

Seenkundliche Untersuchungen an Baggerseen im Raum Neu-Ulm

von Michael Drozd

1. Einleitung

Praktisch alle größeren Stehgewässer in den Tälern von Iller und Donau zwischen Vöhringen und Leipheim sind Baggerseen. Sie werden heutzutage - oft schon vor Ende des Kiesabbaus - von Anglern, Badegästen und Windsurfern intensiv genutzt. In zunehmendem Maße wird nun auch ihr hoher Stellenwert für den Naturschutz erkannt, da natürliche Wasserflächen, wie Altarme und Überschwemmungsflächen durch Flußbegradigung, Entwässerung und Kultivierung selten geworden sind. Gemessen an ihrer Bedeutung sind Baggerseen jedoch aus limnologischer (nicht aus hydrologischer) Sicht nur ungenügend untersucht. Im folgenden werden daher nach einer allgemeinen Charakterisierung Ergebnisse einer vergleichenden Untersuchung an 30 Baggerseen des Neu-Ulmer Raumes dargestellt. (Herrn Prof. Tessenov, Univ. Ulm, danke ich für die Betreuung der hierbei zugrunde liegenden Diplomarbeit). Neben Untersuchungen zum Chemismus und zu den Schichtungsverhältnissen wird auch auf die Nährstoffverhältnisse eingegangen.

2. Besonderheiten der Baggerseen

Baggerseen entstehen durch Ausbaggern von Kies, Ton oder Sand bis unter den Grundwasserspiegel; im Iller- und Donautal sind es die Niederterrassenschotter. Dadurch entsteht ein Oberflächengewässer, dessen Chemismus durch biologische Prozesse gegenüber dem zuströmenden Grundwasser deutlich verändert ist. So kommt es durch das Algen Wachstum im Seewasser zur Aufzehrung von Pflanzennährstoffen und, bedingt durch den Verbrauch gelöster Kohlensäure durch Photosynthese, zur biogenen Kalkfällung.

Gegenüber natürlichen Seen bestehen jedoch einige wichtige Unterschiede: Natürliche Seen haben in unseren Breiten in der Regel nur oberirdische Zu- und Abflüsse. Gegenüber dem Grundwasser sind sie durch Sedimente meist gut abdichtet. Die Zuflüsse sind bezüglich ihrer Temperatur, Schüttung und Fracht an gelösten und ungelösten Stoffen größeren jahreszeitlichen, zuweilen auch kürzerfristigen Schwankungen unterworfen. Im Gegensatz dazu werden Baggerseen vom Grundwasser durchströmt. Grundwasser weist jedoch kaum Schwankungen seiner Eigenschaften auf. So liegt die Temperatur etwa in Höhe der Jahresdurchschnittstemperatur der Luft, in Ulm also etwa um 9 Grad. Zuströmendes Grundwasser ist somit im Winter immer wärmer, im Sommer immer kälter als das Seewasser. Auch der Gehalt an gelösten Stoffen schwankt weniger und dürfte, vor allem wegen der biogenen Kalkfällung im See, immer über dem des Seewassers liegen.

Schließlich ist Grundwasser durch industrielle und häusliche Abwässer in der Regel weniger belastet als die meisten Flüsse. Wasser, welches den Baggersee verläßt, tut dies nur in Ausnahmefällen über oberirdische Abflüsse. In den meisten Fällen tritt das abströmende Wasser wieder in den Grundwasserleiter ein. Dadurch wird das Grundwasser unterhalb des Sees (d.h. in Grundwasserfließrichtung dahinter), wie Untersuchungen von WROBEL (1980) zeigen merklich beeinflußt.

Zum einen kommt es in den beeinflussten Bereichen entsprechend den Verhältnissen im See zu Temperatur Schwankungen. Bedeutsamer jedoch ist die Gefahr einer Verunreinigung, da das den See durchströmende Grundwasser durch keine Bodenbedeckung vor Schadstoffeintrag geschützt ist. Aber auch ohne besondere Schadstoffeinträge kann es durch den im Seewasser erhöhten Gehalt an organischen Stoffen (Abbauprodukte von Organismen) im Grundwasser zur Sauerstoffaufzehrung kommen.

Von großer Bedeutung für die Lebensbedingungen im See ist auch die Morphologie des Seebeckens. Natürliche Seen haben oft breite Flachwasserzonen, in denen sich Röhrichte ausbreiten. In Baggerseen dagegen fehlen ausgedehntere Flachwasserbereiche von wenigen Zentimetern bis etwa einem halben Meter meist völlig. Statt dessen fallen die Ufer verhältnismäßig steil ab.

3. Methodik

Wasserproben wurden mit einem Van-Dorn-Schöpfer über der tiefsten Stelle der Seen vom Boot, im Winter vom Eis aus entnommen. Die Verwendung dieses Schöpfers gestattet die Entnahme von Wasserproben aus verschiedenen Wassertiefen.

An diesen Stellen wurden auch Temperatur und Leitfähigkeit mit entsprechenden Sonden in situ gemessen.

Im Frühjahr und Herbst, wenn wegen der Witterungsverhältnisse von einer Vollzirkulation des Sees ausgegangen werden konnte, wurden die Probenahme und die anderen Messungen vom Ufer aus vorgenommen.

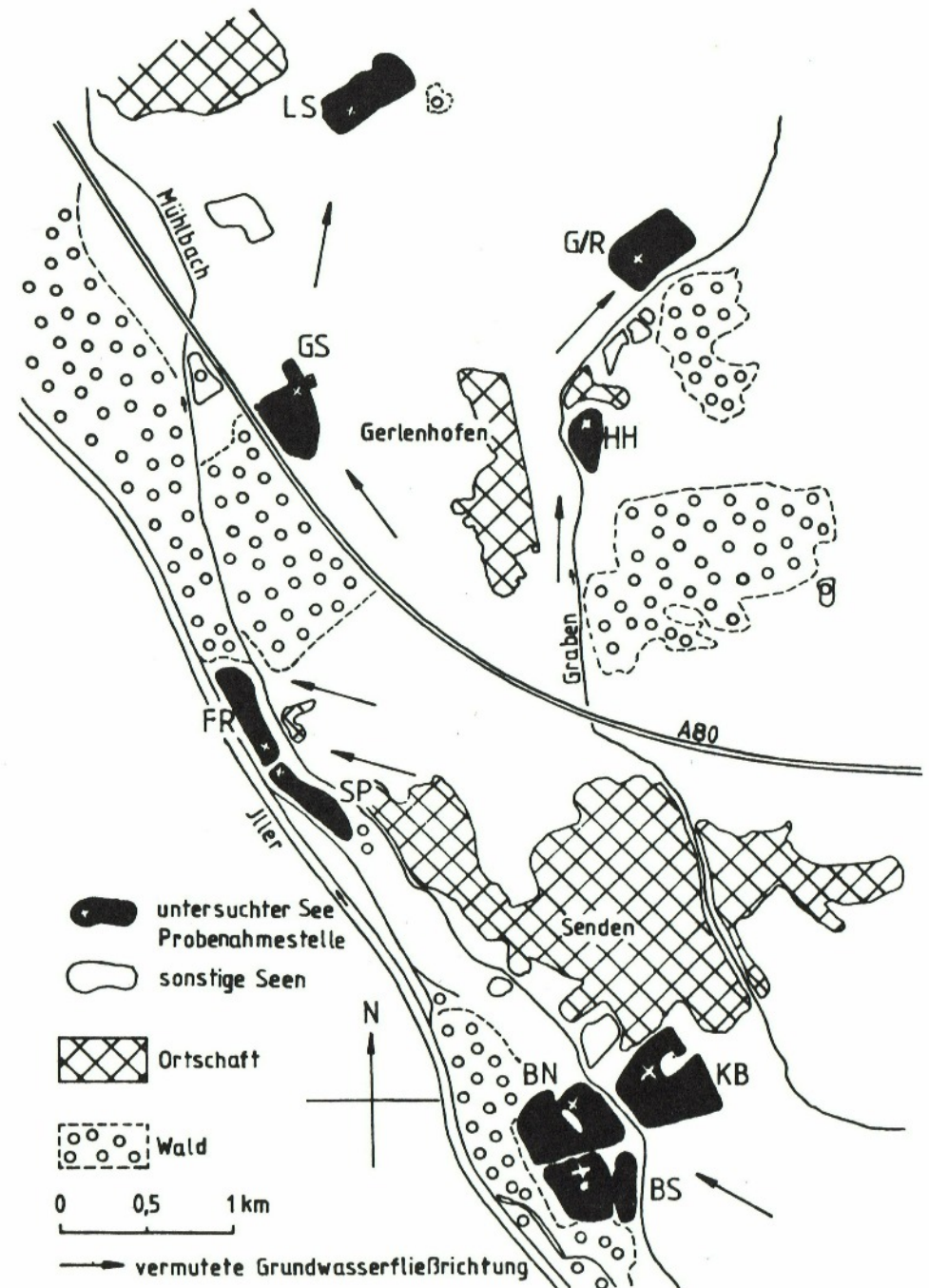
Die chemischen Untersuchungen wurden nach den in der Limnologie üblichen Verfahren durchgeführt. Für die Phosphatbestimmung wurde in der unfiltrierten Wasserprobe ein Schwefelsäureaufschluß durchgeführt. Die Ergebnisse schließen somit auch den in Algen und an Schwebstoffpartikel gebundenen Phosphor ein. Die Angaben wurden als Gesamt-Phosphor (Ges-P) in $\mu\text{g/l}$ gemacht. Auch die Werte für Nitrat und Silikat wurden als Nitratstickstoff bzw. Silicium in mg/l angegeben. Das Säurebindungsvermögen (SBV) entspricht der Hydrogencarbonatkonzentration.

