

## Neue Bewertung von Seen

ANDREAS GRÜNDEL

### Stehgewässer in Hessen

In Hessen gibt es 773 Stehgewässer, die größer als 1 ha sind, davon haben 81 eine Fläche von mehr als 10 ha. Keiner dieser Seen ist natürlichen Ursprungs; einerseits sind es Abgrabungsseen, die durch Ausbeutung von Braunkohle oder Kies entstanden sind, andererseits Stauseen, die aus Gründen des Hochwasserschutzes oder der Niedrigwassererhöhung angelegt wurden.

Zum Schutz dieser Gewässer wurden umfangreiche Regelungen auf Bundes- und Landesebene getroffen. Sie zielen einerseits auf eine Gütebewirtschaftung ab, die die ökologische Funktion sichert und

die verschiedenen Nutzungsansprüche zulässt. Andererseits fordern die Gesetze den Erhalt naturnaher Gewässer. Nach der neuen Europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist als Umweltziel für die Oberflächengewässer der „gute ökologische Zustand“ formuliert, der in einem vorgegebenen Zeitraum für alle Gewässer anzustreben ist. Für die allgemein gehaltenen Begriffe wie „Grad einer mäßigen Belastung“ oder „gute ökologische Qualität“ bis hin zu „naturnahen Gewässern“ gilt es, Bewertungsverfahren anzuwenden, die eine entsprechende Beurteilung der Gewässer zulassen.

### Trophiegrad von Seen

Seen sind flächenhafte und räumlich geschlossene Ökosysteme, die eine vertikale Gliederung aufweisen. Infolgedessen gibt es kaum Stoffeintrag von außen. Im Gegensatz zu den Fließgewässern spielen die abbaubaren organischen Stoffe nicht die tragende Rolle der Gütebeurteilung, sondern die planktischen Algen – das sog. Phytoplankton. Der Grad der Algenentwicklung in einem See, auch als Produktivität oder Trophie bezeichnet, wird für seine Gütebeurteilung herangezogen. Die chemische Kenngröße hierfür ist der Nährstoffgehalt des Seewassers – die Konzentration von Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Das sind die Stoffe, die in der Regel das Wachstum der Algen begrenzen, während die weiteren Wachstumsfaktoren wie Licht und Wärme in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Die biologische Kenngröße ist der Chlorophyllgehalt, der ein direktes Maß für die Biomasse der Algen darstellt. Die Sichttiefe oder die Transparenz eines Sees hängt eng mit der Intensität des Phytoplanktons zusammen: je stärker die Algenmassenentwicklung, desto größer die Trübung eines Sees, das heißt umso geringer die Sichttiefe.

Ein weiteres Maß zur Bewertung ist das Sauerstoffdefizit des Tiefenwassers am Sommerende. Hierzu ist das Verständnis der Seenschichtung wichtig. Durch die thermische Schichtung eines Sees, die sich im Sommer langsam aufbaut, ist das ober-

flächennahe Wasser vom Tiefenwasser getrennt. Während im oberen, belichteten und zirkulierenden Bereich eines Sees die Algen optimale Bedingungen haben, fehlt ihnen in größeren Wassertiefen das Licht. Die nahe der Wasseroberfläche produzierten Algen sorgen dort häufig für hohe Sauerstoffübersättigung, während die in tiefere Schichten gesunkenen Algen durch Abbauvorgänge den Sauerstoffgehalt aufzehren. Daher entsteht im Laufe des Sommers im Tiefenwasser ein Sauerstoffdefizit. Durch die vertikale Temperaturschichtung, die sich während der Sommermonate aufbaut, ist ein Austausch der oberflächennahen Schichten mit den tieferen Schichten verhindert. Der Limnologe bezeichnet die obere Schicht als Epilimnion und den tieferen Wasserkörper als Hypolimnion, das am Ende eines Sommers am stärksten ausgeprägt ist.

