

Walter Binder, Heinz Patt, Ellen Kiel, Tanja Pottgiesser,
Mario Sommerhäuser, Uwe Koenzen und Annette Kurth

Fließgewässer weisen in ihrer Funktion als Ökosystem sowohl gegenüber terrestrischen Ökosystemen als auch gegenüber Stillgewässern große Unterschiede auf. Dabei ist besonders bedeutsam, dass Fließgewässer ein vielfältiges und zeitlich wie räumlich äußerst dynamisches Prozessgeschehen besitzen und abflussbedingt von linearen Strukturen geprägt sind. Sie sind offene Ökosysteme mit Stoff- und Energiedurchfluss. Dementsprechend beeinflussen flussaufwärts gelegene Abschnitte flussabwärts gelegene Strecken in hohem Maße. Aus diesem Grund weisen Fließgewässer im Regelfall von der Quelle bis zur Mündung vor allem physikalische und, daraus resultierend, auch biotische Gradienten auf. Diese Gradienten sind die Ausgangsbedingungen für Entwicklungsprozesse, ökosystemare Zusammenhänge und damit Grundlage für die spezifischen Lebensräume und Lebensgemeinschaften.

Natürliche Fließgewässer und ihre Auen werden im Wesentlichen von den naturräumlichen Gegebenheiten ihres Einzugsgebietes geprägt. Hierzu zählen vor allem Klima, Geologie, Tektonik, Relief, Boden und Vegetation, und in Abhängigkeit davon, der Oberflächenabfluss und der Abtrag von Landflächen. Diese Faktoren und die Gegebenheiten des jeweiligen Fließgewässerabschnittes bestimmen die sogenannten dynamischen Ökosystembausteine unserer Fließgewässer und ihrer Auen (s. auch Farbtafeln 2.37 bis 2.45).

2.1 Ökosystembausteine

Heinz Patt und Peter Jürging †

Zu den Ökosystembausteinen zählen vor allem die Abfluss- und Feststoffdynamik, die Morphologie sowie die physikalischen und chemischen Faktoren der Wasserqualität. Diese vier abiotischen Systemkomponenten sind einerseits für die Entwicklung der Fließgewässer und Auen verantwortlich und andererseits von entscheidender Bedeutung für die jeweiligen Verhältnisse vor Ort, d. h. für die Ausgestaltung als Lebensraum (Biotop) und somit auch für die Entwicklung spezifischer Arten und Lebensgemeinschaften (*Biozoosen*) (Abb. 2.1).

2.1.1 Abflussdynamik

Das Abflussgeschehen im Jahresverlauf (Abflussregime) bestimmt u. a. die Dauer und Häufigkeit der Abflüsse (Niedrigwasser-, Mittelwasser-, Hochwasserabflüsse) und deren Verteilung im Jahresgang, die Fließgeschwindigkeiten, die Überschwemmungen und die Grundwasserschwankungen in der Aue. Dabei können zum Beispiel Hochwasser in Abhängigkeit von den Bio- und Geofaktoren des Einzugsgebietes unterschiedlich schnell ablaufen. Hochwasserereignisse von Gebirgsflüssen dauern in der Regel nur wenige Tage, fallen vorwiegend in die Vegetationsperiode und sind von hoher Dynamik geprägt. Dagegen



Abb. 2.1 Naturnahes Fließgewässer (Foto: W. Kraier)

sind die Flusslandschaften der Mittelgebirge, und vor allem der Norddeutschen Tiefebene, in erster Linie von lang andauernden Winterhochwassern geprägt.

Fließgeschwindigkeiten

Die Fließgeschwindigkeiten im Gewässerbett hängen vom Abfluss, dem Gefälle, den Gerinneabmessungen und den Gewässerbettstrukturen ab. Letztere bestimmen die Fließwiderstände.

Ein erhöhter Abfluss führt zu höheren Fließgeschwindigkeiten im Gewässerbett, wodurch zwangsläufig auch die Kräfte auf die Sohle und Ufer (Schubspannungen) erhöht werden. Die vorhandenen Feststoffe und die unterschiedlichen Schubspannungen beeinflussen u. a. auch die Substratverteilungen im Gewässerbett und der Aue.

