

## Limnologische Untersuchungen an den polymiktischen Stuttgarter Wildparkseen

Horst Tresp

Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie

Schloss-Mittelbau-West, 70593 Stuttgart

<http://www.limnoterra.de>

[tresp@uni-hohenheim.de](mailto:tresp@uni-hohenheim.de)

**Keywords:** Flachseen, Seenmonitoring, Seentypisierung, alternative stable states, Makrophyten

### 1. Einleitung

Kaum eine Gegend innerhalb des Ballungsraums Stuttgarts trägt so stark zur naturräumlichen Identifikation der Stuttgarter Bevölkerung bei wie das Gebiet um die drei vorderen Wildparkseen. Abgesehen vom Max-Eyth-See im Stuttgarter Norden handelt es sich dabei um die größten Seen der Stuttgarter Gemarkung. Pfaffensee und Neuer See bedecken jeweils Flächen über 5 Hektar, der Bärensee 4,1 Hektar. Trotz der herausragenden regionalen Bedeutung der Seen und ihrer Lage im beliebtesten Naherholungsgebiet Stuttgarts, sind die Seen und ihr Umfeld limnologisch und ökologisch weitgehend unerforscht.

Die Seen verdanken ihre Entstehung dem künstlichen Aufstau der Fließgewässer Glems und Bernhardsbach auf 420 m NN. Der Pfaffensee besteht seit dem Jahre 1566, der Bärensee seit 1618. Der größte der Seen, der Neue See, wurde zwischen diesen beiden Seen erstmalig in den Jahren 1826 - 1833 angestaut. Es ist ein reiner (Trinkwasser-) Speichersee. Sein direktes Einzugsgebiet ist mit ca. 0,3 km<sup>2</sup> sehr klein, beträgt aber durch Hinzunahme der Einzugsgebiete des Katzenbach-, Steinbach-, Bären- und Pfaffensees über 15 km<sup>2</sup>. In verbrauchschwachen Zeiten erfolgte eine Rückförderung gereinigten Neckarwassers - später dann Bodenseewasser - in den Neuen See. Seine Nutzung als Trinkwasserspeicher wurde im Jahre 1998 eingestellt.

Es handelt sich um drei aufgestaute Seen, welche in einem klimatisch einheitlichen Gebiet liegen, aber aus drei unterschiedlichen Einzugsgebieten gespeist werden bzw. wurden. Insbesondere für den Neuen See sind nach Ausbleiben beträchtlicher Frischwassermengen aus dem über 100 km entfernten Bodensee, Veränderungen seiner ökologischen Eigenschaften zu erwarten. Als Ergebnis einer dreijährigen in monatlichen Abständen durchgeführten Untersuchung, werden kennzeichnende Unterschiede zwischen den Seen herausgearbeitet. Diese bestehen bei limnochemischen Parametern (Sauerstoff, Nährstoffe, Leitfähigkeit) dem Temperaturhaushalt (Mixisverhalten) sowie der Makrophytenvegetation und des Planktons. Darüber hinaus wurden Ufervegetation und Uferzustand aufgenommen. Auf dieser Datengrundlage, wurde ein Trendmonitoringkonzept erstellt, über welches die zukünftige Seen-Entwicklung nachvollzogen werden soll.

### 2. Morphometrische und chemisch-physikalische Eigenschaften der Seen

Die Seen sind von Wald umgeben und haben eine längliche Form. Sie erstrecken sich vorwiegend in west-östlicher Richtung und sind daher Winden aus vorherrschend westlicher Richtung ausgesetzt. Eine Teil- und Vollzirkulation der Wasserkörper ist daher,

ausgenommen bei Eisbedeckung, während des ganzen Jahres möglich. Die Seen sind temporär geschichtet. Lediglich der zentrale Teil des Neuen Sees mit Wassertiefen bis maximal 9,6 Metern (mittlerer Pegelstand) weist ein Profundal auf, wobei eine ausgeprägte thermische Sprungschicht, wohl in Folge tieferreichender Teilzirkulation, nicht nachweisbar ist. Während Pfaffen- und Bärensee dem polymiktischen Seentypus entsprechen, ist der Neue See als Flachsee des tieferen Typs (Krumbeck et al. 2001) charakterisiert.

