

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	14 (2007), 1	S. 87-94	7 Abb., 2 Tab., 10 Lit.
------------------------------	--------------	--------------	----------	-------------------------

Geochemisch-sedimentologische Untersuchungen von Sedimenten zur Sanierung des Guanting-Reservoirs, VR China

Geochemical and sedimentological studies for restoration of Guanting Reservoir, People's Republic of China

DANIEL ACKSEL, MAREC WEDEWARDT, VOLKER SCHEPS & ANDREAS SIMON

1. Einleitung

Die Hauptstadt der Volksrepublik China - Beijing - ist durch ein hohes Wirtschaftswachstum und einen hohen Wasserbedarf gekennzeichnet. Deshalb wird es insbesondere in Hinblick auf die bevorstehenden Olympischen Spiele 2008 eine große Herausforderung bleiben, den Zugang der Bevölkerung zu sauberem Trinkwasser nachhaltig zu sichern. Beijing wird aus den zwei Ressourcen - Oberflächenwasser und Grundwasser - mit Wasser versorgt. Beide sind überbeansprucht. Die Versorgung mit Oberflächen-

wasser erfolgt im Wesentlichen aus dem Miyun-Reservoir und dem Guanting-Reservoir (GR). Gegenwärtig dient das Miyun-Reservoir als Hauptwasserressource.

Die Wasserlieferung aus dem GR ist aufgrund der unzureichenden Wasserqualität derzeit nur noch sehr eingeschränkt möglich. Weitere Probleme des GR sind die große Menge von Stauseesedimenten, die quantitativ abnehmenden Zuflüsse sowie ein steigender Wasserverbrauch im Einzugsgebiet.

Vor diesem Hintergrund wurde ein deutsch-chinesisches Verbundprojekt zwischen dem Wasseramt Beijing und dem Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg ins Leben gerufen, um „Technische und ökotechnische Lösungen für die nachhaltige Wasserversorgung von Beijing aus dem Yongding Einzugsgebiet“ zu erarbeiten (Guanting Projekt). Mit der Umsetzung des deutschen Beitrags war der Verein Water Experts - Berlin Brandenburg (WE-BB e. V.), ein Zusammenschluss Brandenburgischer Klein- und Mittelständischer Unternehmen, beauftragt.

Die Hauptziele des Gesamtprojektes waren die Entwicklung von Pilotprojekten zur Verbesserung der Wasserqualität des Yongding-Flusses und die Wiederherstellung seiner Funktionalität als Wasserreservoir. Im Rahmen eines von fünf Teil-

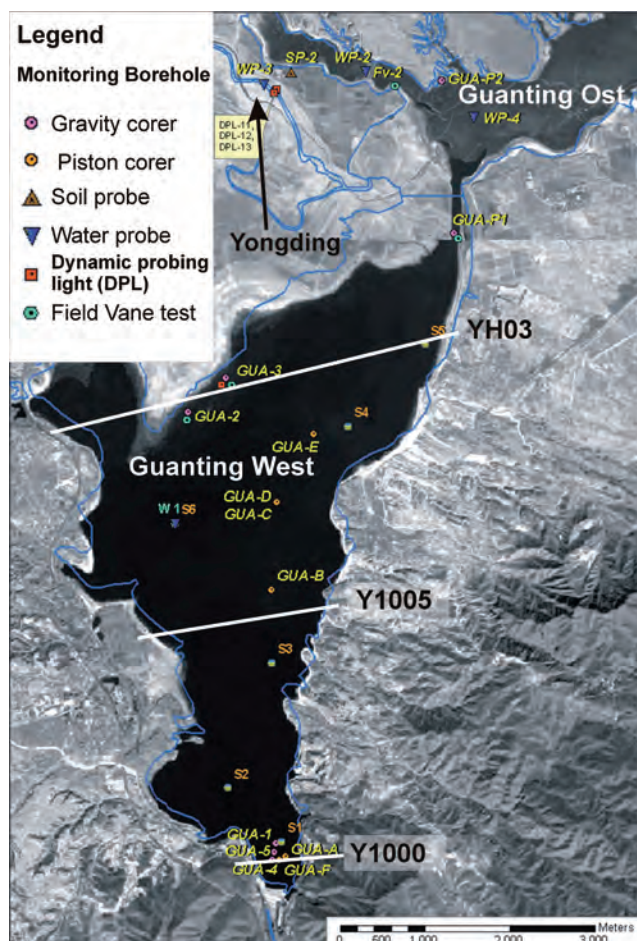


Abb. 1
Verlauf der Transsekte Y1000, Y1005 und YH03 sowie Lage der Probenahmepunkte in Guanting-West (IKONOS Satellitenaufnahme vom 22.08.2001 [WE-BB Juni 2005]).

Fig. 1
Location of transects Y1000, Y1005 and YH03 and sampling locations in Guanting-West (IKONOS satellite view from 22.08.2001 [WE-BB June 2005]).

projekten wurde die Sedimentthematik¹ - von Qualitätsuntersuchungen über geochemisches Verhalten, Entnahme- und Transporttechniken bis hin zu Verwertungsmöglichkeiten - untersucht (WE-BB, September 2005a).

Das ca. 80 km nordwestlich von Beijing gelegene GR staut seinen größten Zufluss, den Yongding und verfügt über ein Einzugsgebiet von insgesamt ca. 43 000 km² (YANG et al. 2003).

