

Ökologie und Hygiene von naturnahen Badegewässern

Dr. Jürgen Spieker, KLS - Gewässerschutz, Neue Große Bergstraße 20,
22767 Hamburg, www.kls-gewaesserschutz.de

Einführung

Schwimm- und Badeteichanlagen (Naturbäder) stellen zunehmend wichtigere Elemente für Freizeit und Tourismus dar. Allein in Deutschland sind derzeit (Anfang 2002) im öffentlichen Bereich über 40 dieser Freizeitgewässer in Betrieb, in Bau oder in Planung (Deutsche Gesellschaft für naturnahe Badegewässer; www.kleinbadeteiche.de). Neben der Badenutzung finden auf dem Gelände des Bades meist auch andere Freizeitaktivitäten statt (z.B. Wasserspielpätze, Beachvolleyball, Badminton).

Im Gegensatz zu herkömmlichen Freibädern müssen Naturbäder als Ökosysteme angesprochen werden, in denen die gleichen Prozesse wie in natürlichen stehenden Gewässern ablaufen. Die Wasserqualität ist daher außer von der Hygiene auch von der Gewässerökologie abhängig. Um die Belastungen abzubauen, die durch die Badegäste in das Wasser eingetragen werden, wird das Wasser in Regenerationsbereichen aufbereitet. Durch diese natürliche Wasseraufbereitung wird das Ökosystem stabilisiert. Da absolute Stabilität jedoch in keinem Ökosystem anzutreffen ist, müssen Naturbäder regelmäßig auf Abweichungen vom geforderten Ist-Zustand (hygienisch einwandfreies und sauberes, klares Wasser) hin überprüft werden. Dies geschieht einerseits mit der hygienischen Überwachung des Wassers auf Indikatorkeime wie *Escherichia coli*, Fäkalstreptokokken und *Pseudomonas aeruginosa*. Auf der anderen Seite stehen gewässerökologische Indikatoren wie Phosphor, Phytoplankton (Schwebalgen) und Zooplankton (z.B. "Wasserflöhe"). Weitere wichtige Gewässergüteparameter in Naturbädern sind die Sichttiefe, der Sauerstoffgehalt, der pH-Wert und das Puffervermögen des Wassers (Säurekapazität).

Wie "funktionieren" Naturbäder nun eigentlich, welche Prozesse sind für die Wasserreinigung verantwortlich und wie kann gewährleistet werden, dass das Badewasser stets eine gute Qualität aufweist? Um diese Fragen beantworten zu können, muss kurz auf die ökologischen Grundlagen stehender Badegewässer eingegangen werden.

Ökologische Grundlagen stehender Badegewässer

Die Limnologie als die Lehre von den stehenden und fließenden Gewässern auf dem Festland befasst sich mit den Vorgängen in unseren Gewässern und damit auch in den Naturbädern. Für Deutschland wurde 1999 von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) der deutschen Bundesländer mit der Empfehlung zur "Gewässerbewertung - stehende Gewässer" eine allgemein anerkannte und gültige "Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien" herausgegeben. Nicht in dieser Empfehlung enthalten sind u.a. die Naturbäder. Der grundsätzliche Ansatz, dass durch den nutzungsbedingten Eintrag von Nährstoffen (hauptsächlich Phosphor) sowie auf Grund der Beckenmorphometrie die Produktivität im Gewässer bestimmt wird, gilt jedoch auch für Naturbäder. Eine zunehmende Produktivität ist in Naturbädern aufgrund der Anforderungen (s. Kapitel 3) meist mit einer Verschlechterung der Gewässerqualität verbunden.

Der in einem Gewässer herrschende gewässerökologische Zustand ist von einer Vielzahl externer und interner Faktoren abhängig. Erst die Kenntnis und Interpretation dieser Faktoren und der sich aus ihnen ergebenden Vorgänge ermöglicht die Konzeption von Naturbädern und damit von Maßnahmen, die zur Verbesserung und Stabilisierung der Gewässersituation eingesetzt werden können.

