4 Ergebnisse

In den Tabellen 4 und 5 sind die statistischen Werte für alle Variablen zusammengestellt. Die Probeanzahl (n), der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SA) und der Variationskoeffizient (CV%) wurden für jeden See im Jahresverlauf berechnet.

Tab. 4. Statistische Werte für die limnologischen Variablen des Sees 1.

Variablen	n	MW	SA	CV
Lufttemperatur (°C)	16	15,85	±6,29	39,71
Wassertemperatur (°C)	48	14,48	±7,01	48,45
Sauerstoff (mg/l)	48	10,25	±1,63	15,89
Sauerstoffsättigung (%)	48	105,10	±21,89	20,82
CO_2 (mg/l)	48	1,03	±1,56	151,45
pH	48	8,13	±0,90	11,01
Alkalinität (mg/l $CaCO_3$)	48	170,92	±151,23	88,48
Leitfähigkeit (µS/cm)	48	391,90	±23,30	5,94
Gesamthärte (°dH)	48	10,34	±7,43	71,86
Carbonathärte (°dH)	48	5,56	±2,44	43,91
Chlorid (mg/l)	48	30,39	±6,15	20,24
Gesamtstickstoff (mg/l)	48	2,01	±1,48	73,70
Nitrat (mg/l)	48	6,00	±6,24	111,51
Nitrit (mg/l)	48	0,14	±0,06	46,01
Ammonium (mg/l)	48	0,68	±0,65	95,42
Phosphat (mg/l)	48	0,46	±0,30	65,85
Eisen (mg/l)	48	0,24	±0,20	83,38
Chlorophyll-a (µg/l)	48	3,20	±4,79	149,43
Bruttoprimärproduktion (mgC m^{-3} h^{-1})	16	349,27	±373,04	106,81
Nettoprimärproduktion (mgC m^{-3} h^{-1})	16	240,81	±226,07	93,88
Atmung (mgC m^{-3} h^{-1})	16	163,82	±168,04	102,58

Tab. 5. Statistische Werte für die limnologischen Variablen des Sees 2.

Variablen	n	MW	SA	CV
Lufttemperatur (°C)	16	15,49	±7,62	49,22
Wassertemperatur (°C)	48	13,96	±6,16	44,13
Sauerstoff (mg/l)	48	9,89	±2,69	27,25
Sauerstoffsättigung (%)	48	98,01	±24,51	25,00
CO_2 (mg/l)	48	4,29	±2,79	65,03
pH	48	7,83	±0,41	5,25
Alkalinität (mg/l $CaCO_3$)	48	153,50	±92,03	59,95
Leitfähigkeit (µS/cm)	48	653,95	±66,97	10,24
Gesamthärte (°dH)	48	14,95	±8,09	54,12
Carbonathärte (°dH)	48	8,74	±3,73	42,71
Chlorid (mg/l)	48	37,68	±7,58	20,12
Gesamtstickstoff (mg/l)	48	6,23	±4,19	67,24
Nitrat (mg/l)	48	25,47	±17,42	68,42
Nitrit (mg/l)	48	0,25	±0,11	43,50
Ammonium (mg/l)	48	0,38	±0,21	56,48
Phosphat (mg/l)	48	0,66	±0,66	100, 29
Eisen (mg/l)	48	0,22	±0,30	137,19
Chlorophyll-a (µg/l)	48	3,20	±5,14	160,65
Bruttoprimärproduktion (mgC m^{-3} h^{-1})	16	124,14	±124,17	100,00
Nettoprimärproduktion (mgC m^{-3} h^{-1})	16	155,98	±188,73	121,00
Atmung (mgC m^{-3} h^{-1})	16	59,48	±94,69	159,20

In den Monaten Dezember bis Februar war eine Beprobung auf Grund von Eisbildung nicht möglich. Im November wurde wegen der niedrigen Temperaturen in beiden Seen nur die Probestelle 1 beprobt. Die Diagramme der Probestelle 1 in See 2 stellen für den Monat Oktober jeweils nur 2 Werte dar. Dies liegt daran, daß hier die Transparenz so hoch war, daß die euphotische Zone den Grund erreichte.

4.1 Physikalische Variablen und Parameter

4.1.1 Lufttemperatur

An See 1 betrug der Mittelwert für die Lufttemperatur 15,85°C mit einer Schwankung von CV=39,7%. Die Lufttemperatur am zweiten See lag im Durchschnitt bei 15,49°C mit einem CV von 49,2%. In Abb. 5 ist der Lufttemperaturverlauf für das Jahr 1997 zu sehen. Maximale Werte wurden für beide Seen während des Sommers beobachtet. Zwischen Mai und September wurden an beiden Seen milde Temperaturen gemessen.

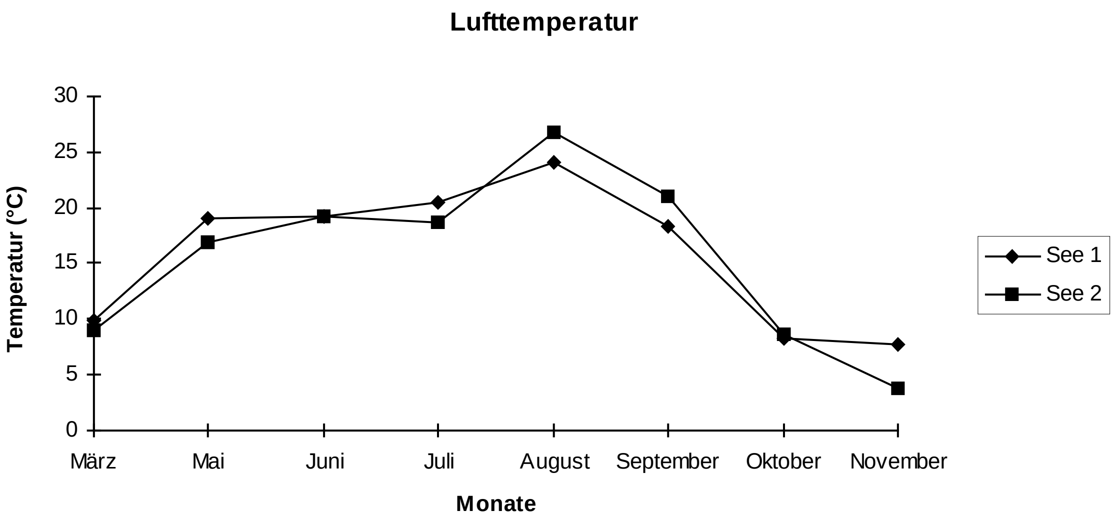


Abb. 5. Zeitlicher Verlauf der Lufttemperatur an zwei Seen im Jahr 1997.

4.1.2 Bathimetrie und Morphometrie

See 1: In Abb. 6 ist die bathimetrische Karte des ersten Sees dargestellt. Tabelle 6 zeigt die morphometrischen Parameter auf. Der Main fließt parallel zur Längsachse des Sees in Nord-Südrichtung. Der annähernd rechteckig geformte See hat eine Oberfläche von 9,48 ha und eine Uferlinie von 1,32 km. Im vorliegenden Fall ist für den See 1 der F-Wert entsprechend seiner regelmäßigen Form mit 1,15 sehr niedrig. Der See 1 ist flach und hat mit 0,46% eine geringe relative Tiefe. Die Tiefenlinien zeigen, daß die größte Wassertiefe mit einem Bereich zwischen 1,50 m und 1,70 m sich über den größten Teil der Seelänge zieht. Zum Ufer hin nimmt die Tiefe zunehmend ab und läuft in einem flachen Litoral aus. Eine auffällige Unregelmäßigkeit ist am Einlauf der Rohrverbindung vom Fluß zu beobachten, wo sich eine Untiefe bis zu einem Drittel der Seebreite erstreckt.

See 2: Abb. 7 zeigt die bathimetrische Karte des zweiten Sees. In Tabelle 6 sind die morphometrischen Parameter aufgelistet. Der Main fließt parallel zur Längsachse des Sees in West-Ostrichtung. Der See ist langgestreckt und hat auf der dem Fluß zugewandten Seite eine Einbuchtung in der Mitte. Mit einer Oberfläche von 9,48 ha hat See 2 etwa die gleiche Größe wie der Vergleichssee. Die Uferlinie hat eine Länge von 1,56 km, ensprechend dem unregelmäßigeren Umriß hat See 2 mit einem Wert von F= 1,43 einen höheren Index für den Uferlinienverlauf. Die relative Tiefe für See 2 beträgt 1,79%. Auf der bathimetrischen Karte ist zu sehen, daß See 2 am östlichen Ufer eine direkte Verbindung zum Main hat. In dieser Zone weist der See durch Sandablagerungen seine geringste Tiefe auf. Zur westlichen Seeseite hin nimmt die Tiefe kontinuierlich zu und erreicht eine Maximaltiefe von 6,20 m. Die Ufer fallen besonders im westlichen Bereich steil ab.

Tab. 6. Morphometrische Parameter.

Parameter	See 1	See 2
Höhe über NN (m)	200	200
Maximale Tiefe (m)	1,70	6,20
Durchschnittstiefe (m)	0,96	3,26
Relative Tiefe (%)	0,46	1,79
Oberfläche (ha)	10,56	9,48
Uferlinie (m)	1320	1560
Uferlinie (Verlauf)	1,15	1,43
Größte Länge (m)	610	627
Größte Breite (m)	205	182,50
Durchschnittsbreite (m)	173,17	151,20
Volumen (m^3)	100897	309174

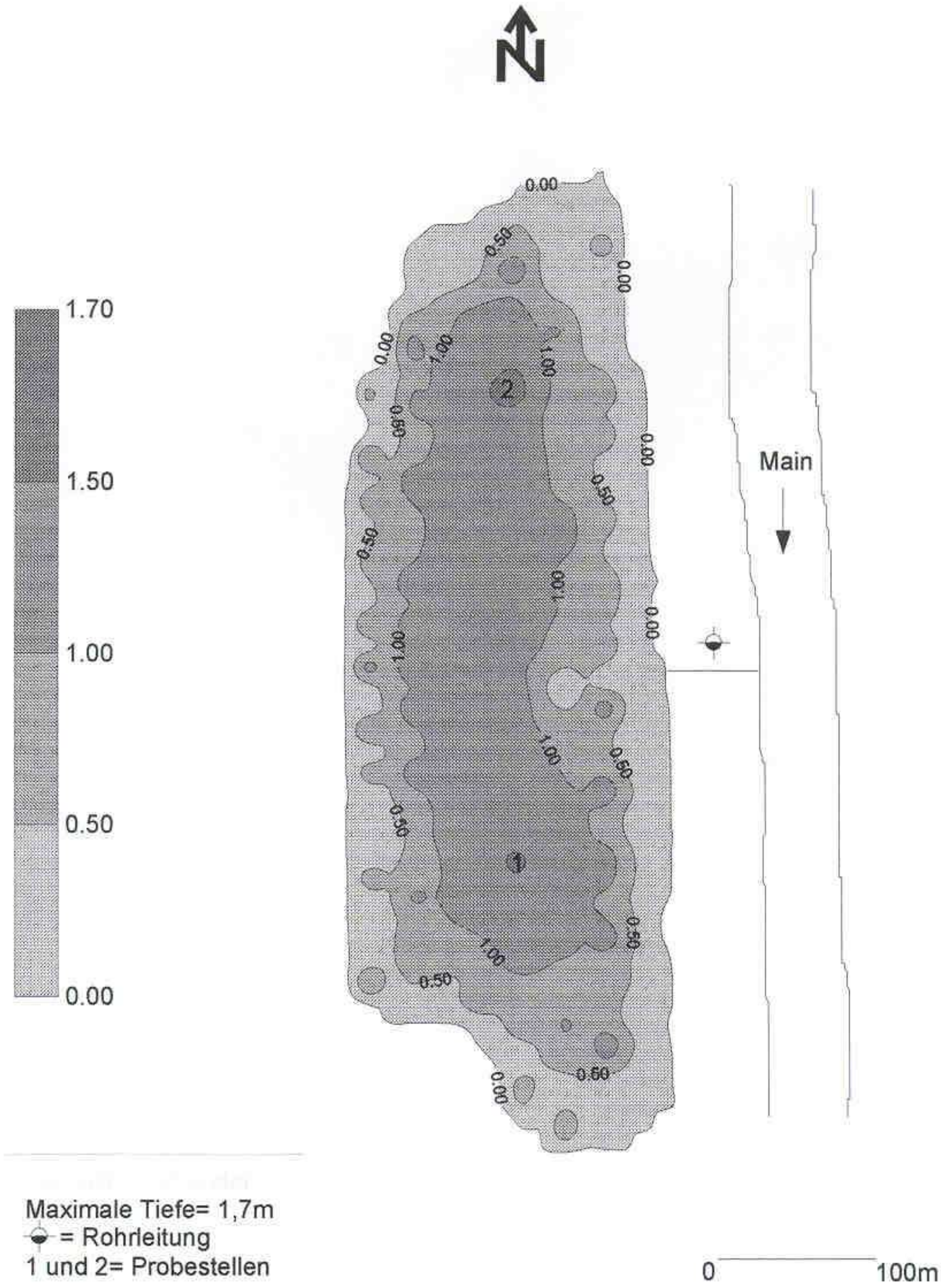


Abb. 6. Bathimetrische Karte des Sees 1 bei Ober-Eisenheim, Main km-314,75.

