©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ERGEBNISSE VON MIKROBIOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN AN BAGGERSEEN UND DEM BENACHBARTEN GRUNDWASSER IM OBERRHEINTAL

Robert Ritter

Summary:

Microbiological investigations were carried out in gravelponds and their surrounding groundwaters of the upper Rhine valley in order to determine their hygienic qualities and the possible microbiological material transformation. - Through the study on 176 ponds during the bathing season in the period of 10 years, it was found that only about 3% of these ponds exceeded the bacterial limits of the EEC-Standards. In an experimental gravel-pond "Testsee" which had no bathing or dredging activities, the maximal number of coliforms in summer was found to be about 100 (total-coliforms) and 50 (faecal-coliforms) per 100 ml water; heavy rains increased their numbers 8 folds through surface runoff from neigbouring agriculture land. - Bacterial physiological groups (heterotrophic bacteria, ammonifiers, denitrifiers and phosphataseactive bacteria) were found to correlate with their respective products of activity (i.e. CO_2, DOC, NH_4-N) as well as chlorophyll a. In the downstream direction of groundwater flow the cell numbers of these physiological groups decrease to lowest numbers within 3 meters from the lake shore, further from the lake these numbers increase again with exception of denitrifiers. - In 6 regularily studied gravel-ponds bacterial numbers in the downstream groundwater were lower than those in pond water.

1. Einleitung

Durch Kiesabbau werden die Deckschichten des Grundwassers abgetragen und die Grundwasseroberfläche freigelegt. In den so entstandenen Baggerseen ist das Grundwasser praktisch ungeschützt allen möglichen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Zur Untersuchung und Überwachung dieser insbesondere antrophogenen Einflüsse kann die bakteriologische Untersuchung einen wesentlichen Beitrag leisten. Im Hinblick auf Baggerseen und das sie umgebende Grundwasser ergibt sich daraus die folgende Problemstellung:

1. Die Erfassung der hygienisch-bakteriologischen Gewässerqualität,
2. die Beurteilung von mikrobiologisch bedingten Stoffumwandlungen.

Die bakteriologischen Untersuchungen wurden mit der Membranfiltermethode durchgeführt, bei einigen Parametern, wie z.B. der Denitrifikation, wurde auch die MPN-Methode benutzt. Einzelheiten zur Arbeitsmethodik finden sich z.B. bei DAUBNER u. PETER (1974), DAUBNER u. RITTER (1972), RITTER (1974, 1974a - sowie noch unpublizierte Methoden, insbesondere zur Entnahme von bakteriologischen Grundwasserproben, (zur Veröffentlichung in Vorbereitung).

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

2. Die hygienisch-bakteriologische Frage

Die Wasserhygiene spielt vor allem dort eine Rolle, wo das Wasser z.B. als Trink- oder Badewasser in unmittelbarem Kontakt mit dem Menschen steht. Von Badegewässern beurteilt man die hygienisch-bakteriologische Qualität u.a. durch den Nachweis von sogenannten coliformen Bakterien. Es handelt sich dabei um im allgemeinen harmlose Darmbakterien von Warmblütern aus der Familie der Enterobacteriaceae. Diese können z.B. durch direkte Kontakte mit Badenden in Baggerseen gelangen oder durch Einleitung bzw. Einsickerung von Abwässern; die Einschwemmung von Keimen aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten ist ebenso denkbar wie der Eintrag durch Wasservögel. Im Biotop "Wasser" finden sie als thermophile Darmbakterien ungünstige Lebensbedingungen vor und werden dort in Wachstum und Vermehrung gehemmt. Trotzdem ist der Nachweis coliformer Bakterien wichtig, weil ihre Gegenwart wahrscheinlich macht, daß gleichzeitig auch Krankheitserreger anwesend sein können. Sie werden dadurch zu den sogenannten Fäkalindikatoren der hygienischen Wasserqualität. Für die quantitative Gewässerbeurteilung mit diesen Keimen wurden entsprechende Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft über die Badewasserqualität festgelegt (GEMEINSAMES AMTSBLATT usw., 1978). Daraus sind in Tabelle 1 auszugsweise zwei bakteriologische Parameter, die gesamtcoliformen und fäkalcoliformen Bakterien, dargestellt und kommentiert. - Literatur zu der hygienisch-bakteriologischen Frage: ALTHAUS u. BEWIG (1975), CARLSON (1966), FRESENIUS (1971), HAMM (1975), KOHL (1969), LENTZE (1957), WACHS (1975, 1976).

Tabelle 1: Schema zur Beurteilung der Qualität von Badegewässern nach den EG-Richtlinien (1978): Auszug mit Erläuterungen

Bakterientyp in 100 ml	Bewertung	
	Leitwert (L)	Grenzwert (G)
Gesamtcoliforme Bakterien (= GC)	500	10.000
Fäkalcoliforme Bakterien (= FC)	100	2.000

Erläuterungen zu: L Einhaltung ist anzustreben,
G Einhaltung ist zwingend,
L bis G zulässige Bereiche

Hauptmerkmale der Bakterien gehören zur Familie der Enterobacteriaceae, vergären Lactose bei 37°C (= GC) bzw. 44°C (= FC), zeigen negativen Oxidasetest

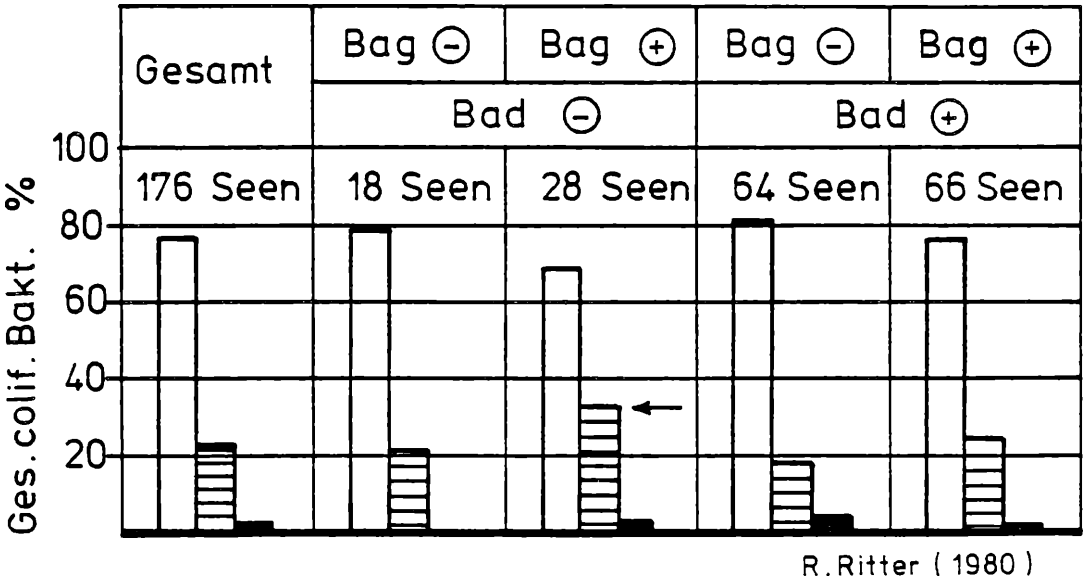
R Ritter (1980)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

2.1 Ergebnisse von hygienisch-bakteriologischen Untersuchungen an Baggerseen

Um einen Überblick über die hygienische Qualität von Baggerseen in der Oberrheinebene zu gewinnen, wurden 176 Baggerseen mehrmals zwischen 1968 und 1978 in den Sommermonaten auf ihren Gehalt an coliformen Keimen untersucht. Da diese Seen auch unterschiedlich, d.h. zum Beispiel mit oder ohne Bagger- und Badebetrieb genutzt wurden, war es außerdem möglich, ihre hygienische Wasserqualität im Hinblick auf die Nutzungsart zu beurteilen. In Abbildung 1 werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen mit den gesamtcoliformen Bakterien als Parameter in einer Bilanz aufgezeigt. Ergänzend sei dazu bemerkt, daß in dieser und den meisten der folgenden Abbildungen auf die zusätzliche Darstellung weiterer fäkaler Indikatorbakterien wie z.B. fäkalcoliforme Bakterien und fäkale Streptokokken verzichtet werden konnte, da diese sich ähnlich verhielten. Abbildung 1 zeigt, daß über 75 % der untersuchten Baggerseen eine sehr gute Wasserqualität aufweisen, da ihre Coliformenzahlen die Leitwerte der genannten Richtlinien unterschreiten; bei ca. 20 % der Seen liegen die Keimzahlen zwischen Leit- und Grenzwert und damit noch im zulässigen Bereich; nur in etwa 3 % der Fälle wird der Grenzwert überschritten.

