

**Limnologische Einschätzung des
Fühlinger Sees in Köln
aufgrund von Tauchgängen und
physikalisch-chemischen Untersuchungen im Jahr
2022
durch den VASA Köln e.V.**

Köln, den 16.08.2023

Autoren: Dr. Andreas Küver, Werner Hommer

VASA Köln e.V. Verband für aquatische Systemanalysen Köln e. V.

Geschäftsstelle: Stefanstr. 8a, 51145 Köln

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	3
2. AUSGANGSLAGE	4
3. UNTERSUCHUNGSMETHODE UND UNTERSUCHUNGSGEBIETE 2022.....	5
4. ERGEBNISSE DER TAUCHKARTIERUNGEN IM JAHR 2022	8
4.1 Makrophytenverbreitung.....	8
4.2. Die Tiefenverbreitung der Makrophyten	16
4.3. Physikalisch-chemische Untersuchung	27
5. ZUSAMMENFASSUNG	28
6. FAZIT UND AUSBLICK	29
7. LITERATUR	30

1. Einleitung

Das Gebiet um den Fühlinger See besteht aus einer Vielzahl von miteinander verbundenen Seen. Durch den VASA e.V. werden jährlich verschiedene Teilseen auf die ökologischen Verhältnisse untersucht und eine Einschätzung der gewässerökologischen Entwicklung im Vergleich zu den letzten Jahren gegeben. Veränderungen im Pflanzenbestand und der Populationsdichten können wertvolle Hinweise auf eine potenzielle Gewässerveränderung geben.

2022 wurden im Rahmen der Tauchkartierungen die Wasserpflanzenbestände sowie die physikalisch-chemischen Parameter in den Teilseen 1, 3, 4, 5, 6 und 7 sowie in den Abschnitten Wendebecken, Mitte Ost und Ziel Ost der Regattabahn kartiert.



Abb. 1: Die Teilseen des Fühlinger Sees (blau), Parkplätze (rot) und Strandbad (See 5, grüne Fläche)

2. Ausgangslage

Der Fühlinger See, im Norden Kölns, als Naherholungsgebiet ist einer Vielzahl von anthropogenen Nutzungen wie Rudern (Regattabahn), Schwimmen, Tauchen, Angeln und Grillen unterzogen. Darüber hinaus ist das Gebiet Austragungsort einiger regelmäßig wiederkehrender Open-Air-Veranstaltungen wie bspw. des Summer Jam.

Der See entstand in der heutigen Form nach 1967 durch die Rekultivierung mehrerer Kiesgruben. Als solche besitzt der See keine oberirdischen Zuflüsse und wird nur über das Grundwasser gespeist. Dadurch und durch die unmittelbare Nähe zum Rhein ist die Wasserspiegellage im See stark von den Schwankungen des Wasserspiegels im Rhein abhängig. Diese Schwankungen können natürlicherweise bis zu zwei Metern groß sein und drücken im Hochwasserfall des Rheins erhöhte Schwebstoffanteile in den Fühlinger See. Die letzte sehr umfassende Studie des Gewässersystems des Fühlinger Sees wurde 1996 herausgegeben. Im Abschlussbericht „Gewässerzustand des Fühlinger Sees“ der Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke Köln werden die Zu- und Abflüsse in das System näherungsweise bilanziert und eine theoretische Wassererneuerungszeit von 426 Tagen, d.h. ca. 14 Monaten, angegeben. Unter Verwendung eines detaillierteren Grundwasserströmungsmodells wurden für die Wassererneuerung 570 Tage, also ca. 1,5 Jahre, ermittelt. Bei der Interpretation momentan erhobener Daten ist die Tatsache, dass die Seen durchflossen werden, zu berücksichtigen.

Die Kartierungen fanden an Abenden der Vegetationsperiode statt. Der Sommer 2022 war der sonnigste und sechstrockenste Sommer seit Beginn der Aufzeichnungen hierüber und einer der vier wärmsten Sommer seit 1881.

Insbesondere im Westen Deutschlands zeigte die extreme Trockenheit ihre Auswirkungen und die Wasserstände von Flussbetten und Stillgewässern waren stark reduziert.

Der Temperaturdurchschnitt lag im Sommer 2022 in Deutschland nach vorläufigen Berechnungen des DWD mit 19,2 Grad Celsius um 2,9 Grad über dem Wert der international gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990, im Vergleich zur aktuellen und wärmeren Vergleichsperiode 1991 bis 2020 betrug die Abweichung + 1,6 Grad. Heißes und sonniges Wetter stellte sich bereits im Juni ein und hielt bis weit in den August an. Der Sommer 2022 hatte fast 820 Sonnenstunden. In NRW war der Sommer warm und sehr trocken, hatte 785 Sonnenstunden und wies in der dritten Augustdekade aufgrund entfernter Niederschläge in den Alpen eine leichte Entspannung der Niedrigwassersituation auf. Die warmen Temperaturen, starken Sonneneinstrahlungen und niedrigen Wasserstände werden das Leben im Fühlinger See 2022 beeinflusst haben.

3. Untersuchungsmethode und Untersuchungsgebiete 2022

Im Jahr 2022 wurden im Rahmen der Tauchkartierungen drei Uferabschnitte der Regattastrecke sowie die Teilseen 1, 3, 4, 5, 6 und 7 des Fühlinger Sees auf das Vorkommen und die Verbreitung von Wasserpflanzen sowie auf die Nährstoffverhältnisse und physikalisch-chemische Parameter hin untersucht. Zudem wurde das Vorkommen von Fischen und Wirbellosen beobachtet und dokumentiert.

Bei den Kartierungen wurden die zu untersuchenden Gebiete abschnittsweise von Tauchgruppen kartiert und die vorhandenen Arten am jeweiligen Standort in ihrer Häufigkeit nach der fünfteiligen Skala von KOHLER (1978) geschätzt. Die Arten, ihr jeweiliger Standort und ihre geschätzte Häufigkeit wurden während des Tauchgangs auf Unterwasserschreibtafeln notiert und nach dem Tauchgang im Raster eines Protokollformulars dokumentiert.

2022 lieferten Gruppen des VASA außerhalb der Kartierungstermine aus dem See 5 weitere Kartierungsprotokolle und Videotransekten, die zur Absicherung der offiziellen Kartierungsdaten hinzugezogen wurden.

Die Kartierung der Armelechteralge stellt eine Besonderheit in der Methodik dar. Im Unterschied zu anderen Makrophyten sind Armelechteralgen im Allgemeinen nur bei starker Vergrößerung sicher zu unterscheiden und zu bestimmen. Während eines Tauchgangs ist dies nicht durchführbar. Eine nachträgliche genaue Bestimmung lässt hingegen nicht zu, dass eine Lokalisierung zusammen mit der Schätzung der Häufigkeit vorgenommen wird. Daher werden hier alle Armelechterarten gemeinsam betrachtet.

Eine Tauchgruppe bestimmte die Sichttiefe in den untersuchten Abschnitten und nahm Wasserproben zur Bestimmung der Wasserqualitätsparameter aus unterschiedlichen Tiefen.

Für die Wasserproben wurden jeweils bis zu 6 Proben aus Tiefen von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,5 m über Grund entnommen. Dadurch ergaben sich Untersuchungen bis in eine Tiefe von max. 14,5 m jeweils im Rasterabstand von 2,5 m.

Die Entnahme erfolgte mittels temperaturisolierter Glasflaschen mit zwei gegenüberliegenden Schraubverschlüssen. Die Flaschen wurden an der Oberfläche geflutet, um tiefere Proben nicht mit Luftsauerstoff zu verfälschen. In der beabsichtigten Tiefe wurden dann beide Verschlüsse geöffnet, durch eine mehrmalige horizontale Schwenkbewegung der Flascheninhalt ausgetauscht und die Flasche wieder verschlossen. Die Probennahme erfolgte von oben nach unten, um die Wassersäule nicht durch Ausatemblasen zu vermischen. Die untersuchten Parameter wurden mit visuellen, olfaktorischen, elektronischen, refraktometrischen, photometrischen und titrimetrischen Verfahren sofort nach Übergabe der Proben an das Uferlabor direkt vor Ort bestimmt. Die Bestimmung mittels photometrischer und titrimetrischer Methoden erfolgte mit Testsätzen von Macherey-Nagel.

Zusätzlich wurde an allen Probenahmestellen die Sichttiefe mit Hilfe einer Secchischeibe bestimmt. Dabei wurde eine weiße Scheibe an einem Maßband langsam in die Tiefe abgelassen, bis sie gerade noch mit dem Auge sichtbar war. Diese im Zweierteam ermittelte Tiefe wurde am Maßband abgelesen und dokumentiert.

Darüber hinaus wurde an allen Probenahmestellen die Dicke der Schlammschicht mittels einer modifizierten Lawinensonde bestimmt. Dabei wurde eine Gummischeibe (ca. 10 x 10 cm) auf die Sonde aufgesteckt und fungierte während des Einstechens in den Schlamm als Schleppzeiger. Es wurde jeweils nur ein einzelner Wert an dem Ort aufgenommen, an dem auch die Wasserproben entnommen und die Sichttiefe bestimmt worden waren.

Tab. 1: Liste der gemessenen Parameter und Messverfahren

Parameter	Einheit	Messverfahren
Sichttiefe	m	Secchischeibe
Schlammdicke	m	Punktuelle Messung mittels modifizierter Lawinensonde
Gewässertiefe	m	Punktuelle Messung mittels Tauchcomputer (0,5 m ü. Gr.)
Aussehen der Probe	-	Visuell
Geruch der Probe	-	Olfaktorisch
Wasser-Temperatur	°C	Elektronisch
O ₂ -Gehalt	mg/l	Elektronisch
	%	
Leitfähigkeit	µS/cm	Elektronisch
pH-Wert	-	Elektronisch
Dichte	g/ml	Refraktometrisch
Ammonium-Gehalt	mg/l	Photometrisch
Nitrit-Gehalt	mg/l	Photometrisch
Nitrat-Gehalt	mg/l	Photometrisch
Eisen-Gehalt	mg/l	Photometrisch
Phosphor-Gehalt	mg/l	Photometrisch
Sulfid-Gehalt	mg/l	Photometrisch
Gesamthärte	°dH	Titrimetrisch
Carbonathärte	°dH	Titrimetrisch