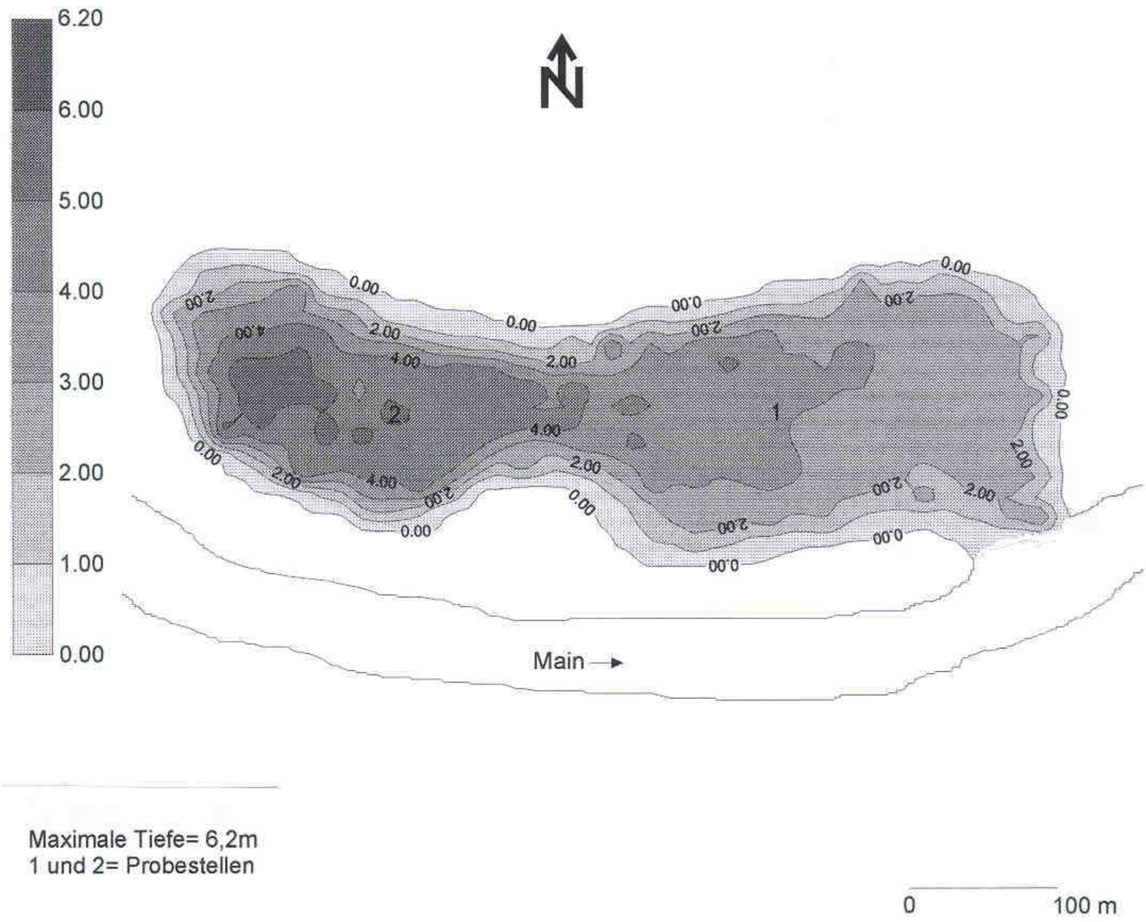


Abb. 7. Bathimetrische Karte des Sees 2 bei Elgersheim, Main km-310.

4.1.3 Wassertransparenz und euphotische Zone

Wassertransparenz

See 1: Tabelle 7 zeigt die Werte der Wassertransparenz an beiden Probestellen von See 1. Im März wurden die Höchstwerte ermittelt, zwischen Mai und November verringerte sich die Sichttiefe mit geringen Schwankungen, wobei beide Probestellen gleiche Tendenzen zeigten. Die duchschnittliche Transparenz über den gesamten Zeitraum betrug 0,27 m.
See 2: Ebenfalls in Tabelle 7 sind die Werte der Wassertransparenz in See 2 zu erkennen. Hier zeigte die Transparenz die niedrigsten Werte zwischen Juni und September und stieg in den Monaten Oktober und November, wiederum mit gleicher Tendenz an beiden Probestellen. Der Durchschnitt der Transparenz lag bei 0,90 m.
Die Werte für beide Seen sind typisch für nährstoffreiche Seen, in welchen im Sommer die Transparenz absinkt. Während See 1 fast durchgehend eine geringe Sichttiefe aufweist, sind bei See 2 deutliche Schwankungen zu beobachten.

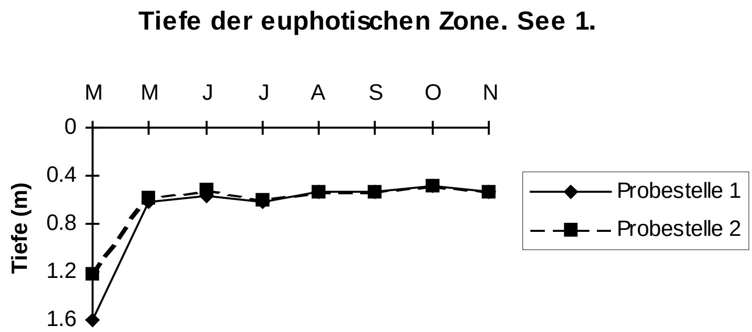
Tab. 7. Wassertransparenz in Metern für die Seen 1 und 2 im Jahr 1997.

	See 1		See 2	
Monat	Probestelle 1	Probestelle 2	Probestelle 1	Probestelle 2
März	0,97	0,45	1,15	0,99
Mai	0,23	0,22	0,83	1,10
Juni	0,21	0,19	0,65	0,46
Juli	0,23	0,22	0,70	0,59
August	0,24	0,24	0,62	0,77
September	0,20	0,20	0,54	0,62
Oktober	0,18	0,18	1,80	1,20
November	0,20	0,20	1,18	1,18

Euphotische Zone

See 1: Abb. 8 zeigt diejenige Tiefe, in welcher noch 1% der PAR („photosynthetically active radiation”) vorhanden ist (LAMPERT & SOMMER 1993). Die Untergrenze der euphotischen Zone ließ an beiden Probestellen keine bemerkenswerten Veränderungen erkennen, nur im März war eine größere Tiefe zu beobachten.

See 2: Abb. 8 zeigt die Variation der euphotischen Zone. An beiden Probestellen war die euphotische Zone in den Monaten März bis Mai sowie im Oktober und November größer. Während des Sommers ließen sich niedrigere Werte mit geringen Schwankungen beobachten.



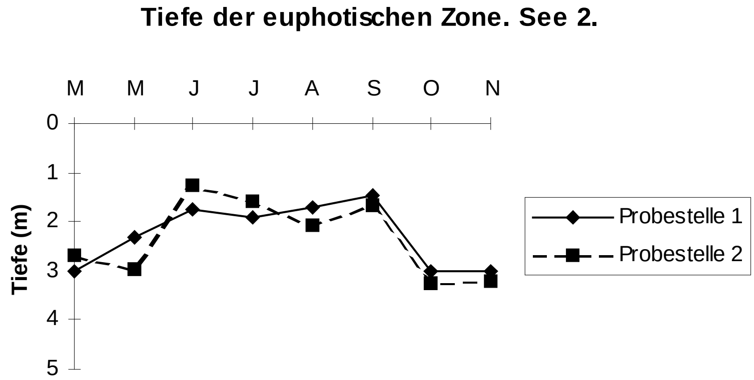


Abb. 8. Variation der euphotischen Zone im Jahresverlauf in beiden Seen.

4.1.4 Wassertemperatur

See 1: Die durchschnittliche Wassertemperatur betrug 14,5°C bei einer Schwankung von CV=48,15%. Abb. 9 zeigt den Wassertemperaturverlauf an Probestelle 1. Im März war das Profil orthograd, bedingt durch Zirkulationen. Zwischen Mai und September bildeten sich unterschiedliche Gradienten mit Tendenz zur Stratifikation und der Ausbildung einer oberflächennahen Schicht wärmeren Wassers aus. Im Verlauf des Sommers verschob sich die Grenze der Vermischungszone zwischen der warmen Oberflächenschicht und dem kälteren Wasser zunehmend zur Oberfläche hin. Im Herbst (Oktober und November) zeigten sich wieder orthograde Profile.

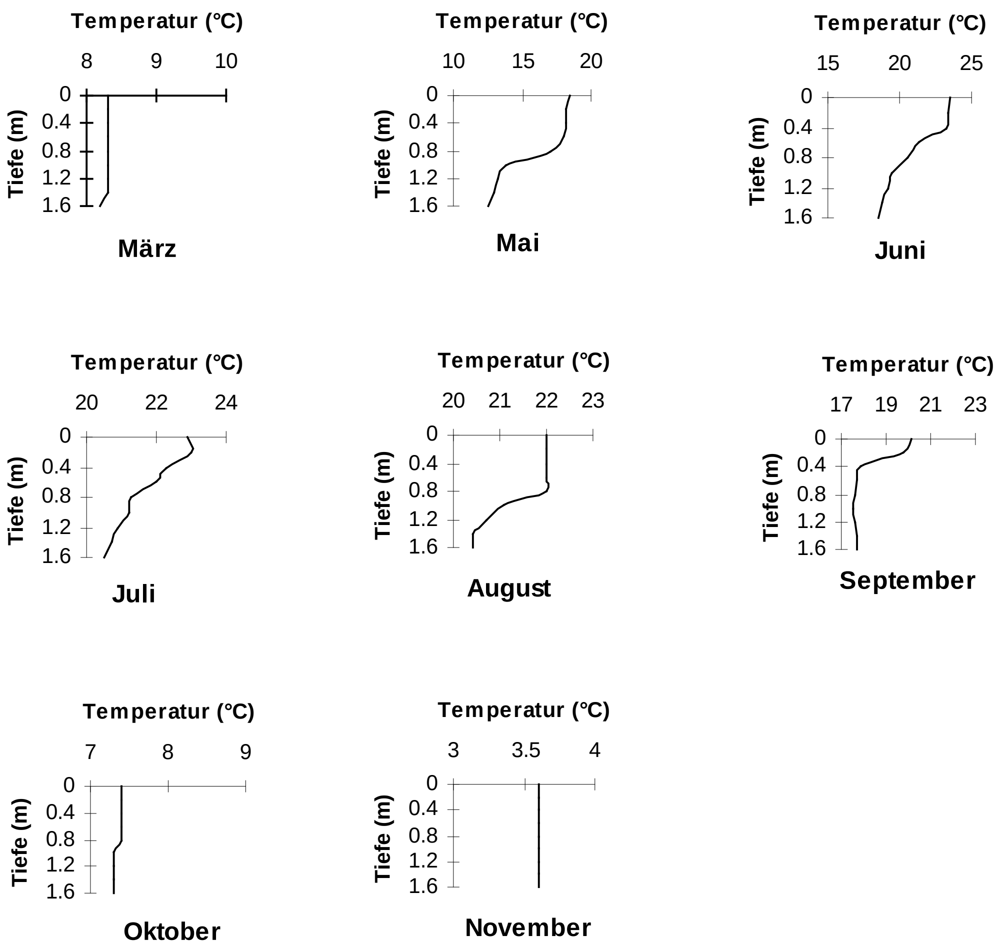


Abb. 9. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile der Wassertemperatur an Probestelle 1 des Sees 1.

