

Erwin Schorr

DER LEBENSRAUM "FLIESSGEWÄSSER" UND SEINE  
LEBENS-GEMEINSCHAFTEN

Inhalt:	Seite
Verzeichnis der Abbildungen.....	I
1. FLIESSGEWÄSSER ALS TEIL DES WASSERKREISLAUFS DER ERDE.....	1
1.1. Wasservorräte der Erde und ihre Verteilung.....	1
1.2. Fließgewässer im Wasserkreislauf.....	1
1.3. Bedeutung des Wassers als Löse- und Transportmittel.....	2
2. ABIOTISCHE FAKTOREN IM ÖKOSYSTEM "FLIESSGEWÄSSER".....	3
2.1. Einflüsse auf die Wasserführung.....	3
2.1.1. Klimabedingte Schwankungen der Wassermengen.....	3
- Niederschlagsmenge	
- Schüttung permanenter Quellen	
- Grundwasserstand	
- Schüttung anderer Quelltypen	
2.1.2. Höhenlage.....	4
2.1.3. Oberflächenformen und geologischer Untergrund.....	6
2.1.4. Veränderung der Abflußverhältnisse durch den Menschen.....	6
2.2. Die Wechselbeziehung: Grundwasser - Oberflächenwasser.....	7
2.3. Morphologische Gliederung eines Fließgewässers.....	8
2.3.1. Das Längsprofil.....	8
2.3.2. Das Querprofil.....	10
2.4. Die Strömung.....	11
2.4.1. Abhängigkeiten der Strömungsgeschwindigkeit.....	12
2.4.2. Arten von Strömungen.....	12
2.4.3. Strömungsverhältnisse in Grenzbereichen.....	13
2.5. Die morphologische Arbeit des Flusses: Erosion, Transport, Sedimentation.....	14
2.6. Die Wassertemperatur.....	17
2.6.1. Wärmehaushalt und Wassertemperatur.....	17
2.6.2. Die Temperatur von Quellwasser.....	17
2.6.3. Die Wassertemperatur der weiteren Flußabschnitte.....	18

2.7.	Strahlung und Licht.....	20
2.7.1.	Die Lichtmenge.....	20
2.7.2.	Absorption im Wasser.....	21
2.7.3.	Bedeutung für die Wasserorganismen.....	22
2.8.	Der Sauerstoffhaushalt von Fließgewässern.....	23
2.8.1.	Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser.....	23
2.8.2.	Einflüsse auf die Sauerstoffbilanz eines Gewässers.....	24
2.8.3.	Tages- und Jahresgang des Sauerstoffgehaltes von Fließgewässern.....	25
2.9.	Der pH-Wert.....	27
2.9.1.	Die Dissoziation des Wassers.....	27
2.9.2.	Spannbreite der pH-Werte in Fließgewässern.....	28
2.9.3.	Einfluß des geologischen Untergrundes.....	29
2.9.4.	Die ökologische Bedeutung des pH-Wertes.....	30
2.10.	Kohlenstoffdioxid, Kohlensäure und Carbonate.....	32
2.10.1.	Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Dissoziation der Kohlensäure.....	32
2.10.2.	Einfluß des pH-Wertes.....	32
2.10.3.	Hydrogencarbonat als pH-Puffer.....	33
2.10.4.	Die Bedeutung des Kalkgehaltes von Gewässern.....	33
2.10.5.	Ursachen und Folgen unterschiedlicher Kalkgehalte von Gewässern.....	34
2.10.6.	Das Säurebindungsvermögen.....	34
2.11.	Der Kreislauf des Stickstoffs im Gewässer.....	35
2.12.	Der Phosphorhaushalt eines Gewässers.....	36
2.13.	Der Kreislauf des Kohlenstoffs in Gewässern.....	37
3.	<b>BIOTISCHE FAKTOREN IM ÖKOSYSTEM "FLIESSGEWÄSSER"</b> .....	38
3.1.	Die Teilräume des Gesamtlebensraumes "Fließgewässer".....	38
3.2.	Biozöosen der Unterwasserzone.....	38
3.2.1.	Die Produzenten.....	38
3.2.2.	Die Konsumenten.....	40
3.2.3.	Die Destruenten.....	43
3.3.	Die Verteilung der Organismen im Fließgewässer.....	44
3.3.1.	Die vertikale Verteilung.....	44
3.3.2.	Biozöotische Längsgliederung eines Flußlaufes.....	44
3.3.3.	Biozöotisches Querprofil eines Flusses.....	46
3.4.	Die Selbstreinigung im Ökosystem Fließgewässer.....	47

ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Seite

Abb.1:	Die Wasservorräte der Erde.....	1
Abb.2:	Der Wasserkreislauf.....	2
Abb.3:	Beziehung zwischen Niederschlag und Quellschüttung im Jahresverlauf.....	3
Abb.4:	Schwankungen der Wassermenge von Flüssen und der Einfluß eines eingeschalteten Sees (Bodensee).....	5
Abb.5:	Monatliche Wassermengen von Hoch- und Mittelgebirgsflüssen in Prozent der jährlichen.....	5
Abb.6:	Geologische Bedingungen in Einzugsgebieten und ihr Einfluß auf die Dichte des Gewässernetzes.....	6
Abb.7:	Zusammenhang zwischen Grundwasserspiegel und Flußwasserspiegel.....	8
Abb.8:	Übersicht über die Längsgliederung eines idealen natürlichen Fließgewässers.....	9
Abb.9:	Querprofil eines Fließgewässers mit Wasserstandslinien und Ufervegetation.....	11
Abb.10:	Wirbelbildung und Entstehung von Totwasserräumen im Bereich des Gewässerbodens.....	13
Abb.11:	Verhalten von Eintagsfliegenlarven in verschieden starker Strömung.....	13
Abb.12:	Strömungsverhältnisse in einem mäandrierenden Fluß mit den davon abhängigen morphologischen Vorgängen.....	15
Abb.13:	Fließgeschwindigkeiten in einem asymmetrischen Flußbett und damit zusammenhängende Sedimentationsvorgänge.....	16
Abb.14:	Verlagerung des Flußbettes im Mäanderbogen. Zusammentreffen von Erosion und Akkumulation auf engstem Raum.....	16
Abb.15:	Tageszyklen von Wasser- und Lufttemperatur.....	19
Abb.16:	Temperaturamplitude und Jahresmittelwerte in den verschiedenen Flußabschnitten.....	19
Abb.17:	Lichtstärke an der Oberfläche eines sehr stark (I) und eines weniger stark beschatteten (II) Waldbachabschnittes.....	20
Abb.18:	Sonneneinstrahlung auf die Wasseroberfläche, ihre Veränderung an der Grenze Luft-Wasser und im Wasserkörper.....	21
Abb.19:	Absorption verschiedener Wellenbereiche des Lichtes durch Flußwasser (River Frome, England).....	22
Abb.20:	Jahresverlauf (Mittelwert der Jahre 1975-79) der Sauerstoffsättigung eines Flusses (Fußda im Schlitzerland).....	25
Abb.21:	Tagesperiodische Schwankung der Sauerstoffsättigung eines Flusses (Schlitz in Osthessen).....	25
Abb.22:	Fließgewässertypen nach dem Tagesgang der Sauerstoffsättigung.....	26
Abb.23:	Skala der pH-Werte mit den ihnen entsprechenden Mengen an H <sup>+</sup> -Ionen.....	28

Abb.24: pH-Werte verschiedener Fließgewässer und Fließgewässerab-	
schnitte in einer Buntsandsteinlandschaft (Schlitzerland in	
Osthessen) im Jahresverlauf (1980).....	29
Abb.25: Zusammenhang zwischen: pH-Wert - Ammonium - Ammoniak und	
Temperatur.....	31
Abb.26: Toxische pH-Grenzwerte für Süßwasserorganismen. Ökologische	
Valenz verschiedener Arten bezüglich des pH-Wertes.....	31
Abb.27: Dissoziation der Kohlensäure in Abhängigkeit vom pH-Wert.....	33
Abb.28: Stickstoffkreislauf in Gewässern.....	35
Abb.29: Phosphor-Eisen-Umsatz im Kontaktbereich Wasser-Sediment.....	36
Abb.30: Kreislauf des Kohlenstoffs in Gewässern.....	37
Abb.31: Lebensgemeinschaft eines mäßig verunreinigten Fließgewässers..	39
Abb.32: Nahrungsbeziehungen und Stofffluß in einem Fließgewässer.....	41
Abb.33: Biozönotisches Längsprofil eines Fließgewässers mit	
abiotischen Ökofaktoren.....	45
Abb.34: Querprofil eines Flußunterlaufes mit einigen	
charakteristischen Arten.....	46
Abb.35: Physikalische, chemische und biologische Bedingungen in	
einem Flußlauf und ihre Änderungen nach der Einleitung	
von Abwasser (Selbstreinigungsstrecke).....	48
Tab.: Grenzgeschwindigkeiten für den Beginn der Geschiebebewegungen...	15
Tab.: Die Löslichkeit des Sauerstoffs in Abhängigkeit von der	
Temperatur in Wasser bei 1013 mbar.....	23

## 1. Fließgewässer als Teil des Wasserkreislaufs der Erde

### 1.1. Wasservorräte der Erde und ihre Verteilung

Die Erdoberfläche ist zu 71% von Wasser in Form riesiger zusammenhängender Weltmeere bedeckt. Die übrigen 29% sind Landmassen, durchzogen von dem Adersystem der Bäche und Flüsse, unterbrochen von vielen kleineren und größeren Seen. Diese Binnengewässer machen lediglich etwa 2% der gesamten Erdoberfläche aus. Aber sie enthalten Süßwasser, und nur dieses ist für Landpflanzen, Landtiere und den Menschen als Lebensgrundlage geeignet.

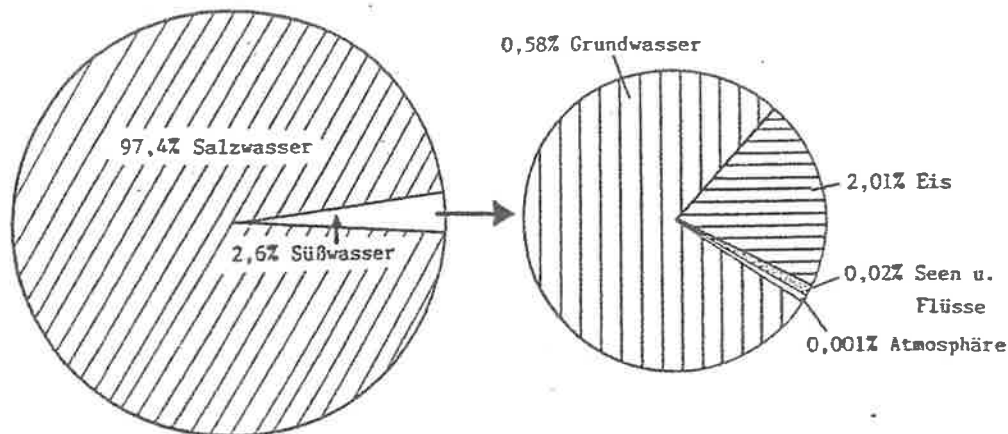


Abb.1: Die Wasservorräte der Erde

Die Gesamtmenge der Wasservorräte der Erde gliedert sich wie folgt auf:

- 97,39% salziges Wasser der Meere
- 2,01% als Eis fest gebunden
- 0,58% im Grundwasserspeicher enthalten
- 0,02% Süßwasser der Seen und Flüsse
- 0,001% Wasserdampf und Wassertröpfchen in der Atmosphäre

Dies bedeutet also, daß nur etwa 2,6% des gesamten Wasservorrates der Erde aus Süßwasser bestehen.

In dem steten Kreislauf von Verdunstung, Niederschlag und Abfluß befinden sich jedoch nur 0,6 % der irdischen Wasservorräte. Alle Binnengewässer und die Meere sind in diesen großen Kreislauf eingebunden, in dem das Wasser in drei Aggregatzuständen vorkommen kann: fest, flüssig oder gasförmig.

### 1.2. Fließgewässer im Wasserkreislauf

Ein Bestandteil dieses Wasserkreislaufs der Erde sind die Fließgewässer. Nach MARCINEK (1976) sind Flüsse "... in langgestreckten, einseitig geöffneten Hohlformen der Landoberfläche fließende natürliche Wasser-

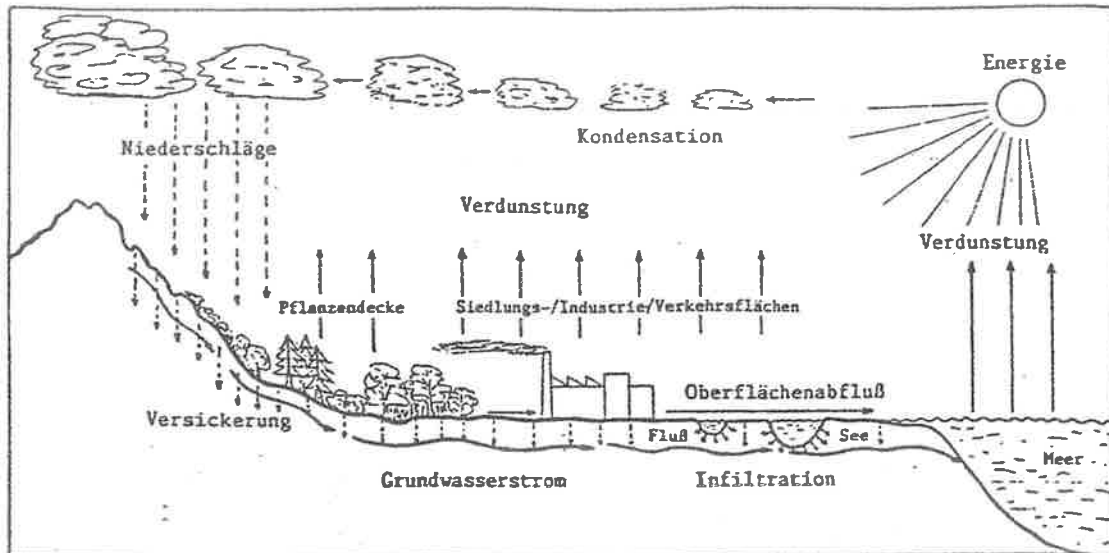


Abb.2: Der Wasserkreislauf

läufe, die umgrenzbare Flächen des Festlandes mit natürlichem Gefälle entwässern"

Gespeist werden sie aus Niederschlags- oder Schmelzwasser. Dieses fließt zu einem großen Teil oberirdisch ab. Ein Teil davon versickert, gelangt in den Grundwasserspeicher und tritt in Quellen wieder zutage bzw. sickert durch die Ufer in das Bach- oder Flußbett ein.

Form und Aussehen der Fließgewässer werden maßgeblich von der geologisch-geomorphologischen Beschaffenheit der Einzugsgebiete und den dort herrschenden Klimaverhältnissen, v.a. den Niederschlägen, beeinflusst.

### 1.3. Bedeutung des Wassers als Löse- und Transportmittel

Wasser ist ein hervorragendes Lösemittel für feste und gasförmige Stoffe, eine Eigenschaft, die für alle Lebewesen von grundlegender Bedeutung ist.

Unter den im Wasser gelösten festen Stoffen kommt den "Nährsalzen" eine besondere Bedeutung zu. Ohne gelöste Nitrate und Phosphate ist beispielsweise kein Pflanzenwachstum möglich.

Zunehmend gelangen jedoch auch andere, aus der menschlichen Produktion stammende, lösliche und unlösliche Stoffe ins Wasser, die in jeder Hinsicht als Schadstoffe einzustufen sind. Teils werden sie vom Menschen bewußt direkt mit Abwässern eingeleitet, teils erreichen sie über Umwege durch Einsickern oder flächenhafte Abspülung Grund- und Oberflächenwasser und gelangen somit in den Wasserkreislauf der Erde.

Dieser Wasserkreislauf kann als riesiger Reinigungsprozeß angesehen werden. Verdunstung und nachfolgende Kondensation stellen einen Destillationsvorgang dar, in dem einerseits das verdunstende Wasser von Inhaltsstoffen befreit wird, andererseits die zurückbleibenden Stoffe konzentriert werden, und zwar vor allem in den Meeren. Im Laufe von Jahrtausenden entstand so der hohe Salzgehalt (35 g Salz/l Wasser) der Meere. In jüngster Zeit jedoch reichern sich zunehmend künstlich hergestellte Stoffe an, deren Gefahrenpotential in keiner Weise abzuschätzen ist.

## 2. Abiotische Faktoren im Ökosystem "Fließgewässer"

### 2.1. Einflüsse auf die Wasserführung

#### 2.1.1. Klimabedingte Schwankungen der Wassermengen

Niederschlagsmenge. In unserem humiden Klima ist die Niederschlagsmenge höher als die Menge des durch Verdunstung und Versickerung verbrauchten Wassers. Deshalb ist ein permanenter Wasserabfluß für die meisten mitteleuropäischen Fließgewässer typisch. Im Jahresverlauf ihrer Wasserführung (dem Abfluß) weisen sie jedoch z.T. beträchtliche witterungsbedingte Schwankungen auf. In unserem von Jahreszeiten geprägten Klima schwankt die Wasserführung zwar nicht so extrem wie in anderen Regionen der Erde, z.B. den Trockengebieten, trotzdem gibt es einen periodischen Wechsel zwischen Hoch- und Niedrigwasser, der von singulären Ereignissen, z.B. Gewitterschauern, überlagert wird.

Schüttung permanenter Quellen. Am Beispiel permanenter Quellen kann dieser periodische Wechsel recht gut verdeutlicht werden, da sie auf kurzfristige Wetterereignisse verzögert und relativ ausgeglichen reagieren.

Nach BREHM/MEIJERING (1982) ändert sich die Schüttung (d.h. die austretende Wassermenge in l/s) der Mehrzahl der permanenten Quellen nahezu rein jahresperiodisch:

- hoher Abfluß im Winterhalbjahr
- Rückgang der Schüttung zum Sommer hin
- danach geringere Abnahme bis zum Tiefstwert im Frühherbst
- Oktober/November Hochschnellen der Schüttung

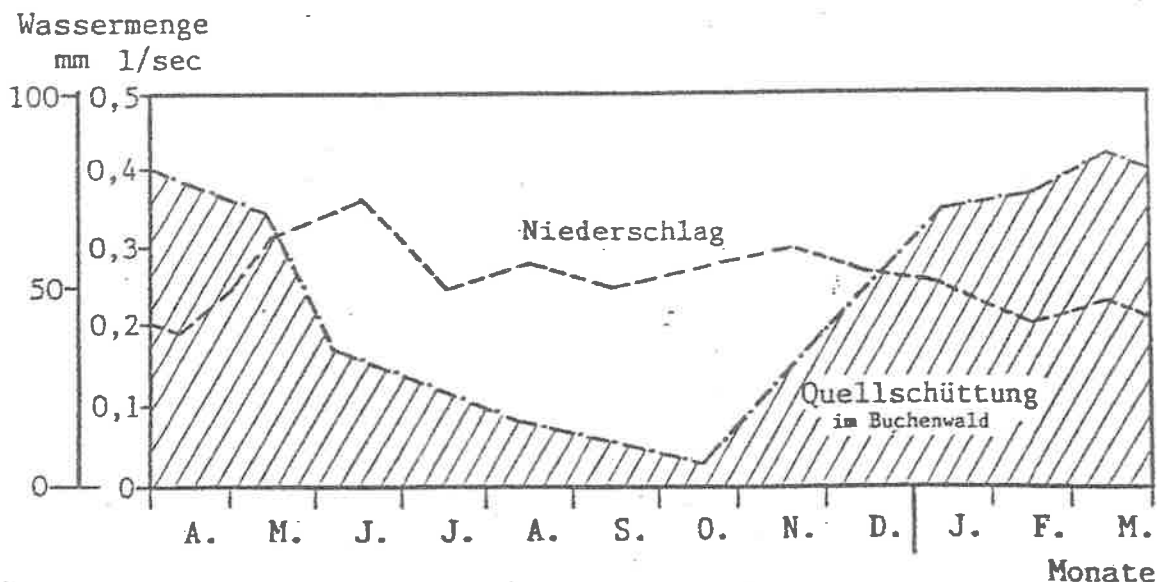


Abb.3: Beziehung zwischen Niederschlag und Quellschüttung im Jahresverlauf.  
Niederschlag: Fünfjähriges Mittel (1974/78) der Stadt Schlitz.  
Quellschüttung: Fünfjähriges Mittel (1975/79) einer Buchenwaldquelle des Schlitzerlandes. (nach Brehm 1982)

Grundwasserstand. Ein ähnliches Verhalten zeigt der Grundwasserstand terrestrischer und halbt terrestrischer Pflanzenstandorte. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die enge Beziehung zwischen der Höhe des Grundwasserstandes des Quelleinzugsgebietes und der Stärke der Quellschüttung. Häufig geht die Quellschüttung auch im Winter, bedingt durch Bodenfrost, leicht zurück, so daß ein Herbst- und ein Frühjahrsmaximum zu unterscheiden sind.

Diese dargestellten Quellschüttungsverhältnisse gelten für Gebiete mit annähernd ausgeglichenen Niederschlagsverhältnissen während des ganzen Jahres oder mit winterlichem Niederschlagsmaximum.

Erklärung für die Abflußschwankungen:

- Winter: Niederschläge werden teilweise in fester Form zurückgehalten
- Frühjahr: Abschmelzen führt, etwas verzögert, zu erhöhter Schüttung
- Frühjahr/  
Sommer: Erwärmung des Bodens begünstigen die Verdunstung und die Transpiration durch die Pflanzen. Niederschlagsrückhaltung durch die Pflanzen nimmt stark zu
- Spätsommer/  
Herbst: Rückgang der Temperaturen - Beginn der Winterruhe der Vegetation = vermindertes Rückhaltevermögen, Auffüllen der Grundwasserspeicher, erhöhte Quellschüttung

Schüttung anderer Quelltypen. Auf den jahresperiodischen Wechsel des Grundwasserstandes, vor allem aber auf singuläre Wetterereignisse reagieren andere Quellen wesentlich deutlicher:

- Intermittierende Quellen versiegen zeitweise gänzlich, vor allem in der allgemein abflußarmen Sommer- und Frühherbstzeit.
- Ephemere Quellen fließen oft nur in der Schneeschmelze des zeitigen Frühjahrs ("Märzquellen") oder sogar nur stundenweise nach Starkregen ("Stundenquellen").

### 2.1.2. Höhenlage

Starke Sommerregen, Schneeschmelze und Gletscherwasser beherrschen das Abflußregime der Flüsse, die aus dem Hochgebirge kommen, im Frühsommer. Frost und damit das Zurückhalten der Niederschläge in Form von Eis und Schnee im Bereich des Oberlaufes verursachen winterliches Niedrigwasser (Bsp. Rhein und Inn).

Umgekehrt liegen die Verhältnisse im Mittelgebirge: hohe Wasserstände in den Monaten Februar und März und niedrige in den Sommermonaten. Auf Flüsse, die aus beiden Gebieten gespeist werden, wirkt diese Ungleichzeitigkeit der Hochwasser besonders günstig. Es erfolgt ein vor teilhafter Ausgleich (Bsp. Rhein bei Mastrils und Köln). Ausgleichende Wirkung auf den Wasserstand haben aber auch in den Flußlauf eingeschaltete Seen (Bsp. Bodensee). Sie wirken wie Talsperren.