Im Längsprofil nehmen die Fließgeschwindigkeiten mit sinkendem Gefälle entsprechend vom Oberlauf zum Unterlauf hin ab. In gefälle- und strukturreichen Oberläufen sind hohe Fließgeschwindigkeiten und große Geschwindigkeitsschwankungen (*Turbulenzen*) typisch (Abb. 2.2), während in tieferen, gefälle- und strukturärmeren Unterläufen kaum Turbulenzen auftreten. Allerdings können die Fließgeschwindigkeiten in Unterläufen aufgrund der geringen Betrauheiten und des zunehmenden Abflusses relativ hoch sein. Turbulente, auf den ersten Blick rasch fließende Oberläufe können daher in manchen Fällen langsamer fließen als große, weniger „turbulent“ erscheinende Tieflandflüsse (Jungwirth et al. 2003).

Im Querprofil (Abflussquerschnitt) ist die Geschwindigkeit eines Fließgewässers sehr ungleichmäßig verteilt, vor allem in den Ober- und Mittelläufen. Die größten Fließge-



Abb. 2.2 Turbulentes Fließen bei einem leicht erhöhten Mittelwasserabfluss (Foto: P. Jürging)

schwindigkeiten werden in der Regel nahe der Wasseroberfläche von tieferen Fließbereichen erreicht, wohingegen sie in Ufer- und Sohlennähe reibungsbedingt deutlich abnehmen bzw. gegen Null tendieren. Je unregelmäßiger ein Profil ausgebildet ist, desto ungleichmäßiger sind die Fließgeschwindigkeiten über den Querschnitt verteilt. Daher kann die Geschwindigkeit in einzelnen Querschnittsbereichen von der mittleren Geschwindigkeit erheblich abweichen, wodurch es u. a. zur Ausbildung von Sekundärströmungen kommt.

Überschwemmungen

In natürlichen Fließgewässern liegt der Wasserspiegel beim Mittelwasserabfluss (MQ) oftmals nur unwesentlich unter der Geländeoberkante der seitlich anschließenden Auen. Dies macht verständlich, dass natürliche Fließgewässer in Abhängigkeit von ihrem Gewässertyp bis zu mehrmals im Jahr bei erhöhten Abflüssen über die Ufer treten und die Auen überfluten.

Mit zunehmender Ausuferung nimmt die Abflussleistung im eigentlichen Gewässerbett, in Relation zu den Abflüssen in den breiten Auen, nur noch wenig zu. Flussnahe Teile der Aue können deshalb von stark strömenden, energiereichen *Überflutungen* (Abb. 2.3) gekennzeichnet sein, während in anderen, meist höhergelegenen und dichter bewachsenen Bereichen das Hochwasser nur zu einem mehr oder weniger stagnierenden *Überstau* führt.

Wasserrückhalt und Stoffrückhalt

Ufert ein Fließgewässer in die Aue aus, verlangsamt sich der Hochwasserabfluss und sorgt auf diese Weise für einen Anstieg des ober- und unterirdischen Hochwasserrückhaltes (Retention), für die quantitative Erneuerung des Grundwassers und, bei sinkenden Flusswasserspiegeln, für eine Wasserrückspeisung in das Fließgewässer.

Der Hochwasserabfluss und in der Folge die ober- und unterirdische Hochwasserrückhaltung, wird u. a. vom Verlauf der Abflussganglinie, von der Größe und der Topographie der überschwemmten Bereiche, der Rauheit der Oberflächen (u. a. Bewuchs) sowie von der Durchlässigkeit des Untergrundes und dem aktuellen Grundwasserspiegelhöhen beeinflusst. Letzteres bedeutet im Hinblick auf die Retention, dass bei sehr hoch anstehendem Grundwasser (d. h. einem vollen „Grundwasserspeicher“) auch in natürlichen Auen, die unterirdische Retention gegen Null tendieren kann. Gleiches gilt bei gefrorenem Boden.