An Probestelle 2 (Abb. 10) waren ähnliche Tendenzen wie an der ersten zu beobachten: ein orthograder Temperaturverlauf im Frühjahr und Herbst und die Ausbildung eines Temperaturgradienten zwischen Mai und September.

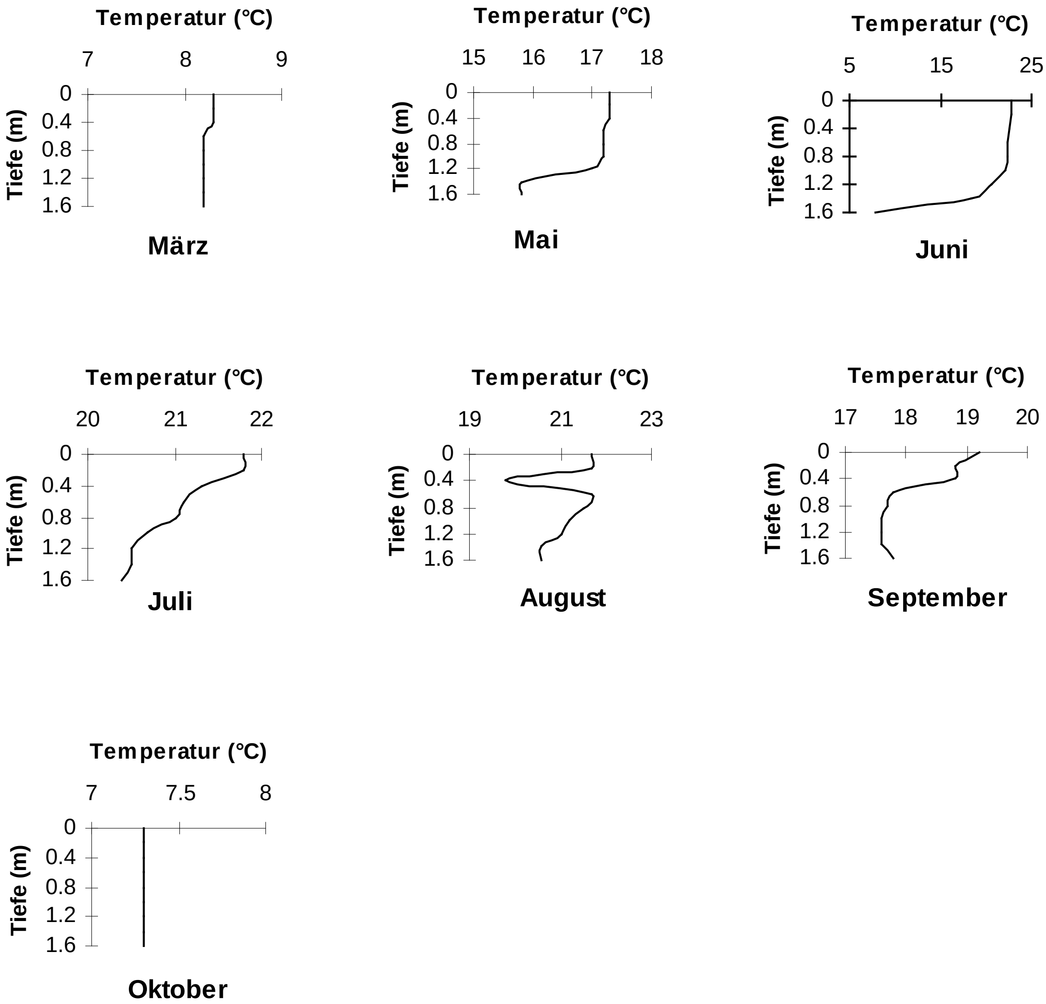


Abb. 10. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile der Wassertemperatur an Probestelle 2 des Sees 1.

See 2: Die mittlere Wassertemperatur während der gesamten Probennahme betrug 14,0°C bei einer Schwankung von 44%. Abb. 11 zeigt den Temperaturverlauf an Probestelle 1. Im März hat sich schon eine Stratifikation ausgebildet, die sich im Verlauf des Frühlings und Sommers verstärkt. Auch hier ist die Tendenz zu erkennen, daß sich im Verlauf des Sommers die Durchmischungszone nach oben verschiebt. Typisch ist in diesem See der unregelmäßige Verlauf der Temperaturprofile. Während des Herbstes, im Oktober und November, waren wiederum orthograde Profile zu beobachten.

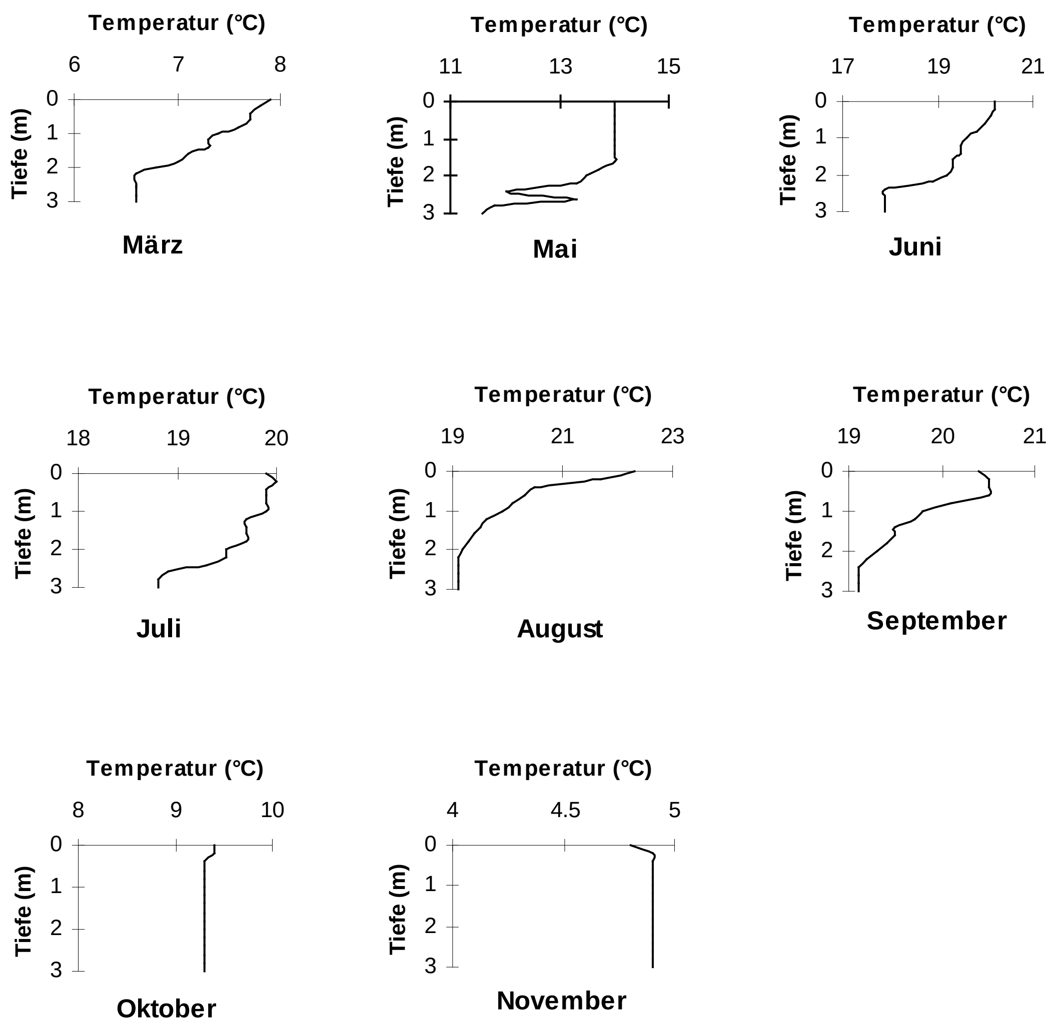


Abb. 11. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile der Wassertemperatur an Probestelle 1 des Sees 2.

Abb. 12 zeigt den Temperaturverlauf an Probestelle 2. Im März begann die Stratifikation, die in diesem und dem folgenden Monat einen ähnlichen Verlauf aufweist wie an der anderen Probestelle. Ab Oktober stellte sich auch hier wieder ein orthogrades Temperaturprofil ein.

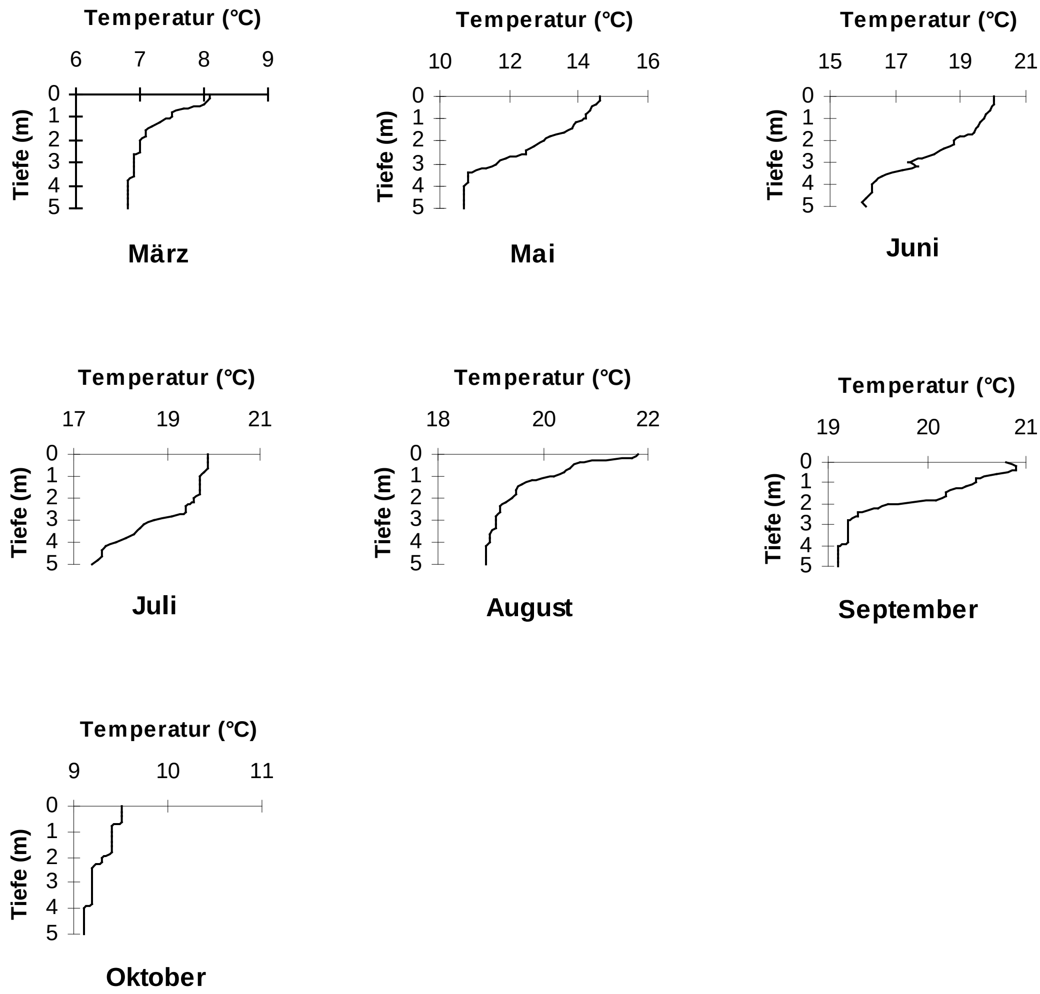


Abb. 12. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile der Wassertemperatur an Probestelle 2 des Sees 2.

4.1.5 Relativer thermischer Widerstand

See 1: Abb. 13 zeigt den Jahresverlauf des relativen thermischen Widerstandes (RTW) an Probestelle 1. Zwischen Mai und September konnten Widerstände errechnet werden; deren Höchstwerte im Mai liegen. Während des Sommers ist der Dichteunterschied in

Abhängigkeit von der Tiefe deutlich zu erkennen, wobei die maximalen Werte des RTW in den oberen Schichten liegen. Im Juni und Juli zeigten sich mehrere Maxima. In März, Oktober und November bildeten sich keine Dichteunterschiede und folglich keine relativen thermischen Widerstände.

