

# Flüsse in der Kulturlandschaft

Eine Einführung in relevante  
Phänomene und Aspekte  
für Renaturierungen



Dr.-Ing. Michael Leismann  
Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz  
Teichstraße 19  
59505 Bad Sassendorf-Lohne  
[abu@abu-naturschutz.de](mailto:abu@abu-naturschutz.de)

März 2024

# Inhalt

<b>1 Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2 Geomorphologie</b>	<b>5</b>
2.1 Gefälle . . . . .	5
2.2 Flussbett . . . . .	7
2.3 Mäander . . . . .	10
2.4 Sediment . . . . .	15
2.5 Flüsse ohne Sediment . . . . .	18
2.6 Auelehm . . . . .	19
2.7 Einflüsse, Impacts . . . . .	20
<b>3 Einflüsse der Menschen</b>	<b>22</b>
3.1 Landwirtschaft . . . . .	22
3.2 Flussbau . . . . .	25
3.3 Wehre . . . . .	26
3.4 Durchlässe, Brücken, Rohre, Dolen . . . . .	28
3.5 Reaktionen des Flusses . . . . .	30
<b>4 Hydrologie</b>	<b>32</b>

<b>5</b>	<b>Hydraulik</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>Aspekte für Renaturierungen</b>	<b>39</b>
6.1	Befestigungen . . . . .	39
6.2	Begradigungen . . . . .	40
6.3	Aufweitung . . . . .	42
6.4	Auenentwicklung . . . . .	42
6.4.1	Wasser in die Aue . . . . .	43
6.4.2	Zonierungen in der Aue . . . . .	44
6.4.3	Nebenrinnen . . . . .	44
6.4.4	Blänken . . . . .	45
6.4.5	Auwälder . . . . .	45
6.5	Ersatzaunen . . . . .	47
6.6	Verzweigungen . . . . .	48
6.7	Totholz . . . . .	49
6.8	Gestalten oder entwickeln lassen . . . . .	50
6.9	Renaturierung und Hochwasserschutz . . . . .	51
6.10	Kosten . . . . .	53
6.11	Größere Projekte . . . . .	54

# 1

## Einführung

Flüsse sind nichts anderes als die Reaktion der Erdoberfläche auf das sich sammelnde und abfließende Niederschlagswasser. Flüsse sind sowohl der Weg als auch das Transportmittel für das Niederschlagswasser und die verwitterten Gesteine in Form von Sedimenten. Flüsse sind Bestandteil des Wettergeschehens, was sich bei jedem Hochwasser beweist. Flüsse entstehen durch die gestaltende Kraft des Wasserkreislaufes.

Seit mehr als drei Jahrzehnten und insbesondere seit Einführung der Wasserrahmenrichtlinie gibt es Bestrebungen, Flüsse und Bäche wieder in einen naturnahen Zustand zu bewegen.

In diesem Text sollen die wesentlichen, relevanten Aspekte dargelegt werden. Er gliedert sich in kurze abgeschlossene Kapitel, die jeweils nur einen Aspekt behandeln und unabhängig voneinander gelesen werden können. Die einzelnen Kapitel sollen Verständnis für die geomorphologischen und physikalischen Vorgänge wecken, die bei der Planung einer Renaturierung von Bedeutung sind. Um bei tieferem Interesse weitere Informationen zu bekommen, wird die Benutzung einschlägiger Suchmaschinen empfohlen. Die einzelnen Kapitel sind bewusst kurz gehalten.

Flüsse sind mit sich selbst nur in ausgereiften Einzugsgebieten im Gleichgewicht. Im heutigen Anthropozän mit seinen vielfältigen durch den Men-

schen vorgenommenen Veränderungen ist nichts im Gleichgewicht, dafür ist es noch viel zu jung und die Veränderungen sind in vollem Gange.

Die vielfältigen Strukturen wie beispielsweise Kolke, Inseln, Steilufer, Gleitufer, Verlandungen, Flachwasserzonen usw. entstehen durch die Kraft des fließenden Wassers. Die dort natürlich vorkommenden Arten haben sich im Laufe ihrer Evolution an diese Strukturen angepasst, es sind ihre natürlichen Lebensräume. Wenn eine Renaturierung für diese Arten einen Vorteil haben und sie zurückbringen soll, müssen sich diese Strukturen nach der Renaturierung auch langfristig wieder einstellen.

Der erste naheliegende Schluss, den Fluss so wiederherzustellen wie er einmal war, erweist sich in der Praxis als schwierig. Oft ist das ursprüngliche Erscheinungsbild gar nicht mehr bekannt, weil bereits seit Jahrhunderten Wasserbau betrieben wurde. Oder der dem Fluss zur Verfügung stehende Raum ist anderweitig genutzt, steht im Eigentum anderer. Demzufolge kann die Planung einer Renaturierung durchaus anspruchsvoll sein.

Die letzten Kapitel geben Hinweise, wie bei einer Renaturierung zweckmäßig vorgegangen werden kann und welche Fehler man vermeiden sollte. Wesentliches Ziel ist das Wecken von Verständnis. Jede Renaturierung ist ein Einzelstück, mit dem man kaum alle Aspekte bedienen kann.

# 2

## Geomorphologie

### 2.1 Gefälle

Flüsse fließen im weitesten Sinne in Tälern. Diese Täler haben ein Gefälle, weil auch sie fluvial entstanden sind.

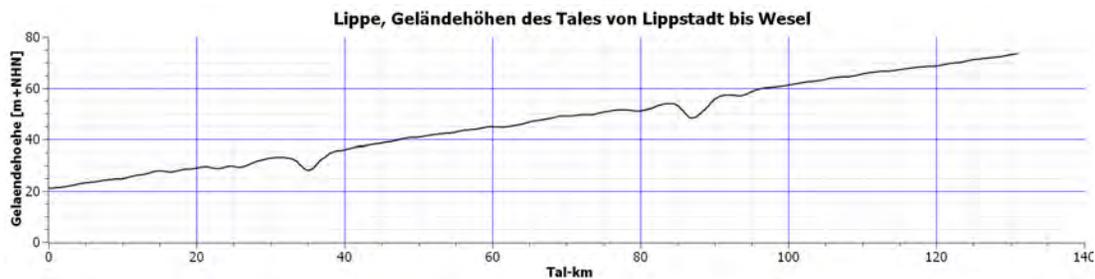
Allerdings sind sie fast immer in anderen Erdzeitaltern entstanden, beispielsweise während oder vor den letzten Eiszeiten. Ursache war die Erosion der Gesteine und der Abtransport der Verwitterungsprodukte durch fließendes Wasser. Dementsprechend gleichmäßig stellt sich das Talgefälle dar, es ist über große Weiten konstant. (siehe Kapitel: 2.4 )

In der Literatur findet man oft die Beschreibung, dass das Gefälle immer größer wird, je höher man im Einzugsgebiet steigt, je näher man der Wasserscheide kommt. Grundsätzlich stimmt das auch, allerdings tritt dieser Effekt erst im hohen Einzugsgebiet, also erst in der Nähe der Wasserscheide auf. Im weit überwiegenden Teil des Einzugsgebietes ist das Gefälle weitgehend konstant.

Während frühere Überlegungen dazu eher theoretisch aufgestellt wurden, ist es heute problemlos möglich, ganze Einzugsgebiete und Landschaften zu vermessen. Daraus ergibt sich die Erkenntnis, dass das Gefälle

der Landschaft großräumig viel konstanter ist, als man sich das vor wenigen Jahrzehnten noch vorstellte. Die heute verfügbare Vermessungstechnik und insbesondere die Laserscanning-Möglichkeit ganzer Landschaften haben viele neue Erkenntnisse bewirkt. Die Möglichkeiten der Technik bestimmen die Reichweite des Denkens.

Ein Talgefälle ist als gegeben anzusehen, es ist realistisch nicht zu verändern.



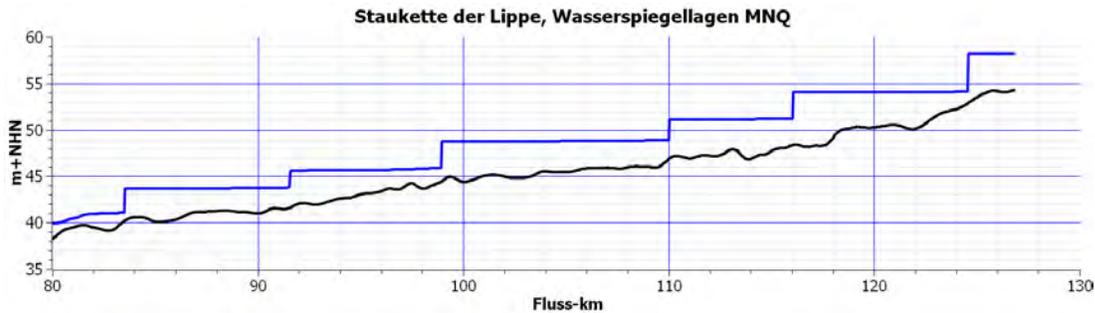
**Abb. 2.1** Schnitt durchs Tal der Lippe von Lippstadt bis Wesel, Mündung in den Rhein. Die Dellen sind Bergsenkungsgebiete infolge des Steinkohlebergbaus

Ursprünglich haben sich Flüsse mit und in diesen Tälern entwickelt. Seit der letzten Eiszeit haben wir aber ein anderes hydrologisches Regime, es fließt viel weniger Wasser ab. Wir leben derzeit in einem sehr erosionsarmen Erdzeitalter.

In den letzten Jahrhunderten wuchs die Bevölkerung enorm, sodass erheblicher Bedarf an landwirtschaftlicher Nutzfläche entstand. Deshalb wurden auch zunehmend die Flusstäler genutzt, obwohl deren Standortbedingungen infolge der häufigen Überflutungen eigentlich unattraktiv waren und noch sind. Man begradigte die Flüsse, vergrößerte ihr Abflussprofil, deichte sie ein und schaffte sich so mehr Nutzfläche.

Durch diese Begradigungen vergrößerte sich das Gefälle des Flusses, eben weil man die Lauflänge verkürzte. Durch die Befestigungen verlor der Fluss sein mobilisierbares Sediment, weil seitliche Verlagerungen unterbunden wurden. Die Folge war, dass der Fluss sich eintiefte, an der Lippe teilweise fünf bis zehn Meter. Daraufhin sank der Grundwasserstand, was für die Landwirtschaft ebenfalls ungünstig war. Also baute man Wehre, um den Flusswasserspiegel wieder anzuheben.

Heute empfindet man Wehre zunehmend als inakzeptabel, weil sie die Wanderung von Fischen und anderen Organismen unterbrechen. Wehre werden heute nicht mehr errichtet, sondern eher rückgebaut. Da das das Flussgefälle wieder erhöht, droht erneute Tiefenerosion. Der versucht man durch Anlegen von neuen Mäandern Herr zu werden. Mäander verlängern den Fließweg aber kaum mehr als um den Faktor zwei (siehe Kapitel 2.3). Oft hat man auch das dafür erforderliche Flächeneigentum nicht. Ob das also zur Kompensation reicht oder ob andere Lösungen gefunden werden müssen, ist im Einzelfall sorgfältig zu betrachten.



**Abb. 2.2** Staukette infolge der Lippewehe bei mittlerem Niedrigwasser

## 2.2 Flussbett

Flüsse haben eine mehr oder weniger gleichförmige Gestalt. Ihre Breite beispielsweise variiert nicht beliebig. Zwar sind sie im Oberlauf schmaler und im Unterlauf breiter, eben weil der Abfluss mit der Größe des Einzugsgebietes zunimmt. Lokal variiert ihre Breite aber kaum um mehr als den Faktor zwei.

Es müssen also Gesetzmäßigkeiten existieren, die diese homogene Form verursachen. Bis in die siebziger Jahre hinein wurde versucht, diese Gesetzmäßigkeiten zu verstehen. Man kam aber über die grafische Beschreibung von Naturbeobachtungen in Diagrammen nicht hinaus. Beispielsweise Luna Leopold hat dazu einiges veröffentlicht. Die vorgeschlagene Regimetheorie, die alle geometrischen Variablen als Potenzfunktionen des Abflusses versteht, hat leider keine wirklich brauchbare Methode ergeben.

Diese Potenzfunktionen rühren aus der doppelt logarithmischen Darstellung in Diagrammen, die Abhängigkeiten suggerieren, die real gar nicht da sind. Deshalb fährt man auch heute noch am besten mit der Auswertung von Naturbeobachtungen im lokalen Umfeld einer geplanten Renaturierung.