Nach dem Grad der Algenentwicklung werden die Seen in fünf verschiedene Trophiestufen eingeordnet, die nachfolgend charakterisiert werden:

**Oligotroph:** schwache Algenentwicklung auf Grund geringer Verfügbarkeit von Nährstoffen; hohe Sichttiefen; hypolimnischer Sauerstoffgehalt am Ende des Sommers  $>4$  mg/l

**Mesotroph:** mäßig hohe Algenentwicklung auf Grund mäßig hoher Verfügbarkeit von Nährstoffen; große Artenvielfalt des

	Phytoplanktons; mittlere Sichttiefen; im Hypolimnion kann Sauerstoffmangel auftreten		
Eutroph:	hohe Algenentwicklung auf Grund guter Nährstoffverfügbarkeit; geringe Sichttiefe; Algenblüte möglich; Sauerstoffübersättigung der obersten Wasserschichten und Sauerstoffdefizite im Tiefenwasser	Hypertroph:	ganzjährige hohe Nährstoffverfügbarkeit, Planktonproduktion nicht nährstofflimitiert; sehr geringe Sichttiefe und starke Sauerstoffdefizite zu allen Jahreszeiten
Polytroph:	sehr hohe Produktion auf Grund sehr hoher Nährstoffkonzentrationen; mehrfache Wasserblüten möglich, oft mit Dominanz von Blaualgen; sehr geringe Sichttiefe (<1 m); Sauerstoffschwund im Tiefenwasser ab Mitte Sommer		Unter Eutrophierung versteht man die verstärkte Produktion pflanzlicher Biomasse, die bei gesteigerter Verfügbarkeit von Nährstoffen abläuft. Eutrophierungsprozesse beschleunigen Alterungsprozesse von Seen, die normalerweise nur sehr langsam ablaufen. Eine gesteigerte Algenmassenentwicklung wirkt sich nachteilig auf die Wasserqualität aus: das Phytoplankton stellt eine beträchtliche Sekundärbelastung für den Sauerstoffhaushalt dar. Im Extremfall führt es zum Sauerstoffschwund, so dass alle Organismen betroffen sind, das Gewässer „kippt um“.

## Neue Seenbewertung

Bisher wurde zur Seenbeurteilung allein der Trophiegrad herangezogen. Dies war lediglich eine Gütebeschreibung nach dem Trophiesystem, das international üblich, aber vom naturwissenschaftlichen Ansatz her wertfrei ist. Tatsächlich war die Beurteilung meist nicht wertfrei, denn die Wasserqualität eines eutrophen Sees wurde schlecht und die eines oligotrophen Sees dagegen gut beurteilt. Für eine Klassifikation ist dieses Trophiesystem geeignet, doch es reicht nicht aus für eine begründete Bewertung, die dem Begriff einer „guten ökologischen Qualität“ entspricht. Bisher fehlte der Bezug zu einem Gütezustand des betreffenden Sees, der sich bei einem unbelasteten, naturnahen Zustand einstellen würde – also eine Art Referenzzustand.

Nach der neuen vorläufigen LAWA-Richtlinie „Gewässerbewertung – stehende Gewässer 1998“ ist ein solches Bewertungssystem möglich. Neben der Aufnahme des bisherigen limnochemischen Ist-Zustandes ist nun auch die Beschreibung des Referenzzustandes nach dem natürlichen Eintrag der Nährstoffe und nach der Seebeckengestaltung möglich. Daraus ergibt sich dann eine Übereinstimmung oder Abweichung von Ist- und Sollzustand, was die Zuordnung in ein siebenstufiges Bewertungsschema erlaubt. Während der natürliche Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet des jeweiligen Sees je nach Bodenverhältnissen schwierig zu ermitteln ist, erlauben die aus einer hydrografischen Seenvermessung gewonnenen Kenngrößen über die Seebeckengestal-

tung einen praktikablen Ansatz, um den potenziell natürlichen Zustand zu beschreiben.

Hintergrund dieser neuen Seenbewertung ist die Tatsache, dass zwischen der Trophie eines Sees und seiner Beckengestaltung, insbesondere im Hinblick auf die Tiefe, ein enger Zusammenhang besteht. Je tiefer ein See und je stabiler seine Schichtung ist, desto weniger neigt er zu einem hohem Trophiegrad, da eine große Wassertiefe für die absinkenden Algen wie eine Nährstofffalle wirkt. Somit stehen der belichteten, oberflächennahen Wasserschicht weniger Nährstoffe für die Algenproduktion zur Verfügung. Bei flachen Seen sorgen die Durchmischung des Seekörpers bis zum Seeboden und die Rücklösung von Nährstoffen aus dem Sediment stets für weitere Produktion von Algenmassen.