Die Sichttiefe wurde mit der Secci-Scheibe gemessen.

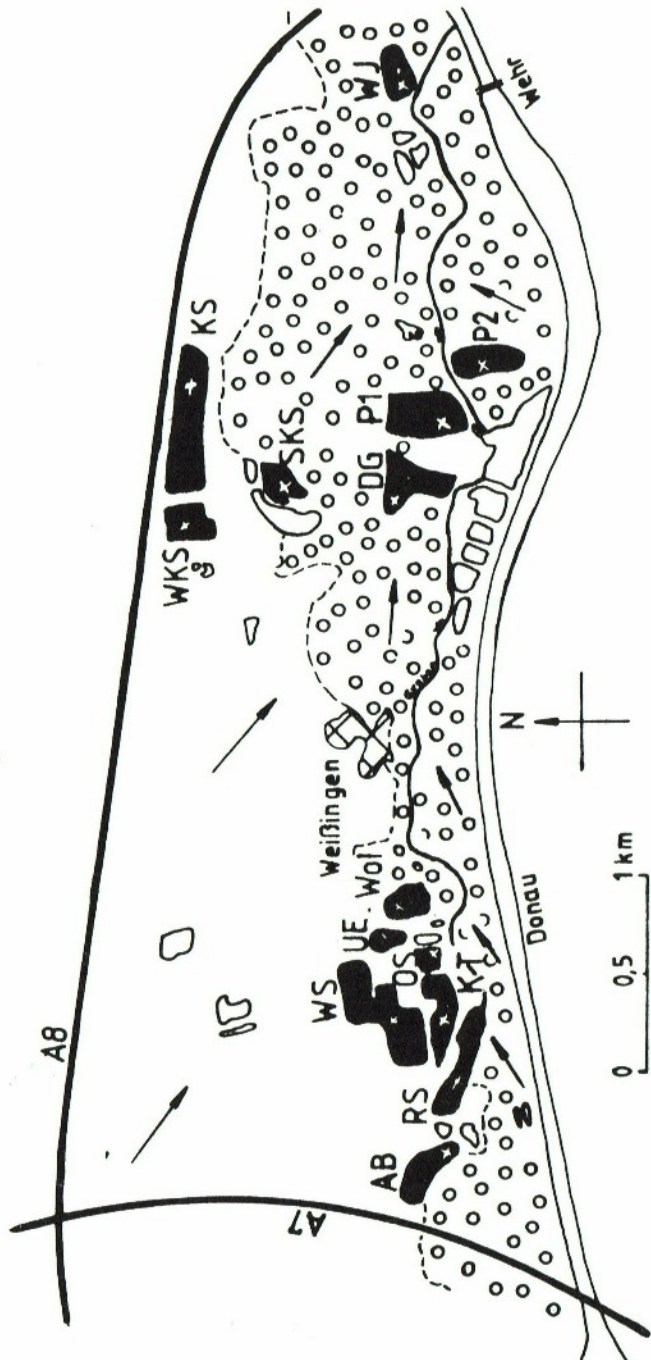
Die submersen Wasserpflanzen wurden soweit möglich vom Boot aus mit einem Sichtkasten betrachtet und einzelne Exemplare zur Bestimmung mit einer Stange ins Boot geholt. Eine Reihe von Seen wurde bis zu einer Tiefe von etwa 4 m schnorchelnd durchtaucht, die Sicht reichte dann teilweise noch tiefer.

4. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Einen Überblick über die untersuchten Seen geben die Karten 1 und 2. Die Abkürzungen der Seennamen sind in Tabelle 1 erläutert. Dort finden sich auch Angaben zu Tiefe und Ausdehnung.



Karte 1: Die Seen des Illertals. Abkürzungen aus Tab.1. Der nicht eingetragene Vöhringer See (VS) liegt etwa zwei Kilometer südöstlich von BS.



Karte 2: Die Seen des Donautals östlich der A7. Signaturen wie Karte 1. Die Seen FT, SH, TT, TS, DS und SS liegen westlich der A7 auf Höhe der Seen RS bis WS.

Tabelle 1: Baggerseen-Übersicht.

L = größte Länge eines Sees (m)
 B = größte Breite senkrecht zur Länge (m)
 T = größte gefundene Tiefe (m)
 * = Baggerbetrieb, Erdverfüllung, Einleitung von Kieswaschwasser u.ä.

Abk.	Name	L	B	T	
VS	Vöhringer See	580	375	8,5	*
BS	"See südl. Pipeline"	560	450	10,5	
BN	"See nördl. Pipeline"	600	343	11,0	
KB	"Käbbohler See"	618	528	10,0	*
SP	"Spinnereisee"	693	160	8,0	*
FR	"Freudenegger See"	700	190	7,2	*
HH	Häuserhofsee	315	210	5,7	
G/R	"See Gerlenhofen/Reutti"	465	275	12,0	*
GS	Gurrenhofsee	583	318	4,5	
LS	Ludwigsfelder See	525	325	4,3	
Th	Thalfinger See	870	440	5,0	*
FT	Fischerteich	450	-	-	
SH	Sandhakensee	565	118	-	
TT	Tannenteich	430	-	-	
TS	Teichäckersee	-	-	-	
DS	Daferner See	-	-	-	*
SS	Silber see	-	-	-	*
AB	"Autobahnsee"	450	-	6,9	
RS	Riedelsee	565	120	9,0	
KT	Kehrteich	430	-	5,3	*
OS	"O-See"	160	120	5,5	
UE	Unterelchinger See	200	120	2,8	
Wol	"Waldsee ohne Insel"	240	185	3,5	
WS	"An d.Weißinger Str."	415	-	6,1	
WKS	"See westl. KS"	245	215	7,5	
KS	"Krebszuchtsee"	750	225	10,5	
SKS	"See südl. KS"	300	185	8,2	*
DG	Dorngehausee	330	250	7,2	
P1	"Pflanzgartensee 1"	420	230	9,5	
P2	"Pflanzgartensee 2"	-	-	5,8	*
WI	"Waldsee mit Insel"	260	160	3,3	