Ein Stillgewässer kann als "Integrator der Charaktereigenschaften seines Einzugsgebietes" angesehen werden (VOLLENWEIDER 1979). Über den Eintrag aus externen und internen Quellen gelangen ständig Stoffe in das Gewässer. Gelangen vergleichbare Phosphorfrachten in unterschiedliche Gewässer, so kann die Reaktion auf diese Belastung sehr unterschiedlich ausfallen. Große Gewässer reagieren unempfindlicher als kleine und tiefe unempfindlicher als flache. Als Maß für die Belastbarkeit kann die kritische Flächenbelastung mit Phosphor angegeben werden (BINDER 1994). In tiefen Seen bildet sich nach einer Voldurchmischung im Frühjahr eine relativ warme Oberflächenschicht (Epilimnion) aus, die durch die sogenannte Sprungschicht (Metalimnion) von der kalten Tiefenwasserschicht (Hypolimnion) abgetrennt ist (Abbildung 1). Epilimnion und Hypolimnion sind während dieser Stagnationsphase voneinander getrennt. Während dieses Zeitraumes sinken Stoffe aus dem Epilimnion in das Hypolimnion und sind damit dem Stoffkreislauf in der produktiven Oberflächenschicht entzogen. In einem flachen See findet keine Trennung der Wasserschichten statt und die Stoffe können ständig im Kreislauf gehalten werden. Dadurch ist die Produktivität in Flachseen meist höher als in tiefen, geschichteten Seen.