Abb. 1: Bewertung der Badegewässerqualität von 176 untersuchten Baggerseen nach den EG-Richtlinien: Bilanz von Untersuchungen mit gesamtcoliformen Bakterien zwischen 1968 und 1978



Anzahl der jeweils untersuchten Proben = 100 % ges. colif. Bakt./100 ml

500 (Leitwert)

501 10 000

10 000 (Grenzwert)

Bag. Nutzung durch Baggerbetrieb (+/-)
Bad. Nutzung durch Badebetrieb (+/-)

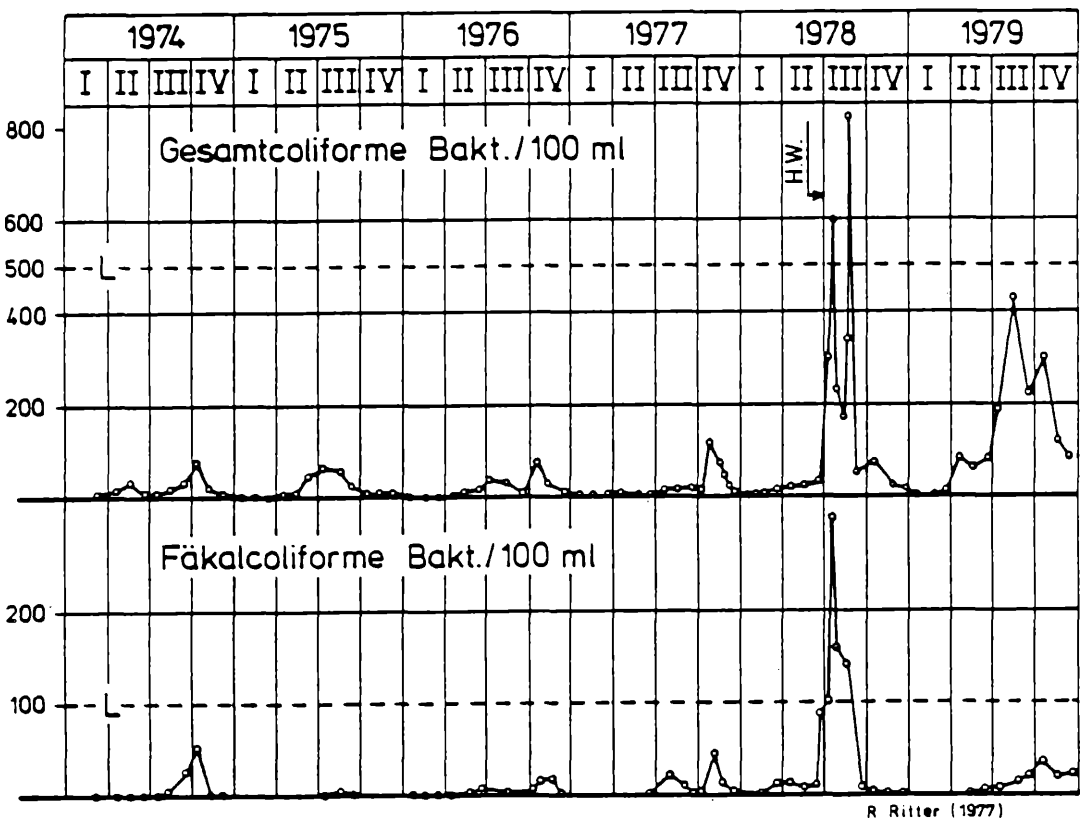
©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Im Hinblick auf eine mögliche Beeinflussung der Wasserqualität durch die Art, wie die untersuchten Baggerseen genutzt werden, ergibt sich aus Abbildung 1 folgendes: Baggerbetrieb führt in unbebadeten Seen zu einer Erhöhung der Coliformenzahl um ca. 10 % (in Abbildung 1 durch " ← " gekennzeichnet). Dies hängt möglicherweise mit der Adsorptionsfähigkeit von Partikeln auf Bakterien zusammen (JANNASCH u. PRITCHARD 1972). Da diese Zunahme der Bakterienzahlen um ca. 10 % die Zahl der grenzwertüberschreitenden Fälle in der Bilanz nicht erhöht, ergibt sich daraus, daß Baggerbetrieb auf die hygienisch-bakteriologische Gewässerqualität praktisch keinen Einfluß ausübt. Auf bebadete Seen wirkt sich die Kiesbaggerung nur geringfügig erhöhend um wenige Prozent aus.

Diese Aussagen dürfen jedoch keinesfalls verallgemeinert werden, solange nicht entsprechende Untersuchungen dies bestätigt haben.

Um neben der beschriebenen Bilanzierung auch detailliertere Einblicke in den Konzentrationsverlauf dieser Bakterien zu erhalten, wurde in Abbildung 2 der Verlauf der Keimzahlen von gesamt- und fäkalcoliformen Bakterien zwischen 1974 und 1979 im sog. "Testsee" dargestellt; dieser ist ein von anthropogenen Einflüssen durch entsprechende Maßnahmen weitgehend "abgeschirmter" Baggersee, über den von anderen Autoren bereits ausführlich in anderem Zusammenhang berichtet wurde.

Abb. 2: Gesamtcoliforme und fäkalcoliforme Bakterien im Oberflächenwasser des "Testsees": Untersuchungszeitraum 1974 - 1979



L: Leitwert der EG-Richtlinien zur Beurteilung der Qualität von Badegewässern (1978)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Es ergibt sich aus Abbildung 2, daß fäkale Indikatorbakterien in einem solchen Baggersee wie dem Testsee in nennenswerten Mengen überhaupt auftreten können und ferner, daß Keimzahlschwankungen mit Maxima im Sommer erscheinen, wie es auch bei Badeseen der Fall ist. Die im Testsee beobachteten Keimzahlen liegen jedoch weit unter den entsprechenden Leitwerten der EG-Richtlinien (in Abb. 2 durch "L" gekennzeichnet) und stellen somit die normale "Belastung" eines ungenutzten Baggersees mit Fäkalkeimen dar. Diese wurden sehr wahrscheinlich aus den landwirtschaftlich genutzten Gebieten der Umgebung durch Niederschläge eingeschwemmt. Auf eine solche Ursache weist auch der in Abbildung 2 in der Jahresmitte von 1978 zu beobachtende starke Anstieg der Coliformenzahlen hin, der eindeutig mit sehr intensiven und über mehrere Wochen anhaltenden Regenfällen in dieser Zeit in Verbindung steht (in Abb. 2 mit "HW" (= Hochwasser) gekennzeichnet).

In den folgenden Kapiteln wird neben Baggerseeuntersuchungen auch über Ergebnisse von bakteriologischen Untersuchungen des Grundwassers berichtet: es wird deshalb ein weiterer, bei Grundwasseruntersuchungen üblicher Parameter, die Koloniezahl, benutzt, deren Nachweis Hinweise auf die Anwesenheit von abbaubaren organischen Stoffen im Wasser gibt.