Anhand von 108 deutschen Seen wurden empirische Zusammenhänge zwischen der räumlichen Gestaltung eines Sees und den trophieanzeigenden Größen hergestellt. Dabei ergaben sich eindeutige Zusammenhänge zwischen der mittleren Tiefe eines Sees und seinen trophieanzeigenden Größen Chlorophyll-a-Gehalt und Sichttiefe sowie seiner trophiesteuernden Größe der Phosphorkonzentration. Als „Nullpunkt“ für die „Eichung“ des Datenmaterials wurden weißrussische Vergleichseen verwendet. Diese statistischen Zusammenhänge zwischen seebecken- und trophiebeschreibenden Anzeigern erlauben nun eine Beschreibung des potenziellen natürlichen Gütezustands der Seen.

## Seenuntersuchung in Hessen

Im Jahr 2000 wurden für eine erste Beurteilung der hessischen Seen nach der neuen LAWA-Richtlinie 30 Seen hydrografisch vermessen. Die Vermessung wurde vom Boot aus mit einem Echolot und einem GPS-Navigationssystem durchgeführt (Abb. 1). Die gewonnenen Daten wurden für die Erstellung einer Tiefenlinienkarte und für die Berechnung von topografischen (flächenbezogen) und morphometrischen (raumbezogen) Kenngrößen der Seen ausgewertet.

Die Auswertung der aus der Seenvermessung gewonnenen Daten der Seebeckengestaltung sowie die Abschätzung des Referenzzustandes und der Vergleich mit dem Ist-Zustand einschließlich der Bewertung wird exemplarisch am Beispiel von zwei Bergbaurestseen, dem Borkener See im Schwalm-Eder-Kreis und dem Wölfersheimer See im Wetteraukreis, erläutert.

### Borkener See

Der Borkener See liegt in einem Naturschutzgebiet, in dem lediglich stille Erholung möglich ist (Abb. 2). Er hat eine Fläche von 139 ha und weist eine große Tiefe von maximal 55 m auf. Die mittlere Tiefe beträgt 24 m (Abb. 3). Das Epilimnion, das auch während der Sommerstagnation ausreichend zirkuliert, hat eine Mächtigkeit von 6,5 m. Das Verhältnis aus der maximalen Tiefe und dem theoretischen Epilimnion wird als Tiefengradient bezeichnet. Mit einem Wert von 8,5 ist dieser See sehr stabil geschichtet. Aus diesem Tiefengradienten und der mittleren Tiefe des Sees wird über eine empirische Beziehung eine theoretische Sichttiefe von 10,5 m errechnet. Aus dieser Größe kann die Einstufung des Borkener Sees über den theoretischen Trophieindex von 0,9 in einen oligotrophen Trophiegrad nach der Morphometrie eingestuft werden.



Abb. 1. Vermessungstechnik des Instituts für Angewandte Gewässerökologie GmbH am Silbersee.

