

# SOHLENEROSION UND AUENAUFLANDUNG

*Empfehlungen zur Gewässerunterhaltung*



DWK - Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft  
für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung



# SOHLENEROSION UND AUENAUFLANDUNG

*Empfehlungen zur Gewässerunterhaltung*

Klaus Kern

DWK - Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft  
für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung



## INHALT

---

VORWORT	5
EINFÜHRUNG	7
SOHLENEROSION	
Formen und Ursachen der linearen Sohlenerosion	13
Ablauf der Sohlenerosion	18
Maßnahmen zur Vermeidung von Sohlenerosion	23
Sanierung von Sohlenerosion	27
Sofortmaßnahmen	27
Sanierung erodierter Strecken	28
Lokale Erosionserscheinungen	36
AUENAUFLANDUNG	
Formen und Ursachen der Auenauflandung	39
Ablauf der Auenauflandung	41
Maßnahmen zur Verringerung der Auenauflandung	42
Sanierung von Gewässertiefen	43
ZUSAMMENFASSUNG	45
LITERATURVERZEICHNIS	47

Aufgrund des Ausbaus und der Begradigung vieler Gewässer haben sich deren hydraulische Verhältnisse stark verändert. Hinzu kommen in vielen Fällen mächtige Auenauflandungen. Unnatürlich eingetieftete Gewässer sind vielfach die Folge.

Eingetieftete Gewässer können ihre vielfältigen ökologischen Funktionen nur eingeschränkt wahrnehmen. Ihre Entwicklungsfähigkeit ist stark behindert und ihr natürliches Rückhaltevermögen ist durch die höhere hydraulische Leistungsfähigkeit nicht mehr gegeben. Tiefenerosion kann unter anderem durch die Begradigung der Gewässer, durch unsachgemäße Gewässerunterhaltung, an Einleitungsstellen der Ortsentwässerung oder auch an Ausbaustrecken auftreten. Auch Geländeauffüllungen in der Talau und Eindeichungen können zu vermehrter Sohlenerosion führen. In manchen Fällen bewirkt auch standortfremde Ufervegetation unerwünschte Eintiefungen der Gewässersohle.

Die Ursachen einer raschen Tiefenerosion und allmählichen Auenaufhöhung werden in der vorliegenden Broschüre anschaulich und praxisnah vorgestellt. Möglichkeiten, die im Rahmen der Unterhaltung der Vermeidung von Tiefenerosion und Auenaufhöhung

dienen, werden diskutiert und anhand von Beispielen anschaulich dargestellt. Besonderer Wert wird darauf gelegt, zur Übertiefung neigende Gewässer frühzeitig zu erkennen. Dadurch können mit geringem Aufwand durch präventive Maßnahmen langfristige Schäden verhindert werden.

Die vorgelegte Broschüre richtet sich an alle Unterhaltungspflichtigen. Sie gibt Hilfestellung und Empfehlungen zur Vermeidung, und zeigt auch in schwerwiegenden Fällen Lösungsmöglichkeiten auf, um die ökologischen und wasserwirtschaftlichen Schäden an eingetieften Gewässern zu beheben. Die Broschüre ist die zweite Veröffentlichung der DVWK - Gemeinnützigen Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung (GFG) mbH zur konkreten Unterstützung der Unterhaltungspflichtigen bei ihrem Auftrag zur naturnahen Entwicklung der Gewässer. *Wiesbaden und Mainz, im Dezember 1998*

**Mdgt. Peter  
Kessler**

Leiter der Abteilung  
Wasserwirtschaft im  
Hessischen Umwelt-  
ministerium

**Mdgt. Hans-Bernd  
Ellwart**

Leiter der Abteilung  
Wasserwirtschaft im  
Ministerium für  
Umwelt und Forsten  
Rheinland-Pfalz

## EINFÜHRUNG

Viele unserer Bäche liegen mit ihrer Sohle ein, zwei oder mehrere Meter unter der umgebenden Aue. In manchen Fällen wurde diese Tieflage durch Ausbau gezielt hergestellt, um das Risiko von Überflutungen zu verringern und gleichzeitig eine Dränung der Aue zu bewirken und damit höhere landwirtschaftliche Erträge zu erzielen. Häufig jedoch ist die heutige Tieflage ganz allmählich entstanden, oft nur von denjenigen zu bemerken, die als Kinder noch im flacheren Gewässerbett gespielt haben. Mitunter sind jedoch auch

rasche Bettzerstörungen zu beobachten, etwa unterhalb von Regenüberläufen, wenn innerhalb weniger Jahre massive Sohlenerosion eintritt.

Ganz unmerklich spielt sich in unseren Talauen jedoch ein anderer Prozess ab – die Auenauflandung. Wir kennen unsere Auen nicht anders als wir sie heute vor uns sehen: selten vollkommen eben, eher mit einer leicht welligen Oberfläche, unter der beim Aufgraben ein lehmig-schluffiges oder auch schluffig-sandiges Erdmaterial zu

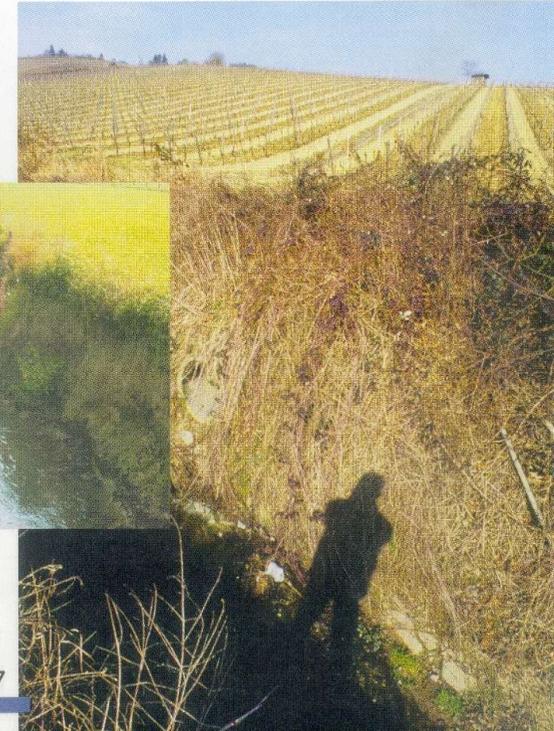
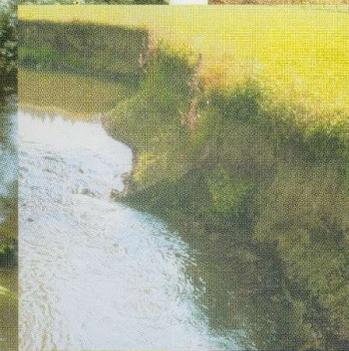
*Durch Sohlenerosion entstanden auf weiten Strecken Steilufer, die nur noch spärlichen Krautwuchs zulassen.*

▼ Foto: Klaus Kern

*Das Maß der Sohleintiefung ist am Rohreinlass zu erkennen.*

▼ Foto: Thomas Paulus

▼ Foto: Albrecht Otto



Tage tritt. Dass sich dieser sogenannte Auenlehm erst in geschichtlicher Zeit abgelagert hat, war bis vor wenigen Jahren nur einigen Fachleuten bekannt.

Während Sohlenerosion in allen Auenbächen auftreten kann und stark von der örtlichen Situation sowie von Art und Ausmaß einer Störung abhängt, ist das Vorkommen von Auenlehmdecken auf flache Talauen beschränkt und tritt nur in Landschaften auf, in denen schluff- und tonhaltige Böden vorhanden sind, wie z.B. in Löss- und in Keupergebieten.

Starke Sohlenerosion ist ein schädlicher Vorgang, wie nachstehend erläutert wird.

Ufererosion ohne gleichzeitige Eintiefung ist dagegen ein Zeichen dafür, dass sich Gewässer allmählich regenerieren. Gehölzentwicklung beispielsweise bewirkt häufig eine Verbreiterung und Verflachung eines zuvor eingegengten Bettes, da die Beschattung den uferstabilisierenden Krautwuchs unterdrückt. Begradigte Gewässer wiederum sind bestrebt, ihren Lauf durch Krümmungserosion zu verlängern.

Im folgenden werden ausschließlich Bachsysteme betrachtet. Für Flüsse über 10 m Wasserspiegelbreite sind die hier getroffenen Aussagen nicht gültig.



Die abgelagerten Auenlehme liegen über den kiesig-steinigen Sedimentschichten.

▼ Foto: Klaus Kern

### Sind Sohlenerosion und Auenauf- landung nicht natürliche Vorgänge?

Aus der Erdgeschichte wissen wir, dass sich die Gewässer beim Transport von Verwitterungsprodukten in das anstehende Gestein einschneiden. Dadurch entstehen im Gebirge oft eng eingekerbte Täler und – wenn die Transportkraft nachlässt – breite Talauen durch Sedimentablagerungen. Diese Vorgänge erstrecken sich natürlicherweise über Zehntausende von Jahren und werden durch tektonische Hebungen und Senkungen überlagert. Die natürliche Erosionsleistung eines Mittelgebirgsbaches dürfte in unseren Regionen bei weniger als einem Millimeter pro Jahr liegen.

Anders verhält es sich mit der Auenauf-  
landung. Altersbestimmungen der oft mehrere Meter mächtigen Auenlehmdecken deuten darauf hin, dass erst die Rodung der Wälder und damit die Kultivierung der Böden zur Entstehung von Sedimentablagerungen in den Auen geführt hat. Die urzeitliche Talau muss demnach aus einer Schichtung von Steinen, Kies, Sand und Schluff bestanden haben, wie sie heute unter den Auenlehmdecken und in auenlehmfreien Tallagen ansteht.



Trockenrisse in Auenlehm.

▼ Foto: Klaus Kern

Schichtung eines Uferabbruchs.

◀ Foto: Klaus Kern

▼ Foto: Christoph Linnenweber

Auenlehmschichten können hohe senkrechte Ufer ausbilden.

▼ Foto: Werner Gleim

### Sind Veränderungen der Sohle durch Geschiebepositionen nicht sogar erwünscht?

Im Prinzip ja. Ein lebendiges Gewässer verändert bei jedem Hochwasser ein wenig sein Erscheinungsbild. Seitenbäche tragen Sand und Kies ins Gewässer ein, und dieses Geschiebmaterial wird vor allem bei Hochwasser ein kurzes Stück weitertransportiert, Sedimente werden am Prallufer erodiert und größtenteils am nächstgelegenen Gleitufer wieder abgelagert (Uferauflandung). Die mittlere Sohlenlage verändert sich dabei nicht. Diese Dynamik ist sogar ein typisches Kennzeichen unbeeinträchtigter Fließgewässer. Davon zu unterscheiden ist eine lineare Sohlenerosion, die auf einer längeren Gewässerstrecke das Sohlenniveau absenkt. Wie schädliche Sohlenerosion von erwünschter, gewässertypischer Sohlendynamik unterschieden

werden kann, wird ► ab Seite 13: *Formen und Ursachen der linearen Sohlenerosion* genauer beschrieben.

*Unter dem Begriff Sohlenerosion versteht man das rasche oder über Jahrzehnte beobachtbare flächenhafte Absenken der mittleren Höhenlage des Sohlenlevels einer Gewässerstrecke durch übermäßigen Sedimentaustrag. Dieses Phänomen wird als lineare Sohlenerosion bezeichnet.*

Von linearer Sohlenerosion sind lokale Auskolkungen zu unterscheiden, die in Krümmungen und an natürlichen oder künstlichen Strömungshindernissen auftreten (► siehe Seite 36: *Lokale Erosionserscheinungen*).