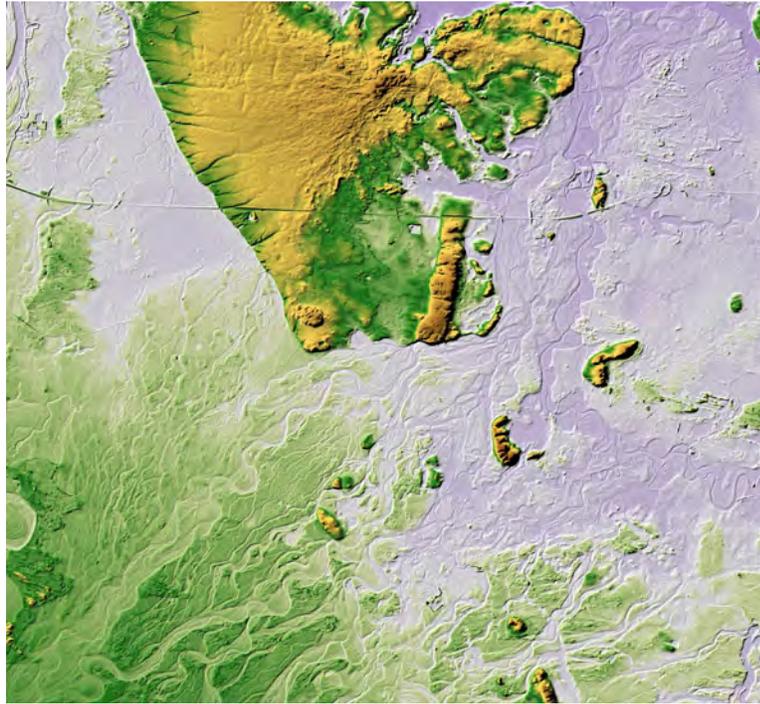
Die wesentlichen Datenquellen, die heute zur Verfügung stehen, sind:

- Luftbilder
- Urkartierungen
- Digitale Geländedaten, Lasermessungen der Geländehöhen

In aktuellen Luftbildern erkennt man oft Strukturen früherer Gewässerverläufe. Anhand von Bodenfärbung und Gehölzstrukturen sind Verlauf und ehemalige Breite des Flusses häufig noch erkennbar, sofern die Landwirtschaft sie nicht zerstört hat.

Beispielsweise in den preußischen Urkartierungen von 1830 bis 1865 sind regelmäßig ehemalige Verläufe noch vorhanden. Allerdings wurden Begradigungen und Flussverlegungen auch schon früher durchgeführt.

Die heute flächendeckend verfügbaren Daten der Laserbefliegungen des Geländes liefern ein sehr hoch aufgelöstes Modell der Geländeoberfläche. Bei geeigneter Visualisierung erkennt man oft unglaublich viele fluviale Strukturen und Altverläufe der Flüsse. Aus ihnen kann man oft Verläufe und Breiten herauslesen.



**Abb. 2.3** Alte fluviale Strukturen im Urstromtal der Elbe

Daneben gibt es hydraulisch-theoretische Ansätze, mit denen man die Profilgeometrie abschätzen kann. Sie beruhen auf dem allgegenwärtigen Prinzip der Natur, alle Vorgänge mit minimaler Energie ablaufen zu lassen. So stellt ein natürlicher Fluss sein Bett so ein, dass die für den Transport von Wasser und Sediment erforderliche energetische Leistung minimal ist. Faktisch bedeutet das, dass das Gefälle, das zum Transport erforderlich ist minimal wird, oder dass bei vorgegebenem Talgefälle die Transportkapazität maximal wird. Dieses Prinzip wird Minimum-Streampower-Theorie genannt.

Alternativ kann man dieses Prinzip so formulieren, dass der Impuls der Strömung des Flusses maximal sein muss.

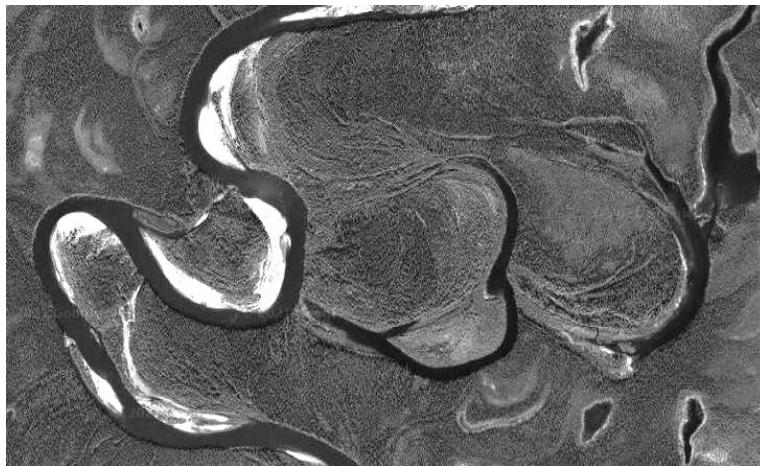
Diese Betrachtungen liefern eine den Naturbeobachtungen entsprechende Breite eines Flusses, die bei Renaturierungen herangezogen werden kann. Die dazu notwendigen Berechnungen sind allerdings recht aufwendig und nicht allgemein zugänglich, sodass in der Praxis den Naturbeobachtungen der Vorzug zu geben ist.

All diesen Betrachtungen ist gemeinsam, dass sie durchaus Näherungen für den Grundriss und die Breite eines Flusses liefern, aber keine wirklichen Aussagen zur Tiefe des Profils im Gelände machen. Hier ist man auf andere Ideen angewiesen, die nicht immer realistisch sein müssen.

Will man beispielsweise eine Aue wiederherstellen, die hinreichend oft im Jahr überflutet wird, könnte die Profiltiefe so gewählt werden, dass der neue Fluss rund 100 Tage im Jahr ausufert. Natürliche Flüsse ufern aber sehr variabel aus, kaum ein Fluss gleicht dem anderen. Hier bleibt also nur eine Wahl, die einer gewissen Willkür unterliegt und natürlich von Restriktionen wie dem zur Verfügung stehenden Eigentum abhängt.

## 2.3 Mäander

Flüsse mäandrieren. Dieses auf den ersten Blick verblüffende Phänomen ist jedem schon mal aufgefallen. Flüsse zeigen immer wieder erstaunlich regelmäßige Formen, über deren Ursachen immer wieder philosophiert wurde und wird.



**Abb. 2.4** Natürliche Mäanderbildungen

Mäander sind sich selbst organisierende Formen, die an vielen Stellen in der Natur auftreten, nicht nur bei Flüssen. Eine sich biegende Stange aus Federstahl zeigt solche Formen, ebenso ein zusammengestauchtes

Gummiband. Die hier durch die Biegung entstehenden Spannungen sind in der Summe minimal.

Bei Flüssen sind es die treibenden und die haltenden Kräfte auf die Strömung, die bei der Mäandrierung in der Summe den geringsten Energieumsatz aufweisen.

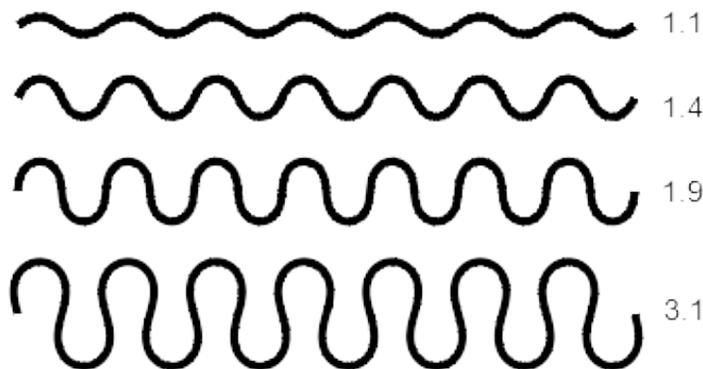
Treibende Kraft ist die Schwerkraft, die das auf der der Erdoberfläche fließende Wasser talabwärts führt. Die haltenden Kräfte sind die Fließwiderstände der Erdoberfläche. Gäbe es diese Fließwiderstände nicht, würde das Wasser immer schneller geradeaus fließen, was aber nicht der Fall ist. Jeder hat beobachtet, dass Flüsse nicht immer schneller werden bei ihrem Weg talabwärts, sondern recht gleichbleibend schnell fließen.

Diese Kräfte sind nicht gleichmäßig und konstant, sie variieren lokal nach Größe und Richtung. Sie setzen sich aus vielfältigen beliebig verteilten Kräften zusammen, die in der Summe normalverteilt sind; viele beliebig verteilte Einflussgrößen sind in der Summe normalverteilt, das zeichnet die Normalverteilung aus. Man kann mathematisch zeigen, dass normalverteilte Kräfte auf eine Bewegung eben diese beobachtete Mäandrierung der Bewegung verursachen.

Abbildung 2.5 zeigt solche theoretischen Mäanderstrecken. In der Natur sind derart gleichmäßige Strecken natürlich selten und kaum zu erwarten, weil die Kräfte der Landschaft eben nicht völlig gleichmäßig auftreten sondern lokal unterschiedlich zufällig variieren. Trotzdem tauchen immer wieder diese typischen Mäanderformen auf wie in Abbildung 2.5.

Wovon hängt es nun ab, ob Mäanderformen bei einem Fluss auftreten? Das kommt auf das Verhältnis der treibenden zu den haltenden Kräften an.

Die Strömungsenergie und die Strömungskraft ist proportional zum Abfluss  $Q$  und zum Gefälle  $I$ . Wenn beide groß sind, kann die Landschaft dem nichts entgegensetzen und das Wasser fließt gerade dem Gefälle folgend nach unten, Mäander entstehen dann nicht. Wenn beide klein sind, entstehen ebenfalls keine Mäander, da die geringen Kräfte des Wassers gegen die



**Abb. 2.5** Einige typische Mäanderformen und ihre Laufverlängerungen

Landschaft keine Formen entstehen lassen können. Nur im mittleren Bereich der vergleichbaren Größe der treibenden und haltenden Kräfte entstehen Mäander.

Das findet sich in zahlreichen Abbildungen in den Lehrbüchern wieder. Im hohen Oberlauf, wo das Gefälle groß ist, ist der Fluss gestreckt, im Mittellauf mäandriert er, im Unterlauf streckt er sich wieder oder verzweigt sich in viele Mündungsarme.

Im groben stimmt das auch, aber man darf nicht vergessen, dass die Ursachen einer Mäandrierung lokal wirken und mit der Lage im Einzugsgebiet nichts zu tun haben. Auch im Oberlauf können bei geringen Abflüssen (kleines Einzugsgebiet) Mäander auftreten, ebenso im Unterlauf bei genügend großem Abfluss und weichem Gelände.

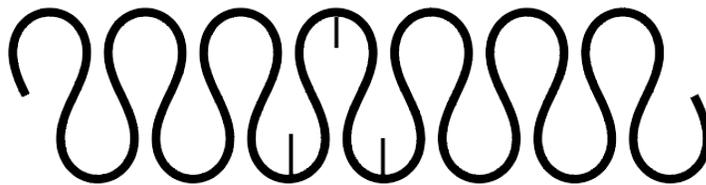
Da man die wirkenden Kräfte der Landschaft nicht messen kann, sind diese Betrachtungen eher theoretisch. Letztlich muss man das Umfeld beobachten und anhand alter, noch erkennbarer Strukturen in der Landschaft entscheiden, ob und in welcher Stärke Mäander auftreten können oder nicht.

Mäander verändern das Gefälle eines Flusses. Je länger der Fließweg des Flusses gegenüber dem Verlauf des Tales wird, desto geringer wird sein Gefälle. Abbildung 2.5 zeigt einige Mäandrierungsgrade und ihre Laufverlängerungsfaktoren.

Viel mehr als die Verdoppelung der Lauflänge oder die entsprechende Halbierung des Gefälles ist selten, irgendwann schneiden sich sonst die Mäanderbögen. Bei Renaturierungen darf man also keine dramatischen Gefällereduktionen durch Herstellen einer Mäanderstrecke erwarten.

Mathematisch lassen sich diese Kurven dadurch beschreiben, dass die gesamte Krümmungsänderung auf der Mäanderstrecke minimal wird. Dieses Minimalprinzip ist eine Eigenschaft der Natur, die überall auftritt. Die resultierenden Gleichungen oder Formeln sind leider sehr sperrig, besser handhabbar ist die sehr gute Näherung der sinus-generierten Kurven. Dort folgt die Winkelabweichung des Fließweges von der geraden Verbindung einer Sinuskurve. Für die Konstruktion von Planungen sind aber auch diese Formeln zu kompliziert zu handhaben. Besser ist es, den zu planenden Grundriss anhand theoretischer Verläufe wie aus Abbildung 2.5 frei Hand zu zeichnen. Dabei kann ein zufälliger Anteil intuitiv eingebracht werden.

Es ist offensichtlich, dass bei der Planung von Mäanderbögen die Breite des Gewässers im Verhältnis zum Krümmungsradius beachtet werden muss. Zu breite Gewässer passen nicht in zu enge Krümmungen, sie stellen sich in der Natur nicht ein. Bei aller Variabilität gilt als Faustregel: Flussbreite im Krümmungsscheitel maximal ein Drittel des Krümmungsradius. (Abbildung 2.6)



**Abb. 2.6** Krümmungsradius im Scheitel und Flussbreite

Auch auf einem Gletscher im Eis fließendes Wasser bildet Mäanderformen. Abbildung 2.7 zeigt eine Form auf dem Gornergletscher in der Schweiz.



**Abb. 2.7** Mäander im Eis

Ein Beispiel für Mäanderbildung ausserhalb von Flüssen sind die Fließformen auf einer Autoscheibe, die sich in einer Waschanlage zeigen. Die treibende Kraft ist natürlich die Schwerkraft, die haltende Kraft ist die Oberflächenspannung des Wassers auf der Scheibe.