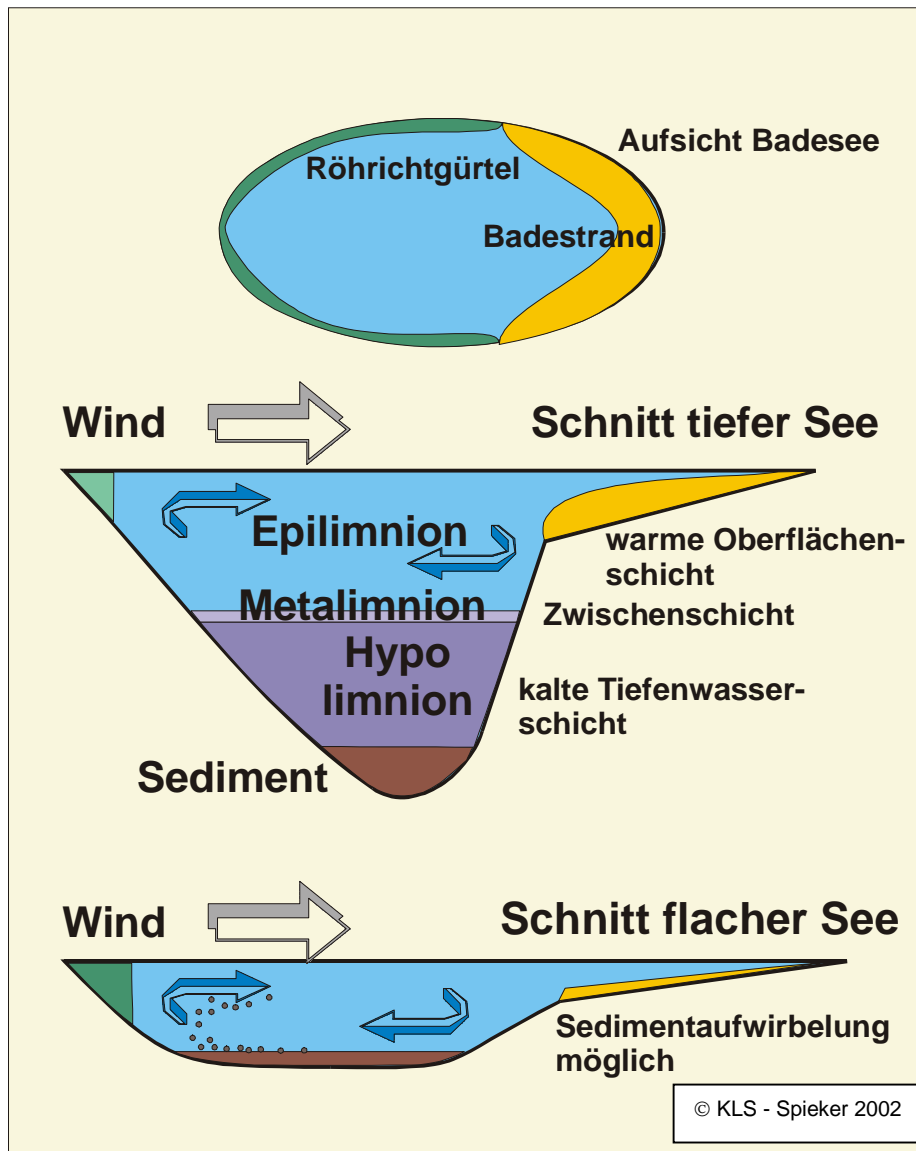


Abbildung 1: Schichtungsverhältnisse in Seen

Die **Trophie** ist ein zentraler Begriff in der Limnologie. Sie bezeichnet die Intensität der Primärproduktion der Schwebalgen (Phytoplankton) und der Wasserpflanzen in Gewässern. International üblich werden drei Trophiestufen (oligotroph, mesotroph, eutroph) unterschieden. Der Begriff der **Eutrophierung** bezeichnet die zunehmende Belastung der Gewässer hauptsächlich mit Phosphor. Diese meist anthropogen verursachte Belastung kann zu gravierenden Problemen in stehenden Gewässern führen. Über den eutrophen Zustand hinausgehende Zustände kommen nur in stark mit Nährstoffen belasteten Gewässern vor und werden als poly- bzw. hypertroph bezeichnet (LAWA 1999) (Abbildung 2).

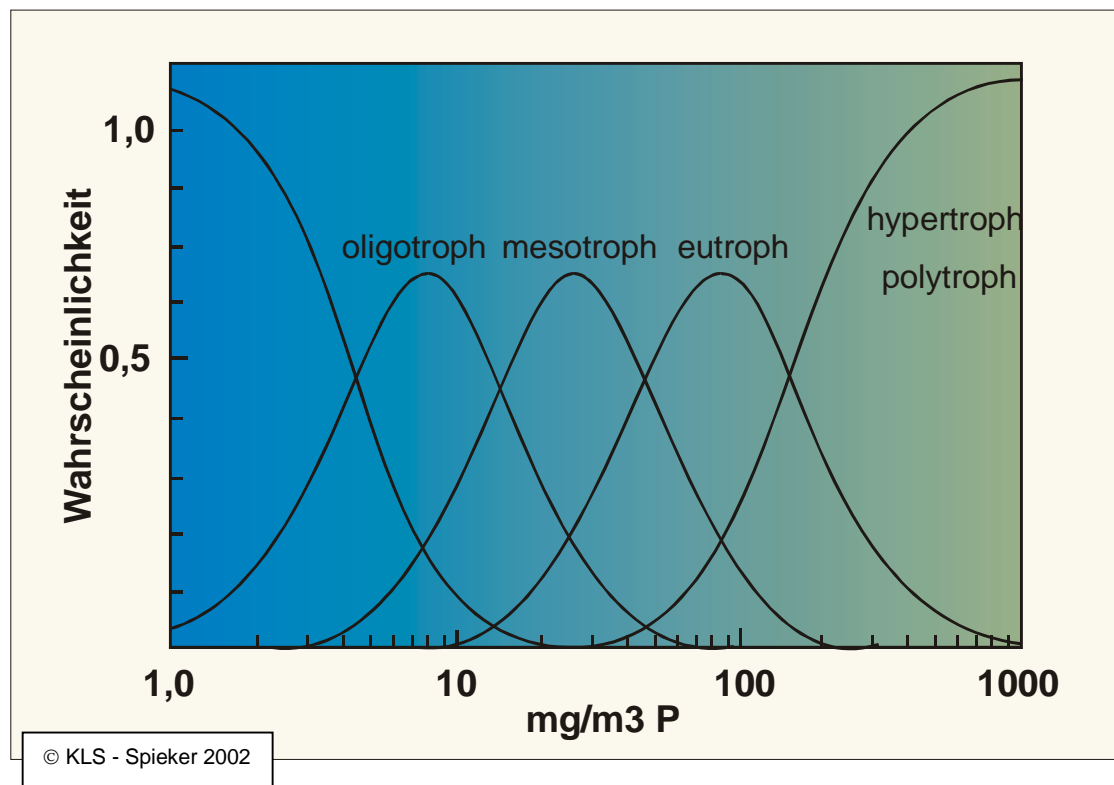


Abbildung 2: Wahrscheinliche Verteilung der Trophiebereiche in Abhängigkeit von der Gesamt-Phosphor-Konzentration (Jahresmittelwerte) in Seen

oligotroph:

"Produktion schwach auf Grund geringer Verfügbarkeit der Nährstoffe; Phytoplanktonentwicklung ganzjährig gering; Sichttiefe hoch durch geringe Planktondichten; Sauerstoffkonzentration des Tiefenwassers am Ende der Stagnationsperiode über 4 mg/l O₂" (LAWA 1999).

mesotroph:

"Produktion höher als beim oligotrophen Gewässern auf Grund höherer Verfügbarkeit der Nährstoffe; Phytoplanktonentwicklung mäßig bei großer Artenvielfalt mit Maximum im Frühjahr; mittlere Sichttiefen; häufig metalimnisches O₂-Minimum, im Hypolimnion kann Sauerstoffmangel auftreten" (LAWA 1999).

eutroph:

"Produktion hoch auf Grund guter Verfügbarkeit der Nährstoffe, Phytoplanktonentwicklung hoch, deswegen Sichttiefe gering; Algenblüten möglich; oberste Wasserschicht durch Assimilationstätigkeit der Algen zeitweise mit Sauerstoff übersättigt; gegen Ende des Sommers regelmäßig starker Sauerstoffmangel im Tiefenwasser" (LAWA 1999).

Das Trophiesystem ist ein Klassifikationssystem und kein Bewertungssystem, da Gewässer natürlicherweise in allen Trophiezuständen von oligotroph bis eutroph vorkommen. Erst aus dem Vergleich des Referenzzustandes (Leitbild) mit dem Ist-Zustand ergibt sich eine Bewertung.

Mikrobiologische und ökologische Anforderungen an Naturbäder

Das **ökologische Leitbild** für Naturbäder sollte mindestens der mesotrophe Zustand sein. Dieser Zustand zeichnet sich dadurch aus, dass aufgrund der geringen Konzentrationen an verfügbarem Phosphor, die Algenentwicklung nur gering ist und dadurch auch nur geringe Schwankungen im pH-Wert auftreten. Die Sichttiefe ist hoch und die Sauerstoffkonzentrationen liegen ständig im Bereich der physikalischen Sättigung (Sauerstoffsättigung • 100%). Zusätzlich sollte das Wasser eine gute Pufferkapazität und geringe Konzentrationen an Ammonium-Stickstoff aufweisen. Darüber hinaus stellt eine ausreichende Anzahl an "Wasserflöhen" (Teil des Zooplanktons) sicher, dass die Anzahl der Schwebalgen (Phytoplankton) niedrig gehalten wird. Große Mengen an "Wasserflöhen" können sich in der Regel nur ohne den Fraßdruck von Fischen entwickeln. Auch deshalb sind Fische in Naturbädern unbedingt zu vermeiden. In Tabelle 1 sind die mikrobiologischen und die ökologischen Anforderungen dargestellt.

Das **mikrobiologische Leitbild** zeichnet sich durch die Abwesenheit von Erregern aus, durch die eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu besorgen ist. Da eine Untersuchung des Wassers auf alle möglichen Erreger unmöglich ist, werden bestimmte Keime als Indikatoren untersucht. Falls diese Indikatoren unter den vorgegebenen Grenzwerten liegen, wird davon ausgegangen, dass keine Gefährdung der Gesundheit zu befürchten ist. Das Verfahren der mikrobiologischen Überwachung wird sowohl in Badeseen als auch in technischen Bädern angewendet. Für Naturbäder gibt es keine bundeseinheitliche Regelung der Grenzwerte. Für Niedersachsen liegen die "Anforderungen an Kleinbadeteiche mit biologisch mechanischer Aufbereitung" (2000) vor (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Mikrobiologische und ökologische Anforderungen an Naturbäder. Anforderungen an die Teichwasserqualität (aus "Anforderungen...." 2000; s. oben)

Parameter	Grenzwert	Richtwert	Dimension
Fäkalcoliforme Bakterien	100		in 100 ml
Intestinale Enterokokken	50		in 100 ml
Pseudomonas aeruginosa	10		in 100 ml
Phosphor gesamt-P		0,015	mg/l
pH		6,0 - 9,5	
Transparenz (Sichttiefe)	1	2	m