2.2 Ergebnisse von hygienisch-bakteriologischen Untersuchungen an Baggerseen und dem benachbarten Grundwasser

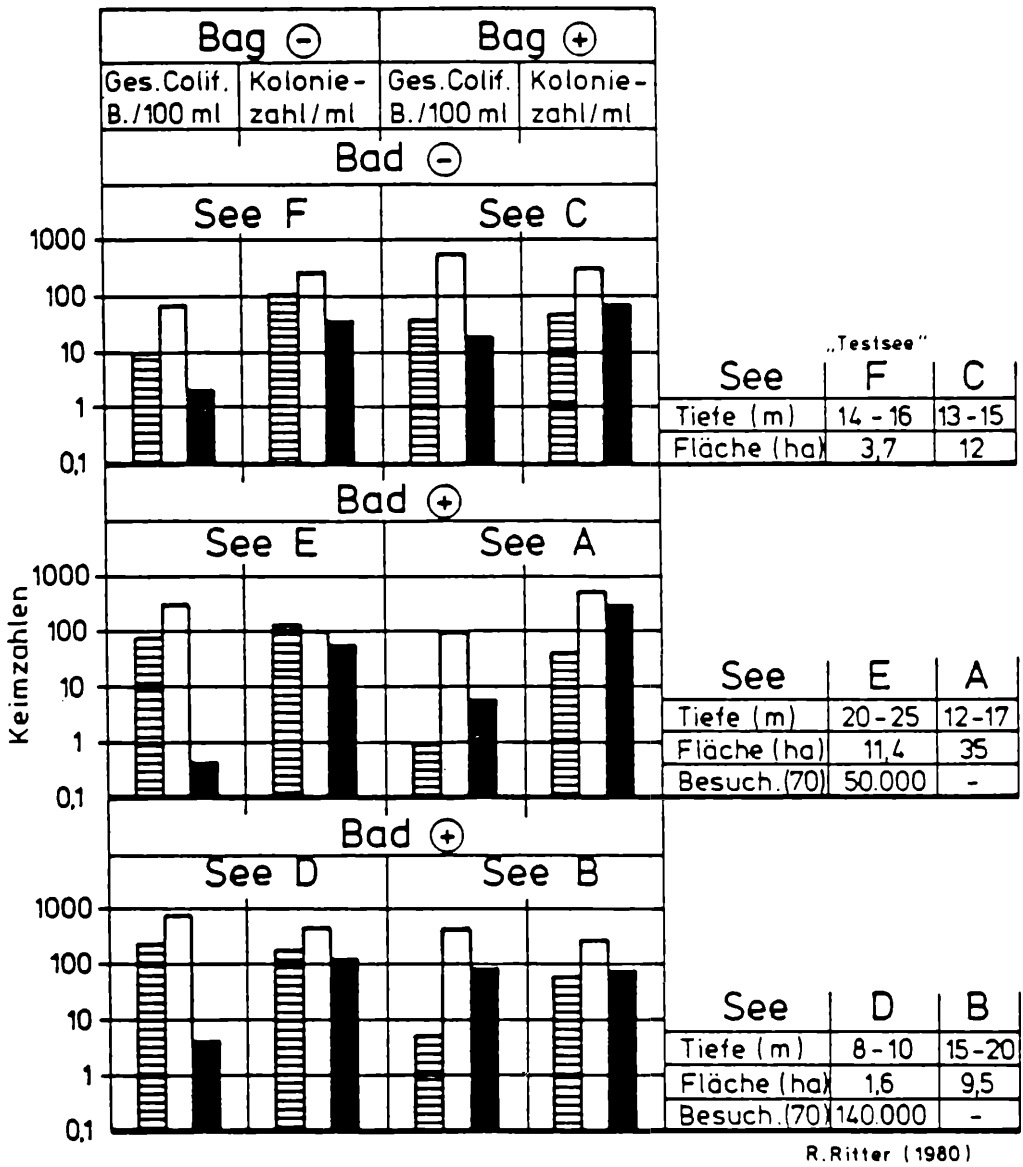
In Abbildung 3 werden die mittleren Keimzahlen von 6 Baggerseen, die innerhalb von 10 Jahren untersucht wurden, mit dem Bakteriengehalt ihres umgebenden Grundwassers verglichen. Angaben zur Nutzung dieser Seen im Hinblick auf Bagger- und/oder Badebetrieb sind ebenfalls aufgeführt. Es zeigt sich, daß die Keimzahlen des oberstromigen Grundwassers erheblich variieren. Diese Beobachtung ist wahrscheinlich mit der vorwiegend landwirtschaftlichen Nutzung dieser Gegend in Verbindung zu bringen, wie sie schon für Oberflächenwasser beim Testsee (Abb. 2) nachgewiesen werden konnte. Bekanntlich sind die sandigen Deckschichten des Grundwasserleiters im Oberrheintal verhältnismäßig leicht durchlässig für die Infiltration von Oberflächenwasser. Diese Keimzahlen des oberstromigen Grundwassers lassen keinen direkten Zusamenhang mit den jeweiligen benachbarten Seen erkennen, d.h. es müssen nicht alle Seen, die z.B. aus Grundwasser mit hohem Keimgehalt gespeist werden, ebenfalls entsprechend hohe Keimzahlen aufweisen.

Das unterstromige Grundwasser zeigt dagegen in Abbildung 3 bei allen untersuchten Seen einen einheitlichen Trend: seine Keimzahlen sind durchschnittlich niedriger als in den Seen und zwar nehmen die coliformen Bakterien stärker ab als die Koloniezahl. Daraus folgt, daß das ausfließende Grundwasser einer Selbstreinigung unterliegt (MATTHESS 1973, REHSE 1977, WROBEL 1979). Baggerbetrieb beeinflußt die Koloniezahl des ausfließenden Grundwassers praktisch nicht, erhöht aber die Zahl der "transportierten" coliformen Bakterien etwa um den Faktor 10; dies zeigt ein Vergleich zwischen den Seen "F" und "C", zwischen "E" und "A" sowie "D" und "B".

Die Auswirkungen des Badebetriebes sind dagegen nicht einheitlich, da die Coliformenzahlen in Abbildung 3 im Vergleich zu See "F" teils niedriger (See "E"), teils etwas höher liegen (See "D"). Es besteht vielleicht ein Zusammenhang zwischen den Größenverhältnissen dieser Badeseen und den Besucherzahlen:

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 3: Gesamtcoliforme Bakterien und Koloniezahl in 6 Baggerseen und dem benachbarten Grundwasser: Mittelwerte des Untersuchungszeitraumes 1968 - 1978



Keimzahlen im

oberstromigen Grundwasser

Baggerseewasser

unterstromigen Grundwasser

Bag. Nutzung durch Baggerbetrieb (+/-)
Bad. : Nutzung durch Badebetrieb (+/-)
See F ("Testsee") : Untersuchungspegel S3 und N3

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

im See "E" mit 11,4 ha und 2,5 Mio. m^3 badeten 1970 ca. 50 000 Badegäste, im See "D" mit 1,6 ha und "nur" 0,2 Mio. m^3 dagegen etwa 140 000. Weitergehende Aussagen, wie z.B. verfügbares Wasservolumen pro Badegast u.ä. kann man aus diesen Daten nicht ableiten, weil sich beide Seen außerdem in der Ausbildung ihrer Uferregionen unterscheiden: der größere See "E" mit besserer Wasserqualität besitzt ein relativ flaches, durch Grasbewuchs verfestigtes Ufer; See "D" mit geringerem Seevolumen und größerer Besucherzahl hat eine stärker geneigte, unbewachsene Uferböschung aus losem Sand, der durch Badende in den See eingeschleppt werden kann und der dadurch eine zusätzliche hygienische Verschlechterung erfährt. Die Beispiele der Seen "E" und "D" zeigen, daß neben Flächenausdehnung, Tiefe und Besucherzahl eines Badesees die Wasserqualität auch durch die Ausgestaltung der Ufer beeinflußt werden kann.

Umfangreichere bakteriologische Untersuchungen von See- und benachbartem Grundwasser konnten am Testsee durchgeführt werden, weil dieser mit einer Reihe von Grundwasseruntersuchungspegeln im oberstromigen und unterstromigen Bereich ausgestattet ist. In Abbildung 4 werden Coliformenzahlen und die Koloniezahl von vier oberstromigen Pegeln (S1 S4) sowie von fünf Pegeln (N1 - N5) im Unterstrom zu den entsprechenden Keimzahlen des Seewassers in Beziehung gesetzt. Die Darstellung beruht auf Mittelwerten sowie den Maxima und Minima aus Untersuchungen zwischen 1974 - 1979.

Abbildung 4 zeigt zunächst, daß die Keimzahlen im oberstromigen und unterstromigen Grundwasser auf der beobachteten Fließstrecke beträchtlich variieren, jedoch unterhalb der Werte des Sees bleiben. Größeres Interesse beansprucht das austretende Wasser: bereits nach 3 m Fließstrekke (Pegel N1) sind die Keimzahlen um über 95 % (coliforme Bakterien) bzw. ca. 80 % (Koloniezahl) im Vergleich zum Seewasser vermindert. Diese Beobachtung steht wie bereits in Abbildung 3 erläutert in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von anderen untersuchten Baggerseen, unabhängig von deren Nutzung. Mit zunehmender Entfernung der Fließstrecke vom See steigen die Keimzahlen allmählich wieder an, die coliformen Bakterien etwas weniger als die Koloniezahl.

Diese Zunahme der Keimzahlen im Grundwasser steht in überhaupt keinem Zusammenhang mit dem Seewasser, weil das Gefälle des dortigen Grundwassers so gering ist, daß es zum Durchfließen der Strecke zwischen dem nördlichen Seeufer und Pegel N5 (= 40 m) ca. 200 Tage benötigen würde. Auf die möglichen Ursachen dieses Keimanstieges durch landwirtschaftliche Nutzung im Zusammenhang mit relativ durchlässigen Deckschichten (BOSSET 1966) und hohem Grundwasserstand wurde bereits in den Erläuterungen zu Abbildung 2 und 3 hingewiesen.