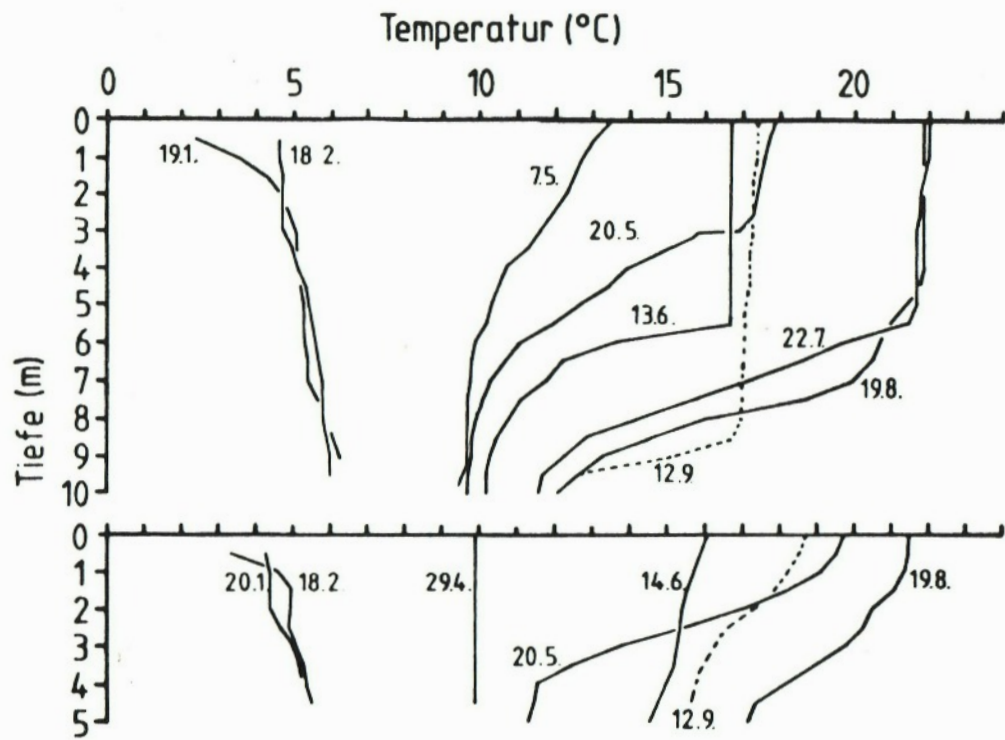


Abbildung 1 und 2: Temperaturverhältnisse im Krebssee (KS, oben) und Thalfinger See (Th, unten).

5. Die Temperaturverhältnisse

Einen Überblick über die räumliche und zeitliche Temperaturverteilung einiger ausgewählter Seen informieren die Abbildungen 1 bis 4.

Temperaturmessungen wurden im Januar und Februar vom Eis aus vorgenommen. Die Temperaturschichtung im Januar war schwach, im Februar noch schwächer. Der größte Temperaturprung wurde erwartungsgemäß zwischen 0,5 und 1 m Tiefe beobachtet. WI und LS, zwei relativ flache Seen, hatten erstaunlicherweise eine relativ große vertikale Temperaturdifferenz von rund 4 Grad.

Bemerkenswert ist auch, daß in allen Seen die Temperatur an der tiefsten Stelle über 4 Grad lag, obwohl die Seen im Herbst unter 4 Grad abkühlen und Wasser bei dieser Temperatur seine

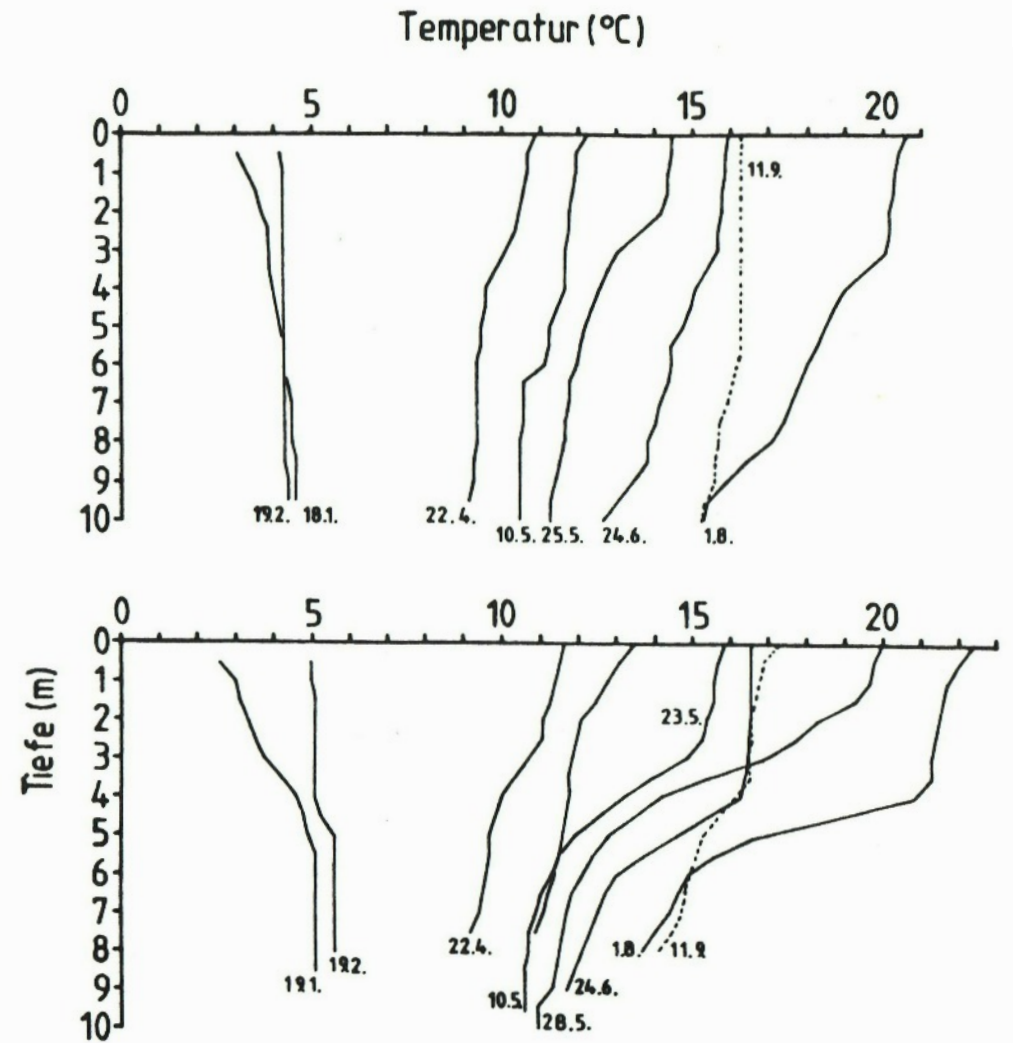


Abbildung 3 und 4: Temperaturverhältnisse in zwei benachbarten Sendener Seen (BS, oben und KB, unten). Man beachte, wie unterschiedlich die Temperaturschichtung ist.

größte Dichte hat. Dies ist durch Zustrom des wärmeren Grundwassers zu erklären.

Wenige Seen waren im Untersuchungsjahr schon Anfang März ganz (Gurrenhofsee, GS) oder teilweise (BS, KB, SP, Th, WI) eisfrei, der letzte, der auftaute, war der Baggersee in Gerlenhofen Reutti (G/R) Ende März.