Belastungsquellen in Naturbädern

Naturbäder weisen spezifische Belastungen auf, die in erster Linie durch die Badenutzung verursacht werden. Laut SCHULZ (1981) trägt jeder Badegast 0,094 g Phosphor pro Tag in das Wasser ein. Dieser Eintrag wirkt sich eutrophierend auf das Ge-

wässer aus. BINDER (1994) gibt für Flachseen bis 5 m Tiefe eine kritische Flächenbelastung mit Phosphor von $0,07 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ a})$ an. Hätte ein hypothetisches Naturbad eine Fläche von 0,5 ha, so wäre bei 3.723 Badegästen pro Jahr die kritische Flächenbelastung erreicht ($350 \text{ g Phosphor} / 0,094 \text{ g Phosphor} = 3.723 \text{ Badegäste}$). Da selbst in ein Naturbad, das keine weiteren Zuflüsse aufweist, über Regen, atmosphärischen Eintrag, Laubfall und Wasservögel noch weitere Nährstoffe eingetragen werden, würde dieses Naturbad zunehmend eutrophieren. Der Elimination von Phosphorverbindungen kommt deshalb eine zentrale Bedeutung bei der Sicherung der Badenutzung in Naturbädern zu (s. Kapitel 5).

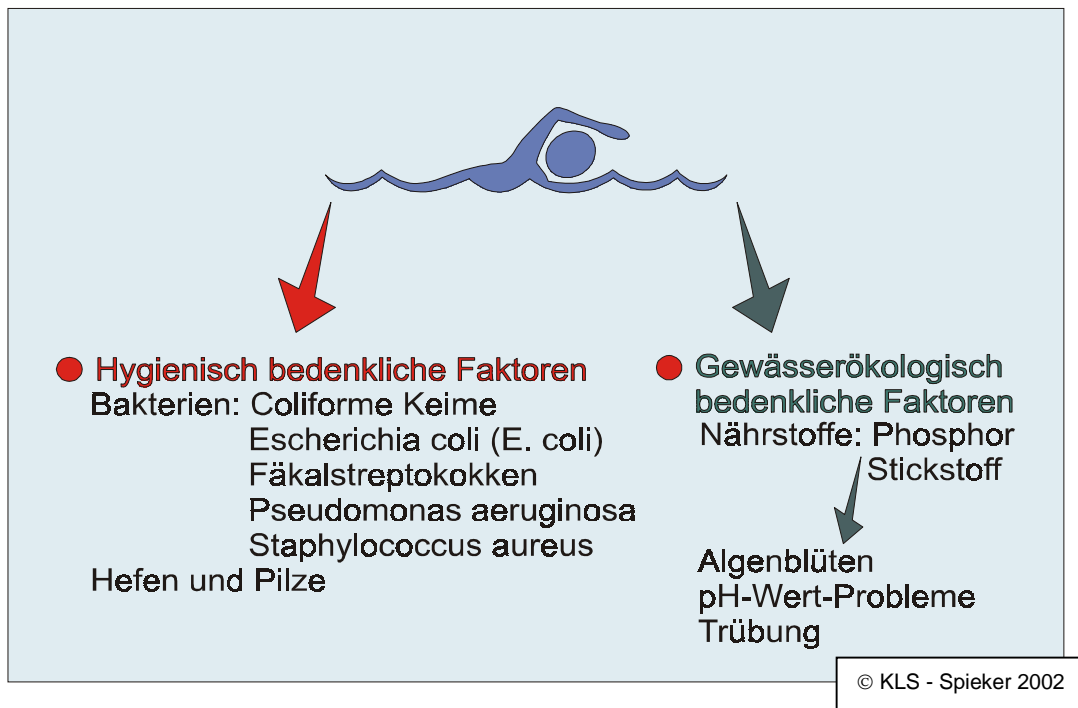


Abbildung 3: Von Badegästen ausgehende hygienische und gewässerökologisch wirksame Faktoren

Im Laufe der Eutrophierung nimmt die Verfügbarkeit von Phosphor zu. Ohne die Elimination der Phosphorverbindungen würde die Eutrophierung zu spezifischen Problemen führen, die sich in einer zunehmenden Biomasse des Phytoplanktons und damit in einer verringerten Sichttiefe ausdrücken. Weiterhin kann sich der pH mit Werten über 9 dem Grenzwert der niedersächsischen Empfehlung nähern. Steigt die Belastung weiterhin, können sich Blaualgen (Cyanobakterien) etablieren, die zur Produktion von Toxinen fähig sind. In diesem Stadium ist ein Verbot des Badebetriebes anzuraten.