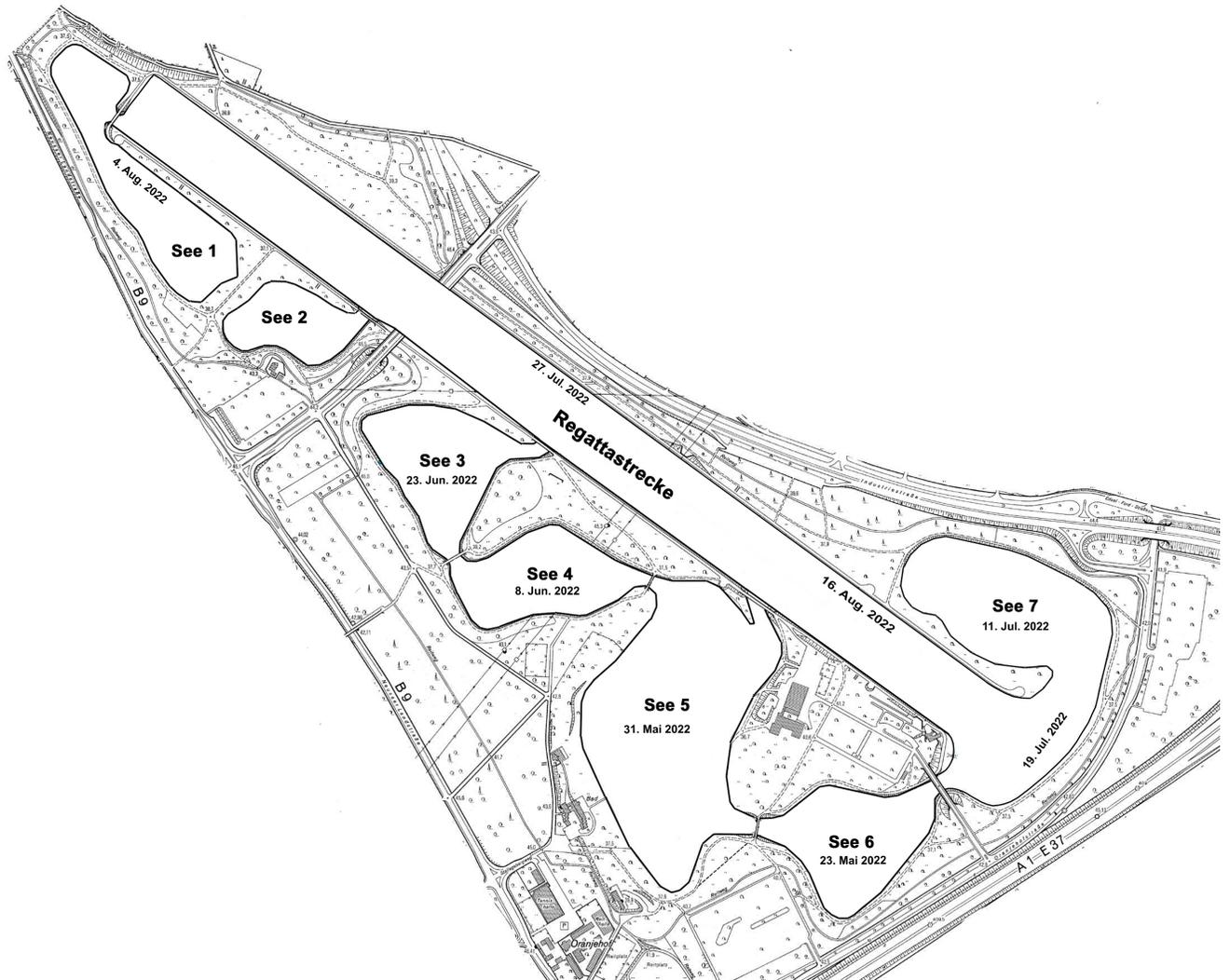


Abb. 2: Untersuchungsgebiete und -termine VASA Gewässeruntersuchungen 2022

4. Ergebnisse der Tauchkartierungen im Jahr 2022

4.1 Makrophytenverbreitung

Im Jahr 2022 wurden die **Armleuchteralgen** (Characeen) in der Regattabahn, aber auch in Teilen aller untersuchten Seen erneut in dicht bis massenhaft vorkommenden Beständen gefunden. Das Vorkommen der Art erstreckt sich in der Regattabahn, wie auch in den vergangenen Jahren, über alle kartierten Tiefen (bis ca. 8 m). Die heimische Artengruppe, welche in der Regel in sauberen, nährstoffarmen und kalkhaltigen Gewässern vorkommt, tritt, wie in den Vorjahren bereits festgestellt, im gesamten Uferbereich der Seenkette auf. Es ergaben sich stellenweise innerhalb der Teilseen leichte Verschiebungen der Vorkommen dichter Characeenkissen. Die Bestandsdichten und Häufigkeiten entwickeln sich insgesamt weitgehend gleichbleibend mit einem in der Wiederholung beobachteten sehr dichten Vorkommen im See 7.

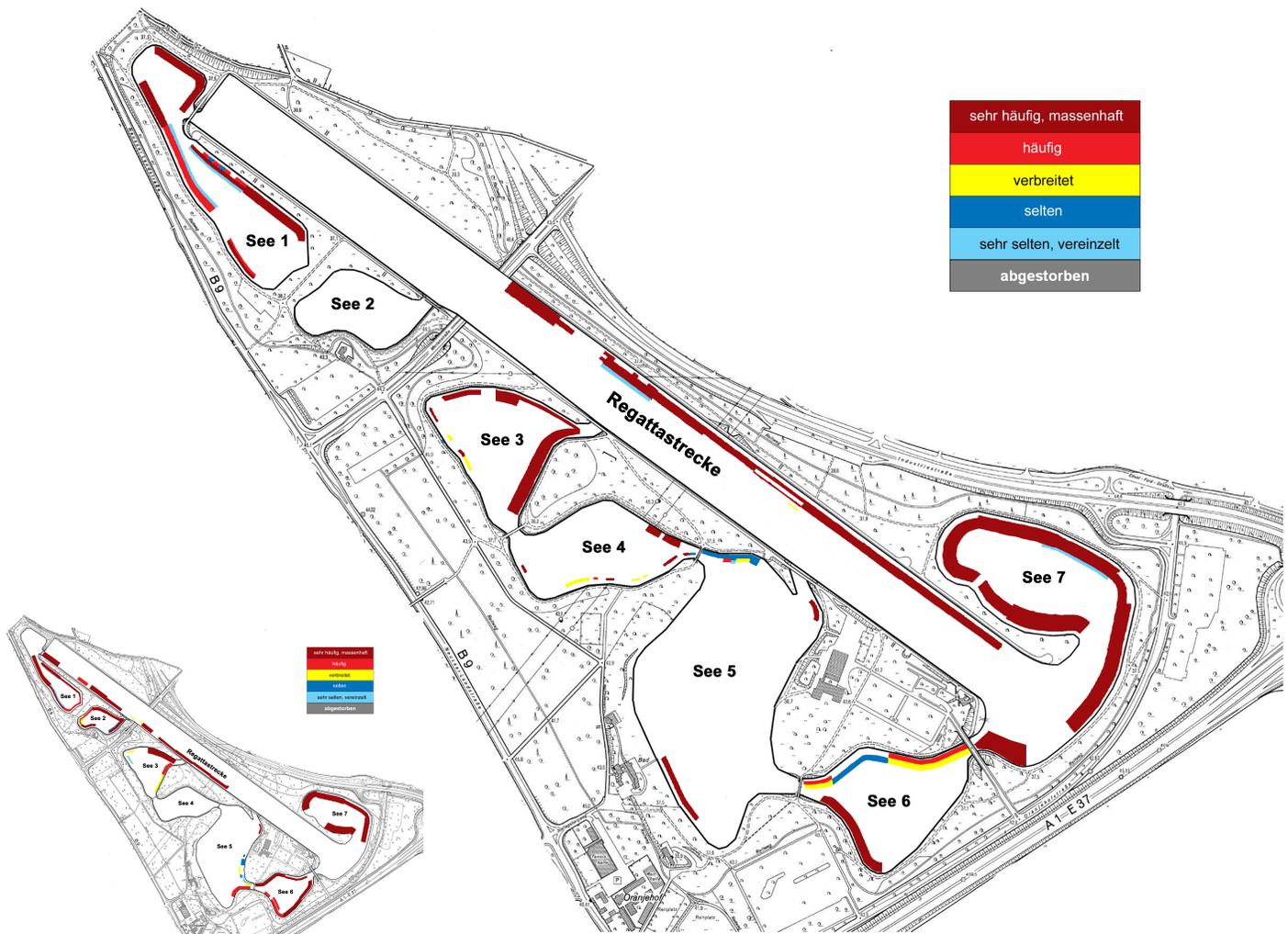


Abb. 3: Verbreitung der Armleuchteralgen in den Untersuchungsgebieten 2022 (Kleines Bild: Vorjahr)

Für den See 5 wurden zudem von zahlreichen Tauchern dichte Vorkommen im Bereich der regulären Tauchstrecke berichtet (2021 als selten bis verbreitet in dieser Region verzeichnet, s. kleines Bild in Abb.3), die in dieser nur auf VASA-Kartierungen beruhenden Zeichnung nicht abgebildet wurden. Seit 2018 sind geringere Bestände des Neophyten **Nadelkraut** (*Crassula helmsii*) in den untersuchten Teilseen gefunden worden. Diese Art steht auf der Schwarzen Liste der invasiven Arten und ein nachhaltiger Rückgang wäre als positiv zu bewerten. Hierbei gilt es den Trend der nächsten Jahre zu beobachten, um von einem erfolgreichen Bestandsrückgang sprechen zu können. In 2022 wurden nur noch im Teilsee 7 punktuelle Bestände gefunden, deren Existenz und Umfang 2023 schon erneut bestätigt wurden.