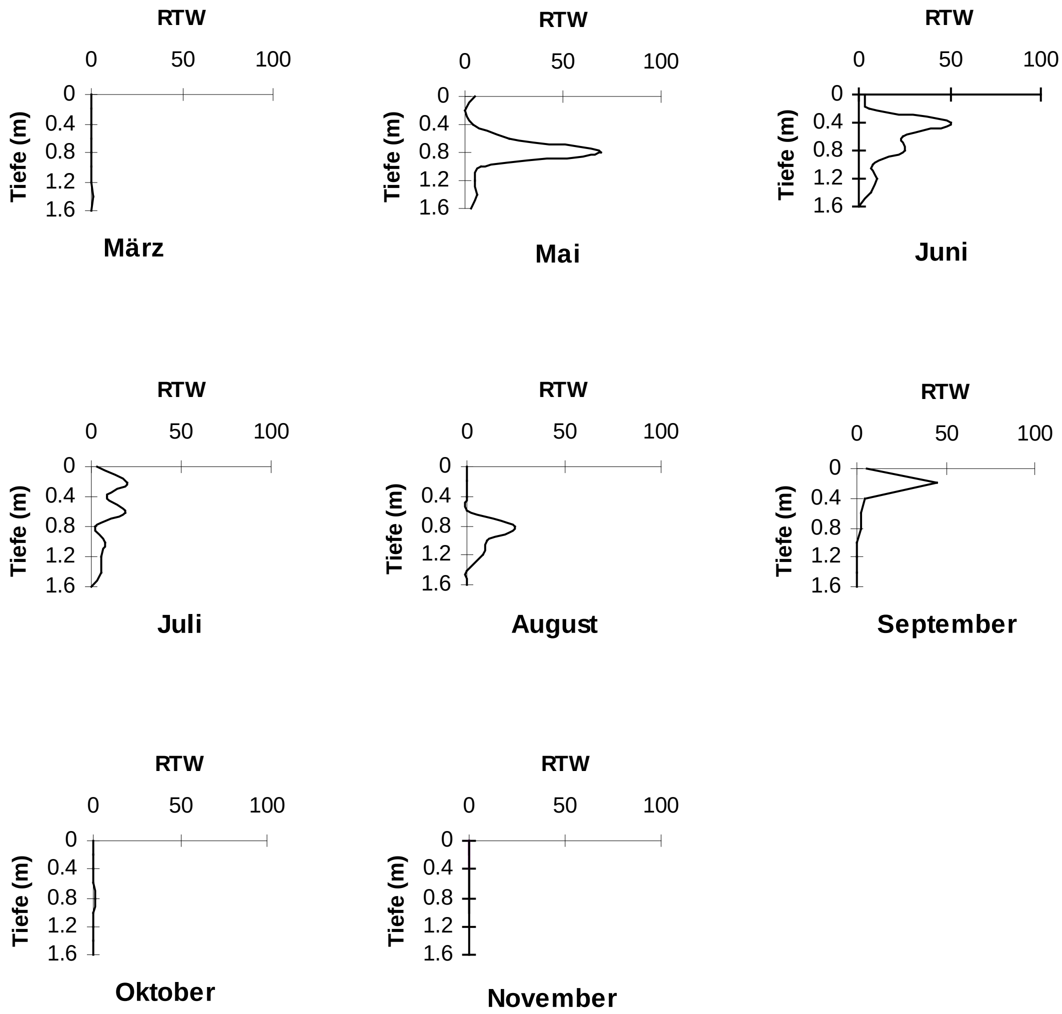


Abb. 13. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des RTW an Probestelle 1 des Sees 1.

Probestelle 2 (Abb. 14) zeigte die gleiche Tendenz wie Probestelle 1. Zwischen Mai und September ließ sich ein RTW errechnen, dessen Höchstwerte aufgrund von größeren Temperaturunterschieden im Juni sowie im August erreicht wurden, wobei diese im August nahe der Oberfläche lagen. In März und Oktober gab es keine signifikanten Dichteänderungen und deshalb auch keinen RTW.

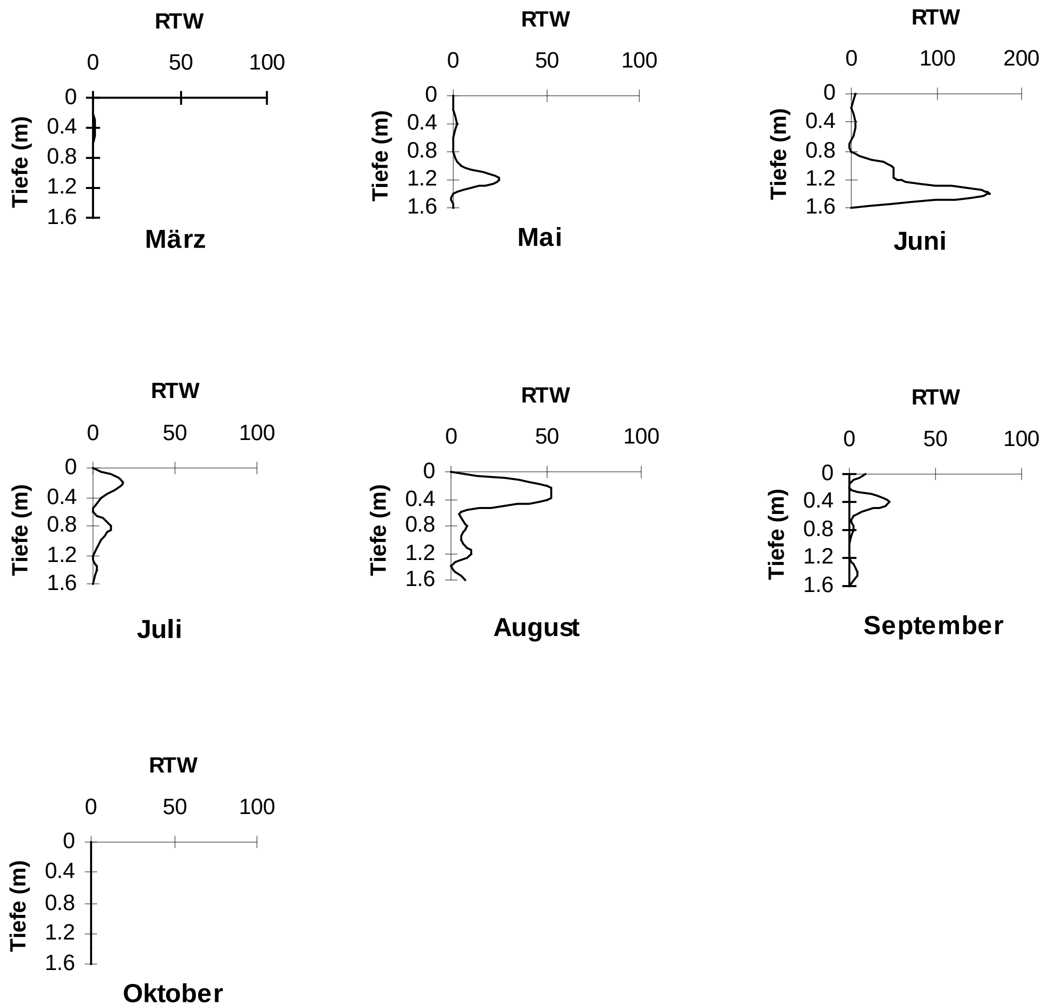


Abb. 14. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des RTW an Probestelle 2 des Sees 1.

See 2: An Probestelle 1 (Abb. 15) ließen sich RTW Werte zwischen Mai und September berechnen. Der RTW lag von Mai bis Juni eher in tieferen Zonen, im August hingegen in oberen Schichten. Während der meisten Monate zeigten sich mehrere deutliche Dichteschwankungen, und die Profile bildeten mehr als ein Maximum aus. In März, Oktober und November konnten keine Werte des RTW festgestellt werden.

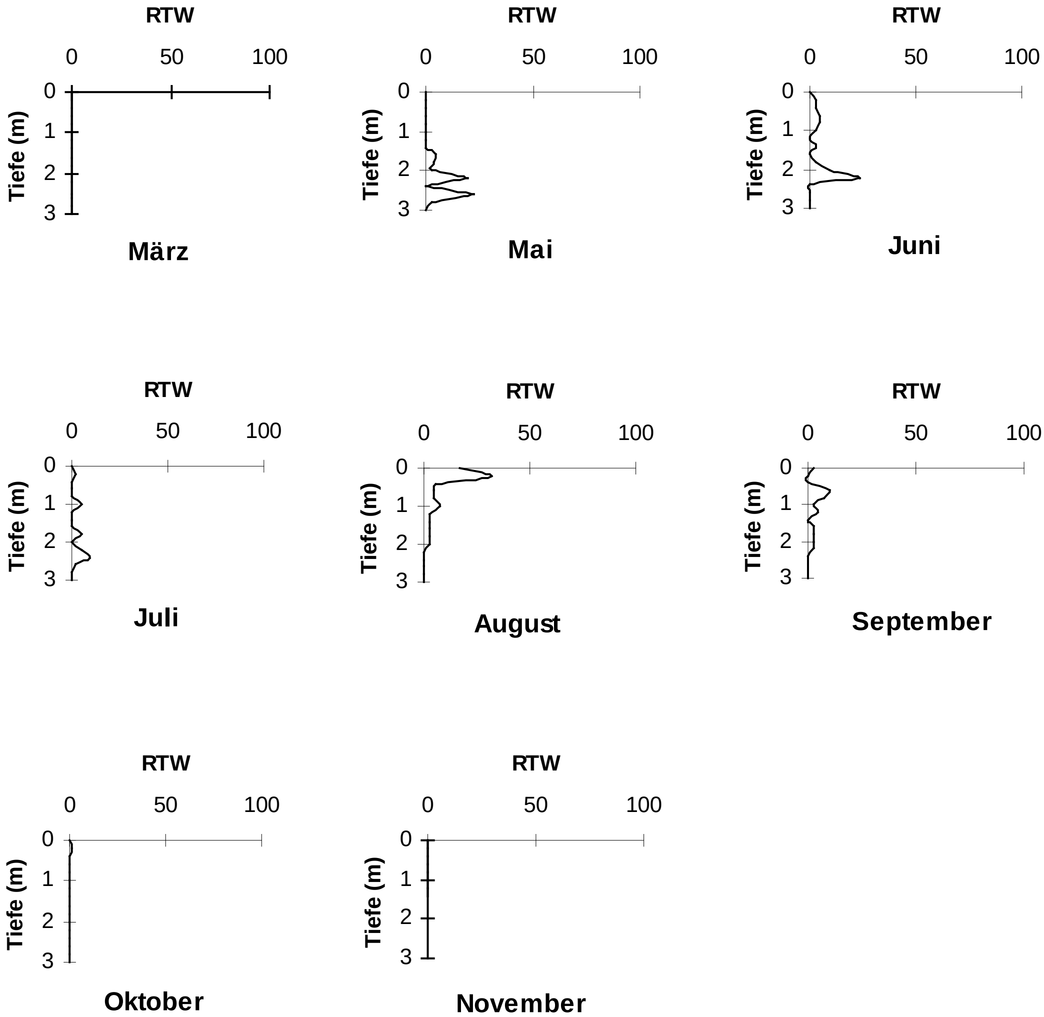


Abb. 15. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des RTW an Probestelle 1 des Sees 2.

An Probestelle 2 (Abb. 16) zeigte sich ein RTW zwischen Mai und September, jedoch ausgeprägtere Werte nur in den Monaten Juni, August und September. In den meisten Fällen waren heterograde Dichteprofile zu beobachten. In März und Oktober waren kaum Schwankungen des RTW zu erkennen.