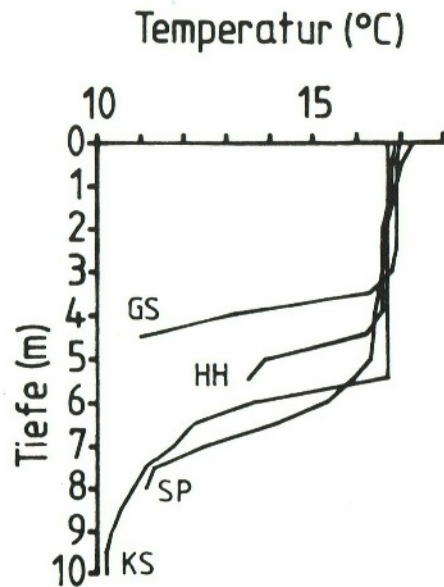


Abbildung 5: Temperaturschichtung während des Kälteeinbruchs im Juni. Die tiefsten Meßwerte entsprechen den jeweils tiefsten Stellen, weite Bereiche der Seen sind jedoch viel flacher. Außer im Krebssee (KS) herrschte also im größten Teil der anderen drei Seen quasi völlige Durchmischung.

Auf den Eisaufgang folgte die Frühjahrsvollzirkulation, während der die Wassertemperatur von rund 6 Grad auf etwa 10 Gradanstieg bis die Ausbildung der sommerlichen Temperaturschichtung ab etwa Ende Mai einsetzte. Der starke Wind im Zusammenhang mit der Schafskälte Mitte Juni durchmischte flachere Seen wie den Thalfinger See fast vollständig (Abb.5). Eine nennenswerte Sommer Stagnation wurde nur in den Monaten Juli und August beobachtet. In den tieferen Seen lag dabei die Sprungschicht tiefer, als in flacheren. Sie begann beispielsweise im Krebssee (KS, Abb.1) bei 6 bis 7 m, im Thalfinger See dagegen schon bei 1 m, wobei sie hier viel schwächer ausgeprägt war (Abb.2). Die sommerliche Schichtung war überhaupt viel schwächer als in entsprechenden natürlichen Seen zu erwarten gewesen wäre. Schon im September begann wieder eine tiefer reichende Durchmischung der Seen.

6. Vergleichende Betrachtungen zum Chemismus

Die im folgenden wiedergegebenen Meßwerte stammen, sofern nicht anders angegeben, aus Messungen von Ende März 1985. Sie sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2: Analysenergebnisse der Uferproben vom 26.3.85 (Vollzirkulation außer im Autobahnsee (AB)). G-P. = Gesamt-Phosphat-Phosphor, Si = Silikat-Silicium

See	Temp. °C	G-P ug/l	N03-N mg/l	Si mg/l	SB V mval/l	Ca ++ mval/l	Mg* + mval/l
VS	5,1	13	6,03	2,52	5,55	5,31	2,09
BS	4,0	9	4,35	2,08	5,04	4,84	1,73
BN	6,0	7	3,49	1,72	4,56	4,35	1,69
KB	6,0	14	4,65	1,97	5,22	5,06	2,09
SP	7,2	12	2,45	0,89	3,83	3,67	1,43
FR	5,4	8	2,09	0,92	3,61	3,39	1,40
HH	5,7	63	0,95	0,42	3,38	3,28	1,77
TS	6,4	9	2,98	0,63	4,59	4,56	2,00
LS	6,1	7	0,55	0,39	4,83	4,89	2,03
G/R	6,3	7	0,23	0,24	2,72	3,00	1,26
Th	6,2	64	0,65	1,96	3,78	3,75	0,86
FT	6,6	9	0,59	0,04	3,00	3,46	1,38
SH	6,5	10	1,47	0,65	4,19	4,64	1,30
TT	6,9	11	1,36	0,32	3,43	4,28	1,31
TS	6,2	16	1,73	0,21	3,09	4,52	1,25
DS	4,4	14	5,18	1,58	4,81	6,62	1,28
SS	6,0	19	5,49	0,95	4,73	6,36	1,39
AB	7,1	24	1,28	0,74	2,41	4,15	0,80
RS	6,6	6	0,45	0,89	3,00	4,25	1,12
KT	6,8	9	0,09	0,32	3,62	4,84	1,33
OS	6,7	9	0,05	0,10	2,20	3,62	1,45
UE	7,2	12	0,05	0,30	2,55	4,60	1,38
Wol	6,5	9	0,09	0,37	2,43	3,86	1,40
WS	6,8	13	0,08	0,38	3,32	4,96	1,69
WKS	6,8	9	0,09	0,09	2,50	3,96	1,58
KS	7,0	19	0,00	0,22	1,60	2,84	1,41
SKS	6,9	23	0,16	0,10	1,77	2,94	1,10
DG	5,4	6	0,14	0,23	2,60	3,10	1,22
PI	5,5	7	0,11	0,31	3,00	3,47	1,27
P2	5,6	8	0,47	2,10	4,01	4,02	1,00
WI	6,6	7	0,09	2,06	4,27	4,33	1,34

Bei den untersuchten Seen überwiegen solche mit geringen Gesamt-Phosphat-Gehalten. 27 der 31 Baggerseen hatten Gesamt-P-Konzentrationen zwischen 6 und 20 $\mu\text{g/l}$, nur zwei Seen, nämlich im Thalfinger See und im Häuserhofsee (HH), lagen sie über 60 $\mu\text{g/l}$. Auch der illernahe See Spinnereisee (SP) und der Autobahnsee (AB) hatten relativ hohe Werte. Auf diese vier Seen wird in der Diskussion noch eingegangen. Unterschiede zwischen der mittleren Gesamt-P-Konzentration der Illertalseen einerseits und der Donautalseen andererseits waren sehr gering. Bei Nitrat und Silikat hingegen wiesen die Seen des Illertals im Mittel höhere Gehalte auf als die des Donautals.

Um die Vielzahl der Meßwerte zu sichten, wurden in Abbildung 6 die Calcium- gegen die Nitratkonzentrationen aufgetragen. Nach dieser Abbildung wurden die Seen rein schematisch in drei Gruppen eingeteilt, die jeweils Seen eines bestimmten Gebietes umfassen (vgl. mit Karte 1 und 2).

Erwartungsgemäß hatten Seen mit höheren Nitratkonzentrationen auch höhere Calcium- bzw. Silikatwerte. Im Frühjahr erreicht die Algenentwicklung ein erstes Maximum, während dem Calcium durch biogene Kalkfällung und Nitrat und Silikat (Diatomeen) durch Zehrung vermindert werden. Je nach Fortgang dieser Entwicklung sind entsprechende Unterschiede zwischen den Seen zu erwarten. Auch lokale Unterschiede spielen eine Rolle. Besonders deutlich war dies im Illertal (Abb.6), wo die Konzentrationen der betreffenden Stoffe von Süden (VS) nach Norden (G/R) abnahmen. Die Seen des Donautals östlich des Riedelsees fielen wegen ihres erstaunlich geringen Nitratgehaltes auf, obwohl auch in diesem Gebiet intensive Landwirtschaft betrieben wird.

Das Säurebindungsvermögen (entspr. Hydrogenkarbonatkonzentration) folgte im allgemeinen den Calciumkonzentrationen.

Von einiger Bedeutung wären noch die Chloridgehalte. Hier sind vor allem die mit Streusalz belasteten autobahnnahen Seen zu nennen. Wegen der großen Wichtigkeit und Komplexität des Problems muß jedoch auf eine spätere Publikation zu diesem Thema verwiesen werden.