Nach dem Abklingen des Hochwassers verbleibt zunächst ein Teil des Wassers in abflusslosen Mulden, Senken und Altgewässern, wobei der Wasserspiegel in der Aue im Vergleich zu dem des Fließgewässers deutlich höher liegt und nur langsam durch Verdunstung oder weitere Versickerung absinkt. In Niedrigwasserzeiten kann ein Teil des gespeicherten Grundwassers aus der Aue in das Fließgewässer einsickern und auf diese Weise für eine Niedrigwasseranreicherung sorgen.

Mit dem Hochwasser werden in die Aue auch Fest- und Nährstoffe verbracht und wieder ausgetragen. Derartige Prozesse hängen von den Korndurchmessern und der Kornverteilung der transportierten Materialien, den Fließgeschwindigkeiten in der überflute-



Abb. 2.3 Energiereiche Überflutung bei etwa einem HQ₃ in einer dealpinen Weichholzaue (Foto: P. Jürging)

ten bzw. überstauten Aue sowie von deren Morphologie und Rauheit (insbesondere der Vegetationsausprägung im Jahresgang) ab. Natürliche Fließgewässer mit ihren Auen sind somit für den Stoff- und Wasserhaushalt, und damit für den Naturhaushalt, von großer Bedeutung.

2.1.2 Feststoffdynamik

In der Natur gibt es kaum geschiebefreie Fließgewässer, wobei die lokal vorherrschenden Korngrößen von der Transportkapazität der Strömung bestimmt werden. So finden sich bei einer überregionalen Betrachtungsweise vom Oberlauf bis hin zur Mündung entsprechend dem abnehmenden Gefälle blockige, steinige, sandige und letztlich schluffige Fraktionen. Beim Sortieren der Feststoffmaterialien spielt der Abfluss die entscheidende Rolle. Schwankende Abflüsse und damit wechselnde Fließgeschwindigkeiten sorgen für ein relativ heterogenes Material, während gleichmäßige Abflüsse einen hohen Sortierungsgrad erreichen.

Das Abflussgeschehen bestimmt also auch das Wechselspiel zwischen Erosion, Umlagerung und Ablagerung von Geschiebe, Sand, Schwebstoffen, Totholz und anderem Treibgut. Der Geschiebetransport spielt sich vorwiegend in sohlennahen Bereichen ab und ist deshalb einer der wichtigsten Faktoren bei der Ausformung des Gewässerbettes. Er hängt im Wesentlichen von Abfluss, Gefälle, Sohlenaufbau und vom Feststoffangebot ab. Erosions- und Sedimentationsvorgänge wechseln in einem natürlichen Fließgewässer

ständig einander ab und charakterisieren den Geschiebehaushalt einer Gewässerstrecke. Dabei herrscht im Oberlauf die Erosion, im Mittellauf die Umlagerung und im Unterlauf die Ablagerung bzw. Sedimentation vor.

2.1.3 Morphodynamik, Laufentwicklung

Das Abflussgeschehen und der daran gebundene Stofftransport sind für Gewässerbett und Aue von entscheidender Bedeutung, wobei die wesentlichen, gewässer- und auebildenden Prozesse ab einem bordvollen Abfluss stattfinden. Die natürliche Überflutungs- und Feststoffdynamik sorgt im Wesentlichen im Einklang mit den Bedingungen vor Ort für einen erstaunlichen Strukturreichtum, der bei natürlichen Fließgewässern in Abhängigkeit von Entwicklungen oder Hochwasserereignissen steten Wandlungen unterworfen ist.

Diese Veränderungen sind ein wesentliches Charakteristikum von Fließgewässerlandschaften, wobei ein natürliches Fließgewässer aufgrund seines Reorganisationsvermögens in aller Regel immer wieder in einen Zustand zurückkehrt, welcher der ursprünglichen Gesamtsituation entspricht. Dies bedeutet aber nicht, dass eine zentimetergenaue Nachbildung des vorherigen Zustands eintritt, sondern dass sich vielmehr die funktionellen Elemente des Systems, zum Beispiel Kies- und Sandbänke, räumlich an anderen Positionen wiederfinden.