Die Belastung mit Harnstoff (aus Urin) wirkt sich hingegen kaum auf die Gewässerqualität aus, da dieser von Gewässerbakterien zu Ammonium abgebaut wird (SCHLEGEL 1992). Ammonium kann dann bakteriell zu Nitrat umgewandelt oder vom Phytoplankton als Stickstoffquelle genutzt werden (HAMM 1975).

Badegäste stellen auch die Haupteintragsquelle von mikrobiologischen Verunreinigungen dar. Im Gegensatz zu Phosphor reichern sich die Keime im Wasser jedoch nicht über einen längeren Zeitraum an. Nur wenige Keime können sich im Wasser vermehren (z.B. coliforme Keime), so dass eine mikrobiologische Verunreinigung

meist nur von kurzer Dauer ist. In Abbildung 3 sind die sich aus der Badenutzung ergebenden hygienischen und gewässerökologischen Faktoren dargestellt. Eine weitere Eintragsquelle für Keime sind Wasservögel, die vom Naturbad ferngehalten werden sollten.

Wasserreinigung in Naturbädern

Der Großteil der Wasserreinigung in Naturbädern findet in den Regenerationsbereichen statt. Die wesentlichen Anforderungen an funktionsfähige Regenerationsbereiche sind zum Einen die Fähigkeit zum Abbau von lebender und toter organischer Materie und der Festsetzung der beim Abbau freigesetzten Phosphorverbindungen. Die organische Belastung setzt sich aus lebenden und toten Keimen und Algen sowie z.B. aus Hautschuppen und Pflanzenresten zusammen. Weiterhin müssen in den Regenerationsbereichen auch gelöste Substanzen aus dem Wasser entfernen werden können. Neben gelösten organischen Verbindungen sind hier die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff zu nennen. Während Stickstoff bei der Passage durch die Bodenbereiche von den Mikroorganismen, die diese Bereiche besiedeln, umgesetzt werden kann und teilweise als gasförmiger Stickstoff aus dem System entweichen kann, verbleibt Phosphor im System. Eine wesentliche Aufgabe von Regenerationsbereichen ist die dauerhafte Elimination von Phosphorverbindungen. Dies geschieht in der Hauptsache durch die physikalisch/chemische Anlagerung von Phosphaten an bestimmte Substrate aber auch durch die Aufnahme durch Organismen. Unter allen Umständen muss eine Freisetzung (Filterdurchbruch) von Phosphor vermieden werden. Die notwendige Rückhaltekapazität des Regenerationsbereiches kann aus der prognostizierten Besucherzahl und der zukünftigen Wasserfläche berechnet werden (s. Kapitel 4).

Wichtige Selbstreinigungsprozesse laufen aber auch im Wasserkörper selbst ab. Durch Sedimentation werden ständig Stoffe aus dem Wasserkörper entfernt. Diese Stoffe sammeln sich meist an der tiefsten Stelle und können dort gezielt entfernt werden. Weitere Selbstreinigungsprozesse in Naturbädern stellen der Fraßdruck des Zooplanktons ("Wasserflöhe") auf Algen (Phytoplankton) und Bakterien sowie die Konkurrenz zwischen verschiedenen Algenarten bzw. zwischen Algen und Bakterien um Ressourcen dar. Eine Übersicht der Reinigungsprozesse in Naturbädern ist in Abbildung 4 dargestellt.