*Prallufererosion und Bankbildung in einem naturnahen, intakten Flachlandbach. Ständiger Seitenschurf und Gleituferrandung führen allmählich zur Laufverlagerung*

▼ ▼ Fotos: Klaus Kern

### Sind Feststoffeinträge nicht sogar wichtig für Auen?

Auch Auen verändern von Natur aus ihr Erscheinungsbild. Der mäandrierende Bachlauf durchpflügt gewissermaßen die Auensedimente. Prallufererosion und Gleituferrandung sind der Motor dieser Umlagerung. Vorübergehende Blockaden des Bachlaufes durch gefallene Bäume, angeschwemmtes Holz oder Eisschollen können zum plötzlichen Ausbrechen des Gewässers in die Aue führen; dabei werden Rinnen erodiert, und manchmal wird die Erosionsrinne sogar zum neuen Bachbett. Nach großen Hochwassern sind im bachnahen Auenbereich häufig kleine Sand- oder gar Kiesablagerungen zu finden, die allerdings bei der Wanderung des Baches in der Aue wieder abgeräumt werden. Eine flächige Auflandung ist dagegen keine natürli-

che Erscheinung. Im Gegensatz zur natürlichen Auenentwicklung lässt sich die Auenauflandung folgendermaßen definieren:

*Auenauflandung ist die unmerkliche, großflächige Aufhöhung der Überschwemmungsaue durch Sedimentation feinsten Partikel, die teils aus Bodenerosion im Einzugsgebiet, teils aus der Ablagerung von Erosionsmaterial aus dem Bachbett stammen.*

### Welche Folgen haben Sohlenerosion und Auenauflandung?

Obwohl Sohlenerosion und Auenauflandung ganz unterschiedliche Ursachen haben, führen sie im Wesentlichen zum gleichen Ergebnis: der Wasserspiegel und damit auch der Grundwasserspiegel liegen zu tief,

*Sandig-kiesiges Material aus Seitenschurf lagert sich an Gleituferrändern wieder ab; erodierte Schluff- und Tonpartikel dagegen tragen zur erneuten Auenlehmbildung bei.*

▼ Foto: Klaus Kern

*Frische Sandablagerungen im Uferbereich nach Hochwasserrückgang.*

▼ Foto: Klaus Kern



10



11



d.h. das Gewässer verliert den Kontakt zur Aue; die Aue wird immer seltener überschwemmt und trocknet im schlimmsten Fall aus – mit katastrophalen Folgen für feuchtigkeitsliebende Tiere und Pflanzen.

Sohlenerosion hat noch andere schwerwiegende Folgen: Laichsubstrate werden ausgespült, Ufer werden instabil und brechen nach, wertvolle gewässertypische Strukturen wie Bänke und Stromschnellen werden zerstört, während sich das Gewässer ein neues Gleichgewicht sucht. Auf so rasche Veränderungen sind weder die Uferpflanzen noch die Bachbewohner eingestellt, daher sind Erosionsstrecken häufig biologisch verodet.

Auf feuchte Standorte angewiesene Tiere wie der Feuersalamander (*Salamandra salamandra*) mit seiner in winterkalten Bächen lebenden Larve sind durch übertiefte Bachbetten in ihren Beständen stark zurückgegangen.

▲ Foto: Thomas Paulus

▼ Foto: Michael Veith



Der Moorfrosch (*Rana arvalis*) ist auf feuchte Auestandorte angewiesen. ◀ Foto: Michael Veith

Auf feuchte Standorte angewiesene Pflanzen wie die Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*) sind durch übertiefte Bachbetten und damit austrocknende Auen gefährdet. ▼ Foto: Dirk Diehl

Nicht zuletzt hat die Übertiefung der Bachbetten auch Nachteile für den Hochwasserschutz: ein großer Teil der Hochwassermengen fließt im vergrößerten Gewässerquerschnitt ab und verteilt sich nicht mehr in der Aue. Durch den Verlust an Retention steigen die Hochwasserstände im Unterlauf an, die Hochwasser laufen schneller ab und verschärfen die Hochwassergefährdung von Siedlungen und Verkehrsanlagen.

Konventionelle Sanierungen übertiefer Gewässer sind in der Regel aufwendig und kostspielig. Deshalb gilt es, Erosionstendenzen schon im Ansatz zu erkennen und vorbeugende Maßnahmen gegen Eintiefung und Auflandung in die Wege zu leiten.

### Formen und Ursachen der linearen Sohlenerosion

Lineare Sohlenerosion tritt dann auf, wenn das Zusammenspiel zwischen Abflussgeschehen, Sedimenttransport und natürlicher Bettformung durch den Menschen gestört wurde. Mitunter genügt schon eine kleine Veränderung einer Komponente, um dieses empfindliche Gleichgewicht folgens schwer zu stören. Während naturnahe Gewässer kleine Veränderungen im Abfluss- und Geschieberegime auch durch Laufverlagerungen ausgleichen können, sind regulierte und ufergesicherte Gewässer stärker erosionsgefährdet.

Zu den Hauptursachen von Sohlenerosion zählen:

- Häufung bordvoller Abflüsse durch Regenwassereinleitungen aus Misch-

und Trennsystemen sowie durch Abflüsse aus Verkehrsflächen

- Erhöhung des Gefälles durch Begradigung des Gewässerlaufes
- Entfernen der natürlichen Grobkorndeckschicht der Sohle bei Gewässerarbeiten
- Entfernen abflusshemmender Strukturen wie Totholz, Steinblöcke, Bänke und Inseln aus dem Gewässerbett
- Erhöhung des Abflussanteils im Gewässerbett durch Ausbau (Vertiefung bzw. Eindeichung)
- Rückhalt von Geschiebe in Speichern, Stauhaltungen und Teichanlagen
- Behinderung des Geschiebeeintrags durch Ufersicherungen
- Festlegung des Gewässerlaufes (Behinderung des Seitenschurfes bei großen Hochwasserabflüssen)
- Eintiefung des Vorfluters und damit Erniedrigung der Erosionsbasis für

Regenwassereinläufe sind oft die Ursache für weitreichende Sohlenerosion.

▼ Foto: Thomas Paulus

Totholz mindert den Strömungsangriff auf die Sohle und fördert Anlandungen. Es sollte nicht beseitigt werden.

▼ Foto: Klaus Kern

- Seitenbäche, d.h. des unteren Fixpunktes im Längsgefälle
- Verlust an Retentionsraum durch Auffüllung gewässernaher Bereiche
- Standortfremde Ufergehölze
- Tiefenerosion nach Zerstörung von Wehranlagen

Folgende Erosionsarten und -mechanismen können unterschieden werden (Längsschnitte ► Abb. Seite 15):

■ **Rückschreitende Sohlenerosion**

Typisch für lokale Störungen des Gewässergleichgewichts, z. B. durch Erhöhung des Gefälles bei Begradiungen oder nach Tieferlegung bzw. Eintiefung nachfolgender, übergeordneter Gewässer; Kennzeichen sind **wandernde Erosionsstufen**, deren Höhe mit wachsender Entfernung von der Störung abnimmt (► Abb. unten).

■ **Bachabwärts fortschreitende, keilförmige Sohlenerosion**

Typisch für Störungen des Sedi- menttransports an Sperrenbauwer- ken; Aufnahme der fehlenden Geschiebemenge im Unterwasser der Bauwerke; mit wachsender Entfernung vom Sperrenbauwerk abnehmende Eintiefung (auskei- lend); nur relevant in geschiebe- führenden Auenbächen und -flüssen.

■ **Bachabwärts gerichtete flächige Schichterrosion**

Typisch für Störungen im Abfluss- regime, z. B. unterhalb von Regen- überläufen oder Wasserüberleitun- gen, bei Kraftwerksschwellbetrieb in freien Fließstrecken, evtl. auch unterhalb von Sperrenbauwerken im Mittelgebirge; oftmals bis zum nächsten Vorfluter reichende Eintiefung des Gewässerbettes

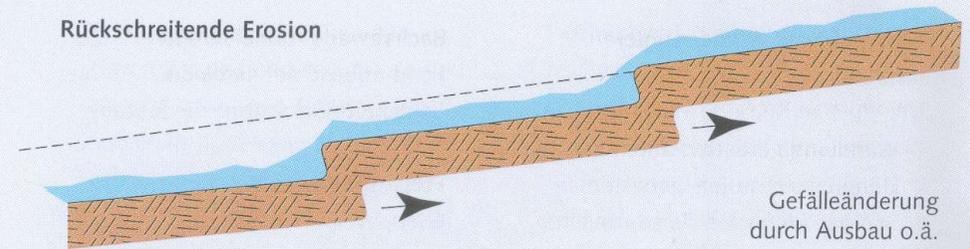
■ **Mischformen**

Häufig überlagern sich verschiedene Erosionsformen. Regenwassereinlei- tungen, beispielsweise, können nach der unterwasserseitigen Eintiefung der Sohle auch rückschreitende Erosion auslösen.

*Gefällelufen, die nicht an Felsriegel oder künstliche Schwellen gebunden sind, weisen auf rückschreitende Sohlenerosion hin.*

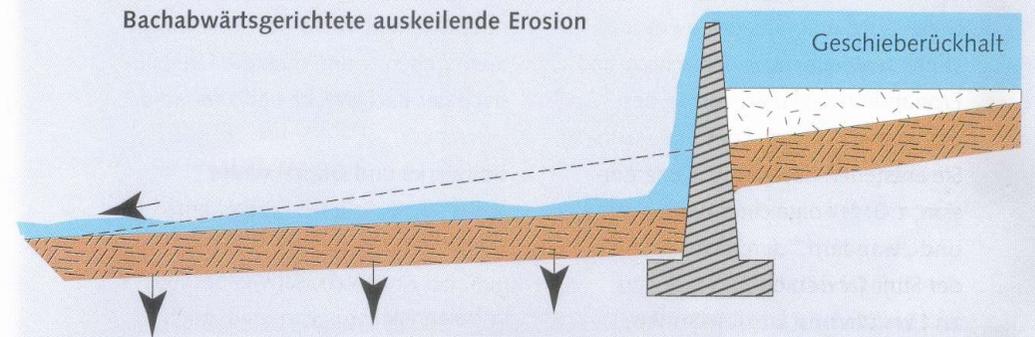
◀ Foto: Klaus Kern

**Rückschreitende Erosion**

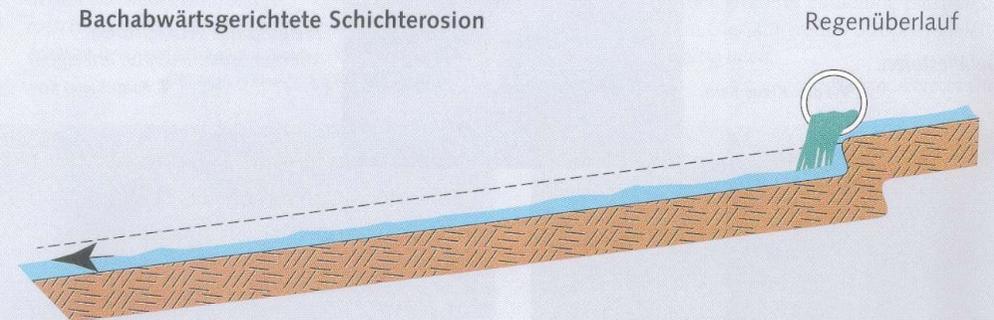


Gefälleänderung durch Ausbau o.ä.

**Bachabwärtsgerichtete auskeilende Erosion**



**Bachabwärtsgerichtete Schichterrosion**



▲ Darstellung unterschiedlicher Erosionsarten im Längsschnitt

► verändert nach Entwurf von Klaus Kern



Was sind die Kennzeichen der linearen Sohlenerosion?

#### ■ Wandernde Erosionsstufen

Unter Erosionsstufen versteht man Sprünge im Sohlenniveau, die einen anscheinend natürlichen Absturz bilden, jedoch keinen Felsenriegel als Basis haben. Sie sind oft 20-80 cm hoch, können jedoch auch über einen Meter ausmachen. Manchmal liegen auch mehrere kleine Erosionsstufen hintereinander. Tatsächlich sind Erosionsstufen das Ergebnis einer Störung im Gewässergleichgewicht. Sie entstehen durch eine lokale Erosion, z. B. in Folge einer Begradigung, und „wandern“ durch Unterspülen der Stufe jährlich bis zu 15 m bachaufwärts. Der Mechanismus der aufwärts wandernden Erosionsstufen blieb in

Gefällestufen.

▼ Foto: Klaus Kern



*Freigespülte Durchlässe sind ein verlässliches Zeichen für das Maß der Eintiefung.*

◀ Foto: Klaus Kern

*Freigespülte Wurzelstöcke können Sohlenerosion anzeigen.*

▼ Foto: Klaus Kern

der Wasserwirtschaft bisher weitgehend unbeachtet, hat jedoch für die Sohlenerosion zentrale Bedeutung.