Der Korridor, den das Fließgewässer als Migrationsraum in Anspruch nimmt, ist die sogenannte „Mäander-Gürtelbreite“ oder „Pendelband-Breite“, die abhängt vom Abfluss, dem Gefälle und der Substratzusammensetzung. Die morphodynamischen Prozesse, d. h. die Laufentwicklung des Fließgewässers, die Entwicklung der gewässernahen Bereiche (u. a. Uferandstreifen und Aue) und die Entwicklung der anorganischen Strukturen sind dabei für den Lebensraum „Fließgewässer und Aue“ von zentraler Bedeutung.

Laufentwicklung

Ein wichtiger gewässermorphologischer Baustein ist die Linienführung eines Fließgewässers, die je nach Gewässerabschnitt und den geologischen sowie geomorphologischen Verhältnissen, sehr verschiedenartig sein kann. Nur in hartem Gestein, zum Beispiel in Tallagen im Gebirge, zeigen Oberläufe eine relativ gestreckte Linienführung, die sich im Wesentlichen in Abhängigkeit von den Feststoffen verändert.

Dahingegen bilden die geschiebereichen Ober- und Mittelläufe bei ausreichend breiten Auen hochdynamische Umlagerungs- bzw. Verzweigungsstrecken (Furkation) mit zum Teil großen Schotterflächen aus. Kennzeichen der Mittelgebirgsgewässer, aber vor allem der Fließgewässer im Tiefland, sind die großen Flussschlingen (Mäander), die sich bei geringem Gefälle ausbilden. Dabei besitzen die in mehr oder weniger leicht erodierbarem Material abfließenden Gewässer (z. B. in einer sandig lehmigen Aue) eine große Vielfalt an Strukturelementen, wie Prall- und Gleitufer, Uferabbrüche, Anlandungsbereiche oder Totholz. Dieser morphologische Formenreichtum sorgt wiederum für unterschiedlichste Strömungen innerhalb des Gewässers (Patt et al. 2011).

Die Strömungs- und Feststoffdynamik bestimmt auch die anorganische Strukturdiversität (Abb. 2.4) der Fließgewässersohlen. Dazu gehören u. a. ...

- die Zusammensetzung und das Verteilungsmuster des Sohlensubstrates (z. B. von der strömungsbedingten Verteilung von groben, mittleren und/oder feineren Ablagerungen),
- der Wechsel und die Abfolge von unterschiedlich tiefen Bereichen (Tiefenvarianz) und
- die unterschiedlichen Mächtigkeiten der jeweiligen Sohlensubstrate (zum Beispiel von nicht oder nur geringfügig überdeckten Felspartien bis hin zu mächtigen Sand- oder Kiespolstern).

Die Differenziertheit der Sohlenstruktur und vor allem die der Zwischenräume in den Bettsedimenten und Uferbereichen (Interstitial) stellen wichtige Lebensräume dar.

Die Uferstrukturen von natürlichen Fließgewässern werden im Wesentlichen von dem jeweiligen morphologischen Flusstyp, den Substratverhältnissen und der vorherrschenden Vegetation geprägt. Dementsprechend können Ufer sehr vielfältige Strukturen aufweisen, zum Beispiel ausgedehnte, flache Sand- und Kiesbänke in Umlagerungsstrecken oder Abfolgen von Prall- und Gleitufeln bei mäandrierenden Gewässern.

Strukturen der Auen

Das bereits vorab beschriebene flussmorphologische Geschehen (Strömungs-, Feststoff- und Morphodynamik) und die Auentopographie charakterisieren auch den abiotischen Teil der „Auendynamik“.



Abb. 2.4 Strukturen einer bei Niedrigwasser sichtbaren Gewässersohle eines alpinen Fließgewässers nach einem Hochwasser (Tagliamento – Foto: P. Jürging)