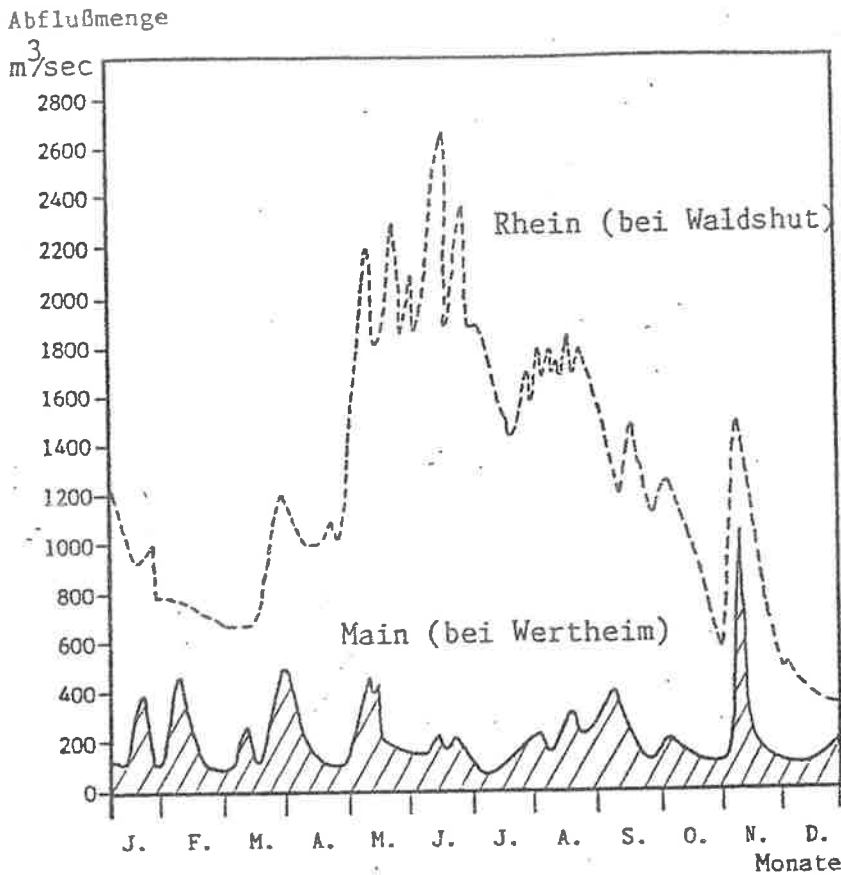


Abb.4: Schwankungen der Wassermenge von Flüssen und der Einfluß eines eingeschalteten Sees (Bodensee). (nach Wagner 1960)

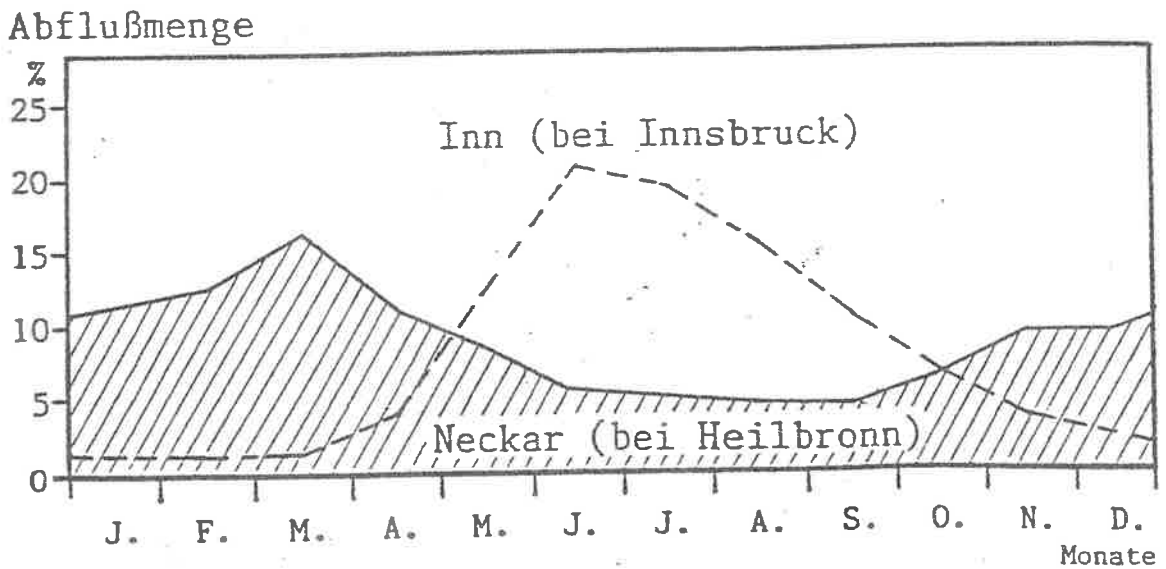


Abb.5: Monatliche Wassermengen von Hoch- und Mittelgebirgsflüssen in Prozent der jährlichen. (nach Wagner 1960)

### 2.1.3. Oberflächenformen und geologischer Untergrund

Jedes Fließgewässer, gleich welcher Größenordnung, ist ein Bestandteil der umgebenden Landschaft. Die Abflußrinnen, in denen sich das Wasser sammelt, greifen in die Landschaft wie das Geäst eines Baumes. Die von einem solchen System entwässerte Fläche bezeichnet man als Einzugs- oder Flußgebiet, seine Grenzen zu den benachbarten Flußgebieten als Wasserscheiden. Die Größe der Einzugsgebiete wird im wesentlichen bestimmt von den Oberflächenformen. Hochgebirgsbäche haben im allgemeinen ein kleines, Mittelgebirgs- oder gar Tieflandsbäche ein deutlich größeres Einzugsgebiet.

Entscheidenden Einfluß auf die Dichte und die Wasserführung solcher Abflußsysteme hat neben den Niederschlagsverhältnissen die Geologie des Raumes. Daher können auch in unserem humiden Klima auf engstem Raum die Dichte des Gewässernetzes und die Abflußmengen benachbarter Flußsysteme sehr unterschiedlich sein, je nach Durchlässigkeit des Untergrundes und nach Oberflächenformen. Besonders deutlich wird dies in Kalkgebieten, in denen selbst ganze Flüsse im Untergrund verschwinden (z.B. die Donau) und in Speilöchern (Ponoren) oder mächtig schüttenden Karstquellen (z.B. der Achtopf) wieder zutage treten.

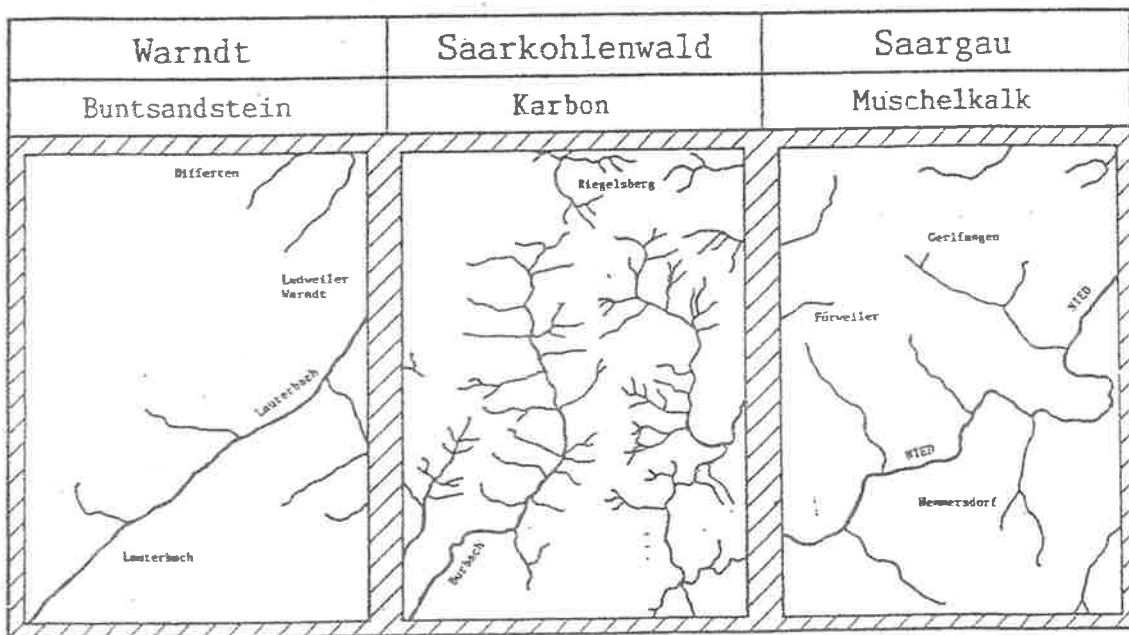


Abb.6: Geologische Bedingungen in Einzugsgebieten und ihr Einfluß auf die Dichte des Gewässernetzes.

### 2.1.4. Veränderung der Abflußverhältnisse durch den Menschen

Bei der Umwandlung der Naturlandschaften in Kulturlandschaften wurden die natürlichen Abflußverhältnisse vom Menschen häufig vollkommen verändert.

Die massivsten Eingriffe geschahen durch

- Rodung der Wälder zur Anlage von Äckern und Wiesen mit der Folge eines beschleunigten Abflusses (historisch gesehen wohl die erste einschneidende Maßnahme und weltweit gesehen wohl die umfangreichste),
- Anlage von Drainagen in Feuchtgebieten,
- Begradigung oder Verlegung von Flüssen und Bächen,
- Versiegelung der Landschaft durch Überbauung und Pflasterung, jeweils verbunden mit einer raschen Ableitung des gesammelten Wassers in Bäche, Flüsse und ins Meer,
- Entnahme von Grundwasser zur Trink- und Brauchwassergewinnung bzw. in Bergbaugebieten zur Sicherung des Rohstoffabbaues, gefolgt vom Absenken des Grundwasserspiegels und dem Austrocknen von Feuchtgebieten, Quellen und Oberflächengewässern,
- Einbau von Stauwehren oder Talsperren. Dies bedingt ein Anheben des Grundwasserspiegels durch Abflußverzögerung und eine Veränderung des Klimas infolge erhöhter Verdunstung.

## 2.2. Die Wechselbeziehung: Grundwasser - Oberflächenwasser

Durchschnittlich etwa 10% der Niederschläge gelangen über Versickerung tiefer in die Erde. Auf wasserundurchlässigen Schichten (z.B. auf Ton) gestaut, sammeln sie sich in porösem Gestein und füllen dessen Hohlräume aus; es bildet sich das Grundwasser. Schichten, von denen es gestaut wird, bezeichnet man als Grundwasserträger und die Schichten in denen es sich sammelt, als Grundwasserleiter. Da sie in der Regel nicht absolut flach gelagert sind, fließt das Grundwasser entsprechend dem Fallen der Schichten, es entsteht ein Grundwasserstrom. Besonders kompliziert sind die Verhältnisse der Grundwasserströme im zerklüfteten Untergrund der Karstgebiete.

Einen entscheidenden Einfluß auf den Grundwasserhaushalt einer Landschaft hat deren Oberflächenbedeckung. Dichte Vegetationsdecken (z.B. Wald) sowie Feuchtgebiete besitzen die Fähigkeit, Niederschläge aufzusaugen und langsam wieder abzugeben. Je mehr jedoch eine Landschaft ausgeräumt wird (z.B. Agrarsteppen), um so stärker verliert sie dieses Rückhaltevermögen. Vor allem in der vegetationsfreien Zeit fließen größere Niederschlagsmengen sehr rasch ab. Dies führt in den tieferen Lagen zu Hochwasser und Überschwemmungen.

Dadurch, daß relativ wenig Wasser versickert, kann der Verlust an Grundwasser nicht vollkommen durch Versickerung ersetzt werden. Die ausgleichende Funktion des Grundwassers im Gesamtwasserhaushalt geht nach und nach verloren. Letztendlich führt dies zu einem Austrocknen der Landschaft.

Je nach geologischen Bedingungen begleiten mehr oder weniger umfangreiche Grundwasserströme auch die Fließgewässer. Über poröse Grobsand-, Kies- oder Schotterkörper seiner Ufer steht das Gewässer mit ihnen in direkter Verbindung. Liegt der Wasserspiegel des Fließgewässers höher

als der des Grundwassers, dringt Flußwasser in den Grundwasserträger ein. Bei stark verschmutzten Flüssen führt dies zu einer Belastung des Grundwassers mit Schadstoffen.

Umgekehrt wirkt ein Absinken des Wasserspiegels im Fließgewässer wie eine Drainage. Der Grundwasserstrom speist nun den Fluß und sinkt dadurch ab. Flußbegradigungen und die damit verbundene Erhöhung der Fließgeschwindigkeit verursachen eine verstärkte Tiefenerosion. Der nun tiefer liegende Fluß "saugt" Wasser aus der umgebenden Landschaft und senkt damit den Grundwasserspiegel nachhaltig (Beispiel: Oberrheinische Tiefebene).

Über diese Wechselbeziehung mit dem Grundwasserhaushalt des Einzugsgebietes prägt der fließende Wasserkörper somit auch die terrestrischen Ökosysteme der Aue.

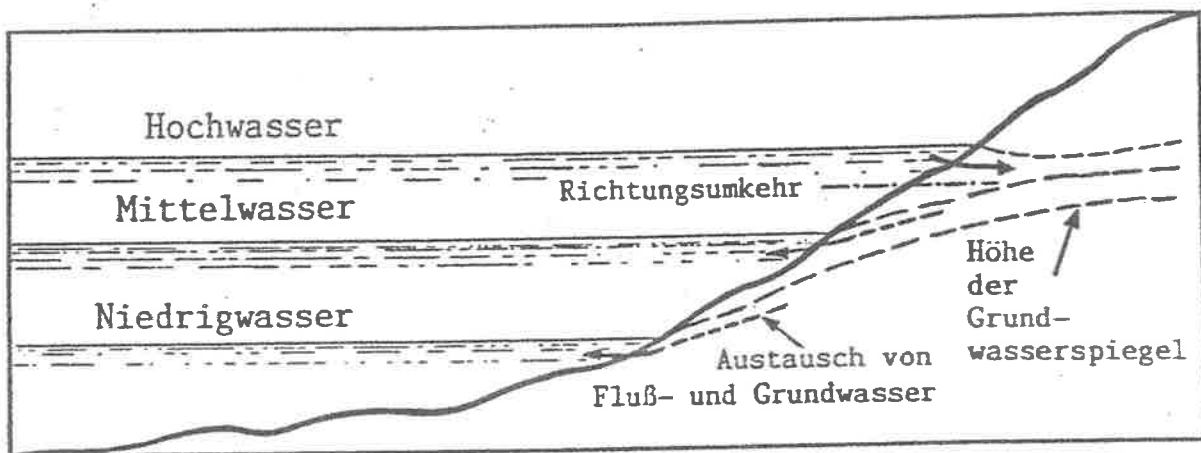


Abb.7: Zusammenhang zwischen Grundwasserspiegel und Flußwasserspiegel  
(nach German 1970)

### 2.3. Morphologische Gliederung eines Fließgewässers

#### 2.3.1 Das Längsprofil

Nach der Abflußmenge werden Fließgewässer in Bach, Fluß und Strom unterteilt. Da sie sich morphologisch jedoch nicht präzise voneinander abgrenzen lassen, wird in der Geologie für Fließgewässer meist nur der Begriff "Fluß" verwandt.

Längs- und Querprofil eines Flusses werden von den Bedingungen der umgebenden Landschaft bestimmt. Einen entscheidenden Einfluß übt dabei der Höhenunterschied, den das fließende Wasser auf seinem Weg überwinden muß, aus. Seine daraus resultierende Strömungsgeschwindigkeit nimmt von der Quelle bis zur Mündung im Durchschnitt ab. Aufgrund der damit einhergehenden Veränderungen weiterer Ökofaktoren, lassen sich Flüsse in mehr oder weniger deutlich abgrenzbare Abschnitte, in Ober-, Mittel- und Unterlauf gliedern.

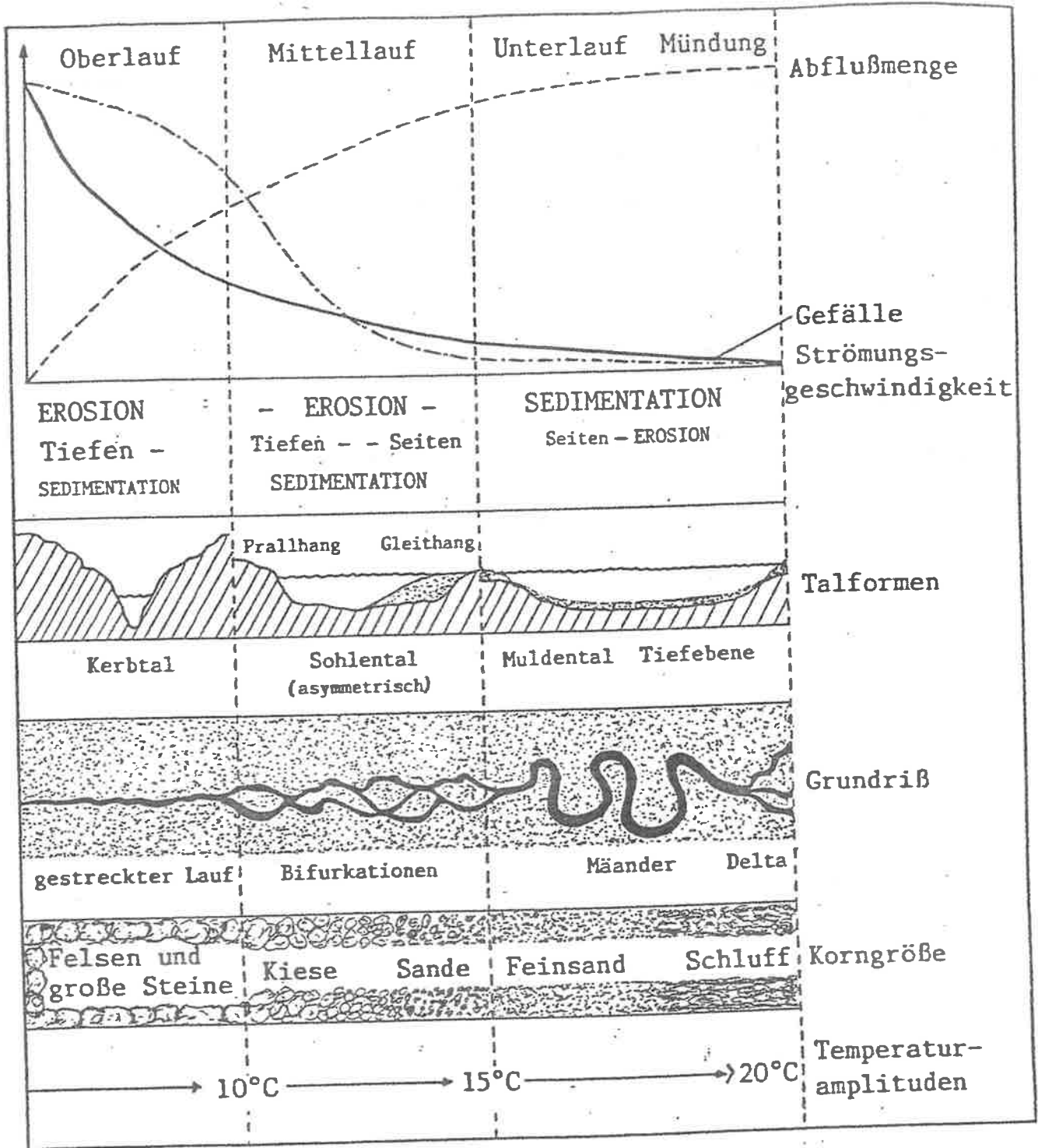


Abb.8: Übersicht über die Längsgliederung eines idealen natürlichen Fließgewässers. (nach Niemeyer-Lüllwitz 1985)

In jedem dieser Abschnitte gibt es bestimmte formengebende Kräfte, die vorherrschen. Im Oberlauf ist dies beispielsweise die Abtragung, im Unterlauf die Ablagerung und im Mittellauf halten sich beide in etwa die Waage. Entsprechend gestaltet sind auch jeweils das Bett des Flusses und sein Tal. Kerbtal, Schlucht oder Klamm (je nach geologischem Untergrund) prägen den Oberlauf. Im Bereich des Mittellaufs verbreitert sich das

Kerbtal; durch Ablagerungen entsteht das Sohlental. Charakteristisch für den Unterlauf ist das Muldental mit breiter Sohle und flachen abgerundeten Hängen. Störungen im Gefällsverlauf, z.B. harte Gesteinsbänke oder Staubecken (lokale Erosionsbasis), verändern die Fließgeschwindigkeit (Stromschnellen, Wasserfälle) und damit auch die Bedingungen für Abtragung und Ablagerung. Im Idealfall nimmt von der Quelle bis zur Mündung die Wassermenge zu und bei abnehmendem Gefälle die Größe des mitgeschleppten Transportgutes und damit des Sediments ab.

Ein weiteres Abgrenzungskriterium für die drei Abschnitte ist die jährliche Schwankung der Wassertemperatur, die ihrerseits u.a. von Strömungsgeschwindigkeit und Gestalt des Flußbettes abhängt. Danach rechnet man den Oberlauf soweit, wie die jährliche Temperaturschwankung  $10^{\circ}\text{C}$  nicht übersteigt. Der flußabwärts anschließende Mittellauf endet dort, wo die jährliche Temperaturamplitude  $15^{\circ}\text{C}$  überschreitet.

Der Unterlauf weist beträchtliche Schwankungen der Wassertemperatur auf, seine Wasserführung ist bedeutend größer als in den übrigen Abschnitten, die Strömungsgeschwindigkeit gleichmäßiger und das Flußbett wird nicht mehr so oft umgestaltet.

Diese Gliederung findet sich nahezu idealtypisch bei Mittelgebirgsflüssen, deren Quelle in größerer Höhe liegt und deren Unterlauf sich ins Flachland erstreckt.

Nahezu reine Oberlaufbedingungen findet man bei typischen Hochgebirgsbächen, reine Unterlaufbedingungen bei den Niederungsbächen der Tiefländer.

### 2.3.2. Das Querprofil

Aufgrund periodisch bzw. episodisch schwankender Wassermengen werden die Gewässerbettwandungen und der angrenzende Landbereich zeitweise benetzt oder ganz überflutet. Die jeweilige Gewässergrenze zum trockenen Land wird als Wasserlinie bezeichnet. Je nach Wasserstand (= Tiefe des Gewässers) unterscheidet man

- die höchste Hochwasserlinie (HHW) bei Höchstwasserstand
- die niedrigste Niedrigwasserlinie (NNW) bei Niedrigstwasserstand
- die Mittelwasserlinie (MW) als langfristige mittlere oder eigentliche Gewässergrenze.

Als eigentliche Uferlinie wird die Mittelwasserlinie bezeichnet. Der gesamte Bereich unterhalb dieser Linie, das heißt, die Sohle und die Wandungen, bilden den Gewässergrund. Von der Uferlinie bis zur Oberkante der Wandungen reicht das Ufer. Dieses Ufer und der anschließende Landbereich, der bei Höchstwasserstand noch überflutet wird, gehören zur Aue. Das höher liegende Land außerhalb des Überflutungsbereichs ist die Außeraue.

Wird die Wasseroberfläche von Pflanzen durchstoßen, bildet sich um jeden Pflanzenteil eine eigene Wasserlinie; es entsteht ein Sumpf.

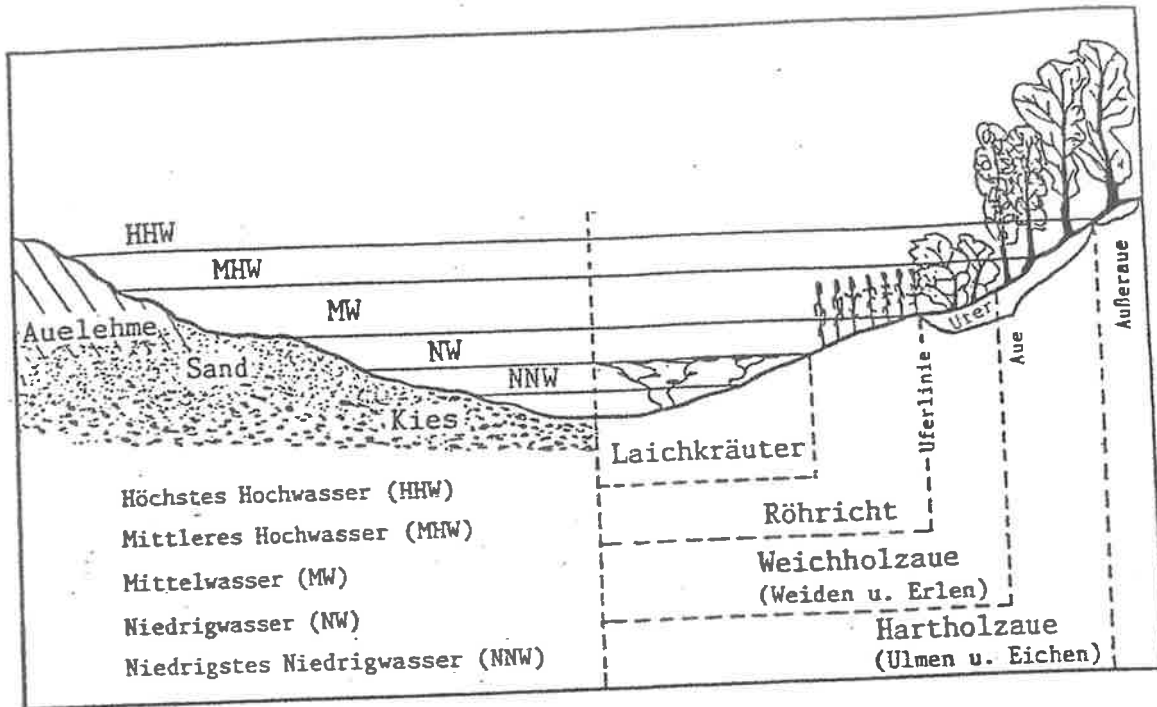


Abb.9: Querprofil eines Fließgewässers mit Wasserstandslinien und Ufervegetation (nach Klee 1985)

In unserem Raum geht die heutige Form der Erdoberfläche mit ihren Abflußsystemen im wesentlichen zurück auf die Zeit des Pleistozän (Beginn vor ca. 1,5 Mio. Jahren). Während der mehrfachen Vereisungen großer Teile Nord- und Mitteleuropas und in den Zwischeneiszeiten erhielt die Landschaft durch Erosion und Ablagerung wesentliche Züge ihres heutigen Gesichtes.

