

## BEEINFLUSSUNG DES GRUNDWASSERS DURCH BAGGERSEEN

Jan-Peter Wrobel

### Summary:

*Investigations about dredging pools and ground water in Southern Bavaria have shown, that there are physico-chemical changings downstream of the lakes. They can reach dimensions, which are of interest in regard of drinking water supply. The chemical modifications of the ground water essentially depend on the biological processes and their chemical results in the lakes, which again are influenced by the quality of the inflow. Variations of the outline of dredging pools and their position in regard of the ground water slope can either enlarge or reduce the influence. For the real dimensions and the reach of the influence on ground water the hydraulic characteristics of the aquifer are of decisive importance.*

Beim Abbau von Kies und Sand wird häufig die Grundwasseroberfläche freigelegt. Die entstandenen Baggerseen stellen gewissermaßen eine Zone besonders guter Durchlässigkeit im Grundwasserleiter dar. Die Horizontalstellung der Seeoberfläche führt in bezug auf die geneigte Grundwasseroberfläche zu hydraulischen Veränderungen im Umkreis des Baggersees, die in der Regel in Absenkungen oberstromig und Aufhöhungen unterstromig des Sees bestehen. Durch Abdichtung der Ufer bei der Alterung der Seen oder durch die Schaffung oberirdischer Zu- oder Abläufe können diese Verhältnisse weiter beeinflußt werden. Bei der Passage durch einen Baggersee erfährt das Grundwasser chemische und physikalische Veränderungen. Dabei ist die Qualität des zuströmenden Grundwassers von großer Bedeutung für die biochemischen Prozesse im See, die wiederum den Chemismus des unterstromigen Grundwassers beeinflussen.

Das Bayerische Geologische Landesamt hat in einem mehrjährigen Forschungsvorhaben, das vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen gefördert wurde, diese Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser in Schottergebieten Südbayerns untersucht. Hierbei kam es zu einer fruchtbaren interdisziplinären Zusammenarbeit mit Frau Dr. ALEXANDER von den Wasserwerken der Landeshauptstadt München und Herrn Prof. Dr. SIEBECK vom Zoologischen Institut der Universität München.

Daß Baggerseen die chemischen und physikalischen Eigenschaften des unterstromigen Grundwassers beeinflussen, ist bekannt. Über das Ausmaß und die Reichweite dieser Beeinflussung gab es bisher jedoch nur wenige Untersuchungen. Als Beispiel wird hier der im Norden von München gelegene Fasanerie-See herangezogen, da er den Typus eines gealterten, stark eutrophierten Baggersees darstellt, bei dem es zu besonders starken chemischen Veränderungen kommt. Der etwa 40 Jahre alte, 8 m tiefe und 14 ha große Fasanerie-See, der keinen oberirdischen Zu- und Ablauf hat, ist durch die Verschlammung der Ufer bereits so weit abge-

dichtet, daß seine Kippungslinie, die ursprünglich etwa in der Mitte zwischen oberstromigem und unterstromigem Ufer gelegen hatte, nahe an das oberstromige Ufer herangerückt ist (Abb. 1, S. 28). Der Seespiegel ist in dieser Zeit um etwa 0,8 m angestiegen, wodurch sich das Einzugsgebiet verringerte und der Durchfluß von ursprünglich etwa 120 l/s auf 40 l/s abnahm. Der Wasseraustausch im See, der sich früher in etwa 70 Tagen vollzog, erfolgt heute in etwa 220 Tagen. Aufgrund des langsamen Wasseraustausches steigt die Wassertemperatur im Sommer bis über + 24°C an und sinkt im Winter bis wenig über 0°C ab. Das den See verlassende Wasser führt im Unterstrom zu einem anfangs 400 m breiten Streifen mit stark schwankenden Grundwassertemperaturen. Während die unbeeinflussten Temperaturen zwischen + 8°C und + 12°C liegen, wurden im Grundwasser wenige Meter unterstromig des Seeufers Werte zwischen + 2,5°C und + 21,5°C gemessen. 320 m unterstromig des Sees wurden noch Temperaturen zwischen + 5°C und + 18°C festgestellt. Erst nach einem Fließweg von etwa 1 000 m bis 1 200 m haben sich die Temperaturen wieder dem natürlichen Schwankungsbereich angepaßt (Abb. 2, S. 29). Dabei reicht die Beeinflussung durch niedrige Temperaturen weniger weit als durch hohe, was wohl hauptsächlich auf dem unterschiedlichen Abstand der Extremwerte vom natürlichen Schwankungsbereich beruht. Möglicherweise spielen jedoch auch der meist geringere Seedurchfluß im Winter und die Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Wassers eine Rolle. In Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers treten die Minima und Maxima mit zunehmender Entfernung vom See immer später ein. So erreicht das sommerliche Temperaturmaximum den etwa 700 m unterstromig gelegenen Pegel 7605 in der Regel erst im November/Dezember.