Das GR wurde 1953 in Betrieb genommen und diente, in der Reihenfolge steigender Bedeutung, der Stromerzeugung, der Wasserversorgung und dem Hochwasserschutz. Es besaß bei einer Länge von ca. 30 km und einer maximalen Breite von ca. 7 km eine Kapazität von ca. 2,27 Mrd. m³. Seit der Inbetriebnahme hat das Reservoir durch Sedimentation über 0,65 Mrd. m³ (ca. 29%) seiner Staukapazität verloren, wobei ca. 92 % der Sedimente in der Zone Guanting West² (Abb. 1) abgelagert wurden (YANG et al. 2003). Damit hat sich die Hochwasserschutzfunktion deutlich reduziert. Um dem entgegenzuwirken wurde in einer zweiten Bauphase im Jahr 1986 der Damm um 7 m und damit die Kapazität auf ca. 4,16 Mrd. m³ erhöht (YANG et al. 2003).

Der Yongding ist nicht nur für den Hauptwasserzufluss verantwortlich, sondern auch für den höchsten Eintrag an Schad- und Nährstoffen (FANGHUA 2002). An seinem Oberlauf wurde in den vergangenen Jahrzehnten ein breites Industriespektrum angesiedelt. Schadstoffe gelangen hauptsächlich in gelöster Form oder an Sedimentpartikel gebunden mit den Zuflüssen in den Stausee, akkumulieren dort und mindern die Wasserqualität.

Weitere Probleme entstehen durch den stark reduzierten Zufluss infolge eines durch Industrie und Bewässerung steigenden Wasserverbrauchs im Einzugsgebiet. Der Abfluss des GR war ursprünglich auf 44 m³/s projiziert, im Jahr 2004 standen nur noch ca. 4 m³/s zur Verfügung (interne Mitteilung des Wasseramts Beijing).

In Hinblick auf ein nachhaltiges Reservoirmanagement wurden die Seesedimente des GR zur Planung einer Nassbaggerstrategie mit Entwässerung und anschließender Verwertung untersucht. Die vorliegende Publikation beschreibt die geochemischen und sedimentologischen Parameter sowie Nährstofffreisetzung- und -fixierungspotentiale als Grundlage für die durchgeführten Pilotversuche zur Sedimententnahme, -entwässerung und -verwertung.

2. Sedimentverteilung

Als Basis für die Planung und Umsetzung von Sanierungsstrategien wurde anhand chinesischer Daten die Sedimentverteilung in Guanting-West ermittelt (WE-BB, Mai 2003).

¹ Teilprojekt 1: Bearbeitung durch folgende WE-BB e.V.- Mitglieder: DMT GmbH, LBGR, Bioplan GmbH, GeoExperts, Tauber, Wasy GmbH

² Das GR teilt sich in zwei Becken: die Yongding Zone (Guanting-West) und die Guishui Zone (Guanting Ost)

Die Grundlage dazu lieferten wiederholte Echolotmessungen der Wassertiefen entlang von 11 Transekten. Für die grafische Darstellung wurden Zeitreihen zusammengefasst. Die drei Profile (Abb. 1) zeigen den Verlauf der Sedimentation (Abb. 2).

Die unterste Kurve bildet die älteste Messung aus dem Jahr 1953 ab und beschreibt die ursprüngliche Morphologie des Tals zum Flutungsbeginn, während die oberste Kurve die Sedimentoberfläche im Jahr 1999 darstellt.

Die Profile lassen erkennen, dass die Sedimentationsraten in den ersten 17 Jahren nach dem Bau des Staudamms deutlich höher waren, als in den folgenden annähernd 30 Jahren. Für diesen ersten Zeitabschnitt (1953-1970) konnten mittlere Sedimentationsraten von 0,5 m/a berechnet werden, während für den zweiten Abschnitt (1970-1999) Raten zwischen 0,04 m/a und 0,27 m/a ermittelt wurden. Weiterhin nehmen die Sedimentationsraten von den tiefsten See-

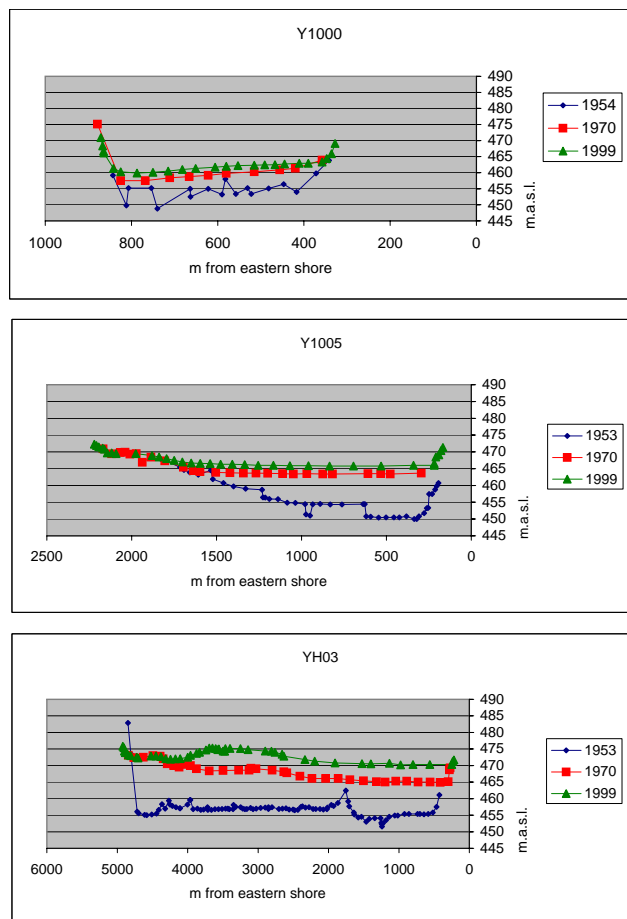


Abb. 2
Sedimentoberfläche (Höhenmeter) in Guanting-West zu drei verschiedenen Zeitpunkten mit zunehmendem Abstand vom Staudamm (von unten nach oben, vgl. Abb. 1)

Fig. 2
Sediment surface in Guanting-West at three different time periods with cumulative distance of embankment dam (from the bottom up, see fig. 1)

bereichen vor dem Staudamm (Y1000) bis zur Mündung des Yongding zu, außerhalb des Einflussbereichs des Yongding im Guanting-Ost gehen sie deutlich zurück. Es wurden Sedimentmächtigkeiten bis zu 20 m ermittelt.