Die nacheiszeitliche Erwärmung und Klimastabilisierung vor ca. 10 000 Jahren ermöglichte nach und nach die Ausbreitung einer dichten Walddecke in fast allen Teilen Mitteleuropas. Damit wurden die in einer anderen geologischen Zeit geschaffenen Formen wie unter einer schützenden Decke konserviert und die Entwicklung der Oberflächenformen zu einem gewissen Abschluß gebracht. Es entstanden stabile, vom fließenden Wasser beeinflusste natürliche Ökosysteme. Mit "natürlich" wird in diesem Fall ein Zustand bezeichnet, der sich vor den ersten menschlichen Eingriffen einstellte. Auch dieser natürliche Zustand war und ist nicht "statisch", sondern von der Dynamik des fließenden Wassers ständig beeinflusst und geprägt.

#### 2.4. Die Strömung

Ein typisches Merkmal der Fließgewässer ist die dem Gefälle des Gewässerbettes folgende gerichtete Strömung. ODUM (1980) kennzeichnet ihre Bedeutung so: Die Wasserströmung ist der kontrollierende und limitierende Ökofaktor der Flüsse. Strömung und Wasserführung sind entscheidend für die Biotopstrukturen von Gewässer und Aue und beeinflussen maßgebend wichtige physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers.

#### 2.4.1. Abhängigkeiten der Strömungsgeschwindigkeit

Die von den Höhenunterschieden abhängige Strömungsgeschwindigkeit nimmt im Durchschnitt mit dem Gefälle zur Mündung hin ab. Diese Durchschnittsgeschwindigkeit ist jedoch eine "gedachte Größe" (SCHMITZ 1961), da örtlich, d.h. an jeder Stelle des Flußlaufes, und zeitlich beträchtliche Geschwindigkeitsschwankungen auftreten können.

Solche Schwankungen können entstehen:

- zeitlich, in Abhängigkeit von der Wasserführung des Flusses. Hochwasser führt zu geringfügiger Vergrößerung des Wasserspiegelgefälles und damit zu erhöhter Fließgeschwindigkeit.
- im Flußquerschnitt. Aufgrund der Reibung im Flußbett nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zur Sohle und zum Ufer hin ab. Die höchste Geschwindigkeit tritt demnach meist im Bereich der größten Wassertiefe auf, dem Stromstrich (siehe Abb.13).
- im Flußlängsschnitt. Durch lokale Barrieren (lokale Erosionsbasis) wird streckenweise die Fließgeschwindigkeit gehemmt. Dies führt flußaufwärts zu Stauungen und unter Umständen zum Mäandrieren des Gewässers. Hinter dem Hemmnis kann die Strömungsgeschwindigkeit über eine gewisse Strecke stark erhöht sein (Wasserfall; Bach-, Fluß- oder Stromschnellen).

#### 2.4.2. Arten von Strömungen

Man unterscheidet die laminare Strömung, bei der die einzelnen Stromfäden in Fließrichtung gestreckt und nicht zu Wirbeln geschlossen sind, von der turbulenten Strömung, bei der sich die Stromfäden zu Wirbeln verflechten. Ob eine Bewegung laminar oder turbulent ist, hängt ab vom Querschnitt des Gerinnes, der Fließgeschwindigkeit und der kinematischen Zähigkeit der strömenden Flüssigkeit. Wasser strömt aufgrund dieser Abhängigkeiten nur bei sehr geringer Fließgeschwindigkeit und sehr engem Gerinne laminar. Dies trifft für die frei fließende Welle niemals zu; sie strömt immer turbulent.

Laminare Strömungen treten in Fließgewässern allenfalls auf

- im Porenraum der wassergefüllten Flußsedimente, wo sehr geringe Fließgeschwindigkeiten herrschen,
- im Grenzbereich zwischen festen Substraten (z.B. Steinen) und fließendem Wasserkörper,
- vielleicht im Innern von Pflanzenpolstern.

Dort wo sich Gewässerboden und Wasserkörper berühren treten Schereffekte zwischen dem frei strömenden Wasser und dem festen Substrat auf. Sie führen zur Verwirbelung des Wassers und erzeugen damit eine turbulente Strömung.



### 2.4.3. Strömungsverhältnisse in Grenzbereichen

Unmittelbar über glatten, festen überströmten Flächen (z.B. Steinen) bildet sich infolge Reibung eine zunächst laminare Grenzschicht mit starker Geschwindigkeitsabnahme zum Substrat hin aus. Die Dicke dieser Grenzschicht ist wiederum von verschiedenen Faktoren abhängig, vor allem von der Fließgeschwindigkeit. Im Geschwindigkeitsbereich von 0,1 - 1 m/sec, der in Gebirgsbächen am häufigsten auftritt, beträgt die Dicke der strömungsarmen Schicht einige Millimeter.

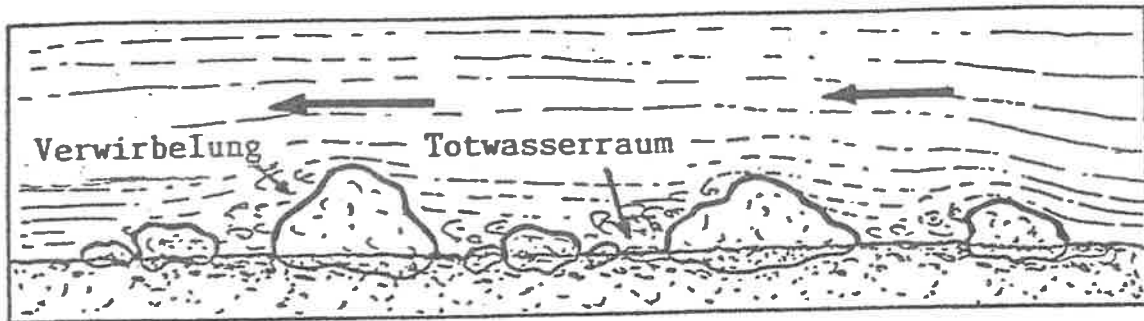


Abb.10: Wirbelbildung und Entstehung von Totwasserräumen im Bereich des Gewässerbodens (nach Niemeyer-Lüllwitz 1985)

Selbst in reißenden Gebirgsbächen entsteht daher am Gewässerboden eine strömungsarme Grenzschicht und hinter Hindernissen wie, z.B. Steinen oder Wurzeln, kommt das Wasser nahezu zum Stillstand. In diesem Tot-

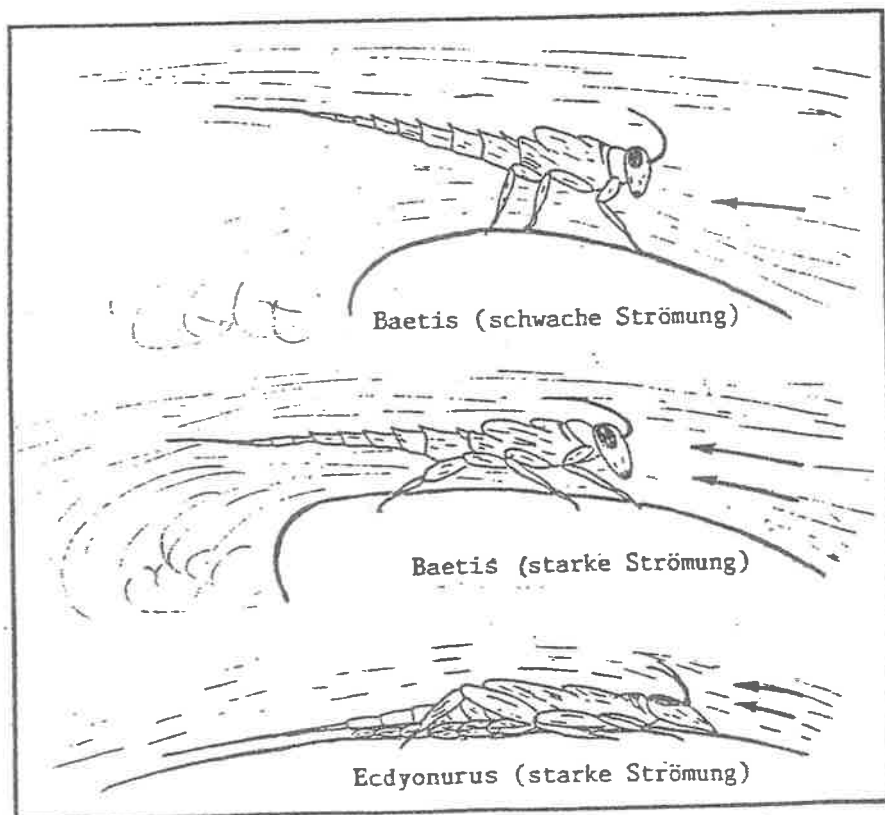


Abb.11: Verhalten von Eintagsfliegenlarven in verschiedenen starker Strömung (nach Schwoerbel 1980)

wasser finden die meisten Fließwasserbewohner Schutz vor der Strömung. Die vertikale Ausdehnung dieser biologisch wichtigen Zone hängt von der Rauigkeit der Stromsohle ab: je feinkörniger das Substrat ist, desto dünner ist auch diese Totwasserschicht. Somit verliert sie flußabwärts an Ausdehnung.

Diese strömungsarme Schicht wird von vielen Organismen als Lebensraum genutzt. Ihre Schulterhöhe liegt meist unter 4 mm, und die Tiere drücken sich um so mehr an die Unterlage, je größer die Fließgeschwindigkeit ist. Sie folgen damit der dünner werdenden Grenzsicht, die ein wichtiger Strömungsschutz für sie ist (Schwoerbel 1980).

## 2.5. Die morphologische Arbeit des Flusses: Erosion, Transport, Sedimentation

Die Bewegungsenergie des fließenden Wassers ermöglicht Aufnahme und Transport von Verwitterungsprodukten.

Nach Korngröße und Art der Fortbewegung unterscheidet man:

- Schwebstoffe, meist Ton- (unter 0,002 mm Durchmesser) oder Schluffteilchen (0,002 - 0,06 mm Durchmesser)
- Geschiebe aus Sand (0,06 - 2 mm Durchmesser), Kies (2 - 60 mm Durchmesser) und Steinen (über 60 mm Durchmesser)

Außerdem führen Flüsse in mehr oder weniger großer Menge (abhängig von geologischem Untergrund und Klima) gelöstes Material mit sich.

Der Transport des verwitterten Materials wird wesentlich von der Bewegungsform des Wassers bestimmt, die wiederum von seiner Fließgeschwindigkeit abhängt. Langsame Fließgeschwindigkeit mit nahezu parallel verlaufenden Stromfäden ermöglicht nur den Transport gelöster und schwebender Substanzen, sowie von Feinsand, der über den Gewässergrund gerollt wird. Bei turbulenten Wasserbewegungen (etwa ab 0,1 m/s) wird auch gröberes Material verfrachtet.

Durch physikalische und chemische Einflüsse wird das mitgeführte Material auf seinem Weg zu Tal ständig weiter zerlegt.

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Zusammenhänge zwischen Fließgeschwindigkeiten und Korngrößen. Im schlammführenden Wasser ist die Schleppkraft des Wassers durch Schwebstoffe verringert. Dies wird damit erklärt, daß Schwebstoffe aufgrund vergrößerter Zähigkeit zur Sohle hin einen stärkeren Abfall der Fließgeschwindigkeit bewirken (NIEMEYER- LÜLLWITZ/ZUCCHI 1985).

Als Formen der Erosion unterscheidet man:

- Tiefenerosion - Seitenerosion - Rückschreitende Erosion

Transport. Der Transport vermittelt zwischen den beiden anderen fluvialen Vorgängen, zwischen Erosion (Abtragung) und Sedimentation (Ablagerung, Akkumulation).

Je nach Fließgeschwindigkeit kann ein Fluß nicht nur Lockermaterial erodieren, sondern auch felsigen Untergrund lockern und Teile heraus-schlagen. Dabei benutzt er das mitgeführte Geschiebe als Werkzeug und Schleifmaterial.

Korngröße: Durchmesser in mm	Grenzgeschwindigkeit in m/s	
	klares Wasser	schlammführendes Wasser
Sand 1,7 mm	0,35	0,45
Feiner Kies 4- 8 mm	0,60-0,70	0,70-0,90
Grober Kies 16-25 mm	1,30-1,80	1,40-2,00

Tab.: Grenzgeschwindigkeiten für den Beginn der Geschiebebewegungen (nach MANGELSDORF/SCHEURMANN 1980)

Sedimentation. Wird das mitgeschleppte Material abgelagert, entstehen die Alluvionen. In Sohlentälern bedecken sie den Talboden und bilden die Talaue. Zu ihr werden alle Flächen gerechnet, die von Überflutungen (auch von den seltenen 'Katastrophenhochwässern') erreicht werden. Aue und Alluvionen sind lebensnotwendige Bestandteile des Flußsystems. Durch weites Ausuferen können Hochwasserschübe abgefangen und die Fließgeschwindigkeit gebremst werden. Damit wird einerseits verstärkte Erosion verhindert, andererseits verliert der Fluß an Transportkraft und lagert

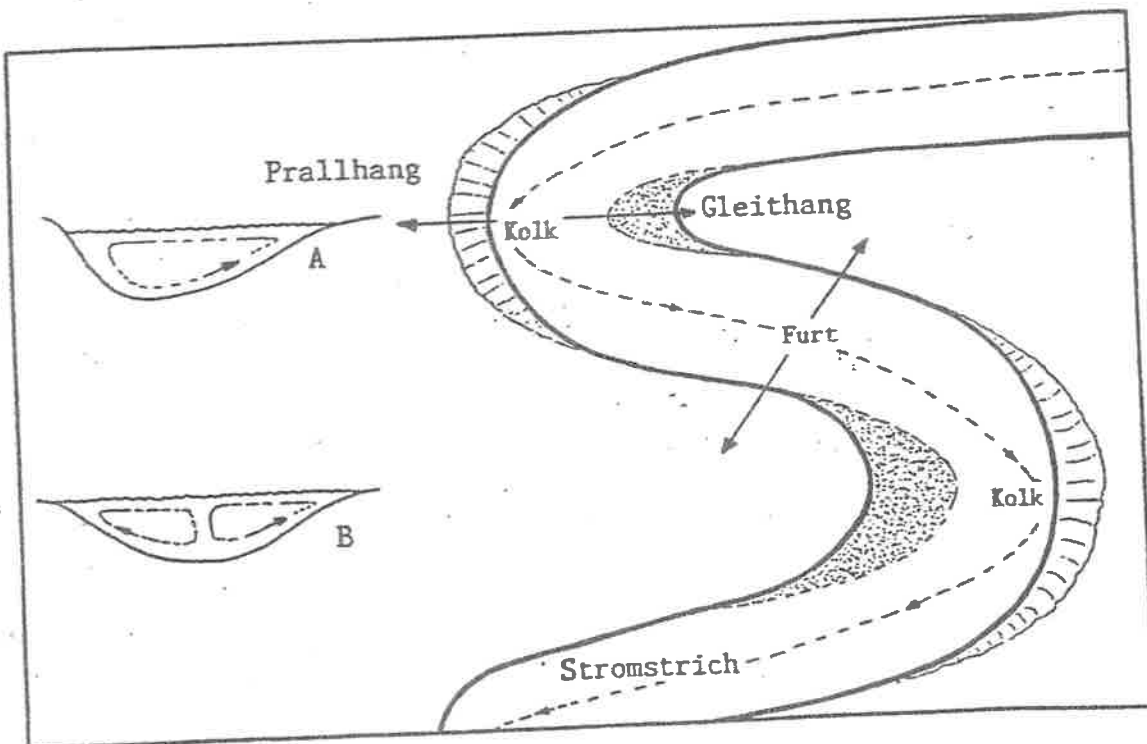


Abb. 12: Strömungsverhältnisse in einem mäandrierenden Fluß mit den davon abhängigen morphologischen Vorgängen (nach Niensyer-Lüllwitz 1985 und Brehm 1982)

in der Aue immer neue Sedimentschichten ab. Im Verlaufe der Erdgeschichte haben sich auf diese Weise in den Flußauen der geologischen Senkungsgebiete mächtige alluviale Schichten gebildet aus Auekies, Auesand und Auelehm, wobei die oberste Schicht meist aus Auelehm besteht.

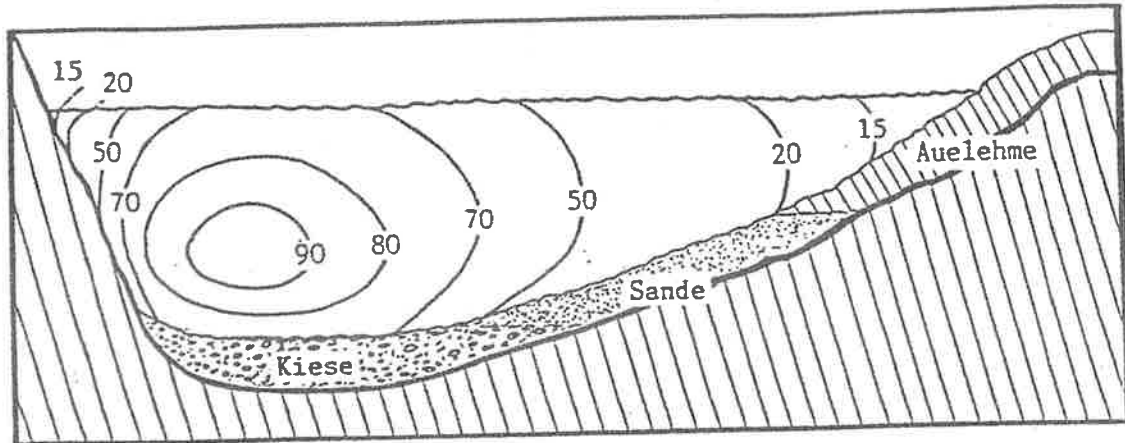


Abb.13: Fließgeschwindigkeiten in einem asymmetrischen Flußbett und damit zusammenhängende Sedimentationsvorgänge (Fließgeschwindigkeit in m/s). (nach Niemeyer-Lüllwitz 1995)

Erosion und Sedimentation können in unmittelbarer räumlicher Nähe auftreten. Besonders deutlich wird dies in Flußbiegungen, in denen sich der Stromstrich gegen eine Außenseite des Flußbettes hin verlagert. Es entstehen dadurch asymmetrische Flußbetten bzw. Flußtäler mit Prallhang und Gleithang. Den engen Zusammenhang zwischen Erosion/Sedimentation und Fließgeschwindigkeit zeigt die folgende Abbildung.

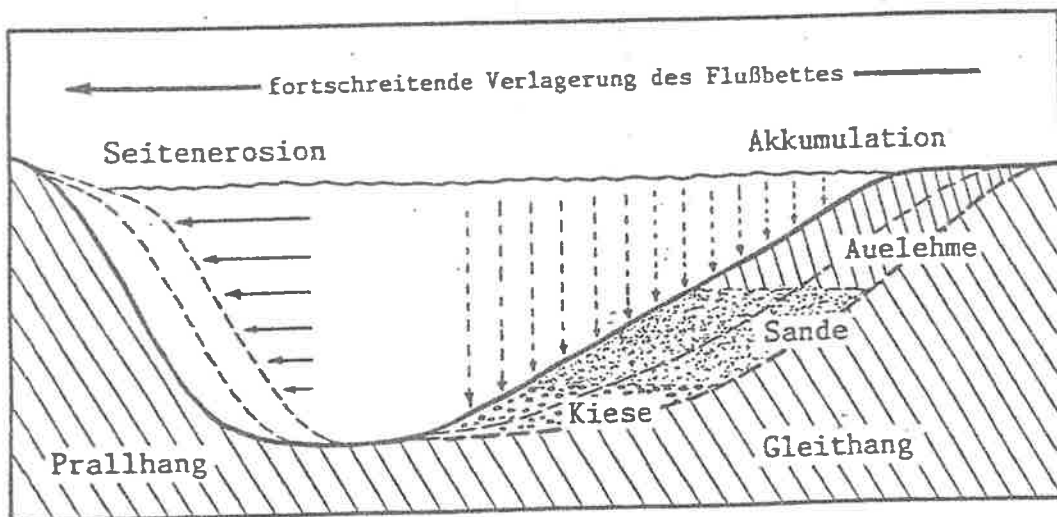


Abb.14: Verlagerung des Flußbettes im Mäanderbogen. Zusammentreffen von Erosion und Akkumulation auf engstem Raum (nach Niemeyer-Lüllwitz 1995)

## 2.6. Die Wassertemperatur

### 2.6.1. Wärmehaushalt und Wassertemperatur

Alle Stoffwechselfvorgänge und damit auch Dauer, Verlauf und Geschwindigkeit des Wachstums werden von der Temperatur beeinflusst (RGT-Regel!). Daher gehört sie auch in Gewässern zu den wichtigsten Regulatoren von Lebensvorgängen und ist mitbestimmend für die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. Bedingt durch die hohe Wärmekapazität des Wassers, ist der Temperaturgang in Gewässern ausgeglichener als in der freien Luft. Kurzfristige Temperaturschwankungen treten im Gewässer nicht so schnell auf, und die Unterschiede zwischen Tag- und Nachttemperatur sind relativ gering. Plötzliche Kälteeinbrüche wirken sich nur zögernd auf den limnischen Bereich aus. Bei langfristigen Schwankungen hinkt die Wassertemperatur der Lufttemperatur nach. Wegen dieser Dämpfung des Temperaturverlaufs, müssen sich Bewohner des Wassers nicht so rasch wie Landorganismen auf Änderungen im Wärmehaushalt einstellen. Sie sind daher aber auch häufig diesen gegenüber deutlich empfindlicher als Landbewohner.

Bestimmt wird der Wärmehaushalt der Fließgewässer im wesentlichen von folgenden Faktoren:

- Lichteinstrahlung
- Wärmeabstrahlung
- Verdunstung
- Wärmeaustausch mit Luft, Gewässerbett und Zuläufen
- Turbulenz im Gewässer (kann auch durch Wind hervorgerufen werden)
- Gewässerbaumaßnahmen (z.B. Aufstauungen, Begradigungen)
- Abholzung der Uferwälder und damit erhöhte Lichteinstrahlung
- anthropogene Belastung mit 'Abwärme'
- Erdwärme (v.a. bei Quellen)

In den Fließgewässern ändert sich die Wassertemperatur normalerweise jahres- und tagesperiodisch. Dabei gibt es auch in naturnahen Gewässern deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Abschnitten.

### 2.6.2. Die Temperatur von Quellwasser

Die geringsten Temperaturamplituden im Jahresverlauf treten im Vergleich aller Flußabschnitte in Quellen auf. Dies trifft besonders dann zu, wenn deren Wasser aus größerer Tiefe aufsteigt. Während in den obersten Bodenschichten, abhängig von der Bodenbedeckung, die Temperaturschwankungen noch relativ groß sind, verlieren sie sich ab einer Tiefe von ca. 15-20 m vollkommen (isotherme Zone).

Im Jahresgang erreichen Quellen ihre tiefste Temperatur im Frühjahr, die höchsten Werte treten häufig im Frühherbst auf.

Die tagesperiodischen Schwankungen folgen etwa dem Tagesgang der Lufttemperatur, d.h. Höchstwert am Nachmittag, Tiefstwert am frühen Morgen. Bedingt durch die Erdwärme, übertrifft die mittlere Jahrestemperatur meist etwas die des umgebenden Bodens und der bodennahen Luftschicht. Je tiefer das Wasser jedoch aus der Erde aufsteigt, um so höher ist seine Temperatur (geothermische Tiefenstufe: im Mittel  $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ). Aufgrund dieser Abhängigkeiten ist das Quellwasser im Sommer kühl und selbst in strengen Wintern frieren Quellen (außer vielleicht Sickerquellen) nicht zu.