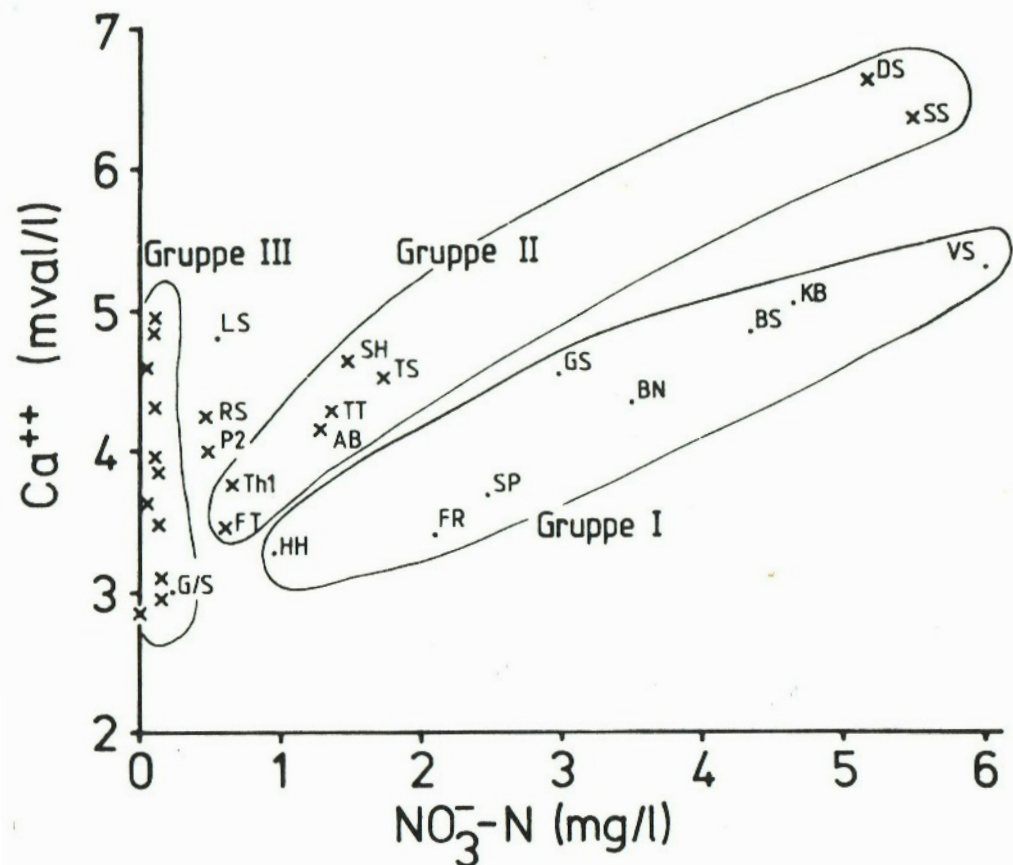


Abbildung 6: Nitrat- und Calciumkonzentrationen der untersuchten Seen Ende März.
 Kreuze = Donautal, Punkte = Illertal
 Gruppe I - Illertal
 Gruppe II - Donautal südlich Unterelchingen
 Gruppe III - Donautal östlich Riedelsee

Im Sommer wurde auch die Vertikalverteilung der genannten Stoffe in den meisten Seen untersucht. Vertikale Konzentrationsunterschiede waren nur spärlich ausgeprägt. Lediglich in der größten Tiefe konnte manchmal ein deutlicher Anstieg der Konzentration aller genannten Stoffe beobachtet werden. Dies beruhte wohl vor allem auf dem Zustrom von Grundwasser, das sich wegen seiner höheren Konzentration an gelösten Stoffen und der niedrigeren Temperatur in der Tiefe einschichtet.

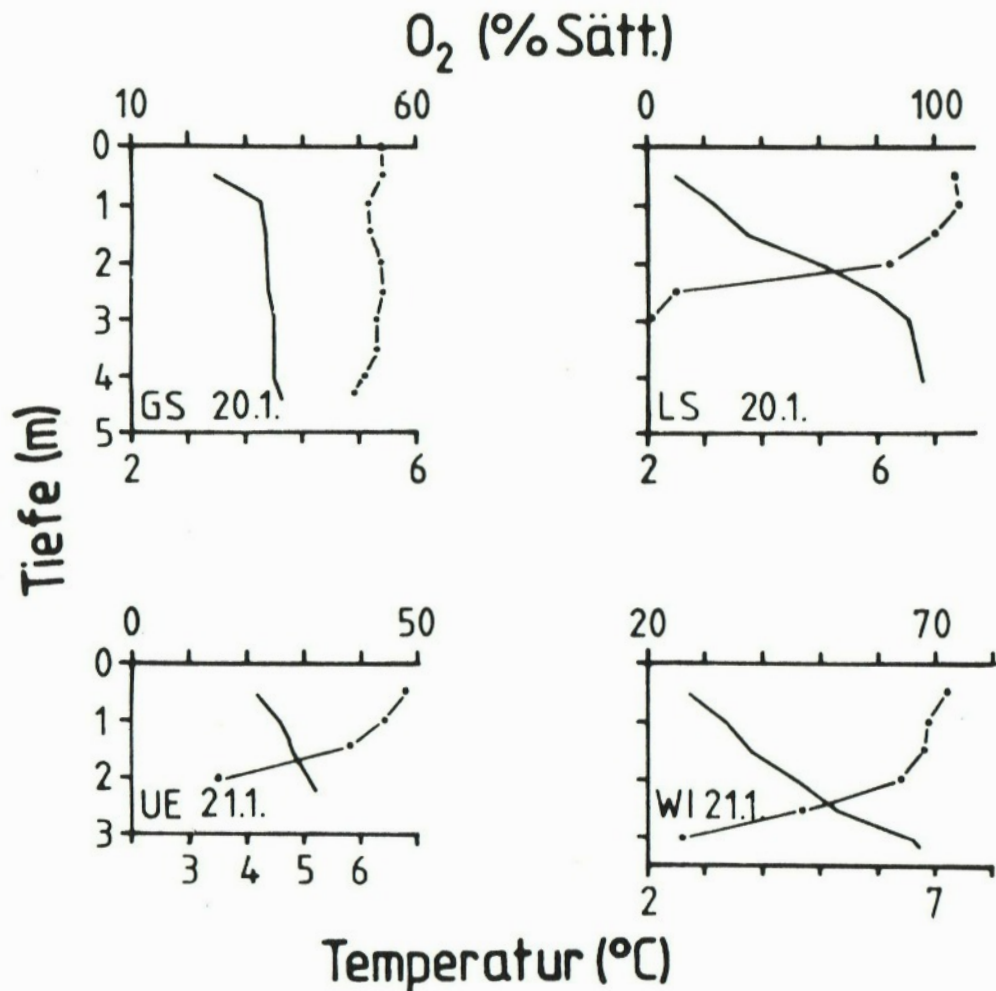


Abbildung 7: Temperatur- und Sauerstoff Schichtung in vier flachen im Sommer sehr wasserpflanzenreichen Seen im Januar. Man beachte die Verhältnisse im Gurrenhofsee (GS). Kurven mit

7. Die Sauerstoff Verhältnisse

Im Winter unter der Eisdecke zeigten vor allem die tieferen Seen des Illertals eine gute Sauerstoffversorgung. Vertikale Unterschiede der Sauerstoffsättigung waren in SP, FR, BS, BN, KB und G/R nicht vorhanden oder nur sehr gering ausgeprägt. In den Donautalseen KS (Krebszuchtsee) und RS (Riedelsee), die bezüglich ihrer Tiefe mit BS, BN und KB vergleichbar sind, hatten dagegen in den untersten Wasserschichten einen deutlichen Abfall der Sättigung auf 20 bzw. 5%.