Neben der thermischen Beeinflussung treten im Unterstrom von Baggerseen, vor allem wenn sie eutrophiert sind, auch chemische Grundwasseränderungen von teilweise beachtlichem Ausmaß auf. Das Grundwasser, das in den Fasanerie-See strömt, ist nährstoffreich. Der Phosphatgehalt steigt bis weit über 1 mg/l. Daher kommt es im See zu einem intensiven Algenwachstum mit all seinen Folgeerscheinungen, die den Chemismus des Seewassers wesentlich beeinflussen. Auf die Einzelheiten, wie O<sub>2</sub>-Übersättigung und biogene Entkalkung im Epilimnion oder Reduktion im Hypolimnion braucht hier nicht näher eingegangen zu werden, sie sind hinlänglich bekannt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich wieder auf den Fasanerie-See, die dort gemachten Beobachtungen konnten jedoch auch an anderen Baggerseen nachgewiesen werden.

Die chemische Beeinflussung des Grundwassers durch den Fasanerie-See ist bereits deutlich an der elektrischen Leitfähigkeit zu erkennen. In Abb. 3 (S. 30) ist u.a. die elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers in einem Querprofil etwa 100 m unterstromig des Fasanerie-Sees dargestellt. Die Meßstelle 7615 ist vom See nicht beeinflusst, während die Meßstelle 7612 zumindest zeitweise von ehemaligem Seewasser angeströmt wird. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Meßstellen dazwischen stets eine geringere Leitfähigkeit aufweisen, die mehr als 25 % unter der ursprünglichen Leitfähigkeit von etwa 800 µS/cm liegt. Noch in etwa 700 m Entfernung vom See wurden zeitweise 100 µS/cm verringerte Leitfähigkeiten festgestellt.

Besonders kraß, und in bezug auf Fragen der Trinkwasserversorgung von besonderer Bedeutung, ist die Beeinflussung des Gehaltes an freiem gelösten Sauerstoff. In Abbildung 3 ist die Sauerstoffsättigung in einem Profil weniger als 50 m unterstromig des Fasanerie-Sees dargestellt, aus

dem hervorgeht, daß z.B. in der Meßstelle 7611 in einem Jahr Sättigungswerte zwischen 0 % und 80 % erreicht wurden, während sie unbeeinflußt zwischen 50 % und 70 % schwanken. Noch 700 m vom See entfernt ist der Einfluß der Reduktionsvorgänge im Hypolimnion des Sees als Sauerstoffmangel im Grundwasser deutlich zu erkennen. Obwohl im Frühjahr und im Sommer im Epilimnion des Sees Sauerstoffkonzentrationen bis über 200 % des Sättigungswertes zu beobachten sind, wurden im unterstromigen Grundwasser nur selten höhere Sauerstoffgehalte als im unbeeinflußten Grundwasser festgestellt. Im Gegenteil, in der Regel wurden, ähnlich wie im Hypolimnion des Sees, sogar im Sommerhalbjahr geringere Sauerstoffgehalte beobachtet als im Winterhalbjahr. Im Jahresgang entspricht der Sauerstoffgehalt wenig unterstromig des Sees also eher den  $O_2$ -Gehalten im Hypolimnion als denen im Epilimnion. Gegenüber den unbeeinflußten Werten etwas erhöhte  $O_2$ -Gehalte im Grundwasser werden nur kurzfristig in Zeiten stark steigender Wasserspiegel beobachtet, weil es dann wahrscheinlich zu einem schnellen, stärkeren Abfluß von Epilimnionwasser kommt. Die Messungen am 3.8.1978 wurden dagegen am Ende einer niederschlagsarmen Periode mit fallenden Wasserständen und abnehmendem Durchfluß durchgeführt. Die Sauerstoffsättigung an der Seeoberfläche betrug an diesem Tage 218 %; dennoch konnte wenige Meter unterstromig im Grundwasser kein Sauerstoff nachgewiesen werden. Die erhöhten Sauerstoffgehalte des Epilimnionwassers müssen also auf dem Wege ins Grundwasser verloren gehen. Wahrscheinlich werden sie durch Reduktionsvorgänge bei der Passage des Wassers durch den Uferschlamm verbraucht.

Eine deutliche Beeinflussung des Grundwassers ist außerdem bei der freien Kohlensäure festzustellen, die um mehr als 60 %, und beim Kalzium, das um mehr als 30 % abnehmen kann. Verbunden damit ist ein Anstieg des pH-Wertes. Ferner werden von den Algen verschiedene Wasserinhaltsstoffe verbraucht, die in der Reduktionszone des Hypolimnions weiter vermindert, zeitweise aber auch reaktiviert werden können. So verringert sich der Nitratgehalt, der im Oberstrom des Fasanerie-Sees bis 50 mg/l erreichen kann, zeitweise auf weniger als 10 mg/l. Nitrit wurde bis in 700 m Entfernung vom See beobachtet. Durch Reduktion im Hypolimnion kann auch der Sulfatgehalt verringert werden. Eisen und Silikat, die im Epilimnion von den Algen verbraucht werden, können im Hypolimnion so weit reaktiviert werden, daß sie im Unterstrom z.T. in stärkerer Konzentration beobachtet werden als im Oberstrom. So wurde beispielsweise im Februar 1977 im oberen Grundwasserbereich der Meßstelle 7611 ein Gesamteisengehalt von 0,2 mg/l, im tieferen Teil von 1,6 mg/l nachgewiesen, während oberstromig ein mittlerer Gehalt von 0,4 mg/l beobachtet worden war. Die Wassereigenschaften im Unterstrom eines Baggersees unterscheiden sich also nicht nur vom unbeeinflußten Grundwasser, sondern weisen auch noch Variationen in Abhängigkeit von ihrer Ausströmhöhe (Epilimnion, Hypolimnion) auf. In Abb. 4 (S. 31) sind derartige Verhältnisse in der Grundwassermeßstelle 7611 bei einer Sprungschicht im See und bei Vollzirkulation dargestellt.