#### ■ Freigespülte Wurzelsäume

Erlen, Weiden und Eschen wurzeln von Natur aus knapp über der Wasserlinie. Liegt der Wurzelteller standortgerechter Uferbäume durchgehend mindestens 50 cm über dem heutigen Niedrigwasserspiegel, so ist mit Sicherheit von einer Eintiefung auszugehen, wenn mehrere Uferbäume einer Bachstrecke betroffen sind.

#### ■ Bauwerke und Dräeinläufe

Unterspülte Brückenfundamente, freiliegende Rohrdurchlässe, in

Böschungsmitteln einmündende Dränrohre und andere Einläufe sind ebenfalls deutliche Anzeiger für Sohlenerosion, soweit es sich nicht um lokale Auskolkungen handelt.

#### ■ Instabile Ufer

Weitläufige Böschungsrutschungen, beidseitig oder wechselseitig; in Auenlehm oft muschelförmige Abbrüche (Rotationsbruch); in Lösslehm steile, weitgehend vegetationslose Erosionsufer auf beiden Seiten; bei älteren Rutschungen Säbelwachstum von Uferbäumen im Böschungsbereich.

*Säbelwachstum von Uferbäumen deutet auf ältere Böschungsrutschungen hin, die durch Sohlenerosion verursacht sein können.*

▼ Foto: Thomas Paulus

#### ■ Hochliegende Seitenbäche

Bacheintiefungen bedeuten auch immer eine Störung für einmündende Zuflüsse, in denen ebenfalls rückschreitende Erosion ausgelöst wird. Das Maß der Eintiefung kann gegebenenfalls aus der ursprünglichen Höhenlage der Seitenbäche geschätzt werden. Hierzu sind auch kleinste Wiesenzuflüsse geeignet.



*Die Höhenlage von Seitenbächen gibt ebenfalls Aufschluss über das Maß der Eintiefung.*

◀ Foto: Thomas Paulus

*Nach größerer Eintiefung brechen die Ufer auf weiten Strecken gleichzeitig nach.*

▼ Foto: Albrecht Otto

**■ Kleines Breiten-Tiefen-Verhältnis**

Ein Breiten-Tiefen-Verhältnis von weniger als 4:1 weist ebenfalls auf ein übertieftes Profil hin. Allerdings kann die Übertiefung auch auf Ausbau oder Auenauflandung zurückgehen. Die Betttiefe wird dabei auf die mittlere Sohlenlage und das Vorland- bzw. Auenniveau bezogen. Die Bettbreite wird zwischen den oberen Ufer- oder Böschungskanten gemessen.

Nicht alle Anzeichen von Erosion können von Laien zweifelsfrei zugeordnet werden. Beispielsweise können Wurzeln auch durch Seitenschurf freigespült worden sein. Instabile Ufer können auch durch Breitenerosion oder Pralluferangriff entstehen. Die Strukturparameter „Profiltyp“ („Erosionsprofil“) und „Profiltiefe“ („sehr tief“, „tief“) können ebenfalls einen Hinweis auf Eintiefung geben.

**Ablauf der Sohlenerosion**

Die Kartierung von Kennzeichen der Erosion ergeben immer nur eine Momentaufnahme, und nur in wenigen Fällen wurden Erosionsvorgänge systematisch langjährig beobachtet und aufgezeichnet. Es ist jedoch bekannt, dass Sohlenerosionen in Bächen nach einem bestimmten zeitlichen und räumlichen Schema ablaufen (Simon 1989, Hupp 1997):

*Phase 1*

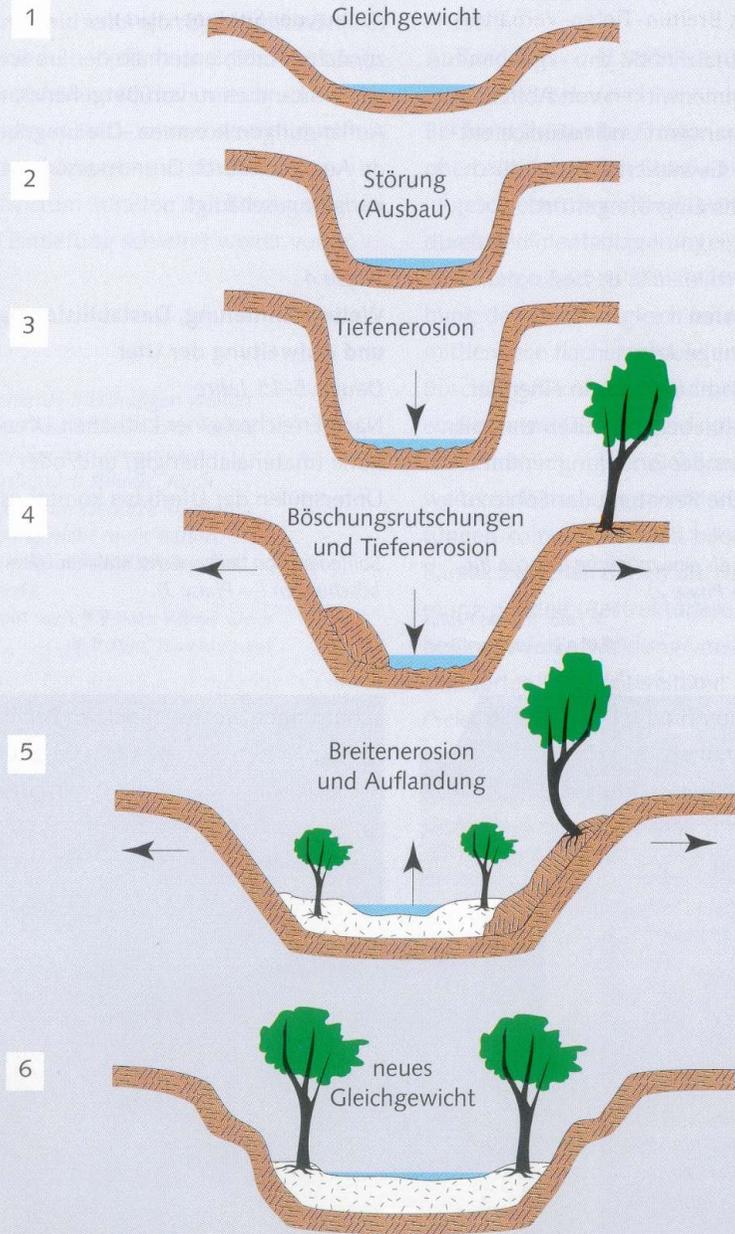
**Gleichgewichtszustand**

Die Bachsohle befindet sich in einem dynamischen Gleichgewicht, d. h. der Geschiebeeintrag von Oberstrom entspricht dem unterstromigen Austrag; kleinräumige Auskolkungen und Aufschüttungen wechseln sich im Bachbett ab; die Höhenlage der Sohle verändert sich augenscheinlich auch über Jahrzehnte nicht wesentlich; geringfügige Ufererosion findet vornehmlich in Außenufern statt.



Der Gleichgewichtszustand von Auebächen (→ Phase 1) ist durch ein flaches Bett und eine naturnahe Linienführung gekennzeichnet.

► Foto: Klaus Kern



▲ Unterschiedliche Entwicklungsphasen von Erosionsgewässern

► verändert nach Entwurf von Klaus Kern aus Hupp 1997

**Phase 2****Störung**

Das Zusammenwirken von Abfluss, Sedimenttransport und natürlich entwickeltem Gewässerbett wird durch menschliche Eingriffe gestört.

**Phase 3****Sohlenerosion**

*Dauer: wenige Jahre*

Das Gewässer tiefte sich in einer der oben beschriebenen Weisen ein; mit fortschreitender Eintiefung nimmt die hydraulische Belastung der Sohle zu

*Bachbegradigung als eine mögliche Ursache für Sohlenerosion (→ Phase 2).*

▼ Foto: Thomas Paulus

▼▼ Foto: Werner Gleim

(Selbstverstärkung): die Ufer bleiben zunächst stabil; unterhalb der Erosionsstrecke kann es zu vorübergehenden Auflandungen kommen. Die umgebende Aue wird durch Grundwassersenkungen geschädigt.

**Phase 4****Weitere Eintiefung, Destabilisierung und Aufweitung der Ufer**

*Dauer: 5-15 Jahre*

Nach Erreichen einer kritischen Uferhöhe (materialabhängig) und/oder Unterspülen der Uferbasis kommt es zu

*Sohlenerosion bei zunächst stabilen Uferböschungen (→ Phase 3).*

▼ Foto: Thomas Paulus

Massenrutschungen der Ufer und damit zu bedeutender Betaufweitung; Ufergehölze rutschen mit ab und weisen später – soweit sie sich noch halten können – ein säbelförmiges Wachstum inmitten der Böschung auf; die Eintiefung schreitet weiter voran.

*Nachrutschende Böschungen weiten das Bett auf und können zum Auftreten kleiner Bermen im unteren Böschungsbereich führen. Auch standortgerechte Gehölze können die Böschung nicht mehr halten, die Eintiefung schreitet weiter fort (→ Phase 4).*

▼ Foto: Werner Gleim

▼▼ Foto: Thomas Paulus

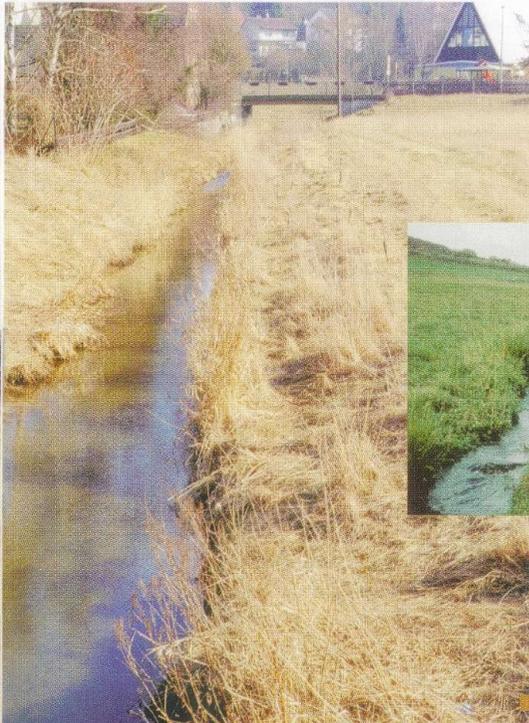
**Phase 5****Auflandungs- und Stabilisierungsphase**

*Dauer: Jahrzehnte*

Bei fortschreitender Erosion von weiter oberhalb gelegenen Strecken kommt es in geschiefbeführenden Gewässern durch Sedimentablagerungen im aufgeweiteten Bett zu allmählicher Anhebung der Sohle; zugleich landen die mittlerweile flacher geneigten mittleren Böschungsf lächen auf und begünstigen eine erneute Gehölzentwicklung; im oberen Böschungsbereich kann es zu weiteren Rutschungen und Betaufweitungen kommen; im Bett bilden sich Bänke, zwischen denen die Hauptströmung pendelt (Restrukturierung); beginnende Entwicklung von Auenstandorten im aufgeweiteten Bachbett (Sekundäraue).

*Nach Abklingen der Sohlenerosion und starker Betaufweitung hat sich an diesem Bachlauf eine schmale Aue auf tieferem Niveau gebildet. Starker Seitenschurf weist darauf hin, daß noch kein Gleichgewicht besteht; die Altaue wird künftig seltener überflutet (→ Phase 5).*

▼ Foto: Klaus Kern



## Phase 6

**Neue Gleichgewichtsphase**

Das Bett beginnt sich mit ausgeprägter Bankbildung erneut zu krümmen und verringert dadurch weiter sein Gefälle bis ein erneuter Gleichgewichtszustand zwischen Abflussgeschehen, Sedimenttransport und Gerinneform erreicht ist; in der Regel wird dies auf einem leicht eingetieften Talniveau geschehen; die Altaue wird nur noch selten überflutet (anthropogen bedingte Terrassenbildung) und bleibt geschädigt.