Die Sedimentation wird in Guanting-West durch den Schwebstoffgehalt des Yongding und der Quantität dieses Zuflusses dominiert (FAN & MORRIS 1992a). Bereits in den frühen Jahren nach der Errichtung des Staudamms hat der Yongding an seiner Mündung einen Schwemmfächer in den Stausee geschüttet, welcher mit der Zeit weiter in den See wuchs (FAN & MORRIS, 1992b). Baumaßnahmen und historische Luftbilder zeigen, dass heute die älteren Teile des Schwemmfächers bereits konsolidiert sind. Der Schwemmfächer wird durch eine typische Deltasedimentation mit vorwiegend gröberen Materialien charakterisiert. Weiter seewärts kommen durch die Abnahme der Fließgeschwindigkeit feinere Korngrößen zur Ablagerung, so dass in den zentralen und südlichen Teilen des Beckens Schluffe bzw. tonige Schluffe vorherrschen. In den zentralen Bereichen bezeugen sandige Bänder größere Abflussereignisse. Die östlichen Teile des Schwemmfächers haben im Übergangsbereich zwischen Guanting-West und Guanting-Ost (Guishui Zone) zur Verlandung geführt, so dass durch die Anlage eines Kanals die oberflächliche Verbindung beider Becken künstlich wieder hergestellt werden musste (YANG et al. 2003).

Während eines Feldeinsatzes am Guanting Stausee im August 2004 (Abb. 3) wurden durch die deutschen Projektpartner an 13 Bohrpunkten insgesamt 47 m ungestörte Seesedimentsequenzen mit einem Kolbenlot (Nieder-



Abb. 3
Die Probenahmeplattform wird an den nächsten Bohrpunkt gezogen. Im Hintergrund ist der Schwergewichtsdamm des GR zu sehen (Foto: D. Acksel)

Fig. 3
The sampling platform is trailed to the next sampling location. In the background the embankment dam can be seen (Photo: D. Acksel)

reiter-Kolbenlot) sowie einem Schwerelot (Kurzkerngerät KGH-94 nach K. Ghilardi) gewonnen³. Durch die Korrelation der Kernsegmente konnte für den südlichen Teil des Sees ein Referenzprofil erarbeitet werden. Basierend auf den Echolotungen und den damit ermittelten Sedimentationsraten wurde für das Referenzprofil ein chronologisches Modell generiert, um mögliche Verschmutzungen und das Sedimentationsverhalten zeitlich einordnen zu können (Abb. 4).

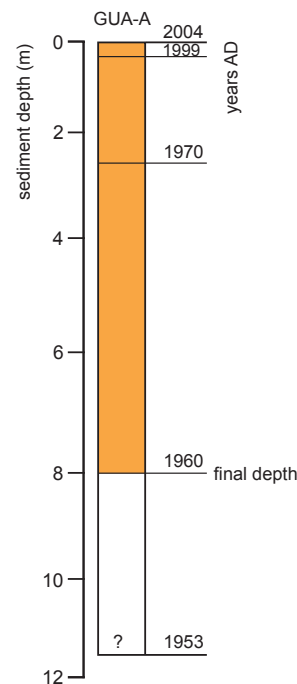


Abb. 4
Chronologisches Modell für den Guanting-West im Bereich vor dem Staudamm anhand der in 2004 gestochenen Seesedimente (0-8 m)

Fig. 4
Chronological model of Guanting-West in front of dam on the basis of extracted lake sediments (0-8 m) in 2004

Im Ergebnis repräsentieren die obersten 2,5 m Sediment die vergangenen 34 Jahre (1970-2004) und die Sedimente von 2,5 m - 8,0 m unter der Oberkante Seeboden die Dekade von 1960 - 1970. Mit dem Referenzprofil wurde erstmalig die Seegeschichte in den Jahren von 1960 bis 2004 lückenlos erfasst. Damit steht ein Archiv zur Verfügung, welches die Sedimentationsgeschichte des Stausees nahezu vollständig abbildet.

3. Geochemisch-sedimentologische Untersuchungen

Zur Charakteristik der Sedimente sind geochemische, geotechnische, bodenphysikalische und sedimentologische Untersuchungen durchgeführt worden (WE-BB, Juni 2005). Die geochemischen Sedimenteigenschaften wurden mittels Spurenelementanalytik (RFA, ICP-OES, GFAAS⁴) im Feststoff und Eluat untersucht. Resultierend aus dem Spektrum

³ Plattform und Stechsysteme wurden vom GeoForschungsZentrum Potsdam zur Verfügung gestellt.

⁴ RFA: Röntgenfluoreszenzanalyse; ICP-OES: optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppelten Plasma; GFAAS: Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie

der sich im Einzugsgebiet angesiedelten Industrie wurden gezielt Untersuchungen auf prozessspezifische organische und anorganische Schadstoffe durchgeführt.

Die Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen zeigen lithologische, physikalische und geochemische Unterschiede. Basierend auf dem Abflussverhalten des Yongding und anthropogenen Beeinflussungen in dessen Einzugsgebiet sind die Sedimente überwiegend feinklastisch und arm an organischen Bestandteilen. Sie können in drei Arbeitseinheiten **Black Layer**, **Brown Layer** und **Soil Layer** unterteilt werden, die auch durch statistische Verfahren (Cluster- und Varianzanalyse) bestätigt wurden.

