Stephan Hannappel, Thomas Will und Klaus-Dieter Fichte

Grundwasserförderung für eine temporäre Befüllung der Penkuner Seen in zukünftigen Niedrigwasserzeiträumen

Für die Schlossseenkette bei Penkun im Südosten Mecklenburg-Vorpommerns ist eine Anhebung der Seewasserspiegellagen vorgesehen. Standorte für mögliche Grundwasserentnahmen wurden hydrogeologisch erkundet. Veranlassung für diese Überlegungen war der Rückgang des Seewasserspiegels der Schlosssee-Seenkette.

1. Einführung und Zielstellung

Im Rahmen des von der EU geförderten Projektes zur „Restaurierung und Sanierung der Penkuner Seenkette" sieht der Maßnahmenplan für die drei Teilseen der Schloßsee-Seenkette (Oberer, Mittlerer und Unterer Schlosssee) bei Penkun im Landkreis Vorpommern-Greifswald eine Anhebung der Seewasserspiegellagen vor. Gleichzeitig wurden mehrere Standorte für mögliche Grundwasserentnahmen vorgeschlagen, an denen die benötigten Mengen gefördert werden sollten.

Der Rückgang des Seespiegels betrug etwa 4 cm/a bei einem Absolutbetrag des Rückgangs von etwa 1 Meter von 1996 bis 2009 (**Bild 1**).

Die Gründe für den Rückgang des Wasserspiegels in dem hydraulisch nicht an das Grundwasser angebundenem See [1] (**Bild 2**) sind klimatisch auf Grund unterdurchschnittlicher regionaler Niederschläge in den Jahren 1996 bis 2007 und in der negativen klimatischen Wasserbilanz (**Tabelle 1**) in der Region bedingt [2, 3]. Deutlich wird das – im Umkehrschluss – auch durch den seit 2010 erkennbaren markanten Anstieg der Wasserstände auf Grund der ergiebigen Niederschläge in den Jahren 2010 und 2011. Zusätzlich wurde ein Durchlass zum unterlagernden See temporär gesperrt und die Zulaufbedingungen im Oberlauf des Sees verbessert.

Ziel der Untersuchungen war es, auf Grundlage des hydrogeologischen Kenntnisstandes durch geotechnische Standorterkundungen zu klären, ob es grundsätzlich möglich ist, die Seenkette in zukünftigen Trockenzeiten mit Grundwasser aus dem bedeckten und tief liegenden Grundwasserleiter zu befüllen [4]. Die angestrebte Befüllung der Seenkette mit Grundwasser soll zukünftige Schwankungen des Niederschlagsverhaltens für Trockenzeiten ausgleichen.

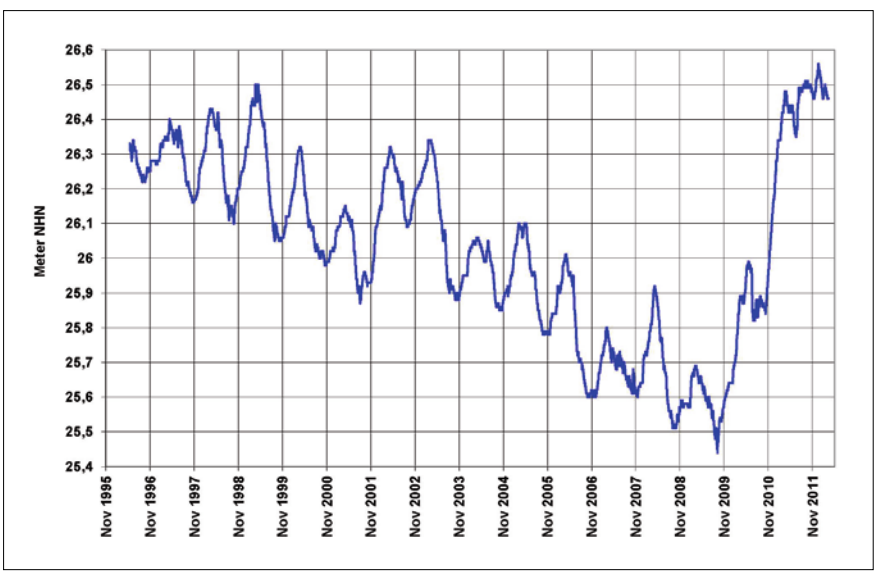


Bild 1: Entwicklung der Wasserstände des Unteren Schloßsees und des Bürgersees von 1996 bis 2010 (Datenerhebung und Übermittlung durch das StALU Vorpommern)

2. Grundlagenermittlung

Der Erfolg der Auffüllung der Seen mit Grundwasser hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab: einerseits der Ergiebigkeit der Grundwasservorräte und andererseits der Beschaffenheit des Grundwassers. Hierzu wurde der lokale und regionale Kenntnisstand zusammengetragen und zwar:

- die Auswertung geologischer und hydrogeologischer Kartenwerke,
- die Recherche von Informationen zu den oberirdischen Gewässern (z. B. Seekataster des Landes M-V, Beschaffenheitsdaten vom StALU Vorpommern etc.),
- die Recherche geologischer Schichtenverzeichnisse aus dem Landesbohrdatenspeicher des LUNG sowie
- die Bewertung hydrogeologischer Erkundungsberichte zum Bau des ehemaligen Wasserwerkes in Penkun.

Die wichtigsten Ergebnisse der Grundlagenermittlung waren:

- Grundwasser zur Auffüllung des Seewasserspiegels aus gespannten und hydraulisch nicht mit dem See in Verbindung stehenden Grundwasserleiter steht zur Verfügung;

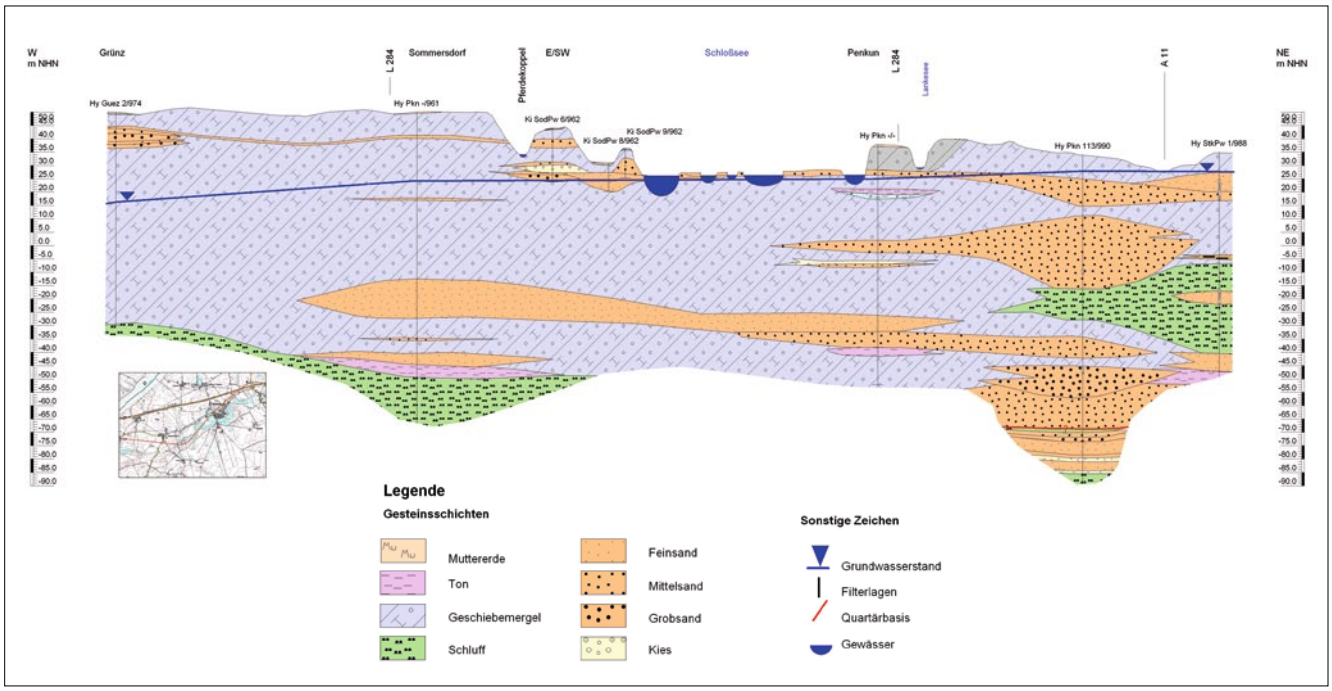


Bild 2: Hydrogeologischer Schnitt durch das Untersuchungsgebiet mit der Lage der Schloßseenkette

- Mögliche Entnahmemengen müssen durch Erkundungsbohrungen verifiziert werden, da aktuell keine Förderanlagen (Brunnen) mehr zur Verfügung stehen;
- Standort der Bohrungen sollte die alte und im Jahr 2002 eingestellte Wasserfassung am Schlossberg sein, da hier der beste Kenntnisstand vorhanden ist und die benötigten Mengen voraussichtlich gefördert werden können;
- Qualitative Aspekte des förderbaren Grundwassers zur Einleitung in den See sollten in ökologischer und chemischer Hinsicht (Eisen, Mangan, Chlorid, Sulfat) geklärt werden;
- Pumpversuche sollten an Bohrungen und Messstellen durchgeführt und Proben für Siebanalysen sowie hydrochemische Grundwasseranalysen entnommen werden;
- Erste Angaben zu den benötigten Fördermengen an Grundwasser sowie zu den zu erwartenden Kosten für den aperiodischen Betrieb der Förderanlage sollten erarbeitet werden.

Ein Ergebnis der Grundlagenermittlung zum hydrogeologischen Kenntnisstand ist, dass das bisherige Wissen nicht ausreicht, um die Frage der Realisierungsmöglichkeit der Seebefüllung mit Grundwasser beantworten zu können. Aus diesem Grund war die Durchführung lagekonkreter geotechnischer Feldarbeiten notwendig. Hierfür wurden am Standort einer alten Wasserfassung am Schlossberg in Penkun drei Erkundungsbohrungen bis jeweils 80 m Tiefe abgeteuft und eine davon zu einer Grundwassermessstelle ausgebaut, geohydraulische Pumpversuche zur Durchführung der Ergiebigkeit des Grundwasserleiters durchgeführt, Sedimentproben entnommen und Siebanalysen angefertigt sowie Grundwasserproben entnommen und im Labor hydrochemisch analysiert. Mit den dadurch gewonnenen Detailinformationen konnte eine Bewertung der Realisierungsmöglichkeit der Seebefüllung durchgeführt werden.

Tab. 1 | Kenndaten zur klimatischen Wasserbilanz innerhalb der Einzugsgebiete der Uecker und der Randow

Einzugsgebiet	Niederschlag (mm/a)			pot. Verdunstung (mm/a)			Klimat. Wasserbilanz		
	MIN	**MW**	MAX	MIN	**MW**	MAX	MIN	**MW**	MAX
Uecker	469	**513**	567	580	**584**	588	-116	**-71**	-14
Randow	498	**521**	542	580	**585**	587	-89	**-64**	-39

3. Geotechnische Feldarbeiten

Die geotechnischen Feldarbeiten zum Abteufen der Erkundungsbohrungen und zur Errichtung der neuen Messstelle wurden im Zeitraum von April bis Juni 2012 durchgeführt. Die Arbeiten wurden kontinuierlich geologisch begleitet. Alle Bohrungen wurden im Spülbohrverfahren niedergebracht. Eine Gesteinsprobenentnahme zur Aufnahme des geologischen Schichtenverzeichnisses nach DIN 4022 und eine durchgehende Gewinnung nichtgekernter Proben für Zwecke der Geschiebeanalyse im Labor des LUNG Güstrow waren damit möglich. **Bild 3** zeigt die eingesetzten Gerätschaften (links) und ausgelegte Proben (rechts) während der Bauphase am Schlossberg in Penkun in unmittelbarer Nähe zum Oberen Schlosssee (**Bild 4**).

Die erbohrten Schichtenfolgen bestätigten die aus den Altunterlagen abgeleiteten Vermutungen zum Aufbau des Untergrundes. **Bild 5** zeigt exemplarisch dazu das geologisch aufgenommene Schichtenverzeichnis von einer der drei Bohrungen. Bei dieser wurde in einer Tiefenlage von 46 bis 55 m unter Gelände ein potenziell

Bild 3: Fotos der geotechnischen Feldarbeiten (Bohrungen und Schichtansprache) im Frühjahr 2012

ergiebiger, fein- bis mittelsandig ausgebildeter Grundwasserleiter angetroffen. Er enthielt nur sehr untergeordnet schluffige Bestandteile und wurde daher als geeignet für die geplante Förderung bewertet.

Die Bohrungen wurden anschließend alle bohrlochgeophysikalisch vermessen. Eine der Bohrungen wurde zu einer Grundwassermessstelle für das zukünftige Monitoring ausgebaut. Bei allen drei Bohrungen wurden während des Bohrprozesses Zwischenpumpversuche zur Feststellung der hydraulischen Ergiebigkeit der angetroffenen grundwasserleitenden Schichten inklusive der Messung des Wiederanstieges durchgeführt. Aus den potenziell ergiebigen Schichten wurden meterweise Sedimentmischproben entnommen und im Labor Siebanalysen zur Bestimmung des Korngerüstes durchgeführt. Daraus sollten Daten zur hydraulischen Durchlässigkeit bzw. Empfehlungen für die Bemessung der Filterkiesschüttungen nach W 113 bei einem späteren Ausbau zu einem Brunnen abgeleitet werden. Zudem wurden insgesamt 5 Grundwasserproben zur chemischen Analytik bei gleichzeitiger Messung der vor-Ort-Parameter entnommen. Die chemischen Analysen dazu umfassten die notwendigen Milieuparameter vor Ort (Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff) und alle zur Anfertigung einer Ionenbilanz nötigen Haupt- und Nebeninhaltsstoffe sowie die Redoxspannung, DOC und TOC.

Bild 4: Lageplan der geologischen Erkundungsbohrungen am Schloßberg in Penkun

4. Bewertung der geotechnischen Feldarbeiten

4.1 Auswertung der geohydraulischen Pumpversuche

Tabelle 2 enthält die Ergebnisse der vier Pumpversuche (Auswertung nach dem Cooper-Jacob-Verfahren). Demnach ergibt sich Folgendes:

Der über eine Dauer von 4 Stunden mit einer konstanten Förderrate von 7,2 m^3/h gefahrene Zwischenpumpversuch bei der Bohrung Hy Pkn 1/12 führte zu einer maximalen Absenkung des Ruhewasserspiegels von 4,01 m. Der anschließende Wiederanstieg wurde eine halbe Stunde beobachtet, in diesem Zeitraum stieg das Wasser wieder um 3,03 m an, es fehlten also noch 0,98 m bis zum Ruhewasserspiegel vor dem Pumpvorgang. Die Auswertung nach dem Cooper-Jacob-Verfahren mit der straight-line-Methode ergab die in Tabelle 2 dokumentierten T- und kf-Werte.

Der über eine Dauer von 4 Stunden mit einer konstanten Förderrate von 7,0 m^3/h gefahrene Zwischenpumpversuch bei der Bohrung Hy Pkn 2/12 führte zu einer maximalen Absenkung des Ruhewasserspiegels von 3,53 m. Der anschließende Wiederanstieg wurde 70 Minuten beobachtet, in diesem Zeitraum stieg das Wasser wieder bis zum Ruhewasserspiegel vor dem Pumpvorgang an.

Der über eine Dauer von 2 Stunden mit einer konstanten Förderrate von 5,0 m^3/h gefahrene Zwischenpumpversuch bei der Bohrung Hy Pkn 3/12 führte zu einer maximalen Absenkung des Ruhewasserspiegels von 2,00 m. Der anschließende Wiederanstieg wurde 2 Stunden beobachtet, in diesem Zeitraum stieg das Wasser wieder um 1,88 m an, es fehlten also nur noch 0,12 m bis zum Ruhewasserspiegel vor dem Pumpvorgang.

Der über eine Dauer von 6 Stunden mit einer konstanten Förderrate von 5,0 m^3/h gefahrene Zwischenpumpversuch bei der ausgebauten Messstelle 2651 1000 führte zu einer maximalen Absenkung des Ruhewasserspiegels von 5,10 m. Der anschließende Wiederanstieg wurde 70 min beobachtet, in diesem Zeitraum stieg das Wasser wieder um 4,49 m an, es fehlten also nur noch 0,61 m bis zum Ruhewasserspiegel vor dem Pumpvorgang.

Aus den Altunterlagen in den Erkundungsberichten sind aus Pumpversuchen an den ehemaligen Brunnenbohrungen der Wasserfassung Penkun bei Pumpraten von bis zu 25 m^3/h Transmissivitäten (T-

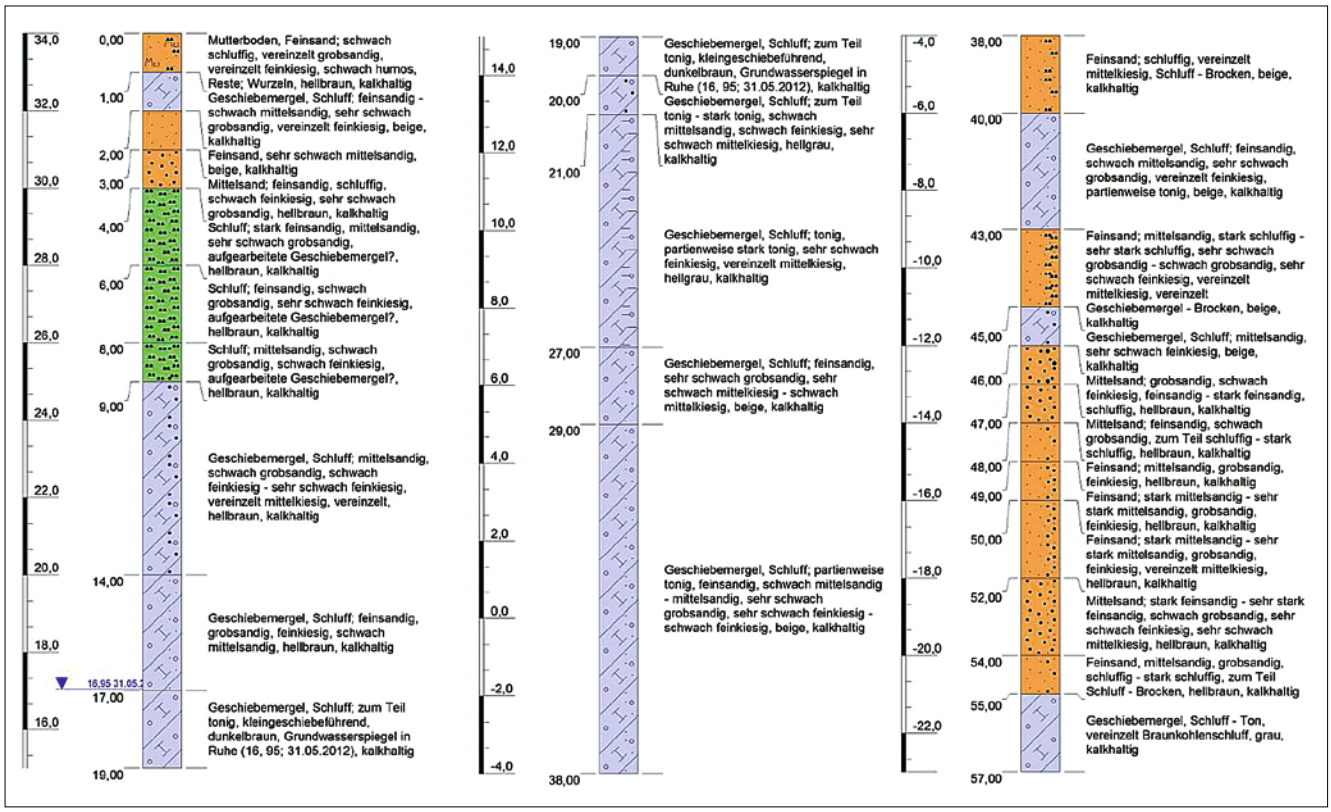


Bild 5: Geologisches Schichtenverzeichnis einer der drei Erkundungsbohrungen im Frühjahr 2012 am Schloßberg in Penkun

Werte) von $4*10^{-4}$ m²/sec und Durchlässigkeitsbeiwerte des Grundwasserleiters (kf-Werte) von $2*10^{-5}$ m/sec bekannt.

Die kf-Werte der vier Pumpversuche liegen zwischen 3,5 und 7,7*10-5 m/sec und damit im Vergleich zur Schichtansprache etwas niedriger, passen aber zu den aus den Altunterlagen – auch anhand von Pumpversuchsauswertungen – bekannten Werten. Neben der Unterschätzung der Feinkornanteile bei der Schichtansprache auf Grund des Einflusses der Bohrspülung drückt sich hier auch die integrale Einschätzung der Ergiebigkeit des gesamten Grundwasserleiters durch die Pumpversuche aus. Dieser ist in der Region Penkun lateral begrenzt und am Bohrungsstandort vermutlich optimal ausgeprägt, so dass den etwas niedrigeren Werten die höhere Sicherheit zugeordnet werden kann.

4.2 Siebanalysen

In **Tabelle 3** sind aus den meterbezogenen sandigen Proben die Ergebnisse der Siebanalysen sowie die geologische Ansprache der Schichten vor Ort dokumentiert. Die aus den Körnungslinien der Siebanalysen abgeleiteten Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Werte) zeigen mit Werten von $1*10^{-4}$ bis $1*10^{-3}$ m/s gut durchlässige Mittel- bis Grobsande bzw. Feinkiese an und bestätigen damit die geologische Ansprache. Im Vergleich zu den Pumpversuchsauswertungen zeigen sie etwas höhere Werte an. Das liegt an der systematischen Unterschätzung der feinen Bestandteile (Schluffe) bei der Gewinnung von Proben durch Spülbohrungen. Den Pumpversuchsdaten kann eine höhere Gewichtung beigemessen werden. Zusammen mit den hydrochemischen Daten liegt also eine gute Datenbasis vor, um eine Empfehlung zur Auswahl des Brunnenstandortes vorzunehmen.

Tab. 2 | Hydraulische Kennwerte der 4 Pumpversuche bei den drei Bohrungen und der Grundwassermessstelle

Standort	FiOk*	FiUk*	Ruhe-Wsp.	Datum	Förderrate	max. Absenkung	Dauer	T*	M*	k_f*
Einheit	*m u G*	*m u G*	*m u. GOK*		*m³/h*	*u. R.-Wsp.*	*h*	*m²/s*	*m*	*m/s*
HyPkn 1/12	73,0	78,0	18,80	24.05.12	7,2	4,01	4 h	$5,7*10^{-4}$	9	$6,4*10^{-5}$
HyPkn 2/12	49,0	54,0	16,95	31.05.12	7,0	3,53	4 h	$6,1*10^{-4}$	8	$7,7*10^{-5}$
HyPkn 3/12	71,5	73,5	16,38	25.05.12	5,0	2,00	2 h	$9,1*10^{-4}$	13	$7,5*10^{-5}$
26511000	71,5	73,5	16,22	04.06.12	5,0	5,10	6 h	$3,7*10^{-4}$	13	$3,5*10^{-5}$

*: FiOk/FiUk: Filterober- bzw. -unterkante, T: Transmissivität, M: Mächtigkeit, kf: Durchlässigkeitsbeiwert der GWL

Tab. 3 | Zusammenfassung der Kennwerte der Kornverteilungskurven nach DIN 18 123-5 aus den Siebanalysen

Bohrung bzw. Tiefe der Probe	geologische Ansprache vor Ort	Bodenart Siebanalyse*	k_f (Beyer) m/s	resultierende Filterkörnung W 113
		HyPkn 1/12		
70 bis 71 m	fS, U	fS, mS¯, u', gS'	$1{,}4*10^{-4}$	0,71 bis 1,25 mm
71 bis 72 m	fS, ms, u'	mS, fs¯, gs'	$1{,}2*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
72 bis 73 m	mS, fS, gs'	mS, fs¯, gs'	$1{,}2*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
73 bis 74 m	mS, fg', gS', u'	mS, fs¯, gs'	$1{,}2*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
74 bis 75 m	mS, fg', gS', u'	mS, fs, gs', fg'	$2{,}1*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
75 bis 76 m	mS, fg', gS', u'	mS, fs¯, gs'	$2{,}0*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
76 bis 77 m	mS, fg', gS', u'	mS, fs¯, gs', fg'	$1{,}9*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
77 bis 78 m	mS, gs, fs, fg'	mS, fs, gs, fg	$2{,}1*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
78 bis 79 m	mS, gs, fs, fg'	mS, fs, gs, fg'	$2{,}1*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
		HyPkn 2/12		
47 bis 48 m	mS, fs, gs', u', u¯	mS, fs¯, gs, fg'	$1{,}4*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
48 bis 49 m	fS, ms, gS, fg	mS, fs¯, gs, fg'	$1{,}4*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
49 bis 50 m	fS, ms¯, gs, fg	S, fg'	$1{,}5*10^{-4}$	1,0 bis 2,0 mm
50 bis 51 m	fS, ms¯,gs,fg, mg'	mS, fs, gs, fg'	$2{,}4*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
51 bis 52 m	fS, ms¯, gs,fg mg'	mS, gs, fs, fg'	$2{,}4*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
52 bis 53 m	mS,fs¯,gs',fg',mg'	mS, gs, fs, fg'	$2{,}5*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
53 bis 54 m	mS,fs¯,gs',fg',mg'	mS, fs, gs	$2{,}4*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
		HyPkn 3/12		
70 bis 71 m	gS, ms, fg, u'	gS, fg¯, ms	$1{,}9*10^{-3}$	16 bis 31,5 mm
72 bis 73 m	mS, gs, fs, fg'	mS, gs, fs'	$4{,}0*10^{-4}$	2,0 bis 3,15 mm
75 bis 76 m	mS, gs¯, fg', u	gS, ms¯, fg, fs'	$6{,}6*10^{-4}$	3,15 bis 5,6 mm

*: „ ' ": schwach, „ ¯": stark ausgeprägtes Körnungsglied in der Schicht (s. Anhänge 8 und 16)

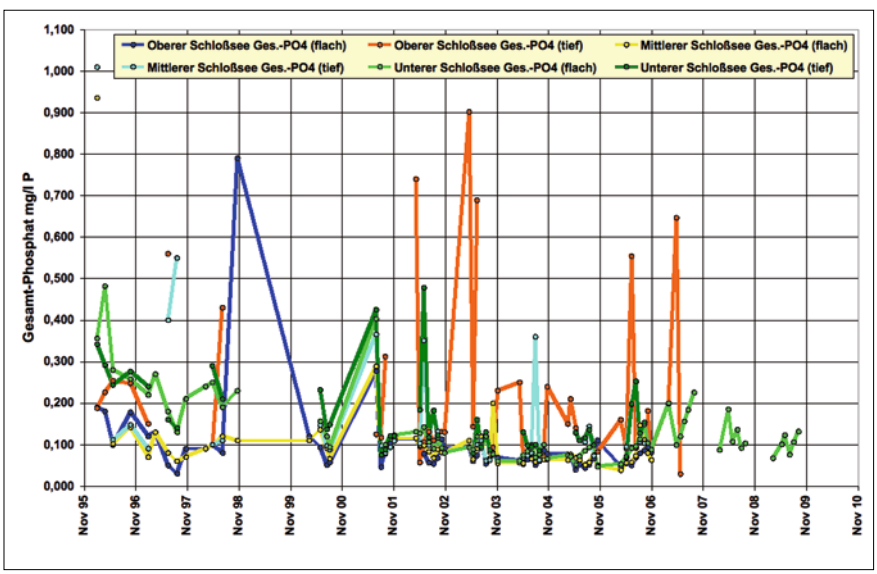


Bild 6: Phosphat-Konzentrationen in verschiedenen Tiefenstufen in den drei Schloßseen von 1996 bis 2009 (Daten zur Verfügung gestellt vom StALU Vorpommern)

4.3 Beschaffenheitsdaten des Grundwassers

Die Stellungnahme der Firma Bioplan zu den Möglichkeiten sowie den Risiken einer möglichen Einleitung von Grundwasser betont die Nährstoffgehalte, vor allem die Phosphatgehalte, da diese für Seen die entscheidende Rolle spielen [5]. Es sollte nur Wasser in Standgewässer eingeleitet werden, dessen Gesamtphosphatgehalt im Jahresmittel dauerhaft unter 80 µg/l P liegt, da höhere P-Gehalte zu Eutrophierungserscheinungen führen. Da das Wasser zudem in Trockenzeiten im Sommer eingeleitet würde und zu diesem Zeitpunkt die P-Werte auch in eutrophierten Seen in der Regel deutlich niedriger liegen [6], solle als Grenzwert für eine Zuleitung von Grundwasser ein P-Grenzwert von 50 µg/l P herangezogen werden [5].

Die Schlossseenkette war in den vergangenen zehn Jahren auf Grund von langjährigen Abwassereinleitungen aus der Zeit vor 1998 (schrittweiser Anschluss an die Kanalisation), daraus resultierenden Beschaffenheitsproblemen wie z. B. Blaualgenmassenentwicklungen, sommerlichen Sichttiefen von < 0,5 m, hohen Sedimentationsraten und einem starken Nutzungsinteresse Gegenstand intensiver Untersuchungen und Maßnahmen. So wurde 2001 der Bau einer Phosphor-Eliminierungsanlage mit einem zweistufigen Bodenfilter bei einem Jahresdurchsatz von etwa 400.000 m³ und einer Filterkapazität über 10 Jahre realisiert. Die Anlage wurde über Bodenfilter am Westufer des Unteren Schlosssees mit einer Entnahme von Seewasser im südlichen Bereich und einer Wiederzuführung nach der Bodenpassage über die Filtersedimente etwa 500 m weiter nördlich realisiert. Der Betrieb der Anlage wurde inzwischen aus Kostengründen eingestellt, sie ist aber im Gelände noch vorhanden und könnte durch den erneuten Einbau der Pumpen reaktiviert werden. Die P-Konzentrationen im Unteren Schlosssee haben sich durch den Betrieb der Anlage erkennbar verringert.

Vom StALU Vorpommern wurden alle in den vergangenen Jahren gemessenen Konzentrationen der wichtigsten hydrochemischen Parameter an den Messstellen in den verschiedenen Teilen des Schlosssees übermittelt. Diese Daten wurden dafür verwendet, einen Vergleich des Chemismus der drei Teile des Schlosssees mit den untersuchten Grundwässern durchzuführen. **Bild 6** zeigt für Gesamtphos-

Tab. 4 | Statistische Kennzahlen ausgewählter hydrochemischer Parameter der 5 Proben des Grundwassers (GW; 3 Proben aus Zwischenpumpversuchen der Bohrungen, 2 Proben aus dem Pumpversuch an der neu gebauten Messstelle 2651 1000) sowie Mittelwerte von Proben aus den drei Schloßseen im Zeitraum von 1996 bis 2010

Stoffparameter	Einheit	Minimum GW	Maximum GW	Mittelwert GW	MW Ober. Schloßsee	MW Mittl. Schloßsee	MW Unt. Schloßsee
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	1390	1860	1625	937	929	923
Wassertemperatur	°C	10,6	11,0	11,4	12,6	14,2	14,9
pH-Wert		6,98	7,03	7,005	7,8	8,1	8,22
Sauerstoff-gel.	mg/l	0,05	0,78	0,415	4,5	6,5	7,4
Chlorid	mg/l	106	173	139,5	88	92	96
Sulfat	mg/l	159	301	235	205	203	191
Nitrat-Stickstoff	mg/l N	< 0,5	<0,5	<0,5	0,05	0,03	0,04
Ammonium-N	mg/l N	2	1,18	1,59	1,91	1,01	0,43
Eisen-ges.	mg/l	6,6	12,6	8,45	0,08	0,04	0,06
Mangan	mg/l	0,16	0,26	0,21	0,06	0,11	0,08
DOC	mg/l	5,1	7,6	6,3	18,4	19,1	19,8
TOC	mg/l	6,1	12,4	9,2	21,6	23,6	25,8
ortho-Phosphat	mg/l P	0,17	0,2 2	0,195	0,07	0,03	0,02
ges. PO_4	mg/l P	0,16	0,28	0,22	0,16	0,12	0,14
ges. PO_4 (0,5 m)	mg/l P	–	–	–	0,07	0,09	0,12
ges. PO_4 (> 0,5 m)	mg/l P	–	–	–	0,24	0,15	0,17

phat-P die Ganglinien der in den drei See-Teilen und in unterschiedlichen Tiefenstufen gemessenen Konzentrationen von 1995 bis 2010. Erkennbar sind sehr starke Schwankungen der gemessenen Konzentrationen. Bei den tieferen Entnahmen liegen die Werte deutlich höher im Vergleich zu den oberflächennah (0,5 m Tiefe) entnommenen Proben. Ein zeitlicher Trend ist im Oberen und Mittleren Schlosssee nicht erkennbar. Im Unteren Schlosssee hingegen zeigen sich nach Inbetriebnahme der P-Eliminationsanlage zurückgehende Konzentrationen. Sie liegen allerdings auch im Zeitraum 2008/2009 in einem Konzentrationsbereich um 100 µg/l P. Der Mittelwert aller Werte der fünf Jahre seit 2008 liegt bei allen Proben im Unteren Schlosssee bei 114 µg/l P. Damit liegen die aktuellen Gesamtphosphat-Konzentrationen im Schlosssee immer noch in einem deutlich erhöhten Bereich, der ein unerwünschtes Wachstum der Biomasse (Algen) nicht verhindern kann.

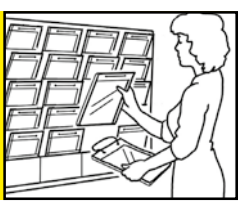
In **Tabelle 4** sind für die wichtigsten Parameter jeweils charakteristische statistische Kennwerte zu den Grundwasserproben und zu den drei oberirdischen Teilgewässern der Schlossseenkette zusammengefasst.

Die Leitfähigkeiten sowohl des Grundwassers als auch des Seewassers zeigen eine erhöhte Mineralisierung an. Das war auch bereits anhand der Altunterlagen der hydrogeologischen Erkundungