

Wilfried Schönborn

Lehrbuch der **Limnologie**

Mit 316 Abbildungen und 65 Tabellen



**E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) · Stuttgart 2003**

Teil I. Theoretische Limnologie

(Grundlagen der Limnologie)

1.	Zur Geschichte der Limnologie	1
2.	Gliederung der Limnologie	7
3.	Die limnischen Lebensräume als Ökosysteme	8
4.	Der Wasserkreislauf	10
5.	Das Grundwasser	16
5.1.	Definition, Bildung des Grundwassers	16
5.2.	Struktur der Grundwasser-Räume	17
5.3.	Physik und Chemie.....	21
5.4.	Lebensbedingungen im Grundwasser.....	23
5.5.	Die Organismen des Grundwassers: ihre morphologischen, physiologischen und ökologischen Besonderheiten	24
5.6.	Herkunft der Grundwassertiere und die Zeit ihrer Einwanderung	31
5.7.	Stoffhaushalt und Energiefluß in Grundwasser- Ökosystemen	34
5.8.	Belastung des Grundwassers	36
6.	Die Quellen	39
6.1.	Definition, geologischer Aufbau und geohydrologische Klassifikation.....	39
6.2.	Physikalische und chemische Klassifikation	41
6.3.	Der Chemismus der Akratopegen.....	42
6.4.	Limnologische Klassifikation	45
6.5.	Lebensbedingungen der Quellen.....	46
6.6.	Die Organismen der Quellen	48
6.7.	Herkunft der Quellbewohner	51
6.8.	Anpassungen an die Quellbedingungen	51
6.9.	Stoffhaushalt und Energiefluß.....	53
6.10.	Thermalquellen	54
6.11.	Verbauung und Belastung, Renaturierung und Wiederbesiedlung	57
7.	Die Fließgewässer	63
7.1.	Definition, Besonderheiten des Ökosystems „Fließgewässer“	63
7.2.	Die Strukturbildung der Fließgewässer im geomorpho- logischen Prozeß	65
7.2.1.	Die ökologisch relevante Strukturbildung in den Fließgewässern	66

7.2.2.	Morphologie	76
7.3.	Wasserhaushalt.....	81
7.4.	Physikalische und chemische Faktoren.....	83
7.4.1.	Temperatur	83
7.4.2.	Strömung.....	85
7.4.3.	Licht.....	89
7.4.4.	Der primäre Chemismus der Fließgewässer (geogen und abflußabhängig)	90
7.5.	Biologie der Fließgewässer	91
7.5.1.	Biozönotische Längszonierung	91
7.5.2.	Querprofile.....	95
7.5.3.	Plankton.....	95
7.5.4.	Hyporheal	99
7.5.5.	Morphologische Anpassungen	105
7.5.6.	Verhalten als Anpassung	109
7.5.7.	Die tierischen Ernährungstypen und ihre Verteilung	110
7.5.8.	Die Instabilität der Habitate und die Besiedlungsdynamik....	113
7.5.9.	Organismische Drift und Gegenstrombewegung.....	121
7.5.10.	Temporäre Fließgewässer	124
7.5.11.	Die Wiederbesiedlungspfade der Fließgewässer nach Störungen	125
7.5.12.	Biologie der Flußmündungen	125
7.5.13.	Die Aue	129
7.6.	Stoffhaushalt der Fließgewässer.....	138
7.6.1.	Trophie und Saprobie	138
7.6.2.	Sauerstoffhaushalt	144
7.6.2.1.	Die atmosphärische Belüftung	144
7.6.2.2.	Die biogene Belüftung	145
7.6.2.3.	Die chemische Belüftung.....	146
7.6.2.4.	Der Sauerstoffverbrauch	146
7.6.2.5.	Die Sauerstoffbilanz.....	149
7.6.3.	Kohlenstoffhaushalt.....	149
7.6.4.	Stickstoffhaushalt	150
7.6.5.	Phosphorhaushalt.....	152
7.6.6.	Schwefelhaushalt	153
7.6.7.	Transport und Retention gelöster und partikulärer Stoffe	154
7.6.8.	Der Einfluß organischer Abwässer auf die Organismen	156
7.6.9.	Natürliche Belastungen	161
7.7.	Produktionsbiologie der Fließgewässer	168
7.7.1.	Primärproduktion (PP).....	168
7.7.2.	Sekundärproduktion (SP).....	170
7.7.3.	Stoffkreislauf und Energiefluß	171
7.8.	Allgemeine Aspekte der Fließgewässerbiologie und Zusammenfassung	176
7.8.1.	River Continuum Concept (RCC).....	176