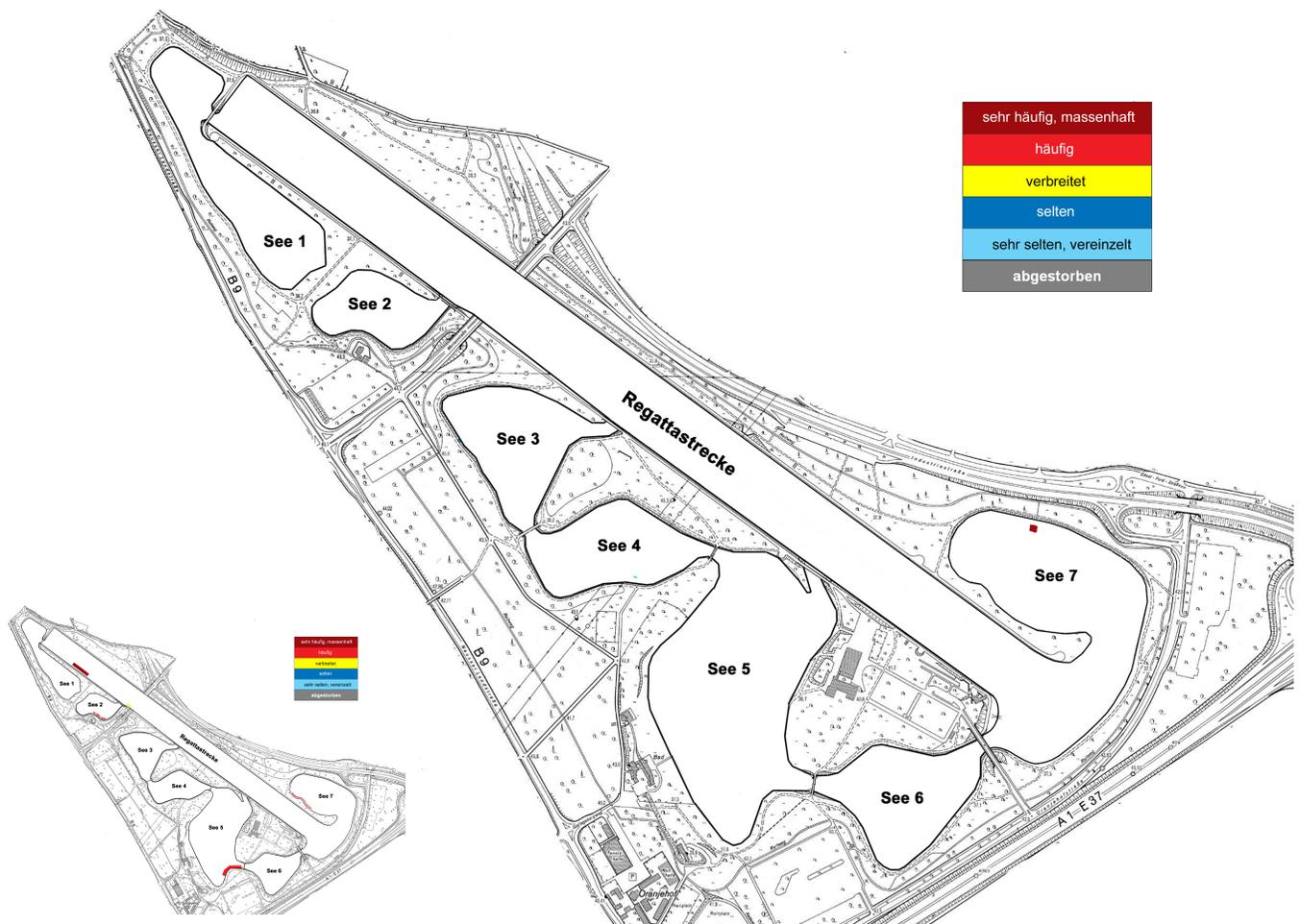


Abb. 4: Verbreitung des Nadelkrauts in den Untersuchungsgebieten 2022 (Kleines Bild: Vorjahr)

Das **Rauhe Hornblatt** (*Ceratophyllum demersum*) wurde in ähnlichen bzw. im See 1 etwas höheren Dichten als im Vorjahr 2021 und überwiegend vereinzelt gefunden. Das Rauhe Hornblatt ist in nährstoffreichen stehenden oder langsam fließenden Gewässern in ganz Deutschland verbreitet und wächst auf humösen Schlammböden, welche im Fühlinger See in den letzten Jahren immer mächtiger wurden. Es wurden u.a. einzelne Exemplare von *C. demersum* beobachtet, welche aus dichten Caraceenvorkommen herausragten, d.h. Indikatorpflanzen für eher nährstoffarme und eher nährstoffreiche Verhältnisse wurden durchaus nebeneinander vorkommend beobachtet.

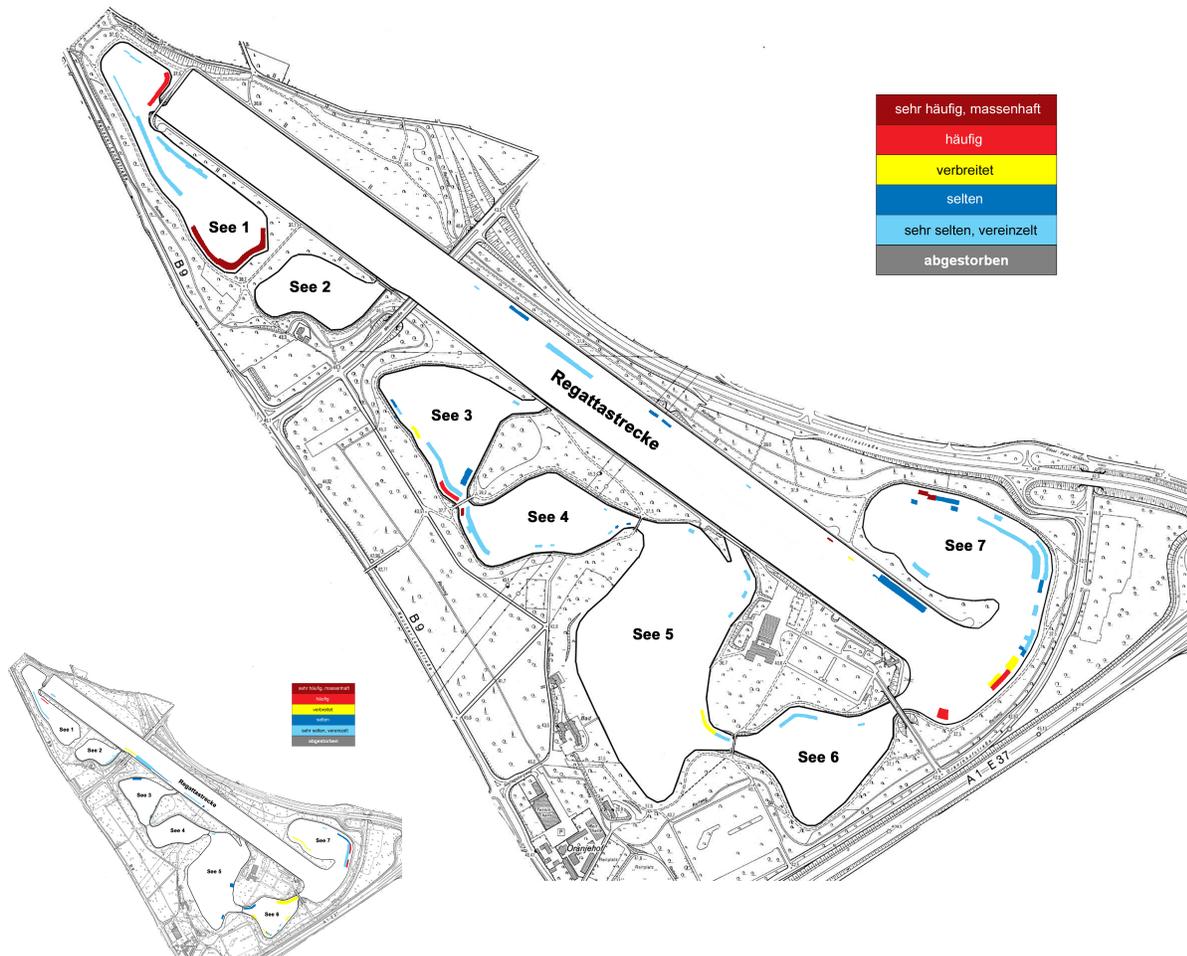


Abb. 5: Verbreitung des Rauhen Hornblatts in den Untersuchungsgebieten 2022 (Kleines Bild: Vorjahr)

Das eutraphente **Kammlaichkraut** (*Potamogeton pectinatus*) wurde seit 2018 in vergleichbaren, seltenen bis vereinzelt Dichten und Häufigkeiten gefunden. Nur im See 6 traten bisher auch Massenbestände auf, die 2021 nur noch als verbreitet zu beurteilen waren und 2022 weiter zurückgegangen waren. Die (zuletzt 2021) starken Bestände im See 2 wurden 2022 nicht überprüft. Das Kammlaichkraut ist sowohl in oligo- als auch in eutrophen langsam fließenden oder stehenden Gewässern zu finden und wächst auf Schlammböden.

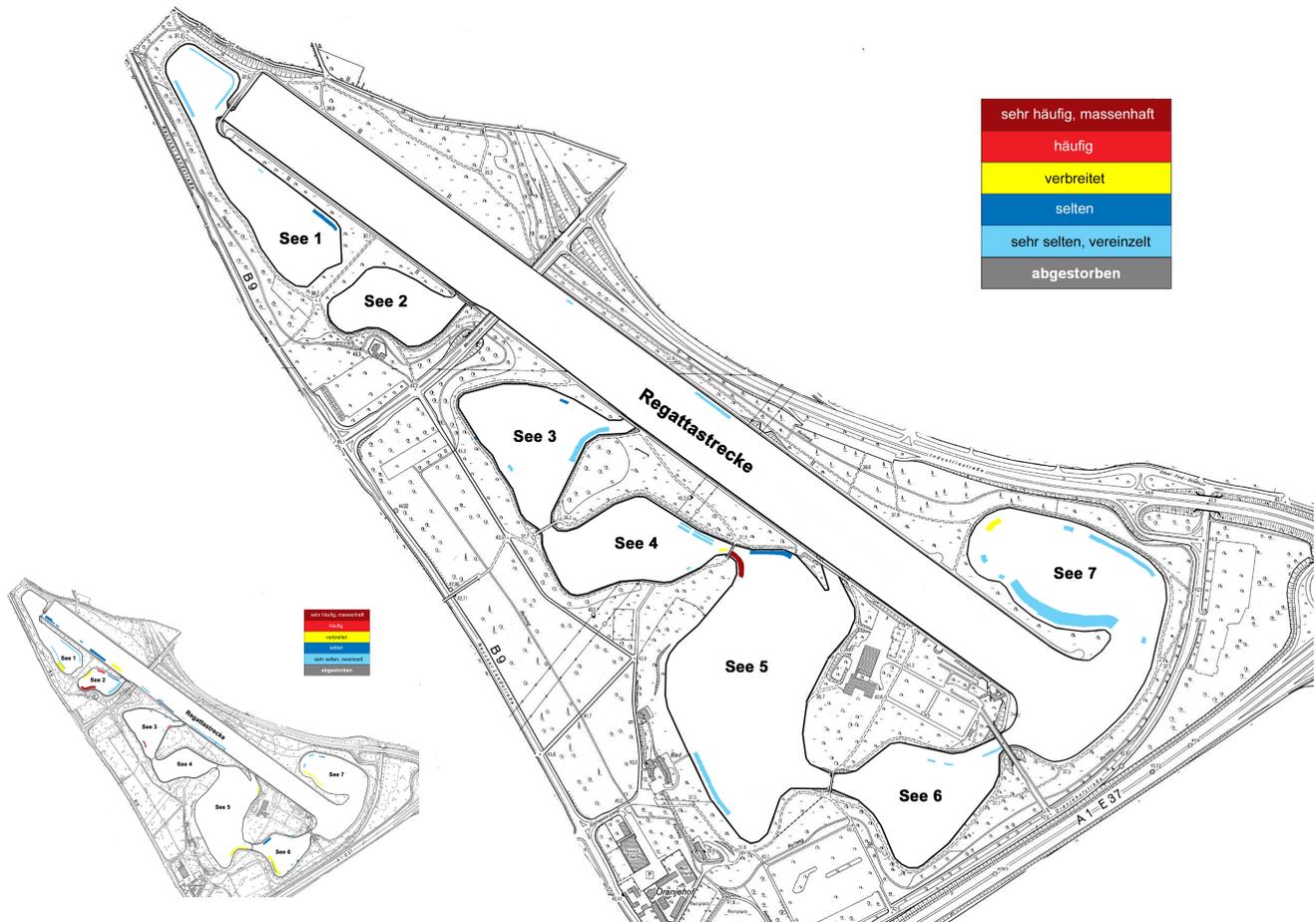


Abb. 6: Verbreitung des Kammlaichkrautes in den Untersuchungsgebieten 2022 (Kleines Bild: Vorjahr)

Das **Durchwachsene Laichkraut** (*Potamogeton perfoliatus*) wurde in ähnlichen Dichten und Häufigkeiten vorwiegend selten und punktuell verbreitet gefunden wie in den letzten Jahren. Die Art kommt in stehenden und langsam fließenden, nährstoffreichen Gewässern mit humösen Schlammböden vor. Bei starker Eutrophierung verschwindet die Pflanze.