### 2.6.3. Die Wassertemperatur der weiteren Flußabschnitte

Von den Quellaustritten an ist das oberirdisch abfließende Wasser der Bäche und Flüsse unmittelbar den atmosphärischen Bedingungen unterworfen. Je unregelmäßiger die Gestalt des Flußbettes ist, um so mehr Turbulenzen treten in der Strömung auf. Die innige Berührung mit der Luft bedingt einen intensiven Wärmeaustausch, d.h. Wärmeabgabe und -aufnahme.

In Waldgewässern bzw. beschatteten Gewässern, wo der Wärmeaustausch mit der umgebenden Luft andere Faktoren überwiegt, nimmt er bei gleichem Temperaturunterschied und gleichem Abfluß mit der Gewässerbreite, mit der Wasser- und Luftturbulenz und mit der Kontakt- oder Fließdauer zu.

Neben dem Wärmeaustausch mit der Luft und natürlich auch mit dem Boden, spielt die direkte Sonneneinstrahlung für die Wassertemperatur eine wesentliche Rolle. Während der langwellige Anteil an der Sonnenstrahlung unmittelbar zur Aufwärmung führt, kann das eingestrahlte kurzwellige Licht im Wasser bzw. bei flacheren Gewässern am Gewässergrund in Wärme umgewandelt werden.

Ursprünglich wurden unsere Fließgewässer von Wald oder zumindest von dichten Gehölzstreifen gesäumt. Da die meisten von ihnen heute jedoch ihrer natürlichen Gehölzsäume beraubt sind, erwärmen sie sich unnatürlich stark.

Zur Unterscheidung von Zonen bzw. ganzen Gewässern mit unterschiedlichem Temperaturgang werden die Begriffe "sommerkalt" und "sommerwarm" verwendet. In sommerkalten (beschatteten) Gewässerbereichen schwankt die Temperatur im Jahresverlauf i.d.R. weniger; die Jahresmittel liegen bei  $7 - 10^{\circ}\text{C}$ , und im Sommer werden Werte bis ca.  $16^{\circ}\text{C}$  erreicht.

Umgekehrt ist es bei sommerwarmen Gewässern. Ihre Temperatur unterliegt starken Schwankungen. Im Winter kann sie nahe an den Gefrierpunkt und im Sommer an  $25^{\circ}\text{C}$  heranreichen.

Fließgewässer nehmen aber nicht nur Strahlung auf, sie strahlen auch Wärme an die Umgebung ab und beeinflussen damit das Mikroklima in ihrer Nähe.

In den Gewässern schwächen sich also die Temperaturextreme ab. Die Wassertemperatur ist unter sonst übereinstimmenden Bedingungen um so ausgeglichener, je größer die Wasserführung ist. Andererseits gleicht sich

die Wassertemperatur um so mehr der Lufttemperatur an, je länger das Wasser mit der Luft in Berührung kommt.

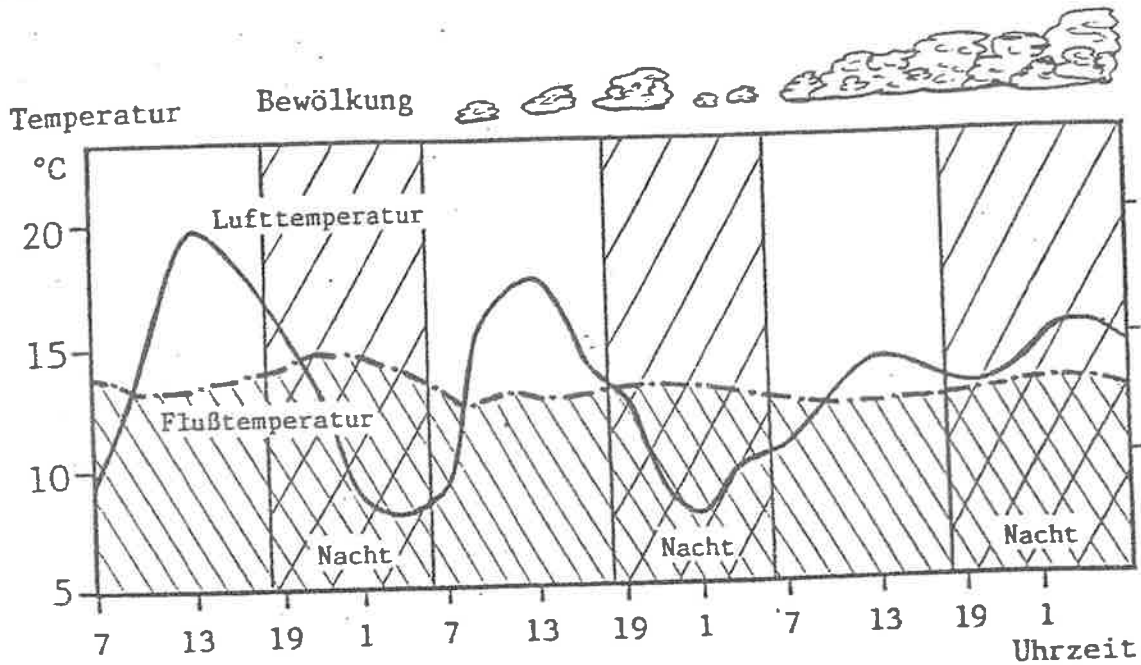


Abb.15: Tageszyklen von Wasser- und Lufttemperatur (nach Brehm 1982)

Daraus ergibt sich die Temperaturamplitude im typischen Fließgewässerlängsschnitt:

- die tägliche Temperaturamplitude nimmt mit wachsender Quellentfernung zunächst zu, dann jedoch bereits im Oberlauf bald wieder ab.
- die jährliche Temperaturamplitude vergrößert sich von der Quelle bis zur Mündung (siehe folgende Abbildung)

Flußtemperatur

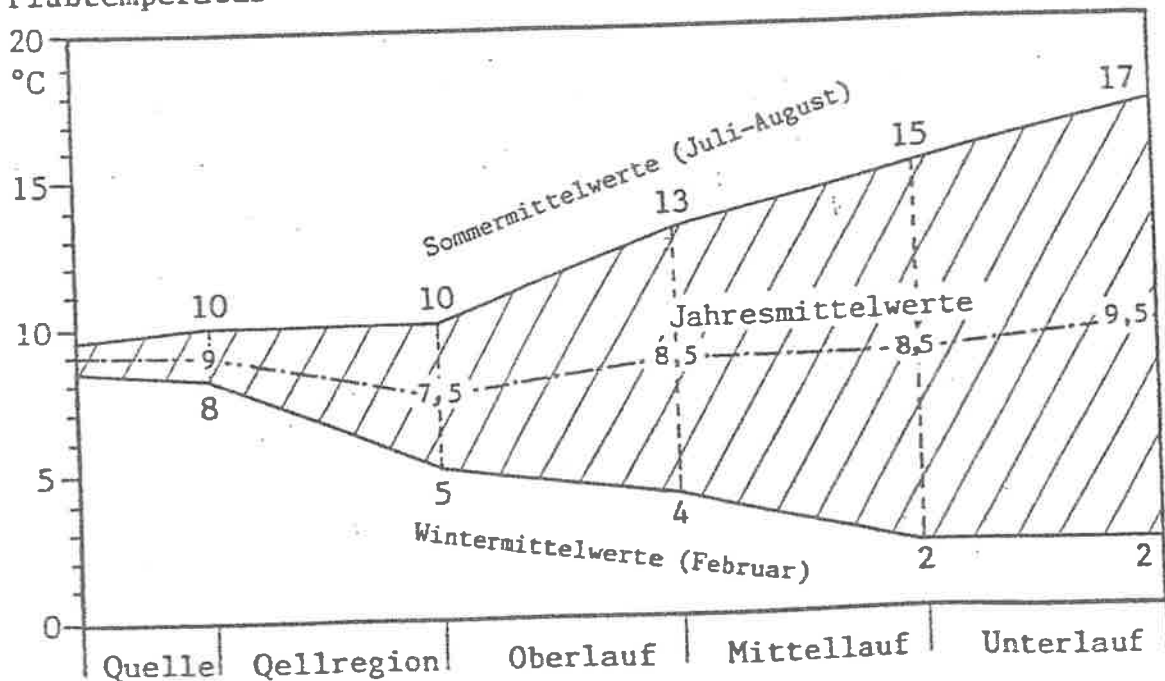


Abb.16: Jährliche Temperaturamplitude und Jahresmittelwerte in den verschiedenen Flußabschnitten (nach Miegel 1981)

Da die Quelltemperaturen durch den Einfluß der Erdwärme etwas erhöht sind, nimmt die mittlere Jahrestemperatur durch Wärmeabgabe an die Umgebung im allgemeinen im Gewässerlängsschnitt zunächst einmal leicht ab. Sie erreicht den Tiefstpunkt noch innerhalb des Oberlaufes und steigt dann bis zur Mündung langsam wieder an.

Über den Flußquerschnitt ist die Temperatur des Wassers bei flacheren und lebhaft strömenden Gewässern in allen Bereichen etwa gleich. Tieferer oder sogar stehende Gewässerbereiche (Aufstauungen) gleichen in ihren Temperaturverhältnissen eher Teichen oder Seen mit ihrer typischen vertikalen Temperaturschichtung.

## 2.7. Strahlung und Licht

### 2.7.1. Die Lichtmenge

Die Intensität und Qualität des Lichtangebotes im Bereich eines Fließgewässers wird bestimmt durch die Globalstrahlung. Sie setzt sich zusammen aus direkter Sonneneinstrahlung und diffusem Himmelslicht. Wieviel Licht letztendlich zum Wasserkörper selbst gelangt, hängt von seiner Ausdehnung und der Dichte des Uferbewuchses ab. Durch Beschattung können kleineren Fließgewässern bis zu 95 % des eingestrahnten Lichts verlorengehen.

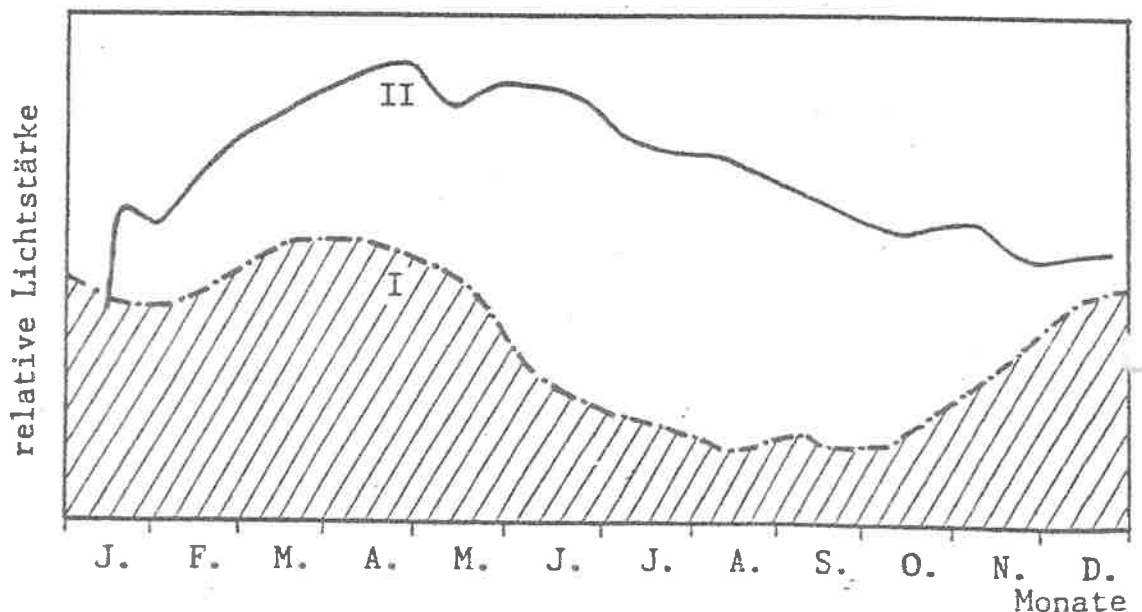


Abb.17: Lichtstärke an der Oberfläche eines sehr stark (I) und eines weniger stark beschatteten (II) Waldbachabschnittes (nach Brehm 1982)

Lichtstrahlen, die auf die Wasseroberfläche auftreffen, werden je nach Einfallswinkel vom Wasserspiegel der Gewässer unterschiedlich stark reflektiert oder diffus zurückgestreut. In Mitteleuropa beträgt dieser Anteil bei mittäglichem Sonnenhöchststand im Sommer ca. 2,5% und im Winter



ca. 14% der eingestrahnten Lichtmenge in allen Wellenbereichen. Das in den Wasserkörper eindringende Licht wird sowohl vom Wasser und seinen Inhaltsstoffen (einschließlich den Organismen) als auch vom Gewässergrund absorbiert und in Wärme umgewandelt. Ein Teil der Energie wird von photoautotrophen Lebewesen in chemische Energie umgewandelt. Die Eindringtiefe der Strahlung wird einerseits erhöht durch die Brechung des Lichtes an der Oberfläche, andererseits aber verringert durch die Reflexion an größeren Teilchen und die Streuung und Beugung an kleineren Partikeln.

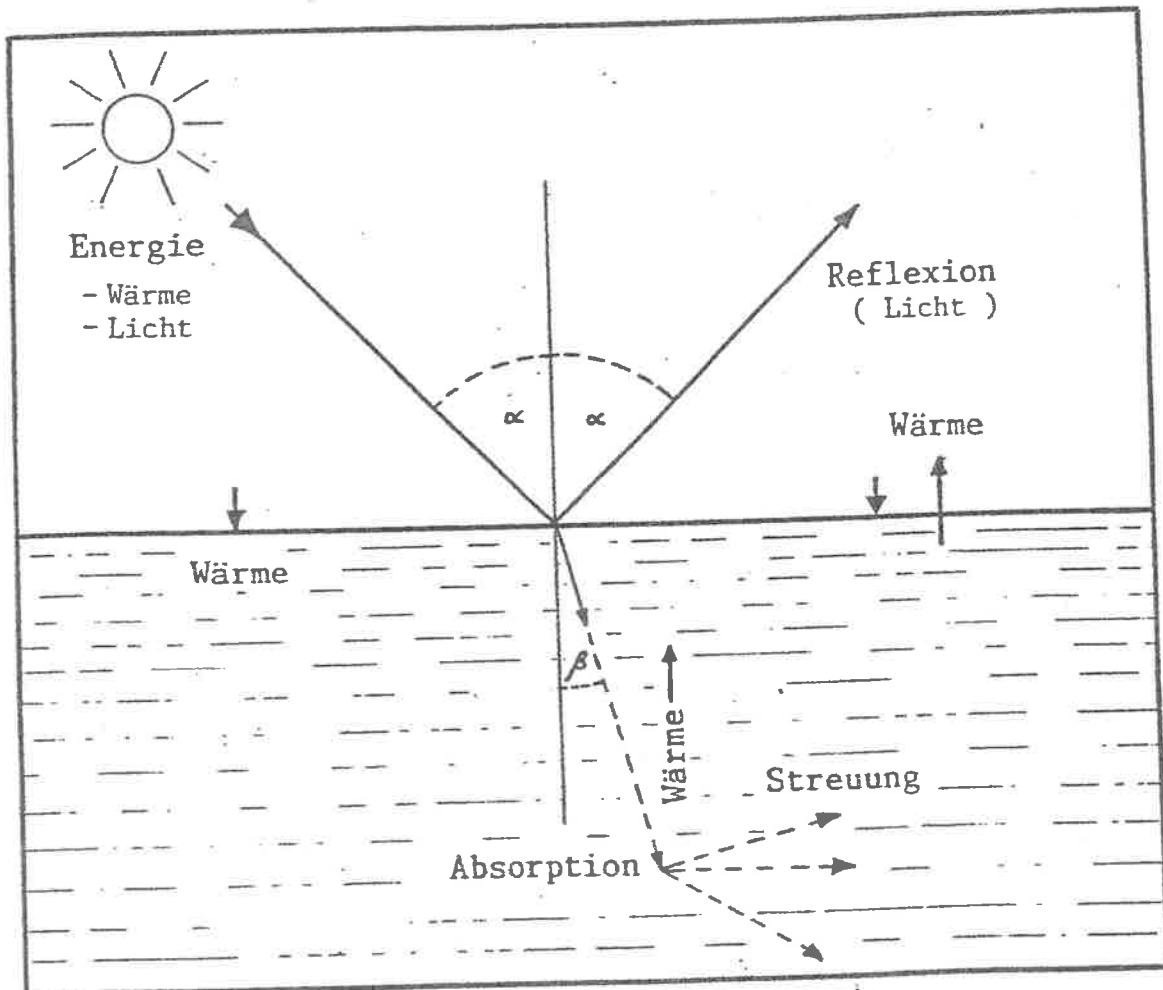


Abb.18: Sonneneinstrahlung auf die Wasseroberfläche, ihre Veränderung an der Grenze Luft-Wasser und im Wasserkörper (nach Klee 1985)

### 2.7.2. Absorption im Wasser

Da die Lichtdurchlässigkeit von Wasser mit der Tiefe exponentiell abnimmt, geht das meiste Licht schon in den obersten Wasserschichten verloren. Beim Durchdringen von Wasserschichten unterliegen die verschiedenen Spektralbereiche des Lichtes einer Selektion. Reines Wasser absorbiert UV- und IR- Strahlung besonders stark. Am tiefsten dringt der Blauanteil ein (blaue Farbe sauberen Wassers). Gelöste organische Stoffe

fe und Wasserpflanzendecken verschieben das Durchlässigkeitsmaximum zum grünen Licht. Die Anwesenheit von Trübstoffen verschiebt es mehr zum Rotbereich.

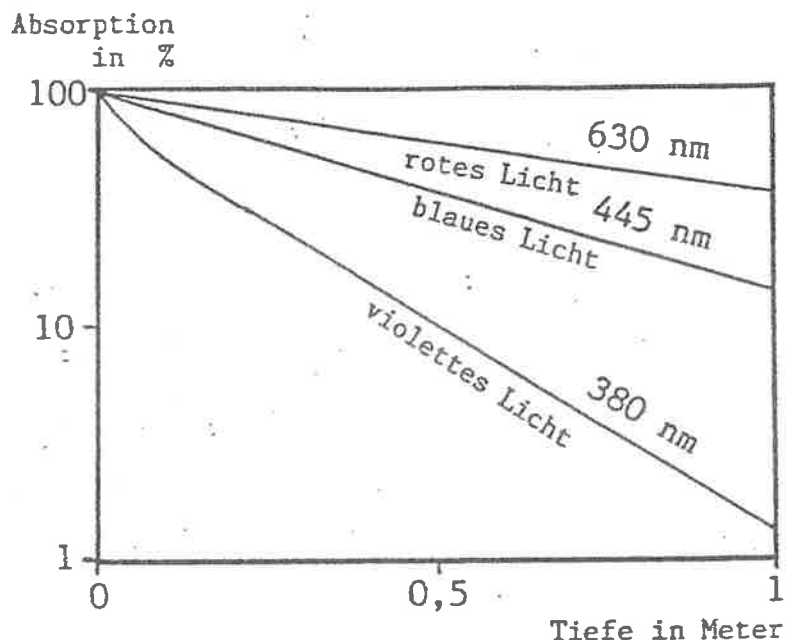


Abb.19: Absorption verschiedener Wellenbereiche des Lichtes durch Flußwasser (River Frome, England) (nach Brehm 1982)

### 2.7.3. Bedeutung für die Wasserorganismen

Die Sonneneinstrahlung ist nicht nur die bei weitem wichtigste natürliche Wärmequelle, sie spielt auch eine zentrale Rolle als Energiequelle für die Assimilation durch die photoautotrophen Pflanzen. Diese sind zum Teil an verschiedene Spektralbereiche angepaßt bzw. als Licht-, Halbschatten- oder Schattenpflanzen in der Lage, unterschiedliche Lichtmengenangebote optimal zu nutzen.

Das Existenzminimum für Wasserpflanzen liegt etwa bei 400 Lux (Kompensationspunkt). Unterhalb dieser Beleuchtungsstärke können festsitzende Pflanzen nicht mehr existieren; darüber ist die Lichtmenge groß genug, um eine Nettoproduktion organischer Substanz zu ermöglichen. Das Licht ist also nicht nur im tieferen Wasser begrenzender Faktor (Minimumfaktor), sondern auch an der Oberfläche dort, wo das Gewässer beschattet ist. Im Gewässerbereich bestehen daher Kompensationszonen. Sie entsprechen den Grenzschichten (im Wasser) oder -bereichen (an der Oberfläche), in denen die Beleuchtungsstärke um 400 Lux liegt.

Dichtbeschattete Waldbäche sind daher frei von Blütenpflanzen. Es gedeihen allenfalls Moose mit einem sehr geringen Lichtbedarf. Bei Entwaldung ändert sich das Bild grundlegend, wie Wiesenbäche mit ihrer Röhricht- und Wasservegetation beweisen.

Die regelmäßigen Helligkeitsschwankungen des Sonnenlichtes im Tages- oder Jahreszyklus dienen den Organismen aber auch als Zeitgeber für verschiedene Aktivitäten. Auf diese Weise werden durch einen Umweltfaktor die endogenen "circadianen" und "circannualen" Aktivitätsrhythmen bei den Individuen einer Organismenart synchronisiert. Beispielsweise folgt das Schlüpfen vieler Wasserinsekten einem tageslängenabhängigen Jahresrhythmus. Dies wiederum spielt eine besondere Rolle für das jahreszyklische Fortpflanzungsgeschehen.

## 2.8. Der Sauerstoffhaushalt von Fließgewässern

### 2.8.1. Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser

Sauerstoff bildet bei normalen Temperaturen ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. In der Luft ist er mit 20,95 Volumenprozent und 23,1 Gewichtsprozent enthalten. Im Gasaustausch mit der Atmosphäre lösen sich bei einem Luftdruck von 1013 mbar bei 0 °C 14,2 mg, bei 10 °C 10,9 mg und bei 20 °C noch 8,8 mg im Liter Wasser.

t °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	mg O <sub>2</sub> /l									
0	14,16	14,12	14,08	14,04	14,00	13,97	13,93	13,89	13,85	13,81
1	13,77	13,74	13,70	13,66	13,63	13,59	13,55	13,51	13,48	13,44
2	13,40	13,37	13,33	13,30	13,26	13,22	13,19	13,15	13,12	13,08
3	13,05	13,01	12,98	12,94	12,91	12,87	12,84	12,81	12,77	12,74
4	12,70	12,67	12,64	12,60	12,57	12,54	12,51	12,47	12,44	12,41
5	12,37	12,34	12,31	12,28	12,25	12,22	12,18	12,15	12,12	12,09
6	12,06	12,03	12,00	11,97	11,94	11,91	11,88	11,85	11,82	11,79
7	11,76	11,73	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58	11,55	11,52	11,50
8	11,47	11,44	11,41	11,38	11,36	11,33	11,30	11,27	11,25	11,22
9	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03	11,00	10,98	10,95
10	10,92	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77	10,75	10,72	10,70
11	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,53	10,50	10,48	10,45
12	10,43	10,40	10,38	10,36	10,34	10,31	10,29	10,27	10,24	10,22
13	10,20	10,17	10,15	10,13	10,11	10,09	10,06	10,04	10,02	10,00
14	9,98	9,95	9,93	9,91	9,89	9,87	9,85	9,83	9,81	9,78
15	9,76	9,74	9,72	9,70	9,68	9,66	9,64	9,62	9,60	9,58
16	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,45	9,43	9,41	9,39
17	9,37	9,35	9,33	9,31	9,30	9,28	9,26	9,24	9,22	9,20
18	9,18	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04	9,03
19	9,01	8,99	8,98	8,96	8,94	8,93	8,91	8,89	8,88	8,86
20	8,84	8,83	8,81	8,79	8,78	8,76	8,75	8,73	8,71	8,70
21	8,68	8,67	8,65	8,64	8,62	8,61	8,59	8,58	8,56	8,55
22	8,53	8,52	8,50	8,49	8,47	8,46	8,44	8,43	8,41	8,40
23	8,38	8,37	8,36	8,34	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,26
24	8,25	8,23	8,22	8,21	8,19	8,18	8,17	8,15	8,14	8,13
25	8,11	8,10	8,09	8,07	8,06	8,05	8,04	8,02	8,01	8,00
26	7,99	7,97	7,96	7,95	7,94	7,92	7,91	7,90	7,89	7,88
27	7,86	7,85	7,84	7,83	7,82	7,81	7,79	7,78	7,77	7,76
28	7,75	7,74	7,72	7,71	7,70	7,69	7,68	7,67	7,66	7,65
29	7,64	7,62	7,61	7,60	7,59	7,58	7,57	7,56	7,55	7,54
30	7,53	7,52	7,51	7,50	7,48	7,47	7,46	7,45	7,44	7,43

Tab.: Die Löslichkeit des Sauerstoffs in Abhängigkeit von der Temperatur in Wasser bei 1013 mbar

Neben seiner Bedeutung für die tierlichen Organismen ist ein ausreichender Sauerstoffgehalt des Wassers auch Voraussetzung für die Lebenstätigkeit der Bakterien. Sie sind u.a. verantwortlich für die Mineralisierung. Dazu zählen z.B. die Nitrifikation (d.h. Umwandlung von Ammonium zu Nitrit- und weiter zu Nitrationen), für die Sulfurifikation (d.h. Oxidation von Sulfid- zu Sulfationen) und für die Überführung von mehrwertigen Schwermetallionen in die höheren Oxidationstufen (z.B. Eisen(II)- in Eisen(III)- Ionen).