Im Juli 1976 bewegte sich der Silikatgehalt im Grundwasser oberstromig des Sees um 6 mg/l. Aufgrund des Einbaus in das Kieselskelett von Diatomeen konnten im Epilimnion des Sees nur noch 0,27 mg/l Silikat nachgewiesen werden. (Bei der Untersuchung von Uferschlamm ergab sich ein Diatomeengehalt von über 20 % im Trockenrückstand). Es ist also denkbar, daß das Silikat in speziellen Fällen als Begrenzungsfaktor für das Wachstum von Kieselalgen wirkt.

Der mittlere Phosphatgehalt oberstromig des Fasanerie-Sees betrug am 2.2.1977 0,72 mg/l, das ergibt bei einem mittleren Seedurchfluß von 40 l/s eine tägliche Phosphatfracht von 2,5 kg oder im Jahr nahezu 1 t Phosphat, die weitgehend im See zurückgehalten und somit dem Grundwasser entzogen wird.

Die Passage des Grundwassers durch einen eutrophierten See führt also insgesamt zu einer Enthärtung des Wassers, zu einem Anstieg des pH-Wertes, einer Verminderung von Nitrat, Eisen, Phosphat, Silikat, teilweise auch Sulfat, des Abdampf-Rückstandes, der elektrischen Leitfähigkeit und meistens auch des Gehaltes an freiem gelösten Sauerstoff. Kurzzeitig können jedoch Eisen, Silikat und freier Sauerstoff im Unterstrom höhere Werte erreichen als im Oberstrom des Sees. Die in Abhängigkeit von den Grundwasserstandsschwankungen variable Breite der beeinflussten Grundwasserzone liegt beim Fasanerie-See am Anfang bei ca. 400 m. Eine deutliche Beeinflussung der Grundwassereigenschaften ist noch 700 m vom See entfernt festzustellen, und es ist anzunehmen, daß sie noch einige hundert Meter weiter reicht, denn die Zufuhr an freiem Sauerstoff erfolgt beispielsweise nur über die Grundwasserneubildung und über Dispersionsvorgänge an den Rändern der beeinflussten Grundwasserfahne. Beides geht nur langsam vor sich.

Chemisch-physikalische Grundwasserbeeinflussungen haben sich auch im Unterstrom anderer, teilweise weniger stark eutrophierter Baggerseen nachweisen lassen. Wenn auch ihre Intensität nicht ganz so stark war wie am Fasanerie-See, so reichten ihre Auswirkungen doch jeweils mehrere hundert Meter weit.

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß sich die Feststellungen über die Reichweite der Beeinflussung nur auf Gebiete mit ähnlich hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten wie in den Schottergebieten Südbayerns übertragen lassen. In Grundwasserleitern mit geringerer Durchlässigkeit und geringerem Gefälle werden sich, wie bereits bei der Beeinflussung des Grundwassers durch Mülldeponien festgestellt wurde (EXLER 1979, GOLWER et al. 1971), sowohl hydraulisch als auch chemisch-physikalisch geringere Einflußzonen ergeben.

Es ist ferner zu beachten, daß die Umrißformen eines Baggersees von erheblicher Bedeutung für das räumliche Ausmaß der Grundwasserbeeinflussung sind. Stellt man Überlegungen über den Einfluß verschiedener Umrißformen für hydrogeologische Verhältnisse an, wie sie etwa in der Münchner Schotterebene herrschen, ( $k_f = 5 \cdot 10^{-3}$  m/s, Gefälle = 3‰, Grundwassermächtigkeit = 10 m, Baggersee bis zur Grundwassersohle ausgehoben), so kommt man, wenn man völlig offene Ufer annimmt, zu folgendem Ergebnis (Abb. 5, S. 32): Ein 1000 m langer, 100 m breiter Baggersee, der mit seiner Längsachse in Grundwasserfließrichtung angeordnet ist, senkt das Grundwasser im Oberstrom um 1,5 m ab, die Reichweite der Absenkung beträgt etwa 320 m (Berechnung nach WROBEL 1980), der Durchfluß etwa 110 l/s. Dreht man diesen Baggersee so, daß er mit der Längsachse quer zur Grundwasserfließrichtung liegt, so verringert sich die maximale Grundwasserabsenkung auf 0,15 m, die Reichweite der Absenkung auf etwa 50 m, der Durchfluß erhöht sich dagegen auf 165 l/s. Je nach Form und Lage zur Grundwasserfließrichtung kommt es also trotz gleicher Fläche (hier 10 ha) zu unterschiedlich starken Beeinflussungen (s. Tabelle, S. 33). Bei den gewählten Beispielen ergeben sich die extremen Durchflüsse von 40 l/s und 165 l/s, entsprechend einem einmaligen Wasseraustausch in 300 oder in 70 Tagen und die beiden extremen Entnahmebreiten von 260 m oder 1100 m.