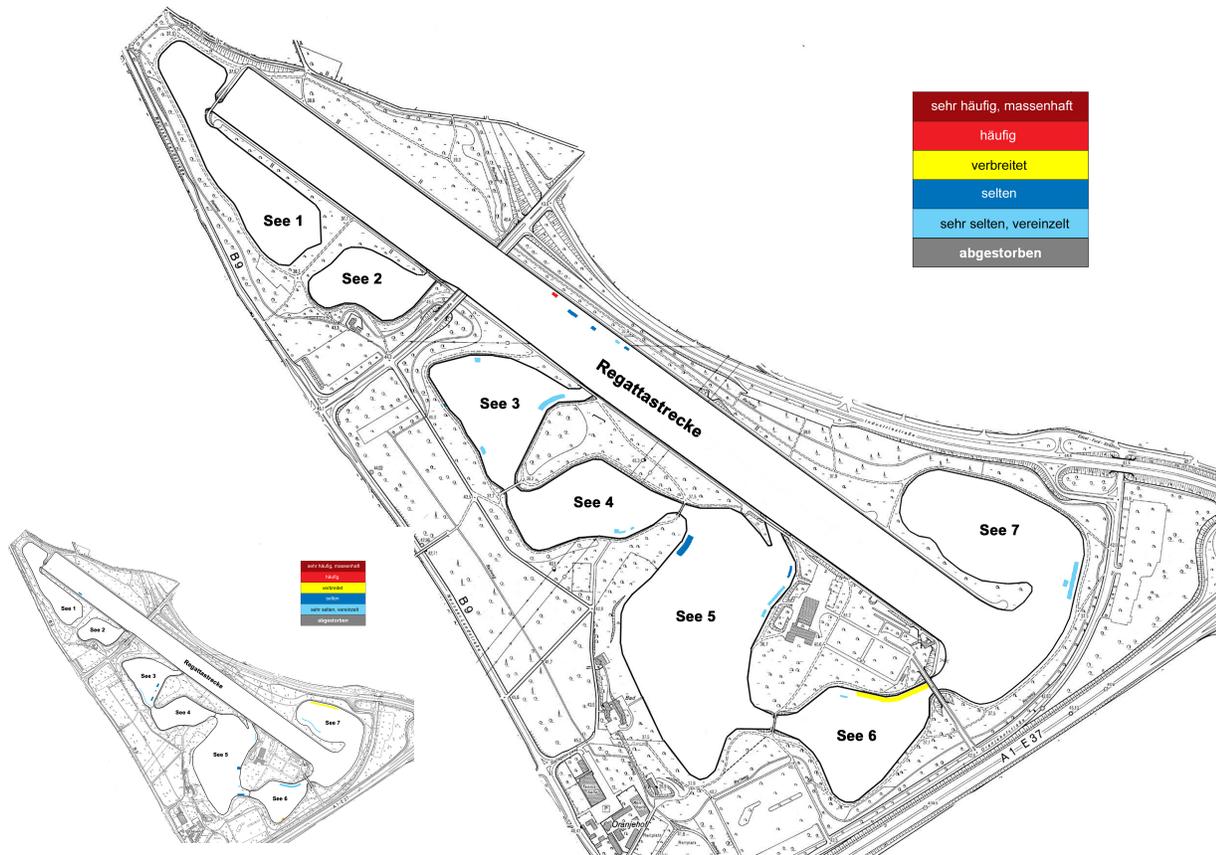


Abb. 7: Verbreitung des Durchwachsenen Laichkrautes in den Untersuchungsgebieten 2022 (Kleines Bild: Vorjahr)

Das **Glänzende Laichkraut** (*Potamogeton lucens*) wurde im Vergleich zu 2021 in leicht zurückgehenden Dichten und Häufigkeiten gefunden, wobei die in den Vorjahren am Südufer des Sees 5 gefundenen Massenbestände bestätigt wurden. Auch im Übergang zum See 6 scheint die Intensität der Vorkommen nochmals leicht zurückgegangen zu sein. Im Auslauf der Regattabahn wurde zuletzt 2019 ein isoliertes Massenvorkommen untersucht und berichtet. Dieses wurde 2022 nun bestätigt. Die 2021 in See 3 und dem Ostuferbereich des Sees 7 noch lokal selten bis häufig zu findenden Bestände sind 2022 in sehr seltenen bis seltenen Vorkommen zu finden. Das Glänzende Laichkraut wächst ähnlich wie das Durchwachsene Laichkraut in nährstoffreichen Gewässern.

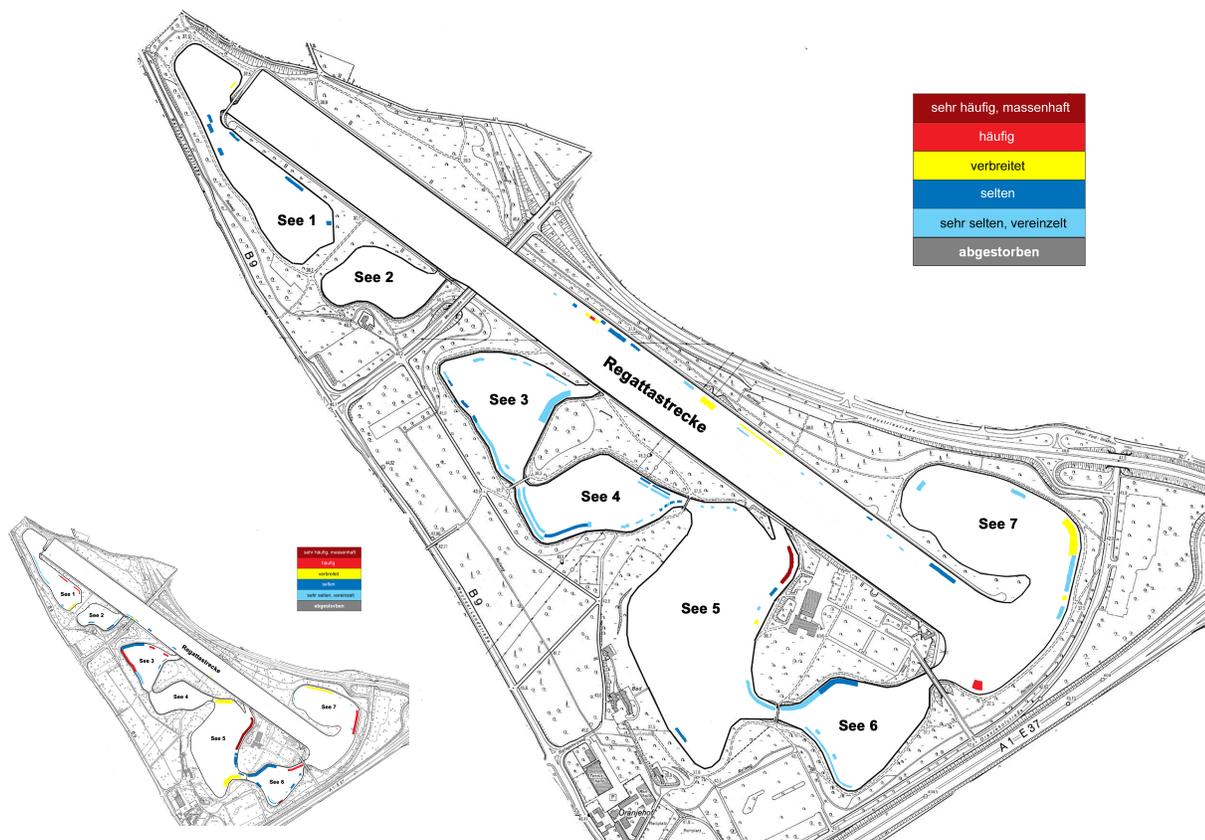


Abb. 8: Verbreitung des Glänzenden Laichkrautes in den Untersuchungsgebieten 2022 (Kleines Bild: Vorjahr)

Weitere gefundene Pflanzenarten waren das Krause Laichkraut (*Potamogeton crispus*), die Nuttalls Wasserpest (*Elodea nuttallii*), das Pfennigkraut (*Lysimachia nummularia*), das fast ubiquitäre Tausendblatt (*Myriophyllum* sp.), der Teichfaden (*Zannichellia palustris*), der ebenfalls weit verbreitete und meist sehr gut ausgebildete Wasserschlauch (*Utricularia* sp.) und die Teichrose als emerse Wasserpflanze der Uferbereiche. Das Vorkommen des schon früher

berichteten Einzelvorkommens der exotischen Art Indischer Wasserfreund (*Hygrophila polysperma*) in See 6 wurde nicht bestätigt.

Insgesamt wurde in den meisten untersuchten Teilseen eine tendenziell gute Pflanzenvielfalt mit einer überwiegend vergleichbaren Tendenz zum Vorjahr festgestellt. Die Entwicklung zu üppigeren Vorkommen im See 7 und das offensichtliche Verschwinden des Nadelkrauts werden weiter beobachtet.

Die Vorkommen von insgesamt 29 höheren Pflanzenarten und sechs verschiedenen Armleuchteralgen-Arten konnten bis zum Jahr 2022 für den Fühlinger See dokumentiert werden. Es sei erwähnt, dass 2015 Abgrabungsgewässer in NRW durch den DGL-Arbeitskreis Tauchen in der Limnologie gemäß dem offiziellen vom BfN angewandten Bewertungsschema für den FFH-Lebensraumtyp „FFH-Lebensraumtyp 3140: Kalkreiche, nährstoffarme Stillgewässer mit Armleuchteralgen“ untersucht wurden (FFH = Flora, Fauna, Habitat). Der Fühlinger See fällt im Vergleich zu wenigen anderen Abgrabungen (u.a. dem Hitdorfer See) nur mit Einschränkungen unter diese Lebensraumkategorie, da die Zahl lebensraumtypischer Arten (v.a. Characeen, Algen wie *Vaucheria* sp.) vergleichsweise niedrig ist und andere Einschränkungen gelten. Somit kann der Fühlinger See nach diesem Schema als „naturschutzfachlich wertvoller See in NRW mit im Bereich des Westufers einem „noch guten Erhaltungszustand“ (B)“ gelten.