Der vollständige Durchlauf dieser Entwicklungsphasen ist bei rückschreitender Erosion und bei ungestörtem Geschiebehalt zu erwarten. Geschiebemangel führt dazu, dass die Sohlenerosion nur teilweise durch Auflandungen ausgeglichen wird und das eingetiefte Niveau die Höhenlage der neu gebildeten Bachaue bestimmt. Viele unserer Gewässer befinden sich in

den charakteristischen Erosionsphasen 3 und 4. Der Übergang zu Phase 5 ist daran zu erkennen, dass nur noch im oberen Böschungsbereich Rutschungen zu beobachten sind, der Bachlauf deutliche Ansätze zur Stromstrichverlagerung zeigt und somit die Eintiefungstendenz von der Seitenentwicklung abgelöst wird. Allerdings liegen hierzu in unserer Region kaum Erfahrungen vor. Inwieweit die Erosionsarten unterschiedlich reagieren, ist deshalb nicht bekannt.

Die mittel- und langfristigen **Folgen** des oben beschriebenen Erosionsablaufes sind schwerwiegend:

- Zerstörung der Ufergehölzgürtel
- Austrocknung der bachnahen Auenbereiche
- Reduzierung der Ausuferungshäufigkeit
- Langfristige Inanspruchnahme großer Bereiche des Talraumes

*Dieses eingetiefte Tälchen neben einer höher gelegenen Aue könnte das Ergebnis von Sohlenerosion mit anschließender Gleichgewichtsbildung des Bachlaufs auf tieferem Niveau sein (→ Phase 6).*

► Foto: Klaus Kern

**Maßnahmen zur Vermeidung von Sohlenerosion**

Wirtschaftlicher und erfolgversprechender als alle Sanierungen sind vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung linearer Sohlenerosion. Hierzu gehören:

- **Versickerung von Niederschlagswasser**

Bei der Ausweisung von Neubaugebieten sollte die Versickerung von Niederschlagswasser aus Dach- und Hofflächen heute so selbstverständlich sein wie der Bau von Niedrigenergiehäusern.

*Versickerung von Niederschlagswasser auf einem Gewerbegebiet.* ▼ Foto: Werner Gleim



- **Reduzierung von Abflussspitzen aus Regenwassereinleitungen**

Unvermeidliche Einleitungen aus Mischwasserentlastungen, Regenwasserkanälen und Verkehrsflächen sind durch Dämpfungsbecken möglichst so abzupuffern, dass ein weitgehend natürliches Abflussverhalten erreicht wird.

- **Keine Verkürzung der Lauflänge bei Gewässerverlegungen**

Bei unvermeidlichen Gewässerverlegungen muss eine Gefälleerhöhung unbedingt vermieden werden.

- **Keine Erhöhung der Abflusskapazität durch Ausbau**

Bei Renaturierungen, Ausgleichsmaßnahmen oder Gewässerverlegungen darf die natürliche Abflussleistung des Gewässers nicht erhöht werden.

- **Unterstützung der natürlichen Gewässerverlagerung**

Die Verlagerung eines Gewässerlaufes ist ein natürlicher Vorgang, durch den eine bestehende Gleichgewichtslage erhalten bleibt bzw. immer neu einreguliert werden kann. Allmähliche, geringe Veränderungen

im Abfluss- und Geschieberegime können durch natürliche Laufverlagerungen mit entsprechenden Gefälleanpassungen ausgeglichen werden. Den Auebächen sollte deshalb, wo immer möglich, der notwendige Entwicklungsraum belassen werden.

■ Förderung der Auenretention

Jeder Retentionsraumverlust bedeutet letztlich eine Abflussverschärfung im Gerinne. Als Ausgleich für bereits verlorengegangene Überschwemmungsflächen ist jede Chance für die Schaffung zusätzlichen Überschwemmungsraums oder für die Verzögerung des Abflusses aus der Fläche zu nutzen.

■ Bewahrung natürlicher Sohlendeckschichten

Die sogenannte Selbstabpflasterung von Bächen und Flüssen ist ein natürlicher Schutz vor Eintiefung. Schon durch kleinste Arbeiten an der Sohle kann in Bächen eine Fehlstelle entstehen, die bei ungünstigen Randbedingungen großflächige Sohlenerosion auslösen kann. Deshalb ist bei notwendigen Unterhaltungsarbeiten, insbesondere bei Sohlenräumungen, auf die Erhaltung der natürlichen Sohlendeckschicht zu achten.

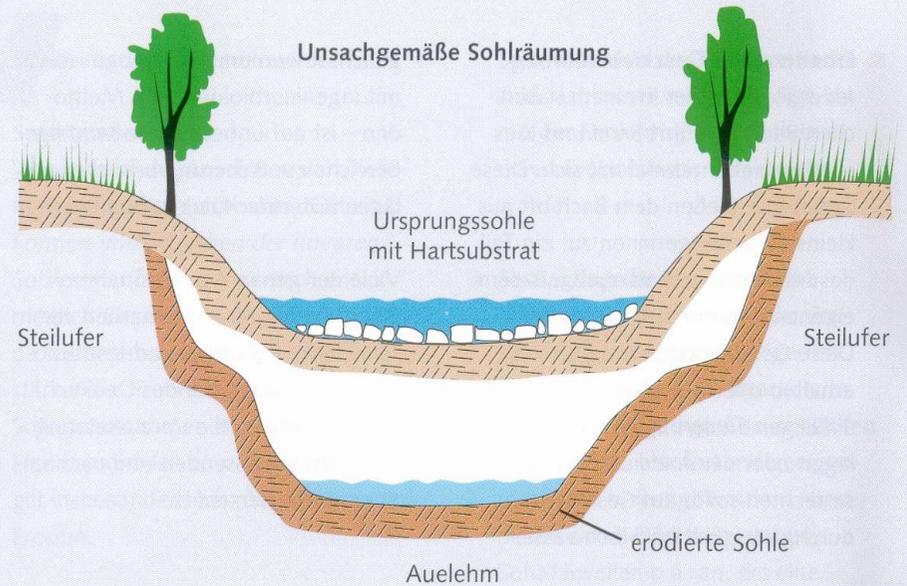
■ Verringerung der Gewässerunterhaltung

Die vielfach praktizierte Gewässerunterhaltung ist auf die Sicherstellung des schadlosen Hochwasserabflusses im Gewässerbett ausgerichtet. Für die Erhaltung und Entwicklung

Ohne ausreichende Gewässerrandstreifen zur Laufentwicklung wird dieser Bach keine stabile Lage ausbilden können. ▼ Foto: Werner Gleim



Wenn bei einer Räumung natürliche Sohlendeckschichten beseitigt werden, droht die Gefahr der Eintiefung. ▼ Foto: Klaus Kern



▲ Folgen der Räumung natürlicher grobkörniger Sohlendeckschichten bei Ausbau eines Gewässers  
▶ verändert nach Entwurf von Werner Gleim

intakter Gewässer muss der Hochwasserabfluss jedoch durch Totholz und Sturzbäume, Inseln und Bänke gebremst werden. Nur so kann das Bachbett zugunsten der Aue hydraulisch entlastet werden. Ein

vollkommen ebenes Bachbett, wie es durch Ausbau oder Räumung hergestellt wird, ist unnatürlich und erzeugt höhere Schleppkräfte als ein in Stromschnellen und -stillen gegliedertes rauhes Bett. Wo es die Nutzungen des Gewässerumfeldes erlauben, sollten Unterhaltungsarbeiten verringert bzw. vermieden werden.

Auf Gewässerunterhaltung sollte in der freien Landschaft verzichtet werden. Ufergehölze sind künftige Totholzquellen und dürfen deshalb weder verjüngt noch entnommen werden.

◀ Foto: Werner Gleim



### ■ Erhaltung der Geschiebeführung

Jedes Hochwasser in einem natürlichen Bachlauf führt Sand und Kies als Geschiebematerial mit sich. Diese Sedimente fließen dem Bach oft aus kleinsten Seitengerinnen zu; ein Teil des Materials stammt auch aus dem eigenen Bett durch Seitenschurf. Diese Geschiebequellen gilt es zu erhalten oder freizulegen: bei der allfälligen Sanierung von Wehranlagen oder der Änderung von Wasserrechten sollte auf Geschiebedurchgängigkeit bei Hochwasser

geachtet werden; Uferverbau – auch mit ingenieurbioologischen Methoden – ist auf unbedingt notwendige Bereiche zur Sicherung baulicher Anlagen (Objektschutz) zu begrenzen.

Viele der genannten Maßnahmen erfordern die Zusammenarbeit verschiedener Behörden und Institutionen. Fachübergreifendes Denken und Handeln ist die Voraussetzung für einen umfassenden und nachhaltigen Gewässerschutz.

*Der Hanganriss sollte als Geschiebequelle erhalten bleiben.* ▼ Foto: Klaus Kern



### Sanierung von Sohlenerosion

#### Sofortmaßnahmen

Wenn deutliche Anzeichen von Tiefenerosion vorliegen (► siehe Seite 13: *Formen und Ursachen der linearen Sohlenerosion*), sind so rasch wie möglich Gegenmaßnahmen zu treffen, da Sohlenerosion ein sich selbst verstärkender Prozess ist. Das Ziel der Sofortmaßnahmen ist es, weitere Erosionsschäden zu verhindern. Das gilt insbesondere bei rückschreitender Erosion.

Folgendes Vorgehen wird empfohlen:

#### ■ Suche nach Erosionsstufen

Bei rückschreitender Erosion ist mit einer oder zwei Erosionsstufen am oberen Ende der betroffenen Gewässerstrecke zu rechnen.

*Gefällestrufen können ein Hinweis auf rückschreitende Sohlenerosion sein.*

▼ Foto: Werner Gleim



Seitenbäche in der Erosionsstrecke sind fast immer mitgeschädigt, da mit der Eintiefung des Vorfluters deren Erosionsbasis tiefergelegt wurde.

#### ■ Festlegung der Erosionsstufen

Ohne sofortige Fixierung der Erosionsstufen werden unweigerlich weitere, noch intakte Strecken im Oberlauf geschädigt. Erosionsstufen sollten deshalb sofort mit geeigneten Mitteln befestigt werden. Hierzu bieten sich Schüttsteinrampen, Sohlschwellen o.ä. an, die eine künstliche Erosionsbasis für die oberhalb gelegene Strecke bilden.

*Mit Schüttsteinrampen werden Erosionsstufen befestigt und die weitere Auskolkung der Sohle in Richtung Oberwasser verhindert. Sie dürfen keine Wanderbarriere für Wassertiere darstellen.*

▼ Foto: Klaus Kern



### ■ Sicherung gefährdeter Bauwerke

Ausgekolkte Fundamente von Feldwegbrücken, Wehren o.ä. müssen umgehend durch bauliche Maßnahmen gesichert werden, um größere Schäden zu verhindern.

### ■ Suche nach Auflandungen, Anlage von Sedimentfängen

Unterhalb von Erosionsstrecken kann es zu erheblichen Auflandungen kommen. Schließt an eine Erosionsstrecke ein naturnaher Gewässerabschnitt an, so besteht die Gefahr, dass wertvolle Bettstrukturen durch Auflandungen verloren gehen. Es ist also zunächst zu prüfen, wo das erodierte Sohlenmaterial sedimentiert. Anschließend muss von fachkundiger Seite ein geeigneter Sedimentfang geplant werden.

*Dringender Sanierungsbedarf an einer unterspülten Feldwegbrücke.*

▼ Foto: Albrecht Otto

### ■ Erkundung von Ursachen

Manchmal lassen sich eindeutige Ursachen für eine Erosion feststellen, z.B. Regenwassereinleitungen. In diesen Fällen hat die Beseitigung der Ursachen Priorität vor der Anpassung des Gewässers an die veränderte Abflusssituation (► vgl. Seite 23: *Maßnahmen zur Vermeidung von Sohlenerosion*). Oft ist jedoch kein eindeutiger Grund für die Destabilisierung des Gewässers auszumachen, und es bleibt nur die Gewässersanierung übrig.