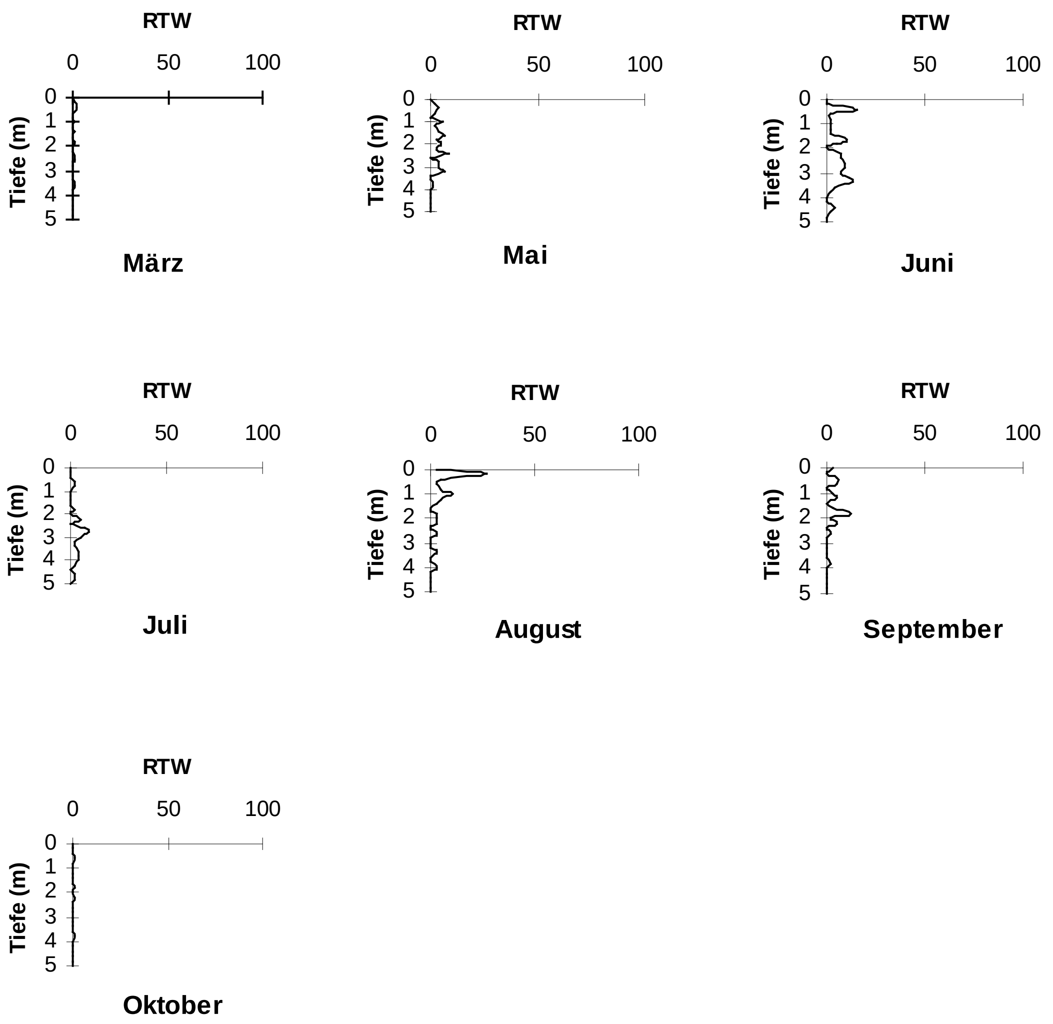


Abb. 16. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des RTW an Probestelle 2 des Sees 2.

4.1.6 Leitfähigkeit

See 1: Die Leitfähigkeit lag im Durchschnitt bei 391,9 µS/cm und zeigte eine geringe Variation (CV= 5,9%). Die Messungen an Probestelle 1 (Abb. 17) verliefen in allen Monaten orthograd und wiesen eine geringe Änderung im Jahresverlauf auf.

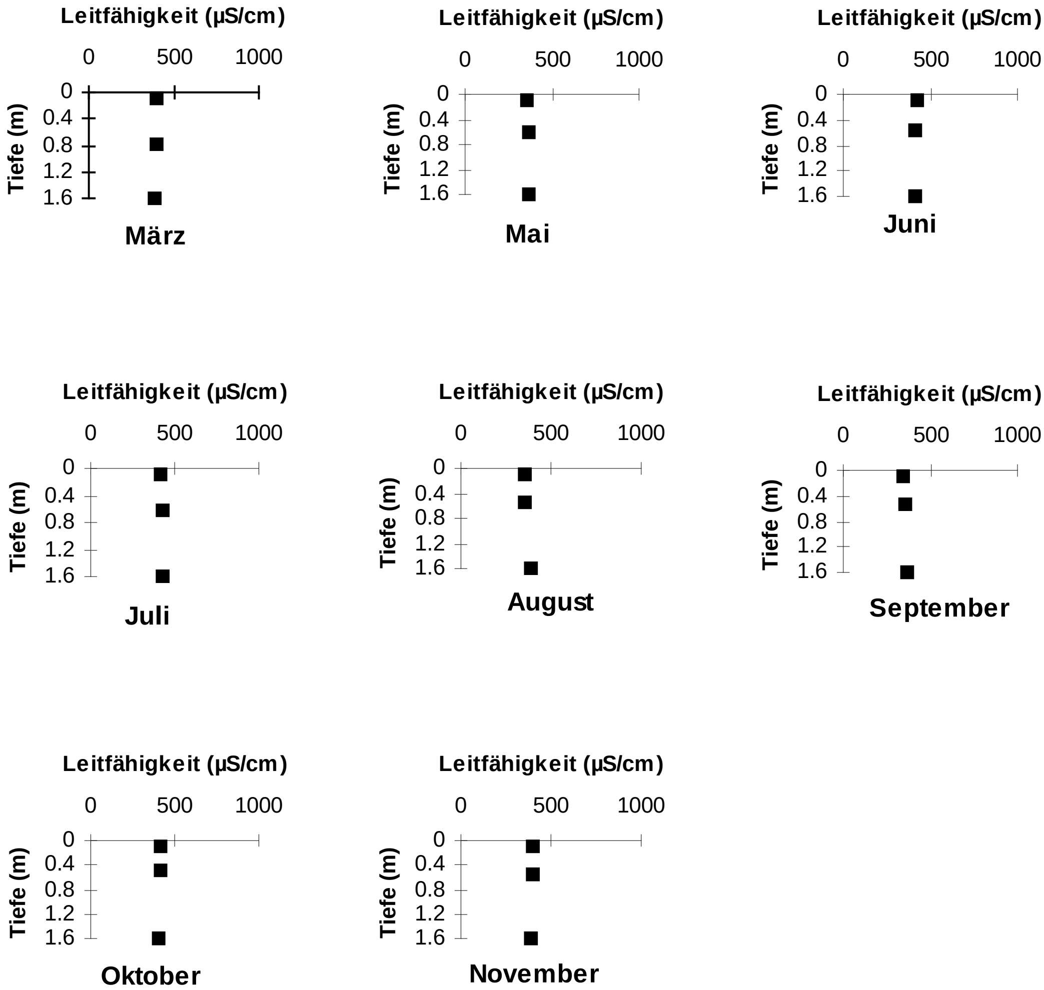


Abb. 17. Zeitlicher Verlauf der Leitfähigkeit in drei Tiefen an Probestelle 1 des Sees 1.

An Probestelle 2 (Abb. 18) ließen sich ebenfalls eine orthograde Tendenz der Meßwerte, sowie geringe Schwankungen zwischen den Monaten erkennen.

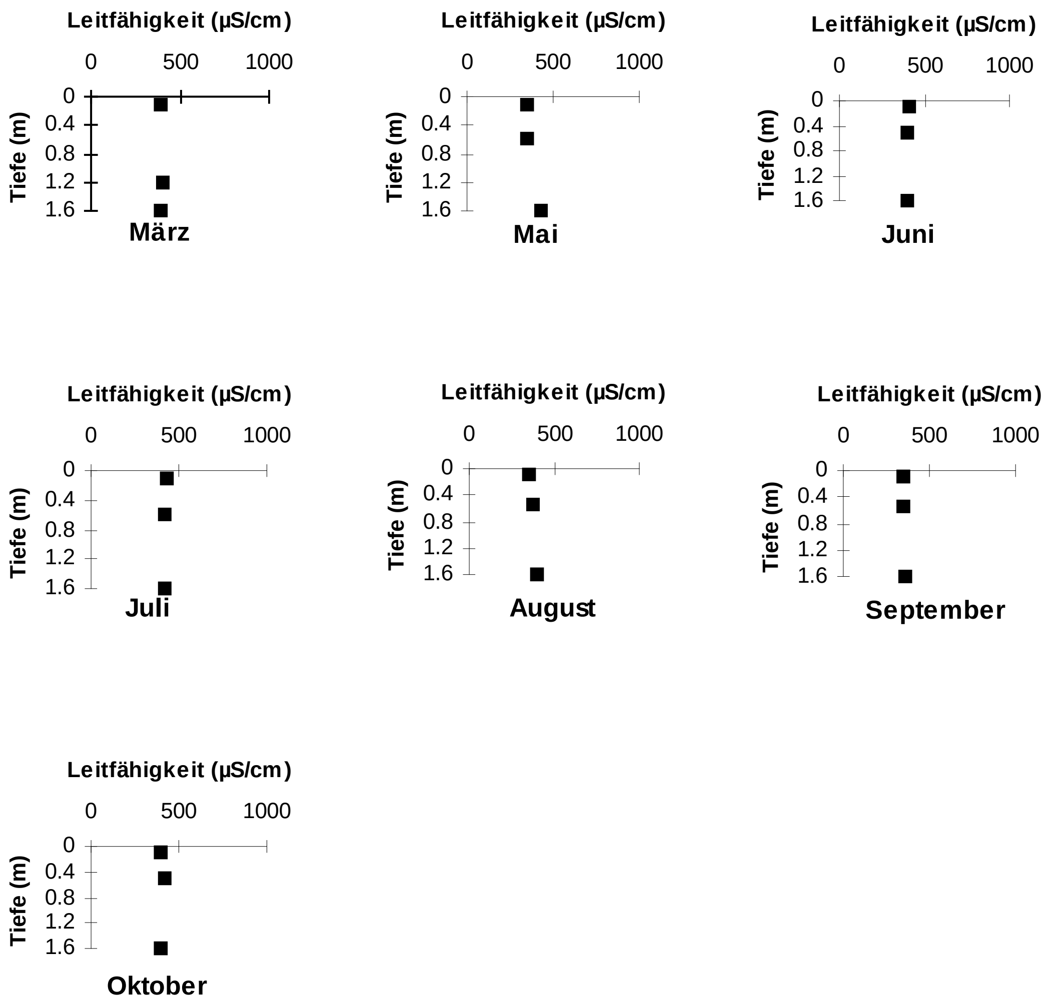


Abb. 18. Zeitlicher Verlauf der Leitfähigkeit in drei Tiefen an Probestelle 2 des Sees 1.

See 2: In See 2 lag die Leitfähigkeit im Durchschnitt bei 654 µS/cm mit einer Variation von 10,2%. An Probestelle 1 (Abb. 19) zeigte sich eine orthograde Tendenz mit einem Anstieg der Werte während des Jahresverlaufes. Die niedrigsten Werte wurden im März und im August gemessen.

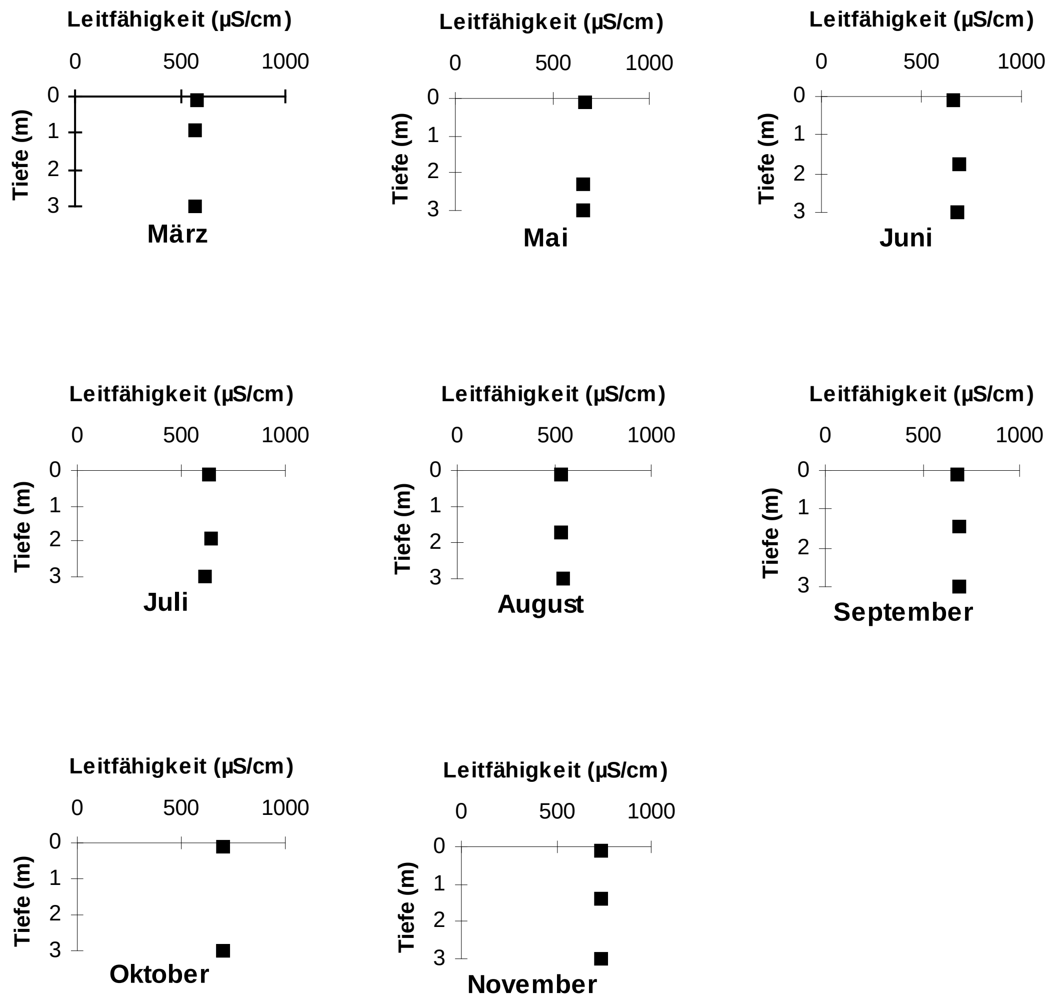


Abb. 19. Zeitlicher Verlauf der Leitfähigkeit in drei Tiefen an Probestelle 1 des Sees 2.