Black Layer

Die Sedimente dieses Typs überdecken im zentralen und südlichen Teil des Guanting-West die Deltaschüttungen des Yongding. Der **Black Layer** erreicht eine maximale Mächtigkeit von ca. 40 cm und ist von flüssiger bis breiiger Konsistenz (Abb. 5). Genetisch ist das Sediment als toniges Sapropel anzusprechen. Der **Black Layer** ist zu wesentlichen Teilen durch die Primärproduktion im See gebildetes Material, dessen Biodegradation zu schneller Sauerstoffzehrung und reduktiven Verhältnissen im Sediment und damit zur schwarzen Farbgebung geführt hat. Er konnte sich erst bilden, nachdem die Deltaschüttungen aufgrund eines reduzierten Yongding-Zuflusses in den Hintergrund getreten ist. Feine braune Laminationen innerhalb des **Black Layers**

bezeugen das Wechselspiel zwischen eingetragenen fluvialen und seeeigenen Sedimenten.

Die geochemischen Eigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen (Tab. 1 u. 2): Der **Black Layer** besitzt einen hohen Kalzit- und einen relativ niedrigen Organik-Gehalt. Hauptkomponente ist Silikat. Der **Black Layer** ist deutlich anthropogen beeinflusst. Chrom (Cr), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Zink (Zn) und Arsen (As) kommen in gegenüber dem geogenen Hintergrund im Einzugsgebiet erhöhten Konzentrationen vor, zeigen jedoch eine geringe Mobilität. Mit Ausnahme von Zn und Hg sind die Schwermetallkonzentrationen unauffällig. Insgesamt kann nach einer Einstufung der Konzentrationen anhand von Grenzwerten aus verschiedenen deutschen Verordnungen eine Verwendung des **Black Layers** in der Landwirtschaft nicht empfohlen werden (CALMANO 2001).

Weiterhin ist Phosphor (P) im **Black Layer** akkumuliert. Während der P-Gehalt im Feststoff, gemessen als P_2O_5 , nur gering ist und leicht über den Konzentrationen des **Brown** und **Soil Layers** liegt, weist das Eluat sehr hohe PO_4 -Gehalte auf, die dem 250-fachen der Eluatkonzentrationen in **Brown** und **Soil Layer** entsprechen. Damit besitzt der **Black Layer** ein hohes P-Freisetzungsvermögen. Das Vorkommen von Phosphor in den Sedimenten des Guanting korreliert signifikant mit dem Vorkommen von Eisen (Fe) und TOC (Total Organic Carbon).

Tab. 1 Ausgewählte charakteristische Feststoffkonzentrationen von **Black**, **Brown** und **Soil Layer**

Tab. 1 Selected solid matters characterizing **black**, **brown** and **soil layer**

	Probenanzahl	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Organik	CaCO ₃	TOC	Cr	Ni	Cu	Hg	Zn	As
Methode		RFA	RFA	RFA	RFA			cal.	ICP	ICP	ICP	CVAAS	ICP	ICP
Einheit		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(µg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Black Layer	10	45,5	14,2	6,1	0,20	4,4	16,2	1,6	57,1	42,9	50,1	70,5	123,6	16,6
Brown Layer	40	47,3	14,9	6,3	0,16	1,1	14,8	0,7	57,3	42,1	50,3	30,3	87,2	16,0
Soil Layer	24	64,5	12,0	3,8	0,13	1,0	7,5	0,4	33,3	23,1	22,1	20,0	58,9	7,5

Tab. 2 Ausgewählte charakteristische Eluatkonzentrationen von **Black**, **Brown** und **Soil Layer**

Tab. 2 Selected eluate contents characterizing **black**, **brown** and **soil layer**

	Probenanzahl	Leitfähigkeit	Cl	NH ₄	DOC	SO ₄	PO ₄ O	Fe	Mn	As	Cr	Cu
Methode			IC	IC	IC	ICP	ICP	ICP	ICP	GFAAS	ICP	ICP
Einheit		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Black Layer	9	804	18,7	4,1	37,7	491,8	50,1	0,014	1,5	133,1	<10	<10
Brown Layer	37	283	2,4	1,7	9,4	45,3	0,2	<0,014	0,1	4,5	<10	<10
Soil Layer	21	266	5,1	1,3	5,1	42,2	0,1			4,6	<10	<10