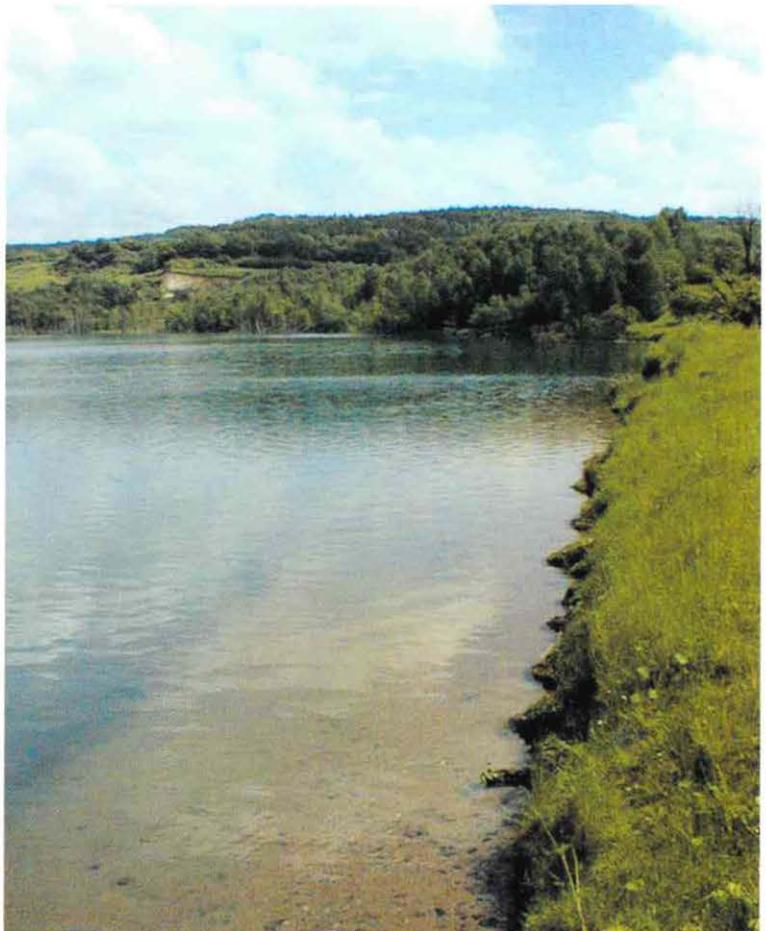


Abb. 2. Borkener See.

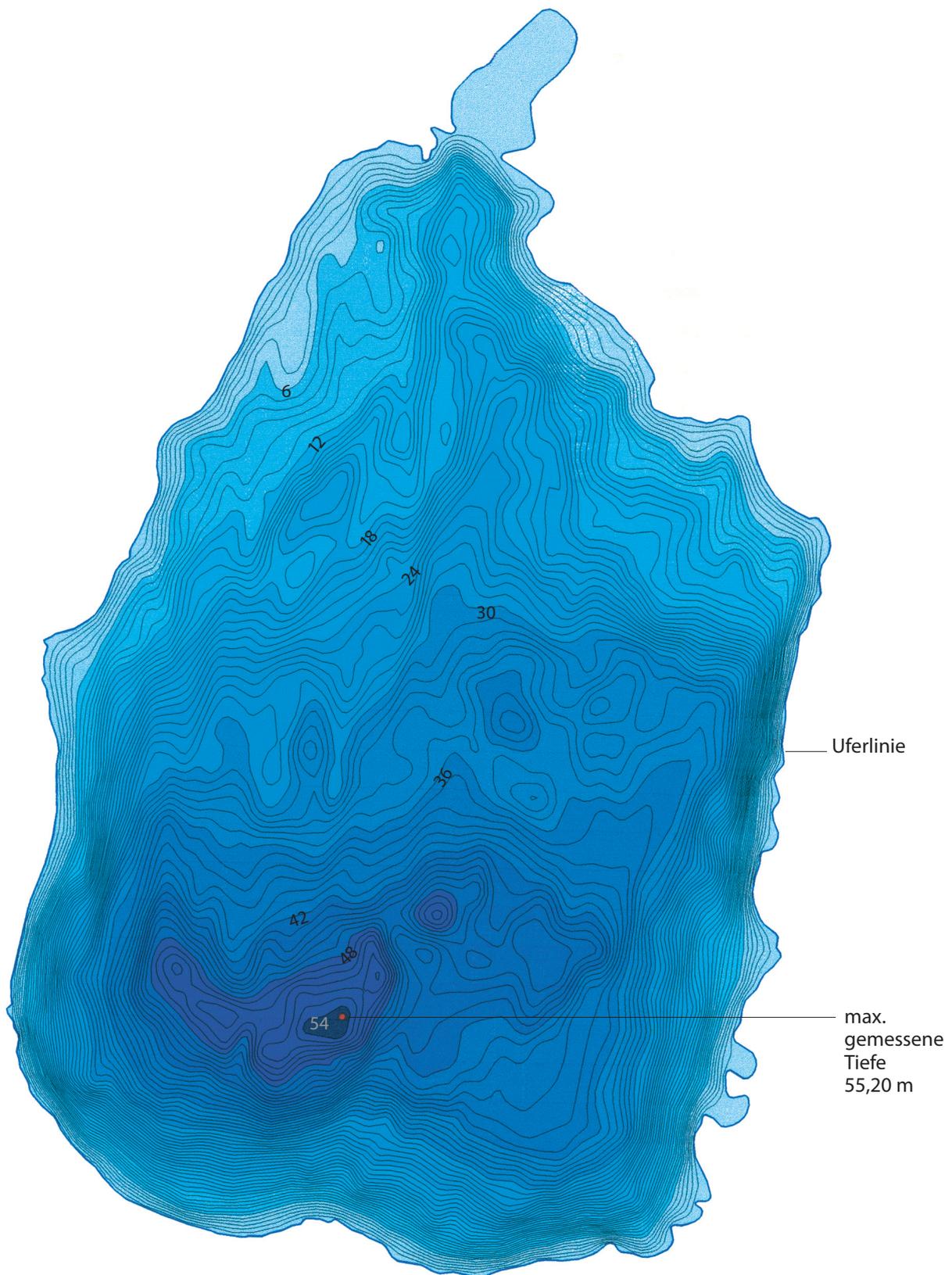


Abb. 3. Tiefenlinienplan Borkener See (Äquidistanz der Isobathen 1 m).

