch die Häufigkeit der Benetzung von Seitengerinnen abnimmt. Dadurch verschwindet der Verzweigungscharakter langsam. Der nächstfolgende Geschiebeschub unterbricht diesen Prozess.

Fassungen mit permanentem Geschieberückhalt:

Dem verzweigten Gewässer fehlt das für die Aufrechterhaltung der Dynamik erforderliche Geschiebe. Bei Hochwasser entnimmt der Abfluss das fehlende Material aus dem eigenen Bett und es kommt zu einer Eintiefung des Hauptgerinnes. Dieses wird dadurch dominanter und die Seitengerinne werden seltener benetzt. Längerfristig wird sich der Abfluss auf ein Einzelgerinne konzentrieren bei fortschreitender Eintiefung und Rückwärtserosion.

Weitere Auswirkungen

- Mit der Reduzierung des Abflusses wird das Geräusch des Baches leiser (v.a. Schnellenbereiche).
- Durch die Wasserableitung wird die Fliessgeschwindigkeit auf der Restwasserstrecke reduziert. Wegen der kleinen Abflusstiefe und der vergleichsweise grossen benetzten Breite wärmt sich das Wasser im Hochsommer bei voller Sonneneinstrahlung stärker auf (Temperaturerhöhung).

4.2 Abgestufte Strecken und Steilstrecken

Charakteristische Auswirkungen auf die Abfluss- und Strömungsverhältnisse

- In den Steilbereichen markante Abnahme der benetzten Breite (Abfluss "verschwindet" zwischen den grossen Blöcken)
- In den Steilbereichen Verminderung der schäumenden (weisses Wasser) und spritzenden Abflusseigenschaften
- Bei den abgestuften Strecken erscheinen die Zwischenstrecken als Stillwasserzonen (sehr kleine Fliessgeschwindigkeit)

Auswirkungen auf die Morphologie

Fassungen ohne Geschieberückhalt:

Durch den unveränderten Geschiebeeintrag bei gleichzeitig reduziertem Abfluss kann das Geschiebetransportvermögen lokal ausgeschöpft oder überschritten werden, wodurch sich vermehrt Geschiebedepots bilden können. Da Geschiebe hauptsächlich bei Hochwasser transportiert wird, wo sich eine Wasserentnahme weniger stark auswirkt, dürfte sich die Vergrösserung der Geschiebedepots in engen Grenzen bewegen. Hinzu kommt, dass in diesen steilen Gebirgsbachstrecken häufig ein Geschiebedefizit herrscht und daher – vom ökomorphologischen Standpunkt – eine Erhöhung des Geschiebe-Sättigungsgrades erwünscht sein kann.

Fassungen mit periodischem Geschieberückhalt:

Bei einer schubweisen Weitergabe des Geschiebes während Spülungen gelangt periodisch ein Geschiebevolumen in die Restwasserstrecke, das die momentane Transportkapazität des Abflusses übersteigt (vergleichbar mit dem Materialeintrag bei einem Hangrutsch). Die resultierenden Ablagerungen und Auflandungen im Gewässer sind unmittelbar unterhalb der Fassung am grössten und nehmen in Fliessrichtung ab. Das Geschiebe wird anschliessend bachabwärts verfrachtet und das Gerinne wird bis zur nächsten Spülung zunehmend ausgeräumt (Vergröberung der Bachsohle).

Fassungen mit permanentem Geschieberückhalt:

Vorhandene Feingeschiebeablagerungen werden zunehmend gerinneabwärts verfrachtet. Ohne bedeutenden Geschiebeeintrag (Uferanriss, Hangrutsch, Talschub, Seitenbach) auf der Restwasserstrecke führt dieser Ausräumungsprozess zu einer Vergröberung und Abpflästerung der Sohle bei gleichzeitiger Verarmung der Sohlenstruktur. Die morphologische Dynamik des Gewässerabschnitts beschränkt sich auf Erosionserscheinungen bei Extremereignissen.