Elution nach DIN 38414, Teil 4 (S4):=Feststoff-Wasser-Verhältnis 1:10

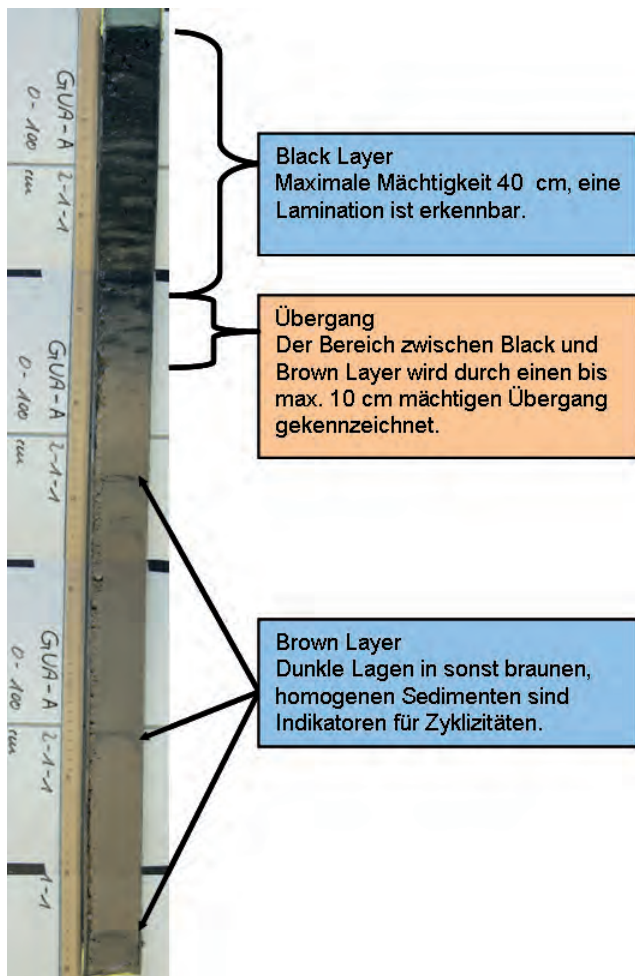


Abb. 5
Typisches Oberflächensediment in Guanting-West (Kern GUA-A 2-1-1, 0-100 cm u.GOK; Entnahmeort: Vor dem Staudamm in 11 m Wassertiefe). Deutlich zu erkennen sind die lithologischen Einheiten Black Layer und Brown Layer

Fig. 5
Typically surface sediments in Guanting-West (Core GUA-A-2-1-1, 0-100 cm depth; Sampling location: in front of the dam, waterdepth 11 m). Brown and Black Layer as lithological units are in evidence

Brown Layer

Der *Brown Layer* unterlagert den *Black Layer*. Diese vorwiegend homogenen, tonig bis siltigen Sedimente stellen die abgelagerte Schwebfracht des Yongding dar. In Abhängigkeit von Tiefe und Kompaktion werden weiche bis halbfeste Konsistenzen erreicht. Die Mächtigkeit der Übergangszone von *Black* zu *Brown Layer* beträgt nur etwa 10 cm. Im Gegensatz zum *Black Layer* kommt der *Brown Layer* in den zentralen und südlichen Bereichen des Guanting-West auch in gut durchlüfteten Flachwasserbereichen vor. Im *Brown Layer* markieren in unregelmäßigen Abständen dünne, bis 0,5 cm mächtige, dunkle Lagen zyklische Phasen eines reduzierten fluviatilen Sedimenteintrags (Abb. 5). Als feinklastisches Sediment besitzt der *Brown*

Layer einen geringen Organik-Anteil, die DOC-Gehalte im Eluat sind um ca. 75 % geringer als im *Black Layer*. Der Kalzit-Anteil ist geringfügig kleiner als beim *Black Layer*. Den Hauptbestandteil bildet wiederum Silikat, die Konzentrationen von Al_2O_3 und Fe_2O_3 entsprechen denen des *Black Layers*. Die Schwermetallkonzentrationen liegen generell unterhalb denen des *Black Layers*, Cr, Ni und Cu entsprechen den Gehalten im *Black Layer* und liegen über den geogenen Hintergrundwerten (Tab. 1 u. 2). Unter den gegebenen Bedingungen ist von einer geringen Mobilität auszugehen. Insgesamt zeigt der *Brown Layer* unauffällige Elementkonzentrationen. Einschränkungen für eine mögliche Nutzung z. B. in der Landwirtschaft ergeben sich deshalb nicht.

Soil Layer

Als *Soil Layer* werden hier siltig bis feinsandige, fluviale Sedimente bezeichnet, die Schüttungen des Yongding darstellen und entsprechend im Deltabereich in den nördlichen Flachwasserbereichen des Guanting-West vorkommen (Abb. 6). Der Organik-Gehalt ist sehr gering, ebenfalls der DOC-Gehalt. Während der Bohrungen im Deltabereich wurde Sumpfgas in größeren Mengen freigesetzt. Es akkumuliert in den sandigen Schichten und lässt Rückschlüsse auf intensive Mineralisierungsprozesse zu.

Silikate zeigen im *Soil Layer* die höchsten Konzentrationen. Die Kalzit-Konzentration entspricht ca. 50 % von *Black* und *Brown Layer*. Innerhalb des GR weist der *Soil Layer* die geringsten Schwermetallgehalte auf. So entsprechen auch Cr, Ni und Cu den geogenen Hintergrundwerten im Einzugsgebiet. Verglichen mit deutschen Grenzwerten⁵, zeigt der *Soil Layer* naturnahe Elementgehalte, die aus geochemischer Sicht eine uneingeschränkte Nutzung der Sedimente erlauben.

Die Ergebnisse der geochemisch-sedimentologischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Sedimente mit Ausnahme des *Black Layers* aufgrund ihrer Gesamtkonzentrationen und deren Wasserverfügbarkeit ein geringes Gefährdungspotential besitzen.

4. Säulenversuche

Um die durch ein nachhaltiges Wassermanagement und verschiedene technische Maßnahmen im Einzugsgebiet erreichbare Qualitätsverbesserung der direkten und diffusen Zuflüsse zu sichern war zu prüfen, ob Rücklösungsprozesse (Remobilisierung) aus dem Sediment die angestrebte Wasserverbesserung im Reservoir beeinträchtigen oder gar verhindern können. Diese Fragestellung ist für Baggerstrategien zur Wiederherstellung der ursprünglichen Kapazität des Reservoirs (Hochwasserschutz) ebenfalls relevant.