Die limnochemischen Gütedaten des Messjahres 2000 ergeben, dass sowohl der Phosphatgehalt als auch der Chlorophyllgehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Die Sichttiefe zwischen 8 und 9 m lag nahe an der theoretischen Sichttiefe von 10,5 m. Somit liegen geringe Einzelindices der trophiebeschreibenden Anzeiger vor, die nach gewichteter Mittelung einen Trophieindex von 1,0 und so-

mit ebenfalls einen oligotrophen Ist-Zustand beschreiben. Da dieser Gütezustand mit demjenigen, der sich aus der Seebeckengestaltung ergibt, übereinstimmt, erhält der Borkener See die Bewertung 1. Nach dieser an ökologischen Kriterien ausgerichteten Bewertung hat der Borkener See eine sehr gute ökologische Qualität und weist einen anthropogen unbelasteten Gütezustand auf (Tab. 1).

**Tab. 1.** Seenbewertung des Borkener Sees nach Abschätzung des Referenzzustandes und des limnochemischen Ist-Zustandes

**Seenummer: 3, Seename: Borkener See**

**1 Abschätzung des Referenzzustandes nach Morphometrie**

Gewässerfläche [ha]:	139,3	eff. Breite $B_{eff}$ [m]:	1134
Seevolumen [Mio m <sup>3</sup> ]:	33,87	theor. Epilimnion $Z_{epi}$ [m]:	6,49
max. Tiefe $Z_{max}$ [m]:	55,28	Tiefengradient F:	8,51
mittl. Tiefe $Z_{mit}$ [m]:	24,31	Referenzsichttiefe $ST_{ref}$ [m]:	10,46
eff. Länge $L_{eff}$ [m]:	1841	Trophieindex, geschichteter See:	0,9

**Trophiegrad nach Morphometrie: oligotroph**

**2. limnochemischer Istzustand**

Daten Seemitte

Datum	Temp. °C	O <sub>2</sub> mg/l	pH	Lf mS/m	Sichttiefe m	G-P µg/l	Chlorophyll µg/l
30.03.00	5,8	12,0	7,8	84	-	<20	-
26.05.00	15,9	11,1	7,9	84	9,0	<20	<1
26.07.00	17,4	11,0	8,5	83	8,0	<20	<1
15.08.00	20,9	8,7	8,0	83	9,0	<20	<1

quantitative Beschreibung, geschichteter See

	Wf	Messwerte	Index	Wf x Index
Chlorophyll a So µg/l	10	10	0,5	5
Sichttiefe So m	7	8,7	1,1	7,7
G-P Früh µg/l	5	10	1,4	7
G-P So µg/l	5	10	1,6	8
Summe	27			27,7

mittlerer Trophie-Index: 1,0

**resultierender Istzustand: oligotroph**

<b>3. Seenbewertung nach LAWA:</b>	<b>Referenzzustand:</b>	<b>oligotroph</b>
	Istzustand:	oligotroph
	<b>Bewertungsstufe:</b>	<b>1</b>
	Farbkennzeichnung:	dunkelblau

**Wölfersheimer See**

Der Wölfersheimer See wird vorwiegend als Angelsee und zur Einleitung von biologisch behandeltem Abwasser genutzt. Er hat eine Gewässerfläche von 39 ha. Seine größte Tiefe reicht bis 18,7 m, die mittlere Tiefe beträgt 9,25 m (Abb. 4). Mit einem Tiefengradienten von 3,45 ist der See stabil ge-

schichtet und erreicht mit einer Referenzsichttiefe von 4,3 m einen theoretischen Trophieindex von 1,8. Der Wölfersheimer See hat somit einen mesotrophen Referenzzustand, der bei einer mäßigen Nährstoffverfügung eine mäßige Algenentwicklung erwarten lässt.