### 2.8.2. Einflüsse auf die Sauerstoffbilanz eines Gewässers

Die Sauerstoffbilanz im Gewässer besteht aus:

- Zufuhr von Sauerstoff aus der Atmosphäre und über die Photosynthese
- Verlust von Sauerstoff an die Atmosphäre und durch Atmung

Dementsprechend ist der Sauerstoffgehalt eines Gewässers um so geringer, je weniger Sauerstoff durch die Oberfläche und die Photosyntheseaktivität eingetragen wird und je größer der Verbrauch durch den Stoffwechsel der heterotrophen Organismen (Konsumenten und Destruenten) ist.

Turbulent strömende Fließgewässer mit rascher Wasserbewegung und geringer Wassertiefe haben daher eine günstigere Sauerstoffbilanz als stehende Gewässer. Auch im Längs- bzw. Querprofil eines einzelnen Fließgewässers haben die Abschnitte mit größeren Turbulenzen und heftiger Durchmischung (häufig der Oberlauf) bessere Sauerstoffverhältnisse als langsam fließende (v.a. Unterlauf) oder gar stehende Abschnitte. Sauerstoffverluste und -überschüsse können so durch den intensiven Kontakt mit der Luft über Diffusion ausgeglichen werden.

Der Sauerstoffverbrauch wird entscheidend beeinflusst durch die Menge abbaubaren organischen Materials, das in Flüssen mit der fließenden Welle transportiert und in Stillwasserbereichen (d.h. auch im überströmten Sediment) abgelagert werden kann. Der Abbau dieser Substanzen v.a. durch Organismen führt zur Sauerstoffzehrung. Deren Umfang hängt jedoch nicht nur von der Menge dieser Stoffe ab, sondern auch von der Intensität der Stoffwechselleistungen der abbauenden Organismen. Diese wiederum ist von der Temperatur abhängig (RGT-Regel).

In verschmutzten Fließgewässern oder Fließgewässerabschnitten (v.a. in unbeschatteten Bereichen) schwanken daher die Sauerstoffwerte im Laufe des Jahres, teilweise auch tagesperiodisch, außerordentlich. Kommt noch dichter Pflanzenbewuchs dazu, treten dort zeitweilig nicht nur erhebliche Sauerstoffdefizite, sondern auch auffällige Sauerstoffübersättigungen auf. In Stillwasserzonen ansonsten sauberer Flüsse kann der Sauerstoff, ähnlich wie im Tiefenwasser von Talsperren, vorübergehend gänzlich schwinden.

### 2.8.3. Tages- und Jahrgang des Sauerstoffgehaltes von Fließgewässern

Die Sauerstoffkonzentrationen pendeln im Jahrgang in sauberen Gewässern meist zwischen 8 und 14 mg/l. Im Winter und Frühjahr werden die höheren und im Sommer und Herbst die tieferen Werte gemessen. Sauerstoffuntersättigungen und -übersättigungen sind meist gering. Nur in laubholzgesäumten Bächen können im Herbst größere Defizite auftreten. Außer diesem Jahreszyklus gibt es auch eine tageszyklische Änderung der Sauerstoffwerte. Diese ist besonders ausgeprägt in Bereichen mit dichtem Pflanzenbewuchs.

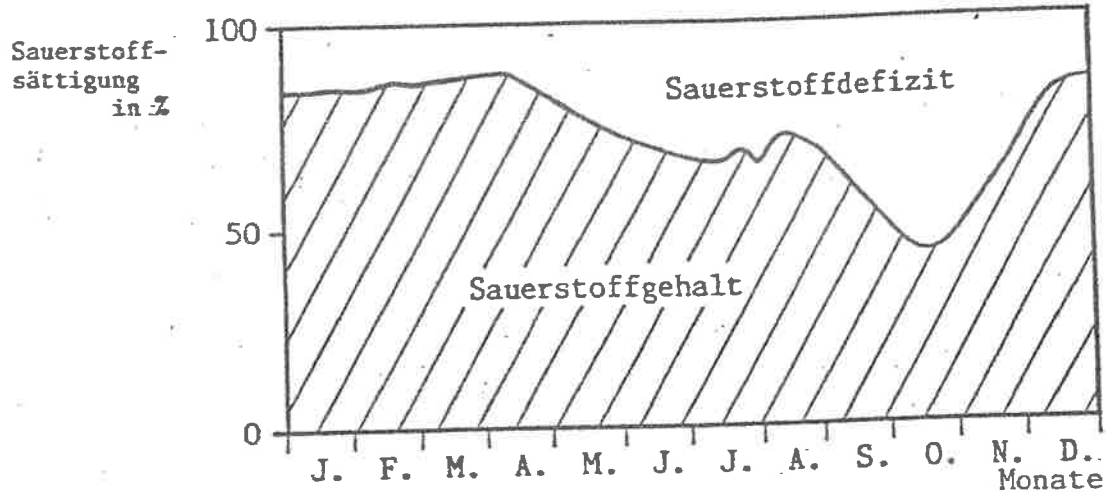


Abb.20: Jahresverlauf (Mittelwert der Jahre 1975-79) der Sauerstoffsättigung eines Flusses (Fulda im Schlitzerland) (nach Brehm 1982)

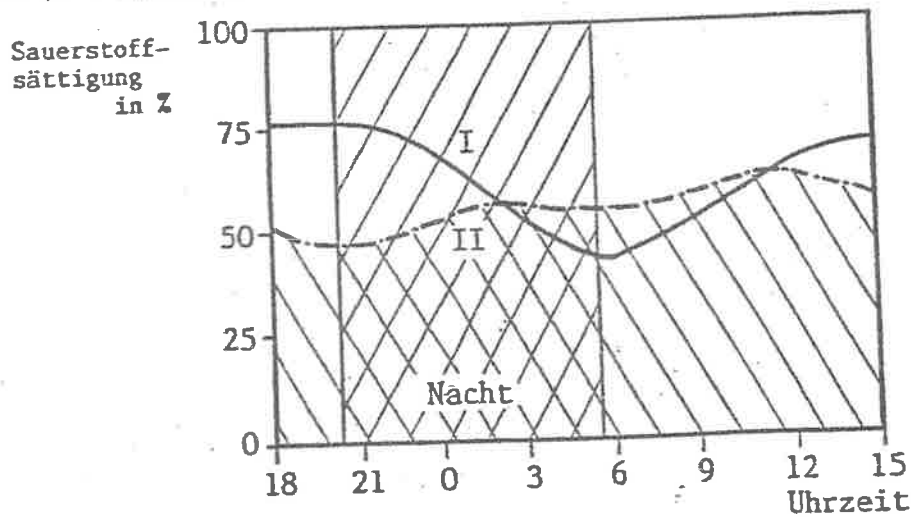


Abb.21: Tagesperiodische Schwankung der Sauerstoffsättigung eines Flusses (Schlitz in Osthessen) I: Verhältnisse unterhalb einer nur teilweise beschatteten, sonst wasserpflanzenreichen Gewässerstrecke (kritisch belastet mit häuslichen Abwässern) II: Verhältnisse unterhalb einer stark beschatteten, sonst wasserpflanzenfreien Strecke (kritisch belastet) (nach Brehm 1982)

In den Quellaustritten schwanken die Sauerstoffkonzentrationen im Laufe des Jahres nur wenig, im Tag-Nacht-Wechsel gar nicht. Selbst in sauberen Quellen ist immer ein Sauerstoffdefizit festzustellen. In Sumpfquellen kann gelöster molekularer Sauerstoff sogar ganz fehlen.

Aufgrund der geschilderten Verhältnisse eignet sich die Sauerstoffsättigung sehr gut als Indikator für den aktuellen Stoffumsatz in einem Fließgewässer. Nach ihrer Sauerstoffsättigung lassen sich daher vier Fließgewässertypen unterscheiden:

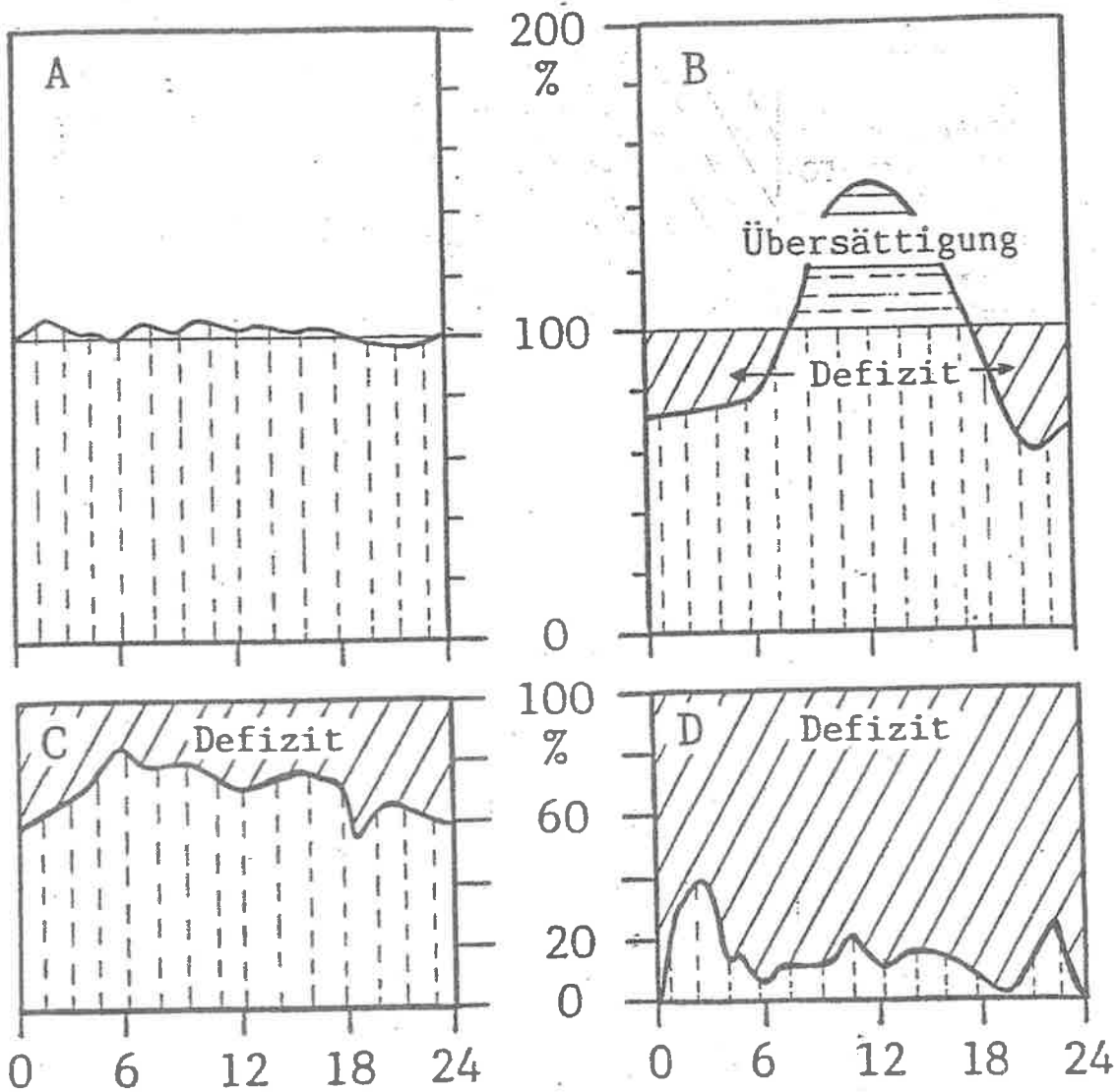


Abb.22: Fließgewässertypen nach dem Tagesgang der Sauerstoffsättigung  
(nach Brehm 1982)

Typ A: Fließgewässer ohne oder mit sehr geringer Bioaktivität (nährstoff- und organismenarm). Der Tagesgang der Sauerstoffkurve ist nur von der Temperatur abhängig und liegt nahe bei 100 %.

Typ B: Fließgewässer mit rel. hohem Nährstoffgehalt und daher organismenreich; nicht oder wenig mit organischen Stoffen belastet.

- Bestimmende Faktoren für den Verlauf der Sauerstoffkurve sind:
- Sauerstoffüberschuß bis zur deutlichen Übersättigung durch die Photosyntheseaktivität am Tage
  - Sauerstoffdefizit durch fehlende Photosynthese und die weiter ablaufenden Dissimilationsprozesse in der Nacht

Typ C: Stärker belastete Fließgewässer. Das während der Dunkelzeit auftretende Sauerstoffdefizit wird am Tage durch biogene Sauerstoffproduktion nahezu ausgeglichen.

Typ D: Organisch hoch belastete Fließgewässer. Der Tagesgang des Sauerstoffgehalts wird durch das vollständige Zurücktreten der photoautotrophen gegenüber der heterotrophen Bioaktivität bedingt; daher besteht ein ständig großes Sauerstoffdefizit.

Aufgrund ihrer Selbstreinigungskraft können in Fließgewässern Abschnitte in der Reihenfolge: Typ D - Typ C - Typ B aufeinander folgen.

## 2.9. Der pH-Wert

### 2.9.1. Die Dissoziation des Wassers

Aufgrund ihrer Dipolnatur ziehen sich Wassermoleküle gegenseitig stark an, und es kann zu einem Übertritt von Protonen kommen. Dabei entstehen einfach positiv geladene Oxonium-Ionen,  $H_3O^+$ , und einfach negativ geladene Hydroxyd-Ionen,  $OH^-$ :



Zwischen Hin- und Rückreaktion stellt sich ein Gleichgewicht ein.

Obwohl bei der Aufspaltung nie freie Protonen  $H^+$  in Lösung gehen, sondern nur Oxonium-Ionen entstehen, wird häufig vereinfachend von Protonen gesprochen.

Die Dissoziation des Wassers ist gering. Sie erfaßt bei 25 °C im Durchschnitt nur den 1/10 000 000 Teil ( $= 1 \times 10^{-7}$ ) der Molekülzahl des Wassers. In reinem Wasser sind die Konzentrationen an Oxoniumionen und an Hydroxidionen gleich, sodaß reines Wasser neutral reagiert. Durch Hinzufügen von Oxonium- oder Hydroxydionen kann man ihre Mengenverhältnisse ändern. Bei saurer Reaktion überwiegt die Menge der Oxoniumionen, bei alkalischer Reaktion die der Hydroxydionen. Ihr Produkt ist jedoch bei einer bestimmten Temperatur stets konstant.

International wurde daher vereinbart, sich bei der Angabe der Ionenreaktion einer Lösung auf die Konzentration der Oxoniumionen zu beziehen und zur Vereinfachung nur den negativen Exponenten anzugeben. Man spricht vom pH-Wert (pondus hydrogenii) und versteht darunter den nega-

tiven Zehnerlogarithmus des Zahlenwertes der in mol/l ausgedrückten Oxoniumionen-Konzentration. Eine neutrale Lösung besitzt den pH-Wert von 7, bei saurer Lösung liegt er unter 7 und bei alkalischer Lösung über 7. Der pH-Wert ist also ein Maß für den Gehalt einer wäßrigen Lösung an Oxoniumionen.

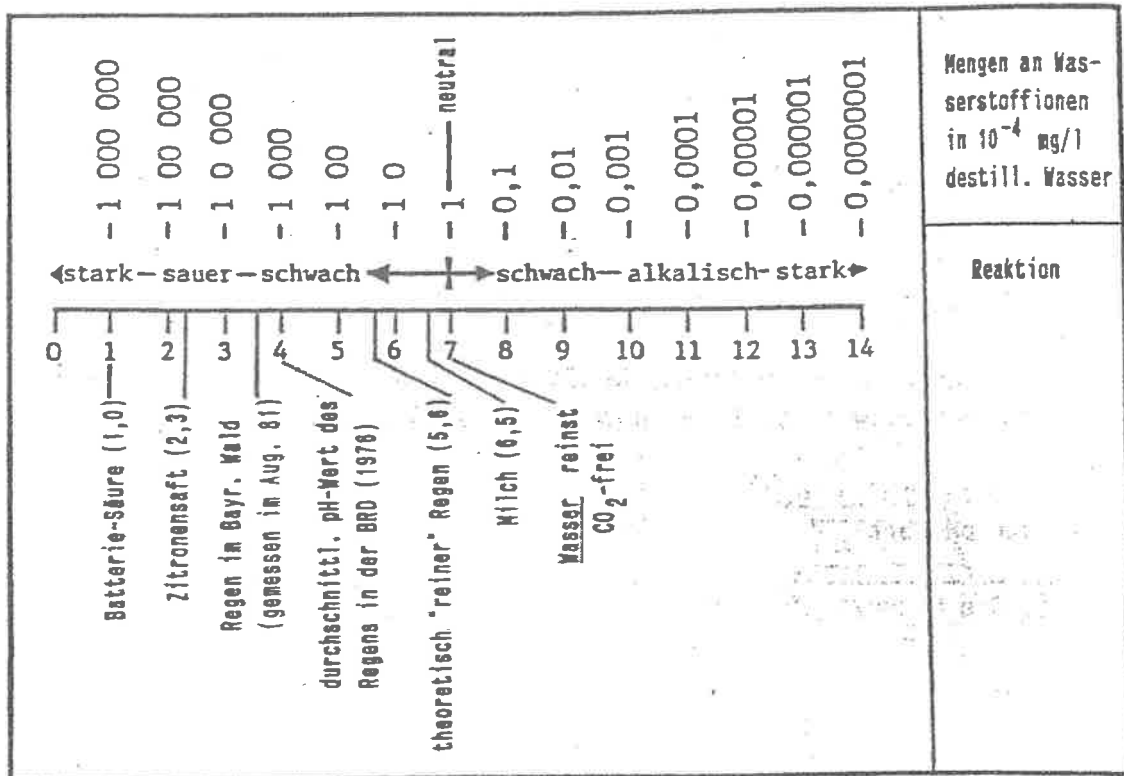


Abb.23: Skala der pH-Werte mit den ihnen entsprechenden Mengen an  $H_3O^+$ -Ionen (nach Klee 1985)

### 2.9.2. Spannbreite der pH-Werte in Fließgewässern

Fließgewässer decken insgesamt den weiten pH-Bereich von 2 bis 12 ab. Dies ist bedingt durch die sehr unterschiedlichen geologischen Bedingungen ihrer Einzugsgebiete. Deshalb sind auch die Unterschiede zwischen Quellen am größten. Ihre pH-Werte streuen über den gesamten Bereich. Die pH-Spanne der Bäche ist bereits deutlich geringer. Sie reicht etwa von 3,5 bis 9. Noch enger ist der pH-Bereich der Flüsse. Er liegt etwa zwischen 6,5 und 9. Nur in stark eutrophen Talsperren kann der pH-Wert 10 erreichen.

Die mittleren pH-Werte der einzelnen Fließgewässerabschnitte:

- Quellen liegen im schwach sauren Bereich (Kohlensäuregehalt)
- Bäche liegen eng am Neutralpunkt
- Flüsse liegen im leicht alkalischen Bereich.

Die Schwankungen des Wertes sind in Bächen am größten, während sie in Quellen und Flüssen relativ gering sind.



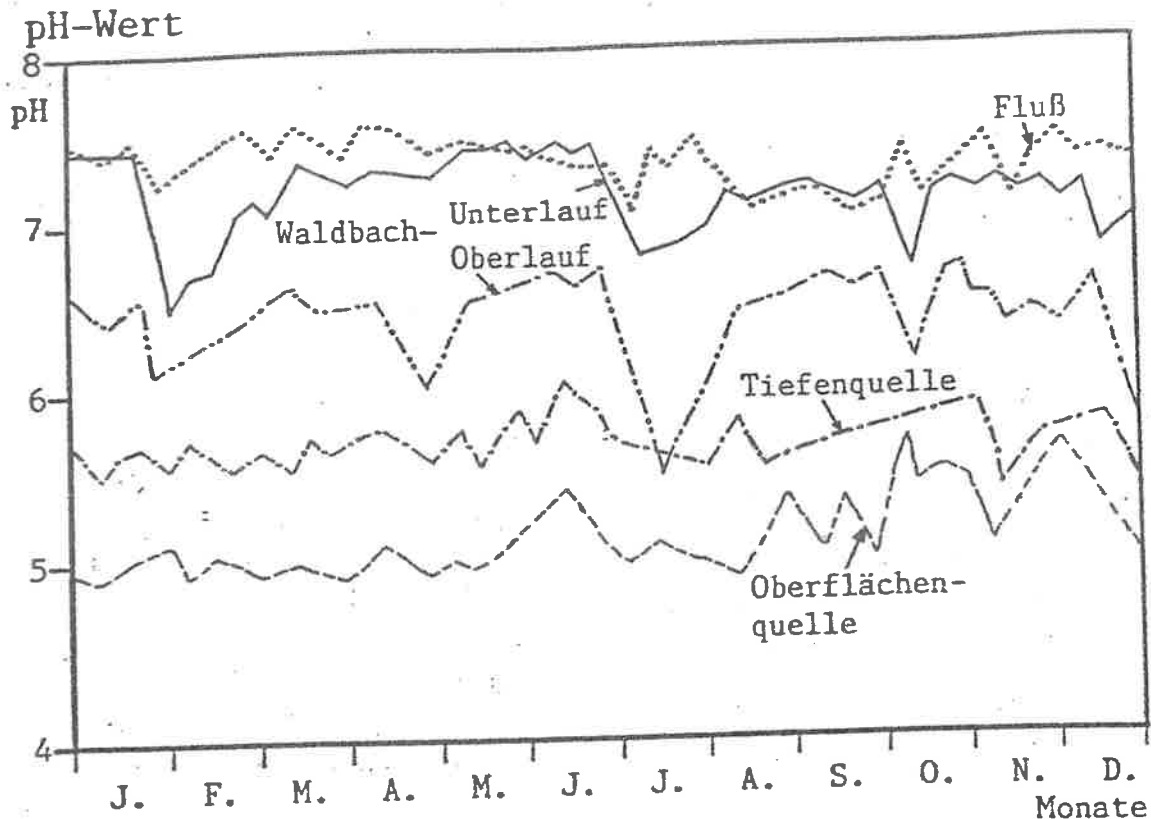


Abb.24: pH-Werte verschiedener Fließgewässer und Fließgewässerabschnitte in einer Buntsandsteinlandschaft (Schlitzerland in Osthessen) im Jahresverlauf (1980). Die auffällig erniedrigten Bach-pH-Werte und erhöhten Quell-pH-Werte wurden bei Hochwasserführung gemessen (Einschwemmung von organischen Säuren aus Waldböden bzw. verstärkte Auswaschung von Basen aus dem Gesteinsuntergrund) (nach Brehm 1982)

### 2.9.3. Einfluß des geologischen Untergrundes

Entscheidenden Einfluß auf den pH-Wert in Fließgewässern hat der Kalkgehaltsanteil ihrer Einzugsgebiete. Der Kalkgehalt des Gesteinsuntergrundes bestimmt die Hydrogencarbonatkonzentration (siehe nächstes Kapitel) und damit auch den pH-Wert des Grund- und Quellwassers. Das Grundwasser nimmt aus den Böden und dem Gestein Kohlensäure auf (daher die leicht saure Reaktion). Nach dem Quellaustritt gibt es die überschüssige Kohlensäure an die Luft ab, und sein pH-Wert steigt an. Aufgrund dieser Verhältnisse weisen Fließgewässer in kalkfreien oder kalkarmen Gebieten, wie z.B. den Buntsandsteinlandschaften, niedrigere pH-Werte auf als in kalkreicheren oder gar kalkgeprägten Landschaften, wie den Muschelkalk- und Juragebieten. Dieses pH-Gefälle verschärft sich zusätzlich noch dadurch, daß die Böden auf kalkfreiem oder -armem Untergrund sehr stark zum Versauern neigen. Die von ihnen freigesetzten Säuren bewirken, daß der pH-Wert des durchsickernden Niederschlags- und später des Grund- und Quellwassers besonders wirksam abgesenkt wird.