Abbildung 1 zeigt Temperaturprofile der Wildparkseen über drei Jahre. Infolge seiner vergleichsweise größten Horizontoffenheit erwärmt sich der Bärensee über die Sommermonate am stärksten.

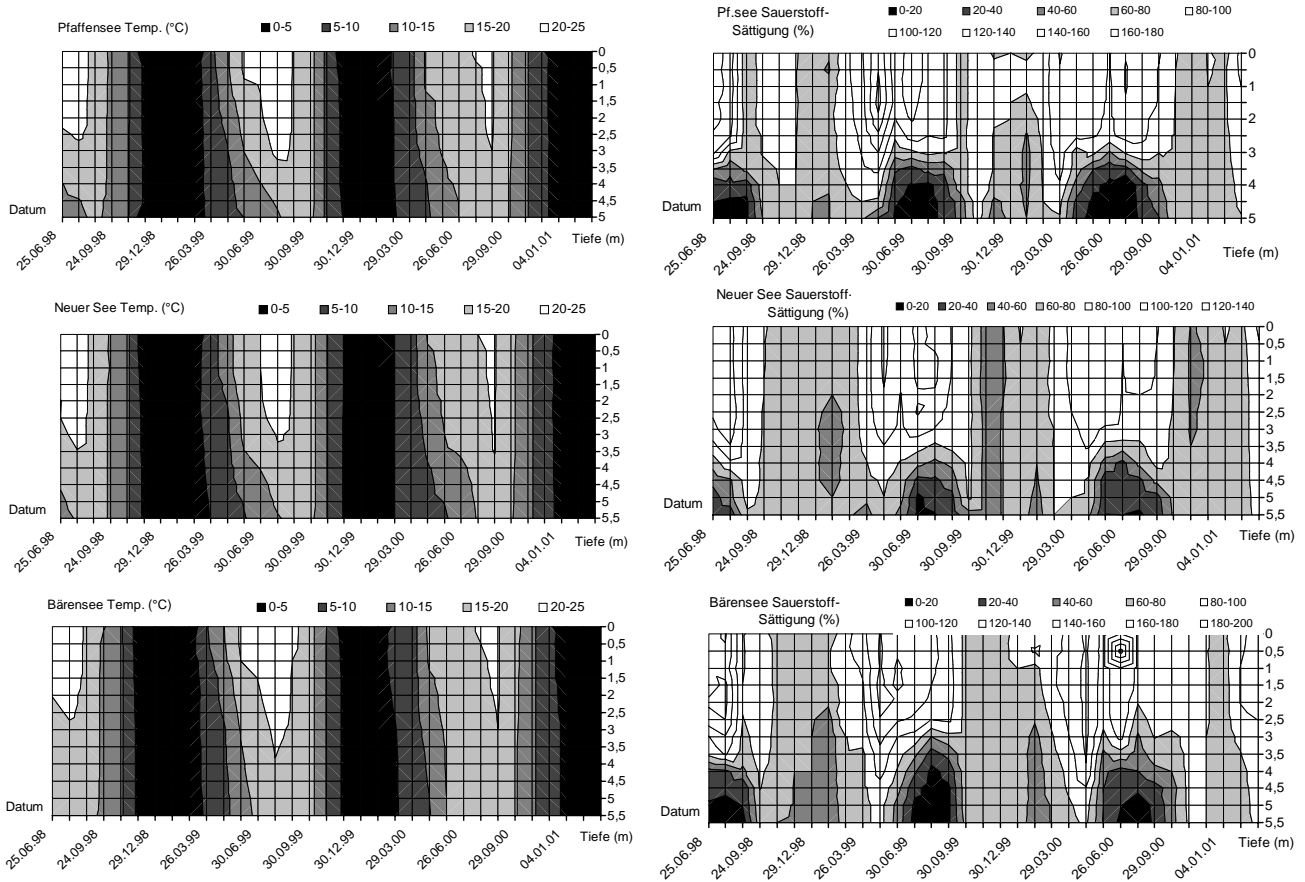


Abb.1 (links): Isothermen (°C) der vorderen Stuttgarter Wildparkseen über die Jahre 1998/1999, 1999/2000 und 2000/2001. 2000 und 1999 waren die zweit- und drittärmsten Jahre seit 1878.

Abb. 2 (rechts): Sauerstoff-Tiefenprofile (% Sättigung) der vorderen Stuttgarter Wildparkseen über die Jahre 1998/1999, 1999/2000 und 2000/2001.

Die ungewöhnlich warme Witterung der letzten Jahre steht dabei in ursächlichem Zusammenhang mit dem Trend hin zu höheren Ionenkonzentrationen bei allen drei Seen (Trempe & Krause 2001). Verstärkte Einträge aus Sturmwrufflächen im Einzugsgebiet der Seen, dürften ebenfalls zu dem gemessenen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit beigetragen haben. Insbesondere beim Pfaffensee konnte gezeigt werden, dass sich die elektrische Leitfähigkeit - gemessen über die gesamte Profiltiefe - seit 1999 sprunghaft um  $60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  erhöht hat.

Über alle Sommermonate tritt die für eutrophe Seen typische klinograde Sauerstoffkurve auf. Bereits im Mai erfolgt am Grund des Pfaffen- und Bärensees starke Sauerstoffzehrung, welche durch Mischungsvorgänge nicht ausgeglichen wird; oberflächennah liegt meist Sauerstoffübersättigung vor (Abb. 2). Deutlich wird die vergleichsweise günstige Sauerstoff-Situation des Neuen Sees aufgrund seiner Vorgeschichte, seines