Tab. 2: Bisher im Fühlinger See nachgewiesene Makrophyten

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Rauhes Hornblatt
<i>Crassula helmsii</i>	Nadelkraut
<i>Elodea nuttallii</i> <i>Elodea canadensis</i> <i>Lagarosiphon major</i> (Ridl.) Moss	Wasserpest Nuttalls Wasserpest, ca. 90% Kanadische Wasserpest, ca. 10% Wechselblatt-Wasserpest (Einzelfund)
<i>Hygrophila polysperma</i>	Indischer Wasserfreund
<i>Sagittaria</i> sp.	Pfeilkraut
<i>Callitriche</i> sp.	Wasserstern
<i>Zannichellia palustris</i>	Teichfaden
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Ähriges Tausendblatt
<i>Potamogeton pectinatus</i> <i>Potamogeton berchtoldii</i> <i>Potamogeton pusillus</i>	Fadenförmige Laichkräuter Kamm-Laichkraut, ca. 90% Kleines Laichkraut, ca. 5% Zwerg-Laichkraut, ca. 5%
<i>Potamogeton crispus</i>	Krauses Laichkraut
<i>Potamogeton lucens</i>	Glänzendes Laichkraut
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Durchwachsenes Laichkraut
<i>Potamogeton x nitens</i> WEBER	Schimmerndes Laichkraut
<i>Ranunculus circinatus</i>	Spreizender Hahnenfuß
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	Haarblättriger Hahnenfuß
<i>Lysimachia nummularia</i>	Pfennig-Gilbweiderich (Pfennigkraut)
<i>Utricularia</i> sp.	Wasserschlauch
<i>Nitellopsis obtusa</i> <i>Nitella opaca</i> <i>Nitella mucronata</i> <i>Chara contraria</i> <i>Chara vulgaris</i> <i>Nitella flexilis</i>	Armleuchteralgen Stern-Armleuchteralge Dunkle Glanzleuchteralge Stachelspitzige Glanzleuchteralge Gegensätzliche Armleuchteralge Gemeine Armleuchteralge Biegsame Armleuchteralge
<i>Phragmites australis</i>	Pflanzen der Uferzone Schilfrohr
<i>Nuphar lutea</i> , Syn. <i>Nuphar luteum</i>	Gelbe Teichrose

4.2. Die Tiefenverbreitung der Makrophyten

In vielen nährstoffbelasteten Seen ist der durch Planktonalgen verursachte Lichtmangel der limitierende Faktor für die Tiefenverbreitung submerser Makrophyten. Fehlen andere, den Lichteinfall hemmende Faktoren wie Huminsäuren, aufgewühltes Feinsediment oder die Beschattung durch Bäume, können die festgestellten Maximaltiefen Rückschlüsse auf den Belastungszustand des Gewässers geben.

Tab. 3: Beziehung zwischen Trophie und Makrophyten-Tiefengrenzen
(nach Hoesch & Buhle 1996 in Pott & Remy 2000)

	oligotroph	mesotroph	Eutroph	polytroph	hypertroph
mittl. Tiefe (m)	> 9,0	>3,6	>0,6	<0,6	0,0
max. Tiefe (m)	>12,0	>5,3	>1,3	<1,3	0,0

Die Vorkommen von Makrophyten reichten im Jahr 2022 gemäß der Tauchkartierung meist bis in ca. 4-7 m Tiefe, vereinzelt (Arملهuchteralgen) bis in ca. 10 m Tiefe.

Damit sind alle untersuchten Teilseen des Fühlinger Sees in eine Trophiestufe einzuordnen, die als mesotroph bezeichnet werden kann. Kleinere Unterschiede zwischen, aber auch innerhalb der Teilseen, sind erkennbar.

Dies deckt sich mit der Beurteilung über Indikatorpflanzen (vgl. u.a. das Parallelvorkommen von Arملهuchteralgen und Hornblatt auf S. 10) und hat sich in den letzten Jahren nicht nachteilig verändert, so dass der See insgesamt als stabil eingestuft werden kann. Insgesamt scheinen die Vorkommen aller eutrophe Verhältnisse anzeigenden Spezies sehr leicht rückläufig zu sein. Bemerkenswert ist u.a., dass im ganzen System relativ wenige Elodeen (Wasserpest) zu finden sind, die in eutrophen Seen oft für starke Verkräutungen verantwortlich sind.

In allen Untersuchungsabschnitten wurden ab einer Tiefe von ca. 3 m (im Bereich Regattabahn West vereinzelt schon flacher) zum Teil eine deutliche Schlammschicht auf der Sohle und organische Auflagen auf den Wasserpflanzen gefunden, welche für eine hohe Nährstoffumsetzung im System, auch bedingt durch exogene Einträge sprechen. Mineralische (weiße) Überzüge auf Pflanzen deuten auf eine biogene Entkalkung hin, welche üblicherweise in Seen und Teichen im Sommer bei CO₂-Limitierung auftritt. Dabei entziehen Wasserpflanzen dem gelösten Calciumhydrogenkarbonat den benötigten Kohlenstoff zur Photosynthese und es fällt Kalk (Calciumkarbonat) aus, wobei der pH-Wert ansteigt.

Durch das sehr harte Wasser im Fühlinger See, welches überwiegend (tiefenabhängig) eine Carbonathärte von > 20 dH aufweist, ist dieser Prozess im See an Arملهuchteralgen und auch an anderen Makrophyten (z.B. deutlich sichtbar am Glänzenden Laichkraut) wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten.

4.3. Physikalisch-chemische Untersuchung

Im Teilsee 6 wurde früh in der Saison eine Sichttiefe von 7,1 m bei einer Wassertiefe von 12,7 m festgestellt. Licht kann somit begrenzt bis in die tieferen Wasserschichten durchdringen. Die lichtdurchflutete Schicht und damit die Produktionsschicht von Sauerstoff und Biomasse reichen bis zum Grund (Maximum des Sauerstoffgehaltes mit ca. 12,2 mg/l bei 5 m) und die Sauerstoffsättigung liegt zwischen 0 und 10 m bei über 100% (Maximum von 142 % bei 5 m, um dann über Grund auf eine Untersättigung von 77,5% zurückzugehen, was mit dort messbaren und etwas überraschenden Sulfidgehalten einhergeht. Möglicherweise wurde die bodennahe Probe mit aufgewirbeltem Sediment kontaminiert. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil des in der Wassersäule verteilten Sauerstoffs in Blasen ausgast.

Die Produktion von Biomasse, festzustellen an den sehr hohen Sauerstoff- und geringen Nährstoffgehalten im See, scheint im See in der Wassersäule sehr effizient, da remineralisierte Nährstoffe unmittelbar wieder in Biomasse umgewandelt werden und somit nicht messbar sind. Über Grund ändern sich diese Verhältnisse und es werden signifikante freie Nitrate und Phosphate gemessen. Die Dicke der Schlammschicht liegt im typischen Bereich um gut 30 cm. Im See 6 wurden die mit Abstand höchsten Gesamthärtegrade mit Werten bis 30 °dH bei Karbonathärten bis 17 °dH und entsprechend alkalischen pH-Werten in der Tiefe gemessen. Hohe Gesamthärten entstehen, wenn viel Biomasse zerfällt und dabei wieder Erdalkalien in die Umgebung abgegeben werden. Dies mag im See 6 bedingt durch die hohe Sauerstoffzehrung bei gleichzeitig fehlendem Licht, d.h. nicht möglicher Photosynthese, besonders der Fall gewesen sein. Für diesen angenommenen Prozess sprechen auch die hohe sohlennahe Leitfähigkeit und die sohlennah hohen Nitrat- und Phosphatgehalte. Der vergleichsweise hohe, an der Oberfläche gemessene Phosphatgehalt wird als Ausreißer bzw. Messfehler angesehen.

Tab. 4: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 6

Datum	23/05/2022		Wetter				
Gewässer	Fühlinger See See 6		Luft-Temperatur (°C)		23,8		
Ort der Probenahme	s. Karte, nahe TiBeAn		Wolken		bedeckt		
Sichttiefe (m)	7,1		Niederschläge		keine, vorher Gewitter		
Uhrzeit	00:00		Wind		9 km/h 4 bft		
Sedimentdicke (m)	0,35		Windrichtung		SO		
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	12,2
							0,5 > Grund
	Einheit	m	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	leicht trüb	trüb	trüb
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig
Wasser-Temperatur	°C	22,5	23,4	21,7	19,8	20,1	19,7
O ₂ -Gehalt	mg/l	9,44	9,90	12,20	11,50	11,42	7,32
	%	115,0	119,2	142,0	128,1	126,2	77,5
Leitfähigkeit	µS/cm	718	735	809	880	886	969
pH-Wert	-	8,70	8,40	8,20	7,90	7,80	7,50
Dichte	g/ml	1,000	1,000	1,001	1,001	1,001	1,001
Ammonium-Gehalt	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,0
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,03	0,04	0,03	0,02	<0,02	0,29
Nitrat-Gehalt	mg/l	6,4	8,9	6,7	17,9	14	10,2
Eisen-Gehalt	mg/l	< 0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,05
Phosphat-Gehalt	mg/l	7,1	0,8	<0,6	2,0	0,9	12,1
Sulfid-Gehalt	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,51
Gesamthärte	°dH	10,0	15,0	22,0	23,0	30,0	28,0
Carbonathärte	°dH	10,0	9,0	9,0	12,0	14,0	17,0

Im **Teilsee 5** wurde eine Sichttiefe von 7,5 m bei einer Wassertiefe an der Probenahmestelle von 12,5 m (Maximaltiefe See 5: ca. 16 m) festgestellt. Licht kann somit bis in die tieferen Wasserschichten durchdringen und es sind bis auf die Gewässersohle hohe Sauerstoffgehalte bis über 16 mg/l zu finden, welche sicherlich durch hohe Bestände von Makrophyten erzeugt werden (vgl. Kap. 4.1). Eine echte Sprungschicht war nicht beobachtbar, die Temperatur fällt vielmehr nach der Phase der Frühjahrszirkulation relativ monoton von 23,3 auf 19 °C. Das spricht für eine gute Tiefenbelüftung, der aeroben Stoffabbau ermöglicht. Merkbliche Ammonium- und höhere Nitrat- und Phosphatgehalte über der Sohle deuten auf diese abbauenden, respiratorischen Prozesse hin, was einer normalen mikrobiologischen Nährstoffumsetzung im Gewässer entspricht. Dort sind auch Nitrite zu finden, was eine gewisse Hemmung des oxidativen Pfades zum Nitrat auf dieser Tiefe indizieren kann. Die Dicke der Schlammschicht liegt im typischen Bereich um gut 30 cm (vgl. See 6).

Die Sauerstoffsättigung liegt stellenweise bei bis zu 200%, sodass davon auszugehen ist, dass ein Teil des gelösten Sauerstoffs ausgast.