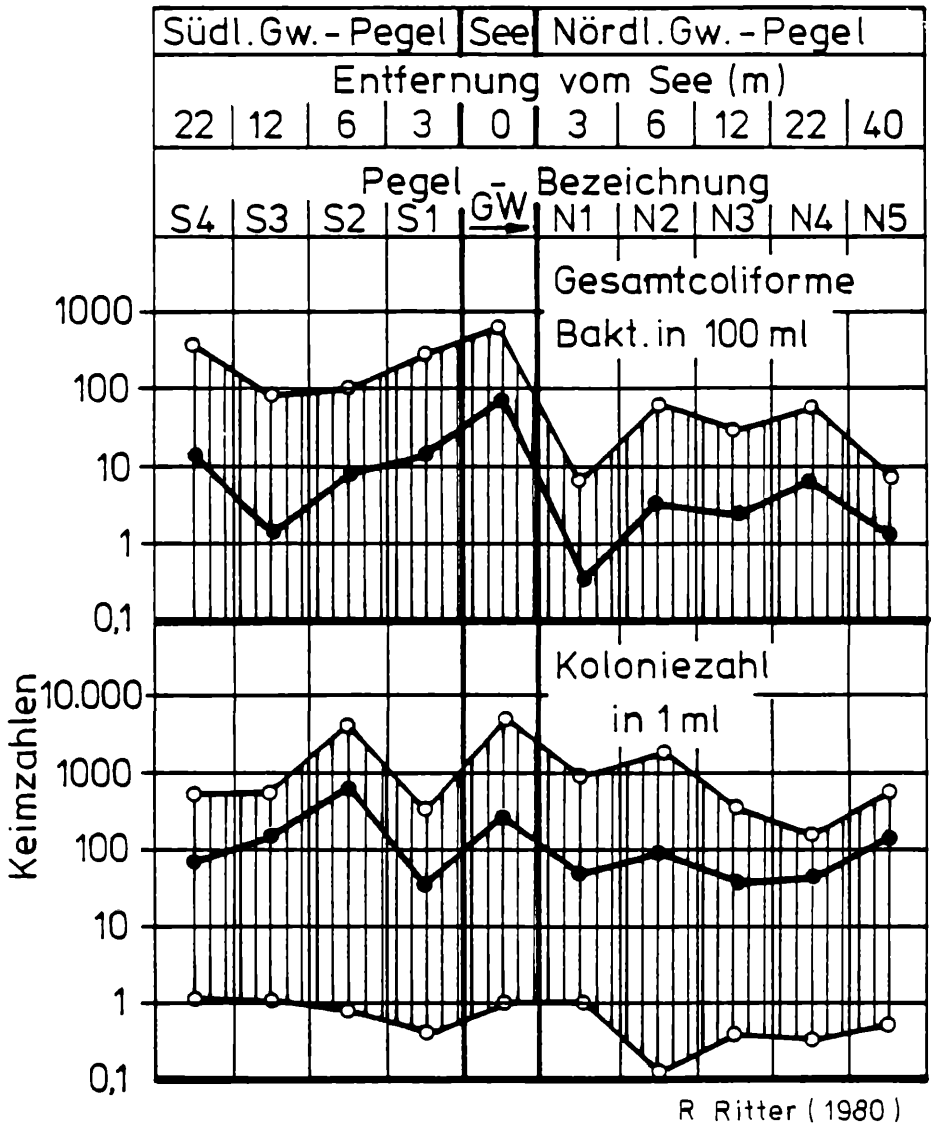
Wegen dieser regional bedingten Einflüsse dürfen die Ergebnisse nicht verallgemeinert werden.

3. Zur Frage der stofflichen Veränderungen im Wasser

Die Rolle der Bakterien in unserer Umwelt allgemein und in den Gewässern im besonderen ist bekannt: Durch ihre Lebenstätigkeit werden chemische Stoffe abgebaut, in andere Verbindungen umgewandelt, Endprodukte werden gebildet. Diese Stoffumsetzungen, aus denen die daran beteiligten Bakterien ihre Lebensenergie gewinnen, sind die Grundlagen des Stoffkreislaufes in der Natur, die wir im allgemeinen Sprachgebrauch mit Begriffen wie z.B. Fäulnis, Gärung, Verwesung, Mineralisierung bele-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 4: Gesamtcoliforme Bakterien und Koloniezahl im "Testsee" und dem benachbarten Grundwasser in verschiedener Entfernung vom See: Mittelwerte, Maxima und Minima des Untersuchungszeitraumes 1974 - 1979



Oberstromige Pegelreihe S 1 S 4
Unterstromige Pegelreihe N 1 N 5

●——● Mittelwert der Keimzahlen

○——○ Maxima und Minima

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

gen. Aus der Vielzahl der möglichen mikrobiellen Stoffumsetzungen in der Natur sind einige, die bei der Mineralisierung organischer Stoffe in den Gewässern eine Rolle spielen, in Abbildung 5 schematisch dargestellt (DAUBNER 1972, RHEINHEIMER 1975). Es zeigt sich, daß z.B. der Stickstoff aus organischen Verbindungen unter Aufnahme von Sauerstoff zu Nitrat "mineralisiert" wird. Physiologische Bakteriengruppen führen dabei mehr oder weniger spezifisch diese stofflichen Veränderungen durch: Ammonifizierende Bakterien setzen z.B. NH_4 in Freiheit, nitrifizierende Bakterien oxidieren es zu Nitrit und Nitrat. Nicht selten tritt in den unteren Wasserschichten eines Baggersees durch sauerstoffzehrende Vorgänge in den Sommermonaten eine Verarmung an Sauerstoff ein. Dadurch werden solche Bakteriengruppen aktiviert, die unter diesen Bedingungen chemisch gebundenen Sauerstoff, wie er z.B. in den Nitraten vorliegt, ausnutzen können. Der Nitratstickstoff wird dabei in reduzierte N-Verbindungen, wie z.B. NO_2, NH_4 oder gasförmigen Stickstoff übergeführt. Andere Bakteriengruppen wandeln organische P-Verbindungen in anorganisches Phosphat um; desulfurizierende Bakterien benutzen unter anaeroben Bedingungen den gebundenen Sauerstoff von Sulfaten. Über einige dieser physiologischen Bakteriengruppen wird im foglenden zu berichten sein.

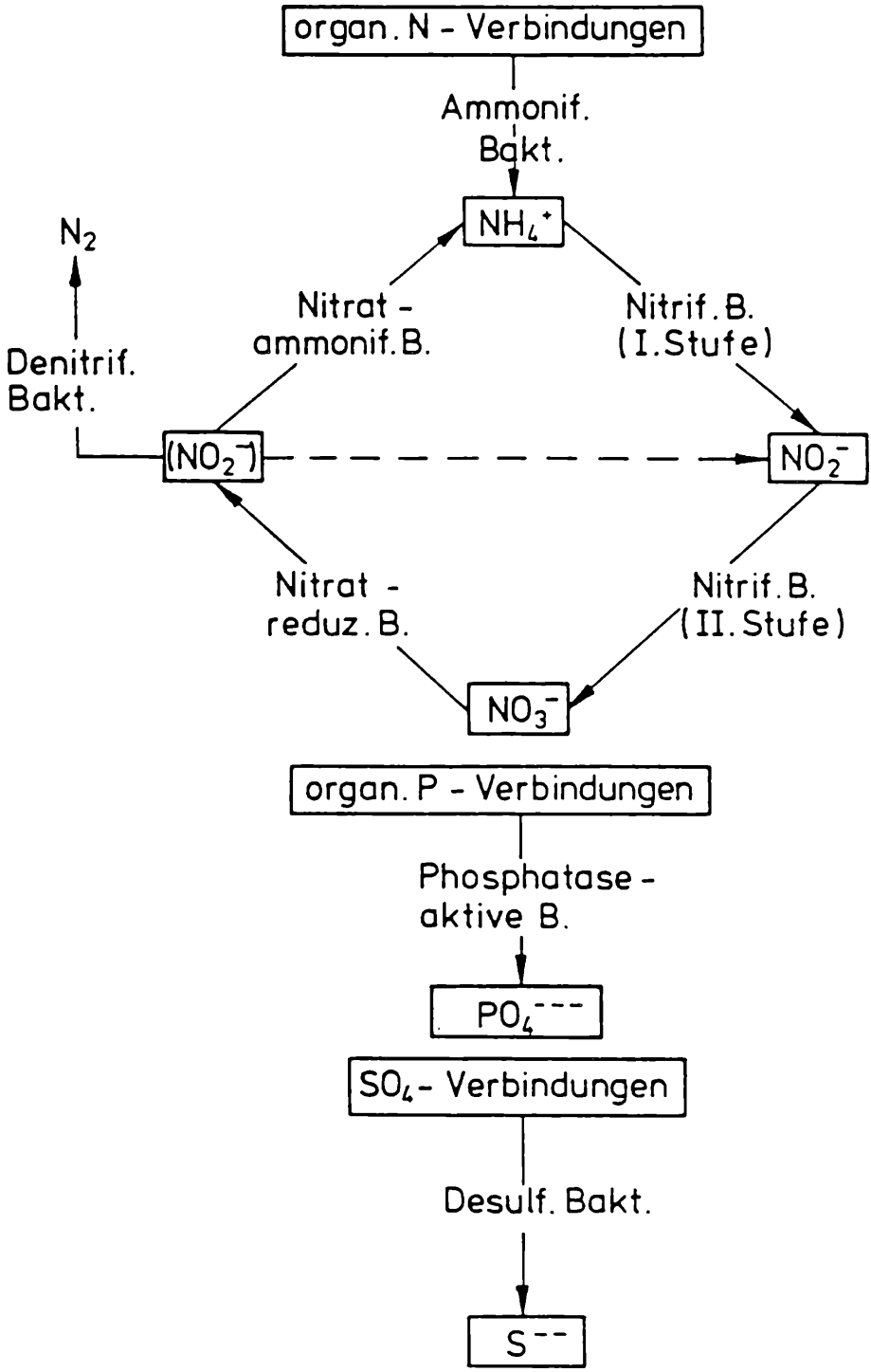
Bisher nicht erwähnt wurde die Gruppe der sogenannten heterotrophen Bakterien, über die aus methodischen Gründen folgendes nachzutragen ist: Diese physiologische Bakteriengruppe ist ein Parameter für abbaubare organische Stoffe ebenso wie die Koloniezahl. Von dieser unterscheiden sich die heterotrophen Bakterien nur durch die verlängerte Bebrütungsdauer im Labor: Koloniezahl 2 Tage, heterotrophe Bakterien 7 Tage (INSTITUT FÜR WASSER- U. ABFALLWIRTSCHAFT 1977). Bei allen mit physiologischen Bakteriengruppen durchgeführten Untersuchungen betrug die Bebrütungsdauer 7 Tage, weil sich die Bakterien des Grundwassers wegen ihrer Anpassung an relativ niedrige Temperaturen langsamer entwickeln. Literatur zur Frage der mikrobiellen Stoffumwandlungen: DAUBNER u. RITTER (1972), INSTITUT FÜR WASSER- U. ABFALLWIRTSCHAFT (1977), OVERBECK (1967), RITTER et al. (1971), RITTER (1977), SCHMIDT (1963), STILINOVIĆ (1979), TIEFENBRUNNER u. ROTT (1979).