größeren Volumens und vergleichsweise geringer sedimentnaher Wassertemperaturen. Niedrige Sauerstoffwerte bei Pfaffensee und Bärensee stehen in engem Zusammenhang mit den hohen Wassertemperaturen am Seegrund und den Sedimenten, die Gehalte an organischem Kohlenstoff zwischen 5 und 6,5 % der Trockensubstanz aufweisen. Pfaffensee und Bärensee zeigen über mehrere Jahre eine tendenzielle Zunahme der sauerstoffarmen Bereiche, sowohl in ihrer zeitlichen als auch räumlichen Erstreckung (Abb. 2).

Tabelle 1: Auswahl morphometrischer, hydrologischer und limnologischer Kenngrößen der vorderen Stuttgarter Wildparkseen (LfU 1994; Tremp & Krause 2001). GP-Gesamtprofil-Mittelwert (1997-2001). Den chemisch-physikalischen Meßwerten liegen  $n \geq 25$  Einzelmessungen zugrunde.

	<b>Pfaffensee</b>	<b>Neuer See</b>	<b>Bärensee</b>
Wasserfläche (ha)	6,5	7,1	4,1
Max. Länge (m)	650	900	580
Max. Breite (m)	150	100	150
Uferlänge (m)	1830	2160	1470
Volumen (m <sup>3</sup> )	180000	423000	172000
Max. Tiefe (m); (mittl. Pegelstände)	5,5; (6,4)	9,6; (6,5)	7,4; (7,9)
Min.-Max. Temperatur (°C), GP	2,8 - 20,1	3,1 - 19,6	2,7 - 21,1
Min.-Max. el. Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), GP	330-438	462-636	386-576
Min.-Max. Sauerstoffsättigung (%)	0 - 168	14 - 135	11 - 188
Orthophosphat ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) Mittel/Median	0,55/0,10	0,32/0,07	0,44/0,10
Secchi-Sichttiefe (m), Mittel dreier Jahre (n = 12)	1,7	2,4	1,8
Artenzahlen Phyto-/Zooplankton (Netzplankton)	121/88	81/73	97/93
Artenzahlen submerse Makrophyten	5	8	5

