



Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie  
in Schleswig-Holstein

## **Regeneration von Fließgewässern**

## **Inhaltsverzeichnis**

1.	Einleitung	1
2.	Definitionen	1
3.	Defizite, ihre Ursachen und mögliche Maßnahmen	5
3.1.	Bereich Sohle	7
3.2.	Bereich Ufer	8
3.3	Bereich Gewässerumfeld	9
3.4.	Empfehlung	9
3.5.	Entwicklungsziele (realistisches Leitbild)	10
4.	Beispiele	11
5.	Ansprechpartner	16

Die „Hinweise“ für die Arbeitsgruppen wurden ab 2008 in „Erläuterungen“ zur Ausweisung erheblich veränderter Gewässer umbenannt, weil sich die Inhalte nicht mehr nur an die Dienststellen des Landes und die Arbeitsgruppen richteten, sondern auch als Hintergrundpapiere zur Erläuterung der Vorgehensweise in Schleswig-Holstein für die interessierte Öffentlichkeit und für den Compliance-Check der EU-Kommission dienen sollen.

## **Anlagen**

Anlage 1: Tabellarische Gegenüberstellung von Defiziten und möglichen Maßnahmen

Anlage 2: Hinweise zur schonenden Gewässerunterhaltung

Anlage 3: Einrichtung von Uferrandstreifen

Anlage 4: Hinweise zur Gestaltung von Sohlgleiten

## **1. Einleitung**

Die Gefährdungsabschätzung, ob die Fließgewässer ohne weitere Maßnahmen den guten ökologischen Zustand im Sinne der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erreichen werden, hat für die meisten Wasserkörper ergeben, dass sie mindestens morphologische Defizite aufweisen, die diese Zielerreichung unwahrscheinlich machen.

Der starke Ausbau der schleswig-holsteinischen Fließgewässer war schon vor der Einführung der WRRL Anlass für die Erarbeitung des Fließgewässerprogramms in Schleswig-Holstein.

Die zuvor hierfür entwickelten Empfehlungen zum integrierten Fließgewässerschutz (1996) enthalten grundsätzliche Überlegungen, die auch heute für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie noch gelten und berücksichtigt werden.

Somit können diese Empfehlungen wie auch die hier vorliegenden Hinweise den Arbeitsgruppen der Bearbeitungsgebiete als Informations- und Entscheidungsgrundlage für die Möglichkeiten dienen, die Wasserkörper in einen guten ökologischen Zustand zu versetzen. Sie werden ergänzt durch Hinweise zu Vorranggewässern, Bewirtschaftungsmöglichkeiten für die angrenzenden Flächen und zur Seenregeneration.

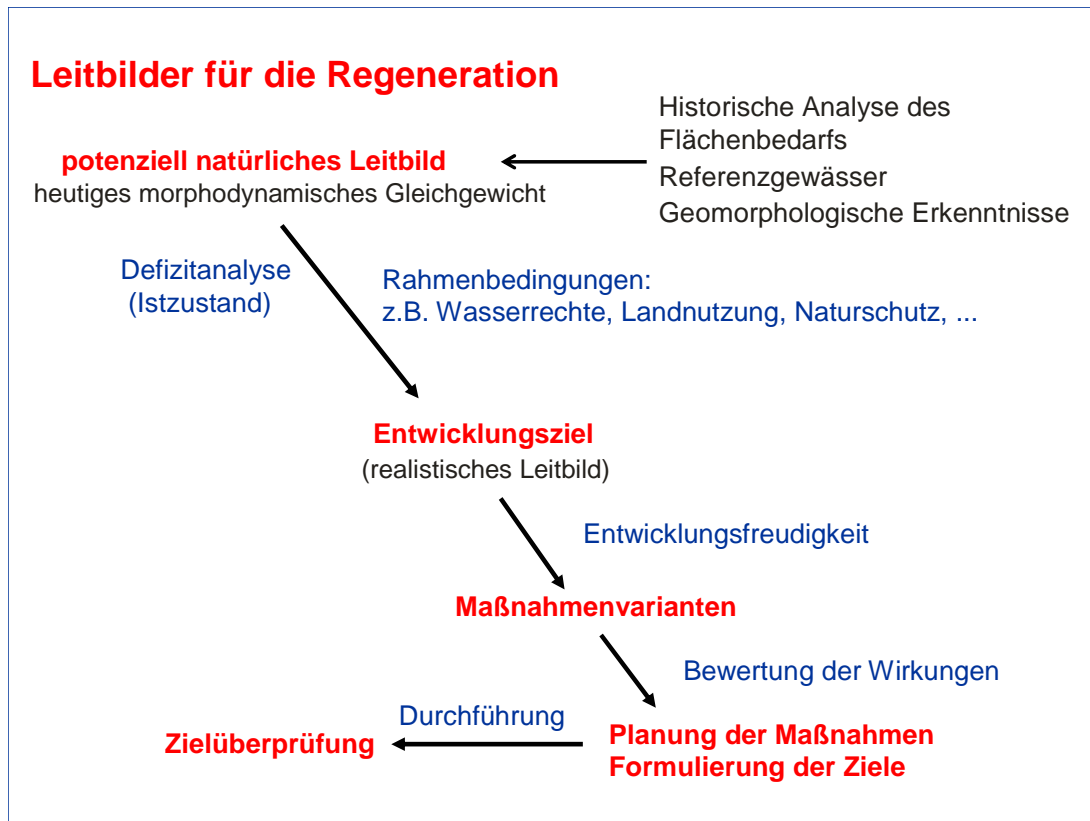
Die Hinweise zur Regeneration von Fließgewässern sind vor allem dazu gedacht, beispielhaft verschiedene Maßnahmen an Gewässern zu zeigen, die auch abschnittsweise durchgeführt werden können. Die beispielhaft vorgestellten Maßnahmen erfüllen bisher noch nicht den guten ökologischen Zustand, zeigen aber Entwicklungsmöglichkeiten auf, die diesem Ziel dienen. Sie sollen Anregung dafür sein, in den jeweiligen Bearbeitungsgebieten vergleichbare Maßnahmen zu entwickeln.

## **2. Definitionen**

### **Leitbilder für die Regeneration**

In Abbildung 1 sind die für eine Regenerationsplanung typischen Abfolgen und Begriffe erläutert. Das potenziell natürliche Leitbild entspricht dem Fließgewässerzustand, der sich einstellen würde, wenn das Fließgewässer nach Rücknahme aller hydromorphologischer Veränderungen und Nutzungen eine natürliche Struktur aufweist und sich eine ungestörte Auen- und Gewässerbettdynamik wieder einstellen kann. Das Leitbild kann jeweils aus den Steckbriefen der Fließgewässertypen entwickelt werden. Hinweise auf die ursprüngliche Gestalt der Gewässer können auch aus historischen Karten abgeleitet werden. Dort, wo genügend Flächen im Talraum bereits zur Verfügung stehen bzw. zur Verfügung gestellt werden können und keine sonstigen Restriktionen vorliegen, kann dieser Weg zu einem sehr guten Zustand (Referenzgewässer) beschritten werden. Bei geringfügigen Einschränkungen würde der gute ökologische Zustand des Wasserkörpers erreicht werden.

In der Regel wird es aber wegen bestehender Nutzungen lediglich möglich sein, abschnittsweise den guten ökologischen Zustand zu erreichen und gegebenenfalls auch nur teilweise Aufwertungen des Lebensraumes als Entwicklungsziel umzusetzen und damit das ökologische Potenzial zu verbessern.



**Abb. 1: Schrittweise Entwicklung von Maßnahmen**

### **Potenziell natürlicher Zustand bzw. potenziell natürliches Leitbild**

Es handelt sich um die Beschreibung eines idealen, typspezifischen Gewässerzustands, der als Orientierungshilfe dient (vergleichbar dem Referenzzustand nach WRRL).

Zu der Beschreibung gehören:

- die potenziell natürliche Vegetation im Einzugsgebiet,
- der potenziell natürliche Gewässerverlauf im Talraum (gestreckt, leicht gekrümmt, mäandrierend),
- potenziell natürliche Sohlenstrukturen auf Grund des anstehenden Materials und des Gefälles,
- potenziell natürliche Lebensgemeinschaften im Gewässer und im Wasserwechselbereich, Anbindung der Aue und Vorkommen von Auengewässern,
- potenziell natürliche Wasserbeschaffenheit.

### **Entwicklungsziel (Leitbild)**

Das Entwicklungsziel beschreibt den angestrebten Zustand eines Gewässers unter Berücksichtigung der einschränkenden Randbedingungen. Dies ist bei natürlichen Gewässern der gute Zustand nach WRRL Anhang V. Da die Entwicklungsdauer nicht sicher vorhersagbar ist, können auch Teilziele angestrebt werden, die zeitlich aufeinander folgen oder in räumlich unterschiedenen Abschnitten bearbeitet werden können. Aufgrund möglicher Restriktionen ist davon auszugehen, dass der gute ökologische Zustand der Wasserkörper nur in wenigen Wasserkörpern wiederhergestellt werden können. Neben dem einzelnen Wasserkörper ist auch das gesamte (Teil-) Einzugsgebiet des Fließgewässers bei der Festlegung des Entwicklungsziels zu beachten. Der effiziente Umgang mit Haushaltsmitteln verlangt hier Kosteneffizienzbetrachtungen über Aufwand und Wirksamkeit der Maßnahmen innerhalb der Flussgebietseinheit und auch innerhalb des Landes.

### **Maßnahmenvarianten**

Es sind Sanierungs- und Restaurationsmaßnahmen zu unterscheiden, die zur Verbesserung des ökologischen Zustandes der Fließgewässer erforderlich sind.

Unter **Sanierung** werden diejenigen Maßnahmen verstanden, die im Einzugsgebiet zur Verbesserung des Stoffhaushaltes durchgeführt werden. Dabei handelt es sich sowohl um die Minderung von Einträgen aus Punktquellen als auch um die Reduzierung der diffusen Einträge. Auch Maßnahmen zur Reduzierung der Erosion sind hier einzuordnen, die unter anderem auch dazu dienen, ein Übermaß an Sandeintrag in die Gewässer zu verhindern, der lebensfeindliche Verhältnisse durch Übersandung des Lückensystems des Gewässerbettes und somit auch der Laichhabitats mit sich bringt. Auch die Ockerproblematik muss einzugsgebietsbezogen betrachtet werden, wobei hierbei lokale Maßnahmen, wie die Anlage von z.B. Absetzteichen im Nebenschluss möglich wären.

Maßnahmen im und am Gewässer selbst, die den morphologischen Zustand verbessern sollen, bezeichnet man als **Restoration**, wobei insbesondere Maßnahmen, die neue Lebensräume für typische Arten über längere Gewässerabschnitte schaffen, im Vordergrund stehen (Renaturierung). Häufig sind zunächst nur lokale Maßnahmen zur Wiederherstellung von morphologischen Strukturen möglich, wie z.B. die Schaffung der Durchgängigkeit. Die Ableitung von Maßnahmen, die typspezifische und biologisch effektive Teilziele erfüllen, ist hierbei besonders wichtig.

## Maßnahmen - Definitionen

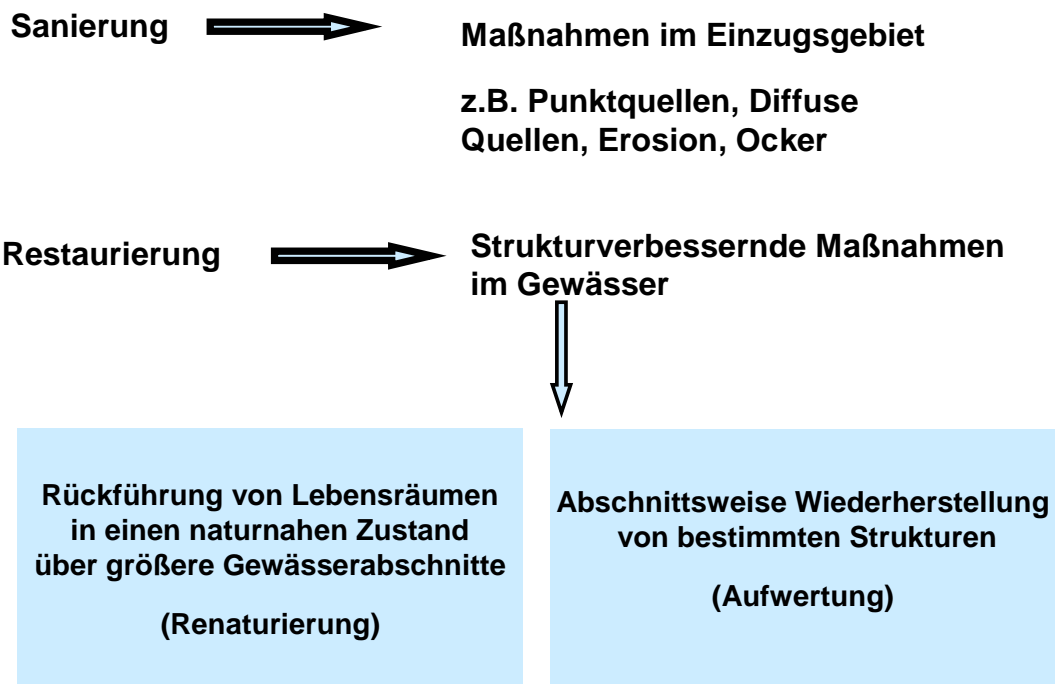





Abb. 2: Übersicht zu den Definitionen von Maßnahmenvarianten

### Zielbeschreibung

Der potenziell natürliche Zustand dient als Maßstab für die Bewertung des Ist-Zustandes, der Ermittlung der Defizite sowie der Formulierung von erreichbaren Zielen. Daher muss eine gewisse Vorstellung über diesen Zustand vorhanden sein. In den so genannten Steckbriefen der einzelnen Fließgewässertypen sind diese Vorstellungen erarbeitet worden. Auszugsweise zeigt die Tabelle 1 beispielhaft die Beschreibung des naturnahen Zustandes des sandgeprägten Baches. Die ausführlichen Steckbriefe sind im Internet unter [www.wasser.sh](http://www.wasser.sh) oder unter [www.Wasserblick.net](http://www.Wasserblick.net) unter dem Suchbegriff „Fließgewässertypen“ eingestellt.

Typ/Naturraum	Sohle/Ufer	Biologie
<p>Sandgeprägter Bach</p> 	<p>Stark mäandrierend in flachen Mulden-, breiten Sohlentälern, deutlich ausgebildete Prall- und Gleithänge, flaches Profil, aber auch Tiefenrinnen und Kolke, Sandfraktion ist dominant, aber auch Kiese stellen kleinräumig sichtbare Anteile (Kiesbänke). Wichtig sind sekundäre Habitatstrukturen Totholz, Erlenwurzeln, Wasserpflanzen, Falllaub. Niedermoorbildungen im Gewässerumfeld.</p>	<p><b>Makrozoobenthos:</b> Zerkleinernde Arten an Totholz und Fallaub, Weidegänger an Steinen und Kiesen, Detritusfresser im Sandlückensystem.</p> <p><b>Makrophyten:</b> kleine Bäche häufig makrophytenfrei; Berle, Brunnenkresse, Wasserstern sowie Wassermoose und Süßwasser-Rotalgen, mittlere bis große Bäche Wechselblütiges Tausendblatt, Alpen-Laichkraut und Pinselblättriger Hahnenfuß –. <b>Fische</b> wenige Arten in den kleinen Bächen (Forelle, Bachneunauge, Stichlinge, Aal), artenreiche, strömungsliebende Fischfauna in den vielen Kleinlebensräumen der größeren Bächen, sowohl kies- wie an Pflanzen laichende Arten (z.B. Neunaugen, Forelle, Gründling, Hasel, Stichlinge, Aal, Plötze, Steinbeißer)</p>
<p>Osterau (Foto U. Holm)</p> 		
<p>Osterau (Foto M. Brunke)</p> 		
<p>Wehrau (Foto U. Holm)</p>		

**Tab. 1: Beschreibung des naturnahen Zustandes am Beispiel des sandgeprägten Baches (Typ 14)**

### **3. Defizite, ihre Ursachen und mögliche Maßnahmen**

Aufgrund der verschiedenen Nutzungen im Einzugsgebiet unterscheiden sich die Fließgewässer schon hinsichtlich ihrer hydromorphologischen Ausprägung.

Defizite in der Zusammensetzung der biologischen Lebensgemeinschaften, die ausschlaggebend für die Bewertung nach den Vorgaben der WRRL sind, hängen eng mit den morphologischen Defiziten im Gewässerbett zusammen. Darüber hinaus können Stoffeinträge aus

Punkteinleitungen und aus der Fläche (diffuse Einträge) Ursache für Defizite der biologischen Besiedlung sein. Entsprechende Maßnahmen betreffen dann die Verbesserung der Abwasserreinigung bei Kläranlagen und ggf. Nutzungsänderungen in der Fläche bei diffusen Einträgen. Weitere Erläuterungen hierzu befinden sich in den Hinweisen zur Regeneration von Seen und den Hinweisen zum Umgang mit Flächen an den Binnengewässern.

In der folgenden Tabelle 2 sind die morphologischen Defizite, die gravierende Auswirkungen auf den ökologischen Zustand haben können, und potenzielle Verbesserungsmaßnahmen grob skizziert. Eine detailliertere Aufstellung befindet sich in der Anlage 1. Es handelt sich um eine Tabelle, die wasserkörperbezogen als Informations- oder Diskussionsgrundlage genutzt werden kann, um die eingangs erwähnten Beispiele des Bearbeitungsgebietes zu betrachten.

<b>Bereich Sohle</b>	<b>Direkt beeinflussbare Defizite/Morphologische Beeinträchtigungen</b>	<b>Maßnahmen</b>
Laufentwicklung	Fehlende Laufkrümmung, Keine Längsbänke, unterbundene Krümmungserosion	Rückbau bzw. Unterlassen der Instandsetzung der künstlichen Längsbauwerke (z.B. Fußsicherungen) und Bereitstellung von Gewässerrandstreifen für Gewässerentwicklung, Initiierung von Eigenentwicklung
Längsprofil/ Durchgängigkeit	Querbauwerke, Rückstau, Verrohungen, Durchlässe	Rückbau, Umbau, Umgehung, Beseitigung oder Umbau der vorhandenen Querbauwerke (z.B. Sohlgleite, Wanderhilfe)
Sohlenstruktur	Sohlenverbau, Eintönige Sohlensubstrate	Rückbau, Initiierung Eigenentwicklung, gezielte Gewässerunterhaltung, Einbringung bzw. Belassen von Substratelementen (Kies, Pflanzen, Holz)
<b>Bereich Ufer</b>		
Querprofil	Hohe Einschnitttiefe, Mangelnde Breitenvarianz und Tiefenvarianz	Rückbau, Initiierung von Eigenentwicklung, Belassung von Substratelementen, Anhebung der Sohle und Beseitigung der Böschungfußsicherung.
Uferstruktur	Uferverbau, fehlender Uferbewuchs	Rückbau, Ufergehölze zulassen
<b>Land</b>		
Gewässerumfeld	fehlende Gewässerrandstreifen, fehlende Uferbereiche für eigen-dynamische Entwicklung, keine Einbindung an die Aue, intensive Flächennutzung	Flächenerwerb, vertragliche Regelungen, Extensivierung, angepasste Bewirtschaftung, Flächen zum Stoffrückhalt.

**Tab. 2: Defizite und Maßnahmen**

Die morphologischen Defizite führen in der Regel zu monoton begradigten und häufig wegen der Aufrechterhaltung der Drainabflüsse zu tief eingeschnittenen Gewässern, die keine oder kaum Variationen in der Breite und Tiefe und demzufolge eine gleichmäßige Strömung und



gleichartige Sohlsubstrate aufweisen. Damit fehlen die Lebensraumangebote für die zur Zielerreichung notwendige Artenvielfalt der Tiere und Pflanzen.

Die betrachteten Defizite hängen eng miteinander zusammen. Einzelmaßnahmen wirken sich zumeist wechselseitig aus und müssen an die Entwicklungsmöglichkeiten des Gewässers und somit dem zur Verfügung stehenden Raum angepasst werden.

### 3.1. Bereich Sohle

- **Laufentwicklung:** Durch Maßnahmen im Zuge der Gewässerunterhaltung wie z.B. eine Stromstrichmahd kann innerhalb des vorhandenen Gewässerbettes eine Schwin- gung herbeigeführt werden. Durch das Belassen von Pflanzen, Totholz und ggf. den gezielten Einbau von Störstellen, z.B. den Einbau von Strömungslenkern kann der Prozess gezielt weiter entwickelt werden. Je nach der Talraumbreite, der Entwick- lungsfreudigkeit des Gewässers in Abhängigkeit von Abfluss, der anstehenden Böden und Gefälle und den Restriktionen ist der Umfang der Maßnahme anzupassen. Das Beispiel zeigt die beginnende Krümmungserosion, die (mittelfristig) zu einer Änderung der Laufentwicklung führt.



Stromstrichmahd  
(Fotos M. Brunke, Radesforder Au)



Beginnende Krümmungserosion

- **Durchgängigkeit:** Abstürze können durch Laufverlängerung umgangen werden, wenn Flächen zur Verfügung stehen. Dies ist ebenso ein Beitrag zur Laufentwicklung. Wenn dies nicht möglich ist, können punktuelle Baumaßnahmen die Durchgängigkeit herstellen (Anlage 4 Hinweise zur Gestaltung von Sohlgleiten des LANU). Durchlässe können durch gezielte Maßnahmen, wie eine Substrateinbringung verbessert werden.



Sohlgleite Osterau (Foto M. Brunke)

- **Sonderprobleme** wie Eintönigkeit der Substrate und fehlende Hartsubstrate können durch gezielte Unterhaltungsmaßnahmen behoben werden. Hierzu wurde die Anlage 2 (*Hinweise zur Gewässerunterhaltung*) erarbeitet. Substrate können auch gezielt eingebracht werden.
- **Sandtreiben und Verockerung** gehören zu schwerwiegenderen Defiziten, die ggf. nicht punktuell zu lösen sind. Alle Maßnahmen zur naturnahen Laufentwicklung sind aber auch hier von Vorteil. Wenn nur punktuelle Maßnahmen möglich sind, können separate Aufweitungen (Bypässe) zum Sedimentieren des Ockers und ökologisch verträgliche Sandfänge zur Verbesserung des ökologischen Zustandes beitragen.

### 3.2. Bereich Ufer

- Die Breitenvariabilität kann durch Profileinengungen, Einbau von Strömungslenkern, Totholz und Störsteinen gezielt bei der Gewässerunterhaltung erhöht werden.



Schwarze Au, Belassen von Holz (Foto StJA Itzehoe)

- Fehlender Uferbewuchs ist unproblematisch zu verbessern, indem die Möglichkeit zum Erlenwuchs im Mittelwasserbereich geschaffen werden kann, wobei keine gleichmäßi-

ge, querschnittsvergrößernde Abflachung der Ufer erfolgen sollte. Zumindest abschnittsweise sollte die Böschungsmahd unterbleiben, damit sich Gehölze entwickeln können. Die Erlen sollten unregelmäßig auf beiden Ufern stehen. Sie entwickeln sich in der Regel von selbst.

### 3.3 Bereich Gewässerumfeld

- Anlage von Gewässerrandstreifen, um Ufergehölze aufkommen zu lassen und einzelne Abbrüche und Auskolkungen zuzulassen.
- Extensivierung der gewässerbegleitenden Flächen
- Umstellung der Bewirtschaftung zur Verminderung von Bodenerosion
- Wasserstandsanhhebung zur Wiedervernässung von Niedermooren



Aufkommen von Erlen (Foto: M. Brunke)

### 3.4. Empfehlung

Neben den **Rückbaumaßnahmen**, bei denen Ufer- und Sohlenverbau aufgehoben werden können, gehören hierzu Rück- und Umbaumaßnahmen von Bauwerken im weitesten Sinne, wie Abstürze, Verrohrungen, Durchlässe etc.. Dies ist jeweils i.d.R. durch punktuelle Maßnahmen möglich.

Die **Initiierung von Gewässerentwicklungen** können im Zuge der Gewässerunterhaltung (Hinweise zur Gewässerunterhaltung, Anlage 2) und durch sogenannte impulsgebende, lenkende Einbauten erfolgen. Hierzu gehören z.B. Einbau von Strömungslenkern, Störsteinen, Totholz, Pflanzen und Ufergehölzen. Es hat sich häufig als besonders zielführend erwiesen, eigendynamische Entwicklungen anzustoßen und zuzulassen. Letzteres ist in Hinblick auf den Umfang stark vom Fließgewässertyp und den zur Verfügung stehenden Flächen abhängig. Selbst wenn keine Flächen zur Verfügung stehen, sind viele Verbesserungen durch angepasste Unterhaltung realisierbar, die möglicherweise auch abschnittsweise auf die allmähliche Entwicklung eines guten ökologischen Zustandes hinwirken.

Als wichtig wird es angesehen, dass die für die Gewässerunterhaltung zuständigen Verbände die Möglichkeit erhalten müssen, allmählich durch schrittweises Vorgehen und langsames Herantasten an eine optimierte Gewässerunterhaltung das rechte Maß selbst zu setzen. Sukzessive sollte es möglich sein über

- die Kenntnis guter Gewässerabschnitte im Bearbeitungsgebiet,
- die Auswahl zu verbessernder Abschnitte und
- die Benennung von problematischen Bereichen, die kaum zu verbessern sein werden, die geeignete Vorgehensweise zu entwickeln. Hierbei können auch Ergänzungen im digitalen Anlagenverzeichnis über potenzielle Unterhaltungsmaßnahmen bzw. angedachte Unterhaltungsfrequenzen im Sinne von Unterhaltungsplänen sinnvoll sein. Einige Verbände verfahren bereits so.

### 3.5. Entwicklungsziele (realistisches Leitbild)

Die Formulierung des realistischen Leitbildes ist stark abhängig von der naturräumlichen Situation und den Nutzungen entlang des Talraumes. Dieser kann eng begrenzt sein und somit Möglichkeiten eröffnen, mindestens abschnittsweise eine eigendynamische Entwicklung zuzulassen. Öffnen sich die Talräume zu weiten Niederungen, hängt es von der Nutzung, der Flächenbereitstellung und den Bewirtschaftungsmöglichkeiten ab, inwieweit Maßnahmen über das eigentliche Gewässerbett und den Uferrandstreifen (Anlage 3) hinausgehend betrachtet werden können.

Die Abbildung 3 zeigt eine Prinzipskizze hierzu und soll verdeutlichen, dass über die Zeit verschiedene Teilzielbeschreibungen möglich sein können.

Anhand von Beispielen aus Schleswig-Holstein werden die Stadien nachfolgend beschrieben.

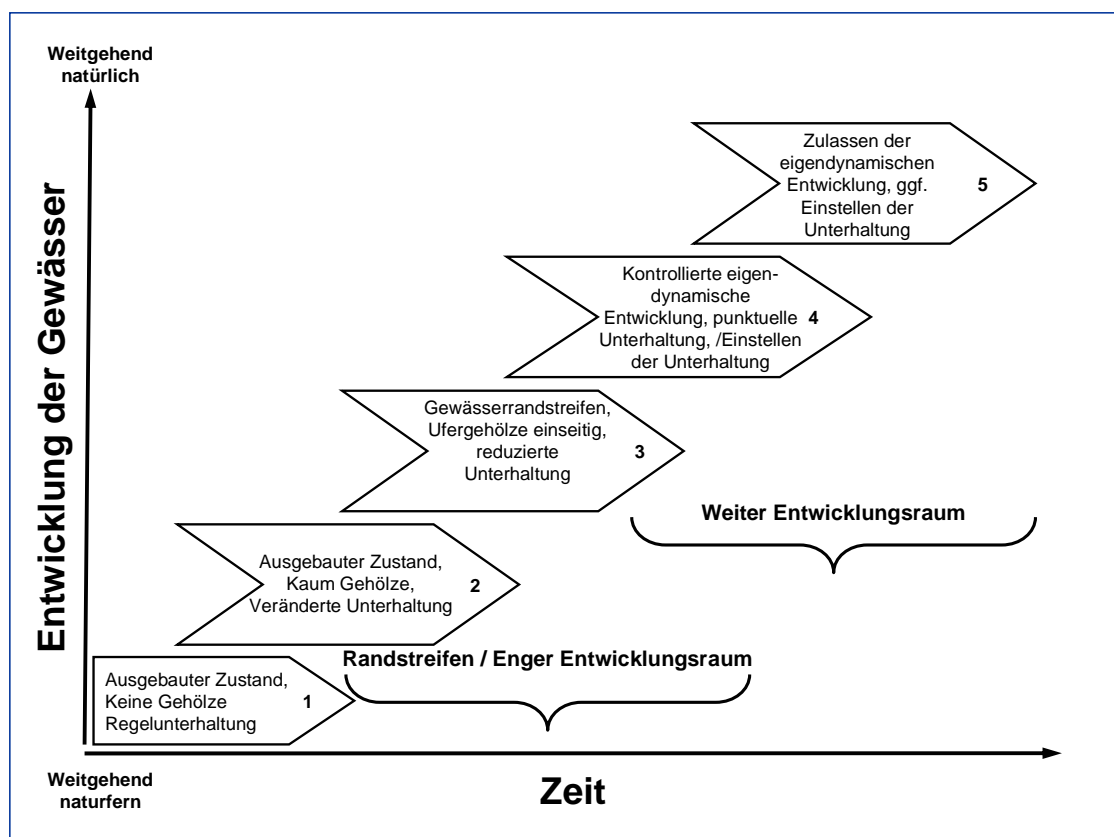


Abb. 3: Entwicklung braucht Zeit und Raum

## 4. Beispiele

Es wird vorgeschlagen, dass sich die Arbeitsgruppen der Bearbeitungsgebiete an Beispielen zu den verschiedenen Entwicklungszielen innerhalb des Bearbeitungsgebietes orientieren und die Realisierbarkeit von entsprechenden Maßnahmen in ihren Flussabschnitten prüfen.

Als Anregung sollen hierfür die folgenden Beispiele dienen.

Dabei handelt es sich um eine Auswahl von umgesetzten Projekten in Schleswig-Holstein, die Anregungen zur Entwicklung der morphologischen Strukturen geben sollen, um dadurch Lebensräume für Tiere und Pflanzen zu schaffen. Es wird für notwendige Prioritätenfestlegungen abzuschätzen sein, ob das Ziel guter ökologischer Zustand nach der Wasserrahmenrichtlinie erreicht wird oder (nur) das ökologische Potenzial verbessert werden kann. So sind bei vielen der unten gezeigten Beispiele nicht alle Probleme, die die Qualität des Lebensraumes betreffen, gelöst. Häufig kommt es zu Versandungsproblemen in den unteren Gewässerabschnitten, wenn die Oberläufe nicht regeneriert werden konnten. Weitere Probleme sind z.B. die Ockerbildung, Fischteiche in den Oberläufen und vieles mehr. Oft sind nur kleinere Abschnitte entwickelt worden. Trotzdem kann hieran gezeigt werden, dass Entwicklungen je nach den Rahmenbedingungen möglich sein können.

Ausgebauter Zustand,  
Keine Gehölze  
Regelunterhaltung

1



Papenau  
WBV Osterstedter Au  
Bereich wurde inzwischen entwickelt, siehe Nr. 4



Trave bei Gnissau  
GPV Oberlauf der Trave



Kleine Au  
WBV Kleine Au

		 <p>Mühlenbach WBV Lippingau Ackernutzung bis zum Gewässer</p>
--	--	--

Ausgebauter Zustand,  
Kaum Gehölze,  
Veränderte Unterhaltung **2**

 <p>Schwentine WBV Schwentine</p>	 <p>Der Verband unterhält nur noch einseitig. Wenn keine Flächen für eine Entwicklung erworben werden können, ist dies eine Möglichkeit, allmählich Rückzugsräume durch verändertes Strömungsverhalten und Ausbildung verschiedener Substrate zu schaffen.</p>
---	---

Gewässerrandstreifen,  
Ufergehölze einseitig,  
reduzierte Unterhaltung **3**



Imme

WBV Imme

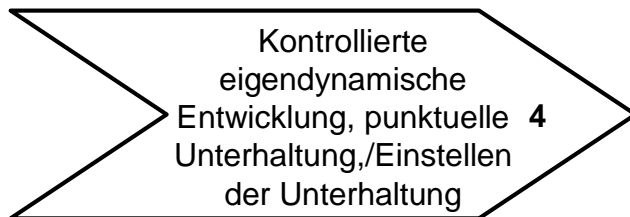
Vor ca. 12 Jahren konnte ein kleiner Gewässer-  
randstreifen erworben werden. Durch bauliche  
Maßnahme konnte die Gestaltung so durchgeführt  
werden, dass seitdem kaum noch eine Unterhal-  
tung erforderlich ist.



Linnau

WBV Linnau

Ziel des Verbandes ist es, die Aue zu erwerben.  
Dies konnte in anderen Abschnitten auch durch-  
geführt werden (vergleiche Nr. 4). In Abschnitten,  
in denen der Flächenerwerb zurzeit nicht möglich  
ist, können aber dennoch Entwicklungen zugelas-  
sen werden. Hier wurde ein Randstreifen erwor-  
ben und als Initialmaßnahme das Ufer abgeflacht.  
Die Unterhaltung kann entsprechend reduziert  
werden.



Husumer Mühlenau

HV Husumer Mühlenau

Oberhalb des Abschnittes ist die Au wie in Nr. 1  
gezeigt ausgebaut. In dem abgebildeten Abschnitt  
konnten Flächen von der Gemeinde erworben  
werden, so dass sich die Au auf einer Länge von  
1,5 km entwickeln kann.



Linnau

WBV Linnau

Dem Ziel des Verbandes entsprechend (siehe  
Beispiel unter Nr. 3) konnten in diesem Abschnitt  
Flächen erworben werden, so dass hier nur noch  
bedarfswise unterhalten werden muss und die  
Au sich kontrolliert entwickeln kann.



#### Papenau

Der WBV Osterstedter Au hat von 1991 bis 1993 auf einer Länge von fünf Kilometern an der Papenau Maßnahmen ergriffen die unter Beibehaltung der Vorflutverhältnisse ein Aufkommen von Gehölzen und eine kontrollierte Gewässerbettdynamik zulassen. Der Ausgangszustand vom gleichen Standort ist im Beispiel unter Nr. 1 dokumentiert. Zurzeit ist keine Unterhaltung notwendig.



#### Mühlenbek

##### WBV Brammer Au

Der Verband hatte im Mittellauf der Mühlenbek anhaltende Probleme mit seinen Mitgliedern weil durch Böschungsruutschungen deren Eigentumsflächen betroffen waren und die Einzäunungen zerstört wurden. Durch den Ankauf eines Uferlandstreifens konnte hier für alle Beteiligten eine akzeptable Lösung gefunden werden. Bei der Festlegung des Uferlandstreifens (Anlage 3) wurde besonderen Wert darauf gelegt, dass der Grenzverlauf den Erfordernissen der Landwirte entsprach. Heute werden durch Böschungsruutschungen Findlinge freigelegt, die die Gewässerbettdynamik fördern.



#### Porrenkoogzielzug in der Marsch

##### DSV Husum Nord

##### Sonderfall Marschengewässer

Auch Marschengewässer können entwickelt werden, dass zur Zeit keine Unterhaltung erfolgt. Es wurde einseitig die Böschung zurückgenommen.

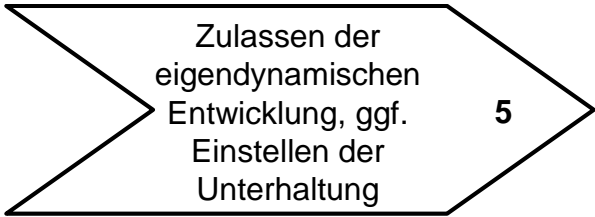


#### Trave bei Sühlen

Hier ist das Land für die Gewässerunterhaltung zuständig.

Nach Aufgabe des Wehrs kann hier eine kontrollierte Entwicklung zugelassen werden.





Gieselau  
SV Obere Gieselau

Hier kann eine weitgehende Eigenentwicklung zugelassen werden, es wird nur noch bedarfsweise unterhalten



Wallsbek  
WBV Meyner Mühlenstrom

Die Wallsbek wird unterhalb der Ortslage Wallsbüll seit über 10 Jahren nicht mehr unterhalten



Haaler Au  
HV Haaler Au

Von 1982 bis 1986 hat der Hauptverband Haaler Au seine Vorflutverhältnisse im Unterlauf der Haaler Au neu geregelt. Eine Maßnahme war die Deichrückverlegung wodurch eine 70 ha große Wasser und Schilffläche entstanden ist. In diese Fläche wird aus den tiefer liegenden Flächen geschöpft. Dieses Gebiet ist heute ein wichtiges Vogelrastgebiet.