Abb. 1: Grundwasserhöhengleichen am Fasanerie-See bei Niedrigwasser am 4.1.1977

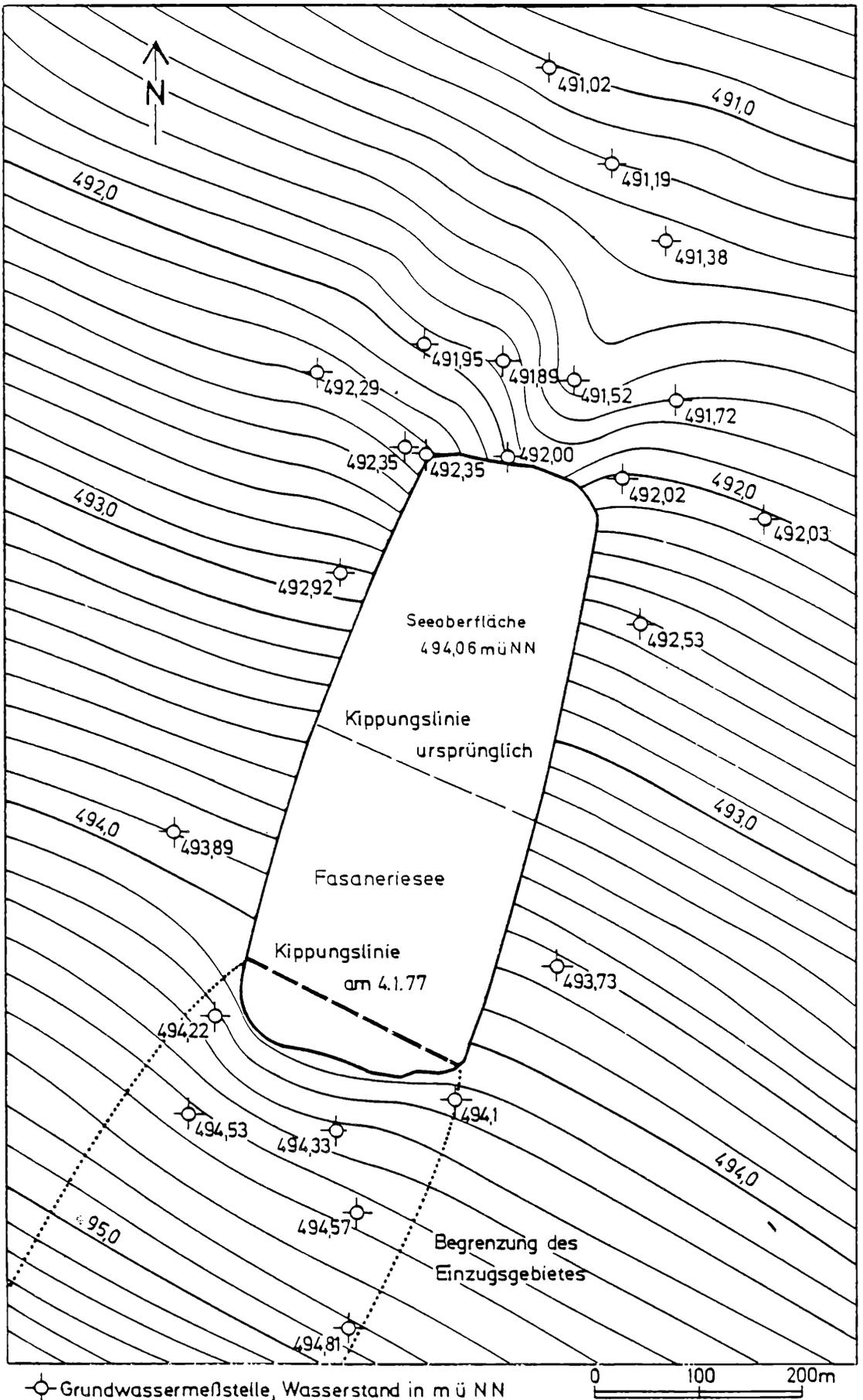


Abb. 2: Abnahme der Temperaturbeeinflussung des Grundwassers im Unterstrom des Fasanerie-Sees