⁵ Z. B. Z0-Kriterium der LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen“ - Teil 2. Technische Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial)

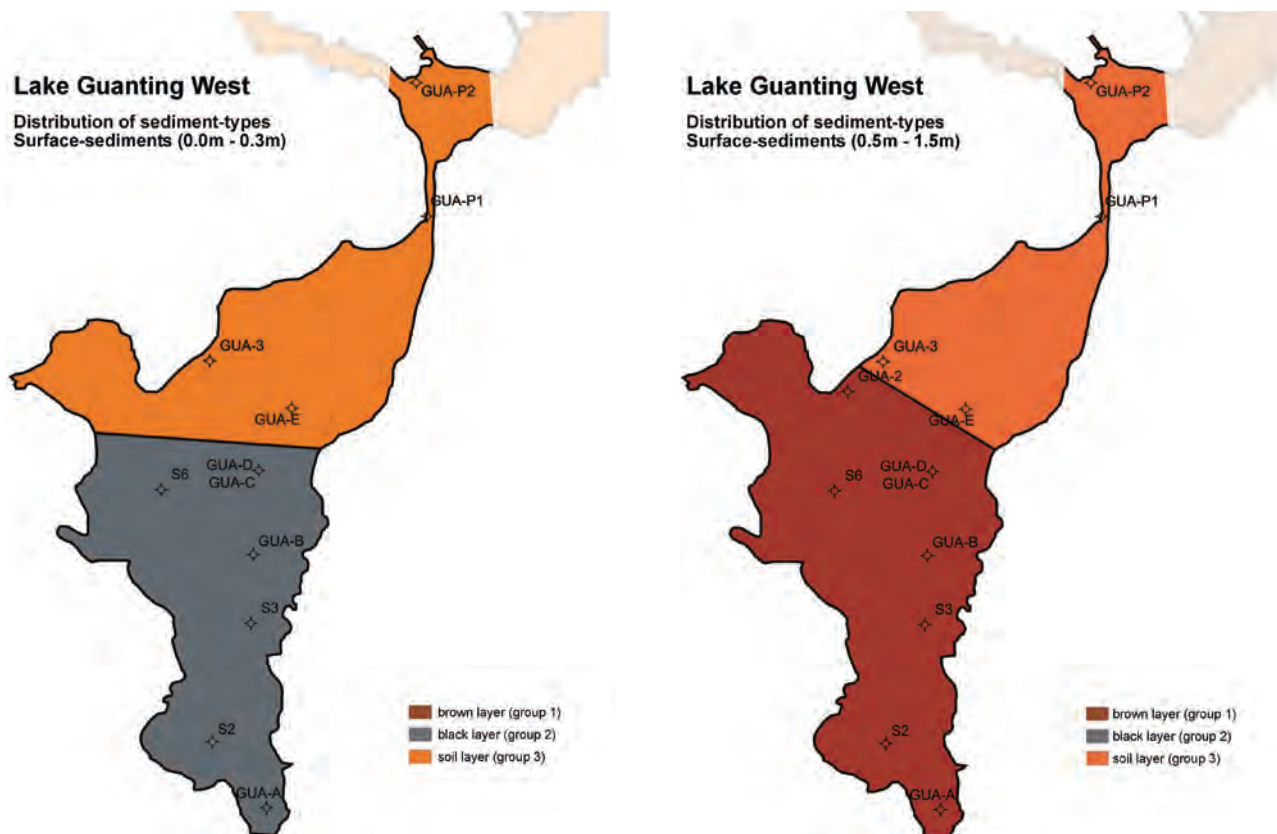


Abb. 6 Schematisierte Karte der Sedimentverteilung in Guanting - West

Fig. 6 Generalized map of sediment distribution in Guanting - West

Die Gesamtphosphorkonzentrationen im Wasser des Yongding-Flusses⁶ liegen 30 bis 70 mal höher als im Stausee selbst und haben zu einer Eutrophierung des Guanting-West geführt. Beobachtungen von starken Blaualgenblüten während des Feldeinsatzes in 2004 bestätigen dies. Die TN/TP Verhältnisse zeigen, dass die Primärproduktion im Guanting-West phosphorlimitiert ist (WE-BB, Juni 2005). Darum wird im Guanting Projekt eine Reduktion der externen P-Fracht durch die Umsetzung von technischen Maßnahmen im Einzugsgebiet angestrebt. Durch eine Reduzierung der externen P-Fracht gewinnt oft der seeinterne P-Zyklus an Bedeutung, so dass die erwarteten Effekte eines reduzierten externen P-Inputs durch Rücklöseprozesse (Remobilisierung) aus dem Sediment überlagert werden können. Da P im *Black Layer* angereichert ist und die Eluatuntersuchungen auf eine gute Wasserverfügbarkeit schließen lassen, wurden durch einfache laborative Säulenversuche das Sorptions- und Desorptionsverhalten von P aus den Sedimenten untersucht.

Zusätzlich wurde das Desorptionsverhalten von Cu, Cr und As ermittelt. Als weiterer Aspekt wurde geprüft, ob sich die unbelasteten Sedimente des GR zur Phosphorfixierung aus dem Wasserkörper und damit zur Reduzierung der fortschreitenden Eutrophierung einsetzen lassen (WE-BB September 2005b).

⁶ 2,83 mg/l TP und 1,1 mg/l TP am 30.12.2004 und 29.09.2004 an Brücke Nr. 8; Quelle: WE-BB e.V., Teilprojekt 3

Die Säulenversuche wurden mit und ohne einmalige Dispersion (dynamisch / statisch) der Sedimente durchgeführt, um Effekte einer Baggerung zu simulieren. Weiterhin wurden unterschiedliche Nährstoffniveaus durch den Zusatz von P und N simuliert. Eine genaue Beschreibung des Versuchsaufbaus ist in WE-BB (September 2005B) gegeben.

Trotz annähernd gleicher P-Feststoffgehalte sind signifikante Unterschiede zwischen *Black* und *Brown Layer* festzustellen (Abb.7). Das Dispergieren des *Black Layers* (vgl. Test 2.1) führt zu einer schnellen und hohen P-Freisetzung. Hier konnte eine maximale Freisetzungsrate von 80 mg/m² ermittelt werden. Unter gleichen Bedingungen wird im Gegensatz dazu vom *Brown Layer* nur wenig P freigegeben (vgl. Test 2.2). Unter statischen Bedingungen war die P-Freisetzung vom *Black Layer* gering (vgl. Test 1.1), jedoch wiederum höher als unter gleichen Bedingungen bei dem *Brown Layer* (vgl. Test 1.2), wo P-Gehalte in der Größenordnung der Nachweisgrenze gemessen wurden.