Tab. 5: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 5

Datum	31/05/2022		Wetter				
Gewässer	See 5		Luft-Temperatur (°C)		25		
Ort der Probenahme	s. Karte, querab 1. Ponton		Wolken		sonnig		
Sichttiefe (m)	7,5		Niederschläge		-		
Uhrzeit	19:50		Wind		leicht		
Sedimentdicke (m)	0,38		Windrichtung		Nord		
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	12
							0,5 > Grund
	Einheit	m	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	klar	leicht trüb	trüb
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	leicht faulig
Wasser-Temperatur	°C	23,3	23,2	21,7	20,4	19,4	19,0
O ₂ -Gehalt	mg/l	10,40	10,20	12,10	13,60	16,60	12,80
	%	121,0	122,0	141,0	153,0	200,0	138,0
Leitfähigkeit	µS/cm	738	735	773	776	816	887
pH-Wert	-	8,51	8,47	8,19	8,14	7,95	7,49
Dichte	g/ml	1,001	1,001	1,001	1,001	1,000	1,001
Ammonium-Gehalt	mg/l	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	>0,5
Nitrat-Gehalt	mg/l	6,2	5,2	6,9	7,6	6,9	5,4
Eisen-Gehalt	mg/l	0,09	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	0,09
Phosphat-Gehalt	mg/l	<0,6	<0,6	<0,6	0,9	0,8	1,5
Sulfid-Gehalt	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Gesamthärte	°dH	18,0	18,0	18,0	20,0	21,0	22,0
Carbonathärte	°dH	11,0	11,0	13,0	16,0	17,0	18,0

Im **See 4** wurde eine Sichttiefe von 7,0 m bei einer Wassertiefe von 10,0 m festgestellt. Anhand der Sauerstoff- und Temperaturwerte ist zu sehen, dass es wie im See 5 zum Zeitpunkt der Kartierung keine echte Sprungschicht gab und die Sauerstoffproduktion bis zur Gewässersohle auf über 18 mg/l anstieg. Die hohen Sauerstoffkonzentrationen wurden auch hier sicherlich durch hohe Bestände von Makrophyten erzeugt (vgl. Kap. 4.1). Das spricht für eine gute Tiefenbelüftung und aeroben Stoffabbau. Merkliche Phosphatgehalte in der Tiefe sind für eine funktionierende mikrobielle Stoffumsetzung (oxidative Mineralisierung des Detritus) bei gleichzeitig abnehmender Photosynthese ein Indiz. Die Dicke der Schlammschicht liegt im typischen Bereich um gut 30 cm (s. Seen 6 und 5).

Die Sauerstoffsättigung liegt überall über 100 % mit in der Spitze 204 % nahe der Sohle, sodass davon auszugehen ist, dass ein Teil des gelösten Sauerstoffs ausgast.

Tab. 6: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 4

Datum	23/06/2021		Wetter				
Gewässer	Fühlinger See, See 4		Luft-Temperatur (°C)		22,3		
Ort der Probenahme	siehe Karte, tiefen Punkt nicht erwischt		Wolken		bedeckt, regnerisch		
Sichttiefe (m)	7		Niederschläge		leicht		
Uhrzeit	00:00		Wind		leicht		
Sedimentdicke (m)	0,3		Windrichtung		-		
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	9,5
							0,5 > Grund
	Einheit	m	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	leicht trüb	trüb	trüb
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig
Wasser-Temperatur	°C	24,7	24,9	23,5	22,2	21,5	20,9
O ₂ -Gehalt	mg/l	11,40	10,62	14,53	17,25	17,55	18,26
	%	134,5	129,5	170,3	198,6	203,0	204,0
Leitfähigkeit	µS/cm	706	715	734	732	732	739
pH-Wert	-	8,60	8,80	8,60	8,40	8,46	8,34
Dichte	g/ml	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
Ammonium-Gehalt	mg/l	nb	nb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	<0,02	<0,02
Nitrat-Gehalt	mg/l	5,2	5,3	4,7	4,8	<4,0	<4,0
Eisen-Gehalt	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,06	<0,05
Phosphat-Gehalt	mg/l	<0,6	0,8	0,8	<0,6	0,9	1,6
Sulfid-Gehalt	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Gesamthärte	°dH	19,0	18,0	18,0	20,0	18,0	21,0
Carbonathärte	°dH	11,0	10,0	8,0	13,0	11,0	12,0

Im **See 3** wurde eine Sichttiefe von 6,8 m bei einer Wassertiefe von 10,8 m bestimmt. Die lichtdurchflutete Schicht und damit die Produktionsschicht von Sauerstoff und Biomasse reicht somit bis auf die Gewässersohle, was zu enormen Sauerstoffgehalten und Übersättigungen von bis über 300% führt, so daß davon auszugehen ist, dass ein großer Teil des gelösten Sauerstoffs in Bläschen ausgast. Die Sauerstoffversorgung bis zum Grund sowie steigende Phosphat- und Nitratgehalte mit zunehmender Tiefe deuten hier auf abbauende, respiratorische Prozesse (oxidative Mineralisierung) hin (wie in See 4), während Nitrite und Sulfite nicht fassbar sind. Phosphat ist schon in der Wassersäule meßbar, d.h. augenscheinlich liegt im See 3 keine Phosphatlimitierung vor. Die Dicke der Schlammschicht liegt im typischen Bereich um 30 cm.

Tab. 7: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 3

Datum	23/06/2022	Wetter					
Gewässer	Fühlinger See, See 3	Luft-Temperatur (°C)		21,4			
Ort der Probenahme	s. Karte	Wolken		leicht bewölkt			
Sichttiefe (m)	6,8	Niederschläge		-			
Uhrzeit	20 Uhr	Wind		-			
Sedimentdicke (m)	0,28	Windrichtung		-			
Wassertiefe		0,1 *	2,5	5	7,5	10	10,3
							0,5 > Grund
	Einheit	m	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	klar	trüb	trüb
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	sehr modrig	modrig
Wasser-Temperatur	°C	29,9	29,6	26,9	25,6	24,3	24,5
O ₂ -Gehalt	mg/l	8,37	9,14	15,59	21,40	24,80	25,10
	%	111,4	120,0	196,6	265,0	301,0	302,0
Leitfähigkeit	µS/cm	723	730	779	777	796	805
pH-Wert	-	8,38	8,48	8,03	8,11	7,92	7,83
Dichte	g/ml	<1	<1	<1	<1	1,000	1,000
Ammonium-Gehalt	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	0,7
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	<0,02
Nitrat-Gehalt	mg/l	<4	<4	5,7	<4	<4	4,2
Eisen-Gehalt	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Phosphat-Gehalt	mg/l	1,9	1,6	3,0	2,9	3,2	3,1
Sulfid-Gehalt	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	<0,05
Gesamthärte	°dH	12,0	16,0	20,0	18,0	19,0	17,0
Carbonathärte	°dH	11,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0

Im **See 7** wurde eine Sichttiefe von nur 4,9 m bei einer Wassertiefe von 11,3 m festgestellt. Licht kann somit die tieferen Wasserschichten nicht mehr durchdringen, was sich darin äußert, dass die lichtdurchflutete Schicht und damit die Produktionsschicht von Sauerstoff und Biomasse nur bis in eine Tiefe von ca. 10 m reicht und die in der Wassersäule durchweg hohen Sauerstoffgehalte (Maximum des Sauerstoffgehaltes mit 16,4 mg/l auf 10 m Tiefe) sohlennah auf 6,79 mg/l (entspricht 76,3% Sättigung) abfallen.

Die Produktion von Biomasse, festzustellen an den sehr hohen Sauerstoff- und geringen Nährstoffgehalten im See, scheint im See allgemein sehr effizient, da remineralisierte Nährstoffe unmittelbar wieder in Biomasse umgewandelt werden und somit bis auf eine leichte Nitraterhöhung im Mittelwasser (möglicherweise Fehlmessung) nur sohlennah merklich und sonst überwiegend nicht messbar sind. Auch in diesem Teilsee ist keine echte Sprungschicht zu finden. Die Dicke der Schlammschicht liegt im typischen Bereich um gut 30 cm.

Tab. 8: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 7

Datum	11/07/2021						
Gewässer	Fühlinger See, See 7						
Ort der Probenahme	Grenze Abschn. 3 und 4, Karte						
		Wetter					
		Luft-Temperatur (°C) 25,2					
		Wolken leicht bedeckt, bisweilen sonnig					
Sichttiefe (m)	4,9	Niederschläge					
Uhrzeit	19:30	Wind 0-1 Bf					
Sedimentdicke (m)	0,32	Windrichtung keine					
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	1ß	10,8
	Einheit	m	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	klar	leicht trüb	leicht trüb
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig
Wasser-Temperatur	°C	24,7	24,7	24,7	24,0	21,4	20,4
O ₂ -Gehalt	mg/l	10,48	11,02	11,15	14,58	16,40	6,79
	%	124,4	132,1	133,1	171,8	180,5	76,3
Leitfähigkeit	µS/cm	734	699	670	751	726	744
pH-Wert	-	8,45	8,34	8,30	8,11	8,08	7,49
Dichte	g/ml	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001
Ammonium-Gehalt	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	0,7
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,02	0,03	0,03	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrat-Gehalt	mg/l	<4	<4	4,6	<4	<4	<4
Eisen-Gehalt	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,16
Phosphat-Gehalt	mg/l	0,8	<0,6	<0,6	0,6	1,0	1,5
Sulfid-Gehalt	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,33
Gesamthärte	°dH	15,0	14,0	15,0	17,0	19,0	19,0
Carbonathärte	°dH	8,0	8,0	7,0	12,0	12,0	13,0

Im See 7 und im Auslaufbereich der Regattabahn wurde eine Sichttiefe von 5,9 m bei einer Wassertiefe von ca. 9,3 m bestimmt. Die lichtdurchflutete Schicht und damit die Produktionsschicht von Sauerstoff und Biomasse erstreckt sich bis zur Gewässersohle. Die Sauerstoffsättigung liegt bei maximal 197 % nahe der Sohle, sodass davon auszugehen ist, dass ein Teil des gelösten Sauerstoffs ausgast. Die 10 m-Probe ging verloren. In diesem Teilbereich sinkt die Wassertemperatur über die gesamte Wassersäule nur um 2,2 °C, was für einen mischenden Eingriff des Windes spricht. In dieser durchmischten Wassersäule finden

sich meßbare Phosphatgehalte, was wie in See 3 die Vermutung nahelegt, daß bodennahes Phosphat empor gespült wird und insgesamt keine Limitierung durch Phosphat vorliegt.

Die gute Sauerstoffversorgung sowie steigende Phosphatgehalte in der Tiefe deuten hier wiederum auf abbauende, respiratorische Prozesse hin. Die Schlammschicht ist mit 15 cm untypisch dünn ausgeprägt.