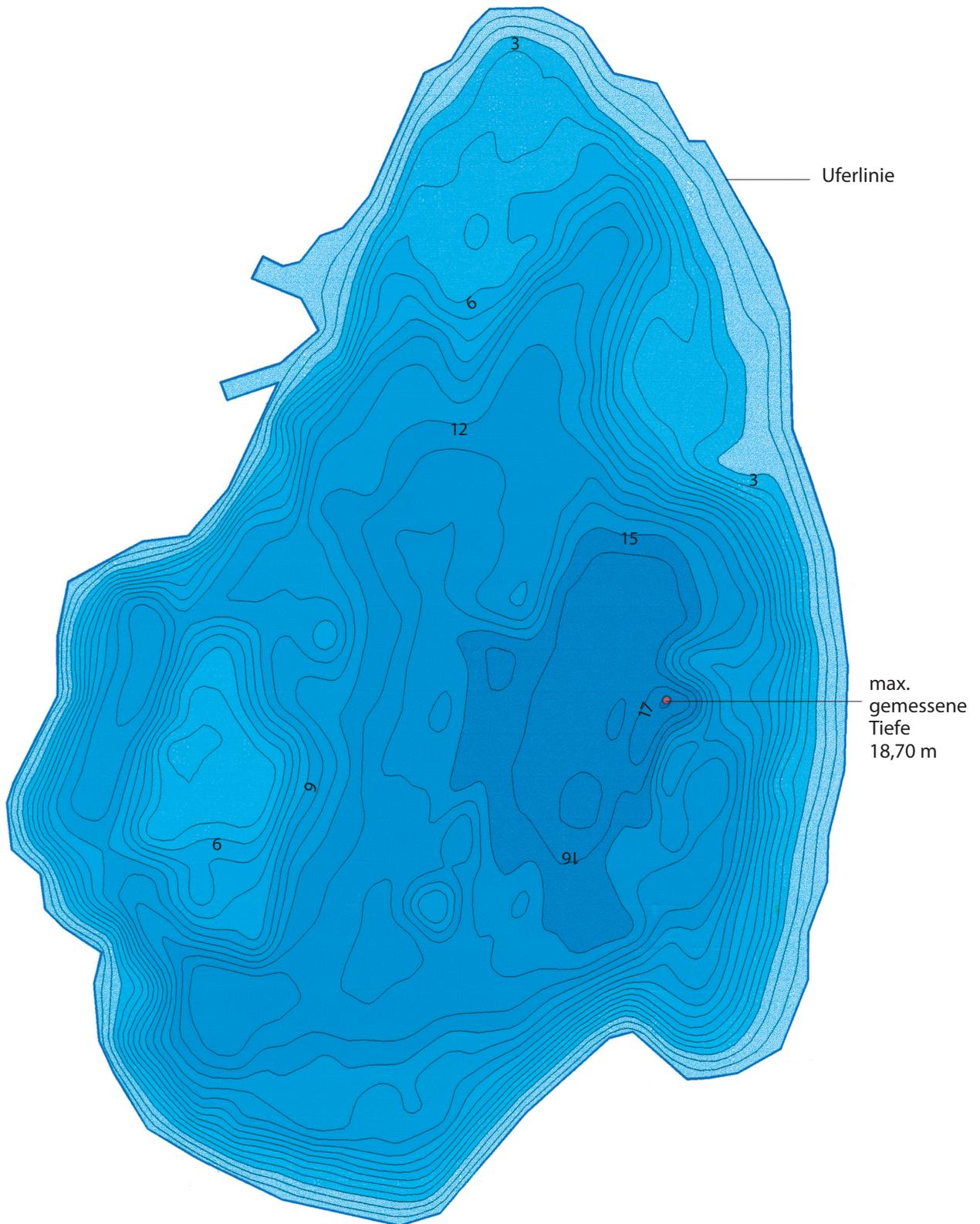


Abb. 4. Tiefenlinienplan Wölfersheimer See (Äquidistanz der Isobathen 1 m).