3.1 Ergebnisse von Untersuchungen physiologischer Bakteriengruppen an einem Baggersee ("Testsee") und dem benachbarten Grundwasser

Abbildung 6 (S. 76) zeigt, daß die Keimzahlen der untersuchten physiologischen Bakteriengruppen im Testsee zwischen 1974 und 1979 nicht alle einheitlich verlaufen. Die Phosphatase-aktiven Bakterien sind z.B. in den unteren Wasserschichten in den Jahren 1976 - 1978 höher als die anderen Bakteriengruppen. Im übrigen gilt allgemein, daß in den unteren Wasserschichten eines Baggersees höhere Keimzahlen vorherrschen als in den oberen. Das hängt damit zusammen, daß der Stoffumsatz in den Gewässern sich überwiegend in den Sedimentschichten, d.h. in den Grenzschichten zwischen Wasser und Sediment abspielt. Einige Daten der folgenden Tabelle 2 (S. 78) können dies erläutern. Danach sind die Keimzahlen im Sediment, oder anders ausgedrückt, im sog. Interstitialwasser des Sediments ca. 100 bis 8 000 mal höher als in der angrenzenden Wasserschicht. Interessant dabei erscheint, daß die Keimzahlen der heterotrophen, ammonifizierenden und nitrifizierenden Bakterien im Sediment "nur" um das

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

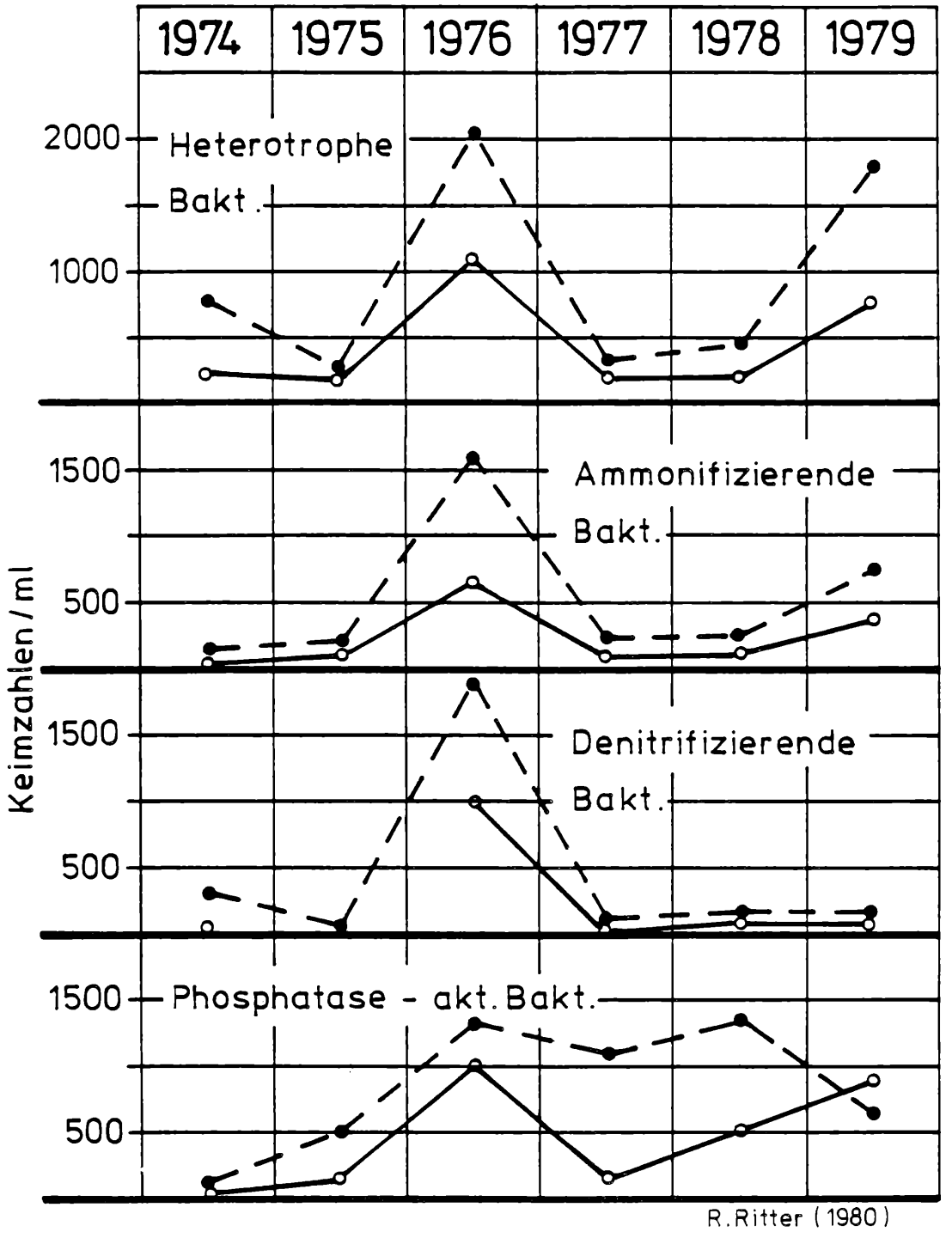
Abb. 5: Vereinfachtes Schema von einigen mikrobiologisch bedingten Stoffumwandlungen in Gewässern



R Ritter (1975)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 6: Keimzahlverlauf einiger physiologischer Bakteriengruppen in 2 Wasserschichten des "Testsees": Mittelwerte des Untersuchungszeitraumes 1974 - 1979