Weitere Auswirkungen

- Mit der Reduzierung des Abflusses wird das Geräusch des Baches vor allem in den Schnellen- und Kolkbereichen leiser.
- Wegen der kleinen Abflusstiefe und der vergleichsweise grossen benetzten Breite wärmt sich das Wasser im Hochsommer bei voller Sonneneinstrahlung stärker auf (Temperaturerhöhung).
- Bei Niederwasserabfluss können sich vermehrt Schwebstoffe und Geschwemmsel ablagern (in bewaldeten Streckenabschnitten) und bei anhaltendem Niederwasserabfluss über längere Zeit die Sohle in Kolk- und Stillwasserbereichen abdecken.

5 Auswirkungen bei schwallartiger Wasserrückgabe

Die folgende Zusammenstellung der Auswirkungen einer Wasserrückgabe bezieht sich auf flache und mehr oder weniger eingeengte Gebirgsgewässer.

Charakteristische Auswirkungen auf die Abfluss- und Strömungsverhältnisse

Die Auswirkungen, die wesentlich von der Querprofilform abhängig sind, äussern sich deutlich in den hydraulischen Parametern Abflusstiefe, benetzte Breite und Fliessgeschwindigkeit. Durch die Berechnung dieser Grössen kann die Veränderung gegenüber dem unbeeinflussten Zustand quantifiziert werden.

Auswirkungen auf die Morphologie

Die grössten Auswirkungen sind in der Regel im Winter bei saisonal bedingtem Niederwasserabfluss und höchsten Schwallspitzen zu erwarten. Während dieser Zeit findet kein natürlicher Eintrag von Geschiebe in das Gewässer statt. Bezuglich der Auswirkungen kann zwischen drei Fällen unterschieden werden:

Fall 1 ($Q_s < Q_0$)

Der Spitzenabfluss des Schwalles Q_s ist kleiner als der Abfluss bei Geschiebetriebbeginn Q_0 . Der Spitzenabfluss bewirkt keinen Transport von laufendem Geschiebe (im Sommer regelmässig transportiertes feineres Geschiebe). Unter diesen Verhältnissen sind keine oder vernachlässigbare Veränderungen in der Morphologie der Gewässersohle zu erwarten.

Fall 2 ($Q_0 < Q_s < Q_D$)

Der Spitzenabfluss des Schwallen ist grösser als der Abfluss bei Geschiebetriebbeginn und kleiner als der Grenzabfluss der Deckschichtstabilität Q_D . Laufendes Geschiebe, das kleinere Depots oder Kiesbänke bildet, wird zumindest zeitweise weitertransportiert. Dies kann zu einer zunehmenden Ausräumung des Gerinnes bei gleichzeitiger Vergrößerung der Gewässersohle führen (Beinträchtigung der morphologischen Vielfalt). Die Deckschicht der Sohle, die aus gröberem Sohlenmaterial aufgebaut ist, bleibt stabil (Zustand der latenten Erosion).

Fall 3 ($Q_s > Q_D$)

Der Spitzenabfluss des Schwallen ist grösser als der Grenzabfluss der Deckschichtstabilität. Unter diesen Verhältnissen kommt es zu einem periodischen Aufreissen der Deckschicht, wodurch Sohlenmaterial mobilisiert und gerinneabwärts verfrachtet wird. Dies führt zu einer Sohlenerosion in Form einer Drehung des Längenprofils um den nächsten, gerinneabwärts liegenden Fixpunkt. Durch diese Erosion können Bauwerke zur Sohlen- und Ufersicherung gefährdet werden.

Weitere Auswirkungen

Während der Winterperiode, wo von Natur aus Niederwasserabfluss vorherrscht, führt jeder Schwall zu einem markanten Anstieg des Abflussgeräusches, das während der Zeit des Energie-Spitzenbedarfs (Mittag und Vorabend) das Maximum erreicht. Der Bach kann dann in einem Ausmass rauschen, wie das sonst nur im Sommerhalbjahr wahrzunehmen ist.