Demgegenüber ergibt die limnochemische Untersuchung einen ganz anderen Gütezustand. Sowohl der hohe Phosphatgehalt als auch der hohe Chlorophyllgehalt und die geringe Sichttiefe von 1,4 m zeigen einen hohen Trophiegrad an. Auch die hohe Sauerstoffübersättigung von > 200 % und der hohe pH-Wert bis zu 9,9 während des Sommers weisen in diese Richtung. Nach der Gewichtung der einzelnen Trophieanzeiger ergibt sich ein mittlerer Tro-

phieindex von 3,7. Damit hat der Wölfersheimer See einen leicht polytrophen Gütezustand. Da der tatsächliche Gütezustand um drei Trophieklassen schlechter ist als der Referenzzustand, erhält dieser See die Bewertungsstufe 4 (Tab. 2). Es liegt somit eine kritische Nährstoffbelastung des Sees vor, die einen dringenden Handlungsbedarf für Sanierungsmaßnahmen erfordert.

**Tab. 2.** Seenbewertung des Wölfersheimer Sees nach Abschätzung des Referenzzustandes und des limnochemischen Ist-Zustandes

**Seenummer: 14, Seename: Wölfersheimer See**

**1 Abschätzung des Referenzzustandes nach Morphometrie**

Gewässerfläche [ha]:	38,6	eff. Breite $B_{eff}$ [m]:	620
Seevolumen [Mio m <sup>3</sup> ]:	3,57	theor. Epilimnion $Z_{epi}$ [m]:	5,42
max. Tiefe $Z_{max}$ [m]:	18,7	Tiefengradient F:	3,45
mittl. Tiefe $Z_{mit}$ [m]:	9,25	Referenzsichttiefe $ST_{ref}$ [m]:	4,32
eff. Länge $L_{eff}$ [m]:	936	Trophieindex, geschichteter See:	1,8

**Trophiegrad nach Morphometrie: mesotroph**

**2. limnochemischer Istzustand**

Daten Seemitte

Datum	Temp. °C	O <sub>2</sub> mg/l	pH	Lf mS/m	Sichttiefe m	G-P µg/l	Chlorophyll µg/l
27.04.00	18,1	23,5	9,7	59	0,3	470	99
15.05.00	21,9	20,0	9,9	52	1,4	310	135
07.07.00	20,2	20,8	9,8	58	1,4	290	49,5
29.08.00	21,2	10,0	9,2	59	1,4	280	19

quantitative Beschreibung, geschichteter See

	Wf	Messwerte	Index	Wf x Index
Chlorophyll a So µg/l	10	67,8	4,15	41,5
Sichttiefe So m	7	1,4	3,1	21
G-P Früh µg/l	5	470	3,8	19
G-P So µg/l	5	293	3,6	18
Summe	27			99,5

mittlerer Trophie-Index: 3,7

**resultierender Istzustand: polytroph**

<b>3. Seenbewertung nach LAWA:</b>	<b>Referenzzustand:</b>	<b>mesotroph</b>
	Istzustand:	polytroph 1
	<b>Bewertungsstufe:</b>	<b>4</b>
	Farbkennzeichnung:	hellgrün

**Ausblick**

Insgesamt 27 Seen wurden im Jahr 2000 nach der neuen LAWA-Richtlinie bewertet. In 19 Fällen stimmten der tatsächliche Gütezustand mit demjenigen überein, der sich aus den Gegebenheiten der

Seebeckengestaltung ergibt. Dies gilt unabhängig vom Trophiegrad, der von oligotroph bis stark eutroph reichen kann. Somit ist ein eutropher See kein schlechter See, wenn er auf Grund seiner

räumlichen Ausmaße keine günstigere Wasserqualität zulässt. Bei den weiteren acht Seen waren geringe oder größere Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Zustand vorhanden. Für vier Seen mit größerer Abweichung ergibt sich ein Sanierungsbedarf, um durch die Minimierung des Nährstoffangebotes einen geringeren Trophiegrad und damit eine bessere Wasserqualität zu erreichen.

Mit der neuen LAWA-Richtlinie steht für Seen erstmalig ein ökologisch begründetes Bewertungs-

system zur Verfügung. Damit kann der eingangs erwähnte Begriff der „guten ökologischen Qualität“ beschrieben werden, wie es für die Umsetzung der Umweltziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie notwendig ist. Die Gütedefizite, die einen entsprechenden Sanierungsbedarf anzeigen, sind klar erkennbar. In Anlehnung an die biologische Gütekarte der Fließgewässer ermöglicht die 7-stufige Seenbewertung auch eine Kartendarstellung, die die Seen nach der Bewertungszahl farbig darstellt.