### Sanierung erodierter Strecken

Die eigentliche Sanierung der erosionsgeschädigten Strecken zielt auf die mittel- und langfristige Beseitigung oder zumindest Begrenzung der Schäden an Gewässer und Aue ab. Da die

*Sedimentfang mit Zufahrt zur Räumung. Bei Anlage im Nebenschluß und ausschließlicher Beaufschlagung bei Hochwasser bleibt die Durchgängigkeit gewahrt.*

▼ Foto: Klaus Kern



Geschiebeführung des jeweiligen Gewässerabschnittes eine wesentliche Rolle bei dessen Rückentwicklung spielt, müssen je nach Ausmaß der Geschiebeführung (hoch oder gering) unterschiedliche Maßnahmen ergriffen werden.

### Geschiebeführung

*Unter Geschiebeführung ist der Anteil der vom Gewässer mitgeführten Feststoffe zu verstehen, der insbesondere bei Hochwasser rollend oder hüpfend auf der Sohle transportiert wird. Hohe Geschiebeführung ist bei unverbauten Gewässern an regelmäßig vorkommenden Schotter-, Kies- und/oder Sandablagerungen im Bett zu erkennen. Das können*



*Bänke am Ufer oder in Bachmitte sein, aber auch nur flach überströmte Furten. Natürlicher Geschiebereichtum liegt beispielsweise im Schiefergebirge, bei vulkanischen Gesteinsarten und im Buntsandstein vor. Die Geschiebeführung kann allerdings durch Speicherbecken und Wehranlagen beeinträchtigt sein, wodurch der Unterwasserstrecke Geschiebe fehlt und es zu auseinander Erosion kommen kann. Lösshügelländer sind durch Geschiebearmut und hohe Schwebstoffführung gekennzeichnet.*

Bei hoher Geschiebeführung können die natürlichen Rückentwicklungsprozesse unterstützt und beschleunigt werden, während bei geringer Geschiebeführung bautechnische Sanierungsmaßnahmen in größerem Umfang erwogen werden müssen.

*Sand- und Kiesbänke im Gewässer weisen auf hohe Geschiebeführung hin.*

◀ ▼ Foto: Klaus Kern



Die Regeneration erosionsgeschädigter Gewässerstrecken kann durch folgende Maßnahmen gefördert werden:

#### ■ Förderung des Geschiebeeintrags (bei hoher Geschiebeführung)

Hierzu gehört die Beseitigung von Geschiebefallen in geschiebereichen Seitenbächen oberhalb der erosionsgeschädigten Strecke; das können Teichanlagen im Hauptschluss sein, die umgangen werden können, oder Wehre, die mit beweglichen Verschlüssen auszustatten sind. Daneben können auch im Bett selbst Geschiebequellen erschlossen werden, indem an geeigneten Prallhängen die Ufersicherungen entfernt werden.

#### ■ Förderung der Rückentwicklung (bei hoher Geschiebeführung)

In der natürlichen Rückentwicklung

*Beginnende Entwicklung einer schmalen Sekundäraue auf tieferem Niveau nach erfolgter Eintiefung.*

▼ Foto: Klaus Kern

wird die Phase der Tiefenerosion durch eine Phase der Auflandung bei weiterer Seitenentwicklung abgelöst (▶ siehe Seite 18: *Ablauf der Sohlenerosion*). Die Sedimentation wird durch die Verflachung des Gefälles, aber auch durch die Querschnittsaufweitung bewirkt. Je höher das erodierte Bett wieder auflanden kann, desto geringer sind die Schäden in der (ehemaligen) Bachaue. Bei stark erodierten Gewässern ist eine selbsttätige Rückentwicklung der ursprünglichen Höhenverhältnisse von Bachsohle und -aue nur nach starken Seitenverlagerungen möglich, dies kann jedoch Jahrhunderte dauern; mittelfristig wird sich eher eine schmale Aue auf tieferem Niveau um das erodierte Bachbett herum ausbilden (Sekundärauenentwicklung).

*Nach Fixierung der Erosionsstufe im Bachbett müssen Gewässerrandstreifen ausgewiesen werden, um das Nachbrechen der Ufer zu ermöglichen.*

▼ Foto: Werner Gleim

Folgende Maßnahmen können die Rückentwicklung erodierter, geschiebeführender Gewässerstrecken unterstützen:

- Förderung der Betaufweitung durch
  - Ausweisung von Gewässerrandstreifen
  - Entfernen noch wirksamer Ufersicherungen
  - in besonderen Fällen Entfernen von Uferbewuchs
- Förderung der Auflandung durch Erhöhung des Fließwiderstandes
  - Einbau von Blöcken in die Sohle (nur falls die Geschiebekörnung im Kies- und Steinbereich liegt)
  - Einbau von Raubbäumen, Wurzelstöcken und Totholz in die Sohle (auch bei feinkörnigerem Geschiebe)
- Einbau von Grundswellen
  - Grundswellen können Geschiebe zurückhalten und so allmählich zu einer Anhebung der Sohle führen

FACHBERATUNG I

*Ein in der Sohle verflochtener Wurzelstock soll ankommendes Geschiebe zurückhalten.*

▼ Foto: Herbert Diehl

- Anlage von Geschiebedepots in Pralluferbereichen
  - Die Kornmischung muss bei bordvollen Abflüssen transportiert werden können; das Größtkorn muss jedoch zur Bildung einer Sohlendeckschicht beitragen können und sollte ca. 30 % des Gewichtsanteils ausmachen; die rechnerische Bemessung des erforderlichen Korndurchmessers nach hydraulischen Kennwerten führt leicht zu einer Überdimensionierung, da die gegenseitige Verklammerung der Steine in der Deckschicht nicht berücksichtigt wird; die Bemessung sollte daher nach Möglichkeit auch an vorhandenen Deckschichten ausgerichtet werden; die Depots müssen nach jedem Hochasser

*Stämme und Äste, die ins erodierte Bett gelegt und darin befestigt werden, führen zu einem kleinen Aufstau und damit zu Ablagerungen von Sedimenten. ◀ Foto: Herbert Diehl*  
*Eingebrachter Geschiebevorrat im Pralluferbereich. ▼ Foto: Klaus Kern*

FACHBERATUNG I



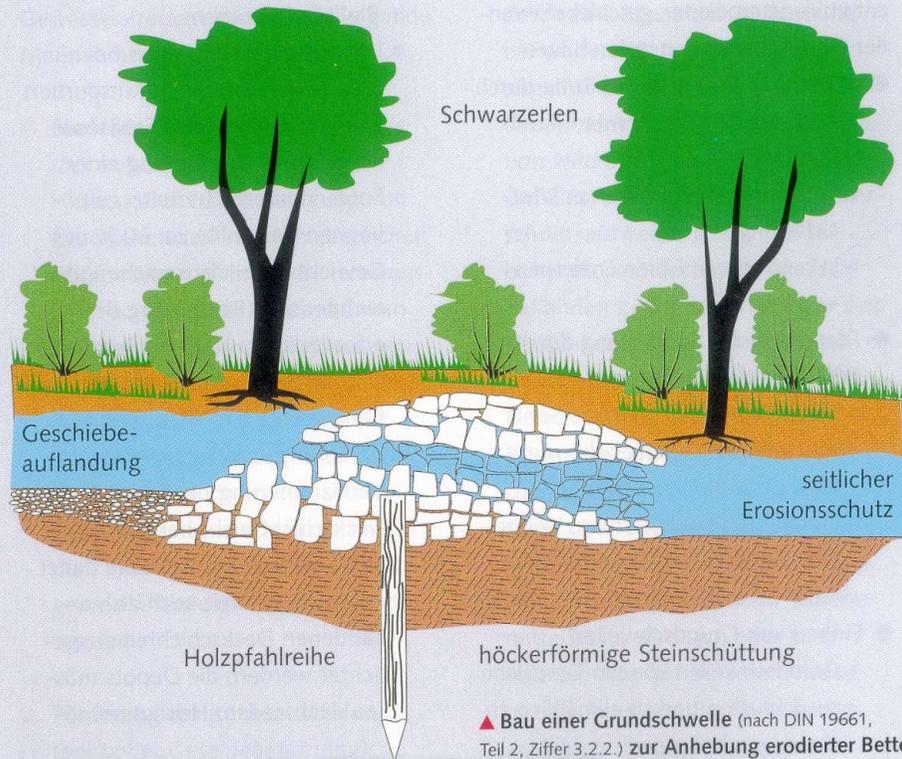
30



31



## Grundschwelle in erodiertem Gewässer



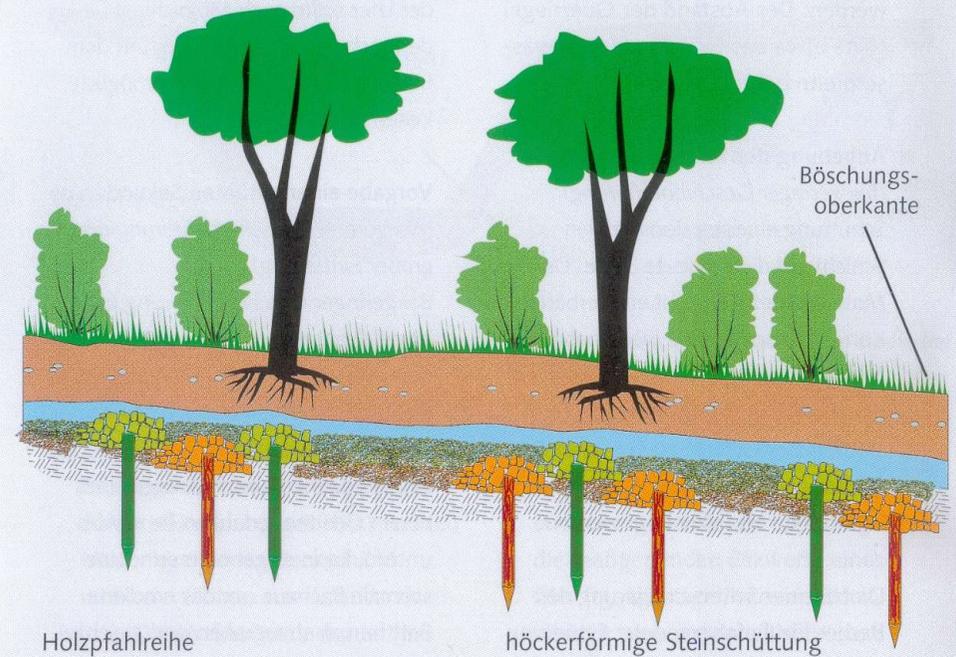
▲ **Bau einer Grundschwelle** (nach DIN 19661, Teil 2, Ziffer 3.2.2.) zur Anhebung erodierter Betten in geschiebereichen Gewässern  
 ► verändert nach Entwurf von Herbert Diehl

kontrolliert und gegebenenfalls nachgefüllt werden.

Damit die Maßnahmen wirksam werden, muss in großem Umfang strömungshemmendes Material in die Sohle eingebaut und fixiert werden. Schwellenartige Querhölzer werden im

Unterwasser leicht ausgekolkt, anschließend unterspült und damit wirkungslos. Bei rückschreitender Erosion sollte am unteren Ende der geschädigten Strecke begonnen werden (nachdem die Erosionstufe fixiert wurde) und abschnittsweise in Richtung Oberwasser saniert werden.

## Zweiphasige Sohlenanhebung mittels Grundswellen



▲ **Mittelfristige Entwicklung der Gewässersohle** nach dem phasenweisen Einbau von Grundswellen  
 ► verändert nach Entwurf von Herbert Diehl

■ **Fixierung der Bachsohle durch künstliche Schnellen (Riffles)**  
 Zur Verhinderung weiterer Eintiefung bei bachabwärts fortschreitender Erosion können auf Sohlen-niveau nicht erodierbare Steinschüttungen als Querriegel eingebaut werden. Die Körnung des

Schüttmaterials sollte zu etwa zwei Drittel aus feinerem Material bestehen, das bei höheren Abflüssen verfrachtet wird und zur Strukturierung der Sohle beiträgt. Das Größtkorn sollte nur knapp über dem erosionsstabilen Durchmesser liegen. Bei der Schütthöhe muss der Aus-

waschungsverlust berücksichtigt werden. Der Abstand der Querriegel sollte etwa das 5-7fache der Gewässerbreite betragen.