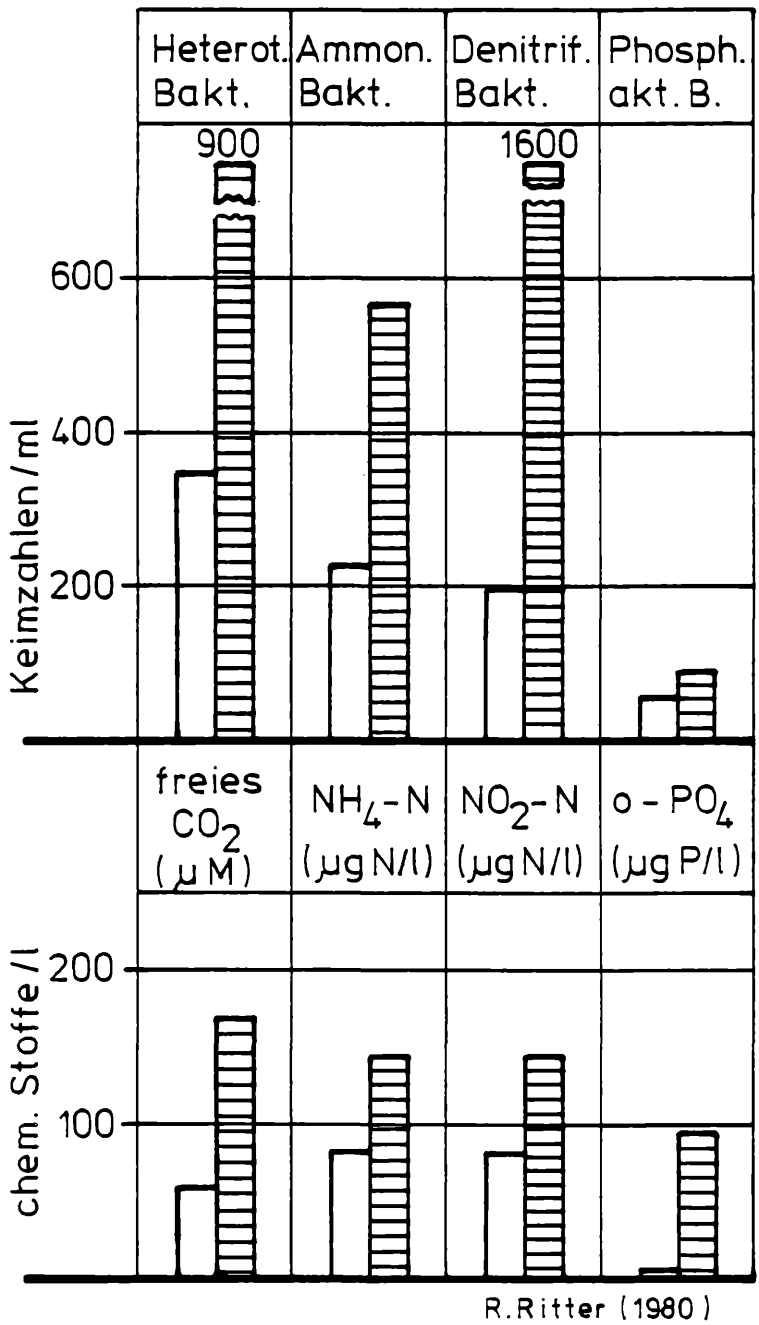
Keimzahlen in den Wasserschichten

o——o der Seeoberfläche

●——● über Grund

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 7: Vergleich von Keimzahlen einiger physiologischer Bakteriengruppen mit den Daten von korrespondierenden chemischen Stoffen in 2 Wasserschichten des "Testsees": Mittelwerte des Untersuchungszeitraumes 1974 - 1979



Keimzahlen und chemische Daten in den Wasserschichten

der Seeoberfläche

über Grund

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

100 bis 700 fache höher liegen als im Wasser; diese Bakterien sind demnach auf das Vorhandensein von Sauerstoff angewiesen, der im Sediment fast vollständig fehlt oder nur in Mikromengen wie z.B. in Hydrathüllen der mineralischen Partikel von bestimmten Bakterien genutzt werden kann (JANNASCH 1960, JANNASCH u. PRITCHARD 1972). Die im Sediment ca. 1 500- bis 8 000 mal höheren Keimzahlen der übrigen in Tabelle 2 aufgeführten physiologischen Bakteriengruppen sind wie z.B. denitrifizierende Bakterien zur anaeroben Lebensweise befähigt; auch die Phosphatase-aktiven Bakterien scheinen demnach dieser Gruppe anzugehören.

Tabelle 2: Keimzahlen physiologischer Bakteriengruppen in Wasser und Sediment des Testsees am 06.12.1976

Physiologische Bakteriengruppen	Keime / ml	
	Seewasser über Grund	Interstitielles Wasser im Sediment
Heterotrophe Bakterien	420	80 000
Ammonifizierende Bakt.	400	43 000
Nitrifizierende Bakt. (I)	5	3 500
Nitrifizierende Bakt. (II)	4	3 000
Nitratreduzierende Bakt.	12	68 000
Nitratammonifizierende Bakt.	3	25 000
Denitrifizierende Bakt.	2	2 700
Phosphatase-aktive Bakt.	12	86 000
Desulfurizierende Bakt.	4	33 000

In Abbildung 7 (S. 77) werden die Keimzahlen von 4 physiologischen Bakteriengruppen in 2 Wasserschichten des Testsees mit dem Gehalt an entsprechenden mineralischen Stoffen verglichen, um eine mögliche Beziehung zwischen beiden Kriterien aufzuzeigen. Es wird z.B. der Ammoniumgehalt des Wassers den Keimzahlen von ammonifizierenden Bakterien gegenübergestellt oder der Nitritgehalt den denitrifizierenden Bakterien.

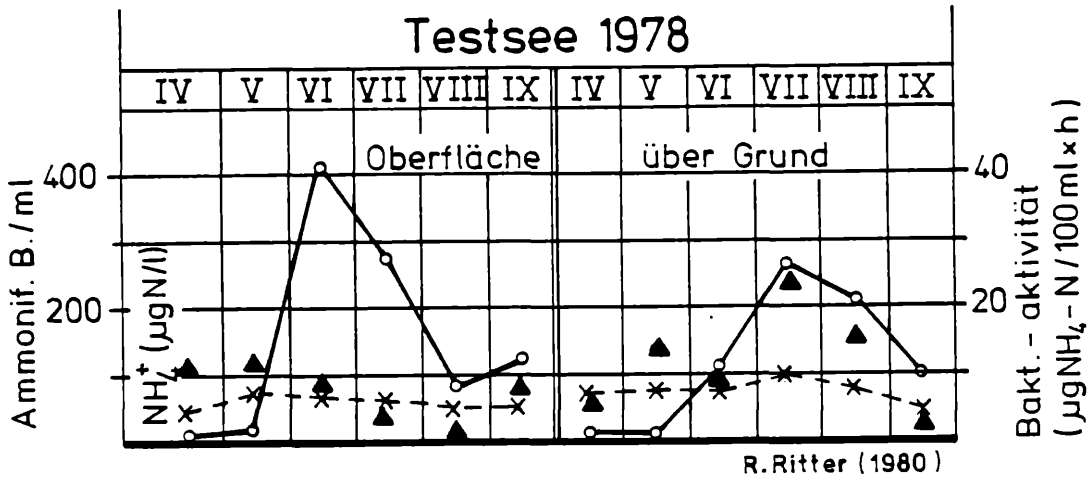
Diese Stoffe unterliegen im Gewässer zwar ständigen Konzentrationsveränderungen, trotzdem zeigt die Stoffwechselbilanz in Abbildung 7 eine positive Korrelation zwischen den beiden untersuchten Kriterien, d.h. zwischen Keimzahlen und entsprechenden Stoffwechselprodukten.

Zur näheren Erläuterung der stoffwechselphysiologischen Leistungen sind in Abbildung 8 die Ergebnisse von durchgeführten Vergleichsuntersuchungen mit ammonifizierenden Bakterien dargestellt: die Keimzahlen, die physiologische Aktivität der Bakterien und der Ammoniumgehalt im Wasser werden miteinander verglichen. Die Untersuchungen wurden in der Oberflächen- und Tiefenschicht während der Stratifikationsperiode 1978 durchgeführt. Es ergibt sich daraus folgendes: Die im Sommer beobachteten Maxima der Keimzahlen sind im Oberflächenwasser etwa doppelt

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

so groß wie im Tiefenwasser; dagegen bleibt die Aktivität der Bakteriengruppen praktisch konstant und zwar in beiden Wasserschichten. Die niedrigeren Bakterienzahlen in der unteren Wasserschicht vollbringen demnach die gleiche stoffwechsel-physiologische Leistung wie die größere Bakterienzahl in der Oberflächenschicht. Mit anderen Worten: die Bakterien im Tiefenwasser sind stoffwechselaktiver.

Abb. 8: Vergleich zwischen Keimzahlen von ammonifizierenden Bakterien, ihrer physiologischen Aktivität und dem NH_4^+-Gehalt in 2 Wasserschichten des "Testsees": Untersuchungszeitraum April bis September 1978