6 Bewertung einer Wasserentnahme

Entsprechend dem neuen Gewässerschutzgesetz sind bei Umweltverträglichkeitsuntersuchungen betreffend Wasserkraftnutzungen unter Abwägung der Interessen angemessene Restwasserabflüsse festzulegen. Aus gewässermorphologischer Sicht wird unter "angemessen" verstanden, dass sich der Charakter des Fliessgewässers nicht grundlegend vom Referenzzustand unterscheidet. Das heisst, dass auch nach der Wasserableitung die Strömungsverhältnisse und die Morphologie im wesentlichen ähnliche Eigenschaften wie im natürlichen Zustand aufweisen müssen.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist der Referenzzustand zu erfassen und ein Restwasserabflussregime aufgrund von massgebenden Parametern auszuarbeiten. Wegen der vielfältigen Erscheinungsformen von Gebirgsbächen sowie der Schwierigkeiten, die sich bei der Berechnung der Strömungsverhältnisse in steilen Gebirgsbächen ergeben, sind neben den klassischen Berechnungsparametern (Abflusstiefe,

Fliessgeschwindigkeit, benetzte Breite, Geschiebetransportkapazität, Sohlenstabilität) weitere Bewertungskriterien erforderlich. Eine ausgedehnte Zusammenstellung von möglichen Kriterien zeigt Tab. 1. In Abb. 2 ist für alle morphologischen Typen angegeben, welche Kriterien für eine Bewertung massgebend sein können (das heisst, zur Beurteilung der Auswirkungen einer Wasserableitung und zur Festlegung von Restwasserabflüssen eines einheitlichen Gewässerabschnitts eignet sich nur eine Auswahl der Bewertungskriterien).

Eine detaillierte Beschreibung der meisten Bewertungskriterien ist in *Schälchli* (1991) zu finden. Zudem wird dort ein statistisches Auswerteverfahren dargestellt, wie aufgrund dieser Bewertungskriterien nachvollziehbare Restwasserabflüsse festgelegt werden können. Die Parameter, welche die Morphologie von Gebirgsbächen betreffen (Kriterien 9 - 14), sind entweder aufgrund von geschiebemechanischen Berechnungen (vor allem in Flachstrecken) oder durch Beobachtungen zu untersuchen.

7 Massnahmen bei Wasserentnahmen

Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen sind die ökologischen Auswirkungen eines Projekts auf ein verträgliches Mass zu reduzieren. Damit ein Konflikt entschärft werden kann, sind bei Wasserentnahmen grundsätzlich die folgenden konzeptionellen Massnahmen möglich:

1. Direkte Massnahmen: Anpassungen oder Änderungen des Projekts.
2. Begleitmassnahmen: Konfliktpunkte werden durch begleitende Massnahmen am Objekt kompensiert; z.B. Renaturierungsmassnahmen.
3. Ersatzmassnahmen: Die Auswirkungen am betroffenen Objekt werden bei gleichwertiger Kompensation an anderer Stelle akzeptiert.

In Abb. 1 sind die wichtigsten direkten Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen von Wasserentnahmen (sowie von Schwallganglinien) aufgelistet. Dementsprechend können die Strömungsverhältnisse in der Restwasserstrecke verbessert werden durch

- die Erhöhung des Dotierabflusses,
- die jahreszeitliche Variation des Dotierabflusses,
- die Begrenzung der Fassungskapazität (Überlauf),
- periodisches Schliessen der Fassung,
- Massnahmen betreffend die Morphologie.

Die Geschiebezufluss und die Morphologie der Restwasserstrecke sind abhängig

- von der Gestaltung der Fassungsanlage (insbesondere des Wehres),
- von dem Betrieb des Wehres (Weitergabe von Geschiebe bei Überlauf),
- von der Begrenzung der Fassungskapazität,
- vom periodischen Schliessen der Fassung (Spülung des Staubereichs, Weitertransport des Geschiebes in der Restwasserstrecke),
- vom Natürlichkeits-, resp. Verbauungsgrad der Restwasserstrecke.