Tab. 9: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 7 Auslauf

Datum	19/07/2022			Wetter			
Gewässer	See 7 Auslauf			Luft-Temperatur (°C)	39		
Ort der Probenahme	10 m "Loch" links neben Halbinsel			Wolken	klar		
Sichttiefe (m)	5,9			Niederschläge	keine		
Uhrzeit	20:00			Wind	2 Bft		
Sedimentdicke (m)	0,15			Windrichtung	Ost		
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	8,8
							0,5 > Grund
	Einheit	M	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	Klar	klar	klar	klar	klar	trüb
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	leicht muffig
Wasser-Temperatur	°C	26,0	25,7	25,6	24,7	-	23,8
O ₂ -Gehalt	mg/l	12,68	13,25	13,25	16,00	-	16,32
	%	155,5	161,6	161,3	192,7	-	197,0
Leitfähigkeit	µS/cm	714	720	725	811	-	841
pH-Wert	-	8,52	8,56	8,53	8,05	-	7,96
Dichte	g/ml	1,000	1,001	1,002	1,002	-	1,003
Ammonium-Gehalt	mg/l	< 0,1	< 0,1	0,5	< 0,1	-	< 0,1
Nitrit-Gehalt	mg/l	< 0,02	< 0,02	0,02	0,03	-	< 0,02
Nitrat-Gehalt	mg/l	< 4,0	< 4,0	< 4,0	5,8	-	< 4,0
Eisen-Gehalt	mg/l	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	-	< 0,04
Phosphat-Gehalt	mg/l	3,5	3,1	3,4	4,2	-	4,4
Sulfid-Gehalt	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05
Gesamthärte	°dH	16,0	15,0	15,0	21,0	-	24,0
Carbonathärte	°dH	9,0	9,0	10,0	12,0	-	13,0

In der Regattabahn Bereich Mitte Ost wurde eine Sichttiefe von 6,3 m bei einer Maximaltiefe von 12,0 m bestimmt. Demnach reicht die lichtdurchflutete Schicht und damit die Produktionsschicht von Sauerstoff und Biomasse bis zu einer Tiefe von knapp 10 m (Maximum des Sauerstoffgehaltes mit 16,0 mg/l und 182% Sättigung bei 7,5 m). Die Sauerstoffsättigung fällt in diesem Teilsee über Grund auf 85% ab. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil des in der Wassersäule gelösten bzw. dispergierten Sauerstoffs ausgast. Über die Wassersäule ist ein Temperaturrückgang von knapp 4 °C ohne das Vorkommen einer Sprungschicht zu verzeichnen. Es wurde eine relativ geringe Schlammdicke von 0,25 m gefunden und leicht erhöhte Phosphat-Gehalte in der Tiefe deuten auf einen aeroben Abbau (Mineralisierung) des Detritus hin.

Tab. 10: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, Regattabahn Mitte Ost

Datum	27/07/2022		Wetter				
Gewässer	Regattabahn Mitte Ost		Luft-Temperatur (°C)		um 26 Grad C		
Ort der Probenahme	Bahn 5 südl. Bereich Mündg. See 3		Wolken		bewölkt		
Sichttiefe (m)	6,3		Niederschläge		-		
Uhrzeit	19:50		Wind		windstill		
Sedimentdicke (m)	0,25		Windrichtung		NO		
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	11,5
							0,5 > Grund
	Einheit	M	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	Klar	klar	klar	klar	klar	klar
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	sehr leicht muffig	unauffällig
Wasser-Temperatur	°C	23,9	22,5	23,8	21,6	19,9	20,0
O ₂ -Gehalt	mg/l	13,2	12,6	12,8	16	13,8	7,9
	%	157,00	146,00	151,00	182,00	153	85
Leitfähigkeit	µS/cm	687	686	696	738	739	796
pH-Wert	-	8,35	8,27	8,32	8,00	8,20	7,74
Dichte	g/ml	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004
Ammonium-Gehalt	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,03	< 0,02	0,02	0,03	< 0,02	0,02
Nitrat-Gehalt	mg/l	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Eisen-Gehalt	mg/l	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,1
Phosphat-Gehalt	mg/l	1,0	< 0,6	< 0,6	1,1	0,9	1,5
Sulfid-Gehalt	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Gesamthärte	°dH	15,0	16,0	13,0	24,0	21,0	21,0
Carbonathärte	°dH	9,0	8,0	8,0	12,0	12,0	11,0

Im **See 1** wurde eine Sichttiefe von 6,5 m bei einer bei einer Wassertiefe von ca. 10 m festgestellt. Anhand der Sauerstoff- und Temperaturwerte ist zu sehen, dass es zum Zeitpunkt der Kartierung keine echte Sprungschicht gab; die Sauerstoffproduktion stieg bis zur Gewässersohle auf über 18 mg/l (207 % Sättigung) an. Die hohen Sauerstoffkonzentrationen werden vermutlich durch hohe Bestände von Makrophyten erzeugt (vgl. Kap. 4.1). Das spricht für eine gute Tiefenbelüftung und aeroben Stoffabbau. Hier findet man in der ganzen Wassersäule Phosphatgehalte um 2 mg/l bei gleichzeitig nicht bestimmbar hohen Nitratgehalten, so dass eine Nährstofflimitierung durch Stickstoff (oder Kohlenstoff) vermutet werden kann.

Die Sauerstoffsättigung liegt überall über 100 % mit in der Spitze 207 % über Grund, sodass davon auszugehen ist, dass ein Teil des gelösten Sauerstoffs ausgasen. Die Dicke der Schlammschicht liegt mit 45 cm leicht über dem typischen Bereich um gut 30 cm, was die These einer sehr hohen Produktion unterstützt.

Tab. 11: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, See 1

Datum	04.08.202	Wetter	
Gewässer	Fühlinger See	Luft-Temperatur °C	32,1
Ort der Probenahme	See 1	Wolken	bewölkt
Sichttiefe (m)	6,5	Niederschläge	keine
Uhrzeit	19:35	Wind	leicht
Sedimentdicke (m)	0,45	Windrichtung	10

Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	
							0,5 > Grund
	Einheit	m	m	m	m	m	m
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	klar	leicht trüb	leicht trüb
Geruch der Probe	-	geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	muffig	muffig
Wasser-Temperatur	°C	25,1	25,0	24,7	24,1	21,3	21,7
O ₂ -Gehalt	mg/l	12,50	13,40	13,53	15,50	17,80	18,20
	%	152,0	162,8	161,5	185,0	184,9	207,0
Leitfähigkeit	µS/cm	674	678	685	719	746	749
pH-Wert	-	8,66	8,49	8,47	8,30	8,04	7,98
Dichte	g/ml	1,0010	1,0010	1,0010	1,0015	1,0020	1,0025
Ammonium-Gehalt	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrit-Gehalt	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrat-Gehalt	mg/l	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Eisen-Gehalt	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	0,12	0,07	<0,04
Phosphat-Gehalt	mg/l	2,0	1,4	1,3	2,0	1,9	1,9
Sulfid-Gehalt	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Gesamthärte	°dH	15,0	17,0	17,0	21,0	26,0	20,0
Carbonathärte	°dH	10,0	9,0	8,0	9,0	12,0	11,0

In der Regattabahn Bereich Ziel Ost wurde eine Sichttiefe von 6,4 m bei einer Wassertiefe von ca. 15 m festgestellt. Obwohl die Temperatur von der Oberfläche bis zur Sohle hin um gut 6 °C abfällt, ist zu schließen, dass es zum Zeitpunkt der Kartierung keine echte Sprungschicht gab. Der Sauerstoffgehalt steigt bis zur Gewässersohle auf über 31 mg/l (341 % Sättigung) an. Die sehr hohen Sauerstoffkonzentrationen werden vermutlich durch hohe Bestände von Makrophyten erzeugt (vgl. Kap. 4.1), deren Bestand bis zum Grund reicht, was angesichts der gemessenen Sichttiefe etwas verwundert. Die Beobachtungen sprechen für eine gute Tiefenbelüftung und aeroben Stoffabbau. Vergleichbar zu anderen Teilseen steigen die Phosphatgehalte grundnah auf 2-3 mg/l bei gleichzeitig nicht bestimmbareren Nitratgehalten an, was eine oxidative Mineralisierung des Detritus anzeigt. Die Sedimentdicke liegt bei einem sehr hohen Wert von 1,3 m. Ammonium ist im Mittelwasser leicht erhöht, parallel befinden sich Nitrit und Nitrat unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der Ammoniumabbau unter Sauerstoffzehrung scheint hier möglicherweise gehemmt zu sein (vgl. auch S. 18).

Es wird davon ausgegangen, dass ein Teil des in der Wassersäule gelösten oder dispergierten Sauerstoffs ausgast.

Tab. 12: Physikalisch-chemische Messungen im Fühlinger See, Regattabahn Ziel Ost

Datum	16.8.22							Wetter
Gewässer	Regattabahn Ziel Ost							Luft-Temperatur 29 (°C)
Ort der Probenahme	Skizze							Wolken bedeckt
Sichttiefe (m)	6,4							Niederschläge
Uhrzeit	1945							Wind 3
Sedimentdicke (m)	1,3							Windrichtung NW
Wassertiefe		0,1	2,5	5	7,5	10	14,5	
							0,5 > Grund	
	Einheit	m	m	m	m	m	m	
Aussehen der Probe	-	klar	klar	klar	klar	leicht trüb	sehr trüb	
Geruch der Probe	-	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	unauffällig	modrig	
Wasser-Temperatur	°C	24,9	24,8	24,5	24,4	20,7	18,6	
O ₂ -Gehalt	mg/l	13,35	14,50	15,30	15,65	21,40	31,20	
	%	161,4	180,8	183,1	182,0	230,0	341,0	
Leitfähigkeit	µS/cm	659	692	695	706	780	799	
pH-Wert	-	8,49	8,45	8,42	8,27	7,62	7,30	
Dichte	g/ml	1,002	1,002	1,002	1,002	1,003	1,003	
Ammonium-Gehalt	mg/l	<0,1	<0,1	1,7	1,0	<0,1	1,8	
Nitrit-Gehalt	mg/l	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Nitrat-Gehalt	mg/l	<4	<4	<4	<4	<4	<4	
Eisen-Gehalt	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,13	
Phosphat-Gehalt	mg/l	0,8	0,7	0,6	0,7	1,6	3,0	
Sulfid-Gehalt	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,75	
Gesamthärte	°dH	17,0	14,0	14,0	14,0	18,0	20,0	
Carbonathärte	°dH	8,0	9,0	9,0	11,0	14,0	17,0	

Die sehr hohe Wasserhärte im gesamten Fühlinger See zeigt hohe Calcium- und Magnesiumkonzentrationen an, welche im Rheineinzugsgebiet geogen bedingt (Kalk-, Gips- oder Dolomitschichten im Boden) durch natürliche Mineralisierung im Grundwasser sehr hoch sind. Der Fühlinger See wird größtenteils durch Grundwasser gespeist, welches abhängig vom Rheinpegel mehr oder weniger stark in den See gedrückt wird.