VIII Inhaltsverzeichnis

7.8.2.	Die Einheit des Fließgewässer-Ökosystems.....	178
7.8.3.	Zusammenfassung über die Funktionen der Fließgewässer im globalen Wasser- und Stoffhaushalt.....	180
8.	Die Standgewässer.....	181
8.1.	Seen.....	182
8.1.1.	Definition, allgemeine Charakterisierung.....	182
8.1.2.	Entstehung der Seen.....	182
8.1.2.1.	Seen vulkanischen Ursprungs.....	183
8.1.2.2.	Seen tektonischen Ursprungs.....	183
8.1.2.3.	Dammseen.....	185
8.1.2.4.	Seen glazialen Ursprungs.....	186
8.1.2.5.	Karstseen.....	188
8.1.2.6.	Besondere Entstehungsweisen von Seen.....	188
8.1.3.	Morphometrie.....	190
8.1.4.	Wasserhaushalt.....	192
8.1.5.	Geomorphologisch-ökosystemare Relation.....	194
8.1.6.	Das Einzugsgebiet der Seen.....	196
8.1.7.	Die Verbreitung der Seen.....	197
8.1.8.	Seenalterung und Aufbau der Seen.....	198
8.1.9.	Physikalische und chemische Faktoren.....	202
8.1.9.1.	Temperatur und Wasserzirkulation.....	202
8.1.9.2.	Wasserbewegungen.....	208
8.1.9.3.	Licht (Strahlungsklima).....	213
8.1.9.4.	Sauerstoff und Kohlendioxid.....	216
8.1.9.5.	Andere Gase im Gewässer.....	220
8.1.9.6.	Kreisläufe der Elemente Stickstoff, Phosphor und Schwefel ..	223
8.1.9.6.1.	Stickstoff.....	224
8.1.9.6.2.	Phosphor.....	224
8.1.9.6.3.	Schwefel.....	227
8.1.9.7.	Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium und ihre Salze.....	230
8.1.9.8.	Eisen und Mangan.....	231
8.1.9.9.	Silizium.....	232
8.1.9.10.	Organische Stoffe.....	233
8.1.10.	Lebensgemeinschaft des Pelagials.....	237
8.1.10.1.	Die Organismen und ihre Anpassungen.....	237
8.1.10.2.	Die Vertikalwanderung.....	244
8.1.10.3.	Phytoplankton.....	246
8.1.10.3.1.	Wichtige Phytoplanktongruppen.....	246
8.1.10.3.2.	Nährstoffe.....	246
8.1.10.3.3.	Photosynthese und Primärproduktion des Phytoplanktons...	251
8.1.10.3.4.	Das Phytoplankton im Zusammenhang mit der pelagischen Umgebung.....	257
8.1.10.4.	Bakterio- und Mykoplankton (mit Ausnahme Cyanobacteria).....	258