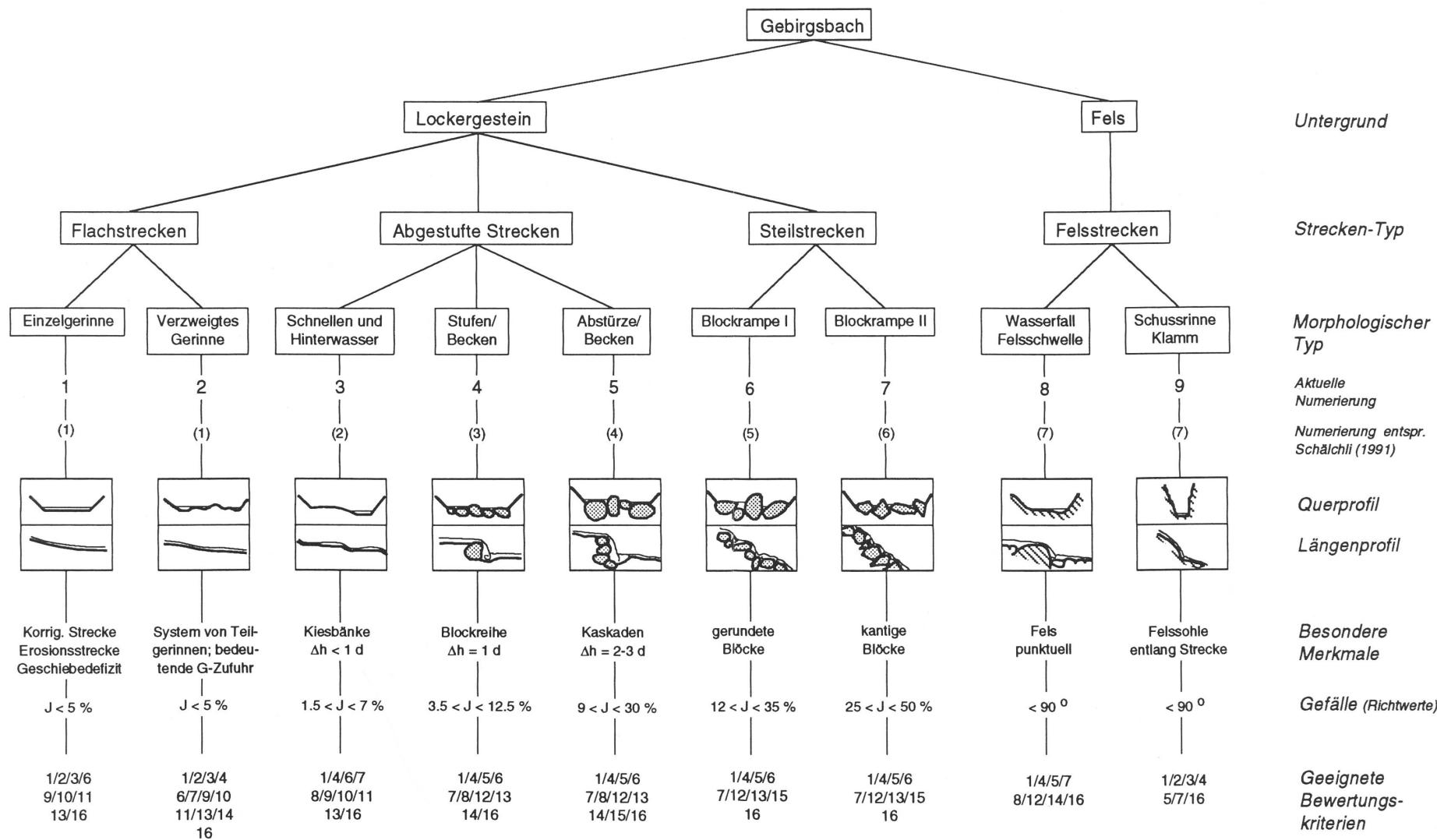


Abbildung 2

Morphologische Klassifikation von Gebirgsbächen mit Quer- und Längenprofil, besonderen Merkmalen, dem beobachteten Gefällsbereich (abweichende Gefälle sind denkbar) sowie den Nummern der Bewertungskriterien gemäss Tabelle 1, die zur Festlegung eines morphologisch verträglichen Restwasserabflusses geeignet sind (G: Geschiebe, d = Blockdurchmesser, Δh = Höhendifferenz einer Abtreppung, J = Gefälle).