## 5. Ansprechpartner

Ansprechpartner im LANU:	Dr. Matthias Brunke
Makrozoobenthos:	Annegret Holm, Johanna Lietz,
Gewässerstruktur:	Uwe Ahrens
Fische:	Dr. Matthias Brunke
Ansprechpartner Teilprojekte	Teilprojektleiter, Vertreter/in:
Teilprojekt Elbe	Michael Ahne, Doris Wolf
Teilprojekt Schlei / Trave	Eckhard Kuberski, Uwe Leiner
Teilprojekt Eider	Thomas Langmaack, Werner Marxen

## **Anlagen**

Hinweise zur Regeneration Fließgewässern

**Tabellarische Gegenüberstellung  
von Defiziten und möglichen Maßnahmen**

Stand: 30.06.2005

Erstellt durch das Landesamt für Natur und Umwelt  
des Landes Schleswig-Holstein

<b>Bereich</b>	<b>Defizite</b>	<b>Mögliche Maßnahmen</b>
<b>Gewässer</b>		
<b>Laufentwicklung</b>	<b>Laufkrümmung, Uferverbau</b>	<b>Rückbau, Initiierung von Eigenentwicklung</b>
	fehlende Laufkrümmung (Begradigung), nach LAWA vor-Ort Verfahren	z.B. im Rahmen der Unterhaltung strömungslenkende Maßnahmen: Mahd im Strömungsstrich, Einbau von Totholz und Störsteinen, bei sehr entwicklungsträgen Gewässern: Laufverlagerung
	Fehlende Fließdynamik (Morphodynamik unterbunden bzw. eingeschränkt)	Profileinengungen, Punktuelle Unterhaltung, Einbau von Totholz, Störsteinen
	fehlende Altarme, künstlich abgetrennte Altarme	Altarme anbinden
<b>Längsprofil/ Durchgängigkeit</b>	<b>Querbauwerke, Rückstau, Verrohrungen, Durchlässe</b>	<b>Rückbau, Umbau, Umgehung</b>
	Querverbau mit Rückstau (Abstürze, Wehranlagen, etc.) mit Behinderung der Wanderung von Wassertieren Brücken mit Betonsohle Durchlässe	Laufverlängerung, Sohlgleiten, Umgehungsgerinne, Fischpässe Einbringen von Substrat auf die Sohle, Schaffung einer Trockenberme (für Fischotter) Vergrößerung des Profils
	Verrohrung, Sohlshalen	Gestaltung eines naturnahen offenen Gewässers
<b>Sohle</b>	<b>Sohlenverbau, Substrate</b>	<b>Rückbau, Initiierung Eigenentwicklung, Gewässerunterhaltung, Einbringung bzw. Belassen von Substratelementen (Kies, Pflanzen, Holz)</b>
	zu tief ins Umland eingeschnitten (Sohlenerosion)	Punktuelle Unterhaltung, Einbau von Totholz, Störsteinen
	übermäßiger Sandtransport (instabiles Sohlsubstrat)	z.B. Bepflanzungen, Kies einbringen, lenkende Maßnahmen Anlage von Sandfängen, Reduzierung der sohlennahen Fließgeschwindigkeit durch Erhöhung der Sohlrauheit, Einbau von Sohlswellen
	Sohlräumung	Anlage von Sandfängen
	zu geringe Kiesanteile, fehlendes Lückensystem der Sohle	Kies einbringen, Reduzierung von übermäßigem Sandtransport
	fehlendes Totholz	Gehölze zulassen, Holz einbringen
	Verkrautung nicht leitbildgerechte Wasserpflanzen (z.B. Fadenalgen, Stillgewässerpflanzen)	Unterhaltung verringern und dem Gewässer besser anpassen Beschattung (Gehölze)

<b>Bereich</b>	<b>Defizite</b>	<b>Mögliche Maßnahmen</b>
<b>Ufer</b>		
<b>Querprofil</b>	<b>Profiltiefe, Breitenvarianz</b>	<b>Rückbau, Initiierung von Eigenentwicklung, Belassung von Substrat-elementen</b>
	zu großes Profil für Abfluss (MHQ)	Einstellung/Reduzierung der Unterhaltung, Einbau von Totholz, Störsteinen
	fehlendes Niedrigwasserprofil (zu geringe Niedrigwassertiefe)	Punktuelle bzw. pendelnde Unterhaltung, Einbau von Totholz, Störsteinen
	zu niedrige Wasserstände im Gewässer und der Aue; signifikante Wasserentnahmen	Einengung des Fließquerschnittes durch Unterlassen der Unterhaltung, Einbau von Totholz, Anpflanzung von Uferbewuchs
	fehlende Tiefenvariabilität	Profileinengungen, Einbau von Totholz und Störsteinen
	fehlende Breitenvariabilität	Profileinengungen, Punktuelle Unterhaltung, Einbau von Totholz, Störsteinen
<b>Uferstruktur</b>	<b>Uferverbau, Uferbewuchs</b>	<b>Ufergehölze zulassen</b>
	fehlender Uferbewuchs	Anpflanzung von Gehölzen, Unterlassen einer Böschungsmahd
	Fehlende Unterstände	Erhöhung der Strukturvielfalt im Gewässer: Totholz, Ufergehölze
	Uferverbau	Sukzessiver Verfall, punktuell oder komplett entfernen
	Mahd	Mahd im Stromstrich, halbseitige Mahd

<b>Bereich</b>	<b>Defizite</b>	<b>Mögliche Maßnahmen</b>
<b>Flächen am Gewässer</b>		
<b>Gewässerumfeld</b>	<b>Gewässerrandstreifen, Flächennutzung</b>	<b>Flächenerwerb, Extensivierung, angepasste Bewirtschaftung</b>
	geringer Wasserrückhalt (z.B. durch Drainagen, Versiegelung)	Flächenhafter Grunderwerb, Verschließen der Drainagen, Niedermoorvernässung, Regenrückhaltebecken im Seitenschluss
	Abflussverschärfung (erhöhte kurze Abflussspitzen)	Schaffung von Retentionsräumen im Oberlauf, Regenrückhaltebecken im Seitenschluss, Verlängerung des Fließweges
	Überschwemmungshäufigkeit zu gering (nach LAWA Übersichtsverfahren)	Flächenbereitstellung und Einengung des Fließquerschnittes durch Unterlassen der Unterhaltung, Einbau von Totholz, Anpflanzung von Uferbewuchs
	kein Waldbestand bis ans Ufer (Bruchwald/Auwald)	Anpflanzungen, Zulassen von Gehölzen
	Bodenerosion	Gewässerrandstreifen, Änderung der Bewirtschaftung auf den angrenzenden Flächen
	hoher Nährstoffimport in die Gewässer	Niedermoorvernässung, Extensivierung
	punktuelle hydraulische Belastung durch Einleitungen	Rückhaltungen im Nebenschluss
	Flächenhafte Reduzierung des Einzugsgebietes (z..B. Stecknitz, Untere Eider)	Anschluss von Oberläufen, Einengung des Fließquerschnittes durch Unterlassen/Reduzieren der Unterhaltung, Einbau von Totholz, Anpflanzung von Uferbewuchs
	Ockerfreisetzung und Import ins Gewässer	Wasserstandsanhhebung, Anlegung von Teichen zur Ausfällung des Ockers

# **Schonende Gewässerunterhaltung**

Stand: 16.12.2008



## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Der natürliche Bachlauf ist krumm	3
3.	Gewässerbett	4
4.	Bedeutung der Ufergehölze	5
4.1	Licht und Schatten	5
4.2	Uferstabilisierung	6
4.3	Nahrungsquelle	7
4.4	Lebensvielfalt durch Totholz	7
5.	Bedeutung der schonenden Gewässerunterhaltung	8
5.1	Empfehlungen für eine schonende Gewässerunterhaltung	8
5.2	Gehölzpflege	9
5.3	Mahd / Krauten	10
5.4	Entfernen von Sandablagerungen	13
5.5	Förderung der eigendynamischen Entwicklung	13
6.	Literaturhinweise	14

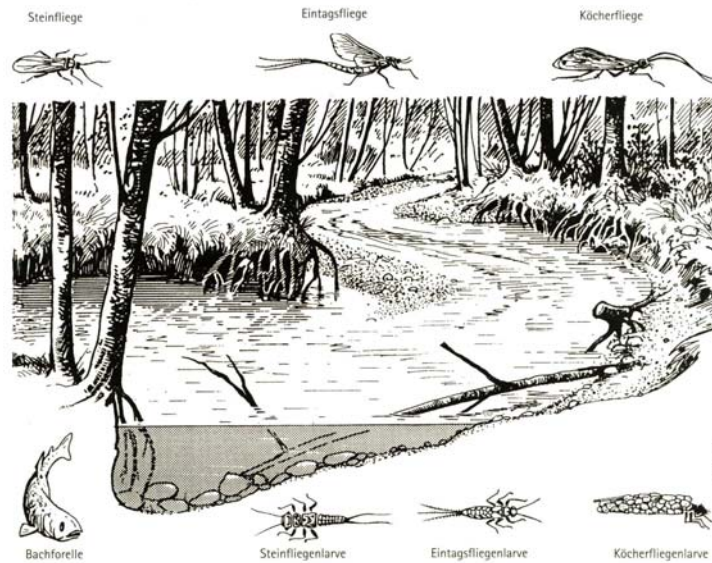
## **1. Einleitung**

Mit der Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wird dem Schutz der Gewässer als Lebensraum für Pflanzen und Tiere große Bedeutung geschenkt. Neben den chemisch-physikalischen Qualitätsanforderungen berücksichtigt die WRRL die gesamte ökologische Funktionsfähigkeit der Fließgewässer. Hierzu gehören auch intakte Gewässerstrukturen, die für das Vorkommen und Überleben aquatischer Lebensgemeinschaften entscheidend sind. Um den guten ökologischen Zustand der Fließgewässer bis 2015 zu erreichen ist es unabdingbar, diese Gewässerstrukturen wieder herzustellen bzw. intakte Strukturen zu schützen. Vor diesem Hintergrund sollte die Gewässerunterhaltung gewässerökologische Belange berücksichtigen. Es ist eine Gewässerunterhaltung anzustreben, deren Ziel es ist, den schadlosen Gewässerabfluss sicherzustellen, die natürliche Entwicklung der Gewässer zu fördern und dabei die Unterhaltungsaufwendungen zu reduzieren.

## **2. Der natürliche Bachlauf ist krumm**

Natürliche Fließgewässer des Tieflandes verlaufen immer gewunden durch ihr Tal. Diese gekrümmte Linienführung wird durch die Kraft des fließenden Wassers geformt. In den Außenkurven strömt das Wasser schneller als an den Innenkurven. Dadurch wird an diesen sogenannten Prallufeln Material abgetragen, während es in ruhigeren Bereichen (Gleitufeln) wieder abgelagert wird. So entsteht ein in Breite und Tiefe deutlich unterschiedlich strukturiertes Bachbett, das eine Vielzahl an verschiedenen Kleinlebensräumen auf engem Raum bietet. An dieses Mosaik aus verschiedenen Kleinstrukturen haben sich zahlreiche Arten der Fließgewässerfauna auf sehr unterschiedliche Art und Weise angepasst. Einige Arten halten sich im Strömungsschatten von Steinen, Baumwurzeln und Holz auf, um der starken Strömung zu entgehen. Auch Fische bevorzugen diese Strömungshindernisse als Stand- und Ruheplatz. Andere Wirbellosenarten leben in Bereichen mit starker Strömung. Fußkrallen, Saugnäpfe oder Sekrete zum Anklammern an Steinen, Holz, Moos- und Algenrasen verhindern ihre Abdrift. Für diese Tierarten ist das Vorhandensein von Hartsubstraten überlebenswichtig.

Die gekrümmte Linienführung führt in unseren Naturräumen zu stabilen Bedingungen, bei denen sich Abtrag und Auftrag von Sedimenten praktisch ausgleichen.



**Abb. 1: Das Gewässerbett als Lebensraum zahlreicher Fließgewässerbewohner**

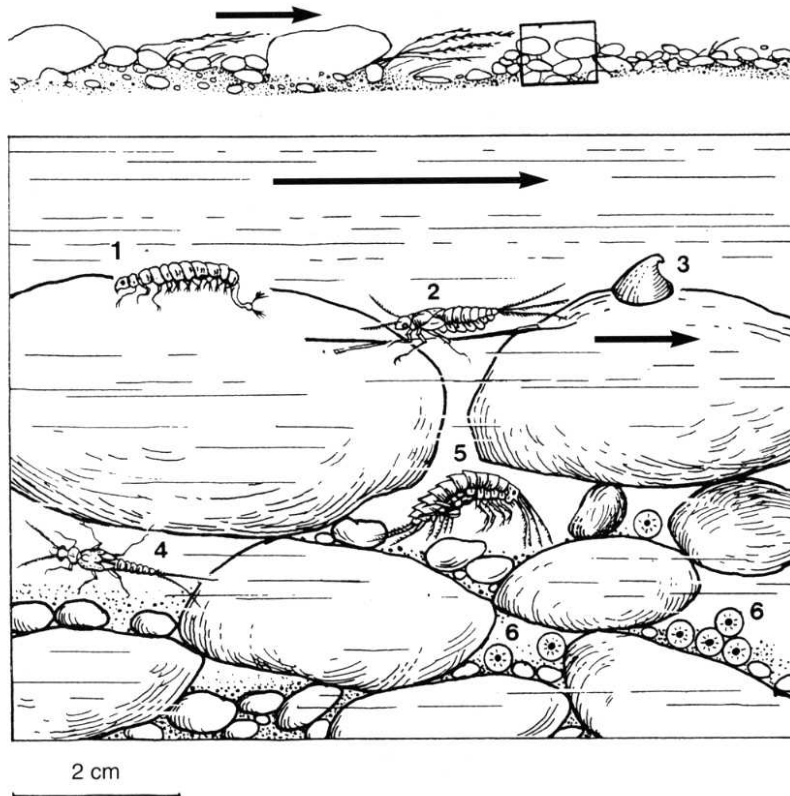
### 3. Gewässerbett

Das Gewässerbett umfasst die Gewässersohle und das Ufer. In Bächen und Flüssen mit grobkörniger Sohle besteht zwischen den Kieseln und Steinen ein Lückensystem, das langsam von Wasser durchströmt wird (Abb.2).

Dieses Lückensystem der Gewässersohle gehört zu den besonders schutzbedürftigen Bereichen fließender Gewässer. Es wird von vielen Organismen besiedelt und dient als Kinderstube zahlreicher Kleinlebewesen und verschiedener Fischarten. Das Lückensystem zeichnet sich durch konstante Strömungs- und Temperaturbedingungen aus und dient den Bachtieren als Rückzugsraum bei Hochwasser, Frost- und Trockenperioden. Da die stromaufwärts gerichtete Wanderung der Wirbellosen auf dem bzw. im Lückensystem erfolgt, kommt der Durchgängigkeit der Sohle eine entscheidende Bedeutung zu.

In vielen Tieflandbächen ist dieser Lebensraum durch übermäßige Sandeinträge bedroht oder in der Vergangenheit verloren gegangen. Die Lücken zwischen den Kieseln verstopfen und der Wasserstrom innerhalb des Lückensystems kommt zum Erliegen. Die Folgen sind mangelnde Sauerstoffversorgung und der Verlust des Lebensraumes. Auch Verschmutzungen durch Abwässer gefährden das Leben im Lückensystem in besonderer Weise.

In vielen Gewässerabschnitten sind Kiesel und Steine durch Grundräumungen entfernt worden. Diese natürliche Sohlauflage aus Kieseln und Steinen schützt die Sohle vor Tiefenerosion und verhindert so die Mobilisierung von Sand. Wird diese natürliche Sohlauflage entfernt ist nicht nur ein wertvoller natürlicher Lebensraum geschädigt, sondern es beginnt eine Spirale von Unterhaltungsmaßnahmen.



**Abb.2: Das Lückensystem der Gewässersohle bietet vielen Fließgewässerorganismen Lebensraum:** Köcherfliegenlarven (1), Eintagsfliegenlarven (2), Bachmützenschnecken (3), Steinfliegenlarven (3), Bachflohkrebs (5). Es dient den Forellen auch als Laichplatz (6, Fischeier)(Wasserwirtschaftsamt Amberg 1996)

## 4. Bedeutung der Ufergehölze

### 4.1 Licht und Schatten

In unseren Breiten sind die Bäche unter natürlichen Bedingungen fast immer durch Ufergehölze begleitet. Diese verhindern im Sommerhalbjahr durch ihren Schatten eine übermäßige Erwärmung des Bachwassers und gewährleisten dadurch relativ niedrige und wenig schwankende Wassertemperaturen. Der natürliche Wechsel von Licht und Schatten verhindert ein übermäßiges Pflanzenwachstum im Bachbett (Abb.3). Aus beiden Faktoren, also niedrige Wassertemperaturen und geringes Pflanzenwachstum, resultiert eine gleich bleibende hohe Sauerstoffkonzentration im Wasser, sofern nicht eine Sauerstoff zehrende Verschmutzung vorliegt. Viele Fließgewässertiere sind auf kühle Wassertemperaturen und hohe Sauerstoffkonzentration im Wasser angewiesen.



**Abb.3:** Lichtverhältnisse in einem naturnahen Bach, Foto: U.Holm

#### **4.2 Uferstabilisierung**

Ein weiterer positiver Effekt der Ufergehölze besteht in der Stabilisierung der Ufer. Die dichten Wurzeln der typischen Begleitarten an Gewässern bewachen nicht nur den direkten Ufersaum, sondern reichen teilweise auch tief unter die Gewässersohle. Größere Wurzelhöhlen werden von Fischen als Unterstände genutzt und die flutenden Wurzeln bieten vielen Bachtieren Siedlungsmöglichkeiten und Schutz (Abb.4).



**Abb.4:** Natürliche Uferstrukturen stabilisieren die Ufer und bieten Lebensraum für Wirbellose und Fische, Foto A.Holm

Für viele Insekten spielen die Ufergehölze aber auch nach Verlassen des Wassers als Orientierungspunkte eine wichtige Rolle. Sie werden zur Revierabgrenzung und als Ruhe- und Hochzeitsplatz benötigt. Sie bieten vielen Vögeln Nistmöglichkeiten und Schutz.

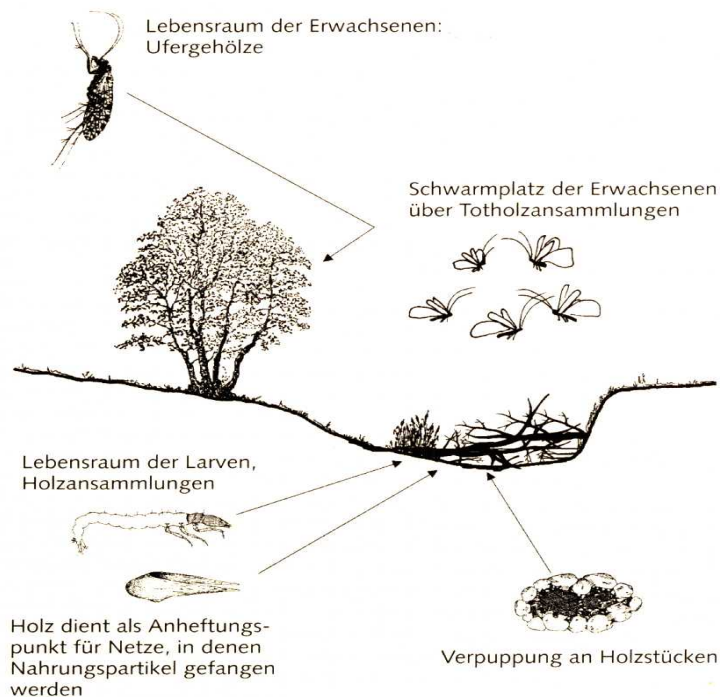
### 4.3 Nahrungsquelle

Laub und Holz stellen die wichtigsten Nahrungsquellen für unsere Bachtiere dar. Die vor allem im Herbst in den Bach fallenden Blätter werden von Pilzen und Bakterien besiedelt und von ihnen zersetzt. Diese Mikroorganismen bilden zusammen mit den Blattresten die Nahrungsgrundlage für viele Bachtiere wie z. B. Bachflohkrebse und Insektenlarven. Das von den Ufergehölzen in den Bach eingetragene Holz wird in ähnlicher Weise über einen längeren Zeitraum abgebaut.

In strukturarmen Gewässern wird das Falllaub von der fließenden Welle schnell abtransportiert. In strukturreichen Gewässern kann es sich dagegen an größeren Steinen, Wurzelstöcken, Ästen oder Holzstämmen verfangen und somit länger im Bach verbleiben und den Tieren als Nahrung dienen.

### 4.4 Lebensraumvielfalt durch Totholz

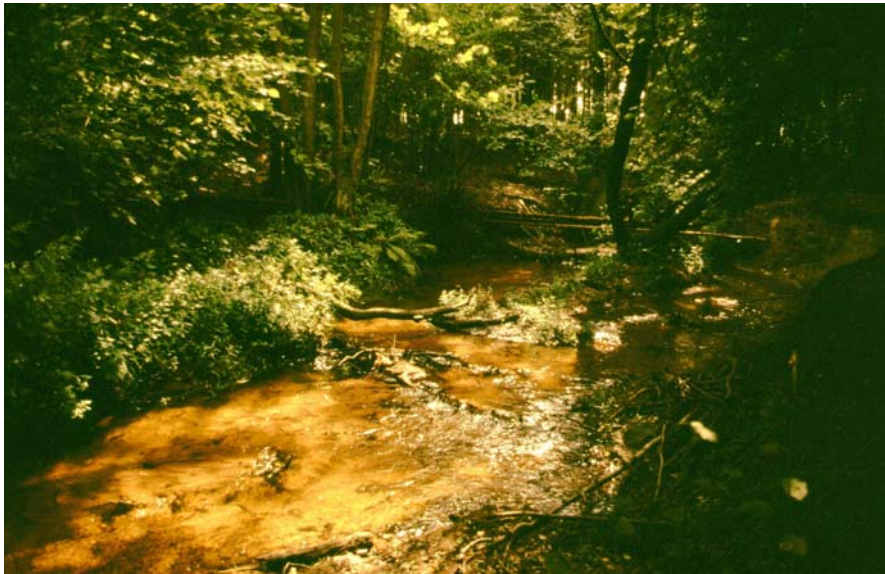
Neben der überragenden Bedeutung als Nahrungsgrundlage dient Laub und Holz vielen Fließgewässertieren auch direkt als Siedlungsraum (Abb. 5).



**Abb.5: Beispiel einer Köcherfliege, deren Entwicklung eng an das Vorhandensein von Totholz gebunden ist (nach D. Hering aus Gerhard et al 2001)**

Insbesondere größere Holzteile dienen als stabiler Siedlungsgrund und die raue Oberfläche unbehandelten Holzes bietet gute Versteckmöglichkeiten für Kleintiere. Da die Oberfläche von Holzteilen je nach Lage im fließenden Wasser sehr unterschiedliche Strömungsverhältnisse aufweist, können sich viele verschiedene Tierarten ansiedeln.

Darüber hinaus verändern größere Holzteile die Strömungsverhältnisse innerhalb des Bachbettes zum Teil deutlich. Sie tragen somit wesentlich zur Strukturierung des Gewässerbettes bei (Abb.6).



**Abb.6: Strukturierung der Sohle durch Totholz in einem Seitengewässer der Osterau**

*Foto, A. Holm*

Die Bedeutung von Holz als Besiedlungsunterlage für Kleintiere ist besonders in sand- und niederungsgeprägten Bächen und Flüssen sehr groß, in denen Steine weitgehend fehlen.

## **5. Bedeutung der schonenden Gewässerunterhaltung**

In den letzten Jahrzehnten ist neben der Erhaltung eines ordnungsgemäßen Wasserabflusses die Bedeutung der Fließgewässer für den Naturhaushalt stärker in den Vordergrund getreten. In der heutigen Form des Landeswassergesetzes ist fest geschrieben, dass neben einem ordnungsgemäßen Wasserabfluss zur Gewässerunterhaltung u.a. auch

- die Erhaltung und Entwicklung eines natürlichen oder naturnahen standortgerechten Pflanzen- und Tierbestandes und
- die Entwicklung von Uferrandstreifen gehört.

In vielen Fließgewässersystemen Schleswig-Holsteins können diese Aspekte der Gewässerpflege noch optimiert werden, ohne den ordnungsgemäßen Wasserabfluss zu gefährden.

Die optimierte Unterhaltung kann neben der Förderung von Fauna und Flora in vielen Fällen auch den Aufwand und die Kosten reduzieren (Madsen & Tent 2000). So z.B., wenn die Un-

terhaltung nicht pauschal für ein Gewässer, sondern abschnittsweise nur im Bedarfsfall durchgeführt wird. Eine Einschätzung des Unterhaltungsbedarfs nach Augenmaß und das Bestreben, die Arbeiten darauf abzustimmen, sind besonders wichtig.

In Dänemark wurde schon 20 Jahre vor Einführung der WRRL die Unterhaltungspraxis geändert und eine schonende Gewässerunterhaltung eingeführt. Eine gezielte und dem Gewässer angepasste Gewässerunterhaltung führte dort in vielen Fällen wieder zu reich strukturierten Fließgewässern (s. Madsen & Tent 2000).

## 5.1 Empfehlungen für eine schonende Gewässerunterhaltung

Im Folgenden sind einige Möglichkeiten für die schonende Gewässerunterhaltung aufgeführt, die vielfach bereits wahrgenommen werden und sich bewährt haben. Ein schrittweises Herantasten an eine optimale Unterhaltungsform ist zu empfehlen, um jeweils die Reaktionen des Gewässers überprüfen zu können.

- Vor jeder Unterhaltungsaktivität im Gewässer sollte geprüft werden, an welchen Abschnitten welche Arbeiten überhaupt notwendig sind. Dem mit der Unterhaltung Beauftragten sollte eine genaue Arbeitsbeschreibung übergeben werden, möglichst mit Angaben über die Form und den Umfang der Unterhaltung und über auszulassende Bereiche und unter Schutz stehenden Biotopen,
- möglichst große und zusammenhängende Teilbereiche des Gewässers sollten nicht bzw. nur punktuell unterhalten werden,
- besonders empfindliche Gewässerbereiche insbesondere die Gewässersohle und der unmittelbare Uferbereich sollten möglichst wenig unterhalten werden,
- Grundräumungen sollten erst dann durchgeführt werden, wenn nachgewiesen ist, dass der Sand die Entwässerung des Umlandes behindert,
- Die Böschungsmahd sollte auf ein Minimum reduziert werden. Im wassernahen Bereich sollte die Mahd möglichst unterbleiben, das Mähgut sollte immer außerhalb des Gewässerprofils abgelegt werden, (Beobachten der Böschungsentwicklung bei Verzicht auf die Mahd. Wird sie instabil? Führt Eisgang zu Pflanzenabbruch und Verstopfung von Durchlässen?),
- Auf eine routinemäßige Gehölzpflege sollte verzichtet und nur bei Veranlassung vorgenommen werden. Falls ein Gehölzschnitt erforderlich ist, sollte dieser abschnitts- bzw. gruppenweise erfolgen. Lange schattenfreie Strecken sind zu vermeiden,
- Totholz möglichst im Gewässer belassen,
- Uferabbrüche, Sand- und Kiesbänke im Gewässer sollten, wo es möglich ist, belassen bzw. zugelassen werden,
- Die Anlage von Uferrandstreifen dient als Voraussetzung für die eigendynamische Entwicklungsmöglichkeit des Gewässers und die Extensivierung der Unterhaltung,



- Pflanzenmahd bzw. Krauten des Gewässers nur soweit es zur Erhaltung der Abflussleistung zwingend notwendig ist, wenn möglich mit Abstandshalter (10-30 cm über der Bachsohle); Beschränkung auf die Mitte des Gewässers, wenn möglich schlängelnden Abflussquerschnitt schaffen, um eine Strömungsdiversität zu erreichen (Stromstrichmahd),
- Berücksichtigung der Laichzeit der Fische (LANU 1999)
- Schonen naturnaher Strukturen, die sich das Gewässer bereits selbst wieder geschaffen hat.

## 5.2 Gehölzpflege

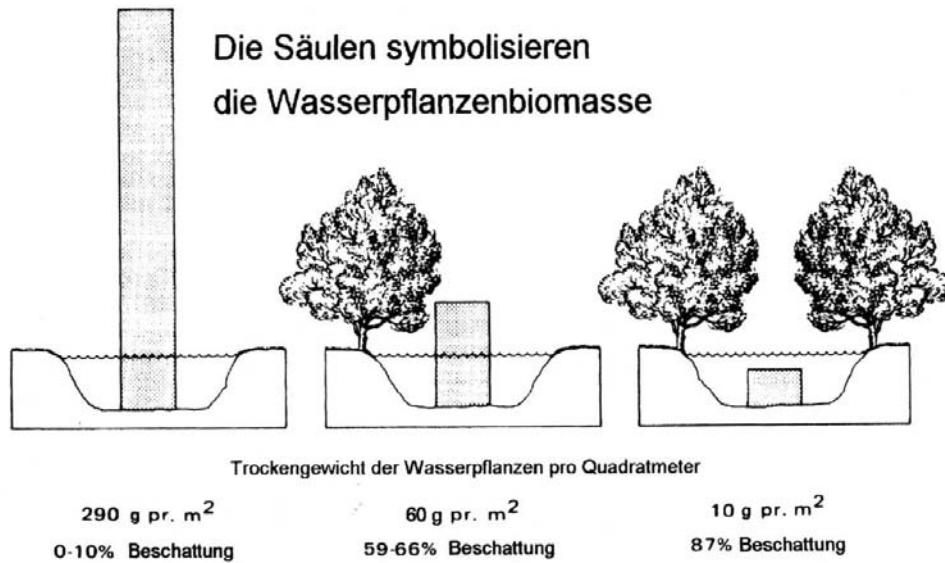
Da Ufergehölze wie bereits beschrieben eine herausragende ökologische Bedeutung für unsere Bäche haben, sollte möglichst auf einen durchgehenden Gehölzschnitt („auf den Stock setzen“) verzichtet werden. Besonders Quellbäche und kleine Bäche sind natürlicherweise beschattet. In größeren Bächen sollten sich offene und beschattete Abschnitte abwechseln, wobei die offenen Abschnitte nicht zu lang sein dürfen, um keinen Abflussstau durch Verkräutung hervorzurufen. Den größten Beschattungseffekt haben Gehölze, wenn sie sich auf dem Südufer der Gewässer entwickeln können.

Begründet wird der Gehölzschnitt mit Schattenwurf, der zu Ertragseinbußen auf den angrenzenden bewirtschafteten Flächen führt. Entschärfen kann man den Konflikt durch die Bereitstellung von Uferrandstreifen. Falls ein Gehölzschnitt wirklich notwendig ist, sollte dieser abschnitts- bzw. gruppenweise erfolgen. Keinesfalls sollten die Ufergehölze auf längeren Bachstrecken auf den Stock gesetzt werden.

Totholz sollte nach Möglichkeit im Gewässer verbleiben und die Entwicklung beobachtet werden. Bei großen strukturellen Defiziten kann sich das gezielte Einbringen von Totholz positiv auf die Gewässerstruktur auswirken (Gerhard & Reich 2001)

## 5.3 Mahd / Krauten

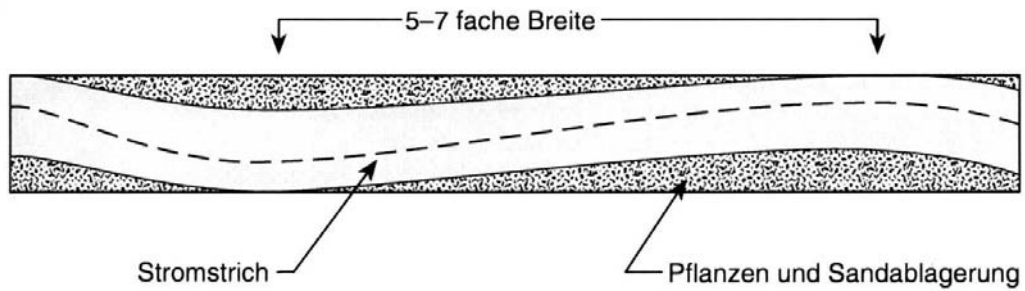
Unbeschattete Bäche und Gräben werden von Wasser- und Uferpflanzen besiedelt. Diese Pflanzen finden oft sehr gute Lebensbedingungen und können dann bei ungehinderter Lichtzufuhr das Gewässer regelrecht zuwuchern. Generell lässt sich ein Großteil der Gewässerunterhaltung dadurch vermeiden, dass man für eine Mindestbeschattung durch Ufergehölze sorgt (Abb.7). Insofern kann der Unterhaltungsaufwand durch Beschattungsmaßnahmen deutlich reduziert werden.



**Abb.7: Beschattung durch Ufergehölze verringert das Wachstum von Wasserpflanzen (aus: Madsen & Tent 2000)**

Bei unbeschatteten Gewässern sollte beobachtet werden, bevor der Bewuchs beseitigt wird, ob der Pflanzenbewuchs tatsächlich zu einer deutlichen Gefahr für den schadfreien Hochwasserabfluss wird. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass einige Pflanzen im Herbst teilweise absterben und dann kein Abflusshemmnis mehr darstellen (Tent 2001, KifL 2000). Der Wasser-Rückhalteeffekt einer dichten Unterwasservegetation ist zumindest im Sommer in einigen Landesteilen durchaus gewünscht, um den Grundwasserspiegel nicht zu sehr abfallen zu lassen. Generell sollte so spät wie möglich gemäht werden, also ab dem Spätsommer (KIFL 2000).

Viele Fließgewässer werden mittels Bagger und Mähkorb unterhalten. Bei fehlender Einsicht in das Gewässer können hierbei neben den Wasser- und Sumpfpflanzen auch die oberen Schichten der Gewässersohle aus dem Bach entfernt werden. Da die Mahd sehr schnell voranschreitet, haben die Tiere innerhalb der Vegetation kaum Gelegenheit zu flüchten. Die Verluste unter den Bachtieren sind daher sehr hoch. Bei der Mahd sollte deshalb immer darauf geachtet werden, dass die eigentliche Gewässersohle sowie die Ufer nicht abgegraben oder geschädigt werden. Hilfreich kann der Einsatz eines Abstandshalters sein bzw. vor einer Sohlmahd die Einsicht ins Gewässer durch eine Böschungsmahd gewährleistet werden. Da in fast allen Fließgewässern mit einem Verkrautungsproblem vor allem der Hochwasserabfluss sichergestellt werden soll, kann häufig auf ein vollständiges Ausmähen des betroffenen Gewässers verzichtet werden. Ökologisch sinnvoll ist ein versetztes Mähen der linken und rechten Bachhälfte bei ausreichender Sohlbreite, wodurch ein pendelnder Stromstrich entstehen kann (Abb. 8) oder das Mähen nur im Stromstrich.



**Abb.8: Beispiel wie ein schlängelnder Stromstrich freigemäht werden kann (aus: Madsen & Tent 2000)**



**Abb.9: Radesforder Au, nach der Stromstrichmahd, Foto, A. Holm**

Ergebnisse aus Dänemark haben gezeigt, dass die Mahd von ca. 1/3 der Breite des Gewässers ausreicht, um einen sich selbst erhaltenden Abflussquerschnitt zu erzielen.

Das Mähgut sollte nach Möglichkeit nicht im Böschungsprofil sondern an der Böschungsoberkante bzw. weiter ab vom Gewässer abgelegt werden.

#### **5.4 Entfernen von Sandablagerungen**

Neben der Verkrautung ist die Versandung ein Hauptanlass der Gewässerunterhaltung. Sie führt auch zu einer deutlichen Verminderung der ökologischen Qualität des betroffenen Bachbettes.

Bevor immer wieder Sandablagerungen entfernt werden müssen, sollten im Einzugsgebiet und im Gewässer selbst die Ursachen der Sandeinträge festgestellt werden. Oftmals wird Sand von angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen in den Bach eingetragen. Eine Mobilisierung von Sand resultiert auch aus ausbau- und unterhaltungsbedingten Störungen des Geschiebehaushaltes im Gewässer selbst.

Neben der Einrichtung ausreichend breiter Uferstrandstreifen, der Förderung der eigendynamischen Entwicklung und der Änderungen in der Bewirtschaftung der angrenzenden Flächen (z.B. Bearbeitung quer zum Hang, um Erosion zu vermeiden), ist auch zu prüfen, ob die Anlage von Sandfängen das Problem entschärfen kann.

Eine Grundräumung über längere Strecken ist grundsätzlich zu vermeiden.

#### **5.5 Förderung der eigendynamischen Entwicklung**

Der überwiegende Teil der schleswig-holsteinischen Fließgewässer wurde ausgebaut und natürliche Strukturen wie z.B. Kolke, Prall- und Gleithänge, Auflandungen und Kiesbänke wurden zerstört. Die Folge davon sind instabile Gewässer, die wiederkehrende Unterhaltungsmaßnahmen nach sich ziehen.