Im Sommer sollte insbesondere in Wässern mit hohen pH-Werten (> 7) angesichts der bei höheren Temperaturen geringeren Sauerstofflöslichkeit der Gehalt an Ammonium beobachtet werden, da ab einer Konzentration von 0,3 mg/l Ammonium in das fischgiftige Ammoniak dissoziieren kann. 2022 wurde dies sohlennah in See 6, See 5, See 3, See 7 und für die beiden Reviere in der Regattabahn gefunden.

4.4. Sonstige Beobachtungen

In den untersuchten Teilseen wurden Flußbarsche (*Perca fluviatilis*), Sonnenbarsche (Familie der Centrarchidae), Hechte (*Esox lucius*), Aale (*Anguilla anguilla*), vereinzelt Zander (*Sander lucioperca*, Syn.: *Stizostedion lucioperca*, *Lucioperca sandra*), Karpfen (Zuchtformen von *Cyprinus carpio*), Weißfische (wahrscheinlich Rotaugen, (*Rutilus rutilus*)) und die inzwischen etablierte Neozoe Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*) bei Kartierungen erfasst. Zusätzlich wurden in allen Teilseen zahlreiche Jungfische (i.d.R. Barsche und Sonnenbarsche) gesichtet, so dass von einer guten Populationsentwicklung ausgegangen werden kann. Anders als in den Vorjahren wurden bei den Kartierungen keine Welse (*Silurus glanis*) und Schleien (*Tinca tinca*) beobachtet, die Vorkommen dieser Spezies sind aber durch Sichtungen bei anderen Tauchgängen gesichert. Bilddokumente der jährlichen Kongregation großer laichreifer Welse im See 5 im April / Mai sind zahlreich im Internet zu finden.

Teichmuscheln (*Anodonta cygnea*), Körbchenmuscheln (*Corbiculidae*) und Dreikantmuscheln (*Dreissenidae*) wurden in allen untersuchten Gebieten in geringer Häufigkeit und oft verendet gesichtet. Das Vorkommen der Dreikantmuschel scheint kontinuierlich zurückzugehen, wofür derzeit eine Erklärung aussteht. Aufgrund dieser Situation sehen wir derzeit von einer Unterscheidung der Spezies Dreikantmuschel und Quagga-Muschel ab.

Sichtungen der früher häufigen Roten Süßwassermilbe waren stark rückläufig, Einzelbeobachtungen wurden nur in den Teilseen 4, 5 und 6 gemacht.

Anders als in den Vorjahren wurde nur der Fund der Hülle eines Kamberkrebsses (*Orconectes limosus*) gemeldet. Außerhalb der Kartierungskampagne kam es zu Kamberkrebssichtungen und am 22.2.22 durch einen qualifizierten Krebskartierer des VASA zu einer ersten und später (15.12.22) einer weiteren Sichtung des Marmorkrebsses (*Procambarus fallax*). Auch 2023 wurde ein Marmorkrebs gesichtet. Dieser Krebs breitet sich aufgrund des Phänomens der „Jungfernzeugung“ oft explosionsartig aus und die weitere Entwicklung muss aufmerksam begleitet werden. Die VASA-Kartierer werden hierfür entsprechend fortgebildet.

Darüber hinaus wurden in den Monaten Juli und August häufig Süßwassermedusen (*Craspedacusta sowerbyi*) gesehen.

In allen Untersuchungsgebieten wurde Müll gefunden. Dazu gehörten Plastik, Angelzubehör, Flaschen und z.T. ganze Metallgestelle.

5. Zusammenfassung

VASA Köln e.V. beobachtet, dokumentiert und bewertet seit 2003 die Einflüsse der menschlichen Nutzung auf die Unterwasserflora und -fauna des Naherholungsgebietes „Fühlinger See“.

Außerdem untersucht VASA Köln e.V. das Wasser aus verschiedenen Tiefen u. a. auf die physikalisch-chemischen Parameter.

In allen untersuchten Teilseen und der Regattabahn wurde eine große Vielfalt an Unterwasserpflanzen gefunden. Die Indikatorpflanzen für saubere, nährstoffärmere Gewässer wie die Armleuchteralgen sind gegenüber den letzten Erfassungen in der Dichte annähernd gleich hoch und die Indikatorpflanzen für stark oder sehr stark nährstoffbelastete Gewässer (u.a. Ceratophyllum und Elodea) sind tendenziell eher gering und z.T. leicht rückläufig.

Die chemisch-physikalischen Bestimmungen zeigten überwiegend normale bis gute Sauerstoffverhältnisse (Konzentration und Sättigung) zusammen mit niedrigen bis moderaten Nährstoffkonzentrationen an.

Im See 6 und 2022 auch im See 5 waren die Nitritwerte lediglich sohlennah und nicht wie z.B. 2020 auch in höheren Wasserschichten leicht erhöht, was einer positiven Entwicklung entspricht. Einzig die Teilseen 6 und 7 zeigten mit einer Sauerstoffsättigung < 80% sohlennah gewisse Anzeichen von Sauerstoffknappheit, die möglicherweise mit einer Phosphatrücklösung im reduktiven Milieu einhergeht, aber noch nicht ausgeprägt genug ist, um eine Schwefelwasserstoffbildung zu zeitigen. Die sohlennahen Sauerstoffsättigungen des Teilsees 7 schwankten nach VASA-Beobachtungen in den letzten Jahren zwischen Über- und leichter Untersättigung.

6. Fazit und Ausblick

Auf der Basis der chemisch-physikalischen Bestimmungen zusammen mit den Ergebnissen der Pflanzenkartierungen und Tierbeobachtungen zeigen alle untersuchten Teilseen und die Regattastrecke ein ausgewogenes Bild, welches grundsätzlich auf einen stabilen Zustand des Fühlinger Sees hinweist. Das hohe Vorkommen von Indikatorarten für nährstoffarme Gewässer (bspw. Armleuchteralgen) deutet darauf hin, dass der ökologische Zustand des Gesamtsees einschließlich der Teilseen gut ist. Gleichzeitig ist der erfreuliche Rückgang von Neophytenbeständen (Indischer Wasserfreund, Nadelkraut, Kanadische Wasserpest) zu berichten.

Der See 6 zeigt 2022 zum Messzeitpunkt ebenso wie der See 7 (und anders als im Vorjahr der See 5) eine leichte Sauerstoffuntersättigung, so dass über der Gewässersohle leicht reduzierende Bedingungen herrschen, die u.a. Nährstoffrücklösungen ermöglichen können. Die Funktion der installierten TiBeAn konnte für den Zeitpunkt nicht in Erfahrung gebracht werden. Der See wird weiter untersucht und die Funktion der TiBeAn somit kontrolliert werden.

Das Vorkommen der Neuentdeckung aus 2014, der pontokaspischen Schwarzmundgrundel (Neogobius melanostomus und nahe verwandte Neogobius-Arten), wurde für 2022 wieder bestätigt. Die Population hat sich inzwischen im Seensystem massenhaft ausgebreitet und kann als etabliert gelten. Aufgrund ihrer euryöken Lebensweise und der hohen Konkurrenzfähigkeit sollten die weitere Entwicklung der Arten sowie die Auswirkungen auf die heimische Fauna und Flora daher weiter beobachtet werden. Bisher ist noch nicht sicher zu schließen, dass andere Arten in ihrer Dichte und Häufigkeit zurückgehen. Aufgrund der nur semi-quantitativen Erfassungsmethodik besteht für 2022 lediglich der Eindruck, dass deutlich weniger Kleintiere (Milben, Flohkrebse, Schnecken, Dreissena- und Körbchenmuscheln) beobachtet wurden, was auf einen Fraßdruck auf die Tiere und vor allem auf deren juvenile Entwicklungsformen (Laich, Larven) hindeuten könnte. Aal und Wels sollten hingegen vom Nahrungsangebot durch die Grundeln profitieren (WIKIPEDIA). Die zuletzt niedrig erscheinenden des nicht-einheimischen Kamberkrebse stehen unter Beobachtung, gleichzeitig muss das Vorkommen des Marmorkrebse aufmerksam beobachtet werden. Das Vorkommen der verschiedenen Muschelarten scheint über die Jahre rückläufig zu sein. Selbst die andernorts in der Region massenhaft zu findende Dreissena-Muschel ist im Fühlinger See zur Seltenheit geworden.

Um die weitere Entwicklung – Stabilisierung bzw. Veränderung – einschätzen zu können, sollten die Beobachtungen mit Hilfe chemisch-physikalischer Untersuchungen in Kombination mit Kartierungen untergetauchter Wasserpflanzen und der Beobachtung von Klein- und Wirbeltieren weitergeführt werden.

7. Literatur

- GEW-STUDIE „GEWÄSSERZUSTAND DES FÜHLINGER SEES - ABSCHLUßBERICHT“, GAS-, ELEKTRIZITÄTS- UND WASSERWERKE KÖLN AKTIENGESELLSCHAFT, 1996
- HEERING, K. (1999): Die Untersuchung und Bewertung von Fischgewässern mit *visocolor*. Macherey-Nagel im Eigenverlag, Düren, 1999
- HÜTTER, L. (1988): Wasser und Wasseruntersuchung. Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt, 1988
- HUMBERG, B. (1993): Unterwasserführer Europäische Binnengewässer. Verlag Stephanie Naglschmid Stuttgart, 1994
- LAMPERT, W. et al. (1992): Limnoökologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1993
- LUDWIG, H. (1993): Tiere in Bach, Fluß, Tümpel, See. BLV Verlagsgesellschaft, München, 1993
- OLDORF, S. ET AL. (2015): Untersuchung von Abgrabungsgewässern in NRW – Ergebnisse der Exkursion des DGL-Arbeitskreises Tauchen in der Limnologie in Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2015 (Duisburg-Essen), Hardeggen 2016
- ROTHMALER, W. (1999): Exkursionsflora von Deutschland, Bd. 3: Gefäßpflanzen: Atlasband. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2000
- WEYER, K. et al. (2011): Fachbeiträge des LGUV Heft 119. Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armelechteralgen und Moose) in Deutschland. Band 1: Bestimmungsschlüssel. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Land Brandenburg, 2011
- WEYER, K. et al. (2011): Fachbeiträge des LGUV Heft 120. Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armelechteralgen und Moose) in Deutschland. Band 2: Abbildungen. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Land Brandenburg, 2011
- WIKIPEDIA: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzmond-Grundel>

Danksagung

Ein herzlicher Dank gebührt den Taucherinnen und Tauchern der VASA-Mitgliedsvereine für ihre Begeisterung und tatkräftige Unterstützung bei den Kartierungen. Ohne ihre Mitwirkung wären ehrenamtliche Projekte dieses Ausmaßes nicht möglich!

Ausdrücklicher Dank gilt auch dem Sportamt der Stadt Köln, das die Aktivitäten von VASA Köln e.V. am Fühlinger See genehmigt und wo immer möglich intensiv fördert.