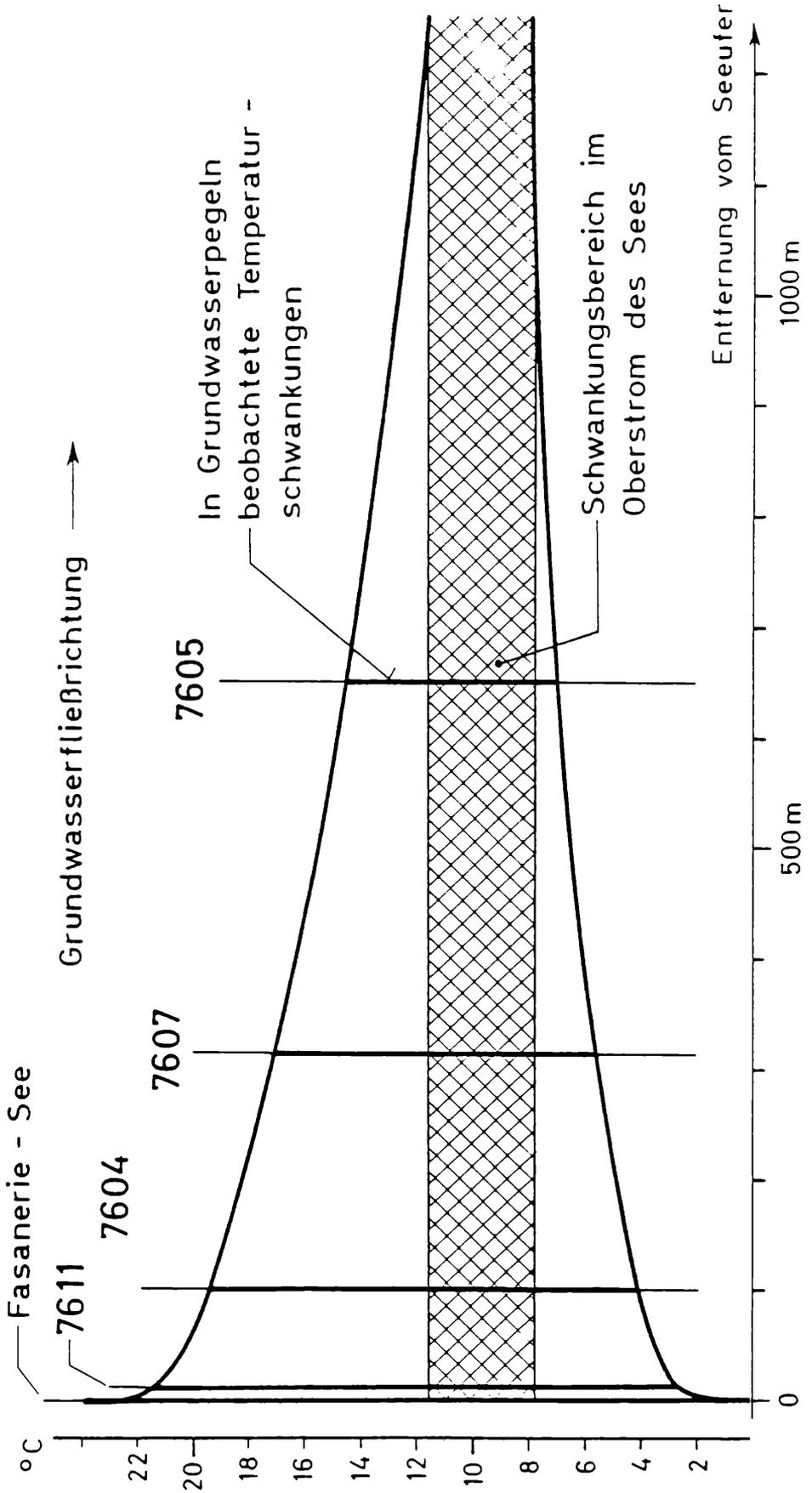


Abb. 3: Beeinflussung der Grundwassereigenschaften unterstromig des Fasanerie-Sees