ammonifizierende Bakterien/ml

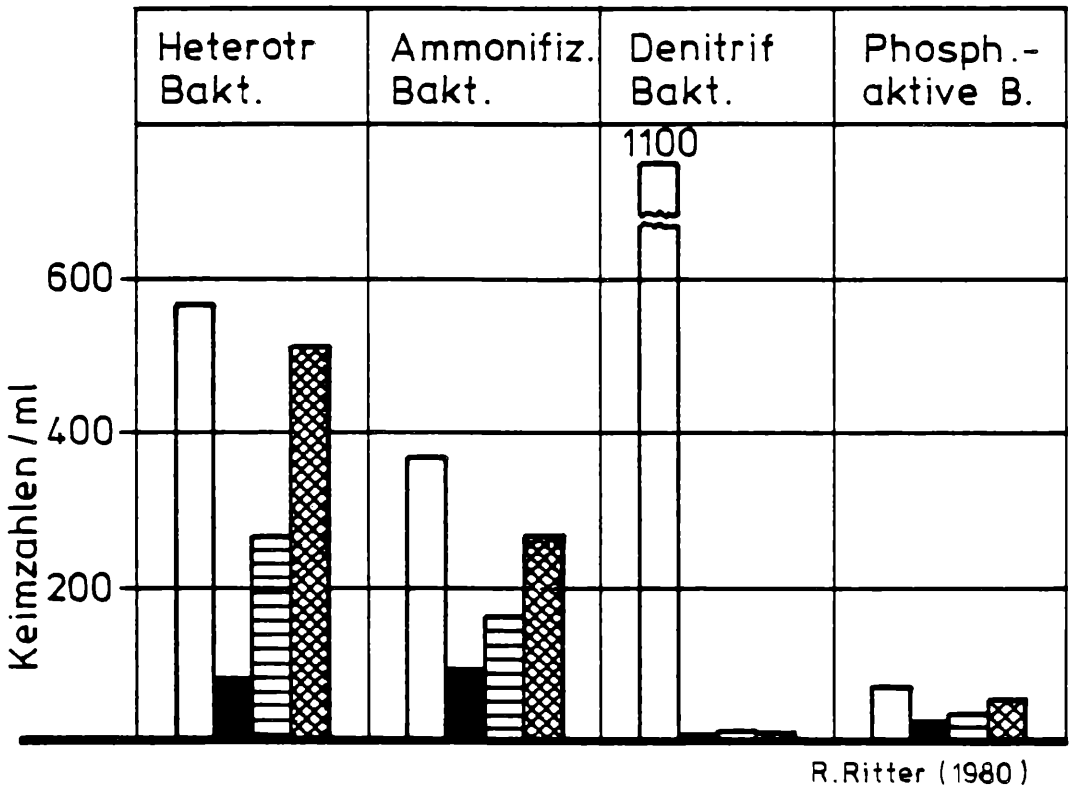
physiologische Aktivität (NH_4-Bildung/100 ml x h)

NH_4^+-Konzentration im Seewasser (mg N/l)

Während in Abbildung 4 über Fäkalkeime im Testsee und dem umgebenden Grundwasser berichtet wurde, werden in Abbildung 9 (S. 80) ähnliche Zusammenhänge mit physiologischen Bakteriengruppen im unterstromigen Grundwasser in 3, 6 und 12 m Entfernung vom nördlichen Testseeufer erläutert. Weiterhin wird gezeigt, daß das austretende Grundwasser nach einer Uferpassage von nur 3 m bei allen Keimarten die niedrigsten Keimzahlen hat. Diese nehmen auf der weiteren Fließstrecke allmählich zu und erreichen nach 12 m mit Ausnahme der denitrifizierenden Bakterien die Größenordnung des Testseewassers. Die denitrifizierenden Bakterien verbleiben dagegen gleichmäßig auf einem sehr niedrigen Keimzahlniveau; dies erscheint besonders beachtenswert, weil die denitrifizierenden Bakterien von allen physiologischen Bakteriengruppen die höchsten Keimzahlen im See erreichen. Dementsprechend groß ist auch die in Pegel N1 beobachtete Keimzahlreduzierung dieser Bakteriengruppe von ca. 99 %; bei den übrigen Bakterien ist die Keimzahlerniedrigung vergleichsweise geringer und beträgt bei den heterotrophen Bakterien ca. 85 %, den ammonifizierenden Bakterien ca. 75 % und den Phosphatase-aktiven Bakterien ca. 65 %. Die Keimzahlunterschiede hängen vermutlich mit dem unterschiedlichen Nährstoffgehalt des aus dem Testsee ausfließenden Grundwassers zusammen.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 9: Vergleich der Keimzahlen einiger physiologischer Bakteriengruppen des "Testsees" mit denen des benachbarten unterstromigen Grundwassers in verschiedener Entfernung vom See: Mittelwerte des Untersuchungszeitraumes 1974 - 1979



Keimzahlen in

- Seewasser
- Grundwasserpegel N 1 (Entf. 3 m)
- Grundwasserpegel N 2 (Entf. 6 m)
- Grundwasserpegel N 3 (Entf. 12 m)

In diesem Zusammenhang ist auf regionalbedingte, quantitative Unterschiede in der Qualitätsverbesserung des unterstromigen Grundwassers hinzuweisen. Aus Untersuchungen aus dem bayerischen Raum (HAMM 1975a, WROBEL 1979) ergibt sich z.B., daß dort Qualitätsverbesserung bzw. Konzentrationsabnahme von Wasserinhaltsstoffen etwas geringer sind als bei unseren Untersuchungen. Vermutlich hängt dies mit den unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers zusammen: im nördlichen Oberrheintal <1 m/d, in Bayern >5 m, teilweise dort sogar bis >100 m/d. Im ersten Falle ist die "Verweilzeit" des Grundwassers während der Uferpassage groß genug, um Wachstum, Vermehrung und Stoffumsatz der Bakterienflora zu gewährleisten; bei den großen Fließgeschwindigkeiten im bayerischen Raum ist dies weniger der Fall. Vielleicht hängt dies mit der unterschiedlichen Ausbildung der partikulären Feinstruktur des jeweiligen Grundwasserleiters zusammen. Diese spielt bekanntlich bei der Adsorption von Bakterien (z.B. bei der Bildung von biologischem Rasen!) eine große Rolle (JANNASCH u. PRITCHARD 1972).

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird über die Ergebnisse von mikrobiologischen Untersuchungen berichtet, die an Baggerseen und dem benachbarten Grundwasser im Oberrheintal zwischen 1968 und 1979 mit folgender Zielsetzung durchgeführt wurden: Erfassung der hygienischen Qualität von einer möglichst großen Anzahl von Baggerseen nach den EG-Beurteilungsrichtlinien, sowie Beurteilung der mikrobiologisch bedingten Stoffumwandlungen.

Die hygienisch-bakteriologischen Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Von 176 in der Badesaison mehrmals untersuchten Baggerseen ergab eine Bilanz, daß über 75 % eine sehr gute Wasserqualität aufweisen (Unterschreitung der Leitwerte), ca. 20 % lagen im zulässigen Bereich zwischen Leit- und Grenzwerten der EG-Richtlinien und nur ca. 3 % überschritten den Grenzwert. Nach dieser Bilanz führte Baggerbetrieb in unbebadeten Seen zu einer Erhöhung der Coliformenzahlen um ca. 10 %, die auf die hygienische Badegewässerqualität praktisch ohne Einfluß blieb. Kiesbaggerung in bebadeten Seen bewirkte nur eine unbedeutende Erhöhung der Coliformenzahlen.

2. In einem ungenutzten Baggersee ("Testsee") wurden ebenfalls coliforme Bakterien mit Maxima im Sommer beobachtet (ca. 100 gesamtcoliforme und ca. 50 fäkalcoliforme Bakterien/100 ml), die jedoch unterhalb den EG-Richtwerten lagen (= normale "Belastung" mit Fäkalkeimen). Die Keime wurden aus landwirtschaftlich genutzter Umgebung durch Niederschläge eingeschwemmt.

3. Unterstromiges Grundwasser von 6 mehrjährig intensiv untersuchten Baggerseen hatte nach Uferpassage durchschnittlich niedrigere Keimzahlen als die entsprechenden Seen (hygienische Bedeutung!); es bestanden Unterschiede zwischen den coliformen Bakterien und der Koloniezahl. Bei Baggerbetrieb wurden mehr coliforme Bakterien mit dem ausfließenden Grundwasser "transportiert" als ohne; die Koloniezahl blieb praktisch unbeeinflußt. Die Auswirkungen des Badebetriebes auf die Coliformenzahlen im ausfließenden Grundwasser waren uneinheitlich; neben Oberflächenausdehnung, Tiefe und Besucherzahlen werden auch Zusammenhänge mit der Ausbildung der Seeufer der untersuchten Seen vermutet: von einem flachen, durch Bewuchs verfestigten Ufer wird weniger sandiges, mit Bakterien behaftetes Material durch Badende eingetragen als von steileren Ufern ohne Bewuchs.

4. Hygienisch-bakteriologische Untersuchungen des aus dem Testsee austretenden Grundwassers ergaben, daß die Keimverminderung im Vergleich zum Seewasser nach 3 m Fließstrecke ihre höchsten Werte erreichte: über 95 % (gesamtcoliforme Bakterien) bzw. ca. 80 % (Koloniezahl). Auf der weiteren Fließstrecke bis zu einer Entfernung von 40 m entsprechend einer Fließgeschwindigkeit von etwa 200 Tagen nahmen die Keimzahlen wieder zu, und zwar die Koloniezahl etwas mehr als die coliformen Bakterien. Dies beruht auf einem Zusammenwirken von mehreren, für das Oberrheintal typischen Faktoren, wie z.B. der relativ großen Durchlässigkeit der sandigen Deckschichten, der hohen Grundwasserstände sowie der landwirtschaftlichen Nutzung.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Zur Beurteilung der mikrobiologisch bedingten Stoffumwandlungen wurden am Testsee und dem umgebenden Grundwasser Untersuchungen mit physiologischen Bakteriengruppen durchgeführt, die folgendes ergaben:

1. Es konnte eine positive Korrelation zwischen den Keimzahlen der untersuchten physiologischen Bakteriengruppen (heterotrophe, ammonifizierende, denitrifizierende und Phosphatase-aktive Bakterien) und dem Auftreten entsprechender Stoffwechselprodukte (z.B. CO_2, DOC, NH_4-N, NO_2-N) festgestellt werden, obwohl diese Stoffe im Gewässer ständigen Konzentrationsänderungen unterliegen.