Der deutlichste Prozess konnte bei unterschiedlichen Trophiestadien beobachtet werden. Bei hohen künstlichen P-Zugaben (200 µg/l), ähnlich den gegebenen Konzentrationen des Yongding, führt das Aufwirbeln des *Brown Layers* zu einer schnellen und nahezu vollständigen Fixierung des P (vgl. Test 4.4). Dabei findet die P-Fixierung hauptsächlich durch Adsorption an Tonmineralen und se-

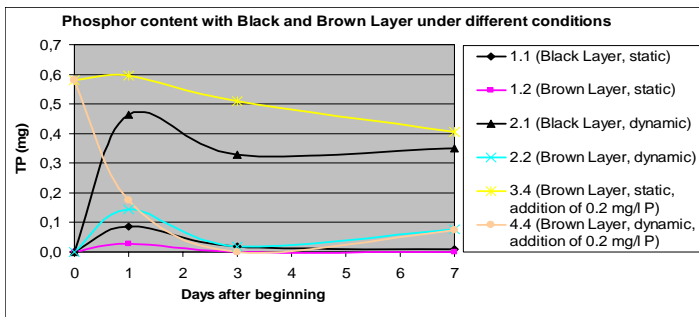


Abb. 7
Änderung des P-Gehalts (mg) während der ersten sieben Tage. Das Verwirbeln des Black Layers führt zu einer starken P-Freisetzung (vgl. Test 2.1). Das Aufwirbeln des Brown Layers führt im Gegensatz dazu durch Adsorptionsprozesse und Bindung an Karbonate zu einer deutlichen P-Fixierung (vgl. Test 4.4). Der Brown Layer besitzt ein hohes P-Bindungsvermögen

Fig. 7
Changes in P content (mg) during first seven days. P release is high after dispersing Black layer (ref. Test 2.1). Dispersing Brown layer has a high P fixing potential (ref. Test 4.4). Here fixing is mainly controlled by adsorption processes and by binding on carbonates (February and March 2005)

kundär durch Bindung an Karbonate statt. Beide Bestandteile sind in den Sedimenten des GR angereichert. Unter statischen Bedingungen konnte ebenfalls eine leichte P-Reduzierung im Wasser gemessen werden, jedoch kann unabhängig von der P-Konzentration im Wasser nur wenig P fixiert werden (vgl. Test 3.4). Ursache ist die gegenüber den dynamischen Versuchen begrenzte Reaktionsfläche. Da die Sedimentoberfläche kleiner ist, stehen auch entsprechend weniger Adsorptionmöglichkeiten zur Verfügung und die Freisetzung / Lösung von Hydrogenkarbonat als Bindungspartner ist ebenfalls limitiert.

Die aus den Säulenversuchen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf die natürlichen Bedingungen im GR übertragen. Der **Black Layer** besitzt durch mobilere P-Bindungsformen ein hohes P-Freisetzungspotential, welches durch physikalischen Stress, wie z. B. Wellen, Hochwasser oder Baggerung weiter erhöht wird. Im Rahmen von Sanierungsvorhaben sollte der **Black Layer** nicht aufgewirbelt werden. Das Aufwirbeln führt zu einem sehr hohen Sauerstoffverbrauch und zur Freisetzung von fischtoxischem Ammoniak. Gleichzeitig wird ein seeinterner Eutrophierungsschub gefördert. Die Freisetzung von geringen Mengen As kann nicht ausgeschlossen werden. Bei zukünftigen Baggerungen bilden z. B. Saugverfahren eine Methode, um Aufwirbelungen der Sedimente zu verhindern.

Der **Brown Layer** hat ein geringes P-Freisetzungspotential. Diese Sedimente besitzen durch ihren hohen Anteil bindiger Bestandteile (25 % Ton (T), 74 % Schluff (U), 1% Sand (S)) und den hohen Karbonatgehalt großes Fixierungspotential für P. In den Laborversuchen konnte durch das Dispergieren vom **Brown Layer** aus dem überstehenden Wasser

P eliminiert werden. Beim Aufwirbeln einer 10 cm mächtigen Sedimentschicht wurde eine maximale P-Fixierungsrate von 70 mg/m² ermittelt. Begleitend trat eine hohe, kurzzeitige Sauerstoffzehrung auf. Eine Freisetzung von Cu, Cr oder As in relevanten Größenordnungen konnte nicht beobachtet werden. Die Gefahr der Freisetzung von anderen Umweltgiften ist aufgrund der chemischen Sedi- menteigenschaften nach den vorliegenden Untersuchungen nicht zu befürchten.

Als Sanierungsstrategie bietet das Aufwirbeln der **Brown Layer** Sedimente im GR eine Möglichkeit, um die P-Fracht im Wasser deutlich zu reduzieren. Dazu wäre der **Brown Layer** mittels Saugbagger reihenweise in Kanälen zu gewinnen (WE-BB Juni 2003) und dem See sogleich als Wasser-Sediment-Gemisch oberflächlich wieder zu zuführen. Als positiver Nebeneffekt würde der **Black Layer** abgedeckt und damit eine Interaktion mit dem Wasserkörper unterbunden werden. Das Aufwirbeln des **Brown Layers** stellt eine ökonomische und praktikable Alternative gegenüber anderen kostenintensiven seeinternen Sanierungsmaßnahmen dar. Vor der Ausführungsplanung sind jedoch weitere Untersuchungen und Bilanzierungen durchzuführen (z. B. vollständige P-Bilanz). Voraussetzung für eine nachhaltige Sanierung nach oben genannter Methode ist eine Reduzierung des jährlichen P-Inputs, da dieser nach groben Abschätzungen derzeit deutlich über dem P-Bindungsvermögen der Sedimente liegt.