#### ■ Anhebung der Bachsohle

(bei geringer Geschiebeführung) Schüttung einer erosionsstabilen Schicht auf die erodierte Sohle. Der Materialanteil der nicht erodierbaren Korngröße sollte etwa 30 % betragen; bei einem breiten Kornspektrum ist dann die Ausbildung einer erosionsstabilen Deckschicht zu erwarten. Der Auswaschungsverlust muss bei der Schütthöhe berücksichtigt werden.

Da bei einer Seitenverlagerung des Baches die Gefahr erneuter Eintiefung besteht, muss das Verhalten des Gewässers sorgfältig beobachtet

*Neu hergestelltes Bett eines erodierten Baches. Die feineren Korngrößen der Sohlenabdeckung haben am Innenufer eine kleine Gleituferbank gebildet. Das Außenufer wurde gesichert, um einen benachbarten Weiher zu schützen.*

▼ Foto: Klaus Kern



werden. Auf eine völlige Festlegung der Ufer sollte nach Möglichkeit dennoch verzichtet werden, um dem Bach nicht alle Entwicklungsmöglichkeiten zu nehmen.

#### ■ Vorgabe einer erhöhten Sekundäraue

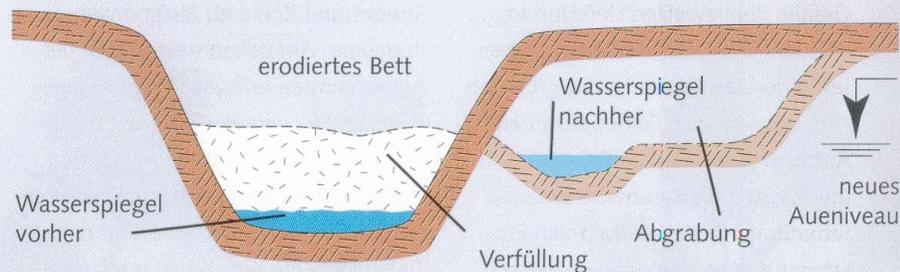
(bei geringer Geschiebeführung und großer Eintiefung) Bei geringer Geschiebeführung kann es viele Jahrzehnte dauern bis sich eine erneute Bachaue entwickelt hat, die noch dazu weit unter dem ehemaligen Auenniveau liegt. Wenn die Platzverhältnisse keine Anlage eines neuen Gerinnes erlauben (► s. Abb. unten), kann es geboten sein, eine schmale Bachaue um das erodierte Bett herum abzugraben und gleichzeitig das Bachbett auf höheres Niveau zu legen. Dabei ist auf Massenausgleich zu achten.

*Anlage einer Bachaue auf tieferem Niveau. Durch weitere Abgrabungen werden die neu entstandenen Auenflächen noch vergrößert. Dabei ist die Schaffung von grundwassernahen Ersatzstandorten entscheidend.*

▼ Foto: Klaus Kern



#### Grabung einer Sekundäraue



#### ▲ Anlage einer schmalen Bachaue im erodierten Bett nach Teilverfüllung des Erosionsprofils

► verändert nach Entwurf von Klaus Kern

Das neue Bett muss jedoch gegen erneute Eintiefung gesichert werden (Aufbringen einer Deckschicht und/oder Einbau von Grundswellen). Die Maßnahme erfordert in jedem Fall die Mitwirkung erfahrener Fachleute.

#### ■ Anlage eines Pioniergerinnes

(bei geringer Geschiebeführung und großer Eintiefung)

Stark eingetieftete Strecken sind kaum regenerationsfähig, vor allem bei geringer Geschiebezufuhr. Hier kann es sinnvoller und billiger sein, den erodierten Lauf zu verfüllen und daneben eine neue Rinne anzulegen, die sich das Gewässer selbst ausformt. Voraussetzung für ein

solches Vorhaben ist, dass von erfahrenen Gewässermorphologen die maßgebenden Eckwerte eines Gleichgewichtsgerinnes ermittelt werden, um eine erneute Erosion des Ersatzgerinnes zu verhindern.

Das heißt nicht, dass die Bettform im Detail vorgegeben werden muss.

*Vorgegebenes Pioniergerinne, das sich im Laufe der Zeit strömungsgerecht ausbilden wird.*

▼ Foto: Klaus Kern



Allerdings sollten Breite, Tiefe und Gefälle den jeweiligen Werten im Gleichgewichtszustand entsprechen. In den ersten Jahren ist mit größeren Anpassungen der Gerinneform zu rechnen. Lokale Auskolkungen sind ein Zeichen für naturnahe Entwicklungen des Bettes. Sobald sich Erosionsstufen ausbilden, muss jedoch korrigierend eingegriffen werden.

**Kombination aus Neuanlage und Förderung der Auflandung**

Bei stark erodierten Strecken, in denen grobkörniges Material im Uferbereich ansteht, kann die Lösung darin bestehen, im oberen Teil ein Pioniergerinne anzulegen, und in der Anschlussstrecke Auflandungen zu fördern. Dabei wird das aus dem Pioniergerinne ausgetragene Material als Geschiebezufuhr für die untere Sanierungsstrecke genutzt. In diesem Fall wird zuerst die Auflandungsstrecke vorbereitet und anschließend das Pioniergerinne hergestellt.

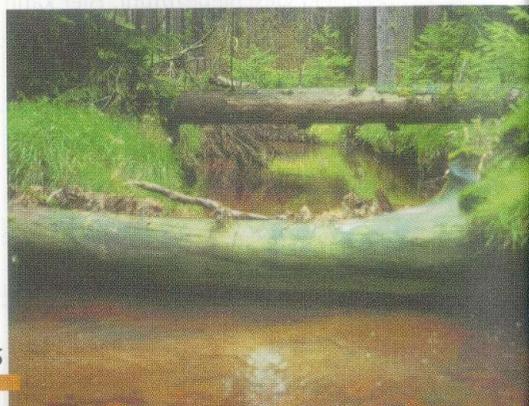
**Lokale Erosionserscheinungen**

Örtliche Untiefen sind ein typisches Kennzeichen natürlicher Bachbetten. Man kann zwei Arten von Auskolkun-

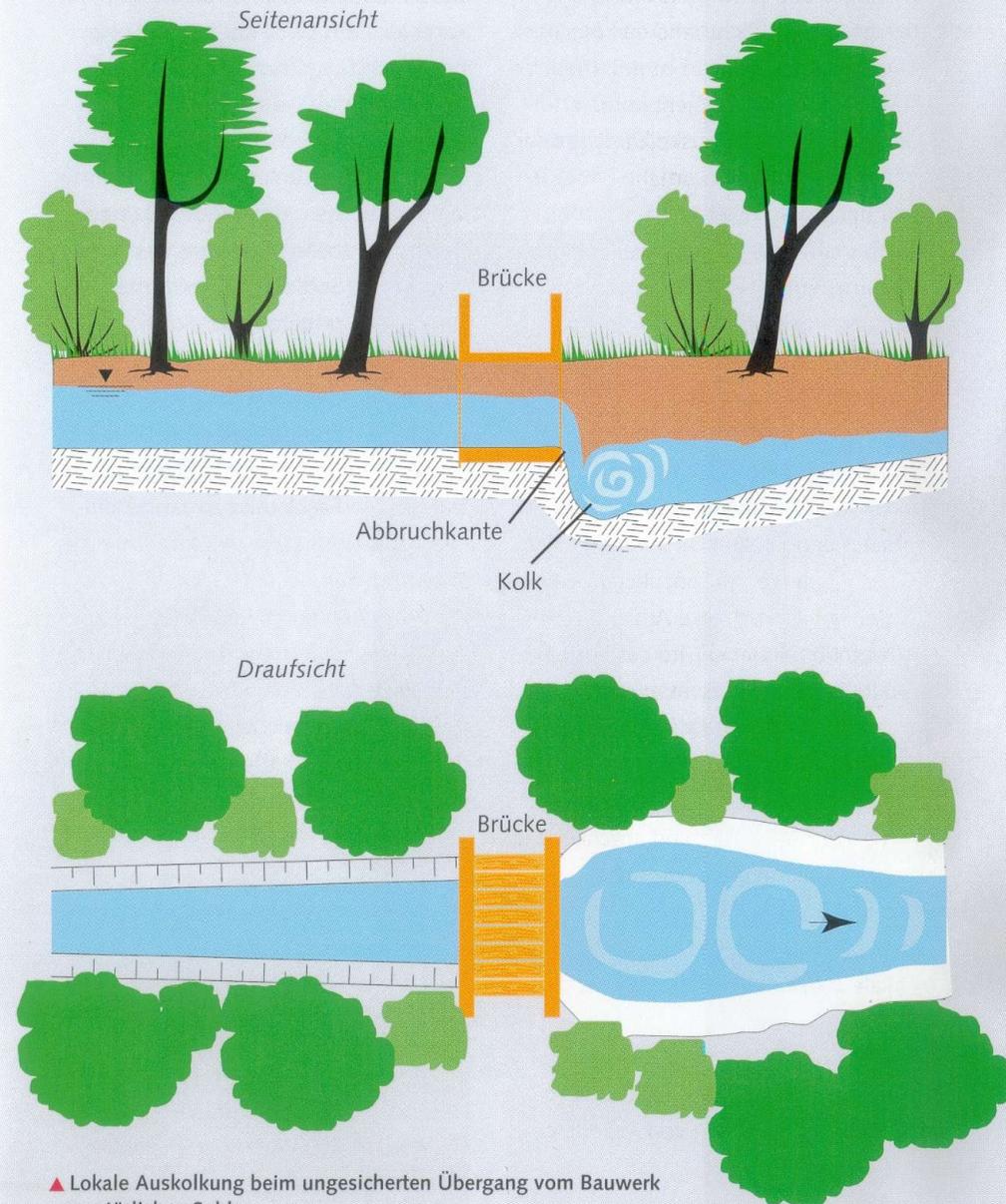
gen unterscheiden: Kolke auf freier Strecke und Kolke an Strömungshindernissen. Am bekanntesten sind die Auskolkungen in Außenkrümmungen, aber auch in geraden Strecken bilden sich in fast regelmäßigen Abständen Kolke und dazwischen flach überströmte Furtbereiche. Für Fische sind diese Tiefstellen ein wichtiger Unterstand, in sommertrockenen Bächen oft die einzige Überlebenschance.

Hinderniskolke sind ökologisch nicht weniger wichtig. Sie sind in naturnahen Bächen an Uferbäumen, an Wurzelstöcken im Wasser und an umgefallenen Bäumen und großen Ästen, die die Strömung behindern, zu finden. Große Kolke können durch Zusetzen des Bachquerschnittes entstehen, wobei sich ein regelrechter Absturz bildet. Dahinter findet sich nicht selten eine löffelartige Aufweitung der Uferbereiche, ein natürliches Tosbecken.

*Hindernisse im Bachlauf fördern lokale Anlandungen und Auskolkungen und tragen so zur Strukturvielfalt der Sohle bei.* ▼ Foto: Klaus Kern



**Sohlübergang im Anschluß an Brücken bzw. Verrohrungen**



▲ Lokale Auskolkung beim ungesicherten Übergang vom Bauwerk zur natürlichen Sohle

▶ verändert nach Entwurf von Regierungspräsidium Gießen, Abteilung Staatliches Umweltamt Marburg

Natürlich verursachte Kolke sind ein wichtiger und schützenswerter Teillebensraum der Bäche. Werden hierdurch Ufergrundstücke angegriffen, so ist, soweit kein Objektschutz erforderlich ist, dem Gewässer diese Entwicklungsfreiheit zu lassen.

Nur bei gefährdeten Straßen, Häusern o. ä. muss die seitliche Auskolkung gestoppt und die allmähliche Laufverlagerung unterbunden werden. Dabei darf jedoch der Kolk selbst nicht verfüllt werden.



Einbau von Totholz zur Anhebung der Sohle.

▲ Foto: Herbert Diehl

Jedes künstliche Bauwerk im Bachbett beeinflusst ebenfalls die Strömung und kann lokale Auskolkungen der Sohle bewirken. Die bekanntesten Erscheinungen sind Kolke an Brückenpfeilern und Tosbeckenkolke nach Sohlenschwellen, Abstürzen und Wehranlagen, sowie Auskolkungen beim Übergang von Sohlendeckwerken zu unbefestigter Sohle.