2. Mit ammonifizierenden Bakterien durchgeführte Vergleichsuntersuchungen in zwei Wasserschichten des Testsees ergaben: eine größere Bakterienzahl in der Oberflächenschicht vollbringt die gleiche stoffwechselphysiologische Leistung (Bildung von NH_4^+/h) wie weniger Bakterien in der Tiefenschicht des Testsees. Die letzteren Bakterien sind demnach stoffwechselaktiver; das wird auch bestätigt durch den dort höheren Gehalt an NH_4^+ im Wasser.

3. Bekanntlich spielt sich der Stoffumsatz in Gewässern überwiegend in den oberen Grenzschichten des Sediments ab. Die dort vorherrschenden Keimzahlen physiologischer Bakteriengruppen sind um etwa das 100 bis 8 000 fache höher als in den angrenzenden Wasserschichten.

4. Auch im austretenden Grundwasser zeigen fast alle physiologischen Bakteriengruppen ein analoges Verhalten wie schon bei den Fäkalkeimen erwähnt: niedrigste Keimzahlen nach 3 m Fließstrecke mit daran sich anschließendem erneuten Keimzahlanstieg; die denitrifizierenden Bakterien machen allerdings davon eine Ausnahme, weil sie gleichmäßig auf einem sehr niedrigen Keimzahlniveau verbleiben, obwohl sie im Testsee die höchsten Keimzahlen erreichen; dementsprechend beträgt ihre Reduzierung nach 3 m Uferfiltratstrecke ca. 99 %, bei den heterotrophen Bakterien ca. 85 %, den ammonifizierenden Bakterien ca. 75 % und den Phosphatase-aktiven Bakterien ca. 65 %. Diese Keimzahlunterschiede hängen vermutlich mit dem unterschiedlich hohen Nährstoffgehalt des ausfließenden Grundwassers zusammen; physiologische Bakteriengruppen könnten deshalb ggf. methodische Bedeutung bei der qualitativen und quantitativen Beurteilung von Wasserinhaltsstoffen erlangen. Die Keimverminderung, die das unterstromige Grundwasser während der Uferpassage erfährt, hängt auch von der Fließgeschwindigkeit ab (nördliches Oberrheintal < 1 m/Tag); in Gebieten mit höherer Fließgeschwindigkeit (z.B. > 5 m/Tag) kann die Qualitätsverbesserung geringer sein (Zeitbedarf der Bakterientätigkeit).

Literatur

ALTHAUS, H. u. BEWIG, F. (1975):
Zur Beurteilung von offenen Gewässern für Badezwecke. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, 43: Schwimmbadhygiene, 45-58

BOSSET, E. (1966):
Kiesausbeutung und Gewässerschutz, Monatsbulletin des Schweiz. Vereins v. Gas- u. Wasserfachmännern. 46: 29-39

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

CARLSON, S. (1966):
Zur Hygiene der Freibadegewässer und öffentlichen Schwimmbäder. Bundesgesundheitsblatt 9: 169-173

DAUBNER, I. (1972):
Mikrobiologie des Wassers, Akademie-Verl. Berlin, 440 S.

DAUBNER, I. u. RITTER, R. (1972):
Zur Methodik des quantitativen Nachweises von ammonifizierenden und denitrifizierenden Bakterien im Wasser mit Anwendungsbeispielen (Baggersee-Untersuchungen). Int. Revue ges. Hydrobiol. 57: 517-522

DAUBNER, I. u. PETER, H. (1974):
Membranfilter in der Mikrobiologie des Wassers. Verl. Walter de Gruyter, Berlin-New York, 216 S.

FRESENIUS, W. (1971):
Baden im Freien. Hygienisch-chemische Untersuchung von Badegewässern. Kosmetologie H. 2: 2-4

GEMEINSAMES AMTSBLATT DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG (1978):
Erlaß des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung und des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt über die Qualität von Badegewässern, vom 30.06.1978, 26: 1017-1027

HAMM, A. (1975):
Gewässergüte von Baggerseen. Forschungsergebnisse der Bayer. Biol. Versuchsanstalt über die Eignung von Baggerseen für den Bade- und Erholungsbetrieb. Garten u. Landwirtschaft H. 2: 77-79

HAMM, A. (1975a):
Chemisch-biologische Gewässeruntersuchungen an kleinen Seen und Baggerseen im Großraum München im Hinblick auf die Bade- und Erholungsfunktion. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- u. Flußbiologie 26: 75-109

INSTITUT FÜR WASSER- U. ABFALLWIRTSCHAFT DER LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1977):
Wasserwirtschaftliche Untersuchungen an Baggerseen. 2. Bericht, 165 S.

JANNASCH, H.W. (1960):
Versuche über Denitrifikation und die Verfügbarkeit des Sauerstoffes in Wasser und Schlamm. Arch. Hydrobiol. 56: 355-369

JANNASCH, H.W. u. PRITCHARD, P.H. (1972):
The role of inert particulate matter in the activity of aquatic microorganisms. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 29 Suppl.: 289-308

KOHL, W. (1969):
Die bakterielle Belastung der Badeseen. Wasser u. Abwasser 1969: 117-133

LENTZE, F. (1957):
Badehygiene, gesehen aus dem Zusammenhang der modernen Lebensgewohnheiten Sport, Touristik usw. Der Öffentl. Gesundheitsdienst 18: 456-467

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

MATTHESS, G. (1973):
Beschaffenheit des Grundwassers. Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 2, Verl. Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 324 S.

OVERBECK, J. (1967):
Zur Bakteriologie des Süßwassers Ergebnisse und Probleme. gwf-Wasser/Abwasser 108: 1258-1260

REHSE, W. (1977):
Abbaubare organische Verunreinigungen, pathogene Keime und Viren. Studie im Auftrag des Eidgen. Amtes für Umweltschutz, 122 S.

RHEINHEIMER, G. (1975):
Mikrobiologie der Gewässer. 2. Aufl., Verl. G. Fischer, Stuttgart, 204 S.

RITTER, R., DAUBNER, I. u. SCHMITZ, W. (1971):
Experimentelle Untersuchungen über die Aktivität von Bakterien beim Stoffumsatz von N-Verbindungen in Baggerseen. Arch. Hydrobiol. 69: 294-308

RITTER, R. (1974):
Zur Methodik der hydrobakteriologischen Untersuchung. I. Grundlagen der Arbeitstechnik mit Anwendungsbeispielen, gwf-Wasser/Abwasser 115: 319-325

RITTER, R. (1974a):
Zur Methodik der hydrobakteriologischen Untersuchung. II. Quantitative Bestimmung der Bakterien in Oberflächengewässern durch Kulturverfahren (Membranfiltermethode) mit Anwendungsbeispielen. gwf-Wasser/Abwasser 115: 448-455

RITTER, R. (1977):
Ökologische und physiologische Bakteriengruppen: Ergebnisse hydrobakteriologischer Untersuchungen. II. Internat. Hydromikrobiol. Symposium Bratislava, Juni 1975, S. 113-136

SCHMIDT, K. (1963):
Die Abbauleistungen der Bakterienflora bei der Langsamsandfiltration und ihre Beeinflussung durch die Rohwasserqualität und andere Umwelteinflüsse. Diss. Braunschweig

STILINOVIĆ, B. (1979):
The application of replica technique in investigations of physiological groups of bacteria in surface waters. Acta Bot. Croat. 38: 71-77

TIEFENBRUNNER, F. u. ROTT, E. (1979):
Produktions- und Belastungsdynamik eines künstlich entstandenen Kleinbadesees. Vom Wasser. 52: 227-242

WACHS, B. (1975):
Bakteriologische Wasserbeschaffenheit von Baggerseen und kleinen natürlichen Badeseen im Großraum von München. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- u. Flußbiologie 26: 113-142

WACHS, B. (1976):
Parameter zur Beurteilung der Eignung von Oberflächengewässern zu Badezwecken. Project Life-2000, Sept. 1976, 155-163

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

WROBEL, J.-P. (1979):
Wechselbeziehungen zwischen Baggerseen und Grundwasser in gut durchlässigen Schottern. gwf.-Wasser/Abwasser 121: 165-173

Anschrift des Verfassers:

Dr. Robert Ritter
Institut f. Wasser- u. Abfallwirtschaft
der Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstraße 3
7500 Karlsruhe

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: 6_1980

Autor(en)/Author(s): Ritter Robert

Artikel/Article: Ergebnisse von mikrobiologischen Untersuchungen an Baggerseen und dem benachbarten Grundwasser im Oberrheintal 66-85