Für die Struktur der Auen sind die Überschwemmungen von ausschlaggebender Bedeutung. Die Auen können bei Hochwasser „katastrophalen“ Zerstörungen durch Überflutungen und Flussbettverlagerungen ausgesetzt sein. Lebensräume, insbesondere solche in Flussnähe, können teilweise oder ganz fortgerissen werden, während sich an anderen Stellen wieder Rohböden ablagern, die sich im Laufe der Zeit schrittweise wieder zu reiferen Aueböden entwickeln, sofern die Fließgewässerdynamik dies zulässt. Zumindest langfristig gesehen entstehen deshalb spezifische Auenstandorte immer wieder neu, wenn auch an wechselnden Orten innerhalb des Systems, so dass in einem bestimmten Auenabschnitt meist alle einer natürlichen Fließgewässerlandschaft entsprechenden Habitate vorhanden sind. Allerdings ist es aber praktisch nicht vorhersagbar, wann und an welchen Stellen vorhandene Standorte der Dynamik zum Opfer fallen und neue entstehen. Letztlich wechseln sich in unregelmäßig erscheinender Verteilung und Häufigkeit trockene, frische, feuchte und nasse Standorte mit unterschiedlichem Substrat und Entwicklungsgrad ab, zum Beispiel vom rohen Kies bis hin zum Auelehm. Diese Standortdynamik macht deutlich, warum natürliche Fließgewässer mit ihren Auen zu den struktur- und damit artenreichsten Lebensräumen unserer Breiten zählen.

Im Gegensatz zu vielen Fluss- oder Stromauen weisen Bäche in aller Regel keine breiten Auen auf. In Niederungen und engen Tälern, vor allem im Einzugsgebiet von Fließgewässern des Berg- und Hügellandes, finden sich meist nur schmale, bachbegleitende „Auen-Säume“. Derartige Bachauen werden relativ häufig und aufgrund des engeren Profils meist auch höher überflutet. Mitunter werden die Bacheinhänge auch von Quellhorizonten begleitet, die in den schmalen Bachauen stetig für feuchte bis nasse Standorte sorgen.

Auengewässer

Die Fließgewässer- und Auendynamik sorgt in natürlichen Auen für ein abwechslungsreiches Relief und damit auch stets für unterschiedliche Gewässerformen, wodurch Strukturdiversität und Lebensraumqualität erhöht werden. Dabei reicht das vielfältige Spektrum an Augewässern von Altgewässern über Auebäche bis hin zu zeitweilig wasserführenden Mulden und Tümpeln.

Bei gewundenen Mittelläufen, vor allem aber bei stark mäandrierenden Unterläufen, sind die meist breiten Auen der Fließgewässer von alten Fluss Schleifen, den *Altgewässern*, durchsetzt. Diese entstanden aufgrund der Fließgewässerdynamik bei Durchbrüchen von Mäandern und dadurch bedingten Laufverlagerungen. In Altgewässern sind entstehungsbedingt dieselben geo- morphologischen Strukturen (z. B. Prall- und Gleitufer) vorzufinden, wie in den Fließgewässern, aus denen sie entstanden sind. Natürliche Altgewässer werden in Abhängigkeit zu ihrer Verbindung zum Fluss in Altarme oder Altwasser unterschieden (DWA-M 607 2010; Patt und Städtler 2009).

Altarme stehen als alte Flussschlingen dauernd (ganzjährig) einseitig oder beidseitig mit dem Fließgewässer in Verbindung. Dabei wird auch ein beidseitig angeschlossener Altarm bei Mittelwasser im Gegensatz zu einem Flussarm nicht oder nur unwesentlich durchströmt. Somit nehmen Altarme nur bei Hochwasser am Abflussgeschehen teil (Abb. 2.5).



Abb. 2.5 Naturnahes Altgewässer (Foto: P. Jürging)

Altwasser kommunizieren ganzjährig über das Grundwasser mit dem Fluss und stehen nur noch bei Überschwemmungen direkt mit dem Fließgewässer in Verbindung. Abgesehen von Zeiten mit Hochwasserereignissen weisen Altwasser deshalb im Wesentlichen die Eigenschaften von Stillgewässern auf.

Von außerhalb der Aue kommende Fließgewässer durchziehen oftmals über lange Strecken die Auen. Dasselbe gilt für grundwassergespeiste Bäche, die das aus höher gelegenen Randbereichen austretende Quellwasser oder den Abfluss aus Quellschüttungen (Quelltöpfen) aufnehmen und früher oder später dem Hauptgewässer zuführen.