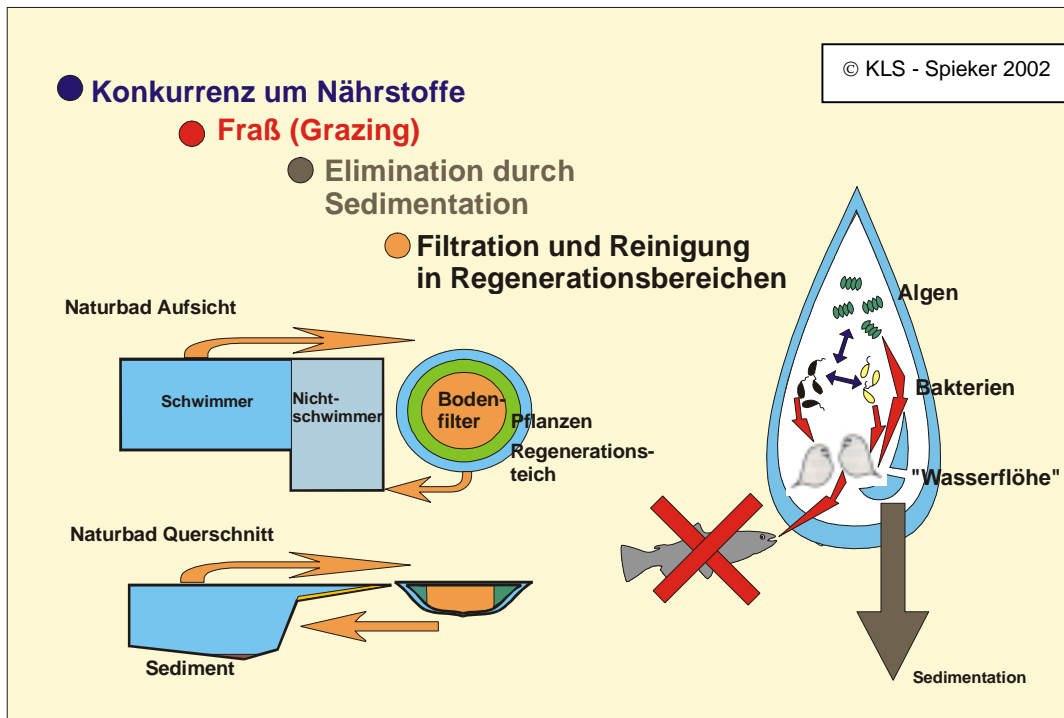


Abbildung 4: Wasserreinigung und Selbstreinigungsprozesse in Naturbädern

Das Zooplankton als Gesamtheit aller im Wasser schwebenden Tiere besteht hauptsächlich aus Kleinkrebsen (Wasserflöhe, Hüpferlinge) und Rädertieren (Rotatorien). Vor Allem die "Wasserflöhe" sind in der Lage, Algen und Bakterien aus dem Wasser zu filtrieren. Die Filtrationsraten können so hoch sein, dass der gesamte Wasserinhalt eines Naturbades innerhalb eines Tages durchfiltriert wird. Um die Zooplankton-Population nicht zu gefährden dürfen, keine Fische in ein Naturbad eingesetzt werden, da diese die "Wasserflöhe" fressen würden.

Unterschiedliche Algenarten haben auch verschiedene Überlebensstrategien. So werden Gewässer im Frühjahr oft sehr schnell von Arten besiedelt, die sehr hohe Wachstumsraten aufweisen. Sollten zu diesem Zeitpunkt noch genügend Nährstoffe vorhanden sein, können sich diese Arten mit einer schnellen Reproduktion durchsetzen. Sind dann die Nährstoffe weitgehend in den Organismen festgelegt, so bekommen Arten einen Konkurrenzvorteil, die Phosphor auch noch bei sehr geringen Konzentrationen aufnehmen und diesen lange in den Zellen speichern können. Neben der Nährstoff-Ressource können noch andere Faktoren die Verbreitung von Algen und Bakterien beeinflussen (z.B. Licht, Temperatur). Durch Fraß und Konkurrenz können z.B. Bakterien, die über Badegäste in das Gewässer eingebracht worden sind, wieder eliminiert werden.

Fazit und Ausblick

Naturbäder werden durch die Badegäste mit Nährstoffen und Keimen belastet. Diese Belastungen werden durch die gewässerökologischen Prozesse im Wasserkörper und durch Prozesse in Regenerationsbereichen abgebaut. In gut funktionierenden Systemen können die gewässerökologischen und die mikrobiologischen Anforderungen stets erfüllt werden. Im Naturerlebnisbad Lauenstein konnte dies in einem drei-

jährigen Untersuchungsprogramm zur Ermittlung der ökologischen Leistungsbilanz nachgewiesen werden (KLS 2000a, 2000b, 2001).