Die Förderung der eigendynamischen Entwicklung ist eine wichtige Maßnahme, um zu naturnahen Fließgewässern zu kommen. Sie ist für das Arteninventar eine schonende Vorgehensweise, um die morphologische Strukturvielfalt zu erhöhen. Neben der oben angesprochenen Unterlassung bzw. Minimierung der Unterhaltung kann eine eigendynamische Entwicklung durch gezieltes Einbringen von Strömungslenkern in Form von Störsteinen oder auch Holz initiiert werden. Diese Strömungshindernisse sollen zu differenzierteren Strömungs-, Substrat- und Tiefenverhältnissen im Gewässer führen. Voraussetzung sind entsprechend breite Randstreifen am Gewässer, so dass natürliche Veränderungen des Gewässerbettes wie beispielsweise Uferabbrüche, zugelassen werden können. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass Uferbefestigungen wie z.B. Steinanwurf, Buschfaschinen etc. überflüssig werden.

In Dänemark wird diese Methode seit 15 Jahren erfolgreich angewendet.



**Abb.10: Osterau, durch Totholz bedingte Strukturierung des Bachbettes, Foto: U. Holm**

## **6. Beachtung von naturschutzrechtlichen Regelungen**

Obwohl die Gewässerunterhaltung eine öffentlich- rechtliche Verpflichtung darstellt, muss sie so durchgeführt werden, dass flächendeckend besonders geschützte Arten (Tiere und Pflanzen) nicht geschädigt oder zerstört werden.

Findet die Gewässerunterhaltung in **Schutzgebieten** (Naturschutzgebieten, FFH-Gebieten, Europäischen Vogelschutzgebieten) statt, sind ggf. besondere Anforderungen der entsprechenden **Schutzgebietsverordnungen** zu beachten. Bei besonders geschützten Fischen und Neunaugen sind Laich- und Entwicklungszeiten zu beachten. Auch Bachmuscheln und besondere Wasserpflanzen sind geschützt. Um bei der Gewässerunterhaltung nicht gegen Regelungen in Naturschutzgebieten zu verstoßen, sollte Umfang, Form und Zeitraum der Unterhaltung mit der Wasserbehörde abgestimmt werden.

## **7. Literaturhinweise:**

### **Unterhaltung:**

ATV-DVWK & GFA (2001): Aktuelle Hinweise zur Unterhaltung von Fließgewässern im Flachland- ATV-DVWK Broschüre, 29 S.

DVWK Merkblätter 224/1992: Methoden und ökologische Auswirkungen der maschinellen Gewässerunterhaltung, Verlag Parey, 84 S.

DVWK (1999): Ökologische Aspekte bei der maschinellen Gewässerunterhaltung – Materialien 4. –ISSN 1436-1639.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2000): Unterhaltung und Pflege von Gräben, 51 S.

Madsen, B. L. & Tent, L. (2000): Lebendige Bäche und Flüsse. Praxistipps zur Gewässerunterhaltung und Revitalisierung von Tieflandgewässern, Edmund-Siemers-Stiftung, 156 S.

Wasserwirtschaftsamt Amberg (1996): Ökologisch begründete Sanierungskonzepte kleiner Fließgewässer – Fallbeispiel Vils/Oberpfalz, Arbeitsblätter für die Praxis 4

## **Ökologie:**

### **Allgemein**

Landesamt für Natur und Umwelt SH (1996): Empfehlungen zum integrierten Fließgewässerschutz, 67 S.

Madsen, B. L. & Tent, L. (2000): Lebendige Bäche und Flüsse. Praxistipps zur Gewässerunterhaltung und Revitalisierung von Tieflandgewässern, Edmund-Siemers-Stiftung, 156 S.

Ministerium für Natur und Umwelt SH (1993): Bäche und Flüsse in Schleswig-Holstein, 63 S.

### **Fische**

Landesamt für Natur und Umwelt SH (1999): Neunaugen und Fische der schleswig-holsteinischen Fließgewässer, 38 S.

### **Ufergehölze**

Gerhard, M. & Reich, M. (2001): Totholz in Fließgewässern, Empfehlungen zur Gewässerentwicklung, GFG, 84 S. <http://www.totholz.de/>

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1989): Gehölze an Fließgewässern, Gehölzverwendung für die Entwicklung naturnaher Gehölzsäume, Handbuch Wasserbau Heft 6, 95 S.

### **Gewässerrandstreifen**

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1994): Gewässerrandstreifen, Voraussetzung für die naturnahe Entwicklung der Gewässer, Handbuch Wasser 2, 39 S.

### **Wasserpflanzen:**

Tent, L. (2001): Pflanzen und ihre Bedeutung für Fließgewässer -Praxistipps-, Hrsg. Edmund-Siemers-Stiftung und Hanseatische Natur- und Umweltinitiative e.V., 52 S.

KIFL (2000): Schutzkonzept für gefährdete Wasserpflanzen der Fließgewässer und Gräben Schleswig-Holsteins, Teil B Fließgewässer, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt SH, 354 S., <http://www.kifl.de/artenschutz.htm>



## Regeneration von Fließgewässern, Anlage 3

# Einrichtung von Uferrandstreifen an Gewässern

**Stand: 03.12.2008**

## Inhaltsverzeichnis

1. Bedeutung der Uferrandstreifen .....	1
2. Funktion und Wirkung von Uferrandstreifen .....	1
3. Pflege und Nutzung des Uferrandstreifens .....	5
4. Erwerb oder vertragliche Regelung.....	6
Anlage .....	7
Literatur.....	7

### Mitglieder der Fach-Arbeitsgruppe

<b>Dr. Karin Wolter</b>	<b>LANU, Leiterin der Fach-AG</b>
Godber Andresen	Landesverband WBV SH
Annegret Holm	LANU
Michael Trepel	LANU
Karl-Heinz Köster	WBV Mittlere Treene
Uwe Leiner	TP Schlei/Trave
Werner Marxen	TP Eider
Stefan Witt	Wasserverband Bekau
Klaus Rohwedder	MLUR V 445
Carsten Pusch	NABU -SH
Sabine Reichle	WWF – SH, LNV
Thomas Stabenow	Kreis Segeberg
Dirk Markus Vierth	WBV Osterstedter Au
Andreas Fischer	TP Elbe
Zeitweise	
Uwe Ahrens	LANU, Gewässerstruktur, DAV
Arne Drews	LANU, Artenschutz
Rüdiger Albrecht	LANU, Artenschutz



## **1. Bedeutung der Uferrandstreifen**

In den Hinweisen zur Regeneration der Fließgewässer wird deutlich, dass es nur in wenigen Fällen möglich sein wird, Flächen für eine eigendynamische Entwicklung des Fließgewässers vollständig zur Verfügung zu stellen. Daher steht in der Regel das sogenannte realistische Leitbild als Entwicklungsziel im Vordergrund der Umsetzung. Damit ist als Ziel ein Gewässer mit einem mehrreihigen, standortgerechten und altersabgestuften Gehölzstreifen an der Mittelwasserlinie anzustreben. Mit der Einrichtung von Uferrandstreifen ist ein wesentlicher Schritt zu einer Verbesserung des Zustandes eines Fließgewässers getan, ggf. sogar der Anfang einer allmählich beginnenden Förderung der Eigenentwicklung. Die Grenzen der Eigenentwicklung ergeben sich aus ihren Auswirkungen auf eine hinreichende Vorflut und dem Verlust von genutzten Flächen am Gewässer, wenn die Entwicklung über den Randstreifen hinausgeht.

Um ökologisch tatsächlich auch eine Wirkung auszulösen, sind bei der Einrichtung von Gewässerrandstreifen einige Eckwerte zu berücksichtigen, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Vorausgeschickt sei grundsätzlich, dass Uferrandstreifen nicht als Alternative zu einem nicht vollzogenen Flächenankauf anzusehen sind. Die Entscheidung, ob ein Randstreifen als Kompromiss zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit beitragen kann, steht in Abhängigkeit von dem Fließgewässertyp und den ökologischen Zielen, die erreicht werden sollen. Für einen schnell fließenden, kiesgeprägten Bach kann der Uferrandstreifen geeignet sein, für einen Niederungsbach, der durch ein entwässertes Niedermoor fließt, ist der Talraum die bessere Option.

## **2. Funktion und Wirkung von Uferrandstreifen**

Uferrandstreifen dienen hauptsächlich der Strukturverbesserung am Gewässerufer, der eigendynamischen Entwicklung und der Reduzierung von oberflächlichen und diffusen Einträgen. Sie verlaufen einseitig oder beidseitig parallel zum Fließgewässer. Die notwendige Breite ergibt sich aus der angestrebten Wirkung und wird begrenzt durch die Verfügbarkeit an Flächen. Mit der Anlage eines Uferrandstreifens sind, wenn nichts anderes vereinbart ist, keine Veränderungen des Wasserstandes verbunden.

Im Folgenden werden wichtige Funktionen der Uferrandstreifen in Verbindung mit der Ökologie eines Fließgewässers beschrieben und in einer Abbildung und Tabelle zusammenfassend dargestellt.

### Distanzfunktion

Es gilt hier im Wesentlichen einen Schutz gegen die unmittelbaren Wirkungen einer landwirtschaftlichen Nutzung in Gewässernähe und den hiermit verbundenen Eintrag von auf der Fläche ausgebrachten Dünge- und Pflanzenbehandlungsmitteln in die Gewässer bereitzustellen. Damit verbunden ist eine Mindestbreite von 5 m, damit sich Gehölze entwickeln können, die sowohl den Direkteintrag als auch den Viehtritt bei Weidenutzung reduzieren.

### Windschutz- und Beschattungsfunktion

Auch hierbei geht es um den Rückhalt von Stoffeinträgen, die mit dem Wind in die Gewässer eingetragen werden. Die Schutzfunktion wird durch Sträucher, besser jedoch durch mindestens 2,50 m hohe Gehölze erreicht. Um eine Gehölzentwicklung zu ermöglichen, beträgt die Mindestbreite ebenfalls 5 m.

Für beide Funktionen ist zudem ggf. zwischen stärker geneigten Hangflächen und der Art der Bewirtschaftung zu differenzieren. Es empfiehlt sich, bei stärkerer Hangneigung und intensiverer Nutzung den Streifen zu verbreitern, um einen mehrreihigen, standortgerechten Gehölzbewuchs mit Unterwuchs oder eine Kombination mit Gehölzen entlang des Gewässers und einen Krautstreifen davor zu ermöglichen. Hierfür werden Breiten zwischen insgesamt 7 und  $\geq 10$  m benötigt.

### Stoffrückhalt aus Oberflächenabfluss und Dränagen

Hier eignen sich eher von der lokalen Situation abhängige zusätzliche Retentionsflächen in Abhängigkeit von Gefälle und /oder Dränausläufen. Für den Rückhalt ist die Anlage einer größeren Niederungsfläche bzw. der Auslauf der Dräns in Sammelgräben wirksamer als ein Streifen mit Standardbreite. Eine wirksame Kombination wäre sinnvoller.

### Uferschutz

Pflanzen bewirken einen guten Uferschutz, stellen hiermit gleichzeitig Habitate für die Gewässerorganismen zur Verfügung und sind aus ökologischer Sicht zu fördern. Den besten Uferschutz bieten standortgerechte Gehölze. Die Breite des Uferrandstreifens ist in Abhängigkeit von der Gewässerbreite und der Gewässerdynamik zu wählen.

### Beschattung

Die Beschattung des Gewässers vermindert die Erwärmung und das übermäßige Wachstum der Gewässerflora. Sie entspricht dem fließgewässerökologischen Optimum und ist deshalb bei der Gestaltung eines mindestens 5 m breiten Streifens zu bevorzugen. Bei Anpflanzung sind standortangepasste Gehölze (Erlen, Eschen) in lückigen Gruppen auf der Höhe der Mittelwasserlinie vorzusehen.

## Gewässerentwicklung

Der Uferstrandstreifen stellt die optimale Form dar, schrittweise eine eigendynamische Entwicklung einzuleiten. Hier stehen diejenigen Gewässertypen, die ausreichend Gefälle zur eigendynamischen Entwicklung aufweisen im Fokus, in der Regel die sand- und kiesgeprägten Bäche.

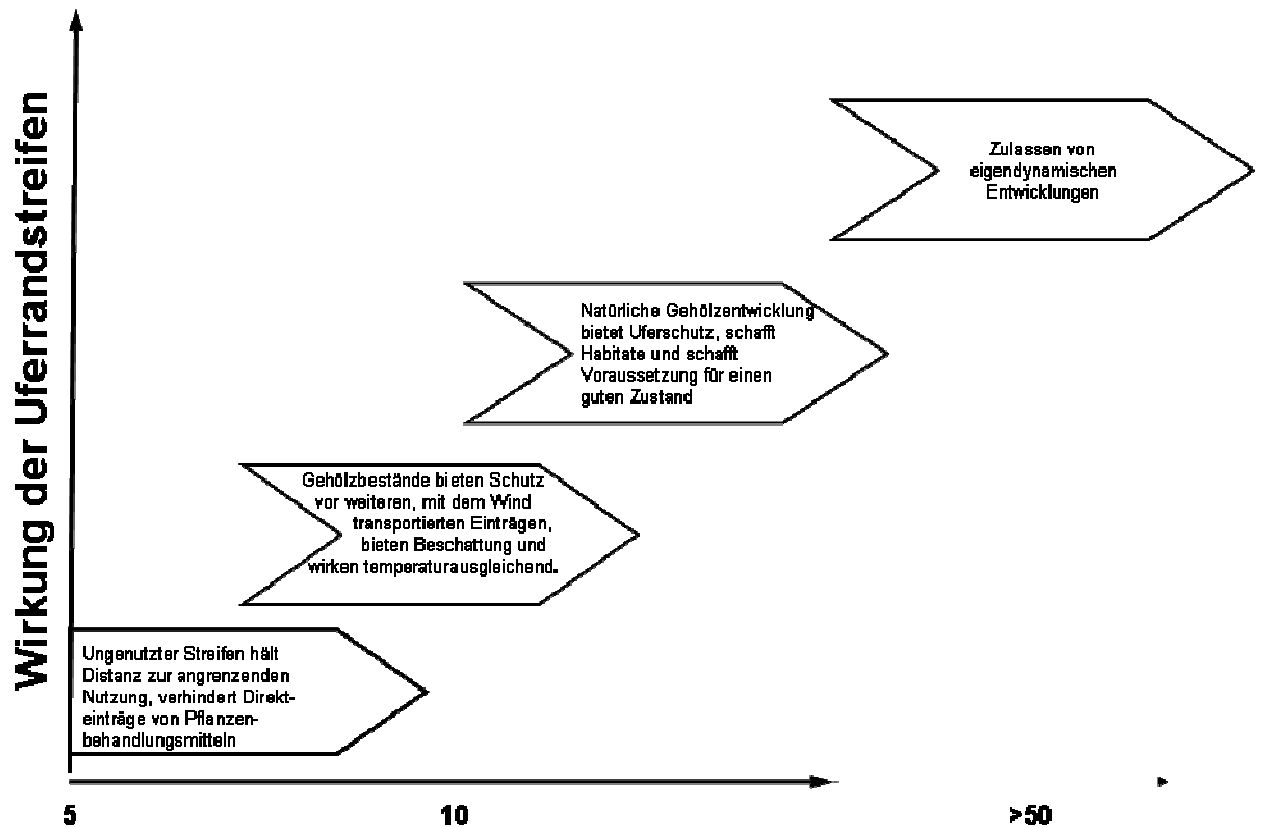


Abb. 1: Wirkung von Uferstrandstreifen.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Funktionen, Wirkung und Gestaltung der Uferrandstreifen

Funktion	Wirkung	Gestaltung	Mindestbreite (m)	Bemerkungen
Distanz zur angrenzenden Nutzung	Puffer gegen direkte Einträge bei Aufbringung von Dünger und Pflanzenschutzmittel	Strauch- & Gehölzstreifen möglichst mehrreihig	5	Mindestens unmittelbar am Gewässer Gehölze zulassen
Windschutz	Schutz vor Einträgen von partikulären Stoffen durch Winderosion	Gehölze mindestens 2,50 m hoch	5	Gehölze können auch weiter weg stehen, erfüllen aber weitere Funktionen, wenn sie direkt an der Wasserlinie stehen (s.u.)
Stoffrückhalt (Partikulär, Gelöst)	Retentionsflächen zum Auffangen und Abbau von Stoffen, die mit dem Oberflächenwasserabfluss eingetragen werden.  Wo es möglich ist, durch Öffnen der Dränrohre in Rückhalteflächen auch Minderung dieses Eintrages	Situationsbezogene (lokal begrenzte) bewachsene Feuchtfächen bzw. Puffer für Dränrohre, Mulden für Erosionsablagerungen oder/und Gehölze mit Unterwuchs	> 10	Retention für Sedimente war häufig besser in Grasfiltern als in Gehölzstreifen ohne Unterwuchs, für gelöste Stoffe einen 100-200 m breiten Streifen mit schonender Landwirtschaft ist oft sinnvoller
Beschattung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufwertung des Lebensraums</li> <li>Temperaturlausgleichende Wirkung</li> </ul>	lückige Gruppen von Gehölzen, mindestens Südseite	5	Naturnahe Gehölzentwicklung an der Mittelwasserlinie zulassen oder fördern
Uferschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Naturnahe Ufersicherung und Aufwertung des Lebensraums</li> <li>Funktion als Nahrungsgrundlage, Ei- und Laichgrundlage (Laub, Äste, Totholz)</li> </ul>	Röhrichte/Erlen, empfehlenswert bei starker Seitenerosion	> 10 abhängig von der Gewässerbreite und Gewässerdynamik.	Naturnahe Gehölzentwicklung an der Mittelwasserlinie zulassen oder fördern
Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit insbesondere für Fische und wirbellose Tiere	Naturnahe Aufwertung und Regeneration des Lebensraums zum guten Zustand nach WRRL. Laub als Nahrung, Totholz als Struktur und Wurzeln als Unterstand	Zulassen der eigendynamischen Entwicklung und der Sukzession der Vegetation	> 10 abhängig von der Gewässerbreite und Gewässerdynamik.	Naturnahe Gehölzentwicklung an der Mittelwasserlinie zulassen oder fördern. Entsprechend der Längsentwicklung des Gewässers ist zusätzlich ein Randstreifen auszuweisen.

### Allgemeine Hinweise zur Gestaltung

Die Mindestbreite für eine Förderung liegt i.d.R. bei 5 m, die sich aus der Entwicklung einer einreihigen Gehölzentwicklung herleitet. Geringere Breiten können nur in begründeten Fällen gefördert werden. Für die ökologische Entwicklung eines Gewässers und für eine naturnahe Entwicklung, sollte möglichst mehr Fläche zur Verfügung stehen.

### **3. Pflege und Nutzung des Uferrandstreifens**

Initialpflanzungen von Gehölzen sollen, wenn überhaupt erforderlich, in Form von Gehölzgruppen erfolgen, um eine höhere Strukturvielfalt zu erzeugen. Die Gewässerunterhaltung und das Aufdenstocksetzen der Gehölze sollte auf die Abschnitte beschränkt bleiben, die den geregelten Abfluss behindern. Der Uferrandstreifen sollte bei Beweidung der angrenzenden Flächen eine Einzäunung zur Nachbarfläche haben.

Der Uferrandstreifen sollte im Optimalfall weder gepflegt noch genutzt werden. Pflegemaßnahmen können in folgenden Fällen vorgenommen werden:

- a) Die Pflege dient dem Entwicklungsziel.
- b) Die Pflege dient dazu die Akzeptanz für die Anlage eines Uferrandstreifens zu fördern (z.B. Angst der Flächenanlieger, dass der Bewuchs des Uferrandstreifens ihre Flächen schädigt) und wenn sie mit dem Entwicklungsziel vereinbar ist.
- c) Die Gehölzpflege dient direkt oder indirekt der Sicherstellung des geregelten Abflusses.
- d) Die Gehölzpflege dient dazu, dass die Dränagen nicht geschädigt werden bzw. die Unterhaltung der vorhandenen Dränagen kann auf andere Weise nicht durchgeführt werden.
- e) Die Abfuhr vom Mähgut zur Aushagerung der Bodennährstoffe ist zulässig und gewünscht.

Allgemein gilt: Die Nutzung und Pflege eines Uferrandstreifens kann zugelassen werden, wenn sie mit dem Wirkungs- und Entwicklungsziel des Gewässers vereinbar ist und zur Akzeptanz für die Anlage eines Uferrandstreifens führt. Als Nutzungen kommen bei hinreichender Breite des Streifens z. B. das Befahren oder die Ablage von Gewässeraushub in Frage. Die Nutzung darf allerdings nicht dazu führen, dass die Pflanzen- und Gehölzentwicklung behindert oder der Boden übermäßig verdichtet wird.

#### 4. Erwerb oder vertragliche Regelung

##### Förderung

Entsprechend der Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern und zur Wiedervernässung von Niedermooren wird der Erwerb mit 90 %, gefördert. Wenn der Zuwendungsempfänger von einer umfangreichen Maßnahme nachweislich keinen Vorteil hat, kann der Zuschuss mit Zustimmung des MLUR bis zu 100% betragen. Der Förderumfang schließt die notwendigen Einzäunungsarbeiten (soweit für das Fernhalten von Vieh erforderlich) und Initialpflanzungen mit ein.

##### Möglichkeiten der Flächensicherung

###### a) Flächenerwerb

Der Erwerb der Fläche ist die vorrangige Flächensicherung. Die Flächen gehen mit allen Rechten und Pflichten an den Zuwendungsempfänger. Die kostengünstigste Variante stellt hierbei nach wie vor das Flurbereinigungsverfahren dar.

###### b) Entschädigung mit grundbuchlicher Eintragung

Die Fläche wird vom Eigentümer für die Einrichtung eines Uferrandstreifens dauerhaft zur Verfügung gestellt. Die Sicherung erfolgt über eine grundbuchliche Eintragung. Zur Entschädigungsermittlung wird der Nutzungsverzicht über 20 Jahre kapitalisiert. Die Entschädigungssumme wird im Einzelfall ermittelt. Auf eine dezidierte Vermessung und Kennzeichnung der Grenze kann mit beiderseitigem Einverständnis verzichtet werden. Es genügt dann die Angabe der Breite vom Gewässerrand bzw. der Gewässermittle im Grundbuch.

###### c) Einzelfälle

In begründeten Einzelfällen sind Verträge mit begrenzter Laufzeit zulässig. Zur Entschädigungsermittlung wird der Nutzungsverzicht über die Laufzeit kapitalisiert. Es ist darauf zu achten, dass der Eigentümer mögliche Veränderungen des Gewässerlaufes und die rechtlichen Folgen für den Uferrandstreifen akzeptiert. Hiermit soll erreicht werden, dass Verlagerungen des Gewässerlaufes in den Randstreifen und sich entwickelte Gehölzstreifen auch nach Ablauf der Vertragslaufzeit nicht ohne entsprechende Genehmigung verändert werden dürfen.

Alternativ zu einem dauerhaften Uferrandstreifen wird als Agrarumweltmaßnahme die Anlage eines Schonstreifens auf Ackerflächen am Gewässer angeboten, der für eine Laufzeit von 5 Jahren einzurichten ist. Auflagen sind dort die einmalige Ansaat einer Gräsermischung, 70% davon winterhart, die nicht genutzt werden darf, eine Breite von mindestens 6 m bis maximal 27 m, keine Rotationsmöglichkeit. Die Förderhöhe steigt voraus-

sichtlich von bisher 372 €/ha auf mehr als 500 €/a. Diese Förderung kann ggf. auch als Einstieg in einen dauerhaften Randstreifen genutzt werden.

### **Anlage**

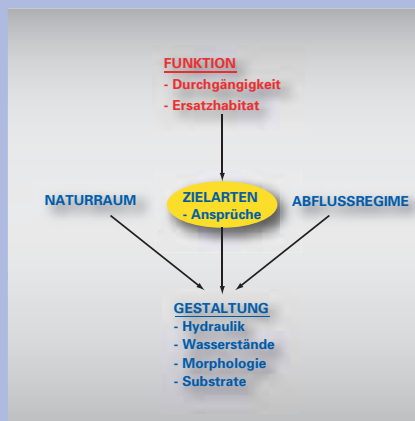
Musterverträge, Grunddienstbarkeit (MLUR, TP IZ)

### **Literatur**

DVWK 1997: Uferstreifen an Fließgewässern: Funktion, Gestaltung und Pflege. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 244: 1-40.

**Anlage 4:**  
**Hinweise zur Gestaltung von Sohlgleiten**





Empfehlungen zum Bau von  
Sohlgleiten in Schleswig-Holstein

Herausgeber:

Landesamt für Natur und Umwelt  
des Landes Schleswig-Holstein  
Hamburger Chaussee 25  
24220 Flintbek  
Tel.: 0 43 47 / 704-0  
www.lanu-sh.de

Ansprechpartner:

Dr. Matthias Brunke, Tel.: 0 43 47 / 704-473  
Dr. Thomas Hirschhäuser, Tel.: 0 43 47 / 704-486

Titelfotos (Fotoautor):

Oben: Das Flussneunauge - eine der relevanten Zielarten, die in durchgängigen Fließgewässern ihre Laichgebiete erreichen kann (Frank Hecker)  
Unten links: ein Absturz, der von wandernden Arten, wie Flussneunauge und Schnäpel, nicht überwunden werden kann; Unten rechts: Beispiel einer gut gelungenen Sohlgleite in geschütteter Bauweise

Fotos: wenn nicht anders angegeben,  
Fotoautor Dr. M. Brunke

Layout und Druck:

Brandt Offset, Gleschendorf

Juli 2005

ISBN: 3-937937-00-5

Schriftenreihe: LANU SH – Gewässer; D 21

Zitiervorschlag:

Brunke, M., Hirschhäuser, T. (2005):  
Empfehlungen zum Bau von Sohlgleiten in Schleswig-Holstein. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

Diese Broschüre wurde auf  
Recyclingpapier hergestellt.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zu Gunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Die Landesregierung im Internet:

[www.landesregierung.schleswig-holstein.de](http://www.landesregierung.schleswig-holstein.de)

# Inhalt

Vorwort .....	5
Symbolverzeichnis .....	7
<b>A</b> <b>Biologische Anforderungen an Sohlgleiten</b> .....	<b>8</b>
A.1    Die Motivation: Herstellung der longitudinalen Durchgängigkeit für wirbellose Wassertiere und Fische .....	8
A.2    Zielarten für die Bemessung .....	14
A.3    Kritische Faktoren bei Sohlgleiten aus biologischer Sicht .....	14
A.4    Empfehlungen zu hydrologischen und morphologischen Grenzwerten aus faunistischer Sicht.....	17
A.5    Empfehlungen für die Bauweise .....	18
A.6    Schematische Darstellung einer Sohlgleite .....	22
<b>B</b> <b>Hydrologische Bemessungsparameter für Schleswig-Holstein</b> .....	<b>25</b>
B.1    Abflusspenden.....	25
B.1.1    Mittlere Niedrigwasserspende (MNq) .....	27
B.1.2    Mittelwasserspende (Mq) .....	28
B.1.3    Abflusspende $330q$ .....	28
B.2    Mittlere Fließgeschwindigkeiten $v_m$ .....	28
B.3    Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Fließquerschnitts .....	29
B.4    Natürliche Gewässerbreite nach Regimetheorie.....	31
<b>C</b> <b>Hydraulische Bemessung von Sohlgleiten</b> .....	<b>32</b>
C.1    Geschüttete Bauweise .....	32
C.1.1    Bemessung von Störsteinen .....	32
C.1.2    Umsetzung der Bemessung von Störsteinen für die Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse .....	34
C.1.3    Nachweis der Stabilität des Sohlsubstrats .....	36
C.1.4    Umsetzung der gestalterischen Vorgaben.....	37
C.2    Riegelbauweise .....	39
C.2.1    Bemessung der Lückenbreiten .....	39
C.2.2    Umsetzung der Bemessung der Lückenbreiten für die Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse .....	40
C.2.3    Nachweis der Stabilität des Sohlsubstrats .....	42
<b>D</b> <b>Erfolgskontrollen</b> .....	<b>43</b>
D.1    Biologische Erfolgskontrollen .....	43
D.2    Hydraulische Erfolgskontrollen .....	43

E	Zusammenfassung .....	44
E.1	Anforderungen an die Funktion und Bauweise von Sohlgleiten.....	44
E.2	Sohlgleiten in geschütteter Bauweise.....	44
E.3	Sohlgleiten in Riegelbauweise.....	45
	Zitierte Literatur .....	46

# Vorwort

## Durchgängigkeit in Fließgewässern und die EG-Wasserrahmenrichtlinie

Die Herstellung der Durchgängigkeit wird von der EG-Wasserrahmenrichtlinie gefordert und ist ein wesentlicher Schritt, die Gewässer in einen guten Zustand zu überführen. Die hohe Anzahl an Absturzbauwerken, insbesondere im Östlichen Hügelland und der Geest (Abbildung 1), hat einen flächendeckenden Effekt auf die Durchgängigkeit der Gewässer in Schleswig-Holstein (HIRSCHHAUSER 2003).

Absturzbauwerke fragmentieren Fließgewässer in ihrem Lauf von der Quelle zur Mündung, da schon kleinere Abstürze als Wanderhindernisse wirken können (OVIDO & PHILIPPARD 2002, JUNGWIRTH et al. 2003). Ganz allgemein bedroht die Fragmentierung von Fließgewässern die aquatische Biodiversität (ZWICK 1992, WARD 1998). Der Ersatz von Absturzbauwerken durch Sohlgleiten stellt einen Lösungsweg dar, die Durchgängigkeit

von Fließgewässern wiederherzustellen (HÜTTE 2000, BRUNKE 2003).

Die Funktion von Sohlgleiten liegt so grundsätzlich in der Herstellung der Durchwanderbarkeit des Gewässers in beide Fließrichtungen für alle Wassertiere. Die morphologischen und hydraulischen Gegebenheiten in den Sohlgleiten müssen daher den Anforderungen der Fauna gerecht werden.

## Inhalte der Empfehlungen

Die Empfehlung konzentriert sich auf die naturwissenschaftlichen Anforderungen und technische Gestaltung von Sohlgleiten. Ausgehend von den hydromorphologischen Ansprüchen der aquatischen Fauna und den hydrologischen und landschaftlichen Gegebenheiten in Schleswig-Holstein werden die Parameter formuliert, die beim Bau von Sohlgleiten beachtet werden müssen.

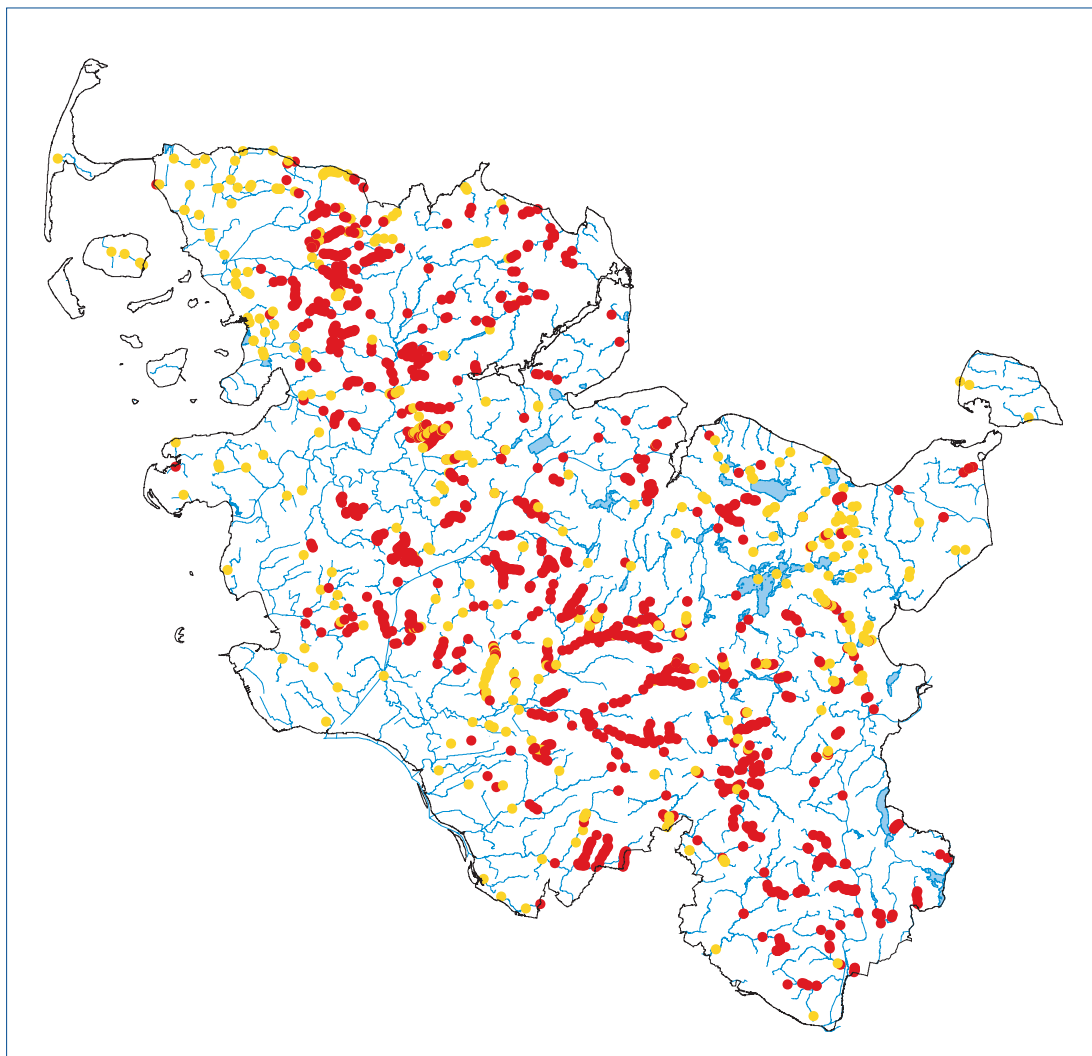


Abbildung 1:  
Lage von Sohlenbauwerken (rot) und Stauanlagen (gelb) in Schleswig-Holstein

Abhängig von Einzugsgebietsgröße und Naturraum werden planungstechnische Empfehlungen für das Gefälle, die einzuhaltende mittlere Fließgeschwindigkeit, Mindestwassertiefen, Höhen von Bodenschwellen und der darüber stehenden Wassersäule, der Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser, Abmessungen von Störsteinen sowie der zulässigen Störsteinfläche in einem Querschnitt gegeben.

### **Die Ziele der Empfehlungen**

Die vorliegenden Empfehlungen des Landesamtes für Natur und Umwelt sollen die Umsetzung von Maßnahmen in der Praxis unterstützen. Die Entwicklung der Empfehlungen wurde von einem Arbeitskreis 'Sohlgleiten' mit Vertretern aus Behörden und Planungsbüros begleitet. Der Entwurf der Empfehlungen wurde zudem in mehreren Tagungen und Workshops einer breiten Fachöffentlichkeit vorgestellt. Im Rahmen dieses Prozesses konnten wertvolle Anregungen und Stellungnahmen in die Empfehlungen eingearbeitet werden.

Bei der Herstellung der Durchgängigkeit muss es das Ziel sein, dass Großteile der Populationen von Fischen sowie der nicht-fliegenden wirbellosen Tieren die Sohlgleiten auch überwinden können. Die vorliegenden Empfehlungen sind nach dieser Vorgabe ausgelegt und sollen dieses Ziel für die Gewässer von Schleswig-Holstein sicherstellen. In diesem Sinne sind die hier aufgeführten Bemessungsparameter zu beachten. Bei der konkreten Planung von Sohlgleiten sind die speziellen Verhältnisse und Randbedingungen zu berücksichtigen. Dabei kann von den hier vorliegenden generellen Empfehlungen aus fachlichen, rechtlichen und wirtschaftlichen Gründen abgewichen werden.

### **Die Empfehlungen in der Praxis**

Im Vorfeld zur Planung von Sohlgleiten sind verschiedene fachliche Fragen zu klären, um zu prüfen, ob ein solche Maßnahme sinnvoll ist. Im Einzelfall ist zunächst zu prüfen, ob ein vorhandenes Querbauwerk mit vertretbarem Aufwand ersatzlos entfernt werden kann oder das Gewässer mit einer Laufverlängerung restauriert werden kann und eigendynamische Prozesse zugelassen werden können.

Es ist auch zu klären, welche Qualität die Gewässerstruktur insbesondere in den bachaufwärts gelegenen Abschnitten und zufließenden Gewässern hat. Diese Gewässerberei-

che sollten als Lebensraum zukünftig geeignet sein und auch Laichplätze für Fische anbieten. Es ist auch zu prüfen, ob alternative Lösungen möglich sind, bei denen ein Wanderhindernis entfernt, aber nicht durch ein neues Bauwerk ersetzt wird. Dies kann beispielsweise in kleinen Oberläufen sehr kostengünstig verwirklicht werden (LAUNHARDT & MUTZ 2003).