Bewertungskriterien Strömungsverhältnisse

Nr.	Kriterium	Beurteilung
1	Benetze Breite	Abstand zwischen den zwei Uferlinien
2	Abflusstiefe	Mittlere Abflusstiefe, Abflusstiefe im Talweg
3	Fliessgeschwindigkeit	Mittlere Fliessgeschwindigkeit, Geschwindigkeitsverteilung im Vertikalprofil
4	Weisses Wasser (Schäumen des Wassers)	Ausmass der Belüftung des Wassers im Bereich von Schnellen, Stufen, Abstürzen, Blockrampen, Wasserfällen
5	Spritzen des Abflusses	Ablösen von Wassertropfen aus dem Hauptstrahl bei Stufen, Abstürzen, Blockrampen, Wasserfällen. Benetzung von über dem Wasserspiegel liegenden Sohlen- und Uferbereichen
6	Versickern des Abflusses	Reduktion des Restwasserabflusses durch Bachwasserinfiltration
7	Anspringen von Seitengerinnen	Anzahl der durchflossenen Seitengerinne und Abweichung von den natürlichen Verhältnissen
8	Aufenthaltszeit des Wassers in Becken und Hinterwassern	Physikalischer Parameter, der indirekt die Fliessgeschwindigkeit erfasst und zudem auch als Mass der Gewässergüte (Sauerstoffgehalt, Temperatur) verwendet werden kann

Bewertungskriterien Morphologie

Nr.	Kriterium	Beurteilung
9	Sohlenstabilität	Erosionstendenz, Stabilität von Verbauungen, Hochwassersicherheit
10	Erosionswiderstand von Kiesbänken und Inseln	Erhalt von Makro-Sohlenformen
11	Vergleich zwischen Geschiebezufuhr und Transportkapazität	Auflandungstendenz (bez. Grobgeschiebe) oder Ausräumungstendenz (bez. Feingeschiebe), längerfristige morphologische Entwicklung
12	Geschiebedepots	Diversität der Sohlenstrukturen
13	Geschiebedynamik	Erhalten der natürlichen Dynamik, Potential zur Erneuerung der Gewässersohle
14	Schwebstoff- und Geschwemmselablagerungen	Ablagerungen von Feinmaterial und organischen Bestandteilen auf der Gewässersohle

Weitere Bewertungskriterien

Nr.	Kriterium	Beurteilung
15	Sichtbarkeit des Abflusses	Visuelle Durchgängigkeit des Abflusses bei grobblockigen Typen (Nr. 5, 6, 7)
16	Geräusch des Abflusses in Ufernähe	Änderung des Geräusches (Rieseln, Rauschen, Tosen), Vergleich mit den natürlichen Verhältnissen

Tab. 1 Kriterien zur Bewertung der Auswirkungen von Wasserentnahmen auf Gebirgsbäche.

Damit eine gesamthaft umweltverträgliche Lösung erreicht werden kann, braucht es häufig eine Kombination von verschiedenen Massnahmen (z.B. Erhöhung Restwasserabfluss, Begrenzung Fassungskapazität und regelmässige Spülungen des Fassungsbeckens).

Der morphologische Zustand und die Dynamik eines Gebirgsbaches werden geprägt durch die kombinierte Wirkung der Abflussganglinie und der Geschiebezufuhr. Lösungsansätze und entsprechende Massnahmen lassen sich daher nur in Kenntnis der örtlichen Verhältnisse herleiten.

Literatur

- Bundi U., Eichenberger E. et al. 1989. *Gewässerökologische Anforderungen an die Restwasserführung*. BUWAL, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 110.
- Mangelsdorf J., Scheurmann K. 1980. *Flussmorphologie*. Oldenbourg Verlag München Wien.
- Moog O., Jungwirth S., Muhar S., Schönbauer B. 1993. Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte bei der Wasserkraftnutzung durch Ausleitungskraftwerke. *Österr. Wasserwirtschaft*, H.7/8, S.197-210.
- Schälchli U. 1991. *Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: ein Verfahren zur Festlegung von Restwasserabflüssen*. Mitteilung Nr. 113 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.
- Umweltverträglichkeitsbericht zur Erneuerung und Ausbau der Kraftwerke im oberen Puschlav. 1992.