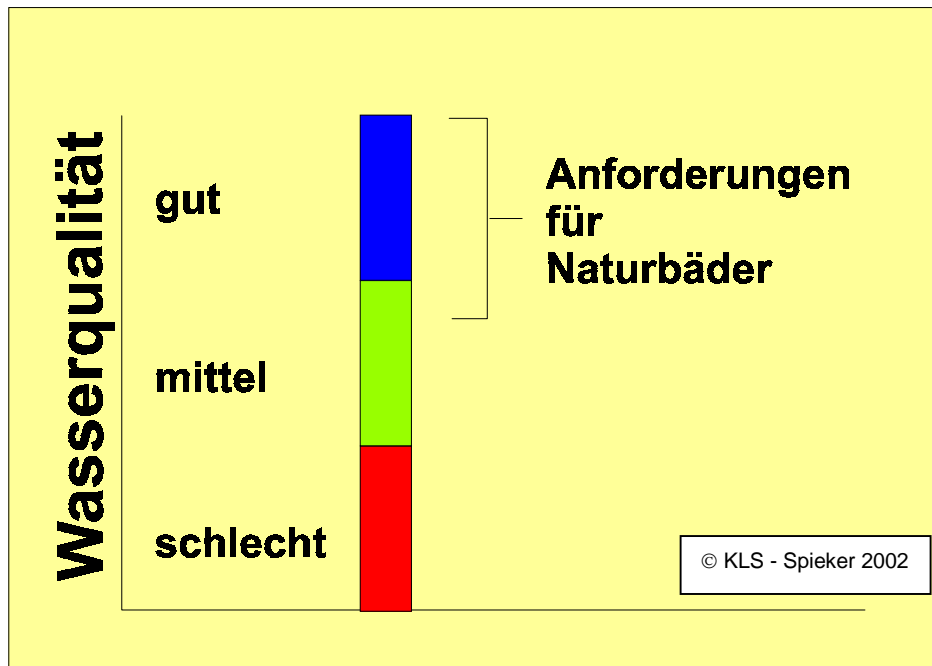


Abbildung 5: Güteanforderungen an die Wasserqualität in Naturbädern und mögliche Schwankungsbreite

In Naturbädern laufen die gleichen Prozesse wie in natürlichen stehenden Gewässern ab. Entsprechend der Änderung der äußeren Bedingungen (Sonneneinstrahlung, Temperatur, Wind etc.) und der Nutzungsintensität (Besucherzahlen) kann sich auch die Gewässersituation ändern. Eine völlige Stabilität der Bedingungen in Naturbädern ist unmöglich. Durch ein entsprechendes Wasserreinigungssystem, das auch die natürlich ablaufenden Prozesse berücksichtigt, können die Änderungen jedoch immer in einem Bereich stattfinden, der stets eine Badenutzung zulässt (s. Abbildung 5).

Durch die regelmäßige Kontrolle der mikrobiologischen und gewässerökologischen Güteparameter wird die Gewässerqualität erfasst und überprüft, in welchem Maße die mikrobiologischen und ökologischen Anforderungen erfüllt sind.

Literatur:

Anforderungen an Kleinbadeteiche mit biologisch mechanischer Aufbereitung (2000): Niedersächsisches Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales

BINDER; W. (1994): Schutz der Binnengewässer. Bd. 5 Economica Verlag, Bonn

HAMM, A (1975): Chemisch-biologische Gewässeruntersuchung an Kleinseen und Baggerseen im Großraum von München im Hinblick auf die Bade- und Erholungsfunktion.- In: Wasser für die Erholungslandschaft. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Bd. 26, S. 75 - 109. Oldenbourg Verlag, München.

KLS - Konzepte, Lösungen, Sanierungen im Gewässerschutz (2000a): Naturerlebnisbad Lauenstein - Ökologische Leistungsbilanz Saison 1999.

KLS - Konzepte, Lösungen, Sanierungen im Gewässerschutz (2000b): Naturerlebnisbad Lauenstein - Ökologische Leistungsbilanz Saison 2000.

KLS - Konzepte, Lösungen, Sanierungen im Gewässerschutz (2001): Naturerlebnisbad Lauenstein - Ökologische Leistungsbilanz Saison 2001.

LAWA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1999): Gewässerbewertung - stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Kulturbuch-Verlag, Berlin.

SCHLEGEL, H.G. (1992): Allgemein Mikrobiologie. Thieme Verlag Stuttgart.

SCHULZ, L. (1981): Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste.- Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 173, S. 528 -548.

VOLLENWEIDER, R.A. (1979): Das Nährstoffbelastungskonzept als Grundlage für den externen Eingriff in den Eutrophierungsprozeß stehender Gewässer und Talsperren.- Z. f. Wasser- und Abwasser-Forschung, 2/79, S. 46 - 56.