Im Detail muss bei Abweichungen von den Empfehlungen geprüft werden, inwieweit veränderte Parameter und Werte die ökologische Effizienz einer geplanten Sohlgleite beeinträchtigen, um über den Sinn einer möglichen Anlage zu entscheiden. Bei deutlichen Abweichungen sollte die jährliche mittlere Abflussganglinie des Fließgewässers herangezogen werden, um zu beurteilen, an wie vielen Tagen im Jahr für welche Zielarten eine Durchwanderbarkeit voraussichtlich nicht gegeben ist. Grundlage hierfür sind die ingenieurtechnischen Berechnungen der in der vorliegenden Empfehlung genannten relevanten Parameter. Die Planungen von Einzelvorhaben und insbesondere die Tolerierung von Abweichungen von den Empfehlungen sollten im Vorwege zwischen den zuständigen Behörden und dem Planer abgestimmt werden.

Die Empfehlungen werden weiterentwickelt, sobald aus realisierten Projekten genügend Erfahrungen mit der Planung, der fachrechtlichen, verwaltungstechnischen und bautechnischen Umsetzung sowie der Evaluierung der ökologischen Effizienz vorliegen.

### **Danksagung**

Die Entwicklung der vorliegenden Empfehlungen wurde von einem Arbeitskreis bestehend aus Dr. Hans Otto Boysen (AIR Kiel, Abt. Fischerei), Ulrike Conrad (StUA Schleswig), Werner Meier (StUA Kiel), Wolfgang Nolte (d+p danekamp und partner), Dr. Kurt Soeffing (Stadt Bad Oldesloe), Friedhelm Voss (LANU) und Doris Wolf (StUA Itzehoe) unterstützt. Wir danken herzlich den Mitgliedern des Arbeitskreises für ihre engagierte und konstruktive Mitarbeit. Weiterhin wirkten in unterschiedlicher Weise folgende Kollegen und Interessierte an der inhaltlichen Fertigstellung der Empfehlungen mit, ihnen sei herzlich gedankt (in alphabetischer Reihenfolge): Uwe Ahrens (LANU), Dr. Roland Lemcke (AIR Kiel, Abt. Fischerei), Dr. Johannes Oelerich (LANU), Stefan Greuner-Pönicke (BBS), Stefan Reese (Ingenieurbüro Klütz & Kollegen Itzehoe GmbH), Siegfried Spratte (LSFV), Sven Wollesen (Ingenieurbüro Wollesen), Dr. Karin Wolter (LANU).

# Symbolverzeichnis

A	Profilquerschnitt [m <sup>2</sup> ]
A <sub>E0</sub>	Oberirdisches Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]
A <sub>s</sub>	angeströmte Fläche der Störsteine [m <sup>2</sup> ]
a <sub>x</sub>	mittlerer Abstand der Störsteine in Fließrichtung [m]
a <sub>y</sub>	mittlerer Abstand der Störsteine quer zur Fließrichtung [m]
b	Gewässerbreite [m]
b <sub>Q</sub>	Gewässerbreite bei Abfluss Q [m]
b <sub>reg</sub>	Gewässerbreite nach Regimetheorie [m]
b <sub>s</sub>	Durchflussbreiten in Lücken [m]
c <sub>w</sub>	Formwiderstandsbeiwert [-]
d <sub>i</sub>	Korndurchmesser bei i% Siebdurchgang
d <sub>krit</sub>	minimaler Korndurchmesser [m]
d <sub>m</sub>	mittlerer Korndurchmesser des Sohlsedimentes [m]
d <sub>s</sub>	mittlerer Durchmesser der Störsteine [m]
EZG	Einzugsgebiet
g	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
h	Wassertiefe [m]
h <sub>Absturz</sub>	Absturzhöhe [m]
h <sub>Kolk</sub>	Kolktiefe [m]
h <sub>Q</sub>	Wassertiefe beim Abfluss Q
HQ	Hochwasserabfluss [m <sup>3</sup> /s]
h <sub>ü</sub>	Überfallhöhe [m]
HQ <sub>1</sub>	einjähriger Hochwasserabfluss [m <sup>3</sup> /s]
I	Gefälle [-]
k <sub>s</sub>	äquivalente Sandrauheit [m]
l <sub>u</sub>	benetzter Umfang [m]
MHQ	mittlerer Hochwasserabfluss [m <sup>3</sup> /s]
MNQ	mittlerer Niedrigwasserabfluss [m <sup>3</sup> /s]
MQ	Mittelwasserabfluss [m <sup>3</sup> /s]
<u>330</u> Q	Abfluss, der an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird [m <sup>3</sup> /s]
q <sub>vorh</sub>	vorhandener spezifischer Abfluss [m <sup>3</sup> /(m*s)]
q <sub>zul</sub>	zulässiger spezifischer Abfluss [m <sup>3</sup> /(m*s)]
r <sub>hy</sub>	hydraulischer Radius [m]
v <sub>m</sub>	mittlere Geschwindigkeit [m/s]
v <sub>max</sub>	maximale Geschwindigkeit [m/s]
Δh	Wasserspiegeldifferenz [m]
λ <sub>ges</sub>	Gesamtwiderstandsbeiwert [-]
λ <sub>0</sub>	Widerstandsbeiwert der Sohle [-]
λ <sub>s</sub>	Widerstandsbeiwert der Störsteine [-]
μ	Überfallbeiwert [-]
ρ <sub>s</sub>	Dichte der Steine [kg/m <sup>3</sup> ]
ρ <sub>w</sub>	Dichte des Wassers [kg/m <sup>3</sup> ]
σ	Abminderungsbeiwert [-]

# A Biologische Anforderungen an Sohlgleiten

## A.1 Die Motivation: Herstellung der longitudinalen Durchgängigkeit für wirbellose Wassertiere und Fische

Wanderungen von Fischen finden über lange Distanzen (makroskalig) zwischen dem Einzugsgebiet des Binnengewässers und dem Meer sowie über mittlere Distanzen (mesoskalig) zwischen Abschnitten innerhalb eines Gewässersystems statt (Abbildung A1).

Anadrome Langdistanzwanderfische (Flussneunauge, Meerneunauge, Stör, Meerforelle, Lachs, Schnäpel (Foto 1)) wandern zur Laichablage aus dem Meer in die Fließgewässer ein und danach wieder in die Küstenmeere. Katadrome Wanderfische (Flunder, Aal (Foto 2)) wandern ins Meer zur Laichablage. Die Wanderzeiten unterscheiden sich zwischen den Arten und Lebensstadien (Tabelle A1). Potamodrome Fische wechseln ihre Standorte innerhalb des Gewässersystems, u. a. um verschiedene Habitate aufzusuchen (wie Laichhabitate, Winterhabitate, Nahrungshabitate) oder um Besiedlungsdichten auszugleichen (SCHLOSSER & ANGERMEIER 1995). Nahezu alle einheimischen Fischarten, die Fließgewässer bewohnen, zählen zur potamodromen Gruppe und führen artspezifisch mehr oder weniger ausgedehnte Wanderungen durch (WAGNER & LEMCKE 2003).

Die wirbellosen Wassertiere (Makrozoobenthos) zeigen zumeist eine substratspezifische Besiedlung (BRUNKE et al. 2002), d.h. es werden je nach Art ganz bestimmte Sohl- und Sedimentstrukturen bevorzugt. Dennoch befinden sie sich in einer ständigen Umverteilung durch die Drift (Transport von Tieren mit der fließenden Welle) und durch Wanderungen bzw. Schwimmbewegungen entlang der Sohle. Die Ursachen für die Ortsveränderungen liegen in Fluchtreaktionen, in der Nahrungssuche, dem Aufsuchen neuer Habitate, der Regulation der Besiedlungsdichte, der Verpuppung und dem Schlüpfen. Die Ortsveränderungen des Makrozoobenthos sind wichtig für die Ausbreitung und Stabilität der Populationen (HILDREW & TOWNSEND 1994).

Insgesamt betrachtet sind Wandermöglichkeiten für das Vorkommen von allen aquatischen Tierarten wichtig (Box 1), so dass die Durchgängigkeit auch für alle zu gewährleisten ist (BRUNKE 2003). Für ihre Wanderungen nutzen die Tiere je nach Art das Freiwasser, die Sohle und auch das Lückensystem unter der Sohle (BRUNKE & GONSER 1997, REUSCH et al. 1995).

Die Funktion von Sohlgleiten besteht so grundsätzlich darin, die longitudinale Durch-

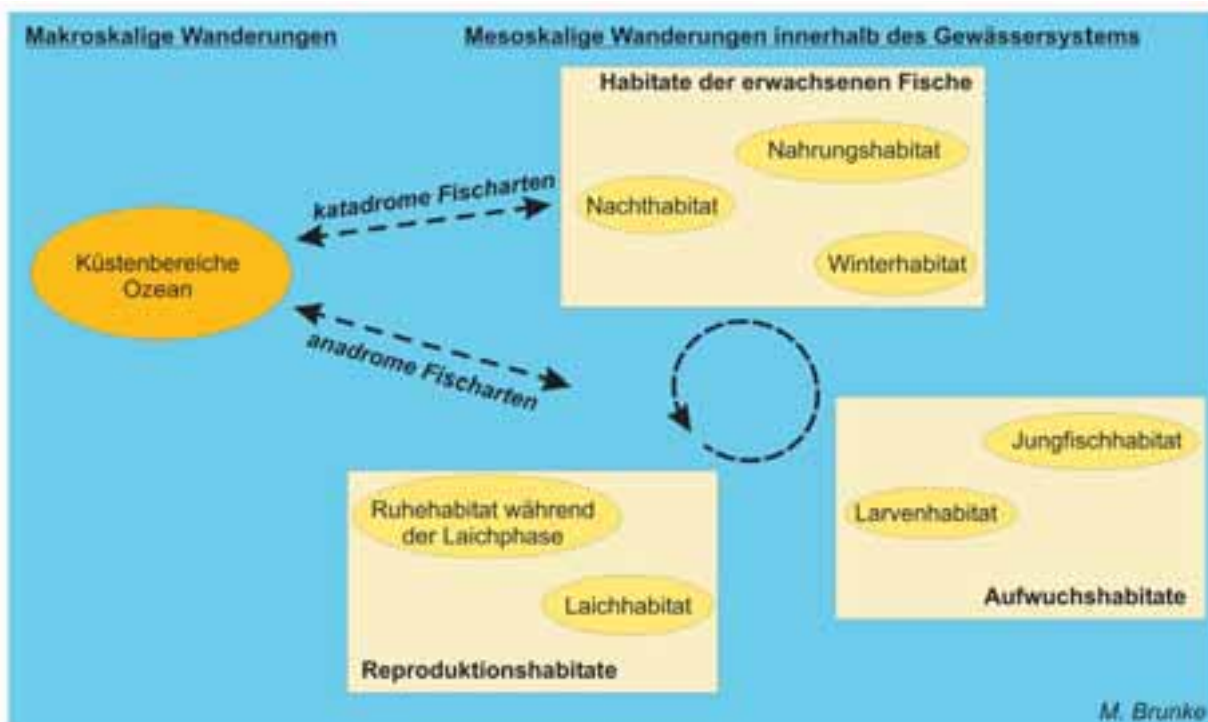


Abbildung A1: Schematische Darstellung der Wanderungen von Fischen während ihres Lebenszyklus zwischen ihren verschiedenen Habitaten.





Foto 1: Der anadrome Schnäpel laicht von November bis Dezember über schnell überströmten kiesigen Sohlstrukturen in den Mittelläufen von Fließgewässern. Die Fischlarven schlüpfen im Februar und halten sich bis zum Mai in ruhigen Überschwemmungsgebieten des Fließgewässers auf. Sie erreichen dabei eine Größe von etwa 4 cm und wandern dann ins Meer ab. Als erwachsene Tiere wandern sie im Herbst in das Fließgewässer zur Laichablage auf. (Foto: F. Hecker)



Foto 2: In seinem komplexen Lebenszyklus durchwandert der katadrome Aal die verschiedensten Gewässer. Als "Blankaal" verlässt er als geschlechtsreifes Tier die Fließgewässer und Seen und schwimmt zur Fortpflanzung in den Atlantik (Sargasso See). Die Larven werden mit den Meeresströmungen an die Küstenbereiche verfrachtet, wandeln sich dort in die so genannten "Glasale" um, wandern danach die Fließgewässer hoch („Steigaal“) und leben für 4 bis 10 Jahre im Süßwasser ("Gelbaal"). (Foto: F. Hecker)

Tabelle A1. Wander- und Laichzeiten von anadromen und katadromen Wanderfischarten nach SPRATTE & HARTMANN (1998), MAITLAND (2000), HARTMANN (2002) und BÖTTGER (2003). Anadrom: zur Laichablage vom Meer in den Oberlauf der Fließgewässer wandernd. Katadrom: zur Laichablage vom Oberlauf der Fließgewässer ins Meer wandernd.

Art	Wanderverhalten	Wanderzeiten	Laichzeiten
Flussneunauge	anadrom	September bis November (Aufstieg) Juli bis September (Abstieg)	März bis Mai
Meerneunauge	anadrom	März bis Juni	Mai bis Juli
Gemeiner Stör	anadrom	April bis Juni	Juni bis August
Finte	anadrom	April	Juni bis Juli
Maifisch	anadrom	zeitiges Frühjahr	Mai bis Juni
Meerforelle	anadrom	Aufstieg: August bis November Smoltabstieg: April-Mai	November bis März
Lachs	anadrom	Aufstieg: August bis November Smoltabstieg: April-Mai	November bis Januar
Schnäpel	anadrom	Herbst	November bis Dezember
Stint	anadrom	Februar/März	März/April
Aal	katadrom	Blankaalabwanderung: August bis November; Glasaalaufstieg: Frühjahr	Frühjahr bis Frühsommer
Flunder	katadrom	Winter (Laichwanderung/Abwanderung) und Sommer (Aufstieg)	Januar bis April

gängigkeit für alle Wassertiere herzustellen. Sohlgleiten ersetzen künstliche Wanderhindernisse, wie Abstürze und Wehre (Foto 3a, b, c), an Orten, an denen andere, raumgreifende Maßnahmen nicht umsetzbar sind. Unter bestimmten Umständen kann es auch sinnvoll sein, Sohlgleiten als Ersatzhabitats zu konstruieren, so zum Beispiel als Laichgebiete für kieslaichende Fische zwischen aneinander folgenden, gestauten Flussabschnitten.

Bei einer Priorisierung von Vorhaben verdienen die geschützten Fischarten der Roten Liste des Landes Schleswig-Holstein eine besondere Beachtung (NEUMANN 2002). So führt die

‘Referenzliste der Gefährdungsursachen’ von Tieren und Pflanzen der Empfehlungen der Bund-Länder-Arbeitskreise des Bundesamtes für Naturschutz (BfN Bonn) Staustufen und Querbauwerke für Meldungen nach der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) der EG an. In dem Kontext weist deswegen auch die ‘Referenzliste der Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen’ des Bundesamtes auf die Entfernung von Barrieren und Querbauwerken bei Maßnahmen an Gewässern hin. Aus naturschutzrechtlicher Sicht jedoch ergeben sich planerisch eine Reihe von Aspekten, die bei der Anlage von Sohlgleiten berücksichtigt werden müssen (Box 2).



Foto 3a: Querbauwerke unterbrechen die longitudinale Durchgängigkeit der Gewässer für viele Fischarten und wirbellose Tierarten aufgrund starker Turbulenzen und Wasserspiegeldifferenzen sowie einer Unterbrechung der Sedimentschicht.



Foto 3b: Dasselbe massive Querbauwerk wie bei Foto 3a stellt ein Wanderhindernis für das Flussneunauge sowie für alle Fischarten, außer den Lachsartigen (Salmoniden) dar.

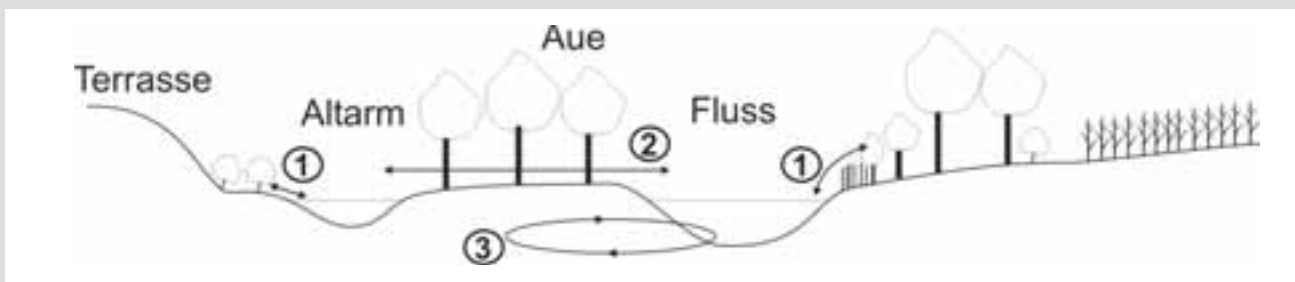


Foto 3c: Verschiedene Arten von Querbauwerken sind auch in kleineren Fließgewässern angelegt und unterbrechen die longitudinale Durchgängigkeit.

Die Durchgängigkeit von Fließgewässern ist auf drei räumlichen Ebenen zu betrachten: **longitudinal** innerhalb eines Gewässers und seinen Zuflüssen, **lateral** zwischen dem Gewässer und dem Ufer sowie den Auen (Abbildung 1) und **vertikal** zwischen dem Oberflächenwasser und dem anliegenden Grundwasser (Abbildung 2).

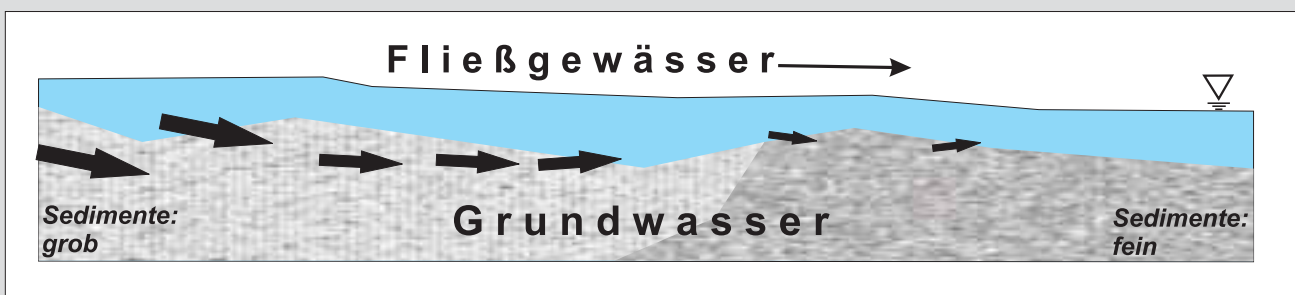
Ein prominenter Aspekt der **longitudinalen Durchgängigkeit** sind die Wanderungen von Fischen. Diese Wanderungen werden ausgeführt, um Standorte mit guten Laich- und Nahrungsbedingungen zu erreichen, aber auch um ruhige Orte für den Winteraufenthalt aufzusuchen. Für die Bestände fast aller heimischen Fischarten sind diese Wanderungen von sehr großer Wichtigkeit. Wanderungsbarrieren, wie zum Beispiel Wehre, können das Erreichen der Laichstandorte verhindern und damit auch die Vermehrung der betroffenen Fische unterdrücken. Fließgewässer werden auch als Korridore in der Landschaft von Vögeln und Säugetieren, zum Beispiel dem Fischotter, genutzt. Die longitudinale Durchgängigkeit umfasst aber noch weitere Aspekte der Fließgewässer. Hierzu gehört natürlich auch der Wasser- und Sedimenttransport, der auf verschiedenste Art durch Bauwerke sowie die Wasser- und Landnutzung verändert werden kann.

Die **laterale Durchgängigkeit** ist ebenfalls durch verschiedene Aspekte gekennzeichnet (WARD et al. 1998). Viele Insekten verbringen den ersten Teil ihres Lebenszyklus im Wasser. Nach dem Schlüpfen schwärmen sie als erwachsene Tiere zur Partnerfindung in die Umgebung des Gewässers aus und orientieren sich dabei je nach Art an verschiedenen Formen der Ufer- und Auenv egetation. Hydrologisch wird diese Durchgängigkeit durch Überschwemmungen charakterisiert, wenn der Fluss sich in seinem Hochwasserbett befindet. Auch diese Zeiten werden von Fischen genutzt, so laichen Hechte insbesondere auf den überschwemmten Uferbereichen ab. Ein weiteres Beispiel liefert die Quappe (Foto 4), deren Larven auf der überschwemmten Aue und in den Auengewässern leben (BUNZEL-DRÜKE et al. 2004).



Box 1 - Abbildung 1: Laterale Durchgängigkeit: schematischer Querschnitt durch ein Fließgewässer mit seinem Ufer und Aue sowie einem verbundenen Altarm. Die Pfeile symbolisieren die Wanderungen von Tieren und den hydrologischen Austausch: 1. Wanderungen zwischen dem Gewässer und seinem Ufer; 2. Wanderungen zwischen dem Gewässer und seinen Auen und Auengewässern; 3. Austausch mit dem seitlichen Grundwasser.

Die **vertikale Durchgängigkeit** findet für das menschliche Auge verborgen statt, trotzdem ist sie für den ökologischen Zustand eines Fließgewässers sehr wichtig. Das Vorkommen sehr vieler Kleintiere in einem Gewässer hängt davon ab, ob sie tief in die Sedimente der Sohle einwandern können. Dies gilt ebenso für die Entwicklung des Laichs und der Larven von Forellen, die diese Phase ihres Lebens tief in den Bachsedimenten verbringen. Die vertikale Durchgängigkeit wird durch eine exzessive Anhäufung von Feinsedimenten verhindert, durch die das Bachbett verstopft wird (BRUNKE 2001). Dies unterbindet die Nachlieferung von Sauerstoff, auf den die Tiere angewiesen sind.



Box 1 - Abbildung 2: Vertikale Durchgängigkeit: schematischer Querschnitt durch ein Fließgewässer mit den Bachsedimenten. Die Pfeile symbolisieren den Austausch zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in den Bachsedimenten.

Naturnahe Fließgewässer sind in einem hohen Maße mit ihrer Umgebung verbunden, so dass der gute ökologische Zustand erheblich von der Unversehrtheit der Durchgängigkeit in allen drei räumlichen Dimensionen bestimmt wird (AMOROS et al. 1987). Neben diesen drei räumlichen Dimensionen ist auch noch die zeitliche Dimension zu betrachten (WARD 1989). Insbesondere durch tägliche, saisonale und jährliche Schwankungen des Abflusses unterliegen Fließgewässerökosysteme einer hohen zeitlichen Variabilität in der Hydro- und Morphodynamik. Die aquatische Fauna und Flora ist an die gewässertypischen dynamischen Lebensraumbedingungen angepasst und benötigt sogar solche Regime. Die Eigendynamik der Fließgewässer (**Prozesse**) schafft diverse Habitatstrukturen (**Formen**), die sich in dem wechselnden Mosaik an Sohlsubstraten und variablen Breiten- und Tiefenverhältnissen und in einer bewegten Laufentwicklung widerspiegeln.



Foto 4: Die potamodrome Quappe benötigt vernetzte Lebensräume (Ober-, Mittel- und Unterlauf, Auengewässer, Seen), um ihren Lebenszyklus zu vollziehen. (Foto: F. Hecker)

Box 2: Hinweise zu naturschutzrechtlichen Aspekten bei der Anlage von Sohlgleiten

#### **Natura 2000 (Flora-Fauna-Habitat (FFH) -Richtlinie, EU-Vogelschutzrichtlinie)**

Soweit eine Sohlgleite innerhalb eines oder in unmittelbarer Nähe zu einem Natura 2000 Gebiet nach FFH-Richtlinie oder Vogelschutzrichtlinie geplant wird und dabei eine erhebliche Beeinträchtigung maßgeblicher Gebietsbestandteile (Lebensraumtypen und Arten gem. Anhänge I und II der FFH-Richtlinie und Anhang I der Vogelschutzrichtlinie) nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden kann, ist zunächst in Form einer Abschätzung (Vorprüfung) zu klären, ob mit der Maßnahme erhebliche Beeinträchtigungen des Gebietes in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen möglich sind. Sofern im Rahmen dieses Prüfschrittes erhebliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können, hat eine FFH Verträglichkeitsprüfung zu erfolgen. Die FFH-Richtlinie listet im Anhang II u. a. Fischarten von „gemeinschaftlichem Interesse“ auf, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen. Die für Schleswig-Holstein modifizierte Liste führt hier Bachneunauge, Flussneunauge, Meerneunauge, Stör, Maifisch, Finte, Lachs, Nordseeschnäpel, Rapfen, Bitterling, Schlammpeitzger, Steinbeißer und Groppe auf. Diese Arten sind vorrangig zu fördern und zu schützen.

Hier können Sohlgleiten hilfreich sein, wobei dann ggf. eine FFH Verträglichkeitsprüfung entbehrlich sein kann. Dies muss im Einzelfall mit der für das Gebietsmanagement zuständigen Naturschutzbehörde abgestimmt werden.

### Naturschutzgebiet

Viele Naturschutzgebiete sind gleichzeitig für das Netz „Natura 2000“ gemeldet. Unabhängig davon ist beim Bau einer Sohlgleite innerhalb eines Naturschutzgebietes die Verordnung des jeweiligen Naturschutzgebietes zu beachten.

### Eingriffsregelung

Wenn durch den Bau einer Sohlgleite die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigt werden, stellt dies einen Eingriff in Natur und Landschaft gemäß §§ 7 – 9 Landesnaturschutzgesetz (LNatSchG) dar. Die Maßnahme bedarf in dem Fall einer Genehmigung durch die zuständige Naturschutzbehörde. In diesem Zusammenhang wird insbesondere auf die geschützten Biotope gemäß § 15 a LNatSchG hingewiesen. Falls im §15a LNatSchG aufgeführte Biotope durch den Bau einer Sohlgleite beeinträchtigt werden, ist eine Ausnahmegenehmigung der unteren Naturschutzbehörde erforderlich. Auf „streng geschützte Arten“ gem. § 10 Abs. 2 Nr. 11 Bundesnaturschutzgesetz, deren Beeinträchtigung einen Tatbestand für die Eingriffsregelung erfüllt, ist zu achten. Die fortgeltenden Artenschutzbestimmungen nach § 42 ff BNatSchG für die Brut-, Nist-, Wohn- und Zufluchtstätten geschützter Arten sind ebenfalls zu beachten.



Foto 5: Die Elritze ist eine strömungsliebende Kleinfischart, die in morphologisch intakten, sommerkalten Bächen und kleinen Flüssen lebt.  
(Foto: F. Hecker)

### A.2 Zielarten für die Bemessung

Für die Erstellung von Bemessungsparametern werden die Ansprüche von Langdistanzwanderfischarten (s. o.), Kleinfischarten (wie Elritze (Foto 5), Bachschmerle, Schlammpeitzger, Steinbeißer, Groppe, Gründling) und beim Makrozoobenthos (Foto 6) insbesondere Arten mit nicht-flugfähigen Lebensstadien (z. B. Wasserschnecken (Foto 7), Bachflohkrebse) herangezogen. Das Spektrum dieser Gruppen soll sicherstellen, dass entsprechend der abgeleiteten Bemessungsparameter für alle Tierarten hinreichende Bedingungen innerhalb einer Sohlgleite herrschen, die eine Passage für den Großteil jeder Population ermöglichen.

Unter den lokalen Bedingungen können bei der konkreten Planung von Sohlgleiten nach einer genauen fischbiologischen und gewässertypologischen Prüfung auch einzelne oder spezielle Zielarten formuliert werden. Würde beispielsweise der Stör bei einer geplanten Wiedereinbürgerung als Zielart formuliert, so wären dessen spezifische Ansprüche an Wassertiefen und durchschwimmbare Breiten zu berücksichtigen.

### A.3 Kritische Faktoren bei Sohlgleiten aus biologischer Sicht

In Sohlgleiten und ober- sowie unterstrom der Gleite müssen Umweltbedingungen vorherrschen, die es den Tieren ermöglichen, diesen Gewässerabschnitt zu passieren. Diese Umweltbedingungen werden im Wesentlichen durch die Hydrologie, Hydraulik und Morphologie innerhalb sowie direkt ober- und unter-

strom der Sohlgleite charakterisiert (Abbildung A.2).

(1) Die Fließgeschwindigkeit des Wassers ist für die meisten Arten in Fließgewässern ein ganz entscheidender Umweltfaktor, so dass man vereinfacht in strömungsliebende, -meidende und -indifferente Arten unterscheiden kann. Die wirbellosen Tiere und auch ein Großteil der Fische halten sich in der Nähe bzw. auf der Sohle auf, so dass aus ökologischer Sicht die sohlennahe Fließgeschwindigkeit von größter Bedeutung ist. Diese lässt sich jedoch schlecht bei wasserbaulichen Planungen berechnen, so dass hier die mittlere Fließgeschwindigkeit herangezogen werden muss. Die mittlere Fließgeschwindigkeit wird deswegen als eine entscheidende Planungsgröße betrachtet. Sie stellt die über den Fließquerschnitt gemittelte Geschwindigkeit dar. Es wird dabei davon ausgegangen, dass eine Bandbreite verschiedener Fließgeschwindigkeiten im Querschnitt vorkommt, die den Ansprüchen von sowohl strömungsliebenden als auch strömungsmeidenden Arten entgegenkommt (siehe B.3).

Neben der mittleren Fließgeschwindigkeit sind auch deren Schwankungen bedeutsam für die Tiere, da so variable hydrodynamische Kräfte auf die Körper ausgeübt werden, die belastend sind. Fallhöhen bzw. Absturzhöhen bei Sprüngen im Sohlgefälle verursachen stärkere hydrodynamische Kräfte und Turbulenzen (zeitlich variable Strömungen in drei Dimensionen, Foto 8 und 9). Starke Turbulenzen wirken sich auch erschwerend auf die Orientierung der Fische aus und erfordern bei der Bewegung einen hohen Energieverbrauch.

Aus diesen Gründen sind strömungsberuhigte Bereiche - charakterisiert durch geringe Turbulenzen und eine geringe mittlere Fließgeschwindigkeit ( $v_m < 0,3 \text{ m/s}$ ) - wichtig für Fische, da sie sich an diesen Stellen von anstrengenden Bewegungen erholen können. Die Schwimmleistungen von Fischen sind daher sehr bedeutend für die Bemessung von Sohlgleiten.

Bei der kritischen Schwimgeschwindigkeit von Fischen handelt es sich um die höchste Strömungsgeschwindigkeit, gegen die ein Fisch eine gewisse Zeit anschwimmen kann, ehe er abgetrieben wird. Diese Geschwindigkeit kann ein Fisch nur sehr kurze Zeit, höchstens 20 Sekunden beibehalten, im Allgemeinen jedoch nur zwischen 5 und 15 Sekunden (BLAKE 1983, in WINTER & VAN DENSEN 2001). Sie dient normalerweise der Flucht oder dem Beutefang; der Stoffwechsel ist dabei im Wesentlichen anaerob, so dass danach eine Erholungsphase benötigt wird. Bei wiederhol-



Foto 6: Die Larve der Köcherfliege *Cheumatopsyche lepidia* (Trichoptera; Insecta) ist ein Beispiel für wirbellose Tiere (Makrozoobenthos) in Fließgewässern und besiedelt dort strömende Abschnitte mit lagestabilem Substrat insbesondere in kiesgeprägten Flüssen. Sie kann in den Bereichen von Sohlgleiten vorkommen wie z.B. in der Trave.



Foto 7: Die Wasserschnecke *Bithynia tentaculata* kann in langsam fließenden Gewässerabschnitten vorkommen und ist zur Passage von Sohlgleiten auf strömungsberuhigte Bereiche angewiesen.



Foto 8: Starke Turbulenzen in dem Beckenbereich unterstrom eines durchgehenden Querriegels einer Sohlgleite in Riegelbauweise. Die Ursache liegt in einer hohen Wasserspiegeldifferenz und in dem Flaschenhalseffekt der Lücken zwischen Riegelblöcken. Die Turbulenzen verkleinern die Ruhebereiche in den Becken, erschweren die Orientierung von Fischen sowie die Passierbarkeit der Lücken.



Foto 9: Durchgehender Riegel mit hoher Fließgeschwindigkeit ober- und unterstrom im gesamten Querschnitt, d.h. es fehlen strömungsberuhigte Bereiche, die auch zur Passage von weniger schwimmstarken Fischen genutzt werden können.

ten belastenden Schwimmphasen während des Aufstiegs zu Wanderzeiten kann bei unvollständiger Erholung eine zunehmende Erschöpfung des Fisches eintreten (GOWANS et al. 2003, QUINTELLA et al. 2004). In der Konsequenz reduziert sich der Anteil an Fischen, die ihr Laichgebiet erreichen, sukzessive mit den zu überwindenden Wanderhindernissen. Die kritische Schwimmgeschwindigkeit ist allerdings messtechnisch schwer zu erfassen und abhängig von der Schwimmleistung des Individuums (Kondition und Körpergröße), der Temperatur, dem Sauerstoffgehalt sowie der Wasserqualität. Für einige Fischarten liegen hierzu jedoch Messwerte vor (STAHLBERG & PECKMANN 1986, ZERRATH 1996, JENS et al. 1997, LEMCKE & WINKLER 1998, VORDERMEIER & BOHL 1999, ADAM et al. 2004), die als Anhaltspunkte für die Bemessung herangezogen werden können (Tabelle A.2).

#### Ein Rechenbeispiel zur Schwimmleistung:

Eine Elritze (Foto 5) – als strömungsliebende Fischart – bewältigt bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,8 m/s und einer individuellen kritischen Schwimmgeschwindigkeit von 0,9 m/s, die der Fisch beispielsweise über 10 Sekunden halten kann, eine Distanz von 1 m. Im Anschluss an eine solche Sprintleistung ist eine Ruhephase notwendig, da die Sprintleistung auf einem anaeroben Stoffwechsel basiert. Die Elritze kann demnach den Abschnitt nur überwinden, wenn er nicht länger als 1 m ist und sich im Anschluss ein strömungsberuhigter Bereich befindet. Die kritische Schwimmgeschwindigkeit ist bei vielen Fischarten niedriger als bei der strömungsliebenden Elritze (Tabelle A.2).

(2) Die Wassertiefen sind für wandernde Tiere aufgrund zweier verschiedener Aspekte wichtig. Zum einen besteht eine Beziehung zwischen Wassertiefe und Hydrodynamik, so dass bestimmte Wasserstände über Schwellen nicht unterschritten werden sollten, da sonst die Strömung zu hoch wird. Zum anderen übt der Wasserstand eine Schutzfunktion vor möglichen Feinden aus. Geringe Wasserstände verursachen daher Stresszustände, ein erhöhtes Fraßrisiko und können die Fortbewegung behindern. Aus diesen Gründen wird es bei den meisten Fließgewässern notwendig sein, in einer Sohlgleite beim mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) einen minimalen Wasserstand in einer Niedrigwasserrinne zu halten.

(3) Die Struktur der Sohle ist für bodenorientierte Fische und alle Arten des Makrozoobenthos wichtig. Die verschiedenen Sedimente beeinflussen die sohlennahe Fließgeschwindigkeit aufgrund ihrer Rauheit und sind selbst der Lebensraum für das Makrozoobenthos, das sowohl auf der Sohle als auch in dem Lü-



Tabelle A.2: Kritische Schwimmggeschwindigkeiten und nicht mehr überwindbare Absturzhöhen für einige Fischarten. Keine Daten verfügbar: '-'.

Fischart	Kritische Schwimmggeschwindigkeit [m/s]	Nicht mehr überwindbare Absturzhöhe [m]
Bachneunauge	-	-
Flussneunauge	1,2	0,15 – 0,2
Meerneunauge	-	0,2 – 0,25
Bachforelle	0,8 – 1,0	-
Groppe	0,2 - 0,34	0,1 - 0,15
Bachschmerle	0,22 - 0,61	0,1
Dreistacheliger Stichling	0,36	-
Moderlieschen	0,39	-
Ukelei	0,34 – 0,52	-
Gründling	0,55	-
Hasel	0,46 – 0,96	-
Hecht	0,19 – 0,47	-
Plötze	0,36 – 0,69	-
Karausche	0,26 – 0,48	-
Elritze	0,9	0,1 – 0,15
Schleie	0,19 – 0,62	-
Flussbarsch	0,5	-
Steinbeißer	0,26 – 0,42	-
Quappe	0,36 – 0,41	-
Aal	0,47 – 0,83	-

ckensystem der Sohle (Interstitial) lebt. Daher verdienen die verwendeten Kornfraktionen aus ökologischer Sicht eine besondere Beachtung, um auch eine Durchgängigkeit im Interstitial herzustellen.

**(4)** Die Anbindung der Gleite an oberstrom und unterstrom gelegene Abschnitte bezüglich des Sohlsubstrates, der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ist für die Ausbreitung der Tiere und deren Nutzung des Fließgewässers als Lebensraum wichtig. Beispielsweise machen Stillwasserbedingungen und Ablagerungen von Feinsediment oberstrom der Gleite Aufwärtswanderungen von strömungsliebendem Makrozoobenthos sinnlos, da hier kein geeigneter Lebensraum vorhanden ist: Die Fließgeschwindigkeiten sind hier für strömungsliebendes Makrozoobenthos zu gering, die bevorzugten Korngrößen fehlen und die Durchgängigkeit im Lückensystem ist auch nicht vorhanden.