#### 2.9.4. Die ökologische Bedeutung des pH-Wertes

"Die ökologische Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration wird unterschiedlich beurteilt". "Trotzdem bleibt die Tatsache bestehen, daß die Verteilung zahlreicher Organismen im Freiland enge Beziehungen zur aktuellen Reaktion des Wassers aufweist" (KLEE 1985).

Einen wesentlichen Einfluß übt der pH-Wert jedenfalls auf die Löslichkeit, z.T. auch auf die Beständigkeit der verschiedensten Stoffe aus. Beispielsweise nimmt die Löslichkeit von Calcium- und Magnesium-Ionen mit steigendem pH-Wert (zumindest bis 9) zu, während die der Eisen- oder Mangan-Ionen zurückgeht. Kalium löst sich im schwach basischen und das schwer lösliche Phosphat im schwach sauren Bereich am besten.

Da von einer solch unterschiedlichen Löslichkeit ebenso die meisten Pflanzennährstoffe betroffen sind, beeinflußt damit der pH-Wert auch die Nährsalzversorgung der Pflanzen.

Die mobilisierende bzw. demobilisierende Wirkung bestimmter pH-Werte gilt aber auch für Stoffe, die bereits in sehr geringen Konzentrationen auf Organismen hemmend oder giftig wirken. Als Beispiele sind hier die Schwermetalle (z.B. Kupfer und Molybdän) und andere Spurenelemente zu nennen. Viele von ihnen werden von den Lebewesen zwar als "essentielle Mikronährstoffe" benötigt, stellen aber in etwas größeren Spuren bereits hochwirksame Gifte dar, wie die beiden genannten und vor allem das nicht essentielle Quecksilber.

Nur wenige Organismen vertragen große pH-Wert-Schwankungen (Abb.26). Die meisten sind an enge Bereiche angepaßt. Von den ausgesprochen säurefliehenden bis zu den säureliebenden bestehen alle Übergänge. Es lassen sich daher für alle pH-Bereiche Spezialisten finden, die in den Gewässern auch als pH-Anzeiger gelten können (z.B. Torfmoose als Säureanzeiger).

Änderungen des pH-Wertes können auch auf indirektem Wege Wasserorganismen beeinflussen. Beispielsweise bildet das ungiftige Ammoniumion,  $\text{NH}_4^+$ , einen Pflanzennährstoff. Dagegen stellt das Ammoniak,  $\text{NH}_3$ , das aus dem Ammoniumion im alkalischen Medium freigesetzt wird



für die Organismen ein starkes Gift dar. Auf diesem Weg kann beispielsweise eine pH-Wert-Änderung Fischsterben zur Folge haben, ohne daß der pH-Wert selbst tödlich wirkt.

Für Fische und Fischnährtiere ist noch unbekannt, ob die Wasserstoffionenkonzentration alleine oder überwiegend die Rolle des auslösenden Faktors für die Verteilung der Arten im Ökosystem übernimmt oder ob sie nur Indikatorwert für Korrelationen im Verteilungsbild besitzt. Wasserpflanzen werden jedenfalls nicht durch das Vorhandensein von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen, sondern durch die alkalische Reaktion von der Besiedlung kalkhaltiger Gewässer abgehalten. Einige Grenzwerte, bei denen die Giftigkeit für Fische und andere limnische Organismen erreicht ist, sind in Abb. 26 dargestellt.

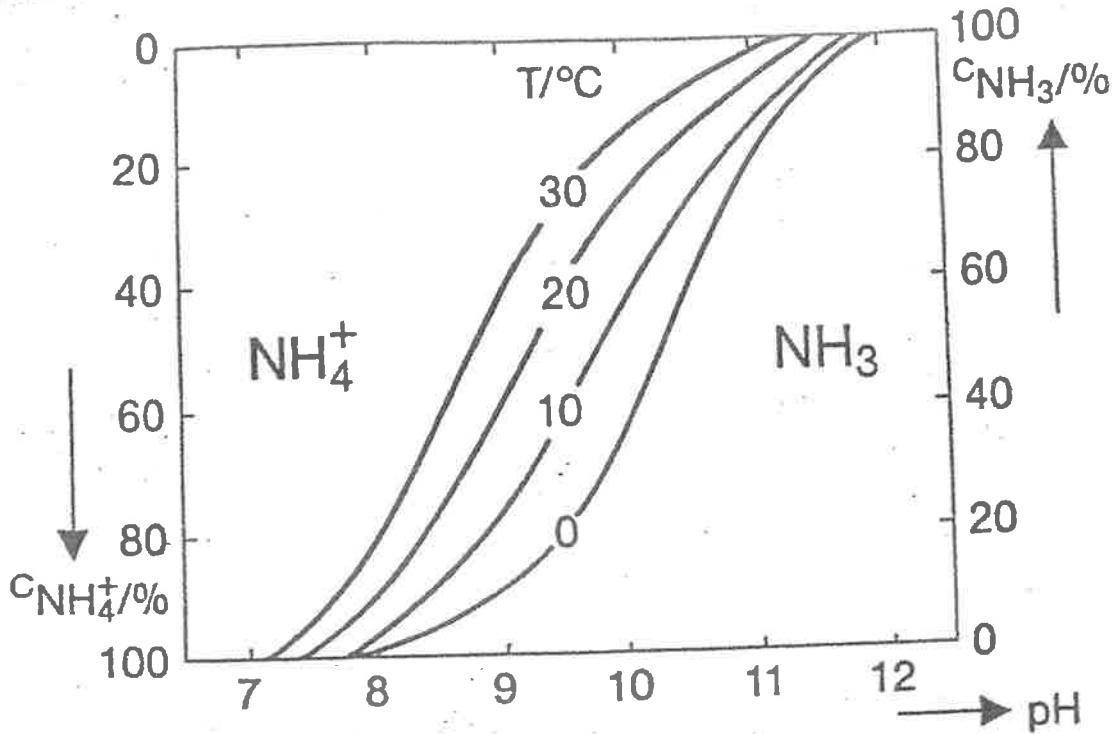


Abb.25: Zusammenhang zwischen: pH-Wert - Ammonium - Ammoniak und Temperatur  
 Das Gleichgewicht Ammonium/Ammoniak ist stark temperaturabhängig. Je höher die Wassertemperatur ist, um so mehr fischgiftiges Ammoniak wird gebildet. (aus Aquamerck-Kompaktlabor für Wasseruntersuchungen)

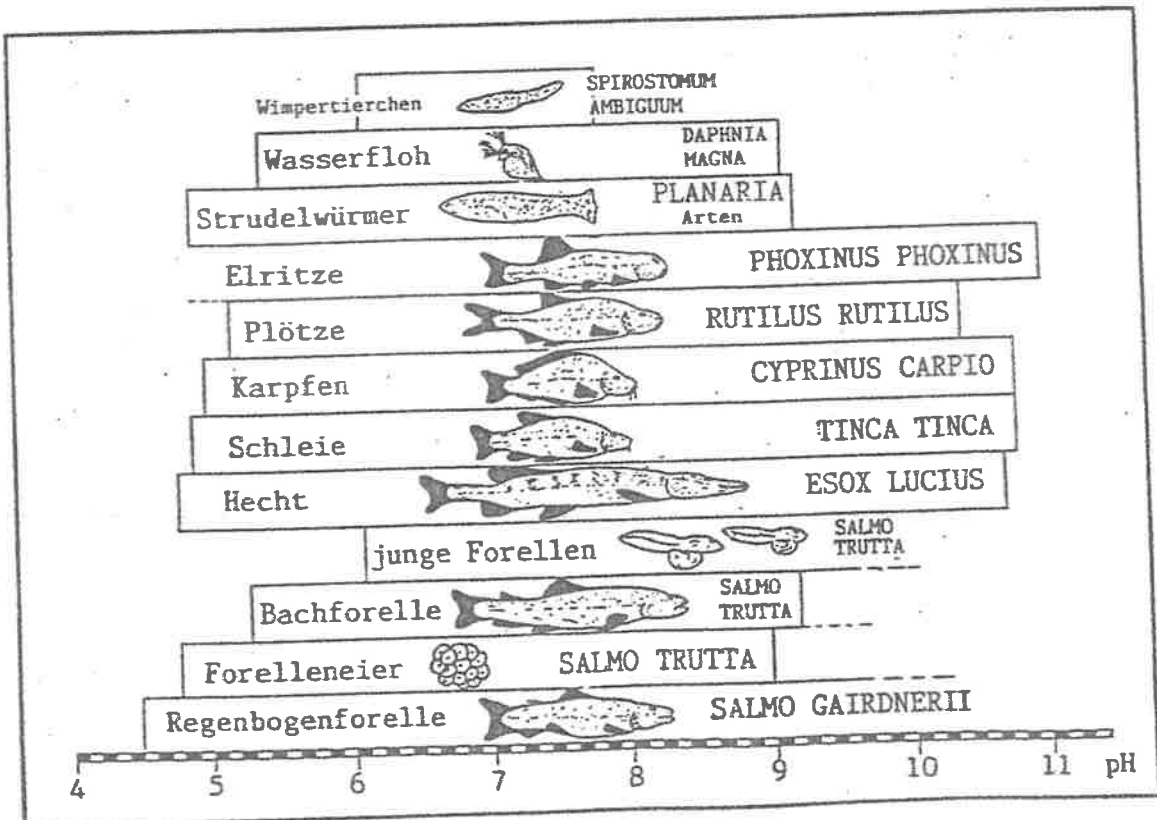


Abb.26: Toxische pH-Grenzwerte für Süßwasserorganismen (nach Klee 1985)  
 Ökologische Valenz verschiedener Arten bezüglich des pH-Wertes

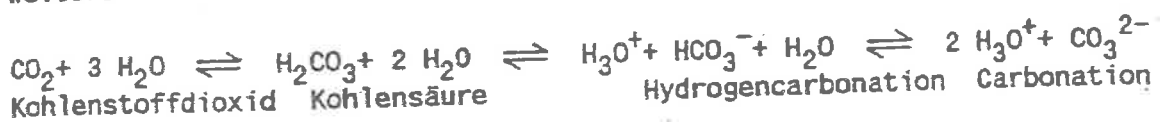
## 2.10. Kohlenstoffdioxid, Kohlensäure und Karbonate

### 2.10.1. Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Dissoziation der Kohlensäure

Kohlenstoffdioxid ist in Wasser leicht löslich, aber recht reaktions-träge. Im Zustand des Absorptionsgleichgewichts mit dem Kohlenstoffdi-oxid der Luft lösen sich in einem Liter bei 0 °C 1,005 mg und bei 20 °C 0,51 mg. Da Kohlenstoffdioxid mit Wasser bis zu einem Gleichgewicht Kohlensäure bildet, die in geringem Umfang Wasserstoffionen abspaltet, reagieren seine wäßrigen Lösungen schwach sauer.

Ein großer Teil des Kohlenstoffdioxids befindet sich in einem ständigen Kreislauf: Organismen geben es bei der Zellatmung ab; autotrophe Pflanz-zen assimilieren es bei Lichteinwirkung. Dabei geben sie gleichzeitig Sauerstoff aus der Wasserspaltung ab (siehe Kap.: Kohlenstoffkreislauf).

Im Wasser liegt der größte Teil des Kohlenstoffdioxids physikalisch gelöst vor, und nur ein geringer Teil (ca. 0,1%) reagiert chemisch zur Kohlensäure. Ein Teil dieser Kohlensäure wiederum reagiert stufenweise weiter:



In einer Kette von Gleichgewichtsreaktionen entstehen also Kohlensäure und in geringem Maße Hydrogencarbonat- und Carbonationen. Insgesamt liegt das Gleichgewicht auf der linken Seite, d.h. das physikalisch ge-löste Kohlenstoffdioxid überwiegt.

### 2.10.2. Einfluß des pH-Wertes

In welchem Verhältnis  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_3^{2-}$  im Wasser vorkommen, hängt von seinem pH-Wert ab: bei pH 4 ist nur  $\text{CO}_2$  vorhanden, zwischen pH 7-10 fast nur  $\text{HCO}_3^-$  und bei pH 11 überwiegt  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Folgende Abbildung zeigt, in welchen pH-Bereichen die einzelnen Disso-ziationsstufen der Kohlensäure vorliegen. Demnach kommen im pH-Bereich 7-9 alle Stufen nebeneinander vor, außerdem nicht ionisiertes Kohlen-stoffdioxid und, in Gegenwart von genügend Carbonat- und Calciumionen, ein Bodenkörper von festem Kalk.

### 2.10.3. Hydrogencarbonat als pH-Puffer

Das Hydrogencarbonat spielt eine ökologisch bedeutsame Rolle als pH-Puffer. Bei einer Ansäuerung fängt das Hydrogencarbonat die zugeführten Wasserstoffionen zum Teil ab unter Bildung von neutralen Kohlensäure-

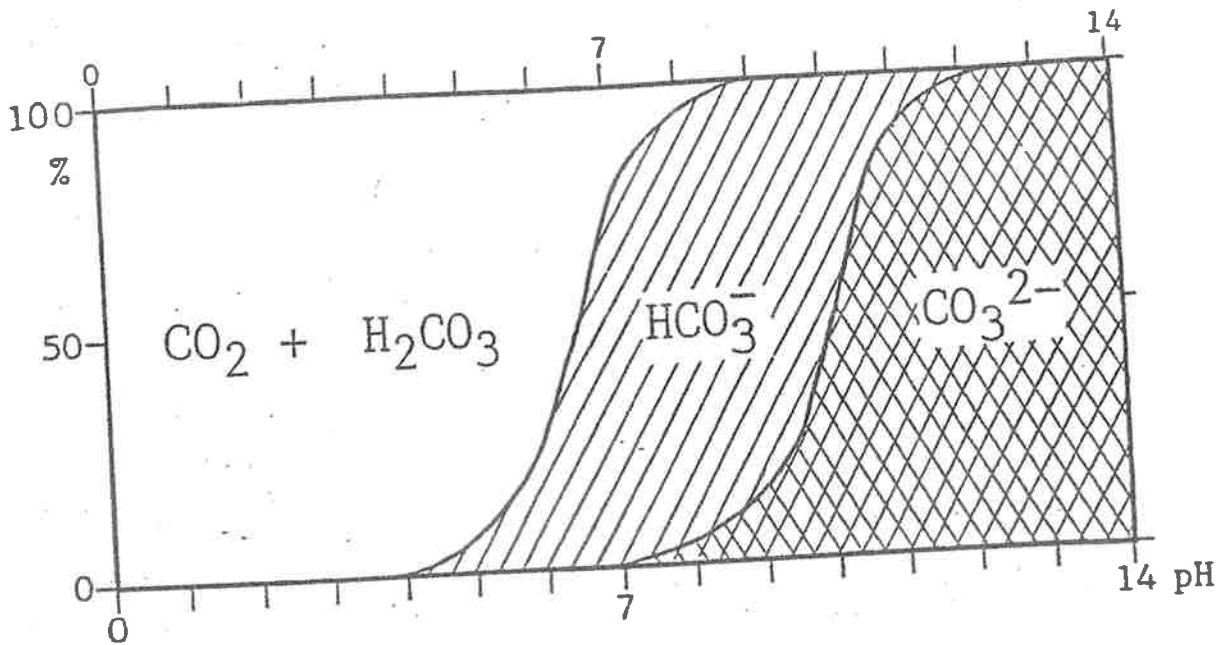


Abb.27: Dissoziation der Kohlensäure in Abhängigkeit vom pH-Wert  
(nach Brehm 1982)

und Kohlenstoffdioxidmolekülen. Dadurch fällt der pH-Wert nicht so stark wie sonst zu erwarten wäre. Entsprechend kann das Hydrogencarbonat etwa zugegebene Hydroxid-Ionen neutralisieren. Diese pH-stabilisierende Wirkung (Pufferwirkung) des Hydrogencarbonats ist im pH-Bereich 7-9 am ausgeprägtesten und steigt mit der Hydrogencarbonatkonzentration.

#### 2.10.4. Die Bedeutung des Kalkgehaltes von Gewässern

Der größte Teil der im Wasser enthaltenen Hydrogencarbonat- und Carbonationen stammt aus den gelösten Salzen der Kohlensäure. Das Calciumcarbonat der Kalkgesteine löst sich nur schlecht in reinem neutralem Wasser (bei 20 °C nur 0,15 mg/l Wasser). In Gegenwart von überschüssiger ("aggressiver") Kohlensäure kann das an sich fast unlösliche Calciumcarbonat als Calcium-Hydrogencarbonat in Lösung gehen:



In diesem Fall wird ein Teil des Kohlenstoffdioxids gebunden und ist als 'gebundene Kohlensäure' eine wichtige Kohlenstoffdioxidreserve für die photoautotrophen Pflanzen. Calcium-Hydrogencarbonat bleibt jedoch nur in Lösung, wenn überschüssiges Kohlenstoffdioxid im Wasser vorhanden ist. Zu jeder Menge an gelöstem Calcium-Hydrogencarbonat gehört somit eine bestimmte Menge an Gleichgewichtskohlensäure. Wird dieses Gleichgewicht durch Entzug von Kohlenstoffdioxid aus dem Wasser gestört, so zerfällt soviel Calcium-Hydrogencarbonat in unlösliches Calciumcarbonat und

Kohlenstoffdioxid, bis die Restmenge an Calcium-Hydrogencarbonat wieder im Gleichgewicht mit der Kohlensäure im Wasser ist:



Dieses Gleichgewichts kann gestört werden durch Erwärmung des Wassers (Bsp. Kesselsteinbildung in Kochgefäßen).

In der Natur können sich durch Entweichen von Kohlenstoffdioxid aus Grundwasser, das damit übersättigt ist, im Bereich von stärkeren Quellen mächtige, z.T. mit Pflanzen durchsetzte Kalkbänke bilden, die man als Travertin bezeichnet. Wird durch intensive Photosyntheseaktivität dem Wasser sehr viel Kohlenstoffdioxid entzogen, lagert sich Kalk als Kruste auf den Unterwasserblättern von Pflanzen ab, ein Vorgang, den man als 'biogene Entkalkung' bezeichnet. In der Nacht wird diese Kalkschicht durch die Ausscheidung von Kohlenstoffdioxid aus den Blättern wieder aufgelöst.

#### 2.10.5. Ursachen und Folgen unterschiedlicher Kalkgehalte von Gewässern

Der Kalkgehalt des Wassers wird als Wasserhärte in deutschen Härtegraden angegeben:

1°d entspricht 10 mg CaO/l das entspricht 18 mg CaCO<sub>3</sub>/l

Wasser von 20 °d ist hart, unter 10 °d ist es weich, über 30 °d ist es als Trinkwasser unbrauchbar. Urgebirge (Gneis, Granit) und Buntsandstein liefern sehr weiches Wasser unter 2 °d (z.B. Schwarzwald, Vogesen, Spessart, Warndt), Kalkgebiete (fränkischer und schwäbischer Jura, Saargau, Bliesgau), Gips- und Dolomitböden hartes Wasser, das in Einzelfällen mehr als 100 °d aufweisen kann.

Gewässer mit geringem Kalkgehalt reagieren meist sauer, können aber bei biogenem Verlust des Kohlenstoffdioxids einen pH-Anstieg bis über 9 erfahren (Folgen: siehe pH-Wert - Ammonium). In kalkreichen Gewässern liegt der pH-Wert dagegen um 7-8, und durch Zerfall von Calcium-Hydrogencarbonat wird der biogene Verbrauch immer wieder ausgeglichen. Die pH-Verschiebung bleibt deshalb gering, sofern nicht durch massive Pflanzenproduktion alle Kohlenstoffdioxidreserven aufgebraucht werden. Durch Hydrolyse kann in einem solchen Fall auch das Calciumcarbonat aufspalten. Dadurch entsteht Calciumhydroxid und der pH-Wert steigt auf 11.

#### 2.10.6. Das Säurebindungsvermögen

Kalkreiche Gewässer haben damit ein hohes Säurebindungsvermögen (SBV). Der Wert SBV gibt an, wieviel mmol Salzsäure ein Liter Wasser neutralisieren kann.

Säurebindungsvermögen und pH-Wert sind demnach zwei Kenngrößen des Gewässerzustandes, die für die biologischen Vorgänge von großer Bedeutung sind. Daher werden sie auch als Indikatoren zur Charakterisierung der Gewässergüte herangezogen.

### 2.11. Der Kreislauf des Stickstoffs im Gewässer

In Gewässern kommt Stickstoff in einer Reihe verschiedener Verbindungen vor. Organisch kann er gebunden sein in Zwischenprodukten des Eiweißabbaues, in Exkrementen von Konsumenten sowie in freien Verbindungen, Aminosäuren, Enzymen usw. Zu den wichtigsten anorganischen Stickstoffverbindungen zählen der molekulare Stickstoff, die Nitrat-, Nitrit-, Ammoniumionen und das Ammoniak (siehe S. 30 - 31).

In Gewässern, die nicht organisch belastet sind, spielen mengenmäßig Nitrifikationen die wichtigste Rolle. Bei organischer Verschmutzung tritt, je nach dem Grad der Belastung, Ammoniumionen in größeren Mengen auf. Ihre Konzentration ist dann am höchsten, wenn die Eiweißzersetzung am weitesten fortgeschritten ist. Dies kann unmittelbar an der Einleitungsstelle sein, z.B. bei Zufuhr bereits "vergorener" Jauche, oder aber erst in einiger Entfernung vom Zufluß. Ammoniumionen werden bei ausreichender

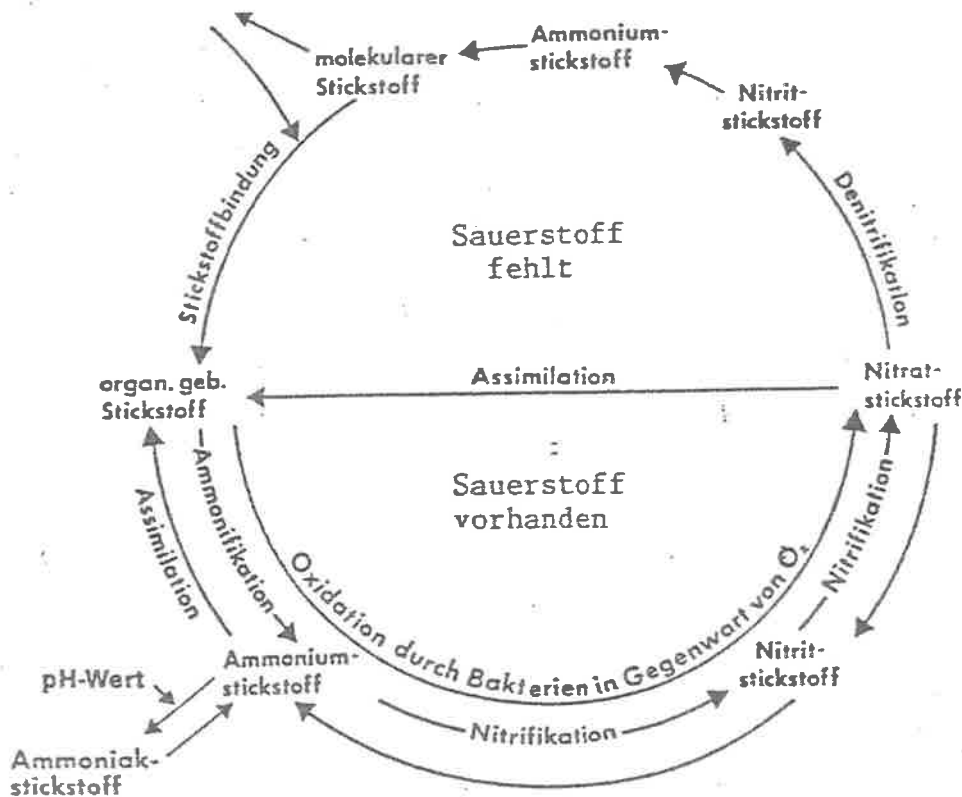


Abb.28: Stickstoffkreislauf in Gewässern (nach Barndt/Bohn 1986/87)

Sauerstoffversorgung vorwiegend durch Bakterien (Nitrifikation) relativ rasch über Nitrit zu Nitrat oxidiert, so daß das sehr giftige Nitrit im Wasser i.d.R. nur in geringen Mengen nachweisbar ist. Erhöhte Nitritwerte deuten daher u.U. auf hohe organische Belastungen hin.

Ist kein Sauerstoff vorhanden, läuft der umgekehrte Vorgang ab, nämlich die Denitrifikation bis zu Ammoniumionen oder bis hin zum molekularen Stickstoff, der in die Atmosphäre entweicht. Dieser Prozeß wird heute zunehmend in Kläranlagen zur Entfernung der Stickstoffverbindungen aus dem Klärwasser eingesetzt.