Bauwerkskolke können die Standsicherheit gefährden und sind deshalb von Fachleuten zu beurteilen.

### Formen und Ursachen der Auenaufblandung

Es gibt zwei Formen der Auenaufblandung: zum Ersten die kleinräumige Aufschüttung von Sand und Kies in ufernahen Bereichen bei starken Hochwasserabflüssen, und zum Zweiten die allmähliche, großflächige Sedimentation von Schwebstoffen im gesamten Überschwemmungsbereich. Die ufernahe Geschiebeablagerung (Rehnenbildung, Uferwall) ist im allgemeinen kein Problem. Sie stellt eine Bereicherung der Standortvielfalt in der Aue dar und wird in mäandrierenden Gewässern nach und nach wieder umgelagert.

Auenlehmdecken kommen nur in Gebieten vor, in denen Löss oder feinkörnig verwitternde Gesteine anstehen. Die vom Hochwasser mitgeführten Schwebstoffe können sich in

der Aue nur bei geringen Fließgeschwindigkeiten absetzen. Als Grenzwert gilt ein Gefälle der Aue unter einem Promille.

### Schwebstoffführung

*Unter Schwebstoffführung ist der Anteil der vom Gewässer mitgeführten Feststoffe zu verstehen, der durch Strömungsturbulenzen im fließenden Wasser in Schwebe gehalten wird. Eine hohe Schwebstoffführung ist für Lösslandschaften und Keupergebiete typisch. Ackerntzung in Überschwemmungsgebieten und Hanglagen kann die ursächliche Bodenerosion erheblich verstärken.*

Die **Ursachen** der Auenaufblandung werden heute überwiegend in den Rodungen und Landnutzungen durch den Menschen gesehen. Durch Analysen der

*Mächtige Auenlehmablagerungen über der steinig-kiesigen Bachsohle bilden nahezu senkrechte Uferwände.*

*Typische Trockenrisse in feinkörnigen Auenlehmablagerungen.*

▼ Foto: Albrecht Otto

▼ Foto: Christoph Linnenweber



Auenlehmschichten konnte nachgewiesen werden, dass schon die ersten ackerbaulichen Nutzungen Bodenerosion bewirkten und dass dadurch Feinpartikel als Auenlehm in den Flussniederungen abgelagert wurden. Einen Höhepunkt erreichte die Auenlehmdecksbildung im späten Mittelalter, als viele heute wieder bewaldete Mittelgebirgslagen ackerbaulich genutzt wurden. Später wurde der Ackerbau aufgrund der geringen Erträge, teilweise auch wegen auftretender Bodenerosion, wieder aufgegeben.

Die Auenlehmdecksbildung ist jedoch auch mit Klimaschwankungen in geschichtlicher Zeit in Zusammenhang gebracht worden. Es ist bekannt, dass es immer wieder Perioden mit gehäuften großen Hochwasserabflüssen gab. Einzelne Extremabflüsse im Mittelalter haben zu einer regelrechten Zerrunsung (Rillenerosion) von Ackerflächen geführt, die heute noch unter Waldbedeckung erhalten ist (Bork 1988). Da in geschlossenem Wald keine Bodenerosion vorkommt, muss die Landnutzung durch den Menschen letztlich als Ursache für die Auenlehmdecksbildung angesehen werden, die durch Klimaeinflüsse lediglich verstärkt wird.

Die flächige Auenauflandung mit Feinsedimenten hat viele unserer Fluss- und

*Auenauflandungen sind das Ergebnis von Bodenerosion. Auch Ackernutzungen in der Aue tragen erheblich zum Bodenabtrag und damit wiederum zur Auflandung unterhalb liegender Gebiete bei.*

► Foto: Klaus Kern

Bachauen grundlegend verändert, so dass wir heute kaum noch wissen, welchen Charakter die Auen ursprünglich hatten. Im Allgemeinen werden die in historischer Zeit entstandenen Auenlehmdecken als landschaftliche Gegebenheit hingenommen. Die dadurch häufig verursachte Übertiefung von Gewässern muss jedoch als Schädigung angesehen werden.

Die durchschnittliche Mächtigkeit der Auenlehmdecken erreicht Werte um 1-3 m; Spitzenwerte liegen bei 5-7 m. Allerdings wurden diese Schichten nicht kontinuierlich abgelagert. Klimaschwankungen sowie Intensität und Ausmaß der landwirtschaftlichen Nutzung bestimmen die **Sedimentationsraten**. Mittelalterliche Hochphasen der Auesedimentation erreichten eine Rate von 1 m in 100 Jahren. Für frühere Zeiträume wurden allerdings Werte von weniger als 10 cm innerhalb derselben Zeitspanne ermittelt. Die heutige intensive Landnutzung verursacht wieder ähnliche Spitzenwerte der Auenauflandung wie diejenige im



Mittelalter. So wurden in Lössgebieten des Kraichgaus in weiten Talauen 0,5-1 cm Auenauflandung pro Jahr festgestellt (Schulte 1995).

**Kennzeichen** von Auenlehmdecken sind mächtige, feinkörnige Ablagerungen und steile Uferböschungen an Innen- wie an Außenufern. Auenlehmdecks haben deshalb einen typischen U-förmigen Querschnitt. Auenlehmablagerungen bestehen in der Regel aus einem Gemisch von Feinsand (0,2-0,02 mm), Schluff (0,02-0,002 mm) und Ton (< 0,002 mm). Die Zusammenmensetzung des Auenlehms hängt von den Gesteinsarten im Einzugsgebiet und vom Relief der Aue ab. Je höher der Tonanteil, desto größer ist der Widerstand gegen Seitenschurf.

**Die Unterscheidung von Sohlenerosion und Auenauflandung nach Augen-**

*Charakteristischer Abschnitt eines Keuperbaches: Schmales, tiefes Profil; auch bei Mittelwasserabfluss starke Trübung.* ▼ Foto: Klaus Kern



schein fällt auch Fachleuten mitunter schwer, zumal beide Prozesse verknüpft sein können. Mächtige feinkörnige Ablagerungen über sandig-kiesigem Material im Sohlenbereich deuten auf Auenauflandung hin. Klarheit ergibt jedoch nur die genauere Untersuchung der Schichtung und Zusammensetzung des anstehenden Sediments.

**Ablauf der Auenauflandung**

Die Ablagerungen von Sedimenten erfolgen nicht gleichmäßig. Oberhalb von alten Mühlenstandorten ist die Aue durch verstärkte Sedimentation oft aufgewölbt. Mit anwachsender Höhe der Auenflächen geht die Überschwemmungshäufigkeit zurück,

*Der Versuch, überhöhte Böschungen mit Pflanzungen zu stabilisieren, ist nur dann erfolgversprechend, wenn die Böschung bereits zur Ruhe gekommen ist und die Ablagerungen nicht zu feinkörnig und verdichtet sind.*

▼ Foto: Albrecht Otto



wodurch wiederum die Sedimentationsrate kleiner wird (Selbstabschwächung). Das ist jedoch nur dann der Fall, wenn die Gewässersohle auf dem alten Niveau bleibt oder gar erodiert, und die Abflusskapazität mit der Auenaufhöhung zunimmt. Mäandrierende, geschiebeführende Bäche können der Auenaufhöhung jedoch auch durch selbsttätige Sohlenaufhöhung folgen.

Bei überhöhten Ufern kann es, wie bei Sohlenerosion, zu Böschungsrutschungen kommen. Treten plötzlich in grossem Umfang Rutschungen auf, so ist die Ursache eher in einer Eintiefung der Sohle zu suchen. Im Gegensatz zur Sohlenerosion ist jedoch bei Aufhöhung der Aue ohne Laufverlagerung des Gewässers keine Sohlenaufhöhung zu erwarten. Das Bachbett wird durch die Uferrutschungen zunächst verbreitert. Es können sich auch niedrige, flache Uferpartien (Bermen) ausbilden, die selbst wieder auflanden. Die Abläufe sind vergleichbar mit den Prozessen, die nach Sohlenerosion in geschiebearmen Gewässern auftreten.



**Maßnahmen zur Verringerung der Auenaufblandung**

Die Aufblandung von überschwemten Bachauen kann in der Kulturlandschaft nicht grundsätzlich verhindert werden. Wohl aber kann durch Maßnahmen im Einzugsgebiet die Geschwindigkeit der Auenaufblandung verringert werden:

- **Verminderung der Bodenerosion**  
Hierzu gehören Maßnahmen wie der Anbau von Zwischenfrüchten und Unterkulturen, die Bodenbearbeitung quer zum Hang, pfluglose Bodenbearbeitung, Ausschluss von Ackernutzung in Überschwemmungsgebieten, Erhalt und Neuanlage von Hecken und Feldgehölzen und Vermeidung großflächiger Kahlschläge in erosionsgefährdeten Hanglagen.
- **Rückhalt von erodiertem Boden in der Landschaft**  
Anlage von Absetzbecken und Sandfängen im Anschluss an Sammelrinnen entlang von Wegen und Ackerfurchen; Anlage von Gewässerrandstreifen (mindestens 5-10 m breit).

Treten in großem Umfang Böschungsrutschungen auf, so liegt vermutlich auch Sohlenerosion vor.  
◀ Foto: Albrecht Otto

**Sanierung von Gewässertiefagen**

Die Existenz von Auenlehmdecken muss als landschaftliche Gegebenheit hingenommen werden. Der dadurch verursachten Tieflage und oft auch Strukturarmut der Gewässer und der Verschlechterung der Auenstandorte kann jedoch entgegengewirkt werden. Folgende Maßnahmen sind je nach Sachlage möglich:

■ **Unterstützung der natürlichen Gewässerverlagerung**

Die natürliche und allmähliche Verlagerung eines Gewässerlaufes trägt dazu bei, dass ein Gleichgewicht des Systems bestehen bleibt bzw. erneut erreicht wird. Bei ausreichender Geschiebeführung ist es möglich, dass die Bachsohle der Auenaufblandung allmählich folgt, wodurch zumindest vorübergehend eine Sekundäraue entsteht.



Rebhänge gehören zu den stark erosionsgefährdeten Standorten. Die Einrichtung von Absetzbecken am Hangfuß kann zumindest einen Teil des erodierten Bodens zurückhalten

◀ Foto: Thomas Paulus

Diese Entwicklung kann sich allerdings nur langfristig einstellen und setzt voraus, dass den Auenbächen der dazu notwendige Entwicklungsraum zur Verfügung steht. Dennoch gilt, dass die Seitenverlagerung des Gewässers das wichtigste Mittel zum Ausgleich der Auenaufblandung ist. Mit der Regulierung und Begräbigung wurde vielen Gewässern die Möglichkeit genommen, die Auenaufhöhung mitzuvollziehen.

■ **Erhaltung und Förderung der Geschiebeführung**

Ohne ausreichende Geschiebeführung kann sich auch in einem mäandrierenden Gewässer die Sohlenlage nicht dem Auenniveau anpassen. Es ist deshalb wichtig, die natürliche Geschiebezufuhr zu erhalten oder wiederherzustellen. (Geeignete Maßnahmen ▶ ab Seite 28: Sanierung erodierter Strecken).

■ **Förderung der Sohlenaufblandung**

(bei hoher Geschiebeführung) Einbau von Raubbäumen, Wurzelstöcken und Totholz in großem Umfang in das Bachbett; sorgfältige Beobachtung der Unterwasserstrecke

wegen möglicher Eintiefung durch Fehlen von Geschiebe.

FACHBERATUNG I

■ **Anhebung der Bachsohle**

*(bei geringer Geschiebeführung)*  
Schüttung einer erosionsstabilen Schicht auf die erodierte Sohle. Der Materialanteil der nicht erodierbaren Korngröße sollte etwa 30 % betragen. Bei einem breiten Kornspektrum ist dann die Ausbildung einer erosionsstabilen Deckschicht zu erwarten. Der Auswaschungsverlust muss bei der Schütthöhe berücksichtigt werden.