**(5)** Die charakteristischen Gegebenheiten des Naturraumes bzw. der Gewässerlandschaften (SOMMERHAUSER et al. 2001) sollten in die Planung einbezogen werden, da die Funktionsfähigkeit einer Sohlgleite zum einen auf die naturraumtypischen Arten abgestimmt werden muss und zum anderen auch in das Landschaftsbild passen sollte (Abbildung A.2). Für die gefällereichen Tieflandfließgewässer des Östlichen Hügellands und der Hohen Geest ist eine kiesig-steinige Sohle mit einem Wechsel zwischen flach überströmten und kurzen, tiefen Abschnitten charakteristisch. Für die gefällearmen Tieflandfließgewässer

der Niederen Geest und Niederungen ist eine sandig-kiesige Sohle mit organischen Anteilen charakteristisch; natürlicherweise finden sich hier stärker strömende Bereiche nur als Kehrströmung an Kolken sowie an Totholz- und Wurzelbarrieren. Gemäß dem naturnahen Leitbild für sand- und kiesgeprägte Fließgewässer können auch Findlinge im Gewässerbett vorkommen (s. Typensteckbriefe für die Fließgewässertypen 14, 15, 16, 17 und 19, POTTGIESER & SOMMERHAUSER 2004).

In den gefällestärkeren Bächen und Flüssen leben insbesondere strömungsliebende Arten, während die gefälleärmeren Bäche und Flüsse insbesondere von strömungsmeidenden und strömungsindifferenten Arten besiedelt werden (BRUNKE 2004). Die Toleranzen der typspezifischen Fauna gegenüber hydraulischen Belastungen sind so in den gefälleärmeren Fließgewässern im Allgemeinen geringer. Da die Durchgängigkeit für alle Arten auf der Ebene der Population (d.h. für den Großteil der Besiedlung) durch eine Sohlgleite gewährleistet werden soll, bestehen unterschiedliche Anforderungen an die Gefälle von Sohlgleiten für diese Naturräume.

#### A.4 Empfehlungen zu hydrologischen und morphologischen Grenzwerten aus faunistischer Sicht

- Die mittlere Fließgeschwindigkeit auf einer Sohlgleite sollte für Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet kleiner als 100 km<sup>2</sup>

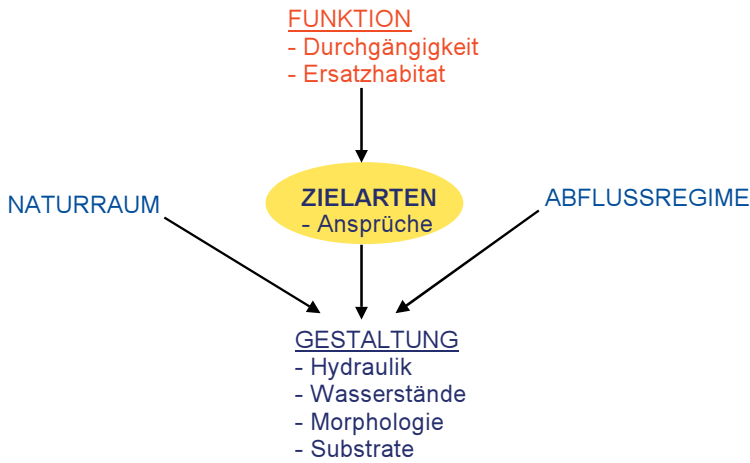


Abbildung A.2: Die gestalterisch einzuhaltenden Parameter einer Sohlgleite werden über die ökologischen Ansprüche der Zielarten sowie über die Physiographie des Naturraumes und das Abflussregime des Gewässers hergeleitet.

bis 0,5 m/s und für Einzugsgebiete größer als 100 km<sup>2</sup> bis 0,7 m/s betragen (gültig für MNQ bis 330Q) (s. B.3).

Die höhere zulässige mittlere Fließgeschwindigkeit bei großen Fließgewässern ergibt sich aus einer vergrößerten Querschnittsfläche, womit wegen der Heterogenität der Strömungsverhältnisse auch hier hinreichend große Bereiche mit geringen Fließgeschwindigkeiten für strömungsmeidende Arten vorhanden sind, obschon natürlicherweise höhere Geschwindigkeiten im Stromstrich möglich sind (s. B.3).

Da bedeutende Fischwanderungen bei höheren Abflüssen stattfinden, muss eine Durchwanderbarkeit auch bei Abflüssen gegeben sein, die größer als MQ sind. Bei größeren Hochwässern ist allerdings die Aufwärtswanderung von Fischen natürlicherweise sehr eingeschränkt. Daher bestehen bei Abflüssen, die größer als 330Q sind (also im langjährigen Mittel an 35 Tagen im Jahr), keine Anforderungen an die in der Sohlgleite zulässigen Fließgeschwindigkeiten.

Bei der Riegelbauweise ist schießender Abfluss in den Lücken bei Abflüssen kleiner als 330Q unbedingt zu vermeiden. Schießender Abfluss ist auch bei Sohlgleiten in geschütteter Bauweise unbedingt zu vermeiden. Dies ist aber aufgrund der aufgestellten Forderungen implizit gegeben.

- Die Mindestwassertiefe bei mittlerem Niedrigwasserabfluss sollte bei EZG kleiner als 100 km<sup>2</sup> zwischen 10 bis 20 cm

liegen. Die Mindestwassertiefe sollte bei EZG von 100 bis 200 km<sup>2</sup> zwischen 20 und 30 cm und bei EZG größer als 200 km<sup>2</sup> zwischen 30 bis 40 cm liegen, da hier größere Wanderfischarten, wie z.B. die Meerforelle, die Gleiten passieren können.

- Die maximale Höhe von Bodenschwellen sollte 10 cm betragen und der Mindestwasserstand über Bodenschwellen sollte bei MNQ zwischen 10 bis 20 cm liegen. Die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser sollte bei Schwellen für Abflüsse zwischen MNQ und 330Q maximal 10 bis 15 cm betragen.

Durch diese Anforderungen soll auch der Aufstieg von Fischarten, die nicht springen, ermöglicht werden, da so die lokalen Strömungen im Bereich der Schwelle nicht zu hoch werden.

- Die Sohlgleite soll mit einer durchgehenden Stein- und Kieslage mit einer Schichtdicke von mindestens 30 bis 50 cm ausgebildet sein. Die Stein- und Kieslage besteht aus unsortiertem Naturmaterial mit einem  $d_m$  in der Größenordnung von 8 – 10 mm. Entscheidend für die Durchgängigkeit ist die Verwendung unsortierten Kornmaterials mit Korngrößen von 2 bis 300 mm. Der angegebene mittlere Korndurchmesser sollte nicht unterschritten werden, so dass sowohl die Durchgängigkeit im Interstitial als auch die Standsicherheit der Gleite gewährleistet wird (s. C.1.3 und C.1.4). Das Kornmaterial sollte wegen der Verletzungsgefahr für Fische nicht scharfkantig und wegen der Lagestabilität nicht zu gleichförmig sein.
- Als Unterbau sollte ein mineralischer Filter gewählt werden. Auf den Einbau von künstlichen Baustoffen sowie undurchlässigen Geotextilien im Unterbau ist nach Möglichkeit zu verzichten. Falls der Einbau eines Wasserbauvlieses unter begründeten wasserbaulichen Erfordernissen notwendig sein sollte, ist eine Stärke von maximal 250 g/m<sup>2</sup> ausreichend.
- Bei geschütteten Bauweisen sollte der Anteil der Grundfläche der Störsteine in der Sohlgleite nicht zu groß sein. Empfohlen wird eine Steinfläche innerhalb Gleite von weniger als 20%. Eine höhere Störsteinfläche erhöht die Wahrscheinlichkeit von überhöhten Fließgeschwindigkeiten zwischen benachbarten Störsteinen beim Niedrig- bis Mittelwasserabfluss.

#### A.5 Empfehlungen für die Bauweise

Die geschüttete Bauweise aus mehrlagiger



Foto 10: Zwei Beispiele für geschüttete Sohlgleiten mit einem heterogenen Strömungsmuster, jedoch ohne konkretes Niedrigwasserprofil.

Steinschüttung ist aufgrund der biologischen Anforderungen grundsätzlich einer Riegelbauweise vorzuziehen. Geschüttete Gleiten imitieren Rauschen, Schnellen oder Furte, die als morphologische Strukturen auch in unseren Gewässern entstehen. Hierbei bilden sich über die Sohlrauheit heterogene Strömungsmuster mit Zonen geringer und hoher Fließgeschwindigkeit aus (Foto 10). Durch die Profilierung und Störsteine entstehen verschiedene Wassertiefen auch bei Niedrigwasser auf der geschütteten Gleite. Die Riegelbauweise dagegen imitiert morphologisch Kaskaden, die nur in gebirgigen Gewässern natürlicherweise durch unregelmäßig abgelagerte Blöcke entstehen. Bei der Riegelbauweise entstehen jedoch eher regelmäßige Block/Kolk-Abfolgen mit diskreten Zonen hoher und geringer Strömung sowie geringer und großer Wassertiefe. Bei der Überströmung von Riegeln können sehr ungünstige starke Turbulenzen entstehen und die Fließgeschwindigkeit in den Spalten ist in der Regel sehr hoch, so dass hier Flaschenhalseffekte für die wandernden Tiere auftreten. Zudem können die Spalten durch Materialtransport im Gewässer verstopfen. Durch die tief in das Sediment eingelegten Riegelsteine wird die Durchwanderbarkeit im Sediment herabgesetzt. Bei unsachgemäßer Ausfertigung können durch die Riegel auch neue Barrieren entstehen.

Die Anlage geschütteter Sohlgleiten ist in der Regel baulich weniger aufwändig und zudem einfacher umzugestalten als die von Sohlglei-

ten aus Riegeln, so dass sowohl nachträgliche Verbesserungen möglich sind als auch landschaftsplanerisch auch zukünftig mehr Freiräume bestehen. Prinzipiell sind auch Kombinationen verschiedener Bauvarianten in einer Gleite möglich, wenn es die örtlichen Bedingungen erfordern und die hier formulierten Empfehlungen berücksichtigt werden.

Die Unterschiedlichkeit der Naturräume in Schleswig-Holstein (s. SOMMERHAUSER et. al. 2001) fließt auch in die Wahl der Bauweise ein. Zwischen den Naturräumen variieren die natürlichen Gefälle der Fließgewässer. Dadurch unterscheiden sich auch viele für die Fauna und Flora wesentliche hydromorphologische Bedingungen. Das führt dazu, dass sich die aquatischen Lebensgemeinschaften ganz allgemein zwischen den gefällereichen und gefällearmen Gewässern unterscheiden. So dominieren die nicht-strömungsliebenden Arten in den Lebensgemeinschaften gefällearmen Gewässern. Bei der Bauweise von Sohlgleiten berücksichtigt die Formulierung eines geringeren Gefälles die typspezifische Lebensgemeinschaft besser als einzelne Grenzwerte, die primär auf spezifische Arten fokussieren (s. A.3).

Auf einer anderen Ebene der Betrachtung liegt die naturästhetische und landschaftsökologische Eingliederung in die umgebende Landschaft, was ebenfalls berücksichtigt werden muss.

- Die geschüttete (lockere) Bauweise mit geringem Gefälle (1:50 bis 1:100) sollte in den Naturräumen der Niederen Geest, Niederungen und Moorgebieten angewendet werden. Ein höheres Gefälle als 1:50 kann dann geplant werden, wenn es aus rechtlichen oder bautechnischen Gründen nicht möglich ist, ein geringeres Gefälle zu realisieren.
- Die geschüttete (lockere) Bauweise mit höherem Gefälle (1:30 bis 1:50) kann in den Naturräumen des Östlichen Hügellandes und der Hohen Geest angewendet werden.
- Die Riegelbauweise mit unregelmäßigen Riegeln (keine Schwellen) mit höherem Gefälle ( $\geq 1:30$ ) kann angewendet werden, falls aus rechtlichen oder bautechnischen Gründen geringere Gefälle oder eine geschüttete Bauweise nicht umsetzbar sind.
- Es sollten keine durchgehenden Querelemente im Sohlsediment errichtet werden.
- In der Regel ist es aufgrund der vergleichsweise geringen Fließgeschwindigkeiten nicht wasserbaulich erforderlich, den Gleitenfuß zu stabilisieren, um eine rückschreitende Erosion zu verhindern. In begründeten Fällen können zusätzliche Stützsteine und Pfahlreihen im Bereich der Nachbettsicherung bzw. am Gleitenfuß verwendet werden. Die Pfahlreihen sollten aus Holz bestehen und dürfen nicht durchgehend eingebaut werden, sondern sollten aus einzelnen, versetzt stehenden Reihen bestehen. Die Oberkanten der Pfahlreihen liegen mindestens 10 cm unterhalb der Geröllschicht.
- Die ober- und unterstrom gelegenen Abschnitte sollten hydromorphologisch an die Sohlgleite angebunden werden (Abbildung A.3):

**Bei den Planungen von Sohlgleiten sollten folgende Gestaltungen beachtet werden:**

- Bei Fließgewässern mit hohen Abflussschwankungen und ausgeprägten Niedrigwasserphasen sollte ein Niedrigwasserprofil eingerichtet werden, um hier die Wasserstände während Trockenwetterphasen zu halten.
- Auf durchgehende Schwellen und Abstürze sollte verzichtet werden.

- Es sind Übergänge bezüglich Sediment und Strömung zu schaffen, d.h. es sollte zu keinen abrupten Wechseln zwischen Strömung und Sedimentzusammensetzung ober- und unterstrom der Sohlgleite kommen (Foto 11, 12). Eine langfristige Auflandung oberstrom ist zu vermeiden. Nach Möglichkeit ist die Gleitenkrone abzusenken, so dass das Strömungsmuster oberhalb in das der Gleite allmählich übergeht. Gegebenenfalls kann es sinn-

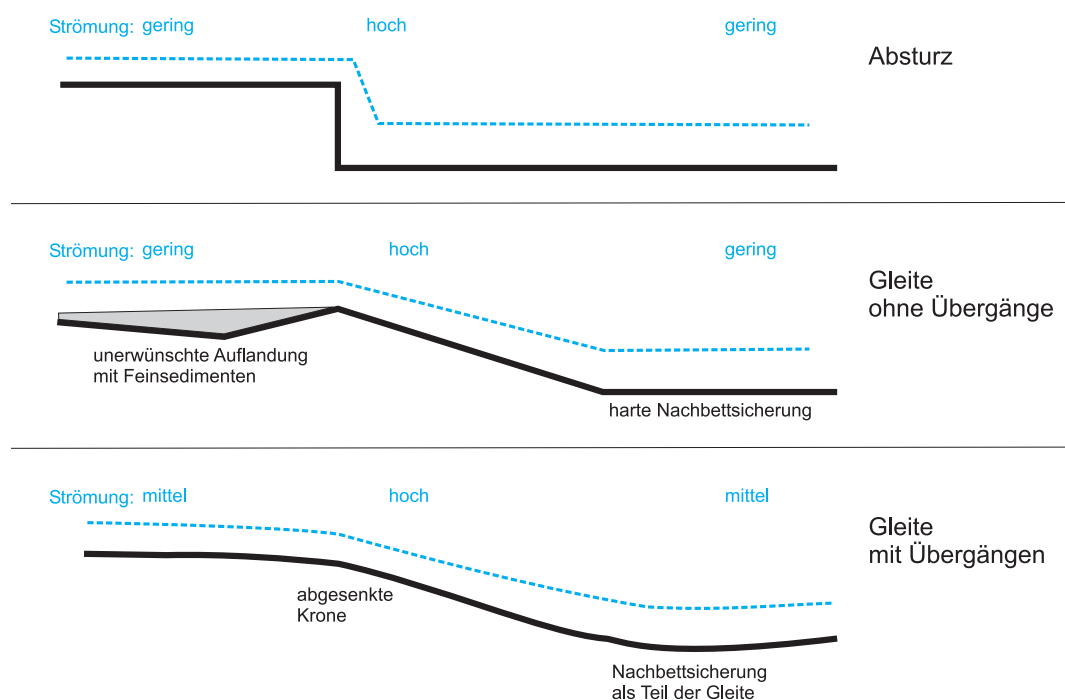


Abbildung A.3: Schematische Darstellung zur hydromorphologischen Anbindung oberstrom und unterstrom gelegener Abschnitte an einen Absturz sowie an einer Sohlgleite ohne und einer Sohlgleite mit kontinuierlichen Übergängen.



Foto 11: Ausschnitt aus einer Sohlgleite in Riegelbauweise, bei der kein Übergang zwischen dem rückgestauten Bereich oberstrom (mit Stillwasserbedingungen) und dem obersten, durchgehenden Querriegel besteht. Bei diesem Beispiel musste allerdings die Aufstauung aufgrund der örtlichen Rahmenbedingungen gehalten werden.



Foto 12: Eine geschüttete Gleite mit rückgestautem Abschnitt oberhalb und erheblicher Einengung des Gewässerbetts durch eine massive Befestigung der Ufer und extremen hydrodynamischen Bedingungen.

voll sein, die Anbindung der geplanten Gleite nach oberstrom und unterstrom mit Hilfe eines eindimensionalen Wasserspiegellagenprogramms nachzuweisen, um die Bedeutung veränderter Wasserstands-Abfluss Beziehungen zu beurteilen.

- Muss der Wasserstand oberstrom gehalten werden, so sollte der Abflussquerschnitt (MNQ, MQ) oberstrom reduziert werden, z.B. mit hochwasserneutralen, strömungslenkenden Bauwerken (vergleichbar mit Buhnen an größeren Fließgewässern). Dadurch soll oberstrom eine standorttypische Mindestfließgeschwindigkeit erhalten bleiben und eine Sedimentation von Feinmaterialien im gesamten Querschnitt verhindert werden.
- Die hydraulische Belastung unterstrom der Gleite ist zu reduzieren, so dass

keine Tosbecken geplant werden müssen. Zur Nachbettsicherung kann die Vorprofilierung eines naturnahen Kolkes bei erosionsgefährdeter Sohle erfolgen (s. C.1.4). Der Kolk sollte nicht überbreit angelegt werden. Die Länge bzw. Tiefe der Nachbettsicherung kann bis zum 7-fachen (Mindestlänge = 3 m) bzw. bis zu 1/3 der Gleitenhöhe betragen. Diese Werte orientieren sich derzeit an GEBLER (1991), der allerdings von einem höheren  $v_m$  ausgeht. Aufgrund der geringeren hydraulischen Bemessungsgrundlagen ( $l$ ,  $v_m$ ) in dieser Empfehlung sind gegebenenfalls auch geringere Dimensionierungen für eine Nachbettsicherung möglich (s. C.1.4). Die Schichtdicke und der Korndurchmesser der Nachbettsicherung entsprechen den Dimensionierungen der Sohlgleite.

- Bei längeren Sohlgleiten können Furt/Kolk-Sequenzen nachgeahmt und ein geschwungenes Niedrig- und Mittelwasserprofil angelegt werden. Es sollen dabei jedoch keine Sequenzen aus Becken und Engen konstruiert werden, die in den Engen eine Art Flaschenhalseffekt aufgrund eines sehr geringen Querschnitts, hohen Gefälles und hoher Fließgeschwindigkeit bewirken. Bei geschütteten Sohlgleiten können bei Niedrigwasser auch erhöhte Fließgeschwindigkeiten zwischen eng beieinander liegenden Störsteinen auftreten. Die Folgen eines Flaschenhalseffektes unterbleiben jedoch, da für wandernde Tiere eine Vielzahl an alternativen Wanderwegen existiert.
- Es sollten Zonen mit geringen Fließgeschwindigkeiten (mittlere Geschwindigkeit hier 0,2 bis 0,3 m/s für MNO und MO) angelegt werden, die z.B. in den Randbereichen der Sohlgleite durchgehend vorhanden sein können (Abbildung A.4). Diese Wasserwechselzonen (Abbildung A.4) können während Niedrigwasserphasen trocken fallen; das flächige Trockenfallen der Gleite wird durch die abgestufte Ausbildung des Sohlmaterials verhindert, bei der ein Niedrigwasserprofil ausgebildet wird (vgl. Kapitel C.1.4). Können keine durchgehenden strömungsberuhigten Bereiche angelegt werden, so sind in aufeinander folgenden Abständen von höchstens 3 m und mit Beckenlängen von mindestens 3 m strömungsberuhigte Bereiche zu errichten.
- Sohlgleiten als Ersatzhabitate sollten mindestens eine Lauflänge von 100 m haben und bestehen aus unregelmäßigen Schüttungen. Die Gestaltung von Ersatzhabitaten orientiert sich an den gewässertypischen Leitbildern (siehe Typensteckbriefe, POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER 2004, SOMMERHÄUSER & SCHUMACHER 2003) sowie den Habitatansprüchen der vorab zu definierenden Zielarten. Hierauf wird jedoch in der Empfehlung nicht weiter eingegangen.
- Aus wasserrechtlichen Gründen wird empfohlen, das Betreten von Sohlgleiten zu verbieten. Hierzu können Hinweistafeln verwendet werden.

#### **A.6 Schematische Darstellung einer Sohlgleite**

Aus den Empfehlungen aus biologischer Sicht ergeben sich verschiedene räumliche Zonen, die planerisch einbezogen werden sollten. Hierzu gehören die ober- und unterstrom gelegenen Abschnitte, strömungsberuhigte Bereiche innerhalb der Sohlgleite, das Niedrigwasserprofil, die Uferzone und die Sedimentschicht (Abbildung A.4 und A.5). Das Niedrig- und Mittelwasserprofil sollte sich an den Stromstrich anlehnen und kann daher im Längsverlauf geschwungen angelegt werden (Abbildung A.6, Foto 13). Im Mittelwasserprofil können die strömungsberuhigten Bereiche in den Randbereichen der Gleite angelegt werden (Abbildung A.4 und A.5). Dabei beträgt die mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$  in Bächen mit einem Einzugsgebiet kleiner als 100 km<sup>2</sup> im gesamten Querprofil 0,5 m/s. In den strömungsberuhigten Randbereichen darf die Fließgeschwindigkeit 0,5 m/s nicht überschreiten (Abbildung A.5).

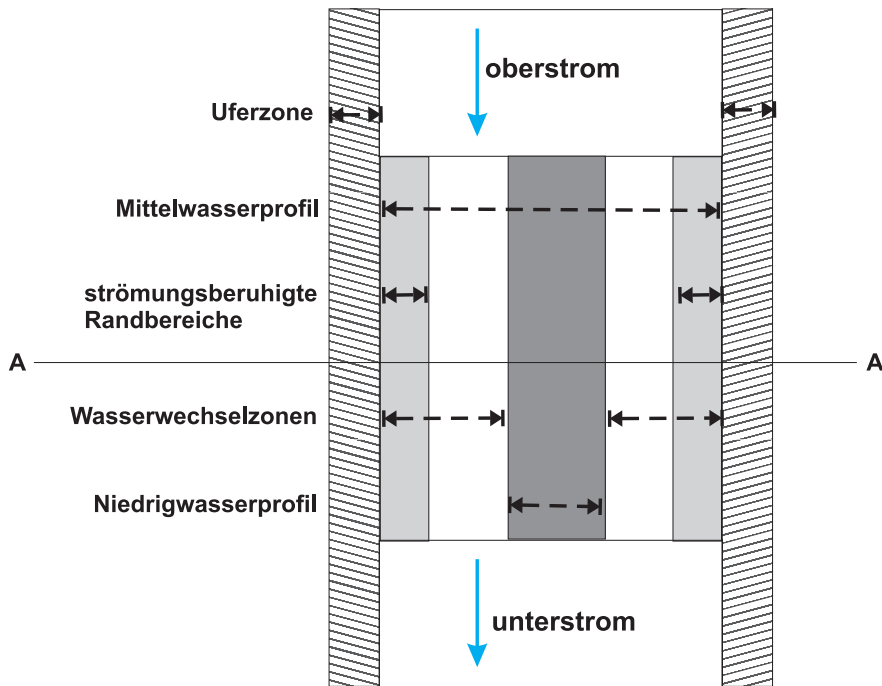


Abbildung A.4: Schematische Aufsicht auf eine geschüttete Sohlgleite mit räumlichen Zonen, die planerisch einbezogen werden sollten. Das Niedrig- und Mittelwasserprofil sollte sich an den Stromstrich anlehnen und braucht deshalb nicht, wie in dem Schema dargestellt, geradlinig durch die Sohlgleite zu verlaufen. A-A markiert einen Querschnitt, der in Abbildung A.5 dargestellt wird.

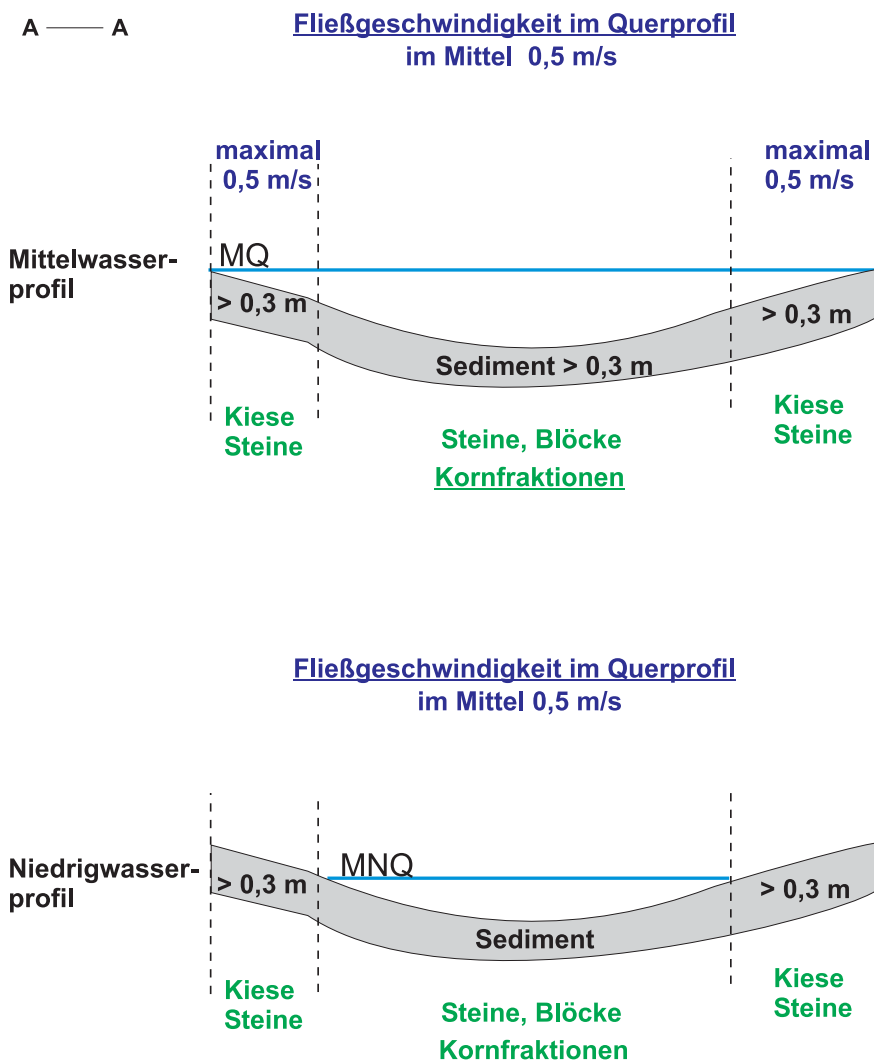


Abbildung A.5: Schematischer Querschnitt einer geschütteten Sohlgleite im Mittel- und Niedrigwasserprofil mit Angaben zu Fließgeschwindigkeiten und zum Sediment (Schichtdicke und Kornfraktionen) bei einem Einzugsgebiet kleiner als 100 km<sup>2</sup>.

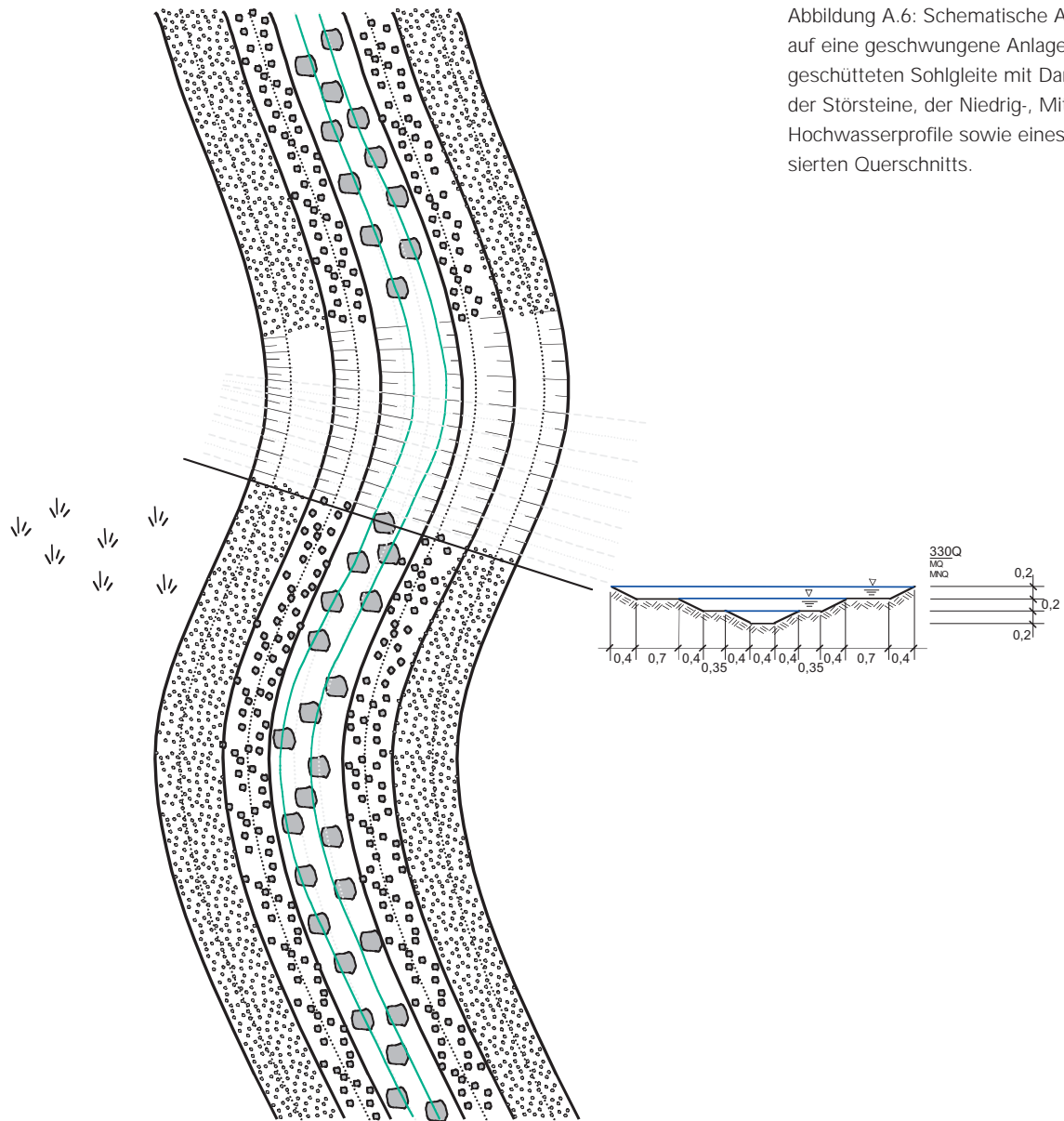


Abbildung A.6: Schematische Aufsicht auf eine geschwungene Anlage einer geschütteten Sohgleite mit Darstellung der Störsteine, der Niedrig-, Mittel- und Hochwasserprofile sowie eines idealisierten Querschnitts.



Foto 13. Bei längeren Sohgleiten bietet sich ein geschwungenes Mittelwasserprofil an, um naturnahe heterogene Strömungsbedingungen und hydromorphologische Strukturen zu schaffen (Gudenau in Silkeborg, Dänemark).



# B Hydrologische Bemessungsparameter für Schleswig-Holstein

Die Planung und Bemessung von Sohlgleiten in Schleswig-Holstein hat sich neben den biologischen Anforderungen an den natürlich vorhandenen hydrologischen Verhältnissen zu orientieren. Daher sollen im Folgenden die hydrologischen Gegebenheiten anhand der vorhandenen Abflussspenden, an Pegeln auftretenden Fließgeschwindigkeiten und typischen Geschwindigkeitsprofilen im Querschnitt dargelegt werden. Abschließend wird auf natürliche Gewässerbreiten eingegangen, an denen sich die Planung von Sohlgleiten orientieren sollte.

## B.1 Abflussspenden

Abflussspenden können dazu genutzt werden, die hydrologischen Verhältnisse unabhängig von der Einzugsgebietsgröße zu beschreiben. Daher ist es sinnvoll, die für Sohlgleiten relevanten Abflüsse MNO, MO und 330Q als Abflussspenden auszudrücken, da diese Werte auch herangezogen werden können, wenn

kein Pegel in unmittelbarer Nähe vorhanden ist.

Die Abflüsse MNO, MO und 330Q werden im Folgenden als Betriebsabflüsse bezeichnet. Bei der hydraulischen Bemessung von Sohlgleiten werden zwei Berechnungsszenarien unterschieden:

- Bemessung für Betriebsabflüsse: Die Sohlgleite ist so zu bemessen, dass die geforderten maximalen Fließgeschwindigkeiten und minimalen Wassertiefen während des Betriebsspektrums zwischen MNO und 330Q eingehalten werden. Betriebsabflüsse sind also diejenigen Abflüsse, die nur an wenigen Tagen im Jahr über- oder unterschritten werden.
- Bemessung für maximale Abflüsse bzw. für maximale Geschwindigkeiten: Die Sohlgleite muss für ein Hochwasserereignis mit mehrjährigem Wiederkehrintervall

MNq in Abhängigkeit von der EZG-Größe

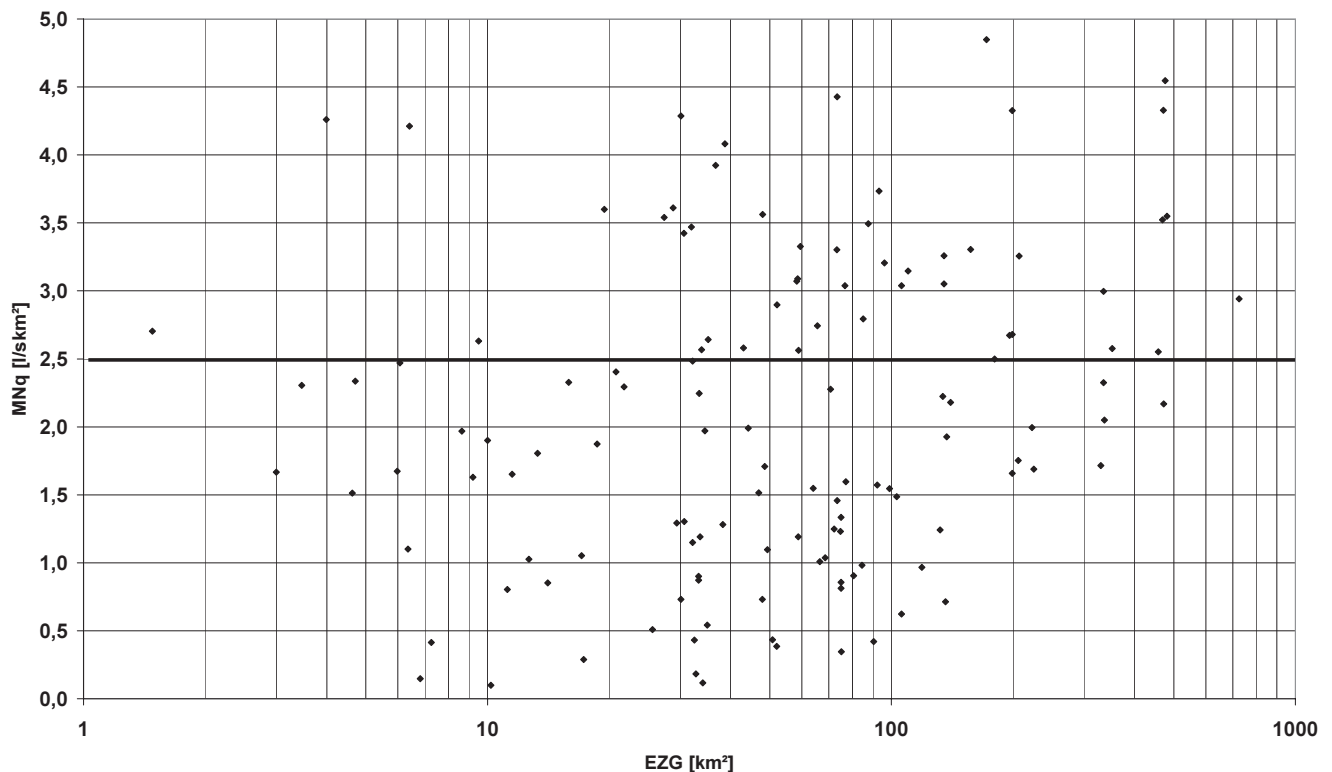


Abbildung B.1: Beziehung zwischen der mittleren Niedrigwasserspende MNq und der Einzugsgebietsgröße an 156 Pegeln in Schleswig-Holstein.