Viele Algen und höhere Wasserpflanzen können Ammoniumionen direkt aus dem Wasser aufnehmen und in organische Verbindungen (z.B. Proteine und Nucleinsäuren) einbauen.

## 2.12. Der Phosphorhaushalt eines Gewässers

Die anorganischen Verbindungen des Phosphors sind wichtige Nährsalze für autotrophe Pflanzen. Da sie in Gewässern gelöst oft nur in Spuren vorkommen, stellen sie i.d.R. den Minimumfaktor für das Pflanzenleben dar, viel häufiger als z.B. der Stickstoff.

Bereits ab einer Konzentration von ca. 0,04 mg/l (Wert aus Versuchen mit Ruhrwasser, aus E. Köhler) setzt in Fließgewässern verstärktes Algenwachstum ein.

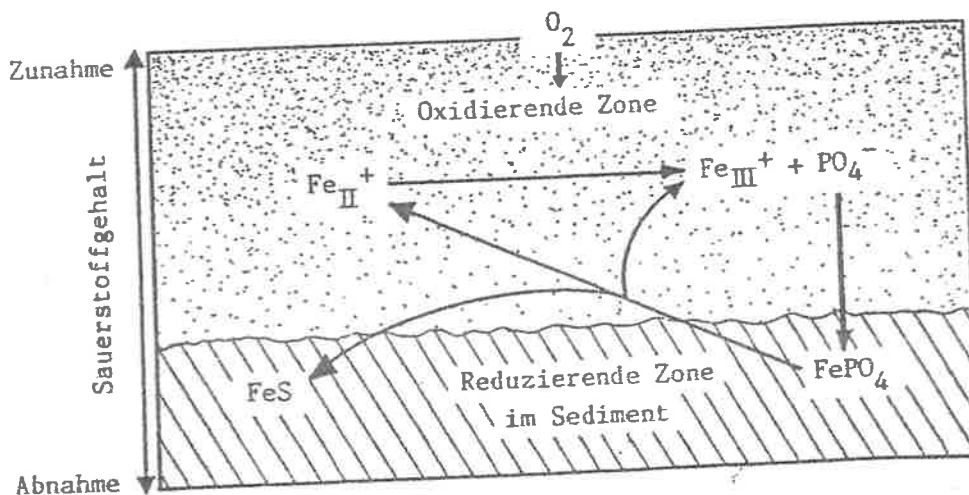


Abb.29: Phosphor-Eisen-Umsatz im Kontaktbereich Wasser-Sediment (nach Schwerbel 1980)

In Gewässern kommen drei Formen des Phosphates nebeneinander vor: anorganisches gelöstes Phosphat als Ortho- ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) und Polyphosphat, organisches gelöstes Phosphat und organisches partikuläres Phosphat (in Organismen oder Detritus). Alle zusammen bilden das Gesamtphosphat.

Nur geringe Mengen natürlicher Phosphate gelangen über Verwitterung von Gesteinen in den biologischen Kreislauf. Die Quelle für die größten Phosphatmengen sind heute die Haushalte. Auf direktem Weg, aber auch über die Kläranlagen, gelangen sie als Reste von Wasch- und Reinigungsmitteln sowie aus Exkrementen in die Gewässer.

Das Sediment der Gewässer wirkt als "Phosphatfalle". Unter Anwesenheit



von Sauerstoff (aerobe Bedingungen) bindet es durch Anlagerung (Adsorption) und Anionenaustausch große Mengen davon und entzieht sie dem Wasser, oder das Phosphat wird an Eisen gebunden und als unlösliches Eisen (III)-Phosphat ( $\text{FePO}_4$ ) ausgefällt.

Unter anaeroben Bedingungen werden die  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen reduziert. Die leichter löslichen Eisen(II)-Ionen gehen mit dem Phosphat in Lösung und stehen als Pflanzennährstoff zur Verfügung.

Bei großer Phosphatbelastung und ausreichender Lichtmenge verkrauten Gewässer sehr stark. Sie produzieren damit selbst organischen Abfall, der über Selbstreinigungsprozesse wieder entfernt werden muß. Fließgewässer, in denen die Nährsalze mit der fließenden Welle abtransportiert werden, sind davon allerdings weniger betroffen als stehende Gewässer. In diesen reichern sich die Nährsalze an und werden auf natürlichem Weg fast nicht entfernt.

### 2.13. Der Kreislauf des Kohlenstoffs in Gewässern

Die engen Beziehungen zwischen abiotischen und biotischen Ökofaktoren zeigen sich sehr deutlich im Kohlenstoffkreislauf eines Gewässers. Während Landpflanzen das Kohlenstoffdioxid zum allergrößten Teil aus der Atmosphäre entnehmen, besteht im Wasser ein kompliziertes Kohlenstoffsystem. Bezüglich der Quantität und Qualität der Kohlenstoffversorgung der Pflanzen herrscht im Wasser eine viel größere Mannigfaltigkeit als auf dem Land. Unterwasserpflanzen können ihren Kohlenstoffbedarf auf außerordentlich vielseitige Art decken:

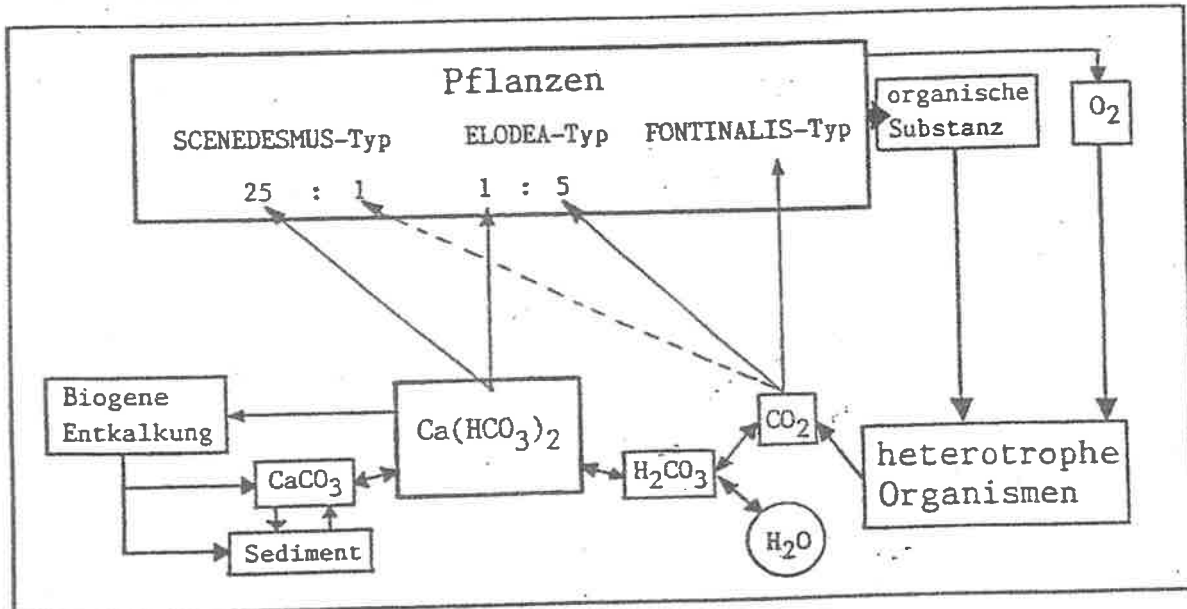


Abb.30: Kreislauf des Kohlenstoffs in Gewässern (stark vereinfacht) (nach Klee 1985)

- aus dem freien Kohlenstoffdioxid, wie Landpflanzen auch
- aus den Kohlensäuremolekülen ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )
- durch Aufnahme von Calcium-Hydrogencarbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- durch Aufnahme von  $\text{HCO}_3^-$  auf dem Wege des Ionentausches gegen ein anderes Anion
- durch Aufnahme von  $\text{CO}_3^{2-}$  bei höheren pH-Werten

### 3. Biotische Faktoren im Ökosystem Fließgewässer

#### 3.1. Die Teilräume des Gesamtlebensraumes "Fließgewässer"

Fließgewässer und ihre Überschwemmungsbereiche, die Auen, stellen in vieler Hinsicht eigenständige Einheiten dar, sowohl erdgeschichtlich als auch hydrobiologisch. Von den übrigen Lebensräumen einer Landschaft lassen sie sich aufgrund des sie beherrschenden abiotischen Ökofaktors, des strömenden Wassers, relativ deutlich abgrenzen. Über das fließende Wasser stehen sie aber auch mit diesen wiederum in engen Wechselbeziehungen.

Wie andere Großlebensräume auch, stellt das Auenband selbst wiederum ein Mosaik vielfältiger kleinerer Lebensraumtypen dar.

Als größere Einzelräume lassen sich unterscheiden:

- die Unterwasserzone (oder der limnische oder submerse Lebensraum)
- die amphibische Zone, d.h. der Übergangsbereich unmittelbar am Rand des Wasserkörpers und die anschließende Zone des weniger häufig besetzten und überfluteten Auebereichs. Hier gibt es zahllose "Lebensräume auf Zeit", die sowohl von Land- als auch von Wassertieren besiedelt werden.
- Altarme und Tümpel als eigenständige Bereiche submerser Lebensräume

#### 3.2. Biozönosen der Unterwasserzone

Der Wasserkörper jedes Fließgewässers beherbergt typische Lebensgemeinschaften. Vielfältige Nahrungsbeziehungen verbinden ihre Einzelorganismen untereinander zu einem Nahrungsnetz. Die Abbildung 31 gibt in vereinfachter Form darüber einen Überblick.

##### 3.2.1 Die Produzenten

Am Anfang aller Nahrungsbeziehungen stehen die photosynthetisch aktiven Produzenten. In Gewässern sind dies Aufwuchsalgen, Phytoplankton und submerse höhere Pflanzen. Zum Wachstum nehmen sie die in der fließenden Welle mitgeführten anorganischen Nährsalze auf. Außer vom Nährstoffgehalt des Wassers und des Sediments ist diese Primärproduktion aber auch von den Licht- und Temperaturverhältnissen sowie von der Strömung abhängig. Gerade wegen dieser Bedingungen kann die Masse und Zusammensetzung der Unterwasserflora nicht nur zwischen verschiedenen Flüssen, sondern auch innerhalb eines Flußlaufes sehr unterschiedlich sein. Starke Strömung verhindert offensichtlich eine eigenständige Phytoplanktonproduktion. In langsam strömenden oder fast stehenden Bereichen bzw. in größeren und tieferen Fließgewässern kann es sich jedoch stärker entwickeln. Dort sind Planktonalgen die wichtigsten Produzenten und damit die bedeutendsten Sauerstofflieferanten für alle Heterotrophen.

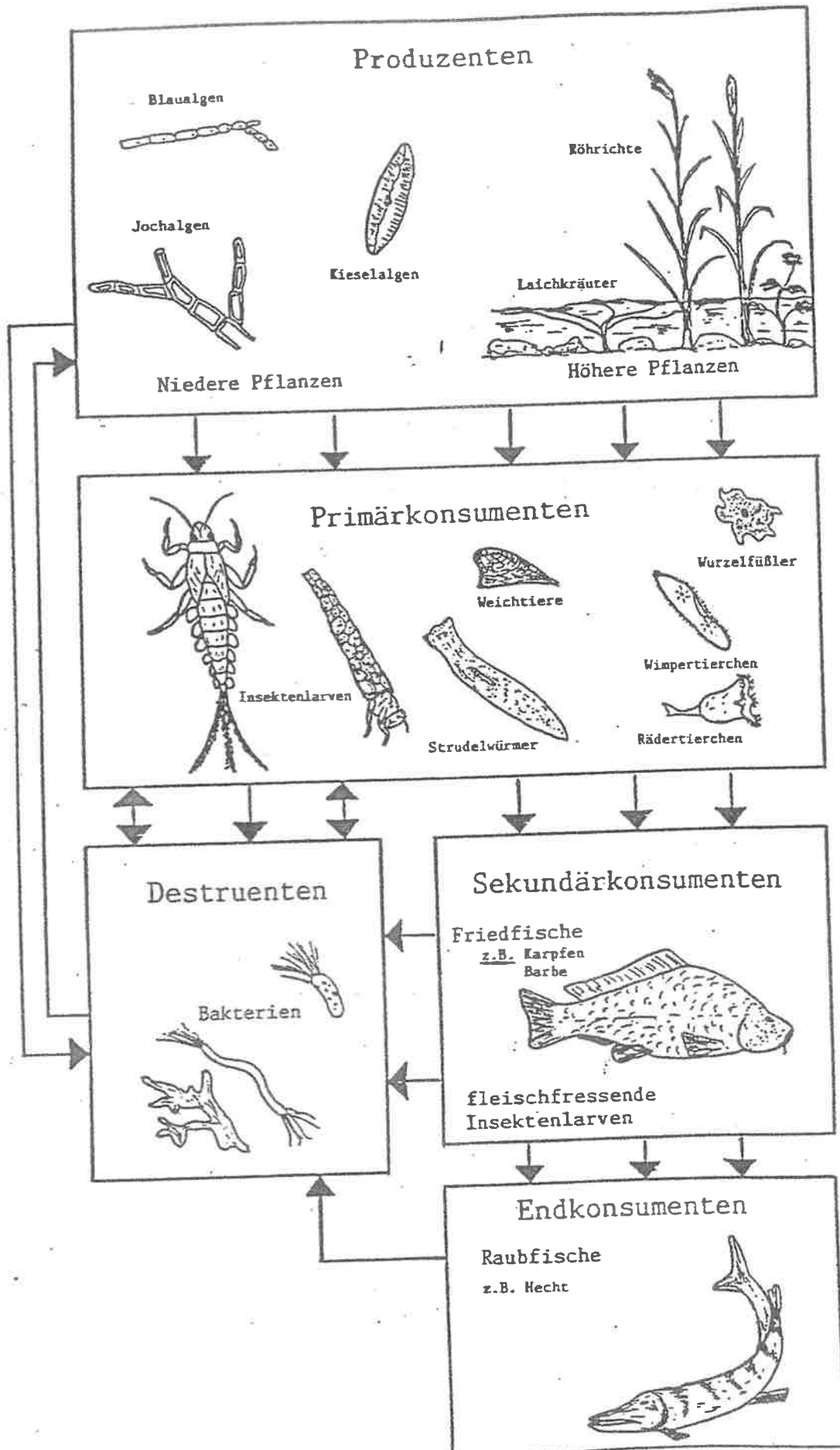


Abb.31: Lebensgemeinschaft eines mäßig verunreinigten Fließgewässers (vereinfachte Darstellung) (nach Niemeyer-Lüllwitz 1985)

In kleineren Fließgewässern spielen die Aufwuchsalgen auf Steinen und anderen Gegenständen die wichtigste Rolle als Primärproduzenten. Bedingt durch die Unebenheiten der Stromsohle, ist hier ihr Besiedlungsareal stark vergrößert. In einem kleinen Bach konnte so auf eine Strecke von 100 m mit 134 m<sup>2</sup> Oberfläche eine tatsächliche Substratoberfläche von 560 m<sup>2</sup> mit einer Algenbiomasse von 2,7 g/m<sup>2</sup> ermittelt werden (nach Nelson et al. 1969 in Schwoerbel 1980).

An Stellen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten besteht auch für die Algen die Gefahr des Verdriftens. Das Problem ist auf unterschiedliche Art und Weise gelöst worden:

- Besiedlung der strömungsgeschützten Leeseiten bzw. der Totwasserräume
- Ausbildung flacher, den Steinen fest anliegender Lager
- gallertige, halbkugelige Lager bei schwächerer Strömung
- Ausbildung von Haftscheiben, Gallertstielen, Gallerthüllen, rhizoidalen Ausläufern bzw. Rhizoid- und Krallenzellen zur Anheftung an die Unterlage.

Manche Kleinalgen können auch ohne besondere Anpassungsmerkmale die strömungsfreie Grenzschicht besiedeln.

Obwohl höhere Wasserpflanzen in der Produktion von Biomasse die Aufwuchsalgen und das Phytoplankton weit übertreffen können, stehen sie bezüglich ihrer Verwertbarkeit durch Konsumenten unter den Produzenten der Fließgewässer an letzter Stelle. Sie werden fast ausschließlich als Detritus verwertet (Schwoerbel 1980). Auch bei ihnen finden sich charakteristische Anpassungsformen (Wedel, Polster, Schwaden, Teppiche, geschlitzte und fadenförmige Blätter usw.). Da sie ihre Nährsalze über die gesamte Oberfläche aufnehmen, haben die Wurzeln vorwiegend die Funktion der Verankerung im Substrat.

Im Längsprofil des Fließgewässers finden sich im schnellfließenden Bereich des Oberlaufs vorwiegend Algen und Moose. Wenn die Lichtverhältnisse es gestatten, können sie dort größere Bestände im gesamten Bereich der Bachsohle bilden. Mit zunehmender Tiefe kommen im Mittel- und Unterlauf submerse Blütenpflanzen (z.B. Laichkrautgesellschaften) hinzu. Sie bevorzugen mehr kiesig-schlammige Substrate.

### 3.2.2. Die Konsumenten

In der fließenden Welle führt der Wasserkörper außer den Mineralsalzen gleichzeitig mehr oder weniger große Mengen lebender und abgestorbener Organismen und Organismenteile mit sich. Dieser als Drift bezeichnete Transport von lebenden Organismen (= organismische Drift) und totem Material (Detritus) ist ein Merkmal, das den Stofffluß dieses Ökosystems wesentlich von dem anderer Ökosysteme unterscheidet. Zahlreiche Konsumenten (Pflanzen- und Detritusfresser), wie z.B. Insektenlarven und Fische, nutzen diese Drift als Nahrungsquelle und sind selbst wiederum Nahrungsgrundlage für die fleischfressenden Konsumenten (Carnivore, z.B. Insektenlarven, Krebse, Raubfische,...).

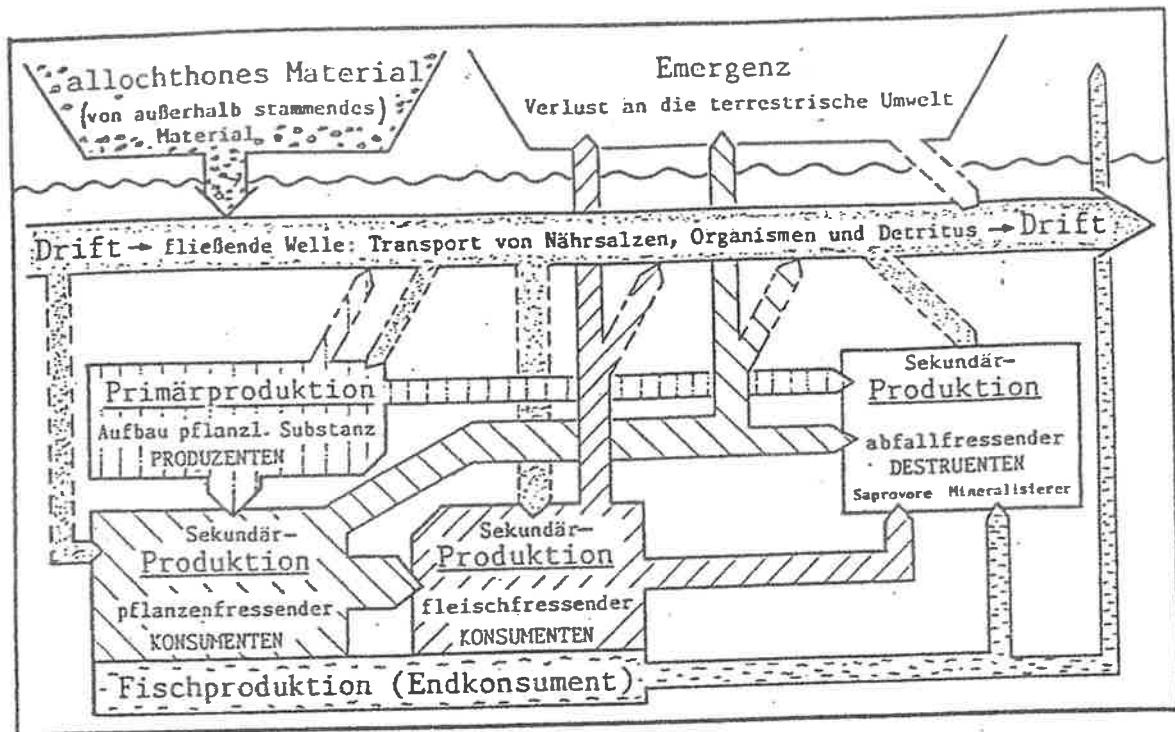


Abb.32: Nahrungsbeziehungen und Stofffluß in einem Fließgewässer  
(nach Niemeyer-Lüllwitz 1985)

Die tierliche Konsumentenketten beginnt mit den pflanzenfressenden Primärkonsumenten. Dazu gehören z.B. Einzeller, Rädertierchen, Strudelwürmer, Insektenlarven, Weichtiere u.a. Über die Sekundärkonsumenten (z.B. Insektenlarven, Strudelwürmer, Milben, Friedfische,...) reicht sie bis zu den Endkonsumenten (z.B. Raubfische), die jeweils von tierlicher Substanz leben. Eine scharfe Trennung zwischen Primär- und Sekundärkonsumenten ist jedoch nicht möglich, wie die Gruppe der Omnivoren zeigt. Die meisten Primärkonsumenten ernähren sich auch von Bakterien, viele Sekundärkonsumenten nehmen zeitweise oder dauernd Pflanzenmaterial zu sich.

Bis auf verschiedene Fischarten lebt der überwiegende Teil dieser Konsumenten auf oder im Substrat der Sohle (dem Benthos). Damit ist dies der wichtigste Teilbereich innerhalb des Unterwasserlebensraumes. Bei seinen Bewohnern findet sich eine Fülle von Anpassungen an die dort herrschenden Bedingungen, sei es durch Ortswahl, Körperaufbau und -form oder durch spezifische Verhaltensweisen.

Als Beispiele seien genannt:

Ortswahl:

- Die leeseitigen Kanten überströmter Hindernisse bzw. die Totwasserräume (siehe Abb. 10), die nahezu strömungsfrei sind, stellen bevorzugte Aufenthaltsorte für eine Reihe von Tieren dar, z.B. für die Larven verschiedener Köcherfliegenarten.

- Kleinste Ritzen und Spalten von Steinen sowie das ebenfalls fast strömungsfreie Innere der Polster von Wasserpflanzen werden von einer Vielzahl verschiedener Arten von Protozoen bis Insekten und Milben besiedelt.
- In den Untergrund dringen viele Jugendstadien ein und finden so Schutz vor der Abdrift, z.B. Insekten (bis zu 70 cm tief) und Fische .

#### Körperbau und Verhaltensweisen:

- Die seitliche Abflachung des Körpers und die Fähigkeit, bei stärkerer Strömung auf der Seite über das Sediment zu schwimmen bzw. bei schwacher Strömung aufrecht zu laufen und am Grund liegendes Geröll und Pflanzenmaterial zu durchklettern, ermöglichen es den Flohkrebse, eine Fülle verschiedener Kleinstlebensräume zu nutzen.
- Aufgrund ihrer abgeflachten oder stromlinienförmigen Körpergestalt können sich im Bereich der strömungsarmen Schicht auf Steinen oder anderen Gegenständen Larven von Eintagsfliegen oder Steinfliegen, Strudelwürmer oder auch die Flußnapfschnecken bewegen, ohne daß sie mitgerissen werden (siehe Abb. 11).
- Arten mit Saugeinrichtungen können sich selbst in reißender Strömung aufhalten. Die Larven der Lidmücken beispielsweise besitzen auf der Bauchseite sechs kompliziert aufgebaute Saugnäpfe, mit denen sie sich auf Steinoberflächen festheften können. Kriebelmückenlarven haben zwar nur eine Saugscheibe, können sich aber, falls sie verdriftet werden, mit Hilfe eines Spinnfadens abfangen und durch Aufwickeln dieses Fadens ihren alten Standort wieder erreichen.
- Bei den Köcherfliegenlarven verwenden die Arten, die sich einen transportablen Köcher bauen, dazu Material des sie umgebenden Untergrundes. Im Bereich starker Strömung werden Steinchen und Sandkörner eingebaut, die aufgrund ihres Gewichts einen Auftrieb verhindern. Bei geringeren Fließgeschwindigkeiten wird leichteres Pflanzenmaterial verwandt. Manche Arten (z.B. *Neureclipsis spec.*), die keinen Köcher bauen, spinnen ein Netz quer zur Fließrichtung, aus dem sie die von der Strömung eingespülten Nahrungspartikel absammeln.

Trotz dieser vielfältigen Anpassungsformen werden ständig Organismen im Fließgewässer von der Strömung mitgerissen. Diese Verdriftung der Benthosorganismen darf jedoch nicht nur als "Unfall" angesehen werden. Vielmehr steigt diese 'organismische Drift' sprunghaft an, sobald die Lichtintensität einen kritischen Wert unterschritten hat. In der Nacht sinkt sie langsam und am Morgen rasch wieder auf den Wert ab, der der normalen Tagesdrift entspricht. Diese Drift ist also eine spezifische Verhaltensweise, durch die alle vorhandenen Kleinbiotope eines Fließgewässers ohne größeren Kraftaufwand besiedelt werden können. Durch stromaufwärts gerichtete Wanderung der verdrifteten Tiere bzw. durch "Kompensationsflug" ihrer Imagines erfolgt schließlich eine möglichst gleichmäßige Verteilung im gesamten Lebensraum.

Einige dieser Tierarten verbringen nur gewisse Abschnitte ihres Lebenszyklus im Gewässer. Dazu zählen z.B. verschiedene Insektenarten, die nach Beendigung ihrer Metamorphose als Emergenz den submersen Lebensraum verlassen. Sie dienen dann zahlreichen Landtieren des gewässernahen Raumes als Nahrungsgrundlage. Auch manche Landtiere dringen in den submersen Lebensraum ein und betätigen sich hier als Konsumenten (z.B. Eisvogel, Wasseramsel, Fischotter,...)

### 3.2.3 Die Destruenten

Außer dem ausgeprägt linienhaften Transport besitzt der Stoffhaushalt der Fließgewässer eine weitere Besonderheit: in einem nahezu regelmäßigen Zyklus werden große Mengen toten organischen Materials aus anderen Lebensräumen seines Einzugsgebietes eingetragen, z.B. die großen Mengen Fallaub im Herbst. Dieses allochthone Material ist neben den autochthonen Tier- und Pflanzenresten die Basis für das Leben der Destruenten.

Der größte Teil dieser Pflanzen- und Tierreste wird zunächst durch Tiere zerkleinert ('Zerkleinerer'). Beispielsweise skelettieren die erwachsenen Flohkrebse am Gewässergrund das Fallaub (besonders Erlenblättr). Die Krümel, die dabei abfallen, dringen in die Lücken des Sediments ein, wo sie von jungen Flohkrebsen verzehrt werden.

Da diese Tiere das aufgenommene Material nur sehr mangelhaft ausnutzen, sind auch ihre Exkremente noch eine gute Nahrung für Sediment- oder Detritusfresser.

Ein reiner Sedimentfresser ist z.B. der Schlammröhrenwurm (*Tubifex tubifex*). Mit seinem Vorderende im Schlamm vergraben, fördert er ständig große Mengen davon durch den Darm auf die Oberfläche. Die Ausnutzung der Nahrung bei der Passage des Darmes ist recht gering; im Durchschnitt werden 21% des organischen Kohlenstoffs und 34% des Gesamtstickstoffs assimiliert (nach Wachs 1967 in Schwoerbel 1980).

Die Exkremente dieser Detritusfresser bzw. auch die übrigen organischen Reste zerlegen schließlich die Mineralisierer unter den Destruenten, vor allem die Bakterien. Im Zusammenhang mit ihrer Stoffwechsellätigkeit entstehen schließlich die anorganischen Salze, welche dann im Kreislauf der Stoffe wieder von den Produzenten aufgenommen werden können.

Dies sind, kurz dargestellt, die Nahrungsbeziehungen in Fließgewässern. Im Grundsatz treffen sie auch für die Stillgewässer der Aue zu.

### 3.3. Die Verteilung der Organismen im Fließgewässer

#### 3.3.1. Die vertikale Verteilung

Die Fülle kleinerer und kleinster Teilräume, die der Unterwasserlebensraum bietet, kann von den Organismen dieser Nahrungsketten bzw. -netze sehr unterschiedlich besiedelt werden. Aufgrund spezieller Anpassungsformen (s.o.) bevorzugt die Mehrzahl dabei bestimmte Bereiche oder zeigt sogar eine ausgesprochene Bindung daran.

Der wichtigste Teillebensraum im Bereich der fließenden Welle ist die "Flußsohle" (Benthos). Zahllose Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen können hier trotz stärkster Strömungen ortsgebunden leben.

Die "Wasseroberfläche" kann nur bei vollständig ruhigem Wasser optimal genutzt werden, eine Situation, die sich in Fließgewässern allenfalls in Tümpeln, Altwässern oder stillen Buchten einstellt.

Eine bedeutendere Rolle spielt dann schon der "Freiwasserbereich". Zu seiner Lebensgemeinschaft gehören alle frei beweglichen Tiere, die von den äußeren Einflüssen in ihren Bewegungen kaum beeinträchtigt werden. Im wesentlichen sind dies die Fische. Da für sie in der fließenden Welle jedoch meist keine ausreichende Nahrungsbasis vorhanden ist, sind sie auf die Organismen der Sohle angewiesen.

Entscheidend für die Ausprägung und Zusammensetzung der jeweiligen Benthosbiozönose sind die Substratverhältnisse der Sohle. Bedingt durch die (oben dargestellten) abiotischen Faktoren, finden sich in den verschiedenen Abschnitten der Fließgewässer von der Quelle bis zur Mündung unterschiedliche Substrate. Aber nicht nur im Bereich der Sohle ändern sich die Lebensbedingungen, sondern insgesamt im Fließgewässer.

#### 3.3.2. Biozönotische Längsgliederung eines Flußlaufes

Deshalb beherbergt der gesamte Wasserkörper zwischen Quelle und Mündung recht unterschiedliche Lebensgemeinschaften. Erste Hinweise auf eine solche Längsgliederung lieferten fischereibiologische Erkenntnisse über das Vorkommen sogenannter "Leitfische" in verschiedenen Flußabschnitten. Nähere Untersuchungen der Begleit-Fauna bestätigten diese Vermutungen. Die Ergebnisse der Untersuchungen lieferten die "Biozönotische (Längs-) Gliederung" der Fließgewässer.

Unter den benthischen Gemeinschaften ist, in Bezug auf die Biomasse, die Tier-Lebensgemeinschaft des Fels- und Steinbereichs die wichtigste. Steinig ist der Untergrund der Fließgewässer vor allem im Oberlauf, stellenweise auch noch im Mittellauf.



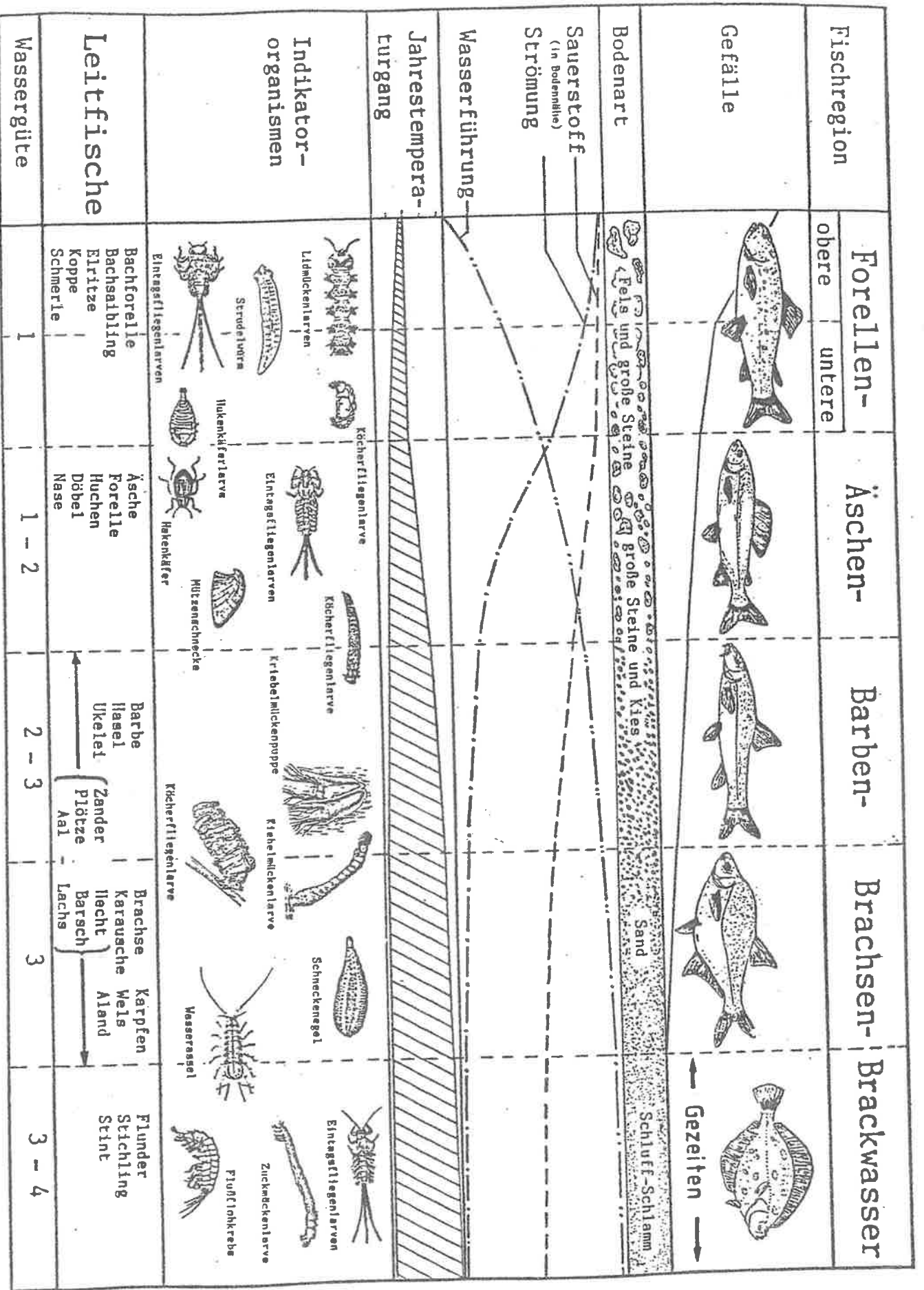


Abb. 33: Biotypisches Längsprofil eines Fließgewässers mit abiotischen Ökofaktoren (nach Klee 1985)

Die wesentlichsten Kennzeichen Fels- und Steinbereichs sind:

- hohe Beständigkeit des Sediments (= kaum Rollen der Steine),
- gute Durchströmung aufgrund hoher Fließgeschwindigkeit,
- großes Sauerstoffangebot,
- Nahrungsreichtum bei ausreichend vorhandenem Licht,
- schneller Abtransport der Exkremente.

Als Besiedler treten die speziell strömungsangepaßten Arten auf.

### 3.3.3. Biozönotisches Querprofil eines Flusses

Wie die folgende stark vereinfachte Darstellung zeigt, können aber auch im Querprofil eines Flußlaufes sehr unterschiedliche Bodenverhältnisse auftreten (siehe auch Abb. 13 und 14, S. 16). Dadurch ist es möglich, daß selbst auf engstem Raum nebeneinander sehr verschieden zusammengesetzte Lebensgemeinschaften zu finden sind.

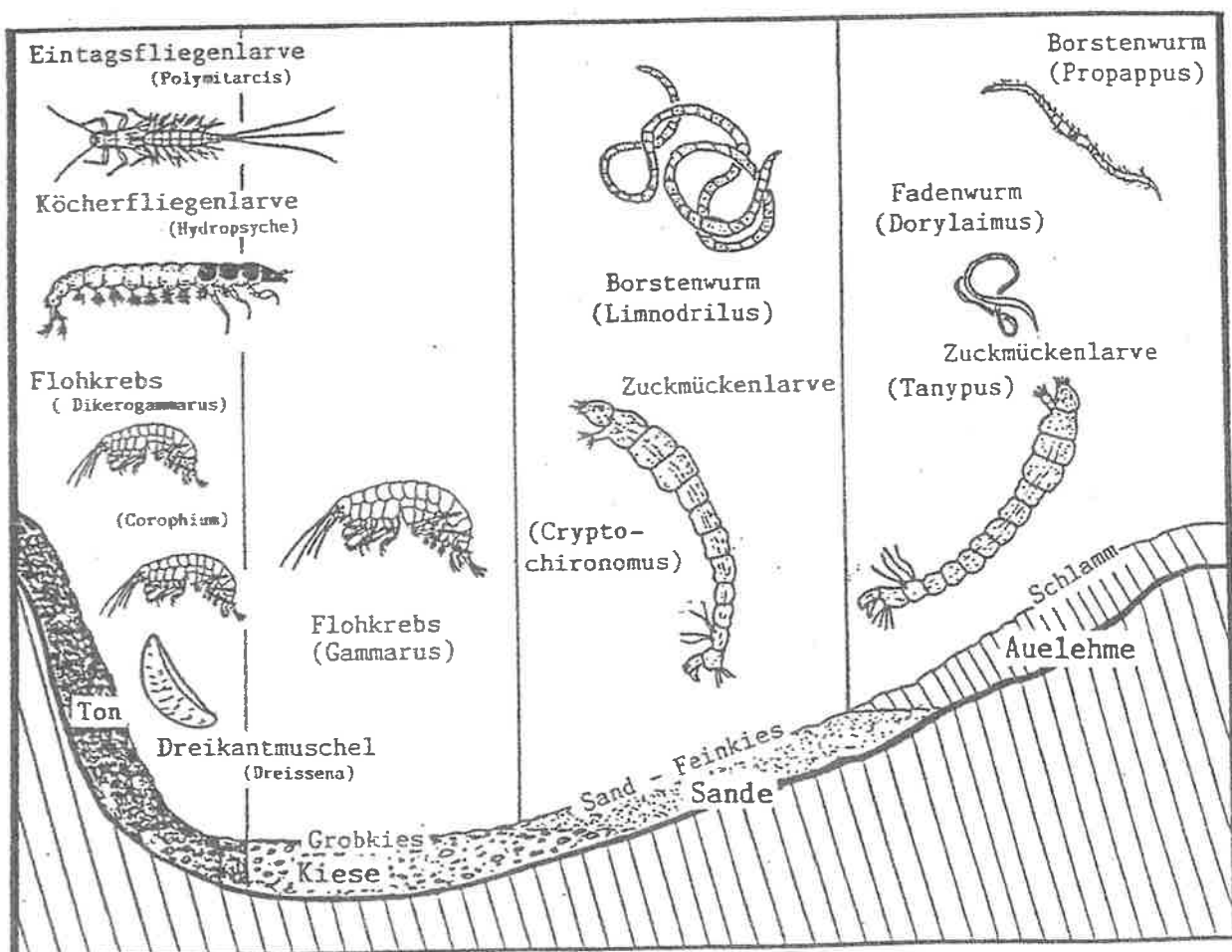


Abb. 34: Querprofil eines Flußunterlaufes mit einigen charakteristischen Arten (nach Niemeyer-Lüllwitz 1985)

### 3.4. Die Selbstreinigung im Ökosystem Fließgewässer

Der Stoffhaushalt der Gewässer wird, außer durch die Drift in der fließenden Welle, vor allem durch die Lebensaktivität von Produzenten, Konsumenten und Destruenten gesteuert. Abgestorbenes organisches Material wird in den Stoffwechselprozessen in einfache chemische Verbindungen zerlegt und schließlich mineralisiert. Als Endprodukte entstehen neben  $\text{CO}_2$ , vor allem Nitrate, Phosphate und Sulfate.

Organische "Abfälle" werden also beseitigt und die freigesetzten Mineralsalze von den Produzenten wieder aufgenommen. Diesen Vorgang bezeichnet man als "Selbstreinigung". Die durch die photoautotrophen Pflanzen ursprünglich von der Sonne aufgenommene Energie wird dabei wieder freigesetzt.

In einem "ortsfesten" Ökosystem schließt sich der Stoffkreislauf dadurch, daß die Mineralsalze am Ort ihrer Entstehung von den Produzenten aufgenommen und verwertet werden. Wenn Produktion, Konsum und Destruktion sich die Waage halten, stellt sich in einem intakten Ökosystem zwischen allen Beteiligten ein "Biologisches Gleichgewicht" ein. Überwiegt einer dieser Teilprozesse, ist das Gleichgewicht gestört und drängt zum Ausgleich.

Die Besonderheit der Fließgewässer ist nun, daß diese Mineralsalze nicht, oder nur zu geringen Teilen, am Ort ihrer Entstehung verwertet werden. Vielmehr werden sie flußabwärts verbraucht, oder sie reichern sich in einem nachfolgenden See oder letztlich im Meer an.

Erhöhte Zufuhr von organisch abbaubaren Stoffen (in der Naturlandschaft z.B. durch große Mengen von Fallaub, in der Kulturlandschaft durch Abwässer) verbessert die Nahrungsverhältnisse für die Destruenten und verändert damit das Gleichgewicht. Die Biozönose reagiert darauf mit einer Änderung ihrer Zusammensetzung.

Erfolgt in einem stehenden Gewässer ein solcher Schub organischen Abfalls nur über einen begrenzten Zeitraum, so lösen sich im Zuge der Selbstreinigung zeitlich aufeinanderfolgende Populationen verschiedener Organismen ab. Die Populationsdichte jeder Sukzessionsstufe wird jeweils bestimmt von der Nährstoffmenge und den Umsatzleistungen der vorausgehenden. Die eigentliche Abbauleistung erbringen dabei die Bakterien (Schwoerbel 1980). Dabei gibt es eine klare zeitliche Abfolge: in frischem Abwasser z.B. überwiegen zunächst kohlenhydratabbauende Bakterien, dann folgen eiweißzersetzende und, bei ausreichender Belüftung, zuletzt die nitrifizierenden Bakterien. Zeitlich erscheint das Maximum der bakterienfressenden Protozoen (z.B. Ciliaten) etwas später. Das Gleiche gilt für die sich daran anschließenden Glieder der Nahrungsketten bzw. des Nahrungsnetzes.

In Fließgewässern kann sich, bedingt durch die Strömung, an ein und demselben Ort eine solche zeitliche Populationssukzession nicht entwickeln. Vielmehr entsteht, wenn die Zufuhr der Abwässer über lange Zeit anhält, von dem Ort der Einleitung ausgehend eine "Selbstreinigungsstrecke".

Die folgende Abbildung zeigt anhand einiger charakteristischer Daten und ihrer Veränderungen die Dynamik dieser Selbstregulationsprozesse. Die Darstellung geht aus von einem Fließgewässerabschnitt mit geringem Nährstoffgehalt (oligosaprob), in den Abwasser eingeleitet wird.

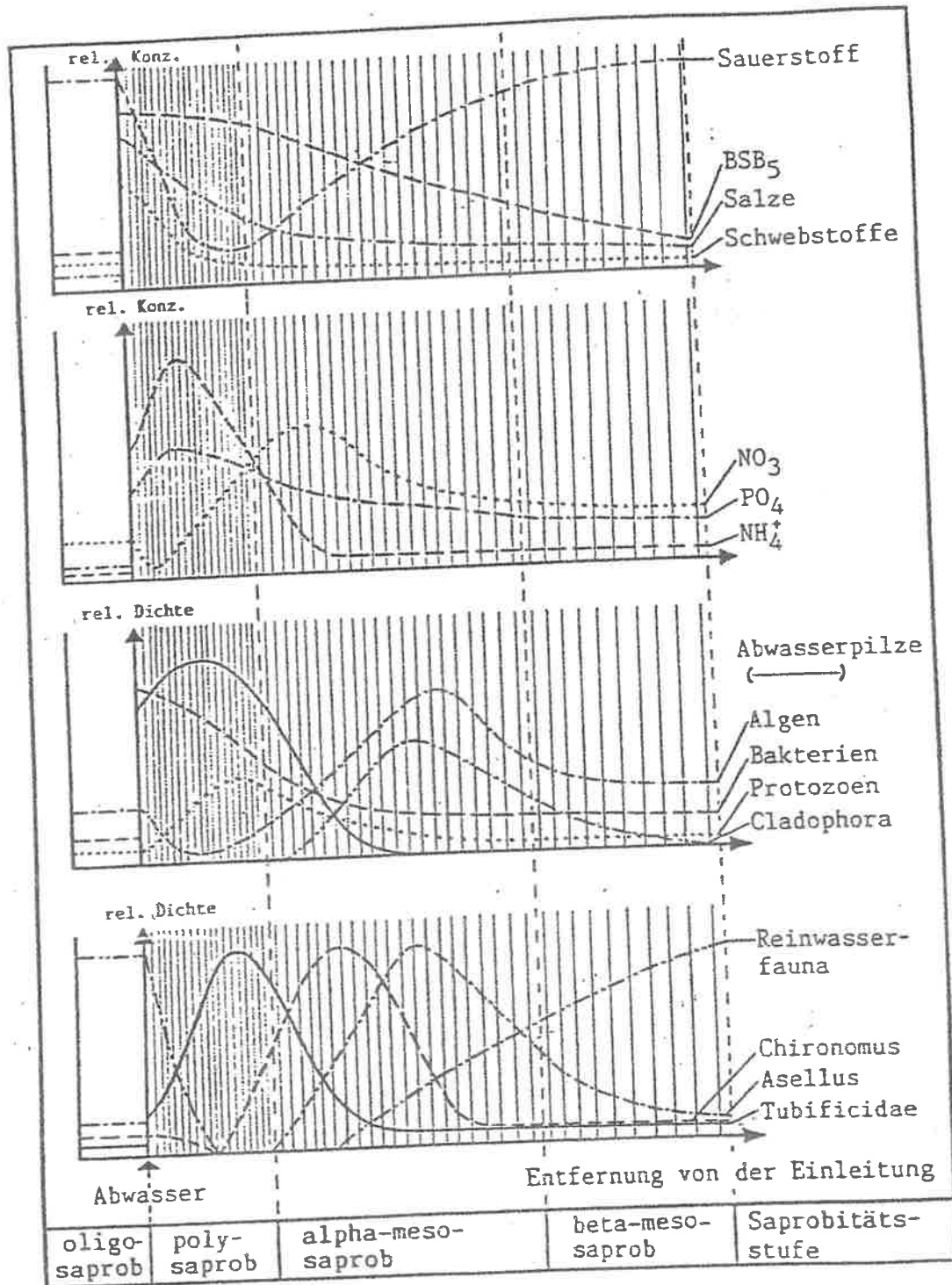


Abb.35: Physikalische, chemische und biologische Bedingungen in einem Flußlauf und ihre Änderungen nach der Einleitung von Abwasser (Selbstreinigungsstrecke) (nach Klein et al. 1982)

Folgende Verhältnisse sind für die einzelnen Abschnitte typisch:  
(siehe auch Abb. 22)

- Oligosaprobe Stufe (vor der Abwassereinleitung):
  - geringer Gehalt an organischem Substrat (Schwebstoffe)
  - geringer Gehalt an Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )
  - geringe Bakterien- und Schlammfresserentwicklung
  - mittlerer Besatz an grünen Pflanzen, Primär- und Sekundärkonsumenten
  - hoher Sauerstoffgehalt
- Abwassereinleitung ----
- polysaprobe Stufe:
  - hoher Gehalt an organischem Substrat und  $\text{NH}_4^+$
  - Massentwicklung von Bakterien und Bakterien- und Schlammfressern
  - Rückgang der grünen Pflanzen
  - hoher Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB) beim Abbau der organischen Verbindungen
  - sinkender Sauerstoffgehalt
- alpha-mesosaprobe Stufe:
  - Gehalt an organisch abbaubarem Substrat bereits stark vermindert
  - Zunahme der grünen Pflanzen
  - Erhöhung des Sauerstoffpotentials
  - Vermehrung der Populationsdichte der Bakterien- und Schlammfresser
  - verminderter Bakterienbesatz
- beta-mesosaprobe Stufe:
  - Stickstoffverbindungen werden oxidativ abgebaut
  - zunehmende Dichte der Populationen der Primär- und Sekundärkonsumenten
  - Verminderung der Populationsdichte der Bakterien- und Schlammfresser
  - Abnahme des biochemischen Sauerstoffbedarfs
  - Anstieg des Sauerstoffgehalts

Damit sind die Bedingungen der oligosaprobe Stufe wiederhergestellt.

Je artenreicher die Biozöosen sind und je weniger sie durch andere Belastungen bereits beeinträchtigt sind, um so größer ist die Selbstreinigungskraft eines Fließgewässers. Die Belastungen, die diese Fähigkeit zur Selbstreinigung mindern, können unterschiedlichster Natur sein. Ihr Spektrum reicht von übermäßiger Abwasserbelastung bis hin zu technischem Ausbau des Gewässerlaufes und Aufheizen des Gewässers mittels Abwärme.