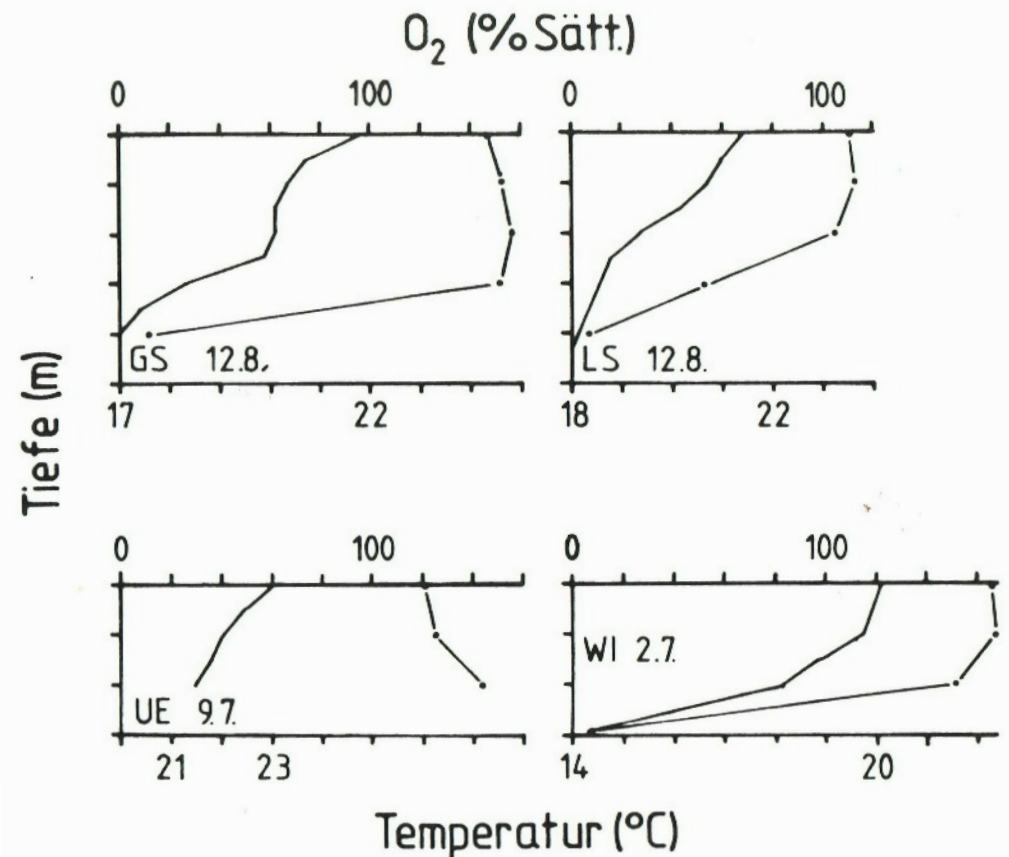


Abbildung 8: Temperatur- und Sauerstoffschichtung in vier wasserpflanzenreichen Seen im Sommer. Kurven mit Punkten = Sauerstoff.

Im eutrophen Thalfinger See (siehe Kap.8) lag die Sättigung in der Tiefe bei etwa 45%. In den flachen, im Sommer mit Makrophyten sehr üppig bewachsenen Seen LS, UE und WI fielen die Sauerstoffkonzentrationen in der Tiefe ebenfalls sehr stark ab, nicht jedoch in dem ebenfalls makrophytenreichen Gurrenhofsee (GS, Abb.7).

Im Sommer war die Sauerstoffschichtung meist deutlicher ausgeprägt als die anderer Parameter. Im folgenden werden zum Vergleich der Seen die Verhältnisse in den Monaten Juli und August wiedergegeben.

O₂ (% Sätt.)

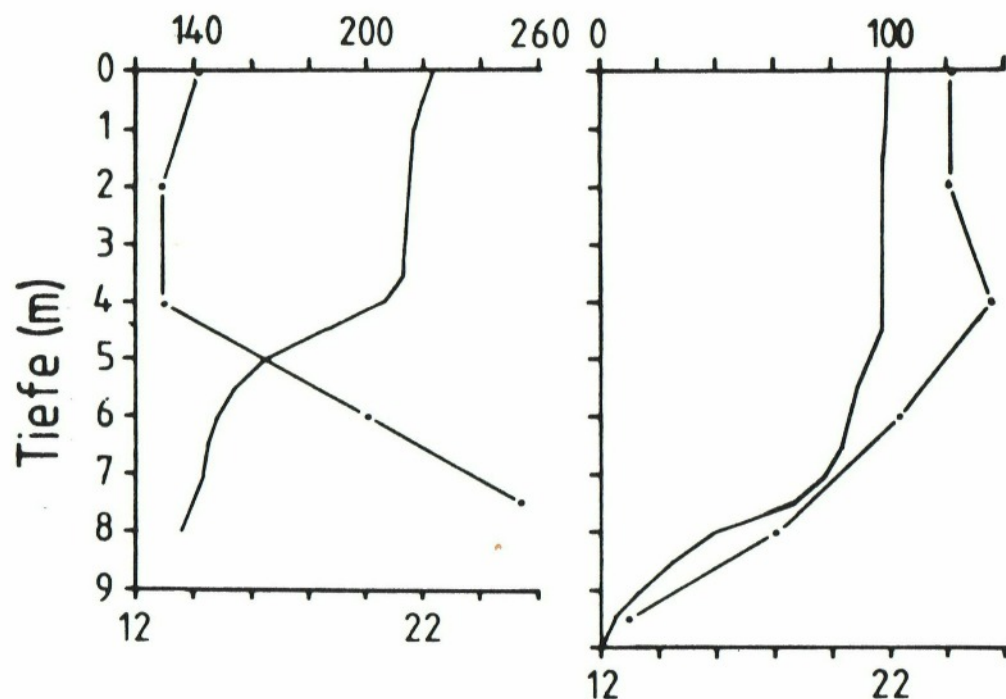


Abbildung 9: Temperatur- und Sauerstoffsichtung im Käßbohrer See (KB, links) und im Krebszuchtsee (KS, rechts) im August. Kurven mit Punkten = Sauerstoff.

Seen mit deutlicher Sauerstoffübersättigung in der Tiefe waren wieder BS, BN und KB, letzterer mit rund 260% in 7,5 m Tiefe. Interessant war auch hier der Vergleich mit entsprechenden Seen des Donautales (KS und RS). Wiederum zeigten letztere eine deutliche Abnahme der Sauerstoff Sättigung in der Tiefe (Abb.8)

In den eutrophen Seen (Thalfinger See und Häuserhofsee) war in den grundnahen Schichten kein Sauerstoff mehr vorhanden. Auch die üppig mit Makrophyten bewachsenen Seen hatten in der Tiefe, d.h. innerhalb der Makrophytenbestände, sehr geringe Sauerstoffgehalte (Abb.9). Eine Probenahme im Untereichingersee (UE) war im Characeenbestand nicht möglich, da der Schöpfer nicht zwischen die eng verschlungenen Pflanzen eindringen konnte.

8. Die Makrophytenvegetation

Unter Makrophyten versteht man größere Wasserpflanzen als einzellige oder fadenförmige Plankton- oder Benthosalgen. Man rechnet zu ihnen Armelecheralgen, Wassermoose und höhere Pflanzen, die submers oder als Schwimmblattpflanzen leben. Röhrichtpflanzen wurden nicht erfaßt, weil die Flachwasserzonen wegen der steil abfallenden Ufer nur sehr selten sind und größere Röhrichte fast überall fehlen (einzige Ausnahme See an der Weißinger Straße, WS).

In Tab.3 wurden die gefundenen Arten aufgeführt. Characeen (Armelecheralgen) stellen ein typisches Element der Baggerseevegetation im Untersuchungsgebiet dar. Dasselbe gilt für die Myriophyllum- (Tausendblatt) und Potamogeton-Arten (Laichkraut).