8.1.10.5.	Zooplankton	262
8.1.10.5.1.	Wichtige Zooplanktongruppen.....	262
8.1.10.5.2.	Ernährung	264
8.1.10.5.3.	Produktion	268
8.1.10.6.	Fische.....	271
8.1.10.6.1.	Einteilung der Seen nach Leitfischen.....	271
8.1.10.6.2.	Ernährung	272
8.1.10.6.3.	Produktion	273
8.1.10.7.	Piscivore Vögel	274
8.1.10.8.	Piscivore Säugetiere.....	275
8.1.10.9.	Die biozönotischen Beziehungen im Pelagial	275
8.1.10.10.	Die Beziehungen zwischen Pelagial und Benthos.....	283
8.1.11.	Lebensgemeinschaften des Benthals.....	289
8.1.11.1.	Litoral.....	289
8.1.11.1.1.	Litoraler Pflanzengürtel.....	289
8.1.11.1.2.	Algenaufwuchs.....	293
8.1.11.1.3.	Nährstoffhaushalt und Primärproduktion im Litoral	297
8.1.11.1.4.	Bakterien	301
8.1.11.1.5.	Zoobenthos	302
8.1.11.1.6.	Das Litoral als übergeordneter Lebensraum	309
8.1.11.2.	Profundal	314
8.1.11.2.1.	Allgemeine Lebensbedingungen	314
8.1.11.2.2.	Bakterien	319
8.1.11.2.3.	Zoobenthos	319
8.1.11.2.4.	Die Bedeutung des Profundals in der klassischen Limnologie	324
8.1.12.	Paläolimnologie der Seen	326
8.2.	Flachseen und Weiher	334
8.2.1.	Allgemeine Charakteristik	334
8.2.2.	Einige abiotische Faktoren	335
8.2.3.	Plankton und Makrophyten	337
8.2.4.	Produktion	338
8.2.5.	Typische Besiedler von Flachgewässern	338
8.2.6.	Sölle.....	339
8.3.	Moore.....	340
8.3.1.	Einführung	340
8.3.2.	Entstehung und Charakterisierung der Moore	340
8.3.3.	Moortypen.....	342
8.3.4.	Flora und Fauna der Moore	345
8.3.5.	Alter der Moore.....	347
8.3.6.	Bedeutung der Moore für den Wasserhaushalt	348
8.3.7.	Nutzung und Schutz der Moore.....	348
8.4.	Kleingewässer.....	350
8.4.1.	Einführung	350
8.4.2.	Tümpel	351

X Inhaltsverzeichnis

8.4.3.	Pfützen.....	358
8.4.4.	Phytoelmen.....	359
8.4.5.	Lithotelmen.....	362
8.4.6.	Die Bedeutung der Culiciden (Stechmücken) in Kleingewässern.....	363
8.5.	Organismen des Schnees und der Gletscher.....	365
8.5.1.	Kryoflora	365
8.5.2.	Kryofauna und ökosystemare Beziehungen.....	365
9.	Geographie der Gewässer und die Verbreitung limnischer Organismen	367
9.1.	Einführung	367
9.2.	Fließgewässer.....	368
9.3.	Seen.....	371
9.4.	Geographische Aspekte der Verbreitung limnischer Organismen	376
9.5.	Neophyten und Neozoen.....	378
10.	Abwehrreaktionen der Gewässer gegen äußere Einflüsse.....	379

Teil II. Angewandte Limnologie

1.	Ziele der Angewandten Limnologie.....	383
2.	Die anthropogen bedingte Belastung der Gewässer mit organischen Abfällen und Pflanzennährstoffen sowie ihre Indikation	386
3.	Herkunft und Reinigung des Abwassers	401
3.1.	Wasserentnahme	401
3.2.	Wasseraufbereitung.....	404
3.3.	Wassertransport zu den Nutzern.....	407
3.4.	Die Nutzung des Wassers und die Charakterisierung des Abwassers	408
3.5.	Transport des Abwassers zur Kläranlage.....	410
3.6.	Die technischen Kläranlagen	411
3.6.1.	Die mechanische Reinigungsstufe.....	411
3.6.2.	Die biologische Reinigungsstufe	412
3.6.2.1.	Belebtschlammanlage	412
3.6.2.2.	Tropfkörperanlagen	416
3.6.2.3.	Vergleich zwischen Belebtschlamm- und Tropfkörper- verfahren.....	418
3.6.3.	Die dritte Reinigungsstufe	419
3.6.3.1.	Stickstoffeliminierung	419