### Mq in Abhängigkeit von der EZG-Größe

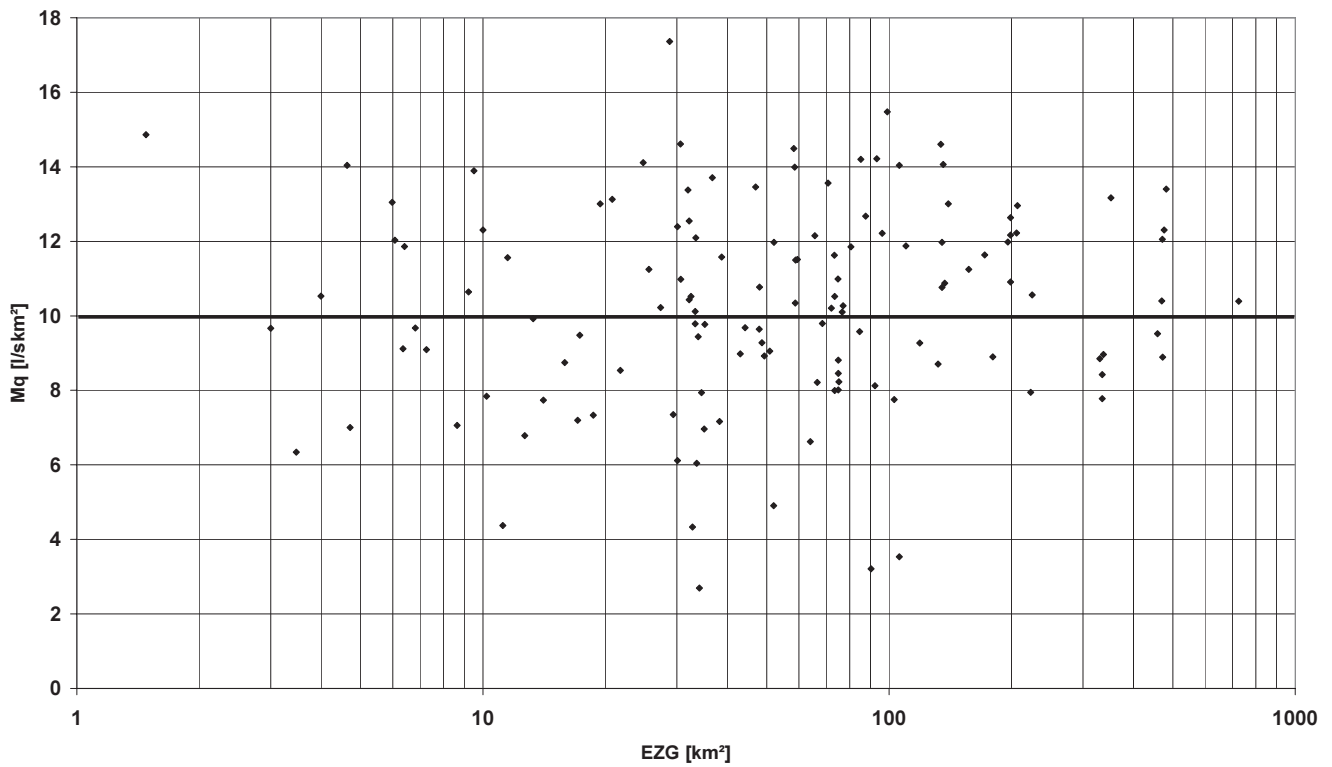


Abbildung B.2: Beziehung zwischen der Mittelwasserspende  $Mq$  und der Einzugsgebietsgröße an 156 Pegeln in Schleswig-Holstein.

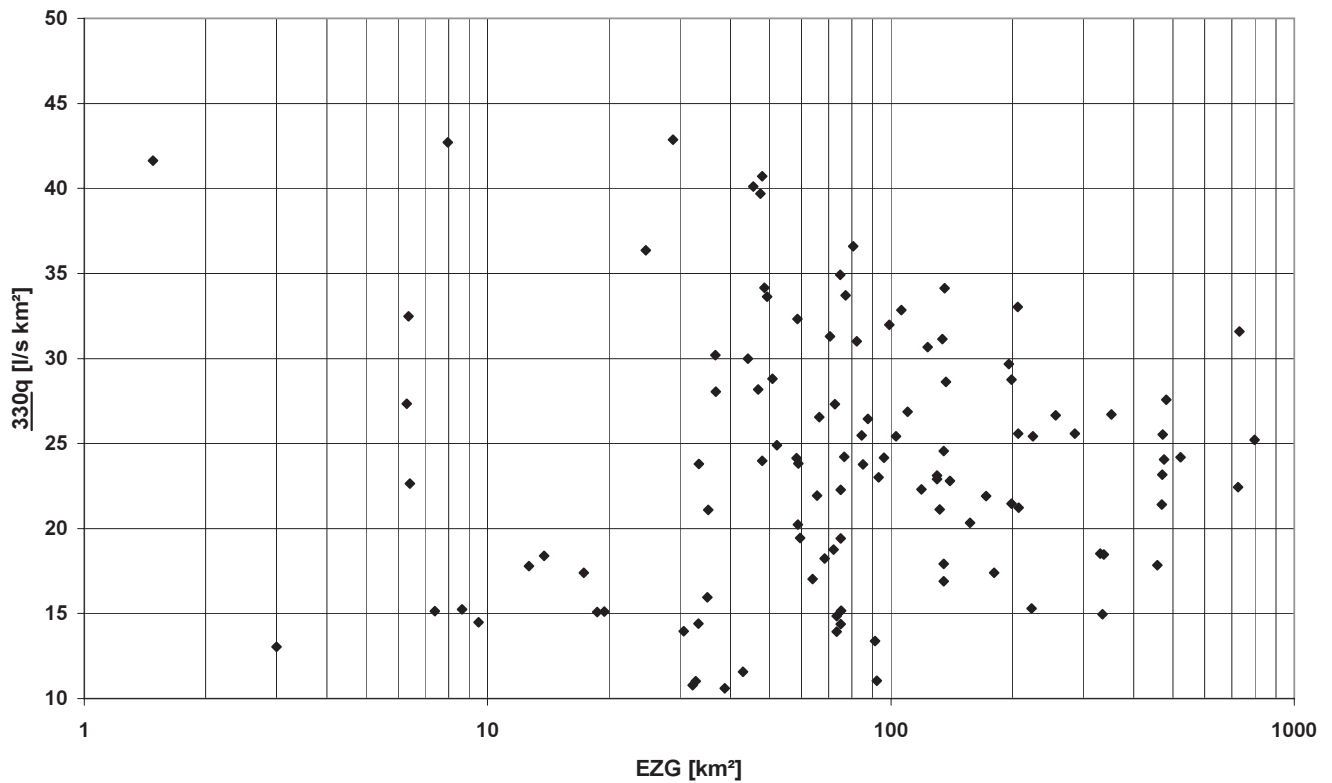


Abbildung B.3: Beziehung zwischen der Abflussspende  $330q$  und der Einzugsgebietsgröße an 156 Pegeln Schleswig-Holsteins.

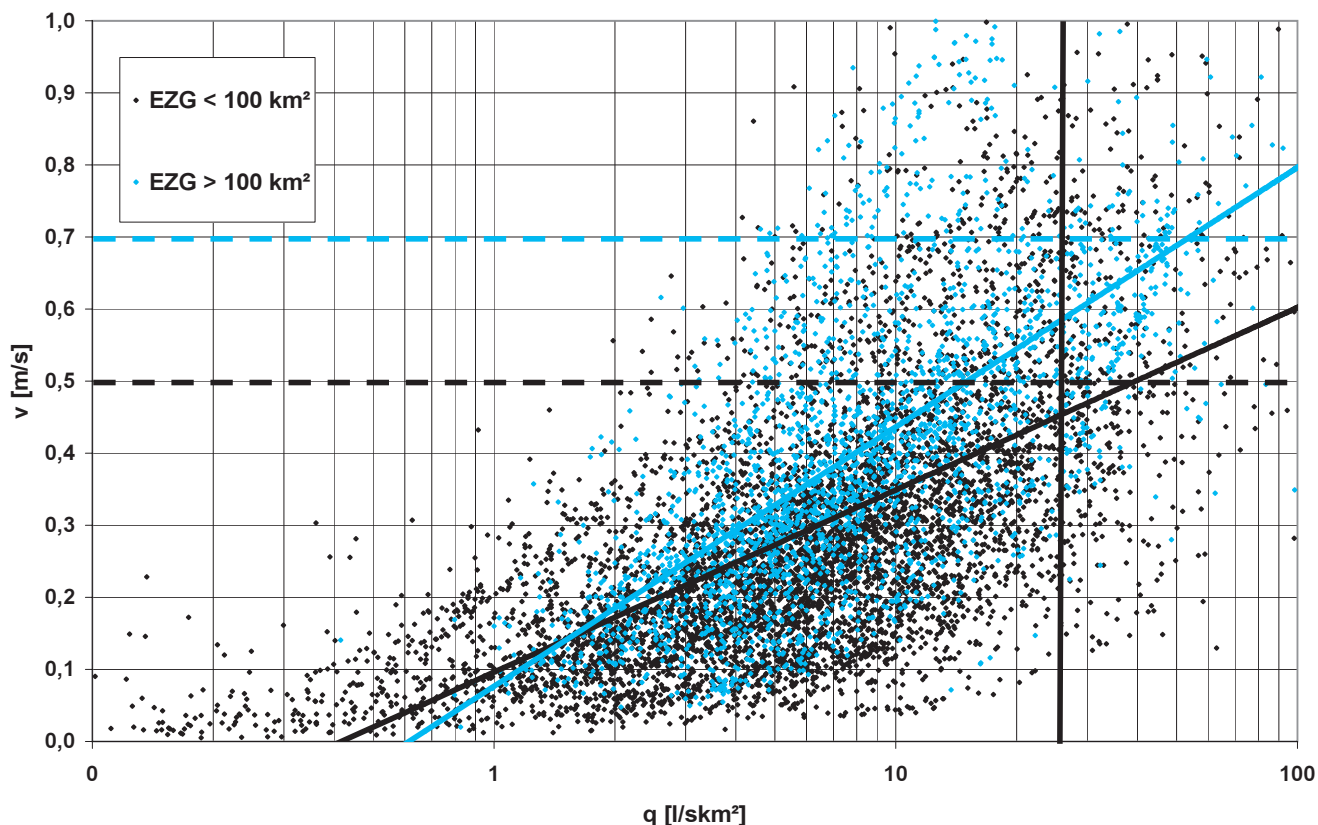


Abbildung B.4: Mittlere Fließgeschwindigkeiten an 156 Pegeln Schleswig-Holsteins in Abhängigkeit von der Abflussspende für verschiedene Einzugsgebietsgrößen (8.786 Abflussmessungen)

Tabelle B.1: Mittlere Fließgeschwindigkeiten an Pegeln Schleswig-Holsteins in Abhängigkeit von der Abflussspende. Grau unterlegt sind Messungen (absolute und relative Anzahl), die über den Vorgaben für Sohlgleiten liegen.

AE	v [m/s]	q: 0 - 10 l/skm²		q: 10 - 25 l/skm²		q: > 25 l/skm²		Anzahl
<100 km²	0 - 0,5	4122	96,0%	1095	75,8%	234	47,0%	5451
	0,5 - 0,7	146	3,4%	228	15,8%	140	28,1%	514
	> 0,7	25	0,6%	122	8,4%	124	24,9%	271
<b>Anzahl</b>		<b>4293</b>		<b>1445</b>		<b>498</b>		<b>6236</b>
>100 km²	0 - 0,5	1399	87,9%	344	52,7%	68	22,2%	1811
	0,5 - 0,7	144	9,1%	212	32,5%	166	54,2%	522
	> 0,7	48	3,0%	97	14,9%	72	23,5%	217
<b>Anzahl</b>		<b>1591</b>		<b>653</b>		<b>306</b>		<b>2550</b>

so bemessen werden, dass die Standsicherheit gewährleistet ist. Hier ist in der Regel ein  $HQ_{50}$  anzusetzen. Bei einem hohen Gefährdungspotenzial, beispielsweise im innerörtlichen Bereich sollte das  $HQ_{100}$  angesetzt werden.

Im Folgenden wird die Variabilität der Betriebsabflussspenden  $MNq$ ,  $Mq$  und  $330q$  in Schleswig-Holstein dargestellt.

### B.1.1 Mittlere Niedrigwasserspende (MNq)

Die Bandbreite der Niedrigwasserspenden (MNq) in Schleswig-Holstein variiert zwischen etwa 0,1 und 4,8 l/(s km²) (Abbildung B.1). Wenn für Bemessungsfragen keine detaillierten Informationen zu MNq vorliegen, kann - trotz der Variation - mit einem mittleren Wert von 2,5 l/(s km²) gerechnet werden.

### B.1.2 Mittelwasserspense (Mq)

Die Bandbreite der Mittelwasserspense (Mq) in Schleswig-Holstein ist aus Abbildung B.2 zu erkennen. Mq schwankt um den Mittelwert von ca. 10 l/(s km<sup>2</sup>). Wenn für Bemessungsfragen keine detaillierten Informationen zu Mq vorliegen, kann mit diesem Wert gerechnet werden. Die Mittelwasserspense Mq beträgt etwa das Vierfache der mittleren Niedrigwasserspense MNq.

### B.1.3 Abflussspende $\underline{330q}$

Die zum Betriebsabfluss  $\underline{330Q}$ , also dem an 330 Tagen im Jahr unterschrittenen Abfluss, gehörige Abflussspende  $\underline{330q}$  liegt in Schleswig-Holstein zwischen 10 und 42 l/(s km<sup>2</sup>); für Einzugsgebiete größer 100 km<sup>2</sup> schränkt sie sich auf 15 bis 35 l/(s km<sup>2</sup>) ein (Abbildung B.3). Für kleinere Einzugsgebiete kann sie in Einzelfällen erheblich variieren. Sollten für Bemessungsfragen keine detaillierten Informationen zu  $\underline{330q}$  vorliegen, kann mit 25 l/(s km<sup>2</sup>) gerechnet werden. Die Abflussspende  $\underline{330q}$  beträgt etwa das 2,5-fache der Mittelwasserspense Mq.

### B.2 Mittlere Fließgeschwindigkeiten $v_m$

Limitierender Faktor für die aufwärts gerichtete Wanderung von Fischen ist insbesondere die Fließgeschwindigkeit. Für Sohlgleiten sollten keine schärferen Anforderungen bezüglich der zulässigen Fließgeschwindigkeiten gestellt werden, als sie an natürlichen Gewässerabschnitten ohnehin vorliegen. Aus vorliegenden Messungen an Gewässerquerschnitten können plausible Forderungen für sinnvolle Geschwindigkeitsvorgaben innerhalb von Sohlgleiten abgeleitet werden, da diese Geschwindigkeiten ohnehin von Fischen überwunden werden müssen, wenn sie sich stromauf bewegen.

Zur Betrachtung der in den Fließgewässern Schleswig-Holsteins auftretenden mittleren Fließgeschwindigkeiten  $v_m$  wurden ca. 9.000 Abflussmessungen aus den letzten 10 Jahren an 156 Pegeln ausgewertet (Abbildung B.4). Es wurde dabei zwischen Messungen an Pegeln mit einem Einzugsgebiet kleiner als 100 km<sup>2</sup> (schwarz) und einem Einzugsgebiet größer als 100 km<sup>2</sup> (grau) unterschieden. Diese Unterscheidung wurde vorgenommen, da an größeren Fließgewässern auch ein größerer Fließquerschnitt

Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Abflussspende für verschiedene Fließgewässertypen

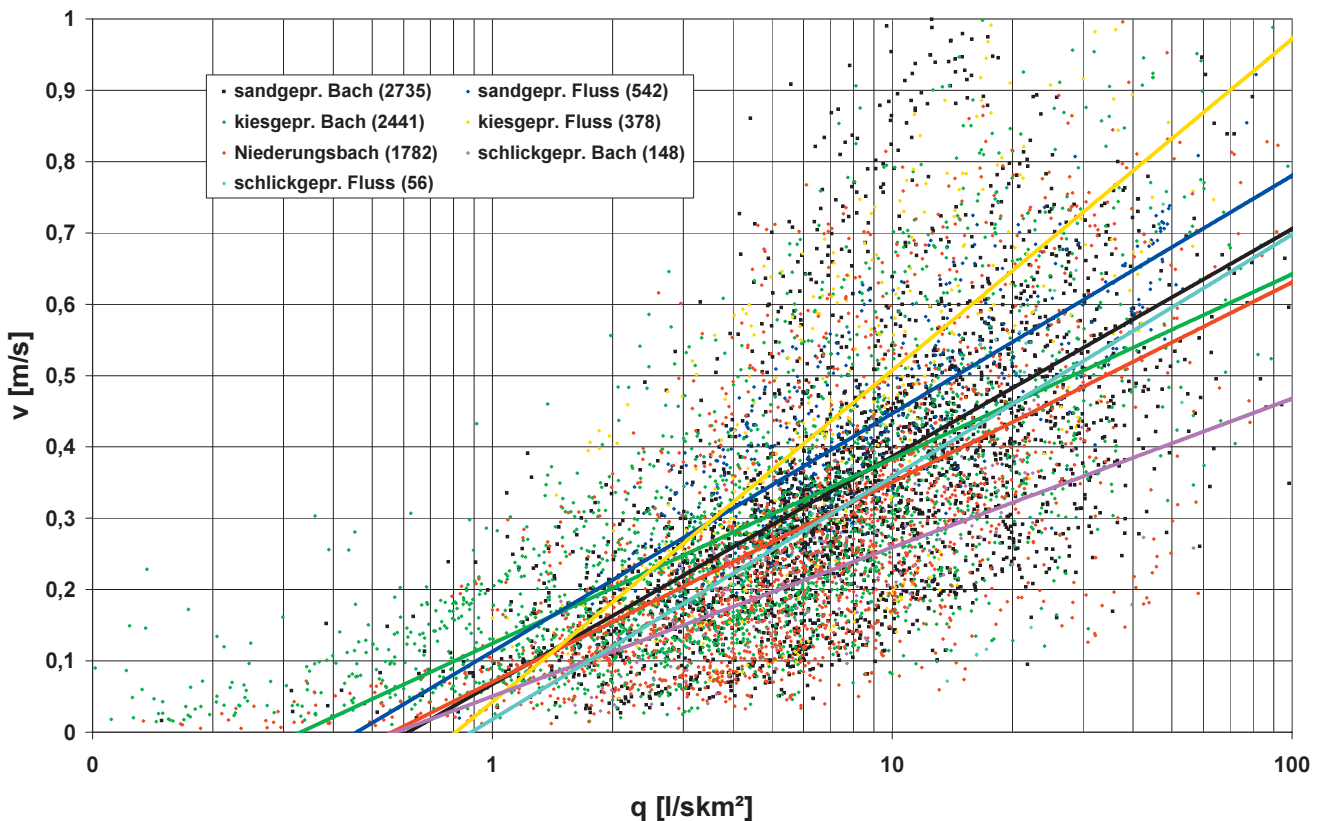


Abbildung B.5: Beziehung zwischen der mittleren Fließgeschwindigkeit und der Abflussspende an 156 Pegeln in Schleswig-Holstein für die Fließgewässertypen (8.786 Abflussmessungen).

vorliegt, bei dem dann auch größere Zonen mit geringeren Fließgeschwindigkeiten vorhanden sind (s. B.3).

Anhand der in Abbildung B.4 eingetragenen Regressionsgeraden lässt sich erkennen, dass sich für die Abflusspende  $330q$  von  $25 \text{ l/(s km}^2\text{)}$  für Einzugsgebiete kleiner als  $100 \text{ km}^2$  eine Fließgeschwindigkeit  $v_m = 0,45 \text{ m/s}$  und für Einzugsgebiete größer als  $100 \text{ km}^2$  eine Fließgeschwindigkeit  $v_m = 0,58 \text{ m/s}$  ergibt.

Bedenkt man, dass sich die Pegel häufig an ausgebauten Gewässerabschnitten befinden und somit nicht unbedingt die Strömungssituation widerspiegeln, die natürlicherweise vorliegen würde, so lassen sich hieraus hydrologisch sinnvolle zulässige Fließgeschwindigkeiten innerhalb von Sohlgleiten von  $0,5 \text{ m/s}$  für Einzugsgebiete kleiner als  $100 \text{ km}^2$  und  $0,7 \text{ m/s}$  für Einzugsgebiete größer als  $100 \text{ km}^2$  begründen. Abbildung B.4 gibt somit einen repräsentativen Überblick über die derzeit in Schleswig-Holstein real auftretenden mittleren Fließgeschwindigkeiten, wobei sich die Genauigkeit der Abflussmessungen im Allgemeinen in einem Bereich von  $\pm 10\%$  bewegt.

Tabelle B.1 zeigt die Anzahl der Messungen für verschiedene Geschwindigkeitsklassen in Abhängigkeit von der Abflusspende und der Einzugsgebietsgröße.

Beispielsweise liegen für Einzugsgebiete kleiner als  $100 \text{ km}^2$  bei Abflüssen unter Mittelwasserabfluss ( $Mq = 10 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ ) insgesamt  $96\%$  der Messungen unter den geforderten  $0,5 \text{ m/s}$ . Für Einzugsgebiete größer als  $100 \text{ km}^2$  liegen bei Abflüssen unter Mittelwasserabfluss ( $Mq = 10 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ )  $97\%$  der Messungen unter den geforderten  $0,7 \text{ m/s}$ . Entsprechend liegen bei Abflusspenden zwischen  $Mq$  und  $330q$   $75,8\%$  der Messungen für kleine Einzugsgebiete und  $85,1\%$  für größere Einzugsgebiete unter den für Sohlgleiten geforderten Fließgeschwindigkeiten.

Insgesamt übersteigen lediglich  $8,3\%$  aller Messungen bei Abflüssen unterhalb von  $330q = 25 \text{ l/(s km}^2\text{)}$  die für Sohlgleiten zulässigen Geschwindigkeiten (Tabelle B.1). Da davon ausgegangen werden kann, dass die Überschreitungen häufig an solchen Pegeln auftraten, die in ausgebauten, nicht naturnahen Gewässerabschnitten liegen, sind die biologisch geforderten zulässigen Fließgeschwindigkeiten aus hydrologischer Sicht angemessen, um eine longitudinale Durchgängigkeit zu erreichen.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass die geforderten Fließgeschwindigkeiten auch außerhalb von Sohlgleiten in der Regel für  $330Q$  eingehalten werden und daher für Sohlgleiten keine schärferen Anforderungen gestellt werden als sie an freien Gewässerabschnitten vorliegen.

Bei möglichen Grenzfällen (s. Kapitel C.1.2), in Bereichen, in denen die mittlere Fließgeschwindigkeit auch natürlicherweise über den für Sohlgleiten geforderten Grenzwert liegt, besteht die Option, die zulässigen Geschwindigkeiten geringfügig zu erhöhen. Die Analyse von mittleren Fließgeschwindigkeiten  $v_m$  kann auch nach Fließgewässertypen differenziert dargestellt werden (Abbildung B.5). In der Tendenz sind die mittleren Fließgeschwindigkeiten in den Fließgewässertypen des kies- und des sandgeprägten Flusses größer als in den Bächen und in dem Typ schlickgeprägter Bach kleiner als in den anderen Typen. Die Streuung der Fließgeschwindigkeiten innerhalb der Fließgewässertypen ist allerdings erheblich. Bei der Festlegung der zulässigen mittleren Fließgeschwindigkeit für Sohlgleiten wurde daher eine hydrologische Unterscheidung über die Einzugsgebietsgröße einer typologischen Unterscheidung vorgezogen.

### **B.3 Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Fließquerschnitts**

Entscheidend für die longitudinale Durchgängigkeit eines Fließgewässers ist es, ob ausreichend große Bereiche mit Fließgeschwindigkeiten  $v$  kleiner als  $0,5 \text{ m/s}$  innerhalb des Fließquerschnitts vorhanden sind. Die mittlere Fließgeschwindigkeit liefert hier nur einen Anhaltspunkt, da in größeren Fließgewässern auch größere Bereiche vorliegen, bei denen die lokale Fließgeschwindigkeit wesentlich geringer als die mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$  ist.

Um ein aus biologischer und hydrologischer Sicht vertretbares Kriterium zu definieren, werden anhand einiger Beispiele die Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Querprofils bei Abflüssen im Bereich von  $330Q$  für verschiedene Einzugsgebietsgrößen analysiert. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten liegen für die betrachteten Beispiele bei ca.  $0,6 \text{ m/s}$  für  $330Q$  (Abbildung B.6). Es handelt sich hierbei um Pegel an ausgebauten Gewässerabschnitten.

Anhand der Isotachen an den betrachteten Pegeln kann hydrologisch begründet werden, dass die zulässige mittlere Fließgeschwindigkeit bei Einzugsgebieten größer als  $100 \text{ km}^2$  auf  $0,7 \text{ m/s}$  erhöht werden

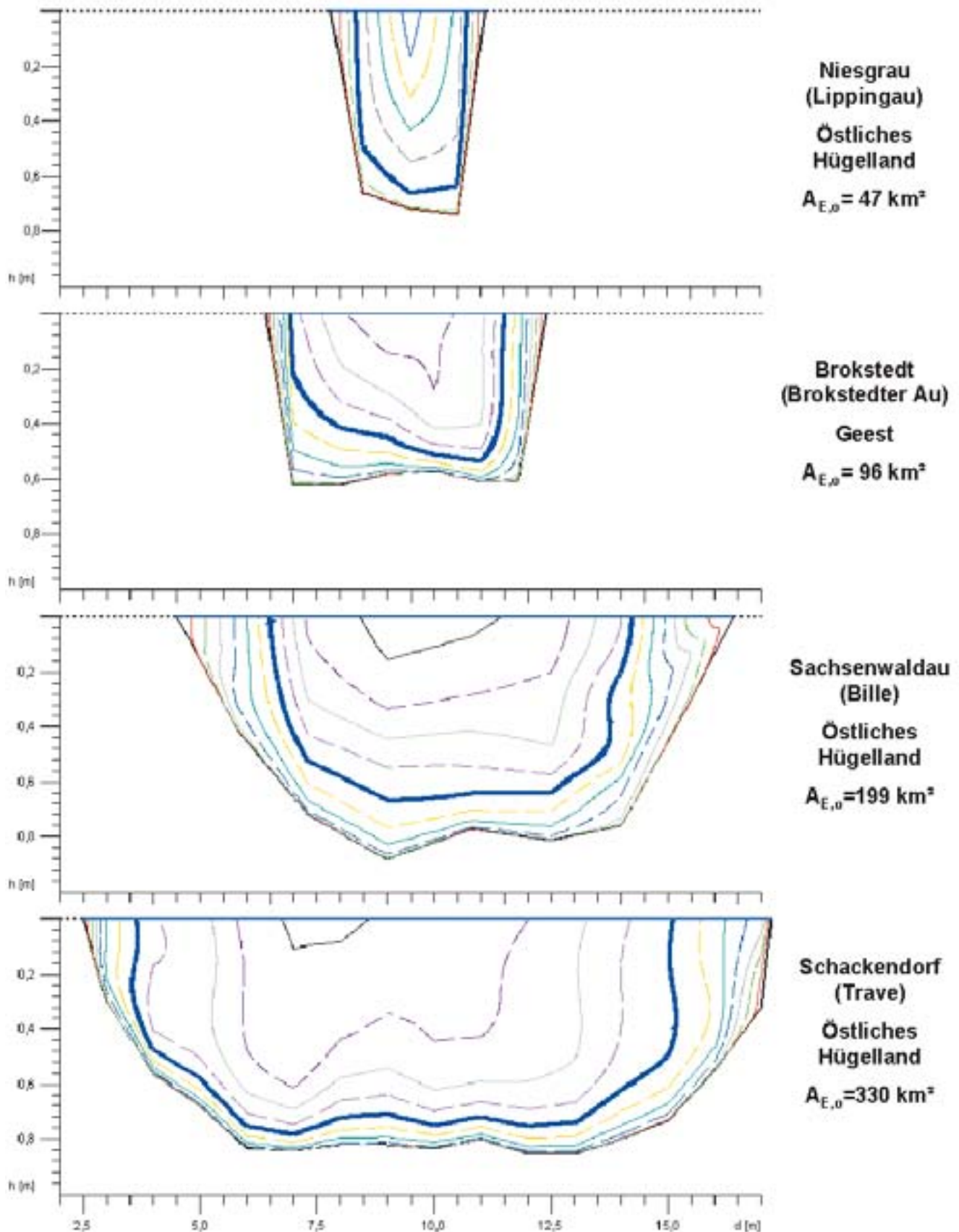


Abbildung B.6: Geschwindigkeitsverteilung im Querprofil für verschiedene Einzugsgebietsgrößen bei Abflüssen im Bereich von 330Q. Die querschnittsgemittelte Fließgeschwindigkeit liegt jeweils bei ca. 0,6 m/s. Die dicke blaue Linie entspricht ca. der 0,5 m/s – Isotache. Während bei Einzugsgebieten, die deutlich kleiner als 100 km<sup>2</sup> sind, nicht ausreichend große Bereiche mit Fließgeschwindigkeiten kleiner als 0,5 m/s vorliegen (oben, Pegel Niesgrau), ist dies bei Einzugsgebietsgrößen, die deutlich größer als 100 km<sup>2</sup> sind (unten, Pegel Sachsenwaldau und Schackendorf), der Fall. Bei Einzugsgebietsgrößen von ca. 100 km<sup>2</sup> (2. von oben, Pegel Brokstedt) sind gerade noch ausreichend große Bereiche mit Fließgeschwindigkeiten kleiner als 0,5 m/s vorhanden.

kann, da in diesen Fließgewässern ausreichend große Randbereiche vorliegen, in denen die lokale Fließgeschwindigkeit kleiner als 0,5 m/s ist.

#### **B.4 Natürliche Gewässerbreite nach Regimetheorie**

Im Allgemeinen sollte die Breite einer Sohle der des Gewässers in seinem natürlichen Zustand entsprechen. Bei ausgebauten Gewässerabschnitten sollte daher geprüft werden, ob die Gewässerbreite innerhalb der aus der Regimetheorie ableitbaren natürlichen Gewässerbreiten liegt.

Im Allgemeinen kann die Gewässerbreite  $b$  mit einer Beziehung der Form

$$b = a \cdot Q_{\text{bordvoll}}^c$$

Gleichung B-1

ermittelt werden.

Nach SCHERLE (1999) können zur Abschätzung von natürlichen Gewässerbreiten Regimegleichungen gut herangezogen werden. Der Exponent  $c$  ist dabei in der Regel in der Größenordnung von 0,5. Das bedeutet, dass die natürliche Gewässerbreite proportional zur Wurzel des bordvollen Abflusses ist, der in der Größenordnung von  $HQ_1$  bis  $MHQ$  liegt. Der Faktor  $a$  ist hingegen stark variabel, er schwankt, wenn  $c = 0,5$  ist, im Bereich zwischen 2 bis 5. Die Variabilität ist im Wesentlichen stark vom anstehenden Substrat beeinflusst.

Somit ergibt sich:

$$b = 2 \dots 5 \cdot \sqrt{MHQ}$$

Gleichung B-2

Die Ausprägung des Querschnitts ist in starkem Maße von der Sedimentstruktur insbesondere dem Lehmgehalt abhängig, dabei gilt:

- Je lehmhaltiger Sohle und Böschung, desto tiefer und schmaler ist das Gewässer eingeschnitten
- Je größer der Lehmgehalt, desto kleiner ist das Verhältnis Gewässerbreite zu Gewässertiefe
- Umgekehrt gilt, je sandhaltiger das Sediment ist, desto breiter und flacher ist das Gewässer
- Mit Zunahme des Abflusses vergrößert sich primär die Gewässerbreite und in geringerem Maße die Wassertiefe

# C Hydrologische Bemessung von Sohlgleiten

Die für die hydraulische Bemessung von Sohlgleiten anzuwendenden Verfahren sind im Wesentlichen im DVWK-Merkblatt 232/1996 beschrieben. Sie sind gemäß den biologischen Anforderungen anzupassen.

## C.1 Geschüttete Bauweise

Geschüttete Bauweisen werden generell empfohlen. Das Gefälle im Naturraum Niedere Geest ist kleiner als 1:50 zu wählen, in der Hohen Geest und im Östlichen Hügelland kann auch ein Gefälle von 1:30 gewählt werden, wenn die Einhaltung der biologischen Forderungen dadurch nicht gefährdet wird. (s. C.1.2).

Die Sohlgleite ist so zu bemessen, dass eine mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$  kleiner als 0,5 m/s für Einzugsgebiete kleiner als 100 km<sup>2</sup> und kleiner als 0,7 m/s für Einzugsgebiete größer als 100 km<sup>2</sup> bei Abflüssen kleiner als  $330Q$  eingehalten wird.

Der Abfluss  $330Q$  kann, wenn keine detaillierten Informationen vorliegen, aus der Abflussdauerlinie eines benachbarten Pegels über Abflussspenden übertragen werden. Liegt kein benachbarter Pegel vor, so können die in B.1 aufgeführten mittleren Abflussspenden verwendet werden.

Die für die hydraulische Berechnung erforderliche mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$  wird aus der Fließformel von DARCY-WEISBACH bestimmt. Der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  sollte nach dem Widerstandsgesetz von COLEBROOK-WHITE angesetzt werden.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit berechnet sich nach DARCY-WEISBACH ZU:

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8gr_{hy}l}$$

Gleichung C-1

$$r_{hy} = \frac{A}{l_u}$$

Gleichung C-2

mit:  $v_m$  = mittlere Geschwindigkeit [m/s]  
 $l$  = Gefälle [-]  
 $A$  = Profilquerschnitt [m<sup>2</sup>]  
 $r_{hy}$  = hydraulischer Radius [m]

$l_u$  = benetzter Umfang [m]

$\lambda$  = Widerstandsbeiwert [-]

Der Widerstandsbeiwert nach COLEBROOK-WHITE lässt sich in Fließgewässern mit rauher Sohle bestimmen zu:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2,03 \log \frac{k_s / r_{hy}}{14,84}$$

Gleichung C-3

mit:  $k_s$  = äquivalente Sandrauheit [m]

$r_{hy}$  = hydraulischer Radius [m]

Der Gültigkeitsbereich dieser Beziehung ist für  $k_s < 0,45 r_{hy}$  angegeben. Die äquivalente Sandrauheit  $k_s$  kann für Sohlsubstrat bestimmt werden zu  $k_s \approx d_{90}$ . Für Steinschüttungen kann der mittlere Steindurchmesser angesetzt werden.

Der Abfluss  $Q$  ergibt sich zu:

$$Q = v_m A$$

Gleichung C-4

mit:  $Q$  = Durchfluss [m<sup>3</sup>/s]

Bei der hydraulischen Berechnung von Sohlgleiten müssen je nach Konstruktion der Fließwiderstand von Störsteinen bei geschütteter Bauweise oder die Steinriegel bei aufgelöster Bauweise gesondert berücksichtigt werden.

### C.1.1 Bemessung von Störsteinen

Beim Einbau von Störsteinen wird die Rauheit des Fließgewässerabschnittes aus der Sohlrauheit und dem Einfluss der Rauheit der Störsteine gebildet. Der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  kann für diesen Fall nach ROUVÉ (1987) berechnet werden zu:

$$\lambda_{ges} = \frac{\lambda_s + \lambda_0(1 - \epsilon_0)}{(1 - \epsilon_v)}$$

Gleichung C-5

mit:

$$\lambda_s = 4c_w \frac{\sum A_s}{A_{0,ges}}$$

Gleichung C-6

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = -2,03 \log \frac{k_s / r_{hy}}{14,84}$$

Gleichung C-7



$$\epsilon_0 = \frac{\sum A_{0,s}}{A_{0,ges}} = \frac{\sum A_{0,s}}{l_u \cdot l} =$$

$$= \frac{\text{Grundfläche der Störsteine}}{\text{betrachtete Gesamtgrundfläche}}$$

Gleichung C-8

$$\epsilon_v = \frac{\sum V_s}{V_{ges}} = \frac{\sum V_s}{A \cdot l} =$$

$$= \frac{\text{eingetauchtes Volumen der Störsteine}}{\text{betrachtetes Gesamtvolumen}}$$

Gleichung C-9

- mit:  $\lambda_{ges}$  = Gesamtwiderstandsbeiwert [-]  
 $\lambda_0$  = Widerstandsbeiwert der Sohle [-]  
 $\lambda_s$  = Widerstandsbeiwert der Störsteine [-]  
 $r_{hy} = A/l_u$  = hydraulischer Radius [m]  
 $k_s$  = äquivalente Sohlrauheit [m]  
 $A_s = d_s \cdot h'$  = angeströmte Fläche der Störsteine [m<sup>2</sup>]  
 $h'$  = Eintauchtiefe der Störsteine [m]  
 $d_s$  = mittlerer Durchmesser der Störsteine  
 $c_w \approx 1,5$  = Formwiderstandsbeiwert [-]

Sollen in unterschiedlichen Profilabschnitten unterschiedliche Steingrößen verwendet werden, so müssen  $\lambda_s$ ,  $\epsilon_0$  und  $\epsilon_v$  entsprechend Gleichung C-6, Gleichung C-8 und Gleichung C-9 ermittelt werden.