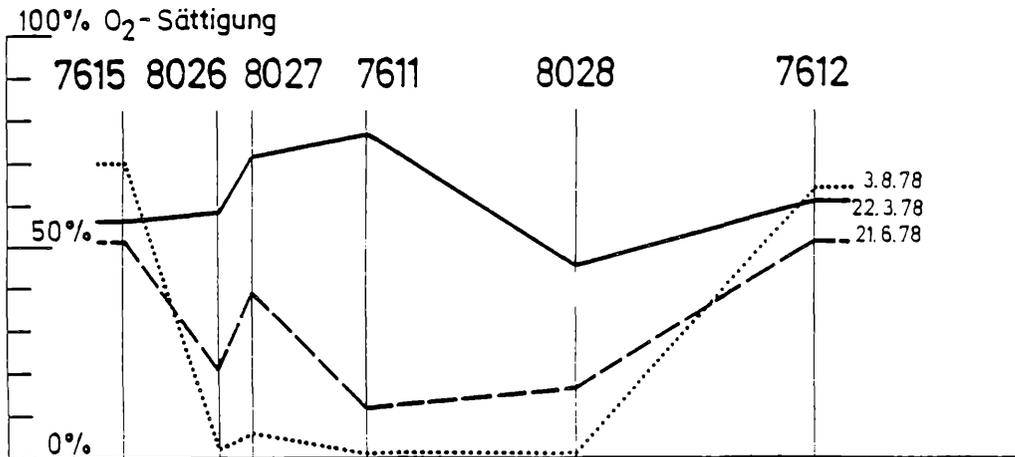
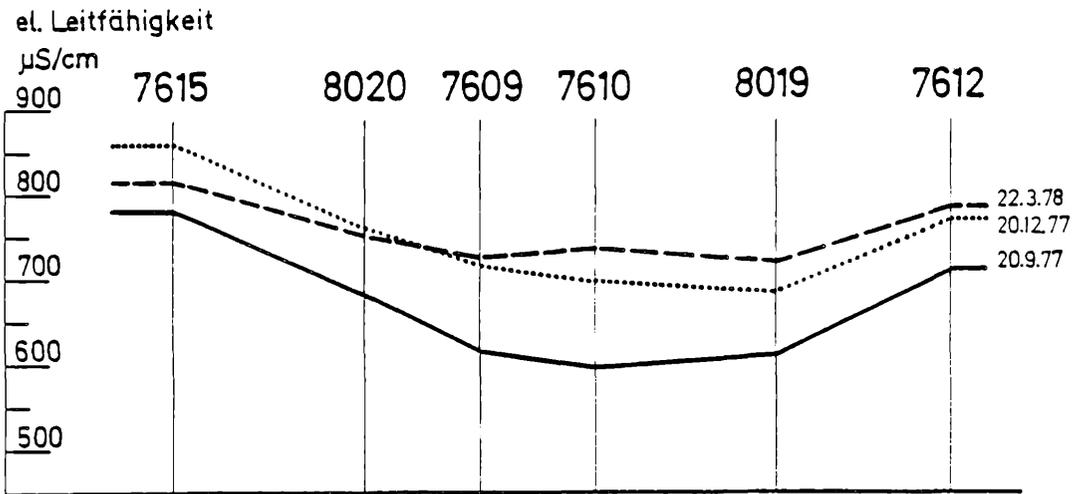
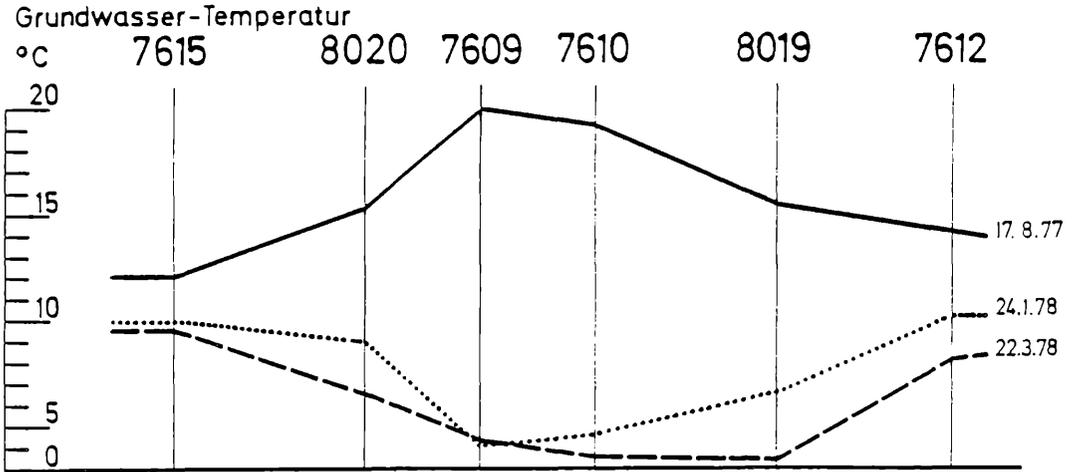


Abb. 4: Grundwassereigenschaften in der wenig unterstromig des Fasanerie-Sees gelegenen Meßstelle 7611 in Abhängigkeit von der Tiefe

- a) am 17. 8.1977 bei einer Sprungschicht im See
- b) am 22.11.1977 bei Vollzirkulation im See

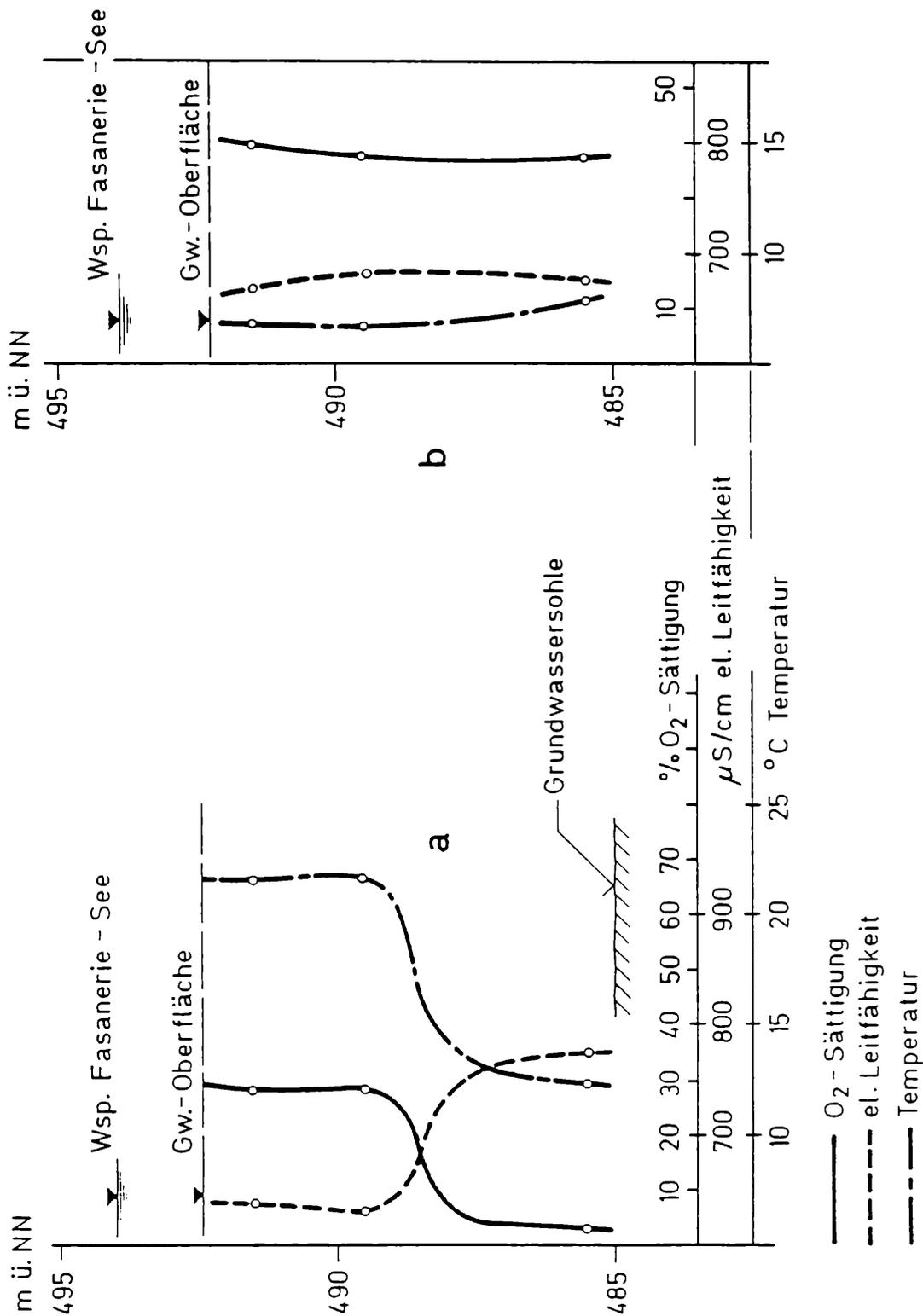


Abb. 5: Beeinflussung der Grundwasserströmungsverhältnisse durch Baggerseen in Abhängigkeit von ihrem Umriß und ihrer Lage zur Grundwasserfließrichtung