Die Seen liegen im Hydrogenkarbonat-Pufferbereich, ihre pH-Werte im schwach alkalischen Bereich. Der Pfaffensee weist mit  $1,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  die geringste, der Neue See mit  $2,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  die höchste Gesamthärte auf. Hohe Phosphatgehalte (Tab. 1) legen nahe, dass eher Stickstoff - meist unter der Nachweisgrenze - und Mikronährstoffe die Algenvermehrung limitieren. Durch geringe Horizontoffenheit der Seenoberflächen wird zumindest von einer Dämpfung der Phytoplanktonentwicklung ausgegangen. Die Grenzbereiche der euphotischen Zone (1 % Licht) liegen am Pfaffensee zwischen 2,5 und 5,0 Metern, am Bärensee zwischen 3,5 und 5,0 Metern und am Neuen See zwischen 4,0 und 6,5 Metern. Beim Neuen See reicht die 1%-Grenze bisweilen auch darunter, allerdings nur im mittleren Seenbecken aufgrund der ausschließlich dort erreichten größeren Tiefe. Die Secchi-Sichttiefe beträgt als Mittel der drei Jahresmittelwerte (n = 12) für den Pfaffensee 1,7 m, für den Bärensee 1,8 m und für den Neuen See 2,4 m (Tab. 1). Nach Zusammenfassung der Teilergebnisse kann die folgende Reihung der Seen nach zunehmender Trophie erfolgen: Neuer See, Bärensee, Pfaffensee.

### 3. Biologische Eigenschaften der Seen

Insgesamt wurden in den Wildparkseen die in Tabelle 1 angegebene Anzahl Planktonarten gefunden (Tremp & Krause 2001). Der Neue See weist damit deutlich weniger Arten auf als die beiden anderen Seen. Ein Vergleich mit dem früher auf der Basis von Planktondaten berechneten Trophieindex (Fuss 1955) zeigt, dass die heutigen Werte

merklich über den damals errechneten liegen. Alle drei Seen befanden sich 2001 im mäßig eutrophen Bereich, während 1955 Neuer See und Pfaffensee noch am oberen Rand des mesotrophen Bereichs eingestuft wurden. Beim Zooplankton gehören Rädertiere (*Keratella*, *Polyarthra*) und Wasserflöhe zu den Zeigerarten für mesotrophe bis schwach eutrophe Verhältnisse. Unter dem Phytoplankton sind Dinoflagellaten (*Peridinium*, *Ceratium*) und Kieselalgen häufig.

Alle drei Seen weisen eine eutraphente Wasserpflanzen-Gemeinschaft auf. Insgesamt wurden in den letzten 100 Jahren 21 submers Makrophyten nachgewiesen. Bis heute erfolgte ein deutlicher Rückgang der submersen Makrophyten auf 10 Arten. Dieser betrifft insbesondere Bären- und Pfaffensee, während die Artenzahlen im Neuen See zugenommen haben. In Bären- und Pfaffensee dominieren Ähriges Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) und Rauhes Hornblatt (*Ceratophyllum demersum*).

Im überdurchschnittlich warmen und strahlungsreichen Juli 2001 - bereits die Frühjahrstemperaturen lagen über der langjährigen Norm - kam es im Pfaffensee zu einem auffälligen Aspektwechsel der submersen Vegetation. Die ausgedehnten Bestände des Ährigen Tausendblattes (*Myriophyllum spicatum*) brachen infolge starker Phytoplanktonentwicklung - insbesondere *Microcystis aeruginosa* und *Gomphosphaeria naegeliana* zusammen. Da länger zurückreichende Daten fehlen, können keine Aussagen über Plankton-dominierte Seenzustände früherer Jahre gemacht werden. Zudem ist der Einfluß benthivorer Fische auf die Trübung des Pfaffensees, vor allem in den östlichen Flachwasserbereichen (< 2 m Tiefe), nicht auszuschließen.