Abb. 20 der Probestelle 2 zeigt ebenfalls orthograde Profile mit einem leichten Anstieg der Werte während des Jahresverlaufes. Wiederum wurden im März und August die geringsten Leitfähigkeitswerte gemessen.

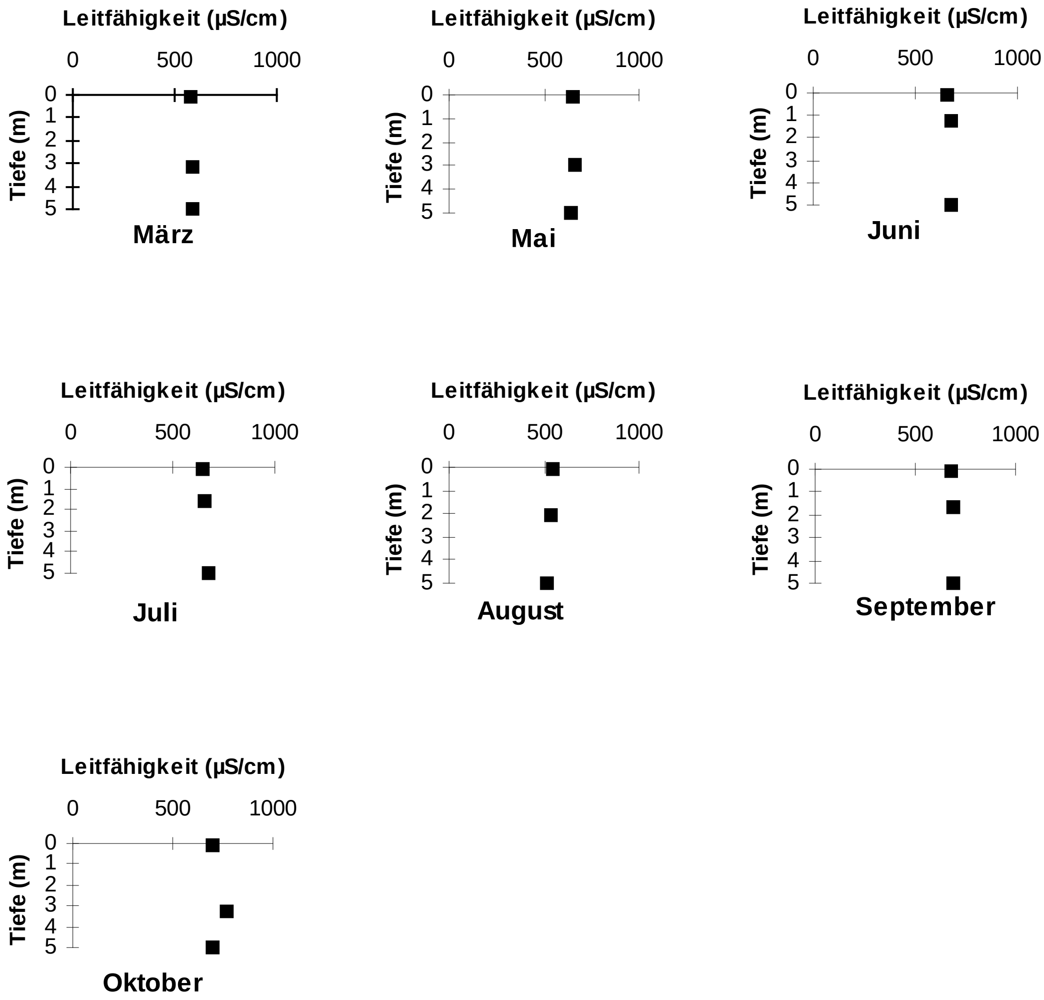


Abb. 20. Zeitlicher Verlauf der Leitfähigkeit in drei Tiefen an Probestelle 2 des Sees 2.

4.2 Chemische Variablen

4.2.1 Sauerstoff

See 1: Der Sauerstoffgehalt lag während des Jahresverlaufes durchschnittlich bei 10,3 mg/l mit einer Variation von 15,9%. Die Sauerstoffkurve der Probestelle 1 (Abb. 21) zeigt in den Monaten März, Oktober und November orthograde Profile mit einem Sauerstoffgehalt von nahezu 10 mg/l. Zwischen Mai und September läßt sich eine klinograde Kurve beobachten. Im Mai setzte die Stratifikation ein, deren Fortschreiten eine heterograde Kurve im Juni, Juli und September sowie eine höhere O_2-Konzentration in der oberen Wasserschicht zur Folge hatte. Am Grund des Sees konnte im Hochsommer kein Sauerstoff mehr gemessen werden.

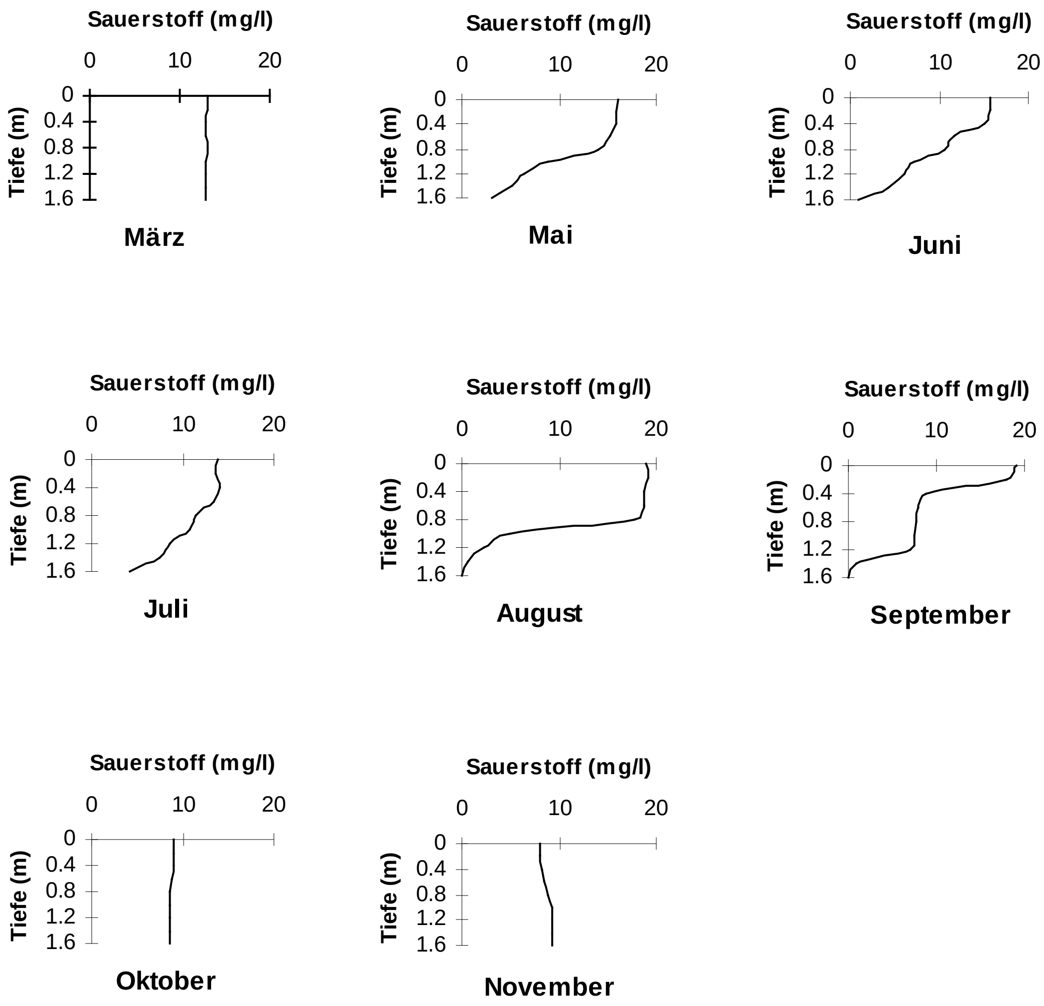


Abb. 21. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 1 des Sees 1.

Probestelle 2 (Abb. 22) zeigte orthograde Profile in den Monaten März, Mai und Oktober, sowie eine klinograde Kurve zwischen Juni und September mit Höchstwerten nahe der Oberfläche und Nullwerten am Seeboden.

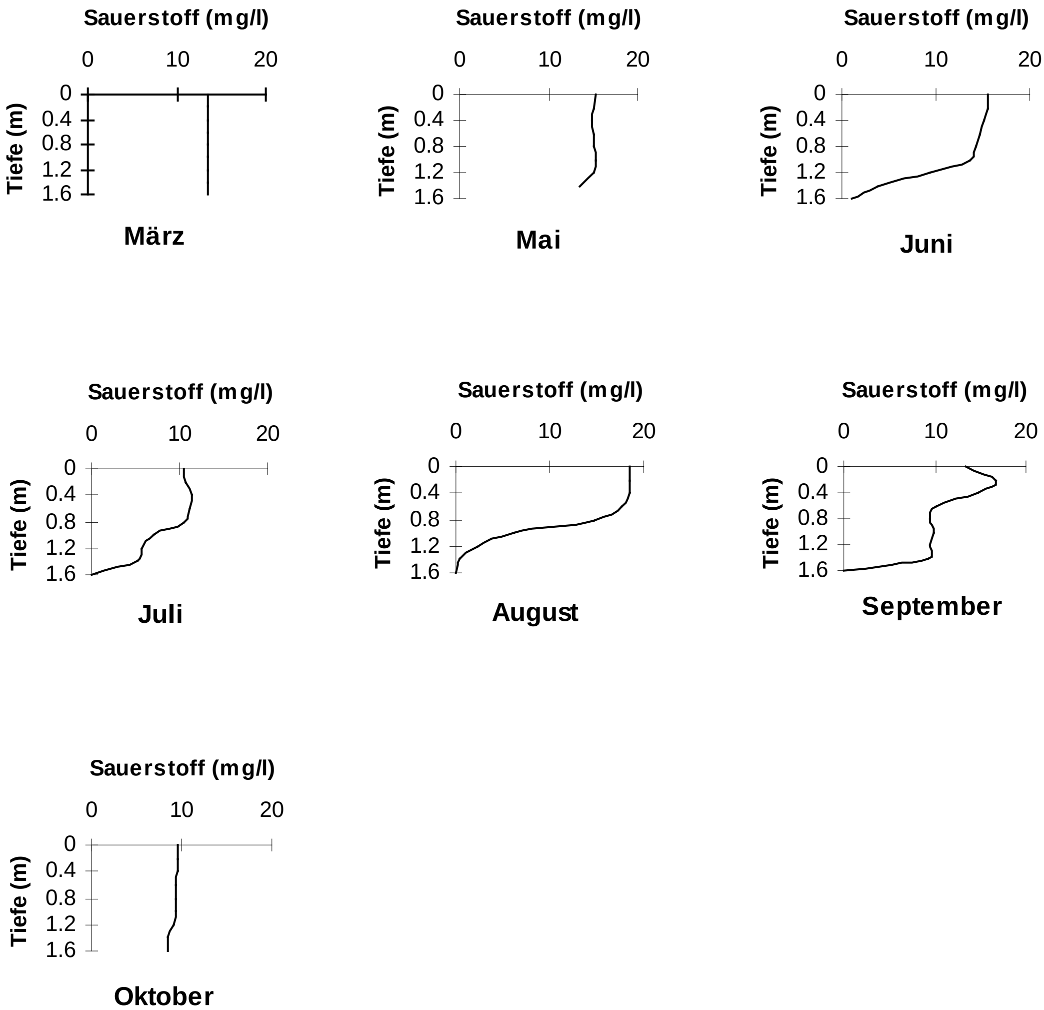


Abb. 22. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 2 des Sees 1.