Im Rahmen dieses Vorhabens konnte gezeigt werden, dass durch intensive Sedimentuntersuchungen nachhaltige Baggerstrategien erarbeitet werden können. Das Gesamtprojekt wurde im August 2005 nach 3-jähriger Laufzeit mit der Vorlage von zahlreichen, aus Pilotprojekten abgeleiteten Maßnahmen, zur Verbesserung der Wasserqualität des Yongding erfolgreich abgeschlossen.

Zusammenfassung

Im Rahmen des durch das Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg und das Wasseramt Beijing geförderten chinesisch-deutschen Verbundprojektes „Technische und ökotechnische Lösungen für die nachhaltige Wasserversorgung von Beijing aus dem Yongding Einzugsgebiet“ wurden von 2002 bis 2005 im Teilprojekt 1 „Umfassende technische Lösungen und Pilotprojekte zur Schadstoffkontrolle und Verwendung der Sedimente des Guanting-Reservoirs“ geochemische, sedimentologische und ingenieur-geologische Untersuchungen durchgeführt. Sie bilden die Grundlage für die weitere Planung und die Durchführung von Pilotprojekten zur Sedimententnahme, -entwässerung und -verwertung.

Anhand chinesischer Messdaten wurde zunächst die horizontale und vertikale Sedimentverteilung im Stausee model-

liert, und basierend auf jährlichen Aufzeichnungen unterschiedliche Sedimentationsraten abgeleitet. Die Ergebnisse dienten zur Planung der im Jahr 2004 von deutscher Seite durchgeführten Probennahme von Stauseesedimenten. Es wurden an 13 Bohrpunkten insgesamt 47 m ungestörte Sedimentkerne gewonnen, die erstmals das Sedimentationsgeschehen in den Jahren 1960 bis 2004 lückenlos dokumentieren.

Im Ergebnis der geochemischen, lithologischen und physikalischen Untersuchungen wurden die Sedimente aufgrund unterschiedlich hoher Stoffkonzentrationen in drei Schichten (Layer) unterteilt. In einfachen Säulenversuchen wurde das Sorptions- und Desorptionsverhalten von Phosphor aus den unterschiedlichen Sedimenten untersucht. Zusätzlich wurde das Desorptionsverhalten von Kupfer, Chrom und Arsen ermittelt.

Diese Kennwerte sind für die Planung und Durchführung zukünftiger Sanierungsstrategien von Bedeutung.

Summary

In the framework of the cooperation-project „Technical solutions for the sustainable water supply of Beijing from the Yongding River Basin“, financed by the Brandenburg Ministry for Economics and the Beijing Water Resources Bureau, from 2002 to 2005 geochemical, sedimentological and physical investigations were carried out. Intension of the basic study has been the design and execution of pilot projects for sediment dredging, dewatering and utilization.

The horizontal and vertical sediment distribution adapted from Chinese data was the base for the execution of deep sampling carried out by German side in 2004. 47 m of sediment sequences had been taken at 13 locations on Guanting Reservoir. For the first time the sedimentation history between 1960 and 2004 could be recorded.

Geochemical, lithological and physical analyses carried out three different sediment types. These layers are characterized by different contaminant concentration. Sorption and desorption tests were done for different layers and different contaminants.

The knowledge about this contaminant behaviour of the different types of sediment is necessary for further dredging and utilization strategies.

Literatur

CALMANO, W. (2001): Untersuchung und Bewertung von Sedimenten. - 551 S., Berlin (Springer)

FANGHUA, H. (2002): Influence research of water Quality in Guanting Reservoir from non-point pollution. - Institute of Environmental Science of Beijing Normal University, Beijing (unveröff.)

FAN, J. & G. L. MORRIS (1992a): Reservoir Sedimentation. I: Delta and Density Current Deposits. - Journal of Hydraulic Engineering, Vol. **118**, 3, March 1992, S. 354-369, New York

FAN, J. & G. L. MORRIS. (1992b): Reservoir Sedimentation. II: Reservoir Desiltation and Long-Term Storage Capacity. - Journal of Hydraulic Engineering, Vol. **118**, 3, March 1992, S. 370-384, New York

YANG, X., LI, S. & S. ZHANG (2003): The sedimentation and dredging of Guanting Reservoir. - Journal of Sediment Research, Vol. **18**, 2, S. 130-137, Beijing

WE-BB (May 2003): Analysis and assessment of basic data on the sediments. TP 1 report. - DMT / LGRB, 32 S., Potsdam

WE-BB (June 2003): Techniques for dredging, shipping and treatment of sediment. TP 1 report. - DMT / Bioplan, 31 S., Potsdam

WE-BB (June 2005): Investigation and monitoring of GR Sediment. TP 1 report. - DMT / LGBR / Bioplan / GeoExperts, 76 S., Potsdam

WE-BB (September 2005a): Summarizing report TP1: Sediment properties and utilization. TP 1 report. - DMT / LBGR / Bioplan / Tauber / GeoExperts, 16 S., Potsdam

WE-BB (September 2005b): Chemical stabilization of the sediments - pilot project. TP 1 report. - DMT / LBGR / Bioplan / GeoExperts, 35 S., Potsdam

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geogr. Daniel Acksel
Sellostr.13
14471 Potsdam

Dr. Marec Wedewardt
Weißwasserweg 35
12205 Berlin

Dr. Volker Scheps
Dipl.-Geol. Andreas Simon
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt No. 215

Das dieser Publikation zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Brandenburg gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.