Durch Selbstorganisation entstehende Formen sind in Flüssen oder in fließendem Wasser nicht auf Mäander beschränkt. Dünen und Riffeln im Wasser und im Wind entstehen durch ähnliche Prozesse. Manche regelmäßigen Wolkenformationen zeigen ebenfalls riffelartige Formen.



**Abb. 2.8** Riffeln im Sand

## 2.4 Sediment

Die Landoberfläche der Erde besteht überwiegend aus Verwitterungsprodukten von Gesteinen. Diese existieren in unterschiedlichen Klassen, von groben Klötzen über Kies und Sand bis hin zu schluffigen, tonigen und lehmigen Bestandteilen.

Das auf der Geländeoberfläche fließende Wasser bewegt diese, konzentriert sich dabei in wenigen Abflusswegen, die wir Gewässer nennen.

Im Folgenden befassen wir uns lediglich mit Kiesen und Sanden. Kiese werden beim Transport im Wasser rundgeschliffen, weil sie aneinander stoßen und so ihre Kantigkeit verlieren. Sand zeigt diesen Effekt ebenfalls, er ist aber in Folge des geringen Gewichts des Sandkorns nicht sehr wirksam.

Da diese Stoffe sich im Wasser auf dem Grund absetzen können und auf der Sohle transportiert werden, werden sie als Geschiebe bezeichnet.

Wieviel Sediment im fließendem Wasser bewegt wird, ist im Wesentlichen von der Fließgeschwindigkeit, der Wassertiefe und vom Gefälle des Wasserspiegels abhängig.

Damit sich Kies bewegt, bedarf es je nach Korngröße einer nennenswert kräftigen Strömung, Kies bewegt sich nur bei höheren Abflüssen, also nur an wenigen Tagen im Jahr. Sand dagegen ist praktisch immer in Bewegung, auch bei geringen Abflüssen. Lehmige Bestandteile werden im Schwebzustand transportiert, weshalb sie Schwebstoffe genannt werden. Sie sedimentieren nur bei Stillstand der Strömung.

Messungen des Sedimenttransportes gibt es praktisch nicht. Zum einen ist es technisch und messtechnisch schwierig, zum anderen besteht daran bei den Wasserwirtschaftsverwaltungen so gut wie kein Interesse. In der Praxis ist man deshalb auf Beobachtungen und Abschätzungen angewiesen. Manchmal werden die Höhen der Sohle gemessen, aber auch meist nur sporadisch.

## **Sedimentquellen**

Ihren Ursprung haben die Sedimente im gesamten Einzugsgebiet. Durch Verwitterung werden sie mobilisiert und vom Niederschlagswasser in die Tiefpunkte des Geländes gespült, wo die Flüsse sie aufnehmen und wegtransportieren. Das passiert aber nur, wenn genügend Verwitterung der Gesteine stattfinden kann. Verwitterung ist kein erdgeschichtlich immer konstanter Vorgang. Seit der letzten Eiszeit leben wir in einem sehr verwitterungsarmen und erosionsarmen Zeitalter, die Landschaft verändert sich seitdem kaum. Das Sediment, in dem die Flüsse heute fließen, ist in viel länger zurückliegenden Zeitaltern entstanden. Die vorhandene Sedimentmenge ist also nicht unendlich groß.

Das Geschiebe, das die Flüsse heute transportieren stammt meist aus dem Talraum, in welchem der Fluss fließt. Im Hochgebirge entsteht es in großen Mengen neu durch Verwitterung, im Mittelgebirge in geringeren Mengen, im Flachland kaum. Der Fluss erodiert es aus seiner Sohle oder nimmt es sich aus dem rechts und links liegenden Gelände bei der seitlichen Verlagerung seines Bettes. Wenn so eine seitliche Verlagerung durch Uferbefestigung nicht mehr möglich ist, erodiert er die Sohle und zwar so tief, bis festes Gestein ansteht. Das führt zu der sehr unerwünschten Tiefenerosion.

Lehmige und schluffige Bestandteile dagegen werden heute in großen Mengen in den Einzugsgebieten generiert. Das liegt an der Art der landwirtschaftlichen Nutzung, an den durch Bodenbearbeitung offen liegenden Böden. Dort wird heute bei stärkeren Niederschlägen sehr viel Boden abgeschwemmt. (Siehe Kapitel 2.6).

## **Gestalt eines Flusses**

Die Gestalt eines Flusses hängt maßgeblich von seinem Sedimenttransport ab. Wenn dieser gleichmäßig erfolgt, verändert sich das Flussbett von Ort zu Ort praktisch nicht. Wenn es jedoch lokale Unterschiede im Sedimenttransport gibt, gilt das nicht.

Wenn sich lokal die Fließgeschwindigkeit und/oder die Wassertiefe ändern, ändert sich der Sedimenttransport. Verlangsamt sich z.B. die Strö-

mung, wird aus dem lokalen Bereich weniger heraus als hinein transportiert, die Sohle höht sich lokal auf. Umgekehrt, wenn sich die Strömung beschleunigt, wird lokal mehr heraus als herein transportiert, die Sohle tieft sich ein.

Diese Effekte wirken grundsätzlich lokal, können sich aber auf große Bereiche ausdehnen. Genauso können sie sich großräumig ausgleichen, aber lokal sehr bedeutend sein.

In sedimentologisch ausgereiften Flüssen ist deshalb des Gefälle über große Distanzen sehr konstant. Die Menge an Sediment, das in einen Bereich hineinfließt, entspricht der Menge, die wieder heraus fließt. Da der Sedimenttransport vom Gefälle abhängt, stellt sich dieses dann als konstant ein.

Solche lokalen Effekte nennt man in der Kontinuumsmechanik Divergenz. Sie ist die Summe aller in einen Bereich hinein und hinaus fließenden Ströme. Ist sie positiv, verliert der Bereich Sediment, andernfalls gewinnt er welches.

Diese Effekte wirken nicht nur in Strömungsrichtung, sondern auch in anderen Richtungen. In Flußkrümmungen erodiert bekanntermaßen das Außenufer, das Innenufer dagegen landet auf. Das wird wesentlich durch die in Flusskrümmungen vorhandene Schraubenströmung verursacht, die sich dem gestreckten Fließen des Flusses überlagert. Diese Schraubenströmung erodiert am Außenufer und landet am Innenufer an.

Man kann solche Variationen des Sedimenttransportes sehr schön erkennen, wenn eine stark ausgebaute Strecke endet und das Gewässer sich verbreitern kann. In der ausgebauten Strecke nimmt man den am Flussgrund transportierten Kies nicht wahr, er bleibt unter Wasser verborgen. Sobald der Fluss sich weitet, bilden sich Kiesbänke, die man unmittelbar erkennt.

Sehr schön kann man das in Luftbildern von der Isar bei Mittenwald erkennen. Während der Kies in Mittenwald in der ausgebauten Strecke

unsichtbar ist, sind unterhalb von Wallgau bis zum Sylvensteinspeicher große Kiesflächen vorhanden.

Sofern ein Fluss durch Wehre gestaut ist, ändern sich ab der Stauwurzel das Wasserspiegelgefälle, die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit. Ab der Stauwurzel reduziert sich der Sedimenttransport, das Sediment bleibt an der Stauwurzel liegen.

Solche Stauräume vor Wehren verlaufen also nach abwärts beginnend an der Stauwurzel, nicht nach aufwärts beginnend am Wehr. (Abbildung 2.2)

Bei all diesen Phänomenen spielt die Zeit eine große Rolle. Kies beispielsweise wird in Abhängigkeit von der Korngröße nur bei größeren Abflüssen bewegt, die oft nur an wenigen Tagen im Jahr auftreten. Deshalb dauert es oft viele Jahrzehnte, bis sich ein Stauraum mit Kies gefüllt hat oder sich eine Sohle eintieft. Sand dagegen ist immer in Bewegung, sodass sich Eintiefungen schneller zeigen. Schluff oder Lehm sedimentiert praktisch nur in still stehenden Bereichen. Wenn diese durch Aufweitungen hergestellt werden, sedimentieren sie regelmäßig mit Lehm wieder auf.

## **2.5 Flüsse ohne Sediment**

Manche Flüsse und Bäche führen kein Sediment. Sie fließen beispielsweise auf einer festen Lehmsohle, auf der sich kein Sand oder Kies findet. Das Einzugsgebiet liefert kein Sediment. Bei höheren Abflüssen führen sie regelmäßig viel Schwebstoff aus Schluff und Lehm. Eine Bettbildung im herkömmlichen Sinne aus Sand und Kies findet nicht statt.

Solche Gewässer sind typisch für Bördelandschaften, die aus Löss und Lehm bestehen. Löss wurde äolisch, d.h. vom Wind, in Staubstürmen während der Kaltzeiten des Eiszeitalters abgelagert. Er kann mehrere Meter mächtig sein. Ebenso kann sich hier lokal Auelehm durch Sedimentation von Schwebstoffen fluvial gebildet haben.

Obwohl solche Gewässer keine Bettbildung aus Sand und Kies erfahren haben, weisen sie doch immer wiederkehrende Formen wie regelmäßige Profile und Mäander auf. Diese Formen entstehen durch das Zusammenspiel der treibenden und haltenden Kräfte, wie bei Mäandern auch. Die Vegetation spielt dabei eine große Rolle, weil sie der Ufererosion erheblichen Widerstand entgegensetzen kann.

Das ist kaum vorhersagbar und kaum quantifizierbar. Hier helfen nur Naturbeobachtungen und Lernen von der Natur.

Alle bisherigen Ausführungen zu Gefälle, Flussbett und Mäandern gelten natürlich auch für diese Gewässer.

## **2.6 Auelehm**

Die Talböden der Landschaft sind heute überwiegend mit einer Schicht aus Lehm bedeckt. Dieser Lehm entsteht durch Abschwemmen von feinstkörnigem Material von den Oberflächen im Einzugsgebiet bei größeren Niederschlägen, der dann in den Tälern sedimentiert und deshalb dort als Auelehm bezeichnet wird.

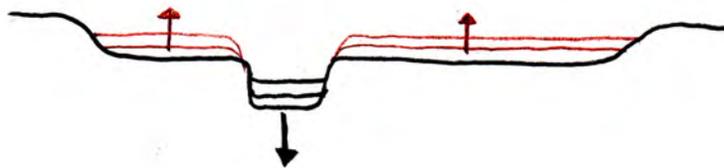
Dies ist ein geologisch recht junger Effekt, der erst seit rund 1000 Jahren in größerem Umfang besteht. Ursache ist die massive Veränderung der Landnutzung, teilweise durch die Landwirtschaft und die Offenlegung der Böden von der Vegetation, teilweise durch die Entwaldung der Landschaft für die Holzgewinnung zur Erzeugung von Holzkohle für die Eisenbearbeitung im Mittelalter.

So liegen heute oft mehrere Meter mächtige Lehmschichten auf den ursprünglichen Talböden. Diese Auelehmbildung ist nach wie vor in vollem Gange. Man kann heute immer noch von rund 2mm Lehmsedimentation pro Jahr ausgehen. Eine Änderung wäre nur durch eine Änderung der landwirtschaftlichen Praxis erreichbar.

Viele aus heutiger Sicht wünschenswerte Strukturen der Landschaft sind unter dem Auelehm verschwunden. Viele Lebensräume sind dadurch untergegangen.

Nur wenige Lebensräume haben dadurch in nennenswertem Umfang zugenommen, beispielsweise Steilwände, die von Eisvogel und Uferschwalbe besiedelt werden können.

Durch die mit der Sedimentation des Lehmes verbundene Hebung des Geländes haben sich Fluss und Aue weiter voneinander in der Höhe entfernt, die Aue wird immer seltener überflutet. Das gleichzeitige Eintiefen des Flusses verstärkt dieses Phänomen. (Abbildung 2.9)



**Abb. 2.9** Anwachsen des Auelehms und Eintiefung des Flusses

Oft wird deshalb vorgeschlagen, den Auelehm bereichsweise zu entfernen, um so eine häufigere Überflutung der Aue zu erreichen. Solche Flächen bezeichnet man als Ersatzauen. Die Schwierigkeit ist dabei, dass schnell sehr große Bodenmengen zu beseitigen sind, was die Kosten in die Höhe treibt und oft gar nicht möglich ist.

Eine wirklich nachhaltige Lösung zu finden, ist im Einzelfall anspruchsvoll.

## 2.7 Einflüsse, Impacts

In der Geomorphologie werden generell zwei verschiedene Einflussgrößen unterschieden, die die Landschaft formen.

### **Impacts oder katastrophale Ereignisse:**

Das sind Ereignisse mit großer gestaltender oder zerstörerischer Kraft wie z.B. große Hochwässer. Diese können bei einem einzigen Ereignis alles verändern.

### **Ständige kleine Mechanismen:**

Diese verändern nur wenig im Einzelfall, da sie aber so häufig vorkommen, haben sie in der Summe doch großen gestaltenden Einfluss.

Bei Kiesflüssen ist der Kies nur bei größeren Abflüssen in Bewegung. Dementsprechend findet eine Veränderung des Flussbettes nur selten statt. Wenn man eine Veränderung beispielsweise nach einer Renaturierung erwartet, muss man Geduld haben. Manchmal passiert jahrelang nichts.

Bei Sandflüssen ist der Sand dagegen auch bei kleinen Abflüssen, also ständig in Bewegung. Hier finden Veränderungen kontinuierlich und langsam statt. Natürlich kann ein Sandfluss aber auch bei einem großen Hochwasser in kürzester Zeit erheblich verändert werden.

# 3

## Einflüsse der Menschen

### 3.1 Landwirtschaft

In Mitteleuropa ist die gesamte Landschaft durch vielfältige Nutzungen und insbesondere durch die Landwirtschaft geprägt. Selbstverständlich hat das auch die Flüsse und Bäche maßgeblich beeinflusst.

Bis weit in die Mitte des letzten Jahrhunderts war diese Landwirtschaft in Deutschland für die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln auch erforderlich. Mittlerweile dominieren in der Landwirtschaft andere Interessen.

Der Wasserhaushalt der Landschaft ist für die landwirtschaftliche Nutzung entscheidend. Er ist nur selten genau richtig, meist ist es zu nass oder aber zu trocken.

Unter schädlicher Bodennässe wird ein zu hoher Wassergehalt des Bodens für das beste Wachstum der Nutzpflanzen verstanden. In der Nähe von Flüssen und in Auenlandschaften war es deshalb das vorrangige Ziel, diese zu korrigieren. Dazu mussten die Grundwasserstände abgesenkt werden. Das gelingt nur, wenn es in der Nähe tiefere Wasserstände gibt, zu denen das zu hohe Grundwasser abfließen kann. Diese tieferen Wasserstände werden Vorflut genannt.

Um diese Vorflut herzustellen, müssen hinreichend viele Drainagegräben hergestellt werden, die das Wasser bei genügend tiefen Wasserständen abführen können. Diese wiederum münden in andere Gewässer, die an der Einmündung der Drainagen tief genug liegen müssen usw.

Faktisch hat man die Entwässerung der Landschaft weg von der Oberfläche in eine zweite, tiefergelegene Ebene verlagert, sodass die Oberfläche trocken genug wurde. So hat man das unerwünschte Versumpfen der Landschaft beseitigt.

Wie die Landschaft, die einst sehr wasserreich war, früher einmal ausgesehen hat, ist aus dem kollektiven Gedächtnis der Menschen verloren gegangen. So wundert man sich heute in niederschlagsarmen Jahren über die Trockenheit der Landschaft und ruft nach finanziellen Hilfen, ohne sich an die eigentlichen Ursachen, die Dränungen, noch zu erinnern.

Um das Wasser aus der Landschaft hinauszubekommen, mussten die Flüsse begradigt werden. Mäander wurden abgeschnitten, der Verlauf künstlich gestreckt. Damit gewann man durch die Laufverkürzung Gefälle, das Wasser floss schneller ab. Ebenso wurden so kleinere Hochwässer schneller abgeführt, was die Überflutungshäufigkeit verringerte, gleichzeitig aber die Unterlieger nachteilig beeinträchtigte.

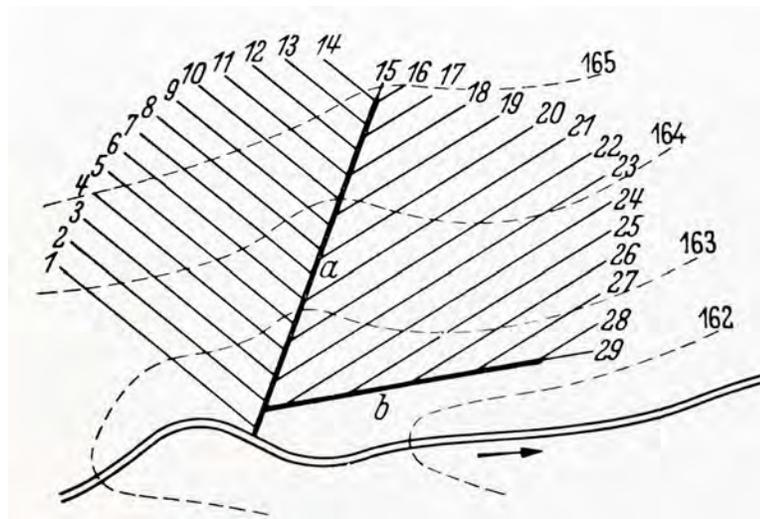
Damit die begradigten Gewässer, die dann größere Erosionskraft hatten, sich nicht von selber durch Ufererosion verlagerten, wurden ihre Ufer mit Faschinen oder Steinschüttungen befestigt. Verlagerungen des Flusses oder Baches hätten nämlich sonst das Grundeigentum der Anlieger beeinträchtigt, was gesellschaftlich höchst unerwünscht war und immer noch ist.

Teilweise wurden die Gewässer aus dem Taltiefsten an den Talrand gelegt, um die landwirtschaftliche Nutzfläche zu vergrößern. Das ausufernde Hochwasser fand und findet aber stets seinen Weg zurück ins Taltiefste. Wenn diese Bereiche heute bebaut sind, sind die Probleme vorgezeichnet.

All diese Veränderungen der Gewässer passierten seit Jahrhunderten, erfuhren allerdings in den 1950er - 70er Jahren durch Maschineneinsatz eine große Beschleunigung.

Eine weitere, zur Entwässerung sehr effektive Methode ist der unmittelbare Einbau von Drainagen in den Boden. Dazu wird ein Netz von früher Ton-, heute Kunststoffrohren im Boden in hinreichender Tiefe verlegt, die den Boden flächig entwässern. Abbildung 3.1 zeigt exemplarisch eine solche Drainage. Die Stränge münden in Sammler, die einem Graben oder einem Gewässer zugeführt werden. Das alles passiert unter der Bodenoberfläche.

Solche Drainagen wurden massenhaft verlegt.



**Abb. 3.1** Drainage-Plan

Das letzte veröffentlichte Buch dazu ist aus dem Jahre 1958 von Gerhard Schröder, Landwirtschaftlicher Wasserbau. Die darin beschriebenen Methoden dominieren bis heute die Landschaft.

In Trockenzeiten sind Drainagen kontraproduktiv. Technische Möglichkeiten, diese dann abzustellen, zu schließen, gibt es meist nicht. An manchen Stellen hat man die begründeten Gewässer mit sogenannten Wiesenbewässerungswehren versehen. Diese konnten den Wasserstand dann auch wieder anheben, wenn er zu stark gesunken war. Die Steuerung solcher Wehre führte aber regelmäßig zu Konflikten der Landwirte untereinander. Der eingestellte Wasserstand gefiel manchen, manchen auch nicht.

Aus ökologischen Gründen hätte man heute gerne mehr Wasser in der

Landschaft. Das kollidiert regelmäßig mit den Eigentums- und Nutzungsansprüchen der Landnutzer.

Ergänzend sei bemerkt, dass alle Dränungen im Grunde eine Entnahme von Grundwasser darstellen. Das ist ein wasserrechtlicher Benutzungstatbestand. Dafür sind grundsätzlich Wasserrechte erforderlich, die jedoch nur selten erteilt worden sind. In manchen Wassergesetzen ist diese Bodenentwässerung genehmigungsfrei, in manchen auch nicht.

## 3.2 Flussbau

An dieser Stelle steht ein Zitat aus dem Lehrbuch Schoklitsch, Handbuch des Wasserbaues, 1930:

*Natürliche Flüsse sind im Urzustand in der Regel weitgehend verwildert, in Arme gespalten, der Stromstrich ist unbeständig und die Ufer werden angegriffen. Ungünstige Krümmungsverhältnisse und die zahlreichen Inseln hemmen den Abfluß des Hochwassers und den Abgang des Eises und führen zu häutigen Überflutungen des ganzen Talgeländes, und der ungeordnete Ablauf des Wassers führt zu einer Störung der Durchfuhr der Geschiebe, die wieder die Unordnung im Fluß steigert.*

*Der Flußbau bezweckt die Ordnung des Flußbettes. Wie weitgehend diese Ordnung zu treiben ist, hängt von den besonderen Verhältnissen am Fluß ab. Stets muß die Zusammenfassung des Flusses in ein einheitliches, regelmäßiges Bett angestrebt werden (Bändigung des Flusses), wobei gleichzeitig Krümmungen mit zu kleinen Krümmungshalbmessern durch Streckung des Laufes (Rektifikation, Begradigung) verbessert werden. Hand in Hand mit der Bändigung des Flusses werden Vorkehrungen für den Hochwasserschutz getroffen. In schiffbaren Flüssen muß schließlich noch durch die Regulierung des Flußbettes ein beständiger Talweg mit hinreichender Fahrwassertiefe geschaffen werden.*

*Wenn die Ordnung im Fluß hergestellt ist, läuft das Wasser, das Eis und das Geschiebe ab, ohne Schaden anzurichten, die Ufer und die Sohle sind*

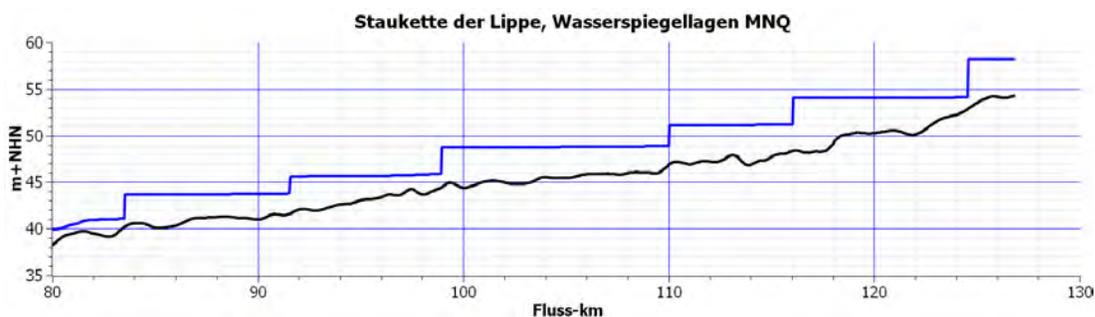
*gesichert und es können in der Regel weite Flächen des Talgeländes, die früher vom verwilderten Fluß verwüstet worden waren, einer Nutzung zugeführt werden.*

Aus diesen Zielvorstellungen und Empfehlungen wird klar, warum die Flüsse heute so aussehen wie wir es gewohnt sind. Die Maßnahmen wurden damals im großen gesellschaftlichen Konsens ausgeführt.

Auch wenn man heute gerne etwas mehr Unordnung hätte, der große gesellschaftliche Konsens zur naturnahen Umgestaltung besteht im Grunde nicht.

### 3.3 Wehre

Wehre sind technische Bauwerke im Fluss, die den Wasserstand nach Oberstrom anheben, das Wasser stauen. Sie erzeugen einen Sprung des Wasserspiegels an ihrem Standort. Damit ist die Durchwanderbarkeit des Flusses an dieser Stelle unterbrochen. Manchmal sind Wehre feste Schwellen im Fluss, manchmal sind sie durch Wehrklappen und -tafeln beweglich, können also bei Hochwasser geöffnet werden. Durch den Stau verändern sie die Eigenschaften des Flusses, er fließt oberhalb langsamer und eben mit größerer Wassertiefe.



**Abb. 3.2** Staukette infolge der Lippewehre bei mittlerem Niedrigwasser

Die Anhebung des Wasserspiegels dient unterschiedlichen Zwecken, z.B.

- Gegenmaßnahme zur Wasserspiegelabsenkung durch Tiefenerosion

- Ermöglichen der Steuerung des Grundwasserspiegels zu Be- und Entwässerungszwecken
- Herstellen einer hinreichenden Wassertiefe für die Schifffahrt
- Schaffen eines Wasserreservoirs zur Kühlwasserentnahme für Kohlekraftwerke
- Ermöglichen einer Nutzung der Wasserkraft

Oft will man Wehre heute wieder entfernen. Sofern ein Wehr aus Gründen der Tiefenerosion gebaut wurde, tritt nach einem Rückbau die Tiefenerosion aber wieder ein. Das muss im Einzelfall beurteilt und behandelt werden.

Die Kühlwasserentnahme verliert an Bedeutung, weil zahlreiche Kohlekraftwerke stillgelegt sind und werden. Außerdem ist die Wiedereinleitung des erwärmten Wassers mittlerweile erheblich eingeschränkt.

Der Energiegewinn einer Wasserkraftanlage ist proportional zur Wassermenge und zur Fallhöhe, zur Wasserspiegeldifferenz des Wehres. Für nennenswerte Energieausbeute braucht man also große Einzugsgebiete und große Höhendifferenzen. Relevant sind sie deshalb nur im gebirgigen Terrain.

Neue Wasserkraftanlagen werden so gut wie nicht mehr gebaut. Allerdings existiert der alte Bestand weiterhin, nicht selten hundert Jahre alt und älter. Er stammt überwiegend aus einer Zeit, in der ein paar hundert Kilowatt als viel galten. Heute leistet schon ein durchschnittliches Windrad drei Megawatt. Solche Leistungen erreichen nur sehr große Wasserkraftanlagen, z.B. im Gebirge wo große Fallhöhen und große Wassermengen vorhanden sind.

Oberhalb dieser Wehranlagen haben sich Tiere und Pflanzen nicht selten auf die angehobenen Wasserstände eingestellt. Da es sich aber um technische Anlagen handelt, haben diese eine Lebensdauer, sie bestehen nicht ewig. In den nächsten Jahren werden viele Wehranlagen nicht mehr

betriebssicher sein und ein Neubau wird sich nicht mehr rechnen. Die Lebensräume werden sich nach der dann erfolgenden Wasserstandsabsenkung verändern, was Konflikte mit dem Naturschutz verursachen kann. Der Naturschutz hängt am Status Quo. Hier ist neues Denken erforderlich.

Der Unterbrechung der Durchgängigkeit versucht man durch Fischaufstiege und -abstiege etc. zu begegnen. Auch wenn das durchaus wirksam sein kann, an einen nicht unterbrochenen Fluss reicht das nicht heran. Nicht einmal alle Fische schaffen es, solche Anlagen zu überwinden.

Relevante Kapitel: 2.1, 2.4

### **3.4 Durchlässe, Brücken, Rohre, Dolen**

In besiedelten Landschaften sind Querungen von Flüssen durch Verkehrswege unverzichtbar.

Kleinere Gewässer kreuzt man oft mit Durchlässen. Damit unterquert ein Gewässer den Verkehrsweg. Meist sind das einfache Kastenprofile die nicht viel breiter als das Gewässer selbst sind, manchmal sogar noch schmaler. Inwieweit sie eine Organismendurchgängigkeit erlauben, hängt von der Ausgestaltung im Einzelfall ab. Nicht selten enthalten sie kleine Abstürze, die dann nicht durchgängig sind. Wenn Durchlässe zu klein dimensioniert sind, können sie auch einen Aufstau bei größeren Abflüssen verursachen und stellen dann möglicherweise ein Hochwasserproblem dar.

Größere Gewässer werden mit Brücken überwunden. Brücken liegen deutlich über dem Gewässer, zum Queren muss man dann einen Höhenunterschied überwinden. Das wird mit Anrampungen gemacht, also mit Erdämmen, die die Aue kreuzen. Das Wasser kann dann nur noch durch das Brückenfeld fließen. Bei kleineren Brückenfeldern können diese auch verstopfen, beispielsweise durch große Strohballen. Das kann dann zu Hochwasserproblemen führen.

Eine andere Konstruktion sind Mehrfeldbrücken, die die gesamte Aue oder das Vorland mit mehreren Feldern überspannen. Ein Hochwasserproblem erzeugen diese Konstruktionen nur selten. Die Behinderung des Hochwasserabflusses durch die einzelnen Brückenpfeiler ist in der Regel vernachlässigbar klein.

Welche Art der Konstruktion gewählt wird oder wurde, ist eine Kostenfrage und auch eine Frage der Mode. In Deutschland werden sehr oft Einfeldbrücken mit Anrampungen gewählt, in Frankreich z.B. viel öfter Mehrfeldbrücken.

Sehr große und weit gespannte Brücken, wie z.B. die Schrägseilbrücken über den Rhein, beeinträchtigen den Fluss und den Hochwasserabfluss nicht.

Daneben gibt es Verrohrungen des Gewässers. Diese stellen keine Querungen dar, sondern verlaufen in Fließrichtung des Gewässers. Das gesamte Gewässer verschwindet auf langer Strecke vollständig in einem Rohr, weil man den Platz des Gewässers für andere Nutzungen in Anspruch nehmen wollte. Das ist beispielsweise in engen Tälern der Fall, wo ausser dem Talgrund keine ebenen Flächen vorhanden sind. Die Hänge hinauf kann man nicht gut bauen, der ebene Talgrund ist für Industrie- oder Produktionshallen oft die einzige Möglichkeit.

Dann sind die Gewässer komplett überbaut, sie werden gar nicht mehr wahrgenommen. Ein Rückbau dieser Verrohrungen ist nur selten möglich, weil die Flächen überbaut sind und sich in Privateigentum befinden.

Da diese Verrohrungen alt sind, ist über ihren baulichen Zustand meist nur wenig bekannt. Sie können sich verlegt haben, auch teilweise eingestürzt sein und sich bei Hochwasser mit Geschwemmsel verlegen. Inwieweit der Hochwasserabfluss noch hindurchpasst, ist in der Regel fraglich. Zum Glück sind große Hochwasser selten.

Sofern keine runden Rohre, sondern kastenförmige Bauteile mit Deckeln verwendet wurden, nennt man das nicht Rohr, sondern Dole.

## 3.5 Reaktionen des Flusses

In einem nur von den geomorphologischen Einflussgrößen und Kräften beeinflussten Einzugsgebiet stellt sich ein Fluss so ein, dass er mit sich und seinem Umfeld im Gleichgewicht steht. Natürlich gibt es immer wieder lokale Veränderungen infolge des Sedimenttransportes, im Großen sind die Verhältnisse jedoch konstant. Erst sehr große Hochwässer können umwälzende Veränderungen hervorrufen.

Infolge menschlicher Aktivitäten sind heute so gut wie alle Einzugsgebiete und Gewässer gestört, Gleichgewichte gibt es kaum noch.

Vorgegeben sind dem Fluss die Gegebenheiten des Einzugsgebietes, im Wesentlichen das Gefälle, das vorhandene Sediment und das hydrologische Regime. Reagieren kann der Fluss darauf mit seiner Laufentwicklung und seiner Profilgeometrie.

Damit stellen sich Profilbreite, Profiltiefe, Ausuferungshäufigkeit und Sedimenttransport so ein, dass insgesamt ein möglichst kleiner Energieumsatz entsteht. Dieses Minimalprinzip besteht überall in der Natur.

Die Menschen greifen in diese Systeme ein. Sie betreiben Landwirtschaft, Besiedelung, Hochwasserfreilegungen, Deichbau usw. Sie verlegen Gewässer, drainieren die Landschaft, vertiefen und vergrößern die Flüsse, begradigen sie.

Eine Begradigung erhöht das lokale Flussgefälle. Damit wächst der Sedimenttransport. Wenn das Einzugsgebiet nicht gleichzeitig mehr Sediment in den Fluss spült, was es nicht tut, kommt es zur Erosion im Flussbett.

Eine Uferbefestigung verhindert die seitliche Verlagerung des Flusses. Sedimentquellen fallen aus. Es kommt zur Tiefenerosion.

Das Abflussprofil des Flusses wird vergrößert und vertieft. Der Fluss ufert seltener aus, der Sedimenttransport wächst. Es kommt zur Tiefenerosion.

Diese Prozesse können selbstverstärkend sein. Eine Zunahme der Erosion vertieft die Flüsse, sodass sie noch mehr Sediment transportieren können, die Erosion steigt immer weiter an.

Das endet erst, wenn der geologische Untergrund nicht mehr erodierbar ist, also aus hartem Material besteht. Oder wenn die sogenannte Erosionsbasis erreicht wird. Das ist der Wasserspiegel des nächsten größeren Gewässers, in das der Fluss einmündet und das nicht in die Tiefe erodiert. Tiefer kann sich der Fluss nicht eintiefen, da er dann sein Gefälle verloren hat und nicht mehr wesentlich erodieren kann.

Da sich Flüsse gegen diese Verbesserungen wehren, wurden sie durch immer wiederkehrenden Ausbau und Unterhaltung in diesem Zustand erhalten. Das endete nie, immer wieder musste nachgebessert werden. Mittlerweile stellt man diesen Aufwand allerdings zunehmend in Frage.

In diese gestörten Systeme wird jetzt wieder durch lokale Renaturierungen eingegriffen. Renaturierungen sind immer nur lokal, da man nie das gesamte Einzugsgebiet renaturieren kann, in dem Menschen leben und wirtschaften.

Man verändert lokal das Gefälle, baut Mäander ein, verbreitert manchmal, entfesselt die Ufer, ändert manchmal die Ausuferungshäufigkeit usw., was natürlich den Sedimenttransport, die Erosion, wieder verändert (siehe Kapitel 2.4).

Hier eine ausgewogene Planung zu entwerfen, die die gewählten Ziele erfüllt, ist eine Kunst. Alle wünschenswerten ökologischen Ziele zugleich zu erfüllen, ist kaum möglich. Fehlschläge sind keine Seltenheit.

# 4

## Hydrologie

Die Hydrologie beschäftigt sich mit der Menge des abfließenden Wassers.

Es gibt nicht DEN Abfluss in einem Fluss. Der Abfluss ist sehr variabel, er schwankt sowohl jahreszeitlich als auch mal von Tag zu Tag. Der Abfluss hängt ab vom Niederschlag und damit vom Wetter.

Gemessen wird der Abfluss an Pegeln, die meistens sowohl den Abfluss als auch den Wasserstand aufzeichnen. Deren Aufzeichnungen werden statistisch ausgewertet, sodass ein Pegel umso wertvoller ist, je länger er aufgezeichnet hat. Manche Pegel existieren viele Jahrzehnte. Der Betrieb und die Wartung eines Pegelnetzwerkes ist aufwändig, deshalb gibt es immer Bestrebungen, das Messnetz zu reduzieren. Erweitert wird so ein Messnetz nur selten. Bis ein neuer Pegel aussagekräftig wird, vergehen mindestens 20 Jahre.

Zur statistischen Auswertung werden meist Tagesmittelwerte verwendet. Damit werden über einen möglichst langen Zeitraum die gewässerkundlichen Hauptwerte berechnet. Im Wesentlichen:

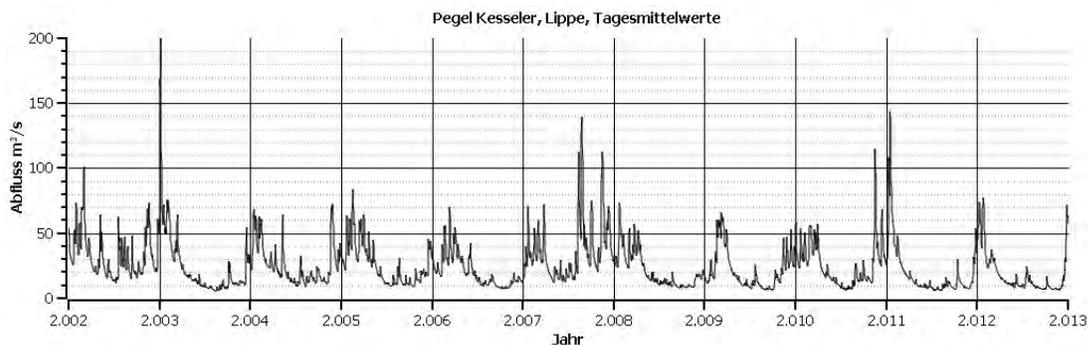
- MNQ, mittleres Niedrigwasser
- ZQ, der Zentral- oder Medianwert

- MQ, Mittelwasser
- MHQ, mittleres Hochwasser
- HQ<sub>xxx</sub>, das xxx-jährliche Hochwasser, z.B. HQ<sub>100</sub> als hundertjährli-  
ches Hochwasser

Diese Abflusswerte sind statistische Werte. Sie haben nicht eine belie-  
bige Genauigkeit, ihre numerischen Werte können leicht um 20 bis 30 Pro-  
zent und mehr unsicher sein. Insbesondere in kleinen Einzugsgebieten mit  
weniger als etwa 10 Quadratkilometer Fläche sind diese Werte sehr unzu-  
verlässig. Hier zeigt sich das äußerst variable Wettergeschehen. Größere  
Einzugsgebiete vergleichmäßigen die Wasserabflüsse, in kleinen Einzugs-  
gebieten dominiert die Variabilität des Niederschlages.

Ermittelt werden die Werte aus langjährigen Messreihen von Pegeln,  
die mehr oder weniger kontinuierlich Wasserstand und Abfluss messen.  
Diese Datenreihen werden statistisch ausgewertet. Für die Hochwasserab-  
flüsse mit Wiederkehrintervallen größer als die Länge dieser Datenreihen  
müssen geeignete mathematische Wahrscheinlichkeitsverteilungen ange-  
füttet werden wie z.B. die Pearsonverteilung oder die Gumbelverteilung.  
Damit kann man dann in die niedrigen Wahrscheinlichkeiten über die Län-  
ge der Zeitreihe hinaus extrapolieren.

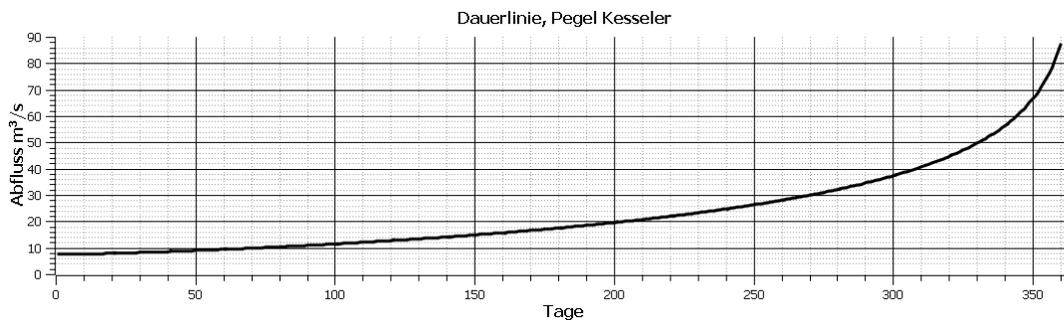
Da Pegel nur an wenigen Standorten vorhanden sind, ist zur Interpo-  
lation an alle relevanten Gewässerstationen eine Regionalisierung erfor-



**Abb. 4.1** Jahrgang über mehrere Jahre, Pegel Kessler an der Lippe

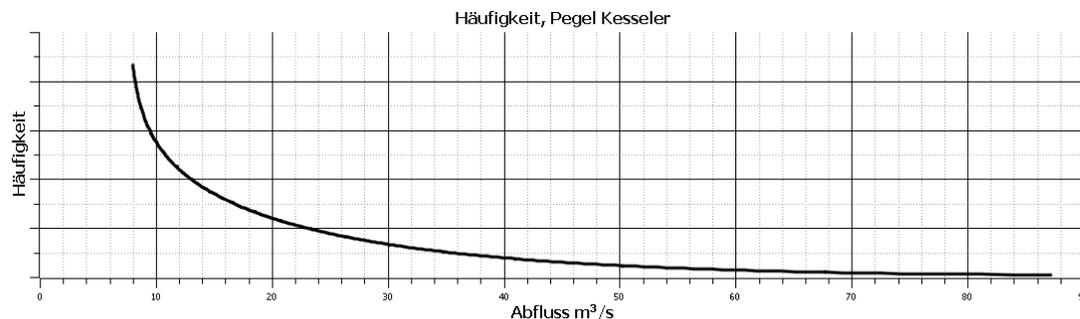
derlich. Dabei ist die jeweilige Fläche des Einzugsgebietes der relevante Parameter.

Eine weitere relevante Darstellung ist die sogenannte Dauerlinie. Dazu werden alle Messwerte einer Zeitreihe der Größe nach sortiert und auf ein sinnvolles Zeitintervall bezogen, in der Hydrologie meist auf ein Jahr. Damit gibt die Dauerlinie an, an wieviel Tagen im Jahr z.B. ein Abflusswert über- oder unterschritten wird. Das ist z.B. relevant für ökologische Fragestellungen.



**Abb. 4.2** Dauerlinie

Oft will man wissen, welche Abflüsse die häufigsten sind. Das ist in der Dauerlinie verborgen. Die Dauerlinie ist mathematisch die Verteilungsfunktion der Abflüsse. Die zugehörige Dichtefunktion ist die Ableitung der Verteilungsfunktion. Abflüsse, an denen die Dichtefunktion am größten ist, sind die häufigsten.



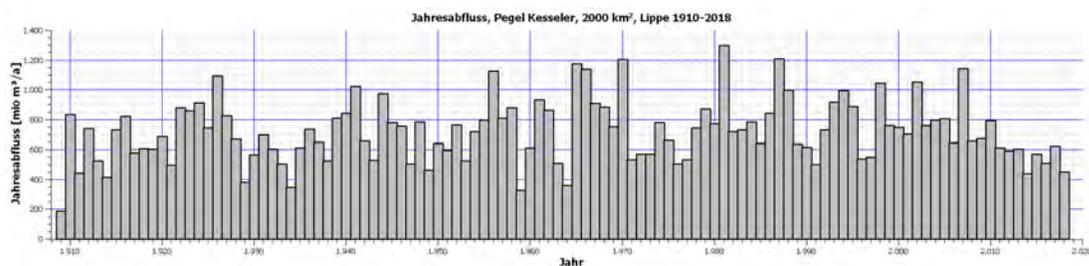
**Abb. 4.3** Häufigkeit. Der numerische Wert der Häufigkeit ist nicht interpretierbar, je größer er ist, desto häufiger ist der Abfluss.

Man sieht, dass die kleinsten Abflüsse die häufigsten sind. In Mitteleuropa ist das regelmäßig so, in anderen hydrologischen Regimen wie z.B. im

Gebirgsbereich ist das anders.

Das bedeutet, dass man, wenn man sich hier einen Fluss anschaut, am wahrscheinlichsten das Niedrigwasser sieht.

Ebenso kann man auswerten, wie viel Wasser im Laufe eines Jahres an einem Pegel geflossen ist. Daran kann man nasse und trockene Jahre erkennen.



**Abb. 4.4** Jahressummen

Ein weiterer Aspekt der Hydrologie ist das bei Hochwasser ablaufende Wasservolumen oder das Volumen einer Hochwasserwelle. Das ist relevant zur Beurteilung der Wirksamkeit der Retention.

Retention ist die Speicherung von Teilen des abfließenden Hochwassers auf dem Vorland, in den Auen eines Flusses. Je mehr Anteile der Hochwasserwelle dort gespeichert werden können, desto mehr reduziert die Retention den Hochwasserscheitel.

In breiten, flachen Landschaften kann das sehr viel sein, sofern die ehemaligen Auen nicht zur Besiedlung und zur Landwirtschaft genutzt werden und durch Deiche vom Fluss abgeschnitten wurden. In engeren Tälern dagegen gibt es kaum Auenraum, dort ist die Retention naturgemäß gering.

# 5

## Hydraulik

Die Hydraulik beschäftigt sich mit dem fließenden Wasser.

Die technische Hydraulik berechnet die Strömung des Wassers, wenn es unter Brücken, über Wehre, in Rohren, in Gerinnen, in technischen Anlagen fließt. Dieser Part wird an den Hochschulen gelehrt, über ihn gibt es zahlreiche Handbücher und Nachschlagewerke.

Der andere Part soll hier als Landschaftshydraulik bezeichnet werden. Er beschäftigt sich mit dem fließenden Wasser, das in Flüssen und über das Gelände fließt. Er ist nicht von technischen Bauwerken dominiert, wenn auch in Flüssen beispielsweise Wehre vorhanden sind. Von den Hochschulen wird er meist vernachlässigt, die meisten Hydrauliker sind Techniker.

Strömungsphänomene wie Schießen, Strömen, Fließwechsel usw. sind zweifellos interessant, aber in der Landschaftshydraulik kaum relevant.

Die Berechnung von abfließendem Hochwasser, die Ermittlung von Überschwemmungsgebieten, die Vorhersage von Überflutungswahrscheinlichkeiten von Auen sind ein wesentlicher Part der Landschaftshydraulik. Wesentliche Aspekte sind hier die Fließwiderstände der Vegetation über und unter Wasser, Wasserstände bei bestimmten Abflüssen, Wasserstände bei Hochwasser, manchmal auch Strömungskräfte, Sedimenttransport, usw.

Bei Renaturierungen stellt sich die Frage, ob die Wasserstände durch die Maßnahmen beeinflusst werden. Sofern Dritte oder deren Eigentum beeinträchtigt werden könnten, sind entsprechende Berechnungen und Nachweise erforderlich, aber auch nur dann.

Hydraulische Betrachtungen werden heute meist mit Computermodellen durchgeführt. Sie beruhen auf Differentialgleichungen, die das fließende Wasser zu beschreiben versuchen. Da die Physiker allein auf Grund der stofflichen Eigenschaften des Wassers sein Fließen immer noch nicht vorhersagen können, ist man hier auf empirische Fließgesetze angewiesen. Bei allem Erfolg dieser Vorgehensweise ist eine Anpassung der Berechnungen an Naturbeobachtungen im Einzelfall nach wie vor empfehlenswert.

Gerade bei Hochwasser sind Naturbeobachtungen oder Messungen selten. Zum einen, weil Abflussmessungen bei Hochwasser sehr schwierig und auch gefährlich sind, zum anderen weil Hochwässer recht selten auftreten. Die Datenbasis ist demzufolge gering. Deshalb sollten Fließgesetze so gut wie möglich aufgestellt und dann auch verwendet werden.

Leider ist das nicht der Fall. Zwar gibt es mittlerweile mehrere theoretisch gut fundierte Ansätze, die aber leider nicht den Weg in die Praxis finden. Heute wird immer noch das über 100 Jahre alte Fließgesetz von Manning-Strickler mit seinen  $K_s$ -Werten verwendet, das die Realität nur schlecht beschreibt. Sämtliche Fließwiderstände (Sohlrauheit, Wasserpflanzen, durchströmter terrestrischer Bewuchs, Turbulenzen durch Gehölze am Gewässer etc.) werden durch einen zusammenfassenden Koeffizienten beschrieben. Diese Methode neigt zu Fehleinschätzungen.

Da Berechnungen mit Computermodellen, also mit Programmen oder Software, durchgeführt werden, sind die Softwarehersteller gefragt, neuere bessere Fließgesetze in ihre Programme einzubauen. Das tun sie aber nicht, die Praxis kümmert sich nicht darum, fragt es nicht nach. Somit findet auf diesem Gebiet praktisch kein Fortschritt statt.

In der Realität werden die Rauheitsbeiwerte, die Strickler  $K_s$ -Werte, aus der Erfahrung geschätzt. Man kann auch sagen, sie werden geraten.

Die grafischen Darstellungen der Hochwasserberechnungen erfolgen typischerweise im GIS. Diese Darstellungen sind beeindruckend, sie suggerieren allerdings eine Präzision, die real nicht vorhanden ist. Hochwasserstände können kaum genauer als 20 bis 30 cm berechnet werden. Hier sind die Kundigen gefragt, etwas mehr Sachverstand und gesunde Skepsis einfließen zu lassen.

# 6

## Aspekte für Renaturierungen

### 6.1 Befestigungen

Praktisch sämtliche jemals ausgebauten Gewässer besitzen Befestigungen. Meist wurden die Ufer bis zur Sohle befestigt, um Verlagerungen zu unterbinden. Man wollte keine Veränderungen der Linienführung mehr, Grundstücksgrenzen usw. sollten unveränderlich sein.

Das Herausnehmen der Uferbefestigungen liegt nahe. Dabei sollten die Wasserbausteine aus dem Gewässer entfernt werden, da sie nicht zur Geologie des Einzugsgebietes gehören.

Wenn danach wieder Verlagerungen des Gewässers erwartet werden oder beabsichtigt sind, ist es hilfreich, über das betroffene Grundeigentum verfügen zu können.

Manchmal ist in der Vergangenheit auch die gesamte Sohle des Gewässers befestigt worden. Da das sehr arbeitsaufwändig war, hat es dafür meist einen triftigen Grund gegeben. Dieser Grund ist zu ermitteln. Wenn es die Verhinderung von beobachteter heftiger Sohlerosion war, wird diese Sohlerosion nach einer Herausnahme der Sohlbefestigung wieder auftreten. Die neue Sohle kann sich eintiefen, das erodierte Sediment kann an inakzeptabler Stelle wieder anlanden.

Das ist planerisch zu berücksichtigen und gegebenenfalls angemessen darauf zu reagieren. Möglicherweise ist die Herausnahme einer Sohlbefestigung nicht empfehlenswert oder nicht sinnvoll.

Relevante Kapitel 2.1, 2.2, 2.3, 3.1

## 6.2 Begradigungen

Begradigungen wurden ebenfalls an fast allen Gewässern durchgeführt. Sie dienten der Erhöhung des Gefälles zur Verbesserung der Entwässerung der Landschaft und zur Vergrößerung der nutzbaren Fläche in den Talauen.

Die Linienführung wurde gestreckt, Mäander abgeschnitten. Gleichzeitig wurde das Gewässer eingetieft, manchmal wurde es sogar aus dem Tal tiefsten an den Talrand verlegt.

Für einer Renaturierung liegt die Rücknahme dieser Maßnahmen nahe.

Sofern die ursprüngliche Lage noch ermittelt werden kann, könnte diese wiederhergestellt werden. Meist scheitert dies am nicht zur Verfügung stehenden Eigentum. Oder noch vorhandene Altwässer sollen aus ökologischen Gründen erhalten bleiben.

Manchmal ist der heutige Verlauf von mittlerweile altem Baumbestand geprägt, den man nicht aufgeben will.

Ob das Gewässer ehemals mäandrierte, erkennt man aus den einschlägigen Datenquellen (Kapitel 2.2).

Die Wiederherstellung einer Mäandrierung erhöht gegenüber einem geradeaus fließenden Gewässer die Strömungsdiversität und schafft damit mehr unterschiedliche Lebensräume.

Eine große Bedeutung hat bei einer Neutrassierung das herzustellende Sohlgefälle und die Tiefe des Gewässers im Gelände. Beides bestimmt die Ausuferungshäufigkeit und den Gewässertyp.

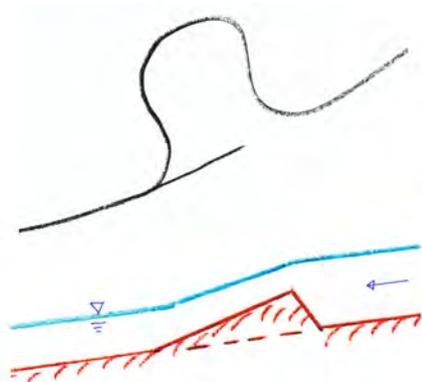
Wenn das Gewässer nur eine geringe Tiefe gegenüber dem umgebenden Gelände aufweist, ufert es häufig aus und gestaltet eine hinreichend nasse Aue. Ist es zu tief und ufert deshalb nur wenig aus, bleibt das Umfeld trocken. Hinweise hierzu gibt die Dauerlinie (siehe Kapitel 4).

Das hergestellte Gefälle sollte aus dem Talgefälle und dem Windungsgrad ermittelt werden. Manchmal wird bei einer Laufverlängerung ein neuer Mäander hergestellt, der ins Gelände gegraben wird (Abbildung 6.1). Wenn dieser mit einem größeren Gefälle gebaut wird, also oben nicht so tief ins Gelände gegraben wird, hebt das die Sohle am Beginn der Renaturierung an und nimmt der oberhalb liegende Strecke das Gefälle, staut sie also ein. Das ändert meist den Gewässertyp in nicht gewollter und ökologisch schädlicher Weise. Diese Gefahr besteht insbesondere bei Renaturierungen im nur gering geneigten, flachen Gelände.

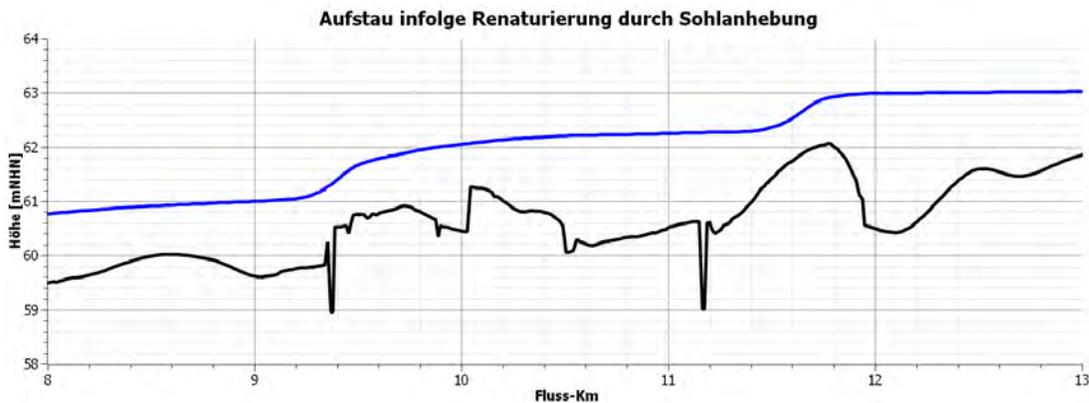
Dieser Effekt stellt sich ebenfalls ein, wenn die Sohle eines Flusses lokal aufgehört wird, um mit dem dann höher liegenden und damit öfter ausufernden Wasser die heutige Höhenlage der Aue wieder zu erreichen. Auch das führt zu einem Stau nach Oberstrom. (Abbildung 6.2)

Inwieweit das neu hergestellte Gefälle zu Erosionen oder Auflandungen neigt, ist zu beurteilen.

Relevante Kapitel: 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3.1



**Abb. 6.1** Neu angelegter Mäander mit Sohlenerhebung (Grundriss und Längsschnitt)



**Abb. 6.2** Wasserspiegellagen, z.B. Ahse bei Hamm, Staustrecken nach Sohlaufröhungen und Einbau neuer, steilerer Mäander zur Renaturierung. Die Spitzen in der Sohle sind Kolke.

### 6.3 Aufweitung

Aufweitungen eines Gewässers werden nicht selten geplant, sofern nur auf einer relativ kurzen Strecke das Flächeneigentum zur Verfügung steht.

In einer Aufweitung reduziert sich das Transportvermögen für das Sediment. Es bilden sich gegebenenfalls Ablagerungen.

In Kies führenden Gewässern bilden sich Kiesbänke, die interessant anzuschauen und ökologisch durchaus von Wert sein können.

In von schluffigem Sediment geprägten Gewässern und solchen, die bei höheren Abflüssen Lehm im Wasser enthalten, lagert sich der Schluff oder Lehm in der Aufweitungstrecke meist seitlich ab. Er verkleinert wieder das aufgeweitete Profil und konterkariert die Renaturierungsmaßnahme. Solche Maßnahmen erzielen daher nur selten den gewollten Effekt.

Relevante Kapitel: 2.4

### 6.4 Auenentwicklung

Es gibt immer wieder Fälle, in denen das Gewässer das umliegende Gelände auch bei Hochwasser kaum noch erreicht. Das Gewässer ist z.B. durch

Ausbau so tief gelegt worden, dass es kaum noch ausufert. Oder die Aue ist durch Auelehmbildung so stark in die Höhe gewachsen, dass sie sich zu weit von der Gewässerlage entfernt hat. Manchmal ist beides zugleich der Fall.

Eine Wiederanhebung des Gewässers kommt nicht immer in Frage, oft lassen das die umliegenden Nutzungen wie Bebauung oder landwirtschaftliches Eigentum nicht zu. Oder der sich dann einstellende Rückstau nach Oberstrom ist unerwünscht.

In solchen Fällen können Gewässer und Aue nur getrennt voneinander entwickelt werden. Was beim Gewässer selbst in Frage kommt, reißen die anderen Kapitel an. Hier sollen Ideen für die reine Auenentwicklung dargestellt werden.

Am Gewässer selbst bleiben auch in solchen Fällen natürlich

- Aufweitungen
- Uferstreifenerwerb
- Uferentfesselungen
- und Ähnliches

denkbar und sinnvoll.

### **6.4.1 Wasser in die Aue**

Auengebiete leben vom Wasser, vom Wechsel des Wassers, von Feucht- und Trockenzone. Wenn das Wasser aus dem Fluss kaum noch zur Verfügung steht, muss man andere Quellen finden. Das sind zum Beispiel Randzuflüsse von der Seite und Drainagegräben. Manchmal kann man diese, die natürlich auch künstlich eingetieft oder hergestellt sind, leichter anheben

und der Aue zur Verfügung stellen als das Hauptgewässer. Eine Recherche vor Ort zur Aufklärung der Möglichkeiten und des Sachverhaltes wird viel zu selten gemacht.

## 6.4.2 Zonierungen in der Aue

Die Strukturen im Gelände an den Gewässern sind heute meist in der Höhenlage monoton und vergleichmäßig, eben weil Jahrhunderte lang Landwirtschaft betrieben wurde. Natürliche Auen haben dagegen ein Relief. Dadurch liegen manche Bereiche tiefer und sind häufiger nass als andere. Das nennt man Zonierung. Solche Zonierungen können wiederhergestellt werden, ohne große Bodenmassen aus dem Gebiet zu entfernen. Die natürlichen Migrationsstrukturen von ehemaligen Mäandern (Abbildung 6.3) bieten sich dazu als Vorlage an. Hier kann leicht ein Massenausgleich erreicht werden. Alternativ kann eine Zonierung intuitiv frei gewählt werden. Hier ist das Geschick des Planers gefragt.



**Abb. 6.3** Migrationsstrukturen an der Lippe bei Wesel

## 6.4.3 Nebenrinnen

Oft werden Nebenrinnen geplant. Bei natürlichen Gewässern kommen diese durchaus vor, sie liegen aber nicht allzu tief im umgebenden Gelände.

Geplant werden sie allerdings meist so, dass sie bereits bei Mittelwasserstand vom Fluss mit Wasser gefüllt werden. Sie liegen dann infolge des tief liegenden Gewässers ebenfalls tief im Gelände, manchmal sogar ein paar Meter. Ihre Herstellung verursacht dann erheblichen Bodenaushub, was teuer ist. Und sie können durch dann tiefe Lage im Gelände die Aue weiter dränieren.

So tiefe Nebenrinnen entstehen geomorphologisch kaum, sie sind deshalb grundsätzlich keine gute Planungsidee. Hiervon sollte Abstand genommen werden.

#### **6.4.4 Blänken**

Sehr beliebt ist das Herstellen von Blänken im Vorland eines Gewässers. Man schiebt einfach den Oberboden ab, legt manchmal das Grundwasser frei, sofern es nicht zu tief liegt. Dort soll dann ein wertvolles, interessantes Biotop entstehen.

Leider verbuschen die Randzonen solcher Blänken recht schnell. Das verdunkelt die Wasserfläche, das fallende Laub lässt die Blänke oft verlanden. Sofern im Frühjahr nach dem Herstellen Rohboden offen liegt, siedeln sich Weiden an. Diese entwickeln sich meist in wenigen Jahren zu gewaltigen Bäumen, die die ursprünglichen Ziele der Blänken konterkarieren. Wenn man solche Weidenstandorte haben will, ist so eine Maßnahme in Ordnung. Meist sollen aber andere Ziele erreicht werden.

#### **6.4.5 Auwälder**

Bei der Entwicklung von Auwäldern besteht häufig die Sorge, dass solche Wälder im Abflussbereich des Hochwassers die Wasserstände erhöhen. Deshalb hat die Entwicklung von Auwäldern meist kaum Akzeptanz. Man befürchtet Abflusshindernisse und Erhöhung der Fließwiderstände.

Man verkennt dabei oft, dass der wesentliche Abflussanteil in und über dem eigentlichen Flussbett fließt. Der Abflussanteil über die seitlichen Vorländer ist demgegenüber gering, allein schon infolge der dort viel kleineren Wassertiefe. Einengungen und Fließwiderstände sind auf den Vorländern sind meist gar nicht so problematisch wie vermutet wird.

Die Fließwiderstände von sich auf den Vorländern entwickelnder Vegetation sind mittlerweile gut untersucht. Sie hemmen den Hochwasserabfluss bei weitem nicht so sehr wie gemeinhin befürchtet. Generell teilt sich der Fließwiderstand auf in die Wirkung des Laubes und in die der Stämme und Äste. Von aussen angesehen wirken Gehölze als fast undurchdringlich, weil das Laub die Sicht versperrt. Dieses Laub bildet aber nur eine äußere Schale um einen Gehölzbereich. Innen drin, wo kaum Licht hinein dringt, ist kaum Laub vorhanden, der Innenraum dunkelt aus. Innen drin stehen nur wenige Stämme und Äste durchaus nicht dicht an dicht sondern auf Lücke. Die Pflanzen verdrängen sich gegenseitig. Damit ist der Pflanzenbestand darin bei weitem nicht so groß wie es scheint. Die Fließwiderstände und die Abflusshindernisse sind gar nicht so groß. Abbildung 6.4 zeigt einen Auwald von aussen und von innen.



**Abb. 6.4** Auwald von aussen und innen

Abbildung 6.5 zeigt einen noch jungen, vom Fluss angeschnittenen Auwald auf einer Kiesinsel. Nur aussen wächst Laub ähnlich wie eine Schale, innen stehen nur die stangenartigen, noch dünnen Stämme. Der Innenraum ist bereits nach wenigen Jahren ausgedunkelt.



**Abb. 6.5** Angeschnittener junger Auwald

Relativ große Fließwiderstände erzeugen sehr junge Pflanzen wie z.B. junge Weiden. Da sie noch niedrig sind, erhält jede Pflanze viel Licht von oben, das Ausdunkeln findet noch nicht statt. Nach spätestens rund fünf Jahren, wenn die Pflanzen gewachsen sind, beginnt das Ausdunkeln, das Laub wächst erst in ein bis zwei Meter Höhe und der Fließwiderstand verringert sich erheblich. Gegebenenfalls muss man die Wahrscheinlichkeit abschätzen, mit der ein größeres Hochwasser innerhalb dieser Wachstumsphase auftritt. Im Einzelfall kann ein Managementkonzept erforderlich sein, das nicht überall zugleich neuen Weidenbewuchs zulässt. Hier können hydraulische Berechnungen hilfreich sein.

## 6.5 Ersatzauen

Infolge der wasserbaulichen Maßnahmen der Vergangenheit und infolge der dadurch induzierten Sohlintiefungen liegen die meisten Gewässer heute unnatürlich tief im Gelände. Demzufolge ufern sie viel seltener als natürlich aus und ihre Auen sind unnatürlich trocken.

Dieser Effekt ist nur schwer rückgängig zu machen, weil das Eigentum an der Landschaft allermeistens privat ist und somit nicht für Veränderungen im Wasserhaushalt zur Verfügung steht.

Eine Idee, dem zu begegnen, sind die sogenannten Ersatzauen. Man gräbt Flächen seitlich der Gewässer ab, sodass sie häufiger überflutet werden können, ohne das umliegende Privateigentum zu beeinträchtigen.

Dieser zunächst sinnvoll erscheinende Gedanke hat jedoch Seiteneffekte, die in der Praxis oft nicht beachtet werden.

In von schluffigem Sediment geprägten Gewässern und solchen, die bei höheren Abflüssen Lehm im Wasser enthalten, lagert sich der Schluff oder Lehm in der abgegrabenen Ersatzau meist wieder ab. Die Ersatzau höht sich wieder auf, der gewollte Effekt ist meist nicht von langer Dauer.

Unmittelbar nach dem Abgraben liegen Rohböden offen. Sofern das im Frühjahr geschieht und die Witterung genügend nass ist, keimen Weiden in großem Umfang. Solche Weichholzstandorte sind zwar selten geworden und schutz- und entwicklungswürdig, überwuchern aber schnell das Gewässer, wenn es klein ist. Ob sich das Abgraben dann lohnt, ist bewusst zu entscheiden.

Das Abgraben von Ersatzauen generiert große Bodenmassen, deren Abtransport oder deren Entsorgung teuer ist. Planungsbüros konstruieren deshalb oft Ersatzauen, weil ihr Honorar meist an die Baukosten gekoppelt ist.