Fluktuationen zwischen beiden Seenzuständen sind nach Blindow et al. (1997) eher über Wasserstände und Witterungsverlauf determiniert als über top down Regelmechanismen wie das Zooplankton. Es wird angenommen, dass im Pfaffensee die vorausgegangenen thermischen als auch wasserchemischen Veränderungen eine Schwächung der feedback-Mechanismen herbeiführten die normalerweise über die Makrophyten zu einem Klarwasserzustand führen (Søndergaard & Moss 1997). Eine ausschließlich darauf beruhende Ursachenanalyse ist in Anbetracht des sich auf wenige Übersichts-Parameter stützende monitoring noch sehr spekulativ, zumal - insbesondere je kleiner Seen sind - stochastische Ereignisse eine wichtige Rolle spielen.

#### 4. Die Ufervegetation der Seen

An den Seeufern steht Stubensandstein (Mittlerer Keuper 4) an. Infolge seiner hohen Wasserdurchlässigkeit vereinen sich trockene und nasse Standorten auf engstem Raum, was wiederum die Vielfalt der Pflanzenarten der Ufer bedingt. So konnten im unmittelbaren Uferbereich (1 m Streifen) der Stuttgarter Wildparkseen über 250 Gefäßpflanzenarten nachgewiesen werden.

Dennoch sind die aufgrund der natürlichen Voraussetzungen mageren Ufer über weite Strecken durch Eutrophierung und Tritt (Naherholungsgebiet) verändert. 33 Vegetationsaufnahmen im Uferbereich der Seen wurden hinsichtlich ihrer Artähnlichkeit (Jaccard-Index) verglichen und die symmetrische Ähnlichkeitsmatrix mit dem Clusterverfahren 'additive tree' in ein Dendrogramm überführt.

Die kaum gemischten Cluster zwischen Bären (B)-, Pfaffen (P) und Neuem See (N) lassen sich so interpretieren, dass die Ufervegetation eines jeden Sees individuell zum Artenreichtum des gesamten Gebiets beiträgt. Eine Differenzierung der Seen ist somit nicht nur aufgrund ihrer physikalisch-chemischen und biologischen, sondern auch über die unterschiedliche Ausprägung ihrer Ufervegetation möglich.

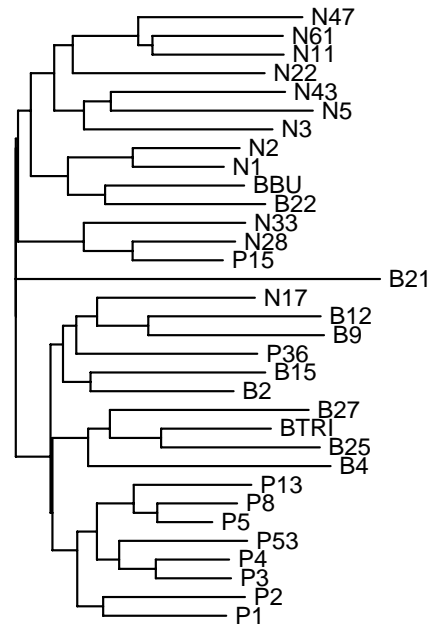


Abb. 3: Floristische Ähnlichkeit von Vegetationsaufnahmen von Pfaffen- und Bärensee und Neuem See. Die Ufervegetation eines jeden Sees trägt individuell zum Artenreichtum des Gebiets bei.