See 2: See 2 ließ eine durchschnittliche Sauerstoffkonzentration von 9,9 mg/l sowie eine Variation von 27,25% erkennen. An Probestelle 1 (Abb. 23) wurden orthograde Profile im März, August, Oktober und November mit Werten von nahezu 10 mg/l gemessen. Die anderen Monate zeigten heterograde Profile mit größeren Schwankungen im Juni und Juli. Nur im Juli tendierte die Sauerstoffkonzentration gegen Null. Die Höchstwerte wurden im Juni und Juli im Oberflächenwasser gemessen.

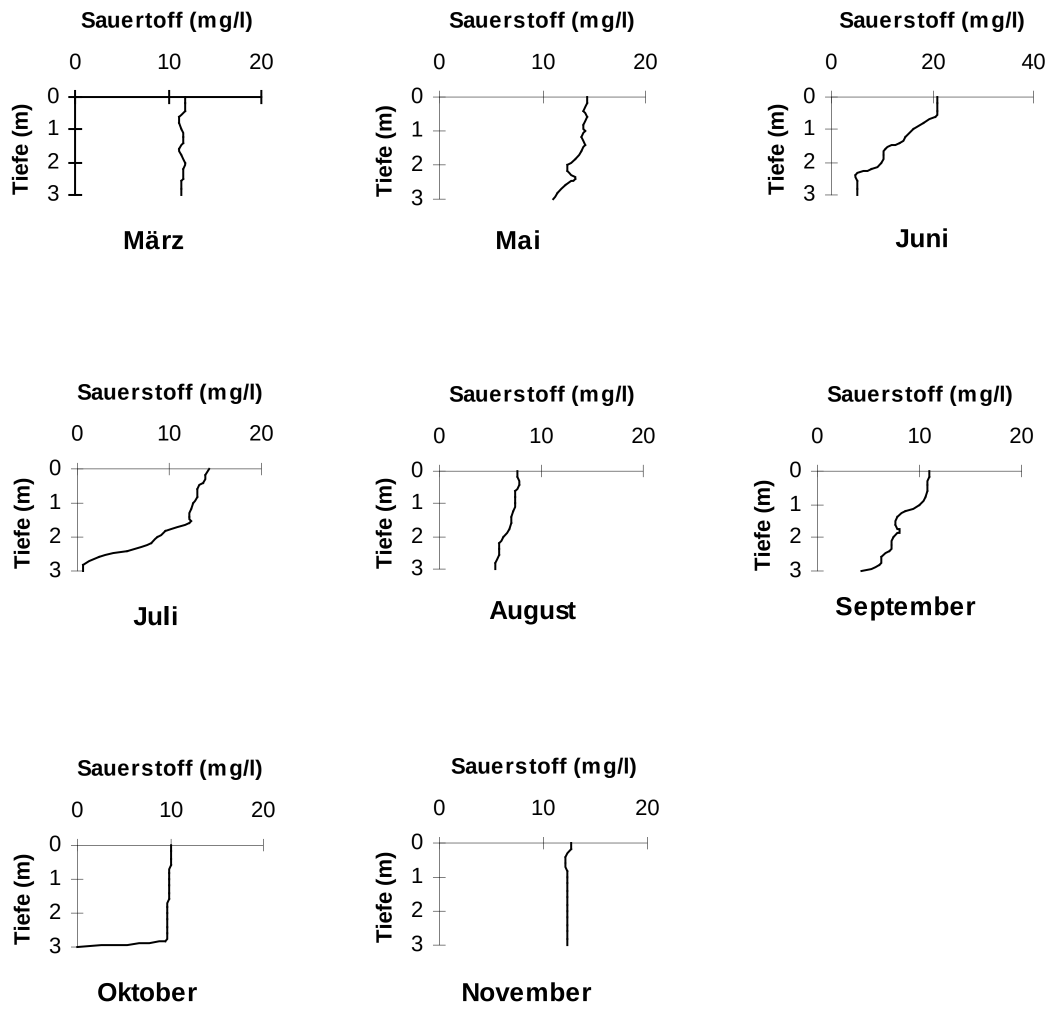


Abb. 23. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 1 des Sees 2.

An Probestelle 2 (Abb. 24) wurde die gleiche Tendenz wie an Probestelle 1 beobachtet: orthograde Profile im März und Oktober. Zwischen Mai und September zeigte sich eine heterograde Kurve. Die Höchstwerte wurden wiederum nahe der Oberfläche in den Monaten Juni und Juli festgestellt. In den Sommermonaten tendierte der Sauerstoffgehalt in den Tiefenbereichen zwischen 4 und 5 m zu Werten nahe Null.

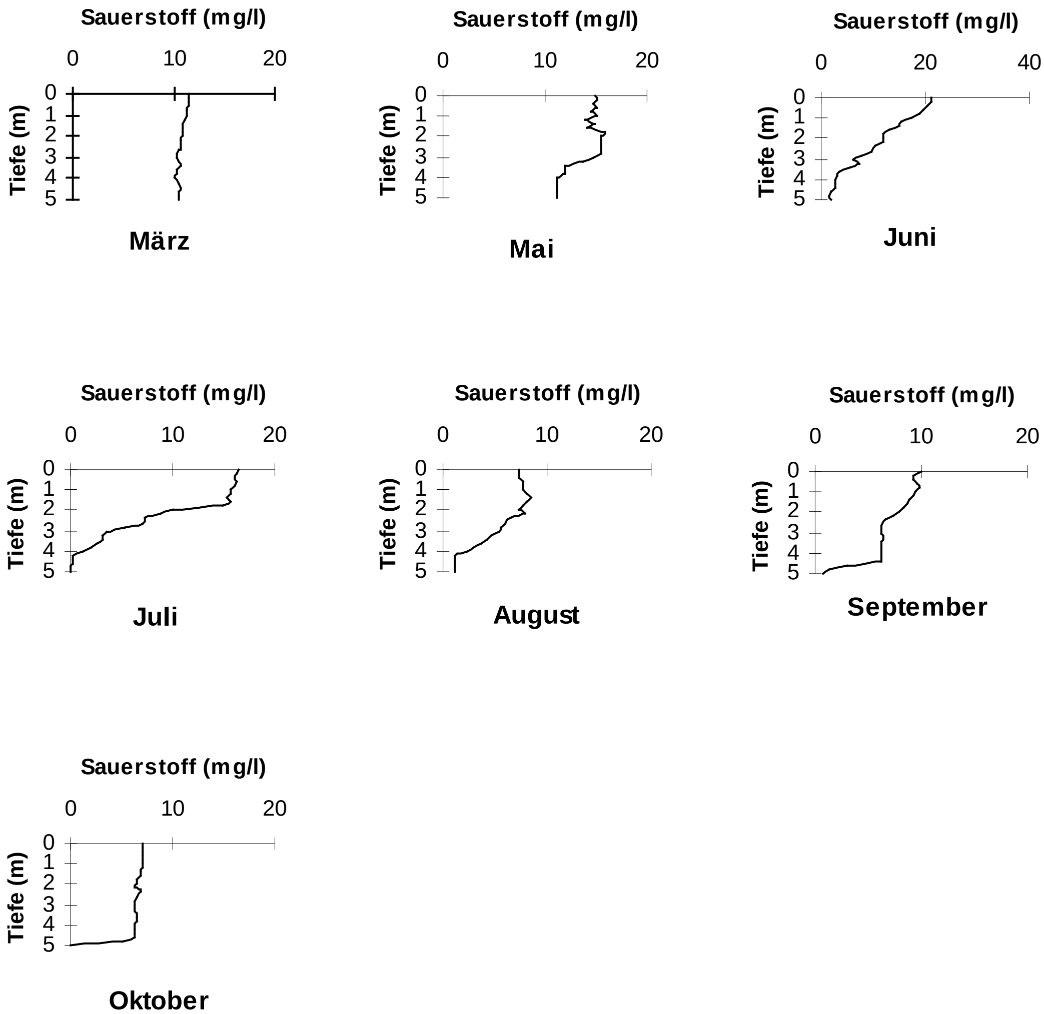


Abb. 24. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 2 des Sees 2.

4.2.2 Relative Sauerstoffsättigung

See 1: Die relative Sauerstoffsättigung betrug im Durchschnitt 105,1% mit einer Variation von 20,8%. Die Profile (Abb. 25) an Probestelle 1 waren orthograd in März, Oktober und November mit einer Untersättigung während des Herbstes. Zwischen Mai und September ergaben sich klinograde Kurven mit einer Übersättigung im oberflächennahen Bereich und einem Sauerstoffdefizit im tieferen Wasser.

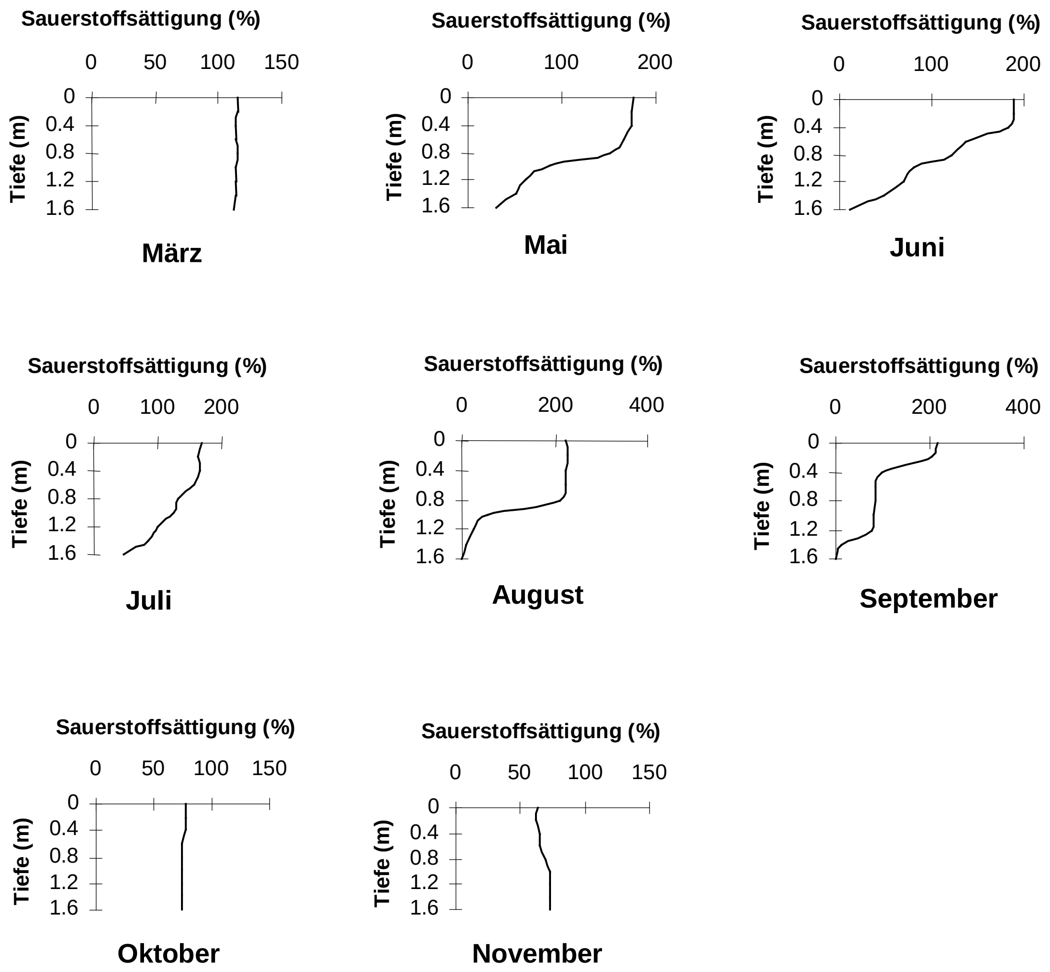


Abb. 25. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile der Sauerstoffsättigung an Probestelle 1 des Sees 1.