Tabelle 3: Unterwasserflora einiger der untersuchten Baggerseen nach Untersuchungen vom August 1984

Art/See	LS	Wol	UE	GS	WI	BS	DG	KT	KS	WS	Σ
Myriophyllum verticillatum	x		x	x	x	x		x		x	7
Potamogeton pectinatus				x	x	x	x	x	x	x	7
Myriophyllum spicatum		x	x	x		x	x	x			6
Potamogeton natans			x		x	x			x	x	6
P. crispus							x	x	x	x	4
Ranunculus spec.						x	x		x	x	4
Elodea canadensis									x	x	4
Veronika spec.								x		x	2
Potamogeton perfoliatus										x	1
Utricularia vulgaris					x						1
Characeenwiesen	x	x	x	x	x	x		x	x	x	9
Summe ohne Characeen	1	1	3	3	4	5	5	5	5	8	

Die Gattung *Ranunculus* (Wasserhahnenfuß) wurde nicht näher bestimmt, da kaum Blüten und Früchte gefunden wurden. Meist handelte es sich jedoch um *R. circinatus* (Starrer Hahnenfuß), wie aus den gespreizten Blätter, die auch außerhalb des Wassers nicht zusammenfallen, geschlossen werden konnte.

Die Verteilung der Arten in den einzelnen Seen war schwieriger zu erfassen, da mit der groben Kartierungsmethode Gesetzmäßigkeiten kaum erkennbar wurden. Ganz allgemein ergab sich das folgende Bild.

In flachem Seen war meist der größte Teil des Seegrunds mit Makrophyten bedeckt. In Ludwigsfelder See (LS) und Gurrenhofsee (GS) dominierten jeweils *M. verticillatum* (Quirlblütiges Tausendblatt) bzw. *P. pectinatus* (Kammförmiges Laichkraut). Characeen waren hier nur spärlich vorhanden. In anderen sehr flachen Seen (Wi, WS, Wol, UE) wechselten größere Flächen von *P. natans* (Schwimmendes Laichkraut) und *Myriophyllum*-Arten mit Characeenwiesen ab. Oft waren erstere mehr am Ufer bzw. im Schatten des angrenzenden Waldes zu finden. Letztere dagegen besiedelten gerne Uferbereiche, die von Anglern mit dem Rechen von anderen Wasserpflanzen befreit worden waren. Der Bewuchs an Wasserpflanzen war in den genannten Seen z.T. so üppig, daß die Pflanzen manchmal aus vier Meter Tiefe bis an die Oberfläche reichten (*M. verticillatum*, *P. natans*). Sehr eindrucksvoll ist dies in Waldsee mit Insel (WI) zu sehen, wo der bis zu 3 m tiefe Westteil des Sees stellenweise bis zur Wasseroberfläche total zuwächst, während im flacheren Ostteil (bis 2 m) Characeenwiesen vorherrschen.

In den klaren der tieferen Seen südlich und nördlich der Pipeline in Senden (BS, BN) waren die Ufer bis etwa 5 m Tiefe mit verschiedenen Arten bewachsen, die auch hier z.T. sehr dichte Bestände bildeten. Tiefere Flächen waren, wie Bodengreiferproben zeigten, bis zur größten Tiefe (BS 10,5 m) hauptsächlich mit Characeen bewachsen.

Der tiefere, aber etwas trübere Krebszuchtsee (KS) war ab etwa 6 m makrophytenfrei. Erstaunlich dagegen war, daß im ebenfalls tiefen Käßbohrer See (KB) regelmäßig frisch grüne Armelechteralgen aus der größten Tiefe (9 m) mit dem Lot herausgezogen wurden, obwohl der See durch Waschwasser aus dem angrenzenden Kieswerk stark getrübt war und nur eine geringe Sichttiefe (immer weniger als 2 m) hatte. Es ist jedoch möglich, daß es sich um verdriftete Exemplare gehandelt hat, obwohl im flacheren Wasser keine Characeenbestände entdeckt wurden (Vgl. Kapitel Sauerstoff, Abb.9).

Eutrophe Seen, wie der Thalfinger See oder Häuserhofsee (HH) waren weitgehend makrophytenfrei. Nur in Ufernähe standen einige kümmerliche Exemplare der Gattung *Myriophyllum*.

9. Die Nährstoffsituation der untersuchten Seen

Die Trophie ist ein Maß für die Primärproduktion eines Gewässers. Zur Beurteilung werden daher vor allem folgende Parameter verwendet:

Der Gehalt an Gesamt-Phosphat: In der Regel ist Phosphor der das Algenwachstum begrenzende Faktor. Da die Konzentration an Orthophosphat in den Seen im allgemeinen sehr gering und entsprechend dem Algenwachstum Schwankungen unterworfen ist, wird als konstanterer Parameter die Gesamtphosphatkonzentration herangezogen. Sie umfaßt freies Orthophosphat, kolloidale P-Verbindungen und in Organismen gespeichertes Phosphat. Nach FORSBERG und RYDING (1980) werden Seen mit Ges-P-Werten von unter 15 µg/l als oligotroph, zwischen 15 und 25 als mesotroph und über 25 µg/l als eutroph bezeichnet.

Sichttiefe: Sie hängt vor allem von der Dichte der Algen ab. Seen mit Sichttiefen von mehr als 4m gelten als oligotroph, von 2,5 bis 4 m als mesotroph und bei weniger als 2,5 m als eutroph.

Sauerstoffgehalt: Wegen der hohen Algenproduktion eutropher Seen ist die Sauerstoffkonzentration dort durch den Abbau abgesunkener Organismen in der Tiefe oft sehr gering. Die erwähnte geringe Sauerstoffkonzentration innerhalb mancher Makrophytenbestände bleibt hierbei unberücksichtigt.

In einigen der untersuchten Seen wurde noch gebaggert, Waschwasser von der weiteren Kiesverwertung eingeleitet oder Erdaushub verfüllt. Solche Seen werden im folgenden ausgeklammert bleiben, weil die dadurch bedingte hohe Schwebstoffkonzentration sowohl die Sichttiefenmessung, als auch die Aussage der Gesamt-P-Konzentration verfälscht. An die Schwebstoffe können große Mengen von Phosphat absorbiert sein, ohne daß diese den Planktonalgen zur Verfügung stünden.

Ein weiterer Mangel der Einteilung nach der Trophie liegt darin, daß die üblichen Klassifizierungssysteme an großen Seen erarbeitet wurden. Die untersuchten Baggerseen sind im Gegensatz dazu eher mit kleinen Seen zu vergleichen. Auch

bleibt der üppige Makrophytenbewuchs mancher Gewässer in diesen Systemen unberücksichtigt.

Mit diesen Einschränkungen wären nach FORSBERG und RYDING (1980) von 20 der untersuchten Seen 13 als oligotroph, 5 als mesotroph und zwei (Häuserhofsee und Thalfinger See) als eutroph zu bezeichnen (Tab.4). Der Autobahnsee (AB) zeigt eine Tendenz zur Eutrophierung.

10. Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, daß Baggerseen sich in einigen Punkten von natürlichen Seen unterscheiden. Abgesehen von der etwas über 4 °C erhöhten Tiefentemperatur im Winter ist besonders die lange Dauer der Frühjahrsvollzirkulation von Bedeutung. Die Ursache dürfte im Zustrom des etwa 8 Grad warmen Grundwassers liegen, das sich, vor allem wenn die Temperatur des Seewasser darüber steigt, in der Tiefe des Sees einschichtet. Im Gegensatz dazu bleibt das Wasser in der Tiefe natürlicher Seen viel kälter ("Restkälte" vom Winter) und führt zu einer deutlicheren thermischen Sommerschichtung. Die Schichtung der Baggerseen bleibt dagegen schwächer. In ihnen steigen die Tiefentemperaturen auch noch während des Sommers an, was auf die Einmischung wärmeren Oberflächenwassers in die Tiefe hinweist. Eine völlige Durchmischung im Sommer dürfte wiederum nur durch den Zustrom kälteren Grundwassers in die Tiefe verhindert werden, der zu dieser Jahreszeit eher schichtungsstabilisierend wirkt.