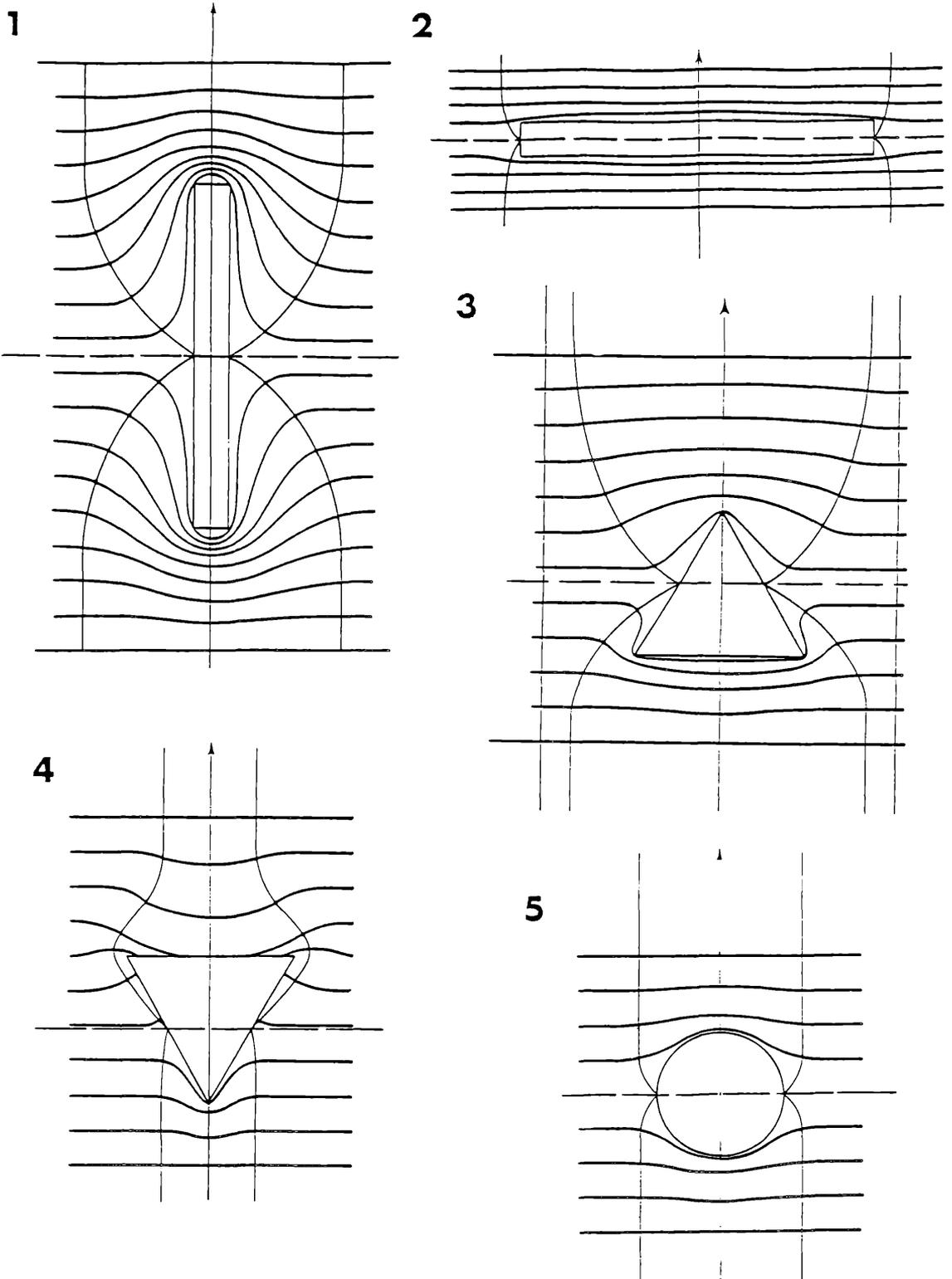


Tabelle 1: Einfluß des Umrisses von Baggerseen und ihrer Lage zur Grundwasserfließrichtung auf die hydraulischen Verhältnisse ( $k_f = 5 \cdot 10^{-3}$  m/s, Gefälle =  $3^\circ/100$ , Grundwassermächtigkeit = 10 m; Seen bis zur Grundwassersohle ausgehoben; Seefläche jeweils 10 ha)

Umriss						Grundwasserfließrichtung
Fall Nr.	1	2	3	4	5	
Absenkung	1,5	0,15	0,62	0,62	0,53	
Reichweite der Absenkung	320	50	180	130 <sup>x</sup>	140	
Entnahmebreite	750	1100	830	260	450	
maximal beeinfl. Breite	750	1100	830	550	450	
Durchfluß	110	165	125	40	70	
mittlere Fließgeschwindigkeit im See	9,5	1,4	4,5	1,4	1,6	
einmaliger Wasseraustausch in Tagen	105	70	90	300	170	

<sup>x</sup> Berechnung nach SICHARDT, sonst nach WROBEL (1980)

Die allmähliche Abdichtung der Ufer von Baggerseen führt zu einer Verringerung der Entnahmebreite und des Durchflusses und damit in der Regel auch zu einer räumlichen Verminderung der Grundwasserbeeinflussung im Unterstrom des Sees. Bei einzelnen Umrißformen (z.B. Dreieck) ist es dann jedoch möglich, daß die Breite der beeinflussten Grundwasserzone über jene bei völlig offenen Ufern hinauswächst.

### **Zusammenfassung**

Baggerseen können das Grundwasser hydraulisch und chemisch-physikalisch in einem Ausmaß beeinflussen, das auch für Fragen der Trinkwasserversorgung von Bedeutung ist. Dabei sind Art und Stärke der chemischen Veränderungen wesentlich von den biologischen Vorgängen und ihren Folgen im See abhängig und diese wiederum zu einem erheblichen Teil von der Qualität des zufließenden Grundwassers. Das heißt: je stärker belastet das Grundwasser im Oberstrom des Baggersees ist, desto stärker werden in der Regel auch die chemischen Beeinflussungen im Unterstrom sein.

Durch die Veränderung des Umrisses eines Baggersees und die Drehung seiner Lage zur Grundwasserfließrichtung kann man seinen Einfluß auf das Grundwasser verringern oder vergrößern. Für das tatsächliche Ausmaß und die Reichweite der Grundwasserbeeinflussung sind jedoch auch die Kenndaten des Grundwasserleiters von entscheidender Bedeutung.

### **Literatur**

EXLER, H.J. (1979):

Hydrogeologische Untersuchungen im Unterstrom der Mülldeponie Großlappen.- gwf-wasser/-abwasser 120, H. 1: 13-21

GOLWER, A., MATTHESS, G., SCHNEIDER, W. (1971):

Einflüsse von Abfalldeponien auf das Grundwasser. Der Städtetag H. 2: 1-5

WROBEL, J.-P. (1980):

Wechselbeziehungen zwischen Baggerseen und Grundwasser in gut durchlässigen Schottern. - gwf-wasser/-abwasser 121, H. 4: 165-173

### Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geologe Dr. J.P. Wrobel

Bayerisches Geologisches Landesamt

Prinzregentenstraße

8000 München 22

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [6\\_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Wrobel Jan-Peter

Artikel/Article: [Beeinflussung des Grundwassers durch Baggerseen 24-34](#)