Abb. 26 zeigt die Profile der Probestelle 2 mit orthograden Profilen in März und Oktober mit Werten von nahezu 100 %. Ab Mai war eine starke Übersättigung im oberen Bereich der Wassersäule zu verzeichnen. Zwischen Juni und September trat in den tieferen Bereichen stets ein Sauerstoffdefizit auf.

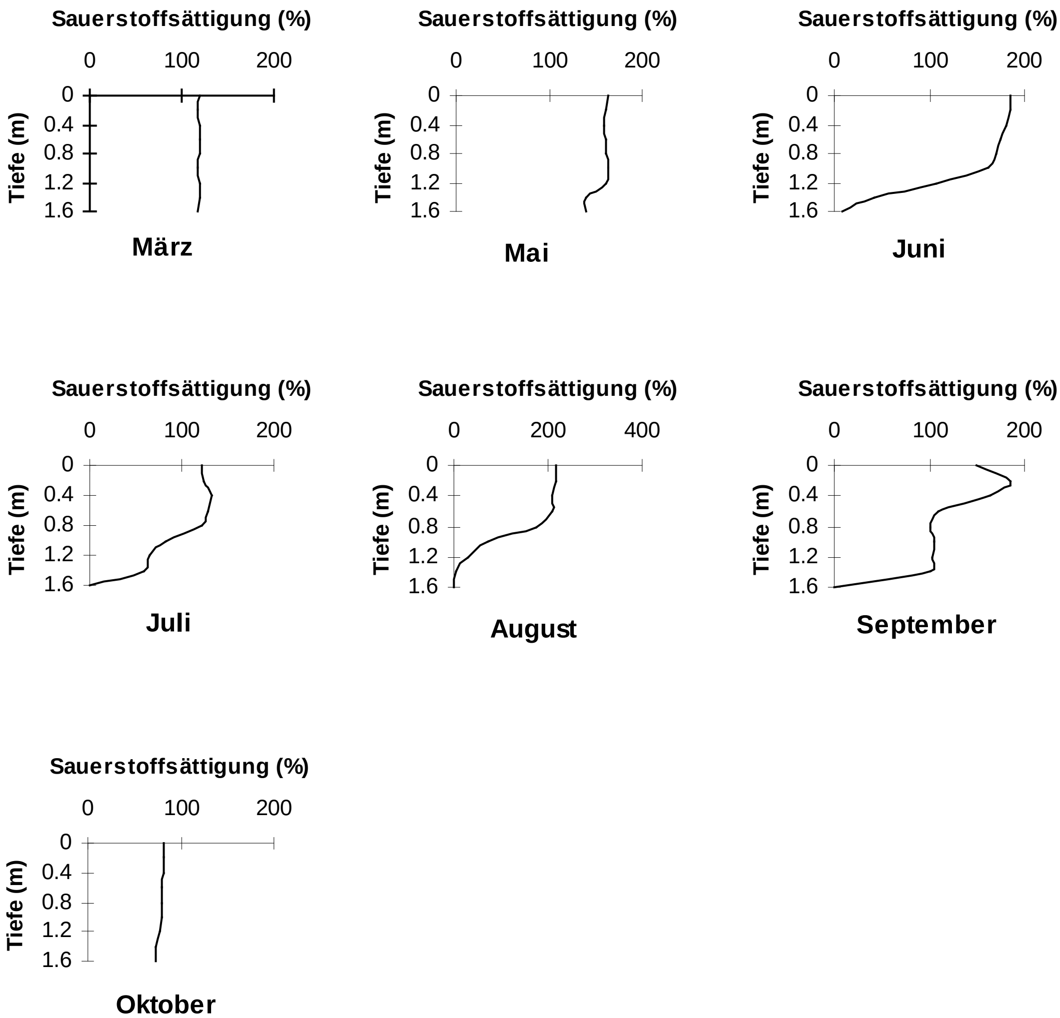


Abb. 26. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 2 des Sees 1.

See 2: In See 2 betrug die Sauerstoffsättigung durchschnittlich 98% mit einer Variation von 25%. Abb. 27 stellt die Profile der Probestelle 1 dar. Es zeigten sich orthograde Profile mit Werten von nahezu 100% in den Monaten März, Oktober und November. Zwischen Mai und September ergaben sich negative heterograde Kurven mit einer Übersättigung im oberen Bereich.

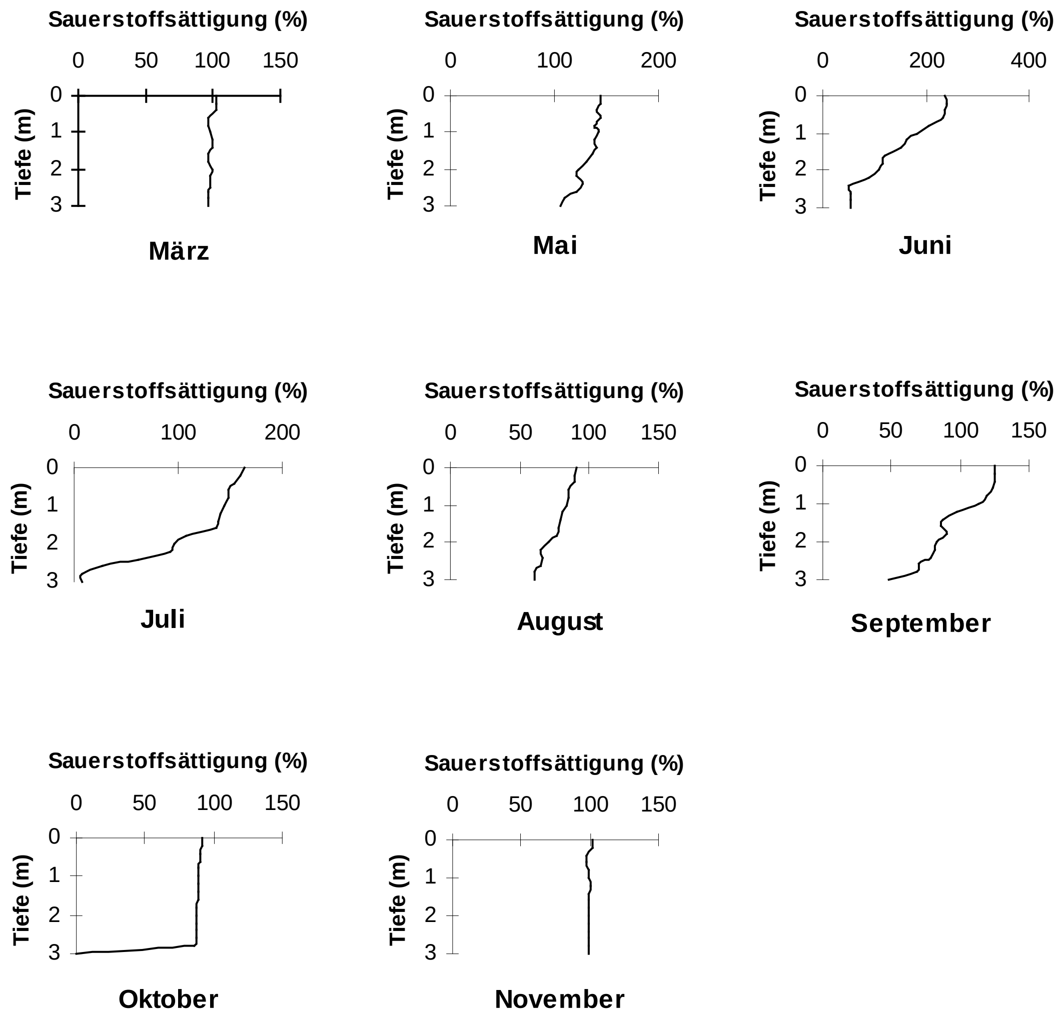


Abb. 27. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 1 des Sees 2.

Probestelle 2 (Abb. 28) zeigte orthograde Profile im März und Oktober auf. Ab Mai stellte sich eine Stratifikation ein, das Sauerstoffprofil zeigte eine heterograde Kurve. Die Höchstwerte fanden sich in den Monaten Juni und Juli mit Übersättigung um 200%. Die Sättigungswerte nahe dem Grund sanken in allen Sommermonaten auf fast Null.

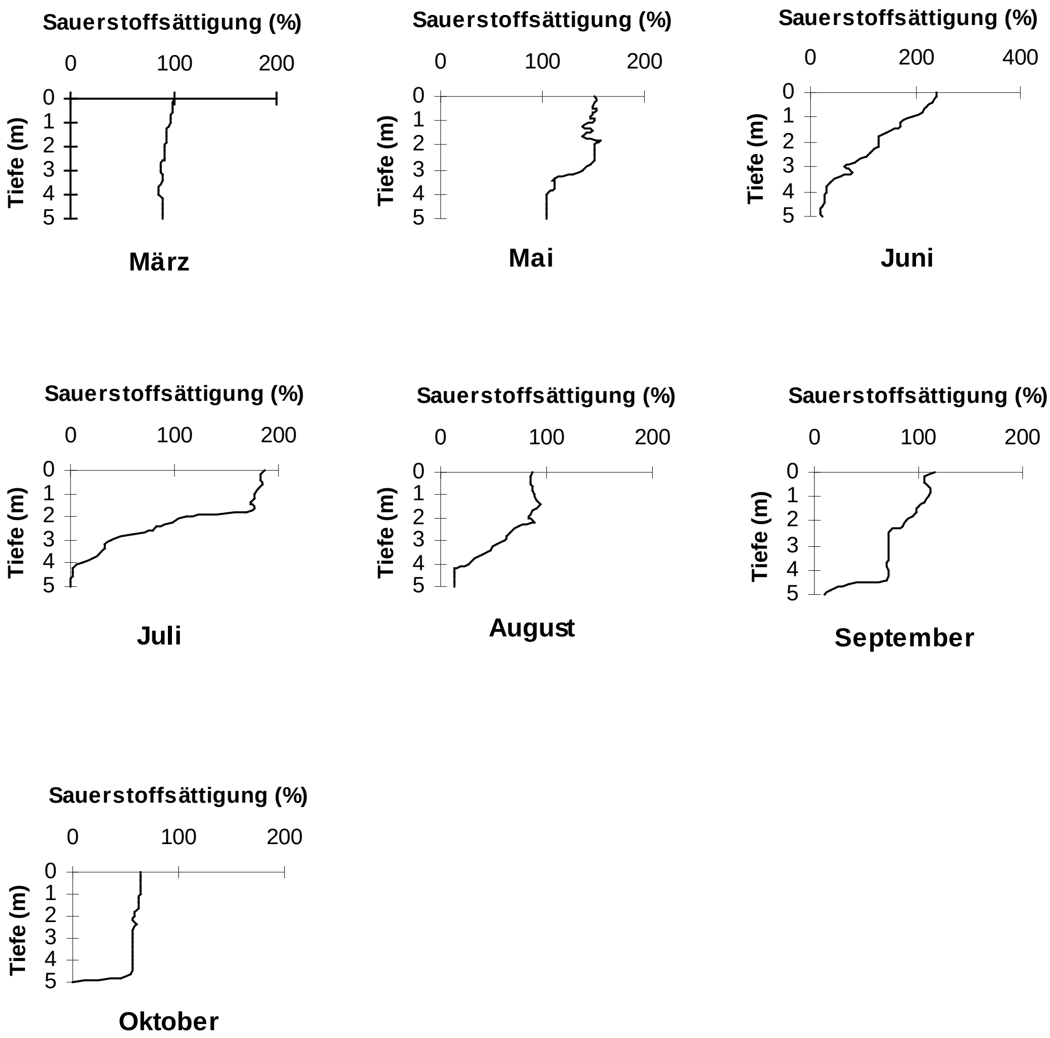


Abb. 28. Zeitlicher Verlauf und Tiefenprofile des Sauerstoffgehaltes an Probestelle 2 des Sees 2.