Für die praktische Anwendung zur Ermittlung der erforderlichen Störsteinanzahl und -größe kann der Gesamtwiderstandsbeiwert aus der Superposition des Sohl- und des Störsteinwiderstandes gebildet werden:

$$\lambda_{ges} = \lambda_s + \lambda_0$$

Gleichung C-10

Diese Beziehung kann auch zur Bemessung von Profilen mit unterschiedlicher Störsteingröße in verschiedenen Profilabschnitten (NQ, MQ, ...) angewendet werden. Hierbei ist der Störsteinwiderstand getrennt für die Profilabschnitte mit den jeweils relevanten Wassertiefen zu ermitteln.

Es wird darauf hingewiesen, dass zur Ermittlung der Wasserspiegellagen bei Bemessungsabfluss  $HQ_{100}$  oder  $HQ_{50}$  der im DVWK-Merkblatt 232 angegebene Anwendungsbereich  $h_m/h_s < 1,5$  in der Regel überschritten sein wird. Das DVWK-Merkblatt lässt die Frage offen, wie in diesem Fall der Reibungsansatz zu wählen ist, weshalb auch im Rahmen der

Empfehlung keine über das DVWK-Merkblatt 232 hinaus gehenden Empfehlungen gegeben werden können.

$$\lambda_s = 4c_w \frac{A_s}{a_x a_y}$$

Gleichung C-11

- mit:  $A_s = d_s \cdot h'$  = angeströmte Fläche der Störsteine [m<sup>2</sup>]  
 $c_w \approx 1,5$  = Formwiderstandsbeiwert [-]  
 $a_x$  = mittlerer Abstand der Störsteine in Fließrichtung [m]  
 $a_y$  = mittlerer Abstand der Störsteine quer zur Fließrichtung, bei nur einem Stein im Querschnitt ist  $a_y$  gleich der Gerinnebreite [m]

Die maximale Fließgeschwindigkeit in den Engstellen zwischen den Störsteinen kann mit der folgenden Formel abgeschätzt werden:

$$v_{max} = \frac{v_m}{1 - \frac{\sum A_s}{A_{ges}}}$$

Gleichung C-12

- mit:  $v_{max}$  = maximale Geschwindigkeit [m/s]  
 $v_m$  = mittlere Geschwindigkeit [m/s]  
 $\sum A_s$  = Summe der angeströmten Störsteinflächen [m<sup>2</sup>]  
 $A_{ges}$  = Fließquerschnitt [m<sup>2</sup>]

Da die Störsteine unregelmäßig zu verteilen sind, ist von einer hohen Strömungsdiversität innerhalb der Sohlgleite auszugehen. Bei einem maximal zulässigen Anteil der Störsteinfläche innerhalb der Sohlgleite von 20% (Draufsicht), liegt die maximale Geschwindigkeit zwischen den Störsteinen  $v_{max}$  auch ca. 25% über dem geforderten  $v_m$ . Bei der Betrachtung einzelner Profile kann es zu einer darüber hinausgehenden Erhöhung von  $v_m$  kommen. Es wird aufgrund der hohen Strömungsdiversität davon ausgegangen, dass hier keine separate Forderung für die Geschwindigkeit in den Engstellen aufgestellt werden muss, da bei der geschütteten Bauweise anders als bei der Riegelbauweise kein Flaschenhalseffekt auftritt.

Ein Nachweis der FROUDE-Zahl ist aufgrund der geforderten vergleichsweise geringen Fließgeschwindigkeiten und der erwarteten hohen Strömungsdiversität nicht erforderlich. Die oben genannten Berechnungsformeln sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand nur in den folgenden Bereichen gültig:

Gefälle:  $I \leq 1:20$   
 Wassertiefe:  $h_m/h_s < 1,5$   
 mit:  $h_m$  = mittlere Wassertiefe  
 $h_s$  = Störsteinhöhe ab  
 Sohle

Abstände der Störsteine:  $a_x = a_y = 1,5 \text{ bis } 3 d_s$   
 $A_y - d_s > 0.3 \text{ m}$

Die Angaben über den mittleren Störsteinabstand sind für die Bemessung, nicht aber für die Bauausführung maßgebend, da es wünschenswert ist, die Störsteine eher unregelmäßig anzuordnen, um eine hohe Strömungsdiversität zu erreichen.

Ziel sollte es sein, den Großteil der Energieumwandlung durch vergleichsweise große Störsteine in der Niedrigwasserrinne zu realisieren. Oberhalb des Mittelwasserprofils sollten eher kleinere Störsteine Verwendung finden, da diese Bereiche den größten Teil des Jahres trocken liegen.

Grundsätzlich muss beachtet werden, dass die sich aus der Bemessung ergebenden Störsteindurchmesser innerhalb des oben aufgeführten Anwendungsbereiches der verwendeten Berechnungsansätze liegen. Die ambitionierten Forderungen hinsichtlich einzuhaltender Geschwindigkeiten werden es aber erforderlich machen, die Berechnungsansätze auch über den bisher bekannten Anwendungsrahmen hinaus anzuwenden. Daher sollten kleinere Überschreitungen des bisherigen Anwendungsrahmens toleriert werden.

Zur Berechnung von Wasserspiegellagen oberhalb, innerhalb und unterhalb von Sohlgleiten

können Wasserspiegellagenmodelle eingesetzt werden.

### C.1.2 Umsetzung der Bemessung von Störsteinen für die Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse

Der generelle Ablauf der Bemessung von Störsteinen einer geschütteten Sohlgleite ist in Abbildung C.1 dargestellt.

Bei der Optimierung sollten folgende Grundzusammenhänge berücksichtigt werden:

- Das Sohlsubstrat hat nur sehr geringen Einfluss auf die Energieumwandlung.
- Relativ kleine Störsteine im Niedrigwasserprofil erfordern mehr Störsteine im Mittelwasser- und 330Q-Profil, um auch für höhere Abflüsse die Geschwindigkeitsforderungen einhalten zu können.
- Relativ große Wassertiefen erfordern größere Störsteine im Niedrigwasserprofil, um auch im Mittelwasser- und 330Q-Profil noch eine ausreichende Reibungswirkung zu erzielen.
- Je kleiner die Wassertiefen sind, umso leichter lässt sich eine Störsteinfläche kleiner 20% erreichen, umso breiter wird jedoch das erforderliche Profil. Hier besteht die Gefahr eines überbreiten Profils.
- Ein geringes Gefälle führt zu einer geringen Steindichte, jedoch werden insgesamt aufgrund der größeren Länge mehr Störsteine benötigt, womit die Kosten steigen.

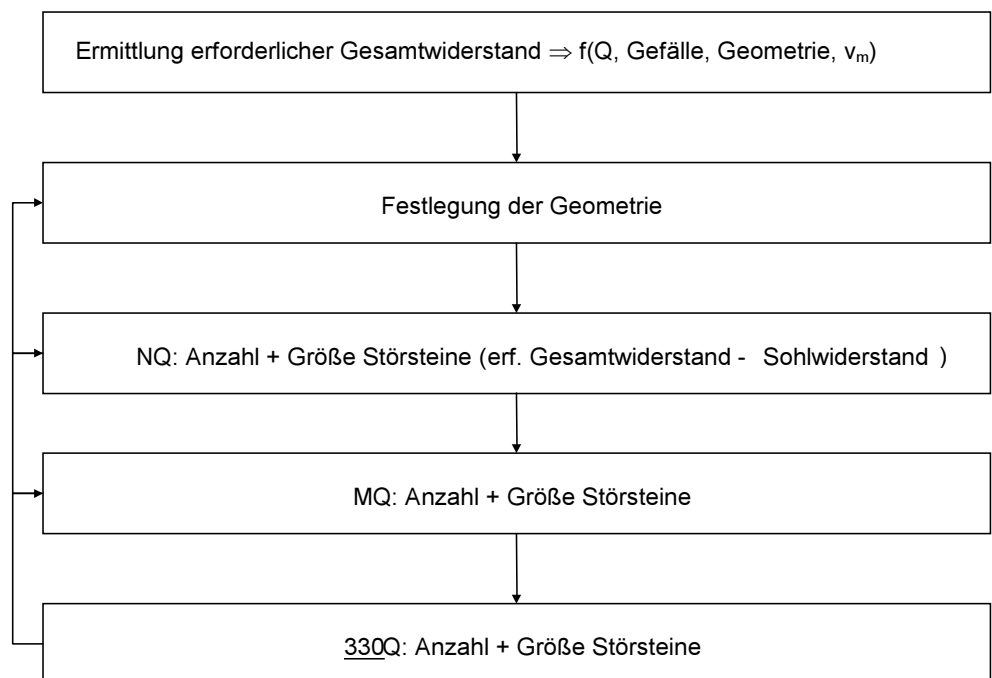


Abbildung C.1: Schematischer Ablauf der Bemessung von geschütteten Sohlgleiten

Folgende Parameter sind so zu optimieren, dass die formulierten biologischen Anforderungen erfüllt werden können:

- Zulässige mittlere Geschwindigkeit  $v_m$
- Gefälle
- Betriebsabfluss MNQ
- Betriebsabfluss MQ
- Betriebsabfluss 330Q
- Geometrie Niedrigwasserquerschnitt ( $h_{MNQ}, b_{MNQ}$ )
- Geometrie Mittelwasserquerschnitt ( $h_{MQ}, b_{MQ}$ )
- Geometrie bei Betriebsabfluss 330Q ( $h_{330Q}, b_{330Q}$ )
- Durchmesser Störsteine Niedrigwasserprofil
- Durchmesser Störsteine Mittelwasserprofil
- Durchmesser Störsteine Hochwasserprofil
- Durchmesser Sohlsubstrat

Bei kleineren Gewässern ist es nicht erforderlich, alle Profile bautechnisch auszubilden. Die Störsteine werden hier in der Regel eine einheitliche Größe aufweisen.

Bei einer Anzahl von 12 freien Parametern müssen eine Anzahl Grundannahmen getroffen werden, um Aussagen treffen zu können, die die gesamte Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse umfassen.

- $V_m(330Q)$  kleiner 0,5 m/s für Einzugsgebiete kleiner 100 km<sup>2</sup>
- $V_m(330Q)$  kleiner 0,7 m/s für Einzugsgebiete größer 100 km<sup>2</sup>
- Ansatz von MNQ = 2,5 l/(s km<sup>2</sup>) \*  $A_{Eo}$
- Ansatz von MQ = 10 l/(s km<sup>2</sup>) \*  $A_{Eo}$
- Ansatz von 330Q = 25 l/(s km<sup>2</sup>) \*  $A_{Eo}$
- Ansatz von  $b_{330Q} = b_{Regime} = 3 \cdot \sqrt{MHQ} = 3 \cdot \sqrt{60} \text{ l/(s km}^2) \cdot A_{Eo}$  (vgl. B.4)
- Geometrische Abmessungen des Profils werden für unterschiedliche Gefälle nicht variiert
- Abmessungen der Störsteine werden für unterschiedliche Gefälle nicht variiert.
- Abmessungen der Störsteine im Niedrig-

und Mittelwasserprofil orientieren sich an der Beziehung:  $d_s$  größer als 0,5 x mittlere Wassertiefe. Im 330Q-Profil muss diese Bedingung nicht eingehalten werden.

- Das Sohlsubstrat hat sehr geringen Einfluss auf Energieumwandlung und wird konstant mit  $d = 0,1 \text{ m}$  angesetzt.

Im Folgenden werden für 3 unterschiedliche Einzugsgebietsgrößen die sich ergebenden geometrischen Abmessungen, erforderlichen Störsteinabmessungen und Störsteinflächen ermittelt. Hierdurch soll ein Überblick gegeben werden, welche Grundzusammenhänge bei der Gestaltung von geschütteten Sohlgleiten zu beachten sind, welcher Spielraum der Bemessung zur Erfüllung der biologischen Anforderungen zur Verfügung steht und in welchen Fällen sich die Erfüllung der biologischen Anforderungen aus hydraulischer Sicht besonders kritisch darstellt. In Tabelle C.1 sind die sich unter den genannten Voraussetzungen ergebenden Profilgeometrien und optimierten Störsteinabmessungen dargestellt.

Aus den Berechnungsergebnissen können folgende Einschätzungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit der biologischen Anforderungen abgeleitet werden:

- **EZG kleiner als 30 km<sup>2</sup>:** Die Erfüllung der biologischen Anforderungen wird bei Sohlgleiten mit einem Gefälle flacher als 1:50 in der Regel möglich sein. Bei einem Gefälle von 1:30 kann die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,5 m/s unter Umständen nicht erfüllt werden. Es wird hier zu prüfen sein, ob man gegebenenfalls eine höhere zulässige Geschwindigkeit (größer als 0,5 m/s), eine höhere zulässige Störsteinfläche (größer als 20%) oder eine breitere Profilgeometrie hinnimmt.
- **EZG 30 – 100 km<sup>2</sup>:** Die Erfüllung der biologischen Anforderungen wird bei einem Gefälle von 1:30 bei einem EZG knapp unter 100 km<sup>2</sup> nahezu unmöglich. Generell

Tabelle C.1: Bemessung von Störsteinen. Ergebnisse für drei charakteristische Einzugsgebietsgrößen. In den grau unterlegten Feldern wird die zulässige Störsteinfläche von 20% überschritten. v: Fließgeschwindigkeit, b\_Reg: Natürliche Gerinnebreite berechnet nach der Regimetheorie, b: Gerinnebreite, h: Wassertiefe, d: Höhe der Störsteine über Sohle.

EZG	Q [m³/s]	Geometrie									1:30		1:50		1:100	
		b_Reg [m]	b (v=0,5) [m]	h (v=0,5) [m]	d (v=0,5) [m]	b (v=0,7) [m]	h (v=0,7) [m]	d (v=0,7) [m]	vm=0,5	vm=0,7	vm=0,5	vm=0,7	vm=0,5	vm=0,7		
									m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s		
30 km <sup>2</sup>	MNQ 0,075		0,8	0,2	0,35	-	-	-	18,9%	-	11,8%	-	4,9%	-		
	MQ 0,3		2,3	0,4	0,1	-	-	-	13,5%	-	11,0%	-	7,6%	-		
	330Q 0,75	4,0	4,5	0,6	0,1	-	-	-	23,4%	-	18,6%	-	11,7%	-		
100 km <sup>2</sup>	MNQ 0,25		1,7	0,3	0,4	1,2	0,3	0,45	25,0%	14,2%	16,9%	8,6%	8,7%	3,5%		
	MQ 1		5	0,6	0,15	3,6	0,6	0,15	24,3%	15,5%	19,1%	11,5%	12,3%	7,1%		
	330Q 2,5	7,3	7,5	1	0,1	7,1	0,9	0,1	58,0%	19,8%	48,6%	15,3%	33,8%	9,3%		
300 km <sup>2</sup>	MNQ 0,75		-	-	-	2,7	0,4	0,5	-	19,0%	-	12,2%	-	5,9%		
	MQ 3		-	-	-	8	0,8	0,2	-	22,0%	-	16,1%	-	9,5%		
	330Q 7,5	12,7	-	-	-	14,3	1,25	0,1	-	29,6%	-	23,9%	-	15,8%		

wird hier zu flacheren Gefällen geraten. Selbst bei einem Gefälle von 1:50 kann die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,5 m/s in der Regel nicht erfüllt werden. Es wird hier zu prüfen sein, ob man gegebenenfalls eine höhere zulässige Geschwindigkeit (größer als 0,5 m/s), eine höhere zulässige Störsteinfläche (größer als 20%) oder eine überbreite Profilgeometrie hinnimmt. Die Riegelbauweise ist allerdings keine Alternative: Da in den Lücken zwischen den Riegeln ohnehin aus hydraulischen Gründen ein  $v_m = 0,7$  m/s hingenommen werden muss (vgl. Kapitel C.2.2), sollte in solchen Fällen eher eine geschüttete Sohlgleite umgesetzt und ein  $v_m$  kleiner als 0,7 m/s hingenommen werden, wodurch die anderen biologischen Anforderungen (Störsteinfläche kleiner als 20%; Profilgeometrie) zu erfüllen sind.

- **EZG 100 – 300 km<sup>2</sup>:** Die Erfüllung der biologischen Anforderungen wird selbst bei Sohlgleiten mit einem Gefälle von 1:30 in der Regel möglich sein.
- **EZG größer als 300 km<sup>2</sup>:** Die Erfüllung der biologischen Anforderungen wird bei Sohlgleiten mit einem Gefälle flacher als 1:50 in der Regel möglich sein. Bei einem Gefälle von 1:30 kann die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,7 m/s unter Umständen nicht erfüllt werden. Hier sollte geprüft werden, ob die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,7 m/s gegebenenfalls erhöht werden kann.

In allen Varianten kommen oberhalb des Mittelwasserprofils nur noch Störsteine mit einem Durchmesser  $d$  von 0,1 m zum Einsatz. Dies steht nur scheinbar im Widerspruch zu der Aussage, dass das Sohlsubstrat, welches einen Durchmesser in der gleichen Größenordnung aufweist, nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtwiderstand hat. Zu unterscheiden ist hier zwischen dem Fließwiderstand einer mehr oder weniger ebenen Fläche und dem Fließwiderstand eines einzelnen exponierten Hindernisses. Bei dem genannten Störsteindurchmesser handelt es sich also um das erforderliche Maß der Exposition des einzelnen Störsteins.

### C.1.3 Nachweis der Stabilität des Sohlsubstrats

Die Standsicherheit der Sohlgleite und die Stabilität des Sohlmaterials sind innerörtlich für ein  $HQ_{100}$  und außerhalb von Ortschaften für ein  $HQ_{50}$  nachzuweisen. In Ausnahmefällen kann bei einem hohen Schadenspotential auch außerörtlich ein Bemessungsabfluss  $HQ_{100}$  angesetzt werden. Um die Stabilität einer Sohl-

gleite zu gewährleisten, müssen die notwendigen Mindeststeingrößen ermittelt werden. Nach WHITTAKER & JAGGI (1986) gilt als Stabilitätskriterium für geschüttete Sohlrampen:

$$q_{zul} = 0,257 \sqrt{g \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} l^{-7/6} d_{65}^{3/2}}$$

Gleichung C-13

GEBLER (1991) empfiehlt für Sohlgleiten in lockerer Bauweise einen zusätzlichen Sicherheitszuschlag von 10 bis 20%. WHITTAKER & JAGGI (1986) empfehlen den zulässigen spezifischen Abfluss  $q_{zul}$  um 20% abzumindern, da Gleichung C-13 für dicht gepackte Schüttsteindeckwerke unter Laborbedingungen ermittelt wurde.

Mit:

$$d_{65} \approx \frac{d_s}{1,06}$$

Gleichung C-14

$\rho_s = 2700$  kg/m<sup>3</sup> und einem Sicherheitszuschlag von 20% ergibt sich folgende vereinfachte Gleichung:

$$q_{zul} = 0,246 \sqrt{g l^{-7/6} d_s^{3/2}}$$

Gleichung C-15

Aufgrund des gegliederten Profils ist der breitenspezifische Abfluss in der Niedrigwasserrinne höher als im Hochwasserprofil, dadurch ist in der Niedrigwasserrinne ein gröberes Sohlsubstrat erforderlich.

- mit:  $q_{zul}$  = zulässiger spezifischer Abfluss [m<sup>3</sup>/(m\*s)]  
 $l$  = Gefälle der Sohlgleite [-]  
 $d_s$  = äquivalenter Kugeldurchmesser der Steine [m]  
 $d_{65}$  = Korndurchmesser bei 65% Siebdurchgang  
 $\rho_s$  = Dichte der Steine [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho_w$  = Dichte des Wassers [kg/m<sup>3</sup>]

Im Folgenden wird für die Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse aufgezeigt, wann die biologischen Anforderungen ohne weitere Einschränkungen umsetzbar sind, ohne die Stabilität des Bauwerks zu gefährden.

Hierzu müssen Grundannahmen getroffen werden, um Aussagen über die gesamte Bandbreite möglicher Verhältnisse treffen zu können:

- Der zulässige spezifische Bemessungsabfluss wird gemäß Gleichung C-15 ermittelt.

## Erforderlicher Durchmesser des Sohlmaterials in Abhängigkeit des Gefälles und $A_{E,o}$

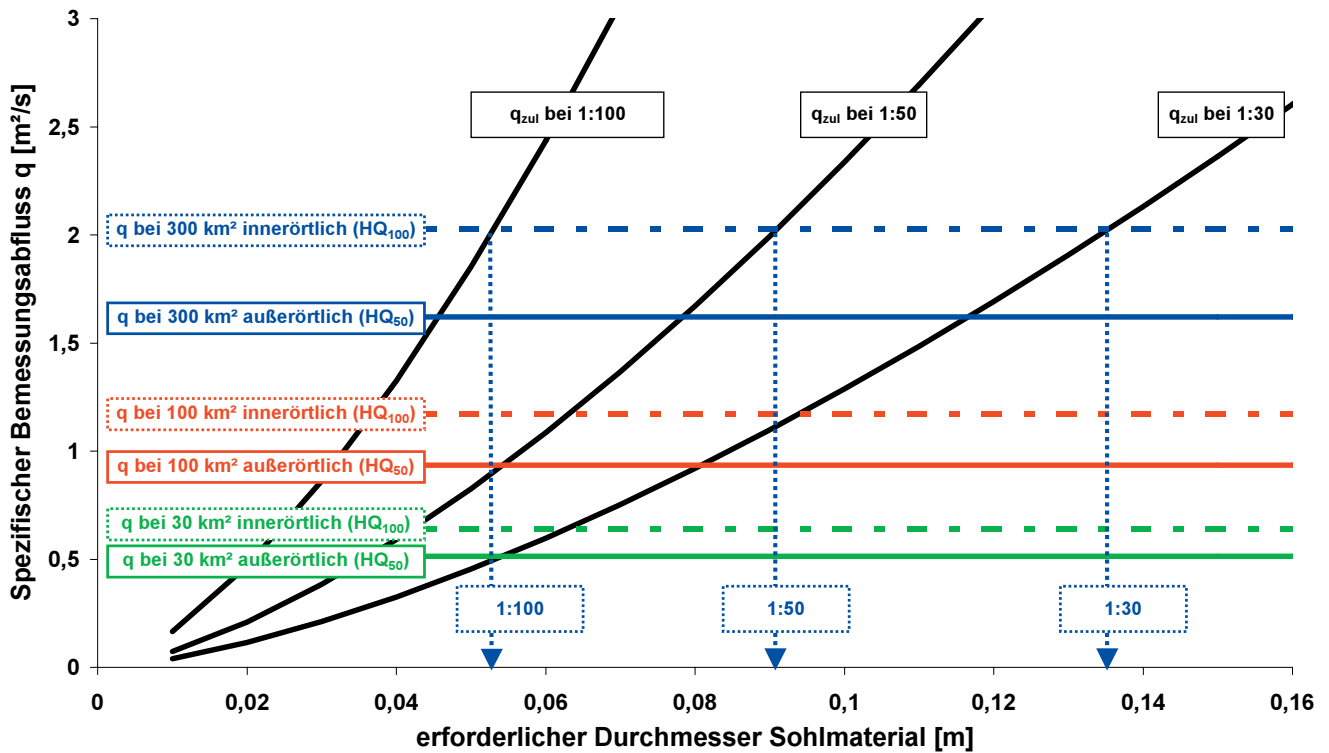


Abbildung C.2: Erforderlicher Durchmesser des Sohlsubstrats. Schwarze Linien: Zulässiger spezifischer Abfluss bei unterschiedlichen Gefällen in Abhängigkeit von der Größe des Sohlsubstrats. Blaue, rote und grüne Linien: Vorhandener spezifischer Bemessungsabfluss für unterschiedliche Einzugsgebietsgrößen. Liegt die schwarze Linie über der bunten, ist das Sohlmaterial lagestabil. Beispielsweise ergibt sich für eine innerörtliche Sohlgleite mit einem EZG von 300 km<sup>2</sup> bei einem Gefälle von 1:50 ein erforderlicher Durchmesser von 0,09 m.

- Der vorhandene spezifische Bemessungsabfluss wird aus  $Q_{\text{Bemessung}}/b_{\text{bordvoll}}$  ermittelt. Innerörtlich wird für  $Q_{\text{Bemessung}} = HQ_{100} = 100 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 \cdot A_{E,o}$  angesetzt. Außerörtlich wird für  $Q_{\text{Bemessung}} = HQ_{50} = 80 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 \cdot A_{E,o}$  angesetzt. Für die bordvolle Gewässerbreite wird gemäß Regime-theorie (vgl. B.4)  $b_{\text{bordvoll}} = 3,5 \cdot \sqrt{MHQ} = 3,5 \cdot \sqrt{60 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 \cdot A_{E,o}}$  angesetzt.

Somit können für das Bemessungsereignis der vorhandene und der zulässige spezifische Abfluss ermittelt werden. Liegt der zulässige spezifische Abfluss über dem vorhandenen, so besteht keine Erosionsgefahr, dabei ist jedoch in der tiefer liegenden Niedrigwasserrinne der breitenspezifische Abfluss gesondert nachzuweisen. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung C.2 dargestellt.

Die Stabilität des Sohlmaterials muss für jede Sohlgleite individuell nachgewiesen werden. Es ist aus Abbildung C.2 jedoch erkenntlich, dass unter den getroffenen Annahmen ein Sohlsubstrat in der Regel lagestabil ist, das in der Größenordnung von 0,08 bis 0,1 m liegt und somit die biologischen Anforderungen erfüllt. In Abhängigkeit des Gefälles lassen sich folgende Aussagen treffen.

- **Gefälle 1:30:** Das aus den biologischen Anforderungen abgeleitete Sohlmaterial mit einem Durchmesser von 8 bis 10 cm wird in der Regel nur bei EZG kleiner als 100 km<sup>2</sup> bei Bemessungsabfluss lagestabil bleiben (innerörtlich: 10 cm; außerörtlich 8 cm). Bei größeren Einzugsgebieten wird zu prüfen sein, ob man größeres Sohlmaterial oder eine unter Umständen überbreite Profilgeometrie hinnimmt. Es wird weiterhin zu prüfen sein, ob durch die vorhandenen Störsteine eine Stabilisierung des Sohlmaterials auftritt.
- **Gefälle 1:50:** Das aus den biologischen Anforderungen abgeleitete Sohlmaterial mit einem Durchmesser von 8 bis 10 cm bleibt bei EZG bis ca. 300 km<sup>2</sup> lagestabil.
- **Gefälle 1:100:** Das aus den biologischen Anforderungen abgeleitete Sohlmaterial mit einem Durchmesser von 8 bis 10 cm bleibt generell lagestabil.

### C.1.4 Umsetzung der gestalterischen Vorgaben

Die Sohlgleite ist aus einer unsortierten Steinschüttung (Naturmaterial) mit Durchmessern 50 - 300 mm als eine durchgehende Stein- und

Kieslage mit einer Schichtdicke von mindestens 30 bis 50 cm herzustellen, sofern die Stabilität für Bemessungsabfluss nachgewiesen wurde. Ein mittlerer Korndurchmesser  $d_m$  von 8 – 10 mm sollte nicht unterschritten werden. Das Porenvolumen dieser Geröllschüttung sollte mit Material der Körnungen 2/16, 8/16 und 16/64 mm verfüllt werden. Feineres Material soll in der Bauphase nicht eingebracht werden. Das Material kann nach Kornfraktionen getrennt angeliefert und vor Ort gemischt eingebaut werden. Alternativ kann eine gemischte, breit gestreute Körnungslinie für das Material direkt Verwendung finden. Ein geeigneter Ungleichförmigkeitsgrad ist in jedem Fall sicherzustellen.

Bei trockener Bauweise kann ein mineralischer Filter gewählt werden, der nach den folgenden Filterregeln (NESTMANN & LEHMANN 2000) beim Übergang vom Deckwerk zum Unterbau und vom Unterbau zu anstehendem Sohlmaterial zu erstellen ist:

Für gestreckte Kornverteilungskurven:

$$\frac{d_{15,F}}{d_{85,B}} \leq 5$$

Gleichung C-16

mit:  $d_{15,F}$  = Korndurchmesser des Filters (gröberes Material) bei 15% Siebdurchgang [m]

$d_{85,B}$  = Korndurchmesser der Basis (feineres Material) bei 85% Siebdurchgang [m]

Für steile, parallele Kornverteilungskurven:

$$\frac{d_{15,F}}{d_{85,B}} \leq 4$$

Gleichung C-17

In nasser Bauweise ist es bautechnisch nicht möglich, diese Filterregeln einzuhalten. Das gleiche Material kann auch im Bereich der Nachbettsicherung eingesetzt werden. Die Schüttung sollte hier ebenfalls eine Schichtdicke von mindestens 30 cm aufweisen.

Die Nachbettsicherung ist wie folgt auszuführen:

Nach GEBLER (1991) ergibt sich die erforderliche Kolkentiefe  $h_{\text{Kolk}}$  zu:

$$t = h_{\text{Kolk}} = \frac{h_R}{3} \text{ bis } \frac{h_R}{2}$$

Gleichung C-18

mit:  $h_{\text{Kolk}}$  = Kolkentiefe [m]  
 $h_R$  = Absturzhöhe [m]

Die Länge des Übergangsbereichs vom Kolk-tiefpunkt bis zur natürlichen Gewässersohle im Unterwasser ergibt sich zu:

$$l_U = 7 \text{ bis } 10 \cdot h_R$$

Gleichung C-19

mit:  $l_U$  = Länge des Übergangsbereichs [m]

Die Kolkbreite sollte nicht breiter als das 330Q-Profil sein.

Da die zulässigen mittleren Fließgeschwindigkeiten  $v_m$  vergleichsweise niedrig liegen, wird zunächst die Anwendung der unteren Grenzwerte von GEBLER (1991) empfohlen. Eine Überprüfung der Bemessungsansätze sollte aber durch Erfolgskontrollen (vgl. D.2) sichergestellt werden. Insbesondere ist eine dauerhafte Ansammlung von Feinmaterial innerhalb und unterhalb des Kolks unerwünscht.

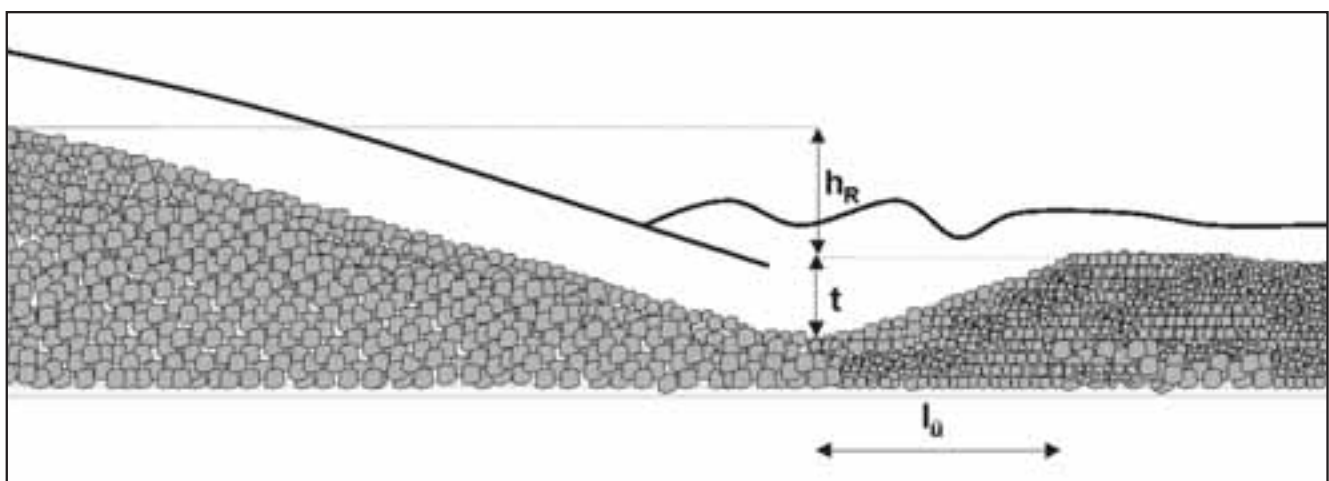


Abbildung C.3: Schemaskizze zur Nachbettsicherung

Die Böschung ist oberhalb des 330Q -Profils mit Lebendbauweise zu sichern.

## C.2 Riegelbauweise

Bei der Riegelbauweise werden einzelne tief gegründete Steinriegel so angeordnet, dass eine Kaskade aus einer Riegel-Becken-Struktur entsteht. Die Becken können mit dem anstehenden Sohlenmaterial verfüllt und einer natürlichen Dynamik überlassen werden. Auf die Einhaltung der maximalen Fließgeschwindigkeit in den Durchlässen soll besonders hingewiesen werden. In den Lücken ist schießender Abfluss zu vermeiden, da schießender Abfluss für die Fischfauna aus reiner Schwimmbewegung heraus physikalisch unmöglich zu überwinden ist. Die Steinriegel bestehen aus einzelnen größeren Feld-, Bruch- oder Wasserbausteinen, zwischen denen sich Durchlassöffnungen befinden. Dabei sollen die Lückenbreiten so bemessen werden, dass es auch bei geringen Abflüssen zu einem Aufstau in den Becken kommt. Gleichzeitig müssen die Lücken eine Mindestbreite aufweisen, um eine Verstopfung zu verhindern.

Zwischen den Steinen sollten Schlitz angeordnet werden, damit eine Durchwanderung der Gleite im Bereich des Sohlsubstrates (auf der Sohle und im Lückensystem) ermöglicht wird.

### C.2.1 Bemessung der Lückenbreiten

Das Abflussverhalten über und durch die Steinriegel kann mit den hydraulischen Gesetzmäßigkeiten des Überfalls über ein Wehr bestimmt werden. Der Einfluss, der durch vollkommenen oder rückgestauten Überfall entsteht, wird durch den Beiwert  $\sigma$  berücksichtigt (Abbildung C.5).

Als Bemessungswerkzeug für Überfälle steht die Poleni-Formel zur Verfügung, die eine ausreichend genaue Abschätzung ermöglicht:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sigma \left( \sum b_s \right) \sqrt{2g} \left( h_u^{3/2} \right)$$

Gleichung C-20

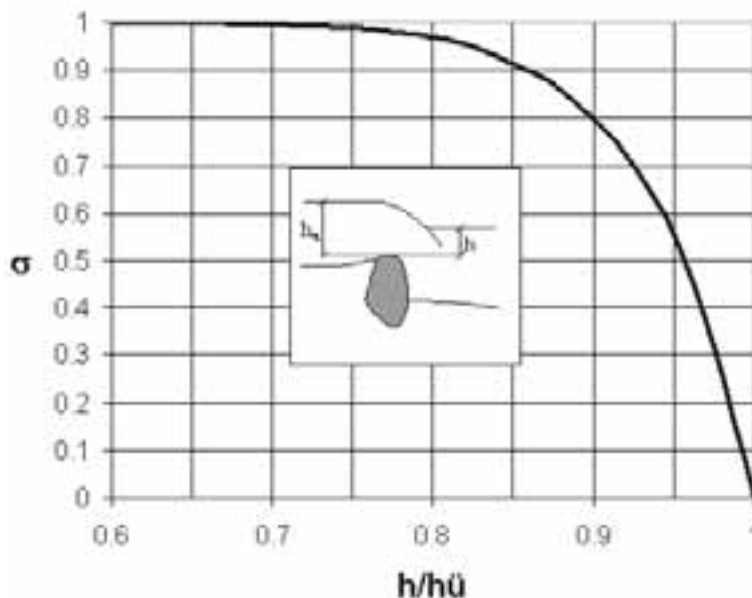


Abbildung C.5: Abminderungsbeiwert  $\sigma$  in Anlehnung an DVWK (1996)

Sollen für einen gewählten minimalen Abfluss die lichten Durchflussbreiten zwischen den einzelnen Steinen der Riegel bestimmt werden, so folgt:

$$\sum b_s = \frac{Q_{\min}}{\frac{2}{3} \mu \sigma \sqrt{2g} \left( h_u^{3/2} \right)}$$

Gleichung C-21

- mit:  $\sum b_s$  = Summe der lichten Durchflussbreiten, d.h. der Lückenbreiten zwischen den Steinen [m]  
 $Q_{\min}$  = minimaler Bemessungsabfluss [m<sup>3</sup>/s]  
 $\mu$  = Überfallbeiwert [-]  
 $\sigma$  = Abminderungsbeiwert nach Abbildung C.5 [-]  
 $h_u$  = Überfallhöhe [m]

Die Überfallbeiwerte für Steinriegel können nach DVWK (1996) abgeschätzt werden zu:

- $\mu$  = 0,5 bis 0,6 für breite, kantige Steine und gebrochenes Material  
 $\mu$  = 0,6 bis 0,8 für abgerundete Steine



Abbildung C.4: Schemaskizze zur Riegelbauweise, bei der die Lücken auf verschiedenen Sohlhöhen und Schlitz mit durchgehender Sohle angeordnet sind.