Unter natürlichen Bedingungen fließen viele Nebengewässer und Auebäche vor Ihrer Mündung eine gewisse Strecke nahezu parallel zum Hauptgewässer, um dann höhen- gleich und im spitzen Winkel zu münden. Der Abfluss dieser als „Niederungsbäche in Fluss- und Stromtälern“ bezeichneten Fließgewässer ist im Gegensatz zu den Fließgewässern außerhalb der Niederungs- bzw. Auengebiete über den Grundwasserstand und gegebenenfalls Rückstau direkt abhängig von der Abflusssituation im vorflutendem Fluss.

Entsprechend dem auf der Topographie und den flussmorphologischen Prozessen beruhenden, relativ bewegten Relief findet sich in natürlichen Auen auch eine Vielfalt an *Kleingewässern*, insbesondere an periodisch austrocknenden Tümpeln. Vor allem bei Hochwasser und den dadurch oftmals bedingten hohen Grundwasserständen, füllen sich alte Rinnen und Mulden mit Wasser, das nach dem Abklingen des Hochwassers dann oft längere Zeit in den abflusslosen Senken verbleibt.

2.1.4 Physikalische und chemische Faktoren

Für natürliche Fließgewässer ist der Begriff „Wasserqualität“ eigentlich kein Thema, da das „Selbstreinigungsvermögen“, auch eine Bezeichnung, die erst durch anthropogene Gewässerverunreinigungen ihre Bedeutung gewann, praktisch nicht überschritten wird. Deshalb werden im Folgenden nur die physikalischen und chemischen Komponenten der Wasserqualität angesprochen, welche die wesentlichen biotischen Vorgänge bestimmen.

Natürliche Fließgewässer – Physikalische Faktoren

Zu den wichtigsten physikalischen Faktoren zählen die unterschiedlichen Fließ- und Wasseraustauschvorgänge sowie die Licht- und Temperaturverhältnisse.

Strömungsverhältnisse Im Gegensatz zu Stillgewässern spielen in Fließgewässern die Strömungs- und Wasseraustauschvorgänge eine Schlüsselrolle im Hinblick auf die aquatischen Lebensbedingungen. Zeitweilig gilt dies auch für die amphibischen und terrestrischen Lebensbereiche des Gewässerumlandes. Das Fließen bewirkt ein mehr oder weniger intensives, aber ständiges Durchmischen des Wasserkörpers. Die für stehende Gewässer im Sommer typischen Temperatur- oder Sauerstoffschichtungen können somit in Fließgewässern nicht auftreten.

Die Intensität dieser Durchmischung hängt dabei einerseits von den Rauheiten im Gewässerbett und andererseits von den unterschiedlichen, vorwiegend von Abfluss, Gefälle und Fließwiderständen bestimmten Fließgeschwindigkeiten ab. So sind zum Beispiel in strukturreichen Fließgewässern mit Totholz und grobem Bettmaterial große Schwankungen bei den Fließgeschwindigkeiten (Turbulenzen) typisch. Je höher die „Turbulenz“ ist, umso höher ist der Durchmischungsgrad und damit auch der Sauerstoffeintrag.

Strahlungsverhältnisse Die einfallende, nicht reflektierte Sonnen- und Himmelsstrahlung bestimmt das Strahlungsklima in Fließgewässern. Der Lichteintrag kann durch am Ufer wachsende Bäume und Sträucher wesentlich gemindert werden. Die Intensität dieses Schattenwurfs wird dabei von der Exposition der Gehölze sowie der Tages- und Jahreszeit bestimmt.

Durch die unterschiedliche Beschattung kann der Temperaturhaushalt eines Gewässers entscheidend beeinflusst werden (Rickert 1986). Am stärksten wirkt sich die Beschattung bei relativ schmalen Gewässern aus, bei denen die Ufergehölze einen weitgehenden Kronenschluss bilden. Im Sommer wird dadurch nahezu die gesamte Strahlung abgeschirmt und im Winter, wenn die Gehölze kein Laub tragen, erfolgt in Relation zur Jahreszeit ein höherer Lichteintrag (Abb. 2.6). Mit zunehmender Breite des Flusses verringert sich diese inverse Situation und der Einfluss der Beschattung tritt immer weiter in den Hintergrund.

Im Wasserkörper selbst wird die Einstrahlung durch die optischen Eigenschaften und die Inhaltsstoffen des Wassers abgeschwächt. Letzteres gilt insbesondere bei Hochwas-