■ **Vorgabe einer erhöhten**

**Sekundäraue** *(bei großer Tieflage)*  
Wenn die Platzverhältnisse keine Anlage eines neuen Gerinnes erlauben (s. u.), kann es geboten sein, eine schmale Bachaue um das Bett herum abzugraben und gleichzeitig

Starke Krümmungserosion eines Gewässers nach Auenaufblandung und Sohleneintiefung.

▼ Foto: Albrecht Otto



den Bach auf ein höheres Niveau zu legen. Dabei ist auf Massenausgleich zu achten.

■ **Anlage eines Pioniergerinnes**

*(bei geringer Geschiebeführung und großer Tieflage)*  
Sehr tiefliegende Strecken sind kaum regenerationsfähig, vor allem bei geringer Geschiebezufuhr. Hier kann es sinnvoller und billiger sein, den Lauf zu verfüllen und daneben eine neue Rinne anzulegen, die sich das Gewässer selbst ausformt. Breite, Tiefe und Gefälle sollten den entsprechenden Werten im Gleichgewichtszustand angepasst sein. In den ersten Jahren ist mit größeren Anpassungen des Bachbettes zu rechnen, weshalb das Gewässer sorgfältig zu beobachten ist (u. U. Gefahr der Eintiefung).

Totholzeinbau zur Förderung der Aufblandung.

▼ Foto: Herbert Diehl



FACHBERATUNG I

Tief unter der Aue liegende Bäche können ihre Funktionen im Naturhaushalt nicht mehr erfüllen und verstärken die Hochwassergefahr für Unterlieger. Es ist deshalb aus wasserwirtschaftlicher Sicht erforderlich, erkennbaren Fehlentwicklungen vorzubeugen und Schadensfälle mittel- bis langfristig zu sanieren.

Die Tieflage von Bächen kann dreierlei Ursachen haben:

- Lineare Sohlenerosion
- Auenaufblandung
- Ausbau

**Lineare Sohlenerosion** kann beispielsweise durch Regen- und Mischwasser-einleitungen, durch Gewässerregulierungen, durch Geschieberückhalt und durch die Zerstörung schützender natürlicher grobkörniger Sohlendeckschichten ausgelöst werden. Dabei kann man unterscheiden zwischen einer rückschreitenden Sohlenerosion, die an sogenannten Erosionsstufen am oberen Ende der erodierten Strecke zu erkennen ist, und einer bachabwärts gerichteten flächigen Erosion, die sich langsam ausgleicht oder sich bis zur Einmündung in den Vorfluter fortsetzt.

Die Eintiefung der Bachsohle ist der erste Schritt auf dem Weg zur Ausbildung eines neuen, sekundären Gleichgewichts zwischen Abflussgeschehen, Geschiebetransport und Bettform. Der Ablauf der Rückentwicklung kann in sechs Phasen dargestellt werden: dynamisches Gleichgewicht, Störung, Tiefenerosion, Destabilisierung und Uferaufweitung, erneute Aufblandung und Stabilisierung, Seitenentwicklung mit Erreichen eines neuen dynamischen Gleichgewichts, jedoch häufig auf tieferem Niveau und unter Austrocknung der Altaue.

**Auenaufblandung** ist eine Folge der Bodenerosion, die nachweislich schon durch die ersten Rodungen mit Beginn des Ackerbaus im Mittelalter einzutreten begann. Mehrere Meter mächtige Auenlehmdecken finden sich heute nur in flachen Talauen, wenn Löss oder feinkörnig verwitternde Gesteine im Einzugsgebiet vorkommen. Historische Sedimentationsraten erreichten im Spätmittelalter Werte von bis zu einem Zentimeter pro Jahr. Die heutige Landnutzung erreicht oder übertrifft sogar diese historischen Spitzenwerte. Es ist bekannt, dass geschiebeführende Bäche durch Seitenverlagerung der Auenaufblandung folgen konnten.

Vorbeugende Maßnahmen gegen Sohlenerosion und Auenauflandung müssen im Einzugsgebiet der betroffenen Gewässer ansetzen und erfordern die Zusammenarbeit verschiedener Behörden und Institutionen. Änderungen der Landbearbeitung, Rückhalt von Wasser und erodiertem Boden, Anlage von Uferstreifen u. v. m. können nur gemeinsam mit den betroffenen Anliegern und Fachbehörden umgesetzt werden.

Vor der Sanierung erodierter Bachstrecken muss nach Möglichkeit der Fortgang der Erosion gestoppt werden, beispielsweise durch die Fixierung von Erosionsstufen. Die eigentliche Sanierung zielt darauf ab, die natürlichen Rückentwicklungsprozesse durch Förderung der Auflandung in der Erosionsstrecke zu unterstützen. Bei Geschiebemangel und stark eingetieften Bächen kommt auch eine Sohlenaufhöhung oder gar die Verfüllung des Altlaufs und Neuanlage eines Pioniergerinnes in Betracht. Zu beachten sind auch mögliche Schädigungen strukturreicher Bachstrecken unterhalb von Erosionsabschnitten durch Auflandung.

Ähnlich ist auch bei sehr stark übertieften Bächen infolge Auenauflandung zu verfahren. Allerdings kann hier nur bei Laufverlagerung mit einer Anhebung der Sohlenlage gerechnet werden. Kurz- und mittelfristig können nur bauliche Maßnahmen den Kontakt von Bach und Aue wiederherstellen. Umso wichtiger ist es, dass durch die Anlage von Uferstreifen langfristige Entwicklungsmöglichkeiten zur natürlichen Verlagerung von Gewässerläufen gegeben werden.

Viele der vorgeschlagenen Maßnahmen können im Rahmen der Gewässerunterhaltung durchgeführt werden. Bauliche Eingriffe erfordern Einzelfallentscheidungen, zu denen erfahrene Fachleute hinzuzuziehen sind.

**BECHTELER** u. a. (1988):

Feststofftransport in Fließgewässern – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis. 1-135, DVWK-Schriften 87, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.

**BECHTELER** u.a. (1997):

Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung. 1-349, DVWK-Schriften 118, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft mbH, Bonn.

**BORCHARDT, D. & SCHÄFFER, CH.** (1998):

Zusammenhänge zwischen Tiefenerosion und Gewässerstrukturgüte von Mittelgebirgsbächen. *Wasser & Boden*, 50/12, 34-37.

**BORK, H.-R.** (1988):

Bodenerosion und Umwelt – Verlauf, Ursachen und Folgen mittelalterlicher und neuzeitlicher Bodenerosion – Bodenerosionsprozesse – Modelle und Simulationen. *Abt. Phys. Geographie u. Landschaftsökologie u. Phys. Geographie u. Hydrologie* (Hrsg.), Reihe Landschaftsgenese u. Landschaftsökologie, H. 13, 1-249, TU Braunschweig.

**BROOKES, A.** (1988):

Channelized rivers – perspectives for environmental management. 1-356, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

**BROOKES, A. & F.D. SHIELDS** (Hrsg.)

(1996) River channel restoration - guiding principles for sustainable projects. 1-433, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

**HUPP, C.R.** (1997):

Riparian vegetation, channel incision, and ecogeomorphic recovery. *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision*, S.S.Y. Wang, E.J. Langedoen & F.D. Shields (Hrsg.), 3-11.

**KERN, K.** (1994):

Technische Möglichkeiten und Grenzen bei der Sanierung erodierter Fließgewässer. In: *Beiträge zur Fachtagung „Renaturierung einer Bachhaue“* am 7./8. März in St. Wendel, Saarland, 33-44.

**KERN, K.** (1995):

Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung – geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. 1-256, 1. Auflage 1994, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

**LANGE, G. & K. LECHER (1993):**  
Gewässerregulierung, Gewässerpflege,  
Naturnaher Ausbau und Unterhaltung  
von Fließgewässern. 1-343, 3. neu-  
bearbeitete und erweiterte Auflage,  
Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.

**MANGELSDORF, J. &  
K. SCHEURMANN (1980):**  
Flußmorphologie – ein Leitfaden für  
Naturwissenschaftler und Ingenieure.  
1-262, Oldenbourg Verlag, München,  
Wien.

**MENSCHING H. (1958):**  
Bodenerosion und Auenlehmbildung in  
Deutschland. Dt. Gewässerkundl.  
Mitt., H. 1/2, 110-114, 1957/58.

**PATT, H., P. JÜRGING & W. KRAUS  
(1998):**  
Naturnaher Wasserbau – Entwicklung  
und Gestaltung von Fließgewässern.  
1-358, Springer Verlag, Berlin, Heidel-  
berg.

**REICHELT, G. (1953):**  
Über den Stand der Auenlehmfors-  
chung in Deutschland. Petermanns  
Geogr. Mitt., 96/97, 245-261,  
1952/53.

**ROSGEN, D. (1996):**  
Applied River Morphology. 1-390,  
Pagosa Springs, Colorado. Environ-  
mental River Engineering Books,  
Postf. 311245, D-76142 Karlsruhe.

**SCHULTE, A. (1995):**  
Hochwasserabfluss, Sedimenttransport  
und Gerinnebettgestaltung an der  
Elsenz im Kraichgau. Heidelberger  
Geogr. Arbeiten, H. 98, 1-202,  
Universität Heidelberg.

**SIMON, A. (1989):**  
A model of channel response in  
disturbed alluvial channels. Earth  
Surface Processes and Landforms,  
Vol. 14, 11-26.

**THORNE, C.R., R.D. HEY &  
M.D. NEWSON (Hrsg.) (1997):**  
Applied fluvial morphology for river  
engineering and management. 1-376,  
John Wiley & Sons, Chichester.

**ZANKE, U. (1982):**  
Grundlagen der Sedimentbewegung.  
1-402, Springer Verlag, Berlin,  
Heidelberg.

**Herausgeber**

DVWK – Gemeinnützige  
Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft  
und Landschaftsentwicklung (GFG) mbH  
Frauenlobplatz 2  
55118 Mainz  
Tel.: 0 61 31 / 61 30 21  
Fax: 0 61 31 / 61 31 35  
E-mail: DVWK-GFGmbH@t-online.de

**Dezember 1998****Förderer**

- Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie,  
Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden
- Ministerium für Umwelt und Forsten  
Rheinland-Pfalz, Mainz
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft  
und Kulturbau e.V. (DVWK), Bonn

**Autor**

Dr.-Ing. Klaus Kern,  
Beratender Ingenieur Karlsruhe

**Redaktion**

- Dr. Thomas Paulus, DVWK-GFGmbH, Mainz  
(Leitung)
- Dr.-Ing. Dagmar Bley, Björnßen  
Beratende Ingenieure Koblenz
- Dipl.-Ing. Herbert Diehl, Regierungspräsidium-  
Gießen, Abteilung Staatliches Umweltamt  
Marburg
- Dipl.-Ing. Werner Gleim, Regierungspräsidium  
Gießen, Abteilung Staatliches Umweltamt  
Marburg
- Hansgeorg Hocke, Gewässerzweckverband  
Isenach-Eckbach, Ludwigshafen

**Mitwirkende**

- Dipl.-Ing. Andreas Christ, Ministerium für  
Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz
- Dipl.-Biol. Eva Feltkamp, Frankfurt
- Dipl.-Geogr. Werner Herget, DVWK-GFGmbH,  
Mainz
- Heike Lodenkämper, DVWK-GFGmbH, Mainz
- Dr. Albrecht Otto, Landesamt für Wasserwirt-  
schaft Rheinland-Pfalz, Mainz
- Dr. Werner Teichmann, Hessische Landesanstalt  
für Umwelt, Wiesbaden
- Prof. Dr.-Ing. Frank Tönsmann, GhK Universität  
Gesamthochschule Kassel
- Dr. Stephan von Keitz, Hessisches Ministerium  
für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und  
Gesundheit, Wiesbaden
- Dr.-Ing. Bernd Worreschk, Ministerium für  
Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz

**Gestaltung**

Petra Minn, Mainz

**Druck**

Satz & Druck Werum GmbH, Mainz-Hechtsheim

**Auflage**

4.000 Stück  
Druck auf chlorfrei gebleichtem Papier

**Anmerkung**

Alle Rechte vorbehalten.  
Nachdruck, auch auszugsweise, nur nach  
schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.