Wenn man Ersatzauen im Einzelfall für sinnvoll hält, sollten die Bodenmassen im Planungsgebiet verbleiben können, damit keine Transport- und Entsorgungskosten anfallen.

## **6.6 Verzweigungen**

Im Rahmen von Renaturierungen oder Neutrassierungen eines Gewässers entsteht immer wieder die Idee, eine Verzweigung zu gestalten. Vom Ge-

wässer soll ein Arm abzweigen und sich nach kurzer Laufstrecke wieder mit ihm vereinigen.

Die Motivation dazu stammt aus Abbildungen in Lehrbüchern über sogenannte verflochtene Gewässer, die im englischsprachigen Raum als braided bezeichnet werden. Diese Gewässerzone kommt allerdings von Natur aus nur in Gebieten mit sehr viel Sedimenttransport und großem Talgefälle vor, es gibt sie hier im Grunde nicht. Deshalb ist der Begriff Verzweigung eigentlich falsch, er ist allerdings gebräuchlich.

Daneben gibt es auch den Gewässertyp anastomisierend, der ebenfalls Verzweigungen suggerieren kann. Dieser kann bei sehr geringen Gefälle und sehr wenig Sedimenttransport meist in Mündungsnähe entstehen. In Deutschland gibt ihn nur sehr selten.

Das künstliche Verzweigen von hiesigen Gewässern scheitert erfahrungsgemäß. Am Beginn der Verzweigung lagert sich infolge der lokalen Aufweitung nach jedem größeren Hochwasser Sediment ab, was einen Arm verschließt. Ein Arm verlegt sich, die künstliche Verzweigung hat keinen Bestand. Von dieser Idee sollte Abstand genommen werden.

## 6.7 Totholz

Natürliche Flüsse führen in aller Regel Totholz mit sich. Das sind abgestorbene Bäume, Sträucher, Äste usw. Sie bilden selber Lebensraum für beispielsweise Insekten und erzeugen im Fluss durch ihre Turbulenzen reiche Strukturen an der Flusssohle und am Ufer.

Totholz fällt in den Fluss, wenn dieser im Laufe der Zeit sein Bett lateral verändert und dabei die seitliche Vegetation abräumt. Das bedeutet, dass seitlich des Flusses die Ufer und die Vorländer auch mit Bäumen oder Sträuchern bewachsen sein müssen. Sofern das infolge der Landnutzung nicht der Fall ist, führt der Fluss kein oder nur selten Totholz. Ob ein Fluss Totholz besitzt, hängt also maßgeblich von der Gestalt des Einzugsgebietes

ab und zusätzlich von der Möglichkeit einer lateralen Bewegung. Wenn der Fluss befestigt ist, gibt es keine laterale Bewegung.

Bei Renaturierungen kommt oft die Forderung nach dem Einbringen von Totholz, weil der Fluss heute kaum noch Totholz besitzt. Dann werden einzelne Bäume in den Fluss technisch eingebracht. Da man allermeist befürchtet, dass diese dann bei Hochwasser wegschwimmenden Bäume Brücken oder Durchlässe verklausen können, werden die Bäume mit Stahlseilen verankert und gegen Davonschwimmen gesichert. Der Wunsch nach einem naturnahen totholzführenden Flussabschnitt passt meist nicht zu den Hochwasserängsten der Anlieger.

Es ist nicht einfach, solche Bäume abtriebsicher zu verankern. Bei höheren Abflüssen können durch Auftrieb und Strömungskraft gewaltige Kräfte auftreten, die man kaum in der Flusssohle oder am Ufer verankern kann; meist hält das nicht.

Totholz hat die Eigenschaft, nach einiger Zeit zu zerfallen. Der Baum zerbricht und schwimmt in Einzelteilen trotz Verankerung davon. Dann ist das Totholz wieder fort, die Maßnahme ist nicht nachhaltig. Es findet sich praktisch nie jemand, der immer wieder Totholz nachlegt und neu verankert.

Ein Fluss führt nur dann nachhaltig Totholz, wenn das Einzugsgebiet ständig Totholz nachliefern und der Fluss sich bewegen kann.

Inwieweit das meist einmalige Einbringen von Totholz eine sinnvolle Maßnahme darstellt, ist im konkreten Einzelfall zu beurteilen. Es verbessert die Ökologie stets nur temporär.

## **6.8 Gestalten oder entwickeln lassen**

Immer wieder stellt sich die Frage, ob man bei einer Renaturierung künstlich herstellen oder ob man den Fluss sich sein Bett selber gestalten lassen soll. Ingenieurbüros neigen oft dazu, möglichst viel aktiv herzustellen,

andere Stimmen neigen zum Gegenteil. Wie sooft gibt es darauf keine eindeutige Antwort.

Wenn ein Fluss genug Gefälle hat und auch aktiv Sediment führt, sind seine gestaltenden Kräfte groß genug, dass er mit seinem Sediment selber die Strukturen schafft, die man aus ökologischen Gründen gerne wieder hätte. Kiesbänke lagern sich bei erhöhten Abflüssen um, die Vegetation auf ihnen wird immer wieder abgeräumt. Das funktioniert regelmäßig besser, als es eine aktive menschliche Gestaltung erreichen kann. Zudem werden die künstlich gestalteten Strukturen bei Hochwasser eh wieder umgelagert, sodass sich ihre Herstellung überhaupt nicht lohnt. Es reicht eine ganz grobe Initialisierung, den Rest macht der Fluss besser, als man es selber kann.

Anders ist es, wenn der Fluss nur wenig Gefälle hat und auch noch im Auelehm liegt. Auelehm kann sehr widerstandsfähig sein. Seitenerosionen finden dann kaum statt. Man muss damit rechnen, dass das neu hergestellte oder entfesselte Flussbett sehr lange vom Fluss nicht verändert werden kann. Die gewünschte Dynamik stellt sich dann auch nach vielen Jahren nicht ein. In diesen Fällen kann eine intensivere Gestaltung bei der Renaturierung besser sein.

Wie die Verhältnisse im konkreten Einzelfall sind, ist einzuschätzen. Relevant sind dabei das Gefälle, das vorhandene Sediment, der Aufbau des Talbodens, die Größe des Einzugsgebietes, die Abflüsse. Die Erosionsfähigkeit des umgebenden Geländes ist zu beurteilen.

Tendenziell sollte man der Selbstgestaltung des Flusses den Vorzug geben. In manchen Fällen funktioniert das allerdings nicht.

## **6.9 Renaturierung und Hochwasserschutz**

Oft wird von Synergie zwischen Renaturierung und Hochwasserschutz gesprochen. Man unterstellt, dass durch die Renaturierung eines Gewässers ein Hochwasserproblem gelöst werden könne.

Grundsätzlich ist das auch richtig, die wasserbaulichen Maßnahmen der Vergangenheit haben so manches Hochwasserproblem erst verursacht. Allerdings sind die Probleme durch großräumige Veränderungen des gesamten Gewässersystems entstanden und man kann nicht erwarten, diese durch eine kleine lokale Renaturierung rückgängig machen zu können.

Man muss beim Hochwasserschutz durch Renaturierung zwei Fälle unterscheiden: die Vergrößerung des Rückhalteraaumes, der Retention, und die Aufweitung des Gewässers.

Retentionsraum ist durch intensive Landnutzung, durch Gewässerausbau verloren gegangen. Das Hochwasser überflutet kaum noch die Landschaft, sondern fließt durch gerade und leistungsfähige Gewässer schnell zu Tal. Da es kaum noch Rückhalt in der Landschaft gibt, steigen die Hochwasserstände immer weiter. An den großen Flüssen versucht man, dem durch Deichbau zu begegnen. Immer wieder vorkommende Deichbrüche führen dann schnell zu Katastrophen.

Retention hält Hochwasser zurück, senkt also die Hochwasserstände nach Unterstrom eines neuen wieder geschaffenen Retentionsraumes. Um merkbare Effekte zu erzielen, muss allerdings ein erhebliches Wasservolumen zurückgehalten werden. Das ist beispielsweise mit einer nur wenige km langen Deichrückverlegung nicht zu erreichen. Das Volumen von Hochwasserwellen kann gewaltig sein, man macht sich da meist völlig falsche Vorstellungen. Im Bezirk Arnsberg entspricht das hundertjährige Wellenvolumen etwa der Wassermenge, die 100 mm Niederschlag auf das Einzugsgebiet bis zum fraglichen Punkt entspricht. Bei 1000 Quadratkilometer Einzugsgebiet sind das 100 Mio. Kubikmeter. Das Einzugsgebiet der Lippe bis Lippstadt hat etwa 1000 Quadratkilometer. Würde man oberhalb auf einer Länge von 1000 m einen 100 m breiten Streifen an der Lippe neu anlegen, der bei Hochwasser 1 m tief überflutet wäre, wären das 100.000 Kubikmeter zusätzlicher Retentionsraum, vernachlässigbar gegenüber den 100 Mio. Kubikmeter Hochwasservolumen. Und einen solchen Geländestreifen ins Eigentum zu bekommen wäre illusorisch.

Das Rückgewinnen von Retentionsraum ist in wirksamem Umfang praktisch nicht möglich.

Die Aufweitung eines Gewässers vergrößert den Abflussquerschnitt. Damit sinken die Wasserstände oberhalb der betrachteten Aufweitung. Die Möglichkeiten zur Aufweitung sind jedoch begrenzt. Das Gewässer muss seinen natürlichen Charakter noch behalten, es darf nicht beliebig breit gestaltet werden. Damit erreicht man in der Regel allenfalls 10 bis 20 cm Wasserspiegelabsenkung, nicht mehr.

Damit man hier keine unerfüllbaren Erwartungen weckt, ist eine hydraulische Betrachtung einer solchen Maßnahme empfehlenswert.

Zusammenfassend kann man sagen, Retention wirkt nach unterhalb, Aufweitung wirkt nach oberhalb.

Maßnahmen zur Vergrößerung der Retention sind als Einzelmaßnahme praktisch unwirksam, dazu müsste die Retention im gesamten Einzugsgebiet wieder hergestellt werden.

Aufweitungen können kritische lokale Hochwasserprobleme etwas entschärfen, man darf aber nicht mehr als ein paar cm Wasserstandsabsenkung bei großen Hochwässern erwarten. Anders sieht es manchmal bei kleineren Hochwässern aus. Wenn häufig störende Überflutungen auftreten, können Aufweitungen das durchaus entschärfen. Man erreicht damit zwar keinen 100-jährlichen Schutz, bis zum 10-jährlichen Hochwasser kann es aber etwas bewirken. Bereits das kann im Einzelfall bedeutsam sein.

## **6.10 Kosten**

Auch bei der Renaturierung von Gewässern müssen die Kosten von Maßnahmen berücksichtigt werden. Der Zweck, der Erfolg und der Nutzen müssen angemessen gegenüber den Kosten bleiben. Bei knapper werdenden Geldern müssen Prioritäten gesetzt werden.

Die Herangehensweise, die Kosten bei einer Planung außer Acht zu lassen, ist nicht zukunftstauglich. Zu planen, als ob Geld keine Rolle spielt,

geht auf Dauer nicht. Vor Planungsbeginn sollte ein Budget verabredet werden.

Da Renaturierung meistens vom Land gefördert werden, also ein Dritter die Rechnung bezahlt, werden die Kosten oft außer Acht gelassen.

So werden viel zu oft teure Ersatzauen geplant, deren dauerhafter Bestand und deren ökologischer Erfolg zweifelhaft ist.

Die ökologische Durchgängigkeit von Gewässern wird oft übertrieben. Es ist nicht grundsätzlich erforderlich, die Durchgängigkeit bis in die letzten Quadratkilometer des Einzugsgebietes zu treiben. Kleine Einzugsgebiete mit weniger als ein paar Quadratkilometern führen oft gar kein Wasser, weil in sie gar nicht genug Niederschlag fällt. Hier ist angemessen zu planen. Manche letzten hohen Einzugsgebiete können eben mit vertretbarem Aufwand nicht erreicht werden.

## **6.11 Größere Projekte**

Unter größeren Projekten werden hier solche verstanden, die einen nicht unerheblichen Kreis von Betroffenen und Interessenvertretern umfassen. Kleinere lokale Renaturierungen sind damit nicht gemeint.

Mit derartigen Vorhaben betritt man ein soziales Gefüge mit unterschiedlichen Ansichten, Meinungen und Interessen, die meist nicht übereinstimmen. Man greift ein in einen Status quo, der oft etabliert und akzeptiert ist. Man sollte aufpassen, dass man dort keinen Streit, keine Zwietracht, keine Polarisierung erzeugt. Manchmal werden solche Projekte auch von Interessenvertretern instrumentalisiert, um völlig andere Ziele zu erreichen.

Eine gute Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit ist unbedingt erforderlich. Ein sensibler und problembewusster Umgang damit ist wichtig. Größere Projekte scheitern öfter hieran als an der Planung der Ausführung. Die ausschließliche Betrachtung der Renaturierung allein greift zu kurz.

Zu Beginn der Planung sollte man die Unterschiedlichen Interessenlagen ermitteln und gegenüberstellen. Das Einbeziehen der Betroffenen und Interessenvertreter in den Planungsprozess kann hilfreich sein. Hier zu Beginn gemachte Fehler können viel Vertrauen zerstören, was später kaum noch heilbar ist.