## 5. Leitbild und zukünftige Entwicklung der Seen

Als Leitbild für die Stuttgarter Wildparkseen wird der meso-eutrophe, makrophytendominierte Klarwassersee vorgeschlagen. Zunächst soll durch Maßnahmen wie Ausweisung von Uferschutzzonen eine Verbesserung des ökologischen Gesamtzustandes erreicht werden. Weiterhin ist der Zustand der Seen durch ein limnochemisch-physikalisches sowie biologisches Monitoring regelmäßig zu beurteilen. Ein solches Monitoring dient nicht ausschließlich der Erfolgskontrolle für die durchzuführenden Maßnahmen, vielmehr führt es auch zu einer laufenden Verbesserung der Datenlage. Das Beispiel Stuttgarter Wildparkseen zeigt, dass eingeforderte eindeutige Leitbildformulierungen im Falle polymiktischer Seen schwierig sein können. In unmittelbarem Zusammenhang damit steht das Problem, wie das Ziel einer ökologischen Seenbewirtschaftung in Verbindung mit einer langfristigen Überwachungsstrategie (Monitoring) administrativ verankert werden kann. Nicht zuletzt ist hierfür eine breite Akzeptanz notwendig, zumal viele Einzelpersonen und verschiedene Interessen betroffen sind. Zur Langfristigkeit evtl. notwendiger Sanierungsmaßnahmen, welche ohnehin nur schwierig durchsetzbar sind, muß die Nichtvorhersagbarkeit von Stabilitätszuständen bei kleineren Flachseen Unsicherheit bei verantwortlichen Behörden auslösen. Gerichtete Veränderungen (vgl. Donabaum & Dokulil 2001) wie sie zwischenzeitlich bei den vorderen Stuttgarter Wildparkseen nachgewiesen wurden, bieten dennoch am ehesten wissenschaftlich begründete Ansatzpunkte für eine weitere nachhaltige Seenentwicklung.

## Danksagung

Der Autor bedankt sich für die Bereitstellung einer Anschubfinanzierung bei folgenden Stuttgarter Ämtern. Oberforstdirektion, Amt für Umweltschutz und Tiefbauamt (Stuttgart).

## 6. Literatur

- Blindow, I., A. Hargeby & G. Andersson (1997): Alternative stable states in shallow lakes: What causes a shift? In: Jeppesen, E., Søndergaard, M. Søndergaard & K. Christoffersen (Hrsg.). The structuring role of submerged macrophytes in lakes. *Ecological Studies*, 131. 353 - 360.
- Donabaum, K. & Dokulil, M. (2001): Sanierung und Restaurierung eines Flachsees - die alte Donau im Stadtbereich von Wien (Österreich). In: Dokulil, M., A. Hamm & J.-G. Kohl (Hrsg.). *Ökologie und Schutz von Seen*. UTB-Verlag. S. 415 – 433.
- Fuss, K. (1955): *Biologische Untersuchungen der Parkseen und des Neckars*. Unveröffentlicht. 42 S..
- Krumbeck, H., G. Lippert & B. Nixdorf (2001): Fischproduktion in tiefen und flachen eutrophen Seen. *Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht 2000 (Magdeburg)*. 419 - 424.
- LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1994): *Handbuch Wasser 2. Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg*. Regierungsbezirke Stuttgart, Karlsruhe und Freiburg.
- Søndergaard, M. & B. Moss (1997): Impact of submerged macrophytes on phytoplankton in shallow freshwater lakes. In: Jeppesen, E., Søndergaard, M. Søndergaard & K. Christoffersen (Hrsg.). The structuring role of submerged macrophytes in lakes. *Ecological Studies*, 131. 115 - 132..
- Tremp, H. & Krause, L. (2001): *Die vorderen Stuttgarter Wildparkseen - Pfaffensee, Neuer See, Bäensee. Eine limnologisch-ökologische Beurteilungsgrundlage für ihre nachhaltige Entwicklung*. Unveröffentlichtes Gutachten. Amt für Umweltschutz, Stuttgart.