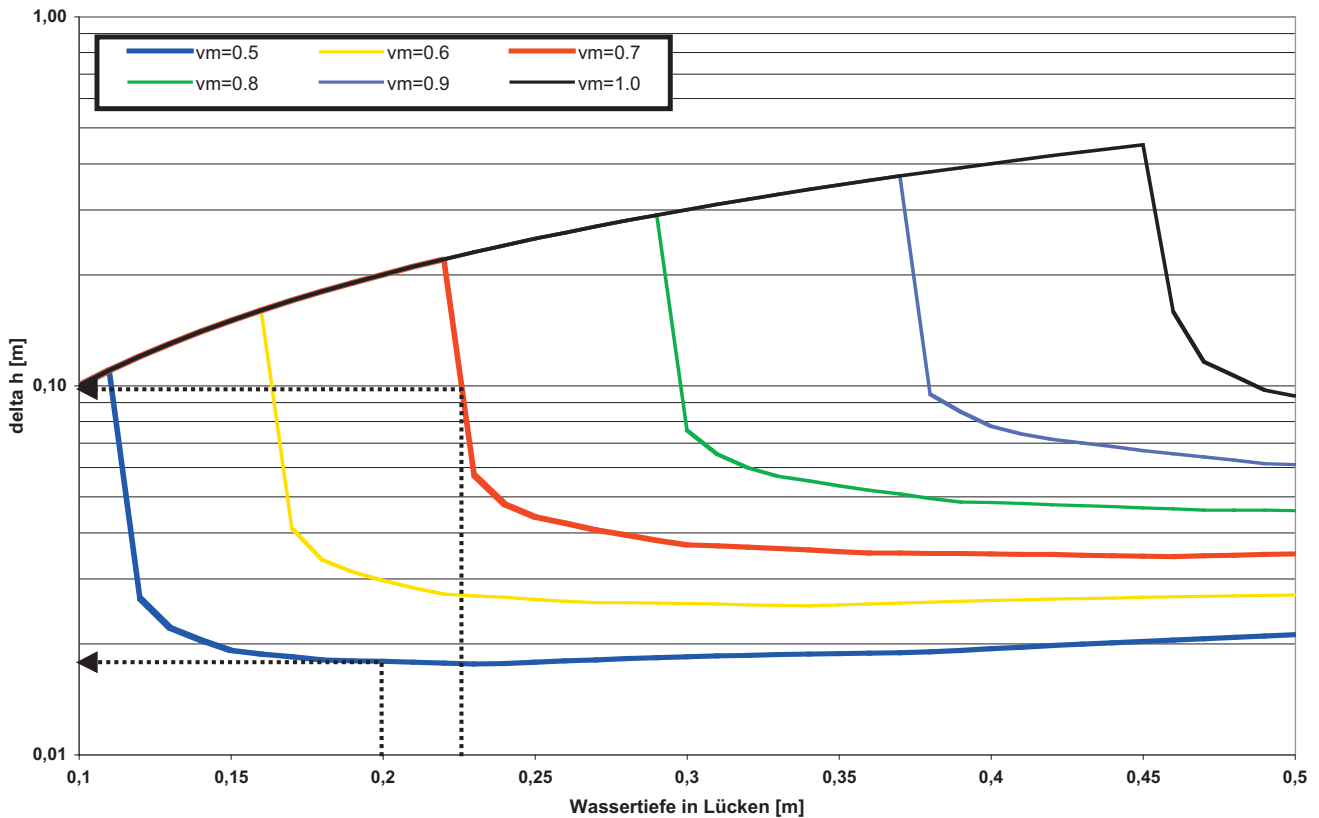


Abbildung C.6: Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit  $v_m$ , Wassertiefe in den Lücken und Wasserspiegeldifferenz  $\Delta h$  zwischen Ober- und Unterwasser. Beispielsweise ergibt sich bei einer zulässigen Wassertiefe in den Lücken von 0,2 m und einer zulässigen mittleren Fließgeschwindigkeit  $v_m$  in den Lücken von 0,5 m/s (blaue Linie) eine zulässige maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser von weniger als 0,02 m. Um eine praktischen Anforderungen genügende Wasserspiegeldifferenz von 0,1 m zu erhalten, muss eine mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$  in den Lücken von 0,7 m/s (rote Linie) hingenommen werden.

Haben die Durchlassöffnungen unterschiedliche Höhen oder werden die Steinriegel vollständig überströmt, müssen die Berechnungen abschnittsweise durchgeführt werden. Bemessungen nach anderen Überfallformeln, z.B. nach der Formel von DU BUAT oder WEISBACH, sind gegenüber der POLENI-Formel theoretisch besser begründet. Da aufgrund der Heterogenität der Riegel eine absolute Genauigkeit nicht erreicht werden kann, ist die Anwendung der Überfallformel von POLENI ausreichend.

Um eine Verstopfung der Lücken zu verhindern, wird eine Mindestlückenbreite von 0,2 m gefordert, sofern die Summe der lichten Durchflussbreiten  $\Sigma b_s$  aus Gleichung C-20 über diesem Grenzwert liegt.

### C.2.2 Umsetzung der Bemessung der Lückenbreiten für die Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse

Im folgenden Berechnungsbeispiel wird exemplarisch aufgezeigt, welche Bandbreite bei der Bemessung der erforderlichen Lückenbreiten zur Verfügung steht, wenn die biologischen Anforderungen eingehalten werden.

Die erforderliche Lückenbreite ergibt sich zu:

$$\Sigma b_s = \frac{Q}{\frac{2}{3} \mu \sigma \sqrt{2g} (h_u^{3/2})}$$

Gleichung C-22

mit:  $\Sigma b_s$  = Summe der lichten Durchflussbreiten, d.h. der Lückenbreiten zwischen den Steinen [m]

$Q$  = Abfluss [m<sup>3</sup>/s]

$\mu$  = Überfallbeiwert [-]

$\sigma$  = Abminderungsbeiwert [-]

$h_u$  = Überfallhöhe [m]

Aus der Kontinuitätsgleichung ergibt sich für Verhältnisse bei Betriebsabfluss:

$$Q = v_m \cdot A = v_m \cdot h_u \cdot b_s$$

Gleichung C-23

Setzt man Gleichung C-23 in Gleichung C-22 ein, so lässt sich nach der Überfallhöhe  $h_u$  auflösen:



$$h_{\bar{u}} = \left( \frac{v_m}{\frac{2}{3} \cdot \mu \sigma \sqrt{2g}} \right)^2$$

Gleichung C-24

Der Abminderungsbeiwert  $\sigma$  ist abhängig von dem Verhältnis (vgl. Abbildung C.5):

$$\frac{h}{h_{\bar{u}}} = \frac{h_{\bar{u}} - \Delta h}{h_{\bar{u}}}$$

Gleichung C-25

Somit lässt sich die zulässige Wasserspiegeldifferenz  $\Delta h$  in Abhängigkeit von der Überfallhöhe  $h_{\bar{u}}$  für verschiedene mittlere Fließgeschwindigkeiten  $v_m$  ausdrücken. Setzt man den Überfallbeiwert  $\mu = 0,5$  (für breite, kantige Steine und gebrochenes Material), so ergibt sich der Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit  $v_m$ , Wassertiefe in den Lücken und Wasserspiegeldifferenz  $\Delta h$  zwischen Ober- und Unterwasser (Abbildung C.6).

Eine mittlere Geschwindigkeit von  $v_m = 0,5$  m/s bei einer Wassertiefe in den Lücken von  $h_{\bar{u}} = 0,2$  m lässt sich nur bei einer Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken  $\Delta h$  kleiner 0,02 m realisieren (Abbildung C.6). Somit lassen sich bei Riegelbauweise nicht alle geforderten hydrologischen Grenzwerte einhalten. Aufgrund der hydraulischen Zusammenhänge muss daher bei Riegelbauweisen von der Forderung einer mittleren Fließgeschwindigkeit  $v_m$  kleiner 0,5 m/s abgewichen werden. Für Riegelbauweisen wird daher eine mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$  kleiner 0,7 m/s gefordert.

Hieraus ergibt sich zwingend, dass die Wassertiefe über der Schwelle nicht größer als 0,20 bis 0,25 m sein darf, wenn eine Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken  $\Delta h \approx 0,1$  bis 0,15 m realisiert werden soll. Die Schwellenhöhe in den Lücken muss daher auf unterschiedliche Abflüsse (MNQ, MQ, 330Q) ausgerichtet sein, um zumindest in einer Lücke Geschwindigkeiten unterhalb des Grenzwerts einhalten zu können (Abbildung C.6).

Folgende Parameter sind bei der Riegelbauweise so zu optimieren, dass die formulierten biologischen Anforderungen erfüllt werden können:

- Zulässige mittlere Geschwindigkeit  $v_m$
- Gefälle
- Betriebsabfluss MNQ
- Betriebsabfluss MQ
- Betriebsabfluss 330Q

- Geometrie Niedrigwasserlücken ( $h_{MNQ}$ ,  $b_{MNQ}$ )
- Geometrie Mittelwasserlücken ( $h_{MQ}$ ,  $b_{MQ}$ )
- Geometrie der Lücken bei Betriebsabfluss 330Q ( $h_{330Q}$ ,  $b_{330Q}$ )

Es müssen eine Anzahl Grundannahmen getroffen werden, um Aussagen treffen zu können, die die gesamte Bandbreite der in Schleswig-Holstein vorkommenden Verhältnisse umfassen:

- $V_m$  kleiner 0,7 m/s in den Lücken für Abflüsse bis 330Q
- Ansatz von MNQ=2,5 l/(s km<sup>2</sup>) \*  $A_{E0}$
- Ansatz von MQ=10 l/(s km<sup>2</sup>) \*  $A_{E0}$
- Ansatz von 330Q =25 l/(s km<sup>2</sup>) \*  $A_{E0}$
- Ansatz des Widerstandsbeiwerts  $\mu = 0,5$  für breite, kantige Steine und gebrochenes Material
- Die minimale Höhe der Wassersäule über Bodenschwellen liegt zwischen 15 bis 20 cm.
- Die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser bei Schwellen beträgt 10 cm (MNQ bis 330Q).

Ziel der Bemessung ist die Berechnung der erforderlichen Lückenbreiten und -höhen für das MNQ-, MQ- und 330Q-Niveau und der Nachweis, dass die geforderte mittlere Geschwindigkeit von 0,7 m/s mindestens in einer der Lücken bis zum Abfluss 330Q eingehalten wird. Die Bemessung wurde für drei verschiedene Einzugsgebietsgrößen beispielhaft durchgeführt (Tabelle C.2).

Aus den Berechnungsergebnissen können folgende Einschätzungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit der biologischen Anforderungen abgeleitet werden:

- Bei Riegelbauweisen muss aus hydraulischen Gründen eine mittlere Fließgeschwindigkeit in den Lücken von  $v_m = 0,7$  m/s hingenommen werden, wenn die Mindestwassertiefe in den Lücken im Bereich von 0,2 m liegen soll. Das schränkt den sinnvollen Einsatz von Sohlgleiten in Riegelbauweise erheblich ein, da ein  $v_m = 0,7$  m/s bei geschütteten Sohlgleiten in nahezu allen Fällen unter Einhaltung der sonstigen biologischen Anforderungen zu erreichen ist.
- Die Einhaltung einer mittleren Fließgeschwindigkeit in den Lücken von  $v_m = 0,7$  m/s ist unabhängig von der Einzugsgebietsgröße und wird lediglich durch die Wassertiefen in den Lücken bestimmt. Dadurch ergeben sich bei unterschiedlichen Einzugsgebietsgrößen immer die gleichen Lückenhöhen, lediglich die Lückenbreite variiert.

Tabelle C.2: Bemessung von Sohlgleiten in der Riegelbauweise (1:30) für verschiedene Einzugsgebietsgrößen. In gelb markiert sind die berechneten Lückenbreiten und zugehörigen mittleren Fließgeschwindigkeiten in den Lücken für einzuhaltende Wasserstände.

AEo [km²]	Q [m³/s]	Lückenhöhe [m]			Lückenbreite [m]			Q [m³/s]			v [m/s]			
		h(NQ)	h(MQ)	h(330Q)	b(NQ)	b(MQ)	b(330Q)	Q(NQ)	Q(MQ)	Q(330Q)	v(NQ)	v(MQ)	v(330Q)	
30	NQ	0,075	0,2	-	-	0,6	-	-	0,08	-	-	0,66	-	-
	MQ	0,3	0,4	0,2	-	0,6	0,7	-	0,25	0,09	-	0,92	0,66	-
	330Q	0,75	0,6	0,4	0,2	0,6	0,7	1,1	0,35	0,25	0,15	1,03	0,92	0,66
100	NQ	0,25	0,2	-	-	1,9	-	-	0,25	-	-	0,66	-	-
	MQ	1	0,4	0,2	-	1,9	2,3	-	0,70	0,30	-	0,92	0,66	-
	330Q	2,5	0,6	0,4	0,2	1,9	2,3	3,7	1,17	0,84	0,49	1,03	0,92	0,66
300	NQ	0,75	0,2	-	-	5,7	-	-	0,75	-	-	0,66	-	-
	MQ	3	0,4	0,2	-	5,7	6,8	-	2,10	0,90	-	0,92	0,66	-
	330Q	7,5	0,6	0,4	0,2	5,7	6,8	11,1	3,51	2,52	1,47	1,03	0,92	0,66

- Eine mittlere Fließgeschwindigkeit in den Lücken von  $v_m = 0,7$  m/s bei Abflüssen bis 330Q kann immer erreicht werden, wenn die Unterkante der Lücken für MNQ, MQ und 330Q auf unterschiedlichem Sohlniveau errichtet werden kann (vgl. Abbildung C.4).
- Die Gesamtbreite einer Sohlgleite in Riegelbauweise wird bei Einhaltung einer mittleren Fließgeschwindigkeit in den Lücken von  $v_m = 0,7$  m/s in der Regel breiter als die natürliche Gewässerbreite sein: Da die Wassertiefen über den Lücken unabhängig von der Einzugsgebietsgröße sind und durch die Einhaltung einer mittleren Fließgeschwindigkeit in den Lücken von  $v_m$  kleiner 0,7 m/s auf eine maximale Wassertiefe von 0,2 m beschränkt sind, ergeben sich folgende Konsequenzen: Werden die Lücken beispielsweise auf drei unterschiedlichen Sohlniveaus (MNQ, MQ, 330Q) angeordnet, ergibt sich daraus eine Wassertiefe bei 330Q von  $3 \times 0,2$  m = 0,6 m. Der notwendige Fließquerschnitt, um den Abfluss abzuführen, muss dann über eine überbreite Profilgeometrie erreicht werden.
- Der sinnvolle Einsatz von Sohlgleiten in Riegelbauweise ist auf solche Fälle begrenzt, in denen es aus bautechnischen oder rechtlichen Gründen nicht möglich ist, ein Gefälle flacher als 1:30 zu wählen. Das maximal zulässige Gefälle ergibt sich hier aus der Forderung einer maximalen Wasserspiegellagendifferenz zwischen Ober- und Unterwasser von 0,1 bis 0,15 m und der Forderung einer minimalen Ausdehnung der Ruhezone (Beckenlängen) zwischen den Riegeln von 3 m. Es ergibt sich also bei Ausreizung aller Bemessungsspielräume ein maximal zulässiges Gefälle von 1:20 (0,15 m / 3 m).
- Unter Umständen kann eine Riegelbauweise bei sehr großen Einzugsgebieten

>> 300 km² dort sinnvoll sein, wo es aus bautechnischen oder rechtlichen Gründen nicht möglich ist, ein Gefälle flacher als 1:30 zu wählen. In solchen Fällen müssen nämlich auch bei geschütteten Sohlgleiten die aus Tabelle C.1 hervorgehenden Einschränkungen hingenommen werden.

### C.2.3 Nachweis der Stabilität des Sohlsubstrats

Das von WHITTAKER & JAGGI (1986) ermittelte Kriterium für Schüttsteingleiten kann auch auf Steinschwellen in aufgelöster Bauweise übertragen werden. Der kritische Steindurchmesser ergibt sich dann zu:

$$d_{\text{krit}} = \frac{q_{\text{zul}}^{2/3} l_{\text{Schwelle}}^{7/9}}{0,404 \left( g \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)^{1/3}}$$

Gleichung C-26

- mit:  $q_{\text{zul}}$  = zulässiger spezifischer Abfluss [m³/(m\*s)]  
 $l_{\text{Schwelle}}$  = Gefälle zwischen zwei Becken [-]  
 $d_{\text{krit}}$  = minimaler Steindurchmesser [m]  
 $\rho_s$  = Dichte der Steine [kg/m³]  
 $\rho_w$  = Dichte des Wassers [kg/m³]

Für die zu erbringenden Standsicherheitsnachweise wird auf DVWK-Merkblatt 232 verwiesen.

# D Erfolgskontrollen

## D.1 Biologische Erfolgskontrollen

Sinnvoll sind biologische Erfolgskontrollen: Für die Fischfauna lassen sich bei großen Fließgewässern Fischzähler (Lichtschranken, Sichtfenster) installieren. Das Vorkommen von Fischen im Bereich der Sohlgleite kann erhoben werden, um gegebenenfalls Akkumulationen von Fischen direkt unterhalb der Gleite bei Wanderzeiten festzustellen, die Hinweise auf eine Barrierewirkung der Gleiten liefern. Bei kleinen Fließgewässern können Markierungen (unterhalb der Sohlgleite) und Wiederfänge (oberhalb der Sohlgleite) von Fischen vorgenommen werden. Es können Reusen im Bereich der Gleitenkrone zur Kontrolle gesetzt werden.

Zu Forschungszwecken lassen sich noch die Transponder-Technik und die Radio-Telemetrie einsetzen. Bezüglich des Makrozoobenthos ist ein Nachweis im Bereich der Sohlgleite zum Vorkommen insbesondere von Arten, die keine flugfähigen Lebensstadien haben, sinnvoll. Konkrete Empfehlungen werden hier nicht gegeben, da sich die Palette sinnvoller Erfolgskontrollen auf die jeweiligen ökologischen und hydrologischen Rahmenbedingungen der Sohlgleite sowie des Fließgewässers bzw. des Einzugsgebiets beziehen muss. Biologische Erfolgskontrollen sollten jedoch durchgeführt werden, wenn die hydromorphologischen Bedingungen in Sohlgleiten von den hier formulierten abweichen.

## D.2 Hydraulische Erfolgskontrollen

Im Bereich der Sohlgleite sind Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen bei verschiedenen Abflüssen (MNO bis MQ, 330Q) zu messen und mit den Planungszielen zu vergleichen. Sie sind direkt nach Fertigstellung der Sohlgleite und nach einem Abfluss größer  $HQ_1$  durchzuführen. Bei ungünstigen Abweichungen sind Nachbesserungen notwendig. Es wird empfohlen, einen Probelauf der fertig gestellten Gleite zur Kontrolle der hydrologischen Größen durchzuführen, der ein Bestandteil der Bauausführung sein kann.

Die Bemessungsansätze zur Dimensionierung eines Kolks bedürfen einer Erfolgskontrolle, da die verwendeten Beziehungen für weitaus höhere mittlere Fließgeschwindigkeiten  $v_m$  in Sohlgleiten ermittelt wurden. Insbesondere ist eine dauerhafte Ansammlung von Feinmaterial innerhalb des Kolks unerwünscht.

Sollten die bei der Bemessung einer geschützten Sohlgleite sich ergebenden Störsteindurchmesser nicht innerhalb des bisherigen Erfahrungsbereichs der angewendeten Verfahren liegen, ist die Funktionstüchtigkeit durch Erfolgskontrollen aufzuzeigen.

# E Zusammenfassung

## E.1 Anforderungen an die Funktion und Bauweise von Sohlgleiten

Die Funktion einer Sohlgleite besteht in der Herstellung der Durchwanderbarkeit des Gewässers für die Gewässerfauna in beide Fließrichtungen. Für die Planung einer Gleite ergeben sich die Zielarten aus der gewässertypischen Fisch- und wirbellosen Fauna sowie den lokalen Rahmenbedingungen. Die ökologischen Ansprüche der Zielarten stellen zusammen mit den physiographischen Eigenschaften des Naturraumes und dem Abflussregime die planerisch einzuhaltenden Parameter bezüglich hydraulischer Eigenschaften, Wasserstände, Morphologie und Sohlsubstrate der Sohlgleite.

Grundsätzlich können baulich zwei Varianten von Sohlgleiten unterschieden werden, die so genannte Riegelbauweise und die geschüttete Bauweise. Bei einer Riegelbauweise wird der Absturz durch eine Abfolge von Riegeln und Becken überwunden, während bei einer geschütteten Sohlgleite die Wasserspiegeldifferenz kontinuierlich über eine flach geneigte Strecke überwunden und die Fließgeschwindigkeit des Wassers durch Störsteine reduziert wird. Die geschüttete Bauweise aus mehrlagiger Steinschüttung ist aus ökologischer Sicht grundsätzlich einer Riegelbauweise vorzuziehen.

Die geschüttete Bauweise mit höherem Gefälle (1:30 bis 1:50) wird für die Naturräume des Östlichen Hügellandes und der Hohen Geest und mit geringem Gefälle (1:50 bis 1:100) in den Naturräumen der Niederen Geest, Niederungen und Mooregebiete für Schleswig-Holstein empfohlen. Die Anlage geschütteter Sohlgleiten ist einfacher umzugestalten als die von Sohlgleiten aus Riegeln, so dass nachträgliche Verbesserungen möglich sind sowie landschaftsplanerisch auch zukünftig mehr Freiräume bestehen.

Die Riegelbauweise mit unregelmäßigen Riegeln (keine Schwellen) kann mit höherem Gefälle ( $\geq 1:30$ ) angewendet werden, falls aus rechtlichen oder bautechnischen Gründen geringere Gefälle oder eine geschüttete Bauweise nicht umsetzbar sind. Prinzipiell sind auch Kombinationen verschiedener Bauvarianten in einer Gleite möglich, wenn es die örtlichen Bedingungen erfordern und die hier formulierten Empfehlungen berücksichtigt werden.

Aufgrund biologischer Anforderungen ist bei Einzugsgebieten kleiner als 100 km<sup>2</sup> nach

Möglichkeit eine mittlere Fließgeschwindigkeit von  $v_m$  kleiner als 0,5 m/s an 330 Tagen im Jahr (330Q) zu gewährleisten, um eine longitudinale Durchgängigkeit zu ermöglichen. Bei Einzugsgebieten größer als 100 km<sup>2</sup> wird eine mittlere Fließgeschwindigkeit von  $v_m$  kleiner als 0,7 m/s an 330 Tagen im Jahr (330Q) gefordert, da hier aufgrund größerer Querprofile ausreichend große Bereiche mit  $v$  kleiner als 0,5 m/s vorliegen. Diese Grenzwerte werden an natürlichen Gewässerabschnitten in Schleswig-Holstein unterschritten, so dass sie auch aus hydrologischer Sicht sinnvoll sind.

Es ist sinnvoll, Idealerweise durchgängige Zonen mit geringen Fließgeschwindigkeiten (mittlere Geschwindigkeit hier 0,2 bis 0,3 m/s für MNQ und MQ), z.B. in den Randbereichen der Sohlgleite, zu errichten. Zudem kann es notwendig sein, ein Niedrigwasserprofil anzulegen, um die geforderten Mindestwasserstände einzuhalten. Die Gleite sollte unbedingt hinsichtlich der Strömung und des Sedimentes an ober- und unterstrom gelegene Abschnitte angebunden sein.

## E.2 Sohlgleiten in geschütteter Bauweise

Bei einer geschütteten Sohlgleite sollte die Störsteinfläche innerhalb der Gleite kleiner als 20% sein. Die Breite sollte sich der Gewässerbreite oberstrom und unterstrom anpassen. Sohlgleiten sollten aus einer durchgehenden Schicht unsortiertem Korn bestehen.

Bei geschütteten Bauweisen ergeben sich folgende Konsequenzen für die konstruktive Umsetzung:

- Bei Einzugsgebieten kleiner als 30 km<sup>2</sup> wird die Erfüllung der biologischen Anforderungen bei Sohlgleiten mit einem Gefälle flacher als 1:50 in der Regel kein Problem sein. Bei einem Gefälle von 1:30 kann die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,5 m/s unter Umständen nicht erfüllt werden. Es wird hier zu prüfen sein, ob man gegebenenfalls eine höhere zulässige Geschwindigkeit größer als 0,5 m/s, eine höhere zulässige Störsteinfläche größer als 20% oder eine breitere Profilgeometrie hinnimmt.
- Bei Einzugsgebieten von 30 bis 100 km<sup>2</sup> wird die Erfüllung der biologischen Anforderungen bei einem Gefälle von 1:30 bei einem EZG knapp unter 100 km<sup>2</sup> nahezu unmöglich. Generell wird hier zu flacheren

Gefällen geraten. Selbst bei einem Gefälle von 1:50 kann die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,5 m/s unter Umständen nicht erfüllt werden. Es wird hier zu prüfen sein, ob man gegebenenfalls eine höhere zulässige Geschwindigkeit (größer als 0,5 m/s), eine höhere zulässige Störsteinfläche (größer als 20%) oder eine überbreite Profilgeometrie hinnimmt.

- Bei Einzugsgebieten von 100 bis 300 km<sup>2</sup> wird die Erfüllung der biologischen Anforderungen selbst bei Sohlgleiten mit einem Gefälle von 1:30 in der Regel möglich sein.
- Bei Einzugsgebieten größer als 300 km<sup>2</sup> wird die Erfüllung der biologischen Anforderungen bei Sohlgleiten mit einem Gefälle flacher als 1:50 in der Regel möglich sein. Bei einem Gefälle von 1:30 kann die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,7 m/s unter Umständen nicht erfüllt werden. Hier sollte geprüft werden, ob die Forderung eines  $v_m(330Q)$  kleiner als 0,7 m/s gegebenenfalls erweitert werden kann. Unter Umständen kann hier auch eine Riegelbauweise sinnvoll sein.

Die Stabilität einer Sohlgleite ist innerörtlich für ein  $HQ_{100}$  und außerhalb von Ortschaften für ein  $HQ_{50}$  nachzuweisen. Es ergeben sich folgende Konsequenzen für die Bemessung:

- Bei einem Gefälle von 1:30 wird das aus den biologischen Anforderungen abgeleitete Sohlmaterial mit einem Durchmesser von 8 bis 10 cm in der Regel nur bei EZG kleiner als 100 km<sup>2</sup> bei Bemessungsabfluss lagestabil bleiben (innerörtlich: 10 cm; außerörtlich 8 cm). Bei größeren Einzugsgebieten wird zu prüfen sein, ob man gröberes Sohlmaterial oder eine überbreite Profilgeometrie hinnimmt.
- Bei einem Gefälle von 1:50 wird das aus den biologischen Anforderungen abgeleitete Sohlmaterial mit einem Durchmesser von 8 bis 10 cm bei EZG bis ca. 300 km<sup>2</sup> lagestabil bleiben.
- Bei einem Gefälle von 1:100 wird das aus den biologischen Anforderungen abgeleitete Sohlmaterial mit einem Durchmesser von 8 bis 10 cm generell lagestabil bleiben.

### E.3 Sohlgleiten in Riegelbauweise

Bei der Riegelbauweise ist es hydraulisch unvermeidbar, dass in den Lücken hohe Fließgeschwindigkeiten auftreten, die die Passierbarkeit verringern. Deshalb ist ein Fließwechsel innerhalb der Lücken unbedingt zu vermeiden, da eine schießende Strömung aus reiner Schwimmbewegung heraus unmöglich überwunden werden kann. Aus hydraulischen Gründen muss bei zulässigen Wassertiefen in den Lücken von ca. 0,2 m eine mittlere Fließgeschwindigkeit in den Lücken von  $v_m \leq 0,7$  m/s zugelassen werden. Das schränkt den sinnvollen Einsatz von Sohlgleiten in Riegelbauweise erheblich ein, da ein  $v_m = 0,7$  m/s bei geschütteten Sohlgleiten in nahezu allen Fällen unter Einhaltung der sonstigen biologischen Anforderungen zu erreichen ist.

Der sinnvolle Einsatz von Sohlgleiten in Riegelbauweise sollte auf solche Fälle begrenzt bleiben, in denen es aus bautechnischen oder rechtlichen Gründen nicht möglich ist, ein Gefälle flacher als 1:30 zu wählen. Das maximal zulässige Gefälle ergibt sich hier aus der Forderung einer maximalen Wasserspiegellagedifferenz zwischen Ober- und Unterwasser von 0,1 bis 0,15 m und der Forderung einer minimalen Ausdehnung der Ruhezonon (Beckenlängen) zwischen den Riegeln von 3 m. Es ergibt sich also bei Ausreizung aller Bemessungsspielräume ein maximal zulässiges Gefälle von 0,15 m / 3 m bzw. 1:20.

# Zitierte Literatur

- ADAM B, BOSSE R, DUMONT U, HADDERINGH R, JØRGENSEN L, KALUSA B, LEHMANN G, PISCHEL R, SCHWEVERS U (2004) Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen. Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. ATV-DVWK, Hennef.
- AMOROS C, ROUX AL, REYGRABELLET J-L, BRAVARD JP, PAUTOU G. (1987) A method for applied ecological studies of fluvial hydro systems. *Regulated Rivers: Research and Management* 1:17–36.
- DVWK (1996) Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DVWK Merkblätter, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas & Wasser mbH, Bonn. Band 232, 110p.
- BÖTTGER T (2003) Die Hege von Fischen in Schleswig-Holstein. Landessportfischereiverband Schleswig-Holstein, Verband der Binnenfischer und Teichwirte Schleswig-Holstein in Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Oberen Fischereibehörde des Landes Schleswig-Holstein. 136p.
- BLAKE RW (1983) *Fish Locomotion*. Cambridge University Press, London. 208 pp.
- BRUNKE M (2001) Wechselwirkungen zwischen Fließgewässern und Grundwasser: Bedeutung für aquatische Biodiversität, Stoffhaushalt und Lebensraumstrukturen. *Wasserwirtschaft* 90: 32-37.
- BRUNKE M (2003) Durchgängigkeit in Fließgewässern aus biologischer Sicht. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft. Infobrief zur EU Wasserrahmenrichtlinie 2/2003: 2.
- BRUNKE M (2004) Stream typology and lake outlets – a perspective towards validation and assessment from northern Germany (Schleswig-Holstein). *Limnologica* 34: 460-478.
- BRUNKE M, GONSER T (1997) The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37: 1-33.
- BRUNKE M, HOFFMANN A, PUSCH P. (2002) Associations between invertebrate assemblages and mesohabitats in a lowland river (Spree, Germany): A chance for predictions? *Archiv für Hydrobiologie* 154: 239-259.
- BUNZEL-DRÜKE M, SCHARF M, ZIMBALL O (2004) Zur Biologie der Quappe. Ein Literaturüberblick und Feldstudien aus der Lippeaue. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 36: 334-340.
- GEBLER R-J (1991) Sohlenrampen und Fischaufstiege, Dissertation, Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe.
- GOWANS ARD, ARMSTRONG JD, PRIEDE IG, MCKELVEY S (2003) Movements of Atlantic salmon migrating upstream through a fish-pass complex in Scotland. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 177 - 189.
- HARTMANN U (2002) Süßwasserfische. Erkennen und bestimmen. Steinbachs Naturführer. Mosaik Verlag, München. 191p.
- HILDREW AG, TOWNSEND C (1994) Species traits in relation to a habitat template for river systems. *Freshwater Biology* 31: 265-275.
- HIRSCHHAUSER T (2003) Was sind Querbauwerke? Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein. Infobrief zur EU-Wasserrahmenrichtlinie 2/2003: 3.
- HÜTTE M (2000) Ökologie und Wasserbau. Ökologische Grundlagen von Gewässerverbauung und Wasserkraftnutzung. Parey, Berlin. 280p.
- JENS G, BORN O, HOHLSTEIN R, KÄMMEREIT M, KLUPP R, LABATZKI P, MAU G, SEIFERT K, WONDRAK P (1997) Fischwanderhilfen. Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler. 114p.
- JUNGWIRTH M, HAIDVOGL G, MOOG O, MUHAR S, SCHMUTZ S (2003) Angewandte Fischökologie in Fließgewässern. Facultas UTB, Wien: 547.

- LAUNHARDT A, MUTZ M (2003) Totholz statt Steine, eine Alternative für Sohlgleiten in abflussschwachen Sandbächen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht 2002 (Braunschweig), Werder. 699-702p.
- LEMCKE R, WINKLER HM (1998) Überwindung von Hindernissen durch wandernde Flußneunaugen. *Wasser & Boden* 3 (50): 15-17.
- MAITLAND PS (2003) Ecology of the River, Brook, and Sea Lamprey. *Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 5*: 52p.
- NESTMANN F, LEHMANN B (2000) Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Heft 63.
- NEUMANN M (2002) Die Süßwasserfische und Neunaugen Schleswig-Holsteins - Rote Liste. Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (Hrsg.), Flintbek. 58p.
- OVIDIO M, PHILIPPART J-C (2002) The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse basin. *Hydrobiologia* 483: 55-69.
- PASCHE E (2002) Empfehlungen zur Gestaltung und Berechnung von Sohlgleiten in Flachlandgewässern. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.
- POTTGIESSER T, SOMMERHAUSER M (2004) Fließgewässertypologie Deutschlands: Die Gewässertypen und ihre Steckbriefe als Beitrag zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. *Handbuch für Angewandte Limnologie*, 7/04 VIII-2.1. ecomed Verlagsgesellschaft Landsberg. (s. auch [www.wasserblick.net](http://www.wasserblick.net) oder [www.fliessgewaesserbewertung.de](http://www.fliessgewaesserbewertung.de) ).
- QUINTELLA BR, ANDRADE NO, KOED A, ALMEIDA PR (2004) Behavioural patterns of sea lampreys' spawning migration through difficult passage areas, studied by electromyogram telemetry. *Journal of Fish Biology* 64: 961 - 972.
- REUSCH H, OTTO C-J, PETERS A (1995) Kontrolluntersuchungen zur ökologischen Effizienz von Sohlgleiten. *Niedersächsisches Landesamt für Ökologie. Nachhaltiges Niedersachsen* 1: 141-156.
- ROUVÉ H (1987) Hydraulische Probleme beim naturnahen Wasserbau. DFG-Forschungsbericht, Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft.
- SCHERLE J (1999) Entwicklung naturnaher Gewässerstrukturen. Grundlagen, Leitbilder, Planung. *Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe Heft 199*.
- SCHLOSSER IJ, ANGERMEIER PL (1995) Spatial variation in demographic processes of lotic fishes: conceptual models, empirical evidence, and implications for conservation. *American Fisheries Society Symposium* 17: 392-401.
- SOMMERHAUSER M, GARNIEL A, POTTGIESSER T (2001) Leitbilder für die Fließgewässer in Schleswig-Holstein. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein. 62pp.
- SOMMERHAUSER M, SCHUMACHER H (2003) *Handbuch der Fließgewässer Norddeutschlands. Typologie, Bewertung, Management - Atlas für die limnologische Praxis*. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg 288p.
- SPRATTE S, HARTMANN U (1998) *Fischartenkataster. Süßwasserfische und Neunaugen in Schleswig-Holstein*. Hrsg. Ministerium für ländliche Räume, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein, Kiel 183p.
- STAHLBERG S, PECKMANN P (1986) Bestimmung der kritischen Strömungsgeschwindigkeit für einheimische Kleinfischarten. *Wasserwirtschaft* 76: 340-342.
- VORDERMEIER T, BOHL E (1999) Biologische Toleranz- und Grenzwerte im Wanderverhalten von Kleinfischen. Kriterien für die Renaturierung kleiner Fließgewässer. *Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Versuchsanlage Wielenbach*. 15p.
- WAGNER A, LEMCKE R (2003) *Fischwanderungen in Binnengewässern - Konzepte, Begriffe und Beispiele*. Ergebnisse einer Literaturstudie. *Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern Heft 29*. 130p.
- WARD JV (1989) The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8:2-8.

- WARD JV (1998) Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation* 83: 269-278.
- WARD JV, BRETSCHKO G, BRUNKE M, DANIELOPOL D, GIBERT J, GONSER T, HILDREW AG (1998) The boundaries of river systems: The meta-zoan perspective. *Freshwater Biology* 40: 531-569.
- WHITTAKER J, JÄGGI M (1996) Blockschwellen, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 91, 1986.
- WINTER HV, VAN DENSEN W (2001) Assessing the opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vecht. *Fisheries Management and Ecology* 8: 513-532.
- ZERRATH H (1996) Sprintleistungen einheimischer Klein- und Jungfische in Sohlgleitenmodellen - Daten zur Bewertung von Fisch-aufstiegshilfen. *Fischökologie* 9: 27-48.
- ZWICK P (1992) Stream habitat fragmentation - a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 1: 80-97.