Entsprechend der schwachen thermischen Sommerschichtung ist auch die Vertikalverteilung gelöster Feststoffe relativ gleichmäßig. Nur in der Tiefe sind die Konzentrationen, wiederum wegen des Grundwasserzustromes, etwas erhöht.

Vertikale Unterschiede der Sauerstoffsättigung waren erwartungsgemäß deutlicher, da sich durch Produktion oder Zehrung je nach Organismendichte (Phyto- und Zooplankton) mehr oder weniger schnelle Änderungen ergeben können. Besonders erwähnenswert erscheinen mir die relativ geringen Sauerstoffgehalte innerhalb der Makrophytenbestände flacher, üppig bewachsener Seen (GS, WI, LS). Hier werden die

grundnahen Bereiche von den Pflanzen beschattet. Durch Atmung der Pflanzen selber und wohl auch durch Abbau von sedimentiertem Detritus wird Sauerstoff verbraucht. Da die Wasserpflanzen die Wasserbewegung zudem bremsen, wird auch der Austausch mit dem Sauerstoffreicherem Wasser höherer Schichten behindert. Nicht untersucht, aber von großem Interesse wären in diesem Zusammenhang auch die zu erwartenden großen täglichen Schwankungen im Sauerstoffgehalt dieser Seebereiche, denn Makrophytenbestände stellen nischenreiche Flächen auf dem sonst eher monotonen Seegrund dar.

Durch den Abbau großer Mengen Biomasse in solchen üppig bewachsenen Seen kommt es nach Absterben der Pflanzen im Winter unter Eis zu sehr geringen Sauerstoffgehalten.

Ein interessanter Aspekt stellt auch der Vergleich der untersuchten Seen bezüglich der chemischen Parameter dar. Die Gruppierung der Seen, wie sie in Abb. 6 vorgenommen wurde zeigt deutlich, daß benachbarte Seen sich in ihrem Chemismus ähneln. Außer im Illertal ist dies vor allem bei den Seen östlich des Riedelsees zu erkennen. Diese Seen weisen einen auffallend geringen Nitratgehalt auf, obwohl in diesem Gebiet durchaus intensive Landwirtschaft betrieben wird. TESSENOV (nicht veröffentlicht) vermutet aufgrund weiterer Untersuchungen in diesem Gebiet, und ebenso im Gebiet des Ludwigsfelder Badesees, anaerobes Grundwasser. Unter anaeroben Verhältnissen geht Nitrat durch Denitrifikation zu molekularem Stickstoff verloren. Dieser Punkt ist für den Naturschutz von Bedeutung, da bei zu guter Stickstoffversorgung das Festigungsgewebe in Pflanzen schwächer ausgebildet wird. Dies trifft auch für das Schilf zu. Dessen Halme werden in entsprechend stickstoffreichen Gewässern dünner und schwächer, so daß sie unter Last schwerer Vogelnester oder auch bei starkem Wind schneller brechen. Dies wäre dann ein Kriterium, wenn bei der Naturschutzplanung aus Rücksicht auf andere Nutzergruppen nicht alle entstehenden Baggerseen dem Naturschutz zur Verfügung stehen, sondern eine Auswahl getroffen werden muß.

Von großer Bedeutung ist auch die Phosphatversorgung der Gewässer. Natürliche Seen neigen heute zur Eutrophierung, weil ihre (oberirdischen) Zuflüsse meist stark mit Phosphaten belastet sind. Baggerseen, denen in der Regel solche Zuflüsse fehlen,

weisen, wie für den Ulmer Raum gezeigt werden konnte, geringere Phosphatkonzentrationen auf. Das ihnen zufließende Grundwasser ist durch Adsorptionsvorgänge im Grundwasserleiter relativ phosphatarm. Dementsprechend sind die meisten der untersuchten Baggerseen oligo- oder mesotroph.

Unter besonderen Verhältnissen kann es jedoch auch hier zur Eutrophierung kommen. Dem Thalfinger See beispielsweise fließt durch den nur rund 40 m breiten Damm Uferfiltrat aus der phosphatbelasteten Donau zu, deren Wasserspiegel deutlich über dem des Thalfinger Sees liegt. Diese Problematik wurde eingehend von MAIER (1984) an den ebenfalls direkt an der Donau gelegenen Weißinger Seen untersucht.

Auch beim Häuserhofsee ist ein besonders phosphatreicher Zufluß vorhanden. Ein etwas unterhalb des Häuserhofs gelegener Tümpel läuft über ein Rohr in den See über. In diesem Überlauf wurden Ges-P-Spitzenwerte von rund 1 mg/l gemessen.

Beim Autobahnsee, der ebenfalls deutlich belastet ist, liegen besondere Verhältnisse vor. Oberflächenabfluß von der benachbarten Autobahn gelangt über die Kanalisation in ein kleines Vorklärbecken und von dort aus, über Rohre in zwei Meter Tiefe in den See. Auf die damit verbundene Streusalzbelastung des Sees kann hier nicht eingegangen werden, neben Chlorid scheinen aber auf diese Weise auch größere Mengen Phosphat in den See zu gelangen.

Wie aus den Untersuchungen hervorgeht, weisen Baggerseen einige Besonderheiten gegenüber vergleichbaren natürlichen Seen auf. Sie stellen aber bezüglich des Chemismus oder der Temperaturverhältnisse keine extremen Lebensräume dar und stehen insofern durchaus dem Naturschutz zur Verfügung. Probleme entstehen dagegen durch Konflikte mit anderen Nutzungen.

Ein in diesem Zusammenhang sehr wichtiger Punkt ist die Beckenmorphologie. Natürliche Seen haben meist flache Ufer, die die Ausbildung breiterer Röhrichtzonen erlauben. Gerade diese für den Naturschutz wichtigen Zonen von etwa 0-0,5 m Tiefe fehlen in den untersuchten Baggerseen fast völlig, da aus Gründen des wirtschaftlichen Kiesabbaus solche flachen Ufer

vermieden werden. Sie sind für eine sinnvolle Biotopgestaltung jedoch unbedingt erforderlich und müssen schon vor Beginn der Baggerarbeiten bei der Erstellung des Renaturierungsplanes (nicht: Rekultivierungsplanes) eingeplant werden.

Um solche naturnahen Biotope in unserem dicht besiedelten Land auch für die Zukunft zu erhalten, sollten bestimmte Baggerseen, möglichst mit einem genügend breiten, sie umgebenden Landstreifen, ganz von fischereilichen, jagdlichen und touristischen Nutzungen verschont bleiben.

11. Literatur

Drozd, M., 1986, Untersuchungen zur Limnologie von Baggerseen im Ulmer Raum. Diplomarbeit, Universität Ulm.

Forsberg, C. und Ryding, S.-O., 1980, Eutrophication Parameters and trophic state indices in 30 swedish waste-receiving lakes. Arch. Hydrobiol. 89(1/2), 189-207.

Maier, G., 1984, Vergleichende limnologische Untersuchungen zur Eutrophierung flußnaher Baggerseen mit besonderer Berücksichtigung des Zooplanktons. Dissertation Ulm.

Wrobel, J.-P., 1980, Wechselbeziehungen zwischen Baggerseen und Grundwasser in gut durchlässigen Schottern, gwfwasser-abwasser 121 (4), 165-173.