3.6.3.2.	Phosphateliminierung	419
3.6.4.	Die Schlammbehandlung	421
3.7.	Naturnahe Kläranlagen und -verfahren.....	424
4.	Biologie der anorganischen und toxischen anthropogenen Belastungen der Gewässer	428
4.1.	Schwermetalle.....	429
4.2.	Synthetische Wasch- und Spülmittel (Detergentien)	433
4.3.	Pestizide.....	434
4.4.	Versauerung	441
4.5.	Radioaktivität	444
4.6.	Versalzung.....	446
4.7.	Häufige Xenobiotika in den Gewässern (ausgenommen Pestizide und Detergentien)	451
4.8.	Thermische Belastungen.....	454
4.9.	Biotestverfahren	457
5.	Grenzwerte und Monitoring	462
6.	Wiederherstellung geschädigter Gewässer (Gewässertherapie)	467
6.1.	Nutzung, Ausbau und Renaturierung von Fließgewässern einschließlich ihrer Auen	467
6.1.1.	Nutzung und Ausbau der Fließgewässer	468
6.1.2.	Naturnaher und ingenieurbioologischer Flußbau.....	478
6.1.3.	Renaturierungsmaßnahmen	481
6.1.4.	Renaturierungsmaßnahmen in der Aue	486
6.2.	Restaurierung von Seen, einschließlich Sanierung der Einzugsgebiete	489
6.2.1.	Therapieansätze bei Seen	489
6.2.2.	Reaktionsverzögerung von See-Ökosystemen bei Nährstoffdrosselung	489
6.2.3.	Die wichtigsten Restaurierungsmaßnahmen	490
6.2.4.	Die Sanierung der Einzugsgebiete	495
6.2.5.	Kalkung versauerter Gewässer	496
6.2.6.	Renaturierung geschädigter Ufer und Schilfbestände.....	496
7.	Künstliche Seen	498
7.1.	Talsperren (Stauseen, engl. reservoirs, dams).....	498
7.1.1.	Zur Geschichte der Talsperren	499
7.1.2.	Unterschiede zum natürlichen See.....	499
7.1.3.	Aufgaben und Bewirtschaftung der Talsperren	500
7.1.4.	Aufbau von Talsperren.....	500
7.1.5.	Erzeugung von Elektrizität durch Talsperren	504
7.1.6.	Hochwasserschutz	504
7.1.7.	Schichtung und Einschichtung in Talsperren	506

XII Inhaltsverzeichnis

7.1.8.	Sedimentation.....	506
7.1.9.	Stoffhaushalt und Klärfunktion von Talsperren.....	508
7.1.10.	Biologie der Stauseen.....	510
7.1.11.	Zur Limnologie des Fließgewässers unterhalb der Sperrmauer.....	511
7.1.12	Nutzung der Reinigungsleistung von Talsperren.....	513
7.1.13	Restaurierung von Talsperren.....	514
7.1.14	Vor- und Nachteile von Stauseen.....	515
7.2.	Baggerseen.....	515
7.3.	Bergbaurestseen.....	516
8.	Voraussage des Trophiegrades, der Wassergüte und des Verhaltens von Kompartimenten limnischer Ökosysteme.....	519
8.1.	Chlorophyllgehalt und Nährstoffkonzentration.....	520
8.2.	Voraussage der Trophie von Stauseen.....	520
8.3.	Voraussage des Sauerstoffgehaltes.....	522
8.4.	Voraussage des Verhaltens von Ökosystem- Kompartimenten.....	524
	Literaturverzeichnis.....	527
	Sachregister.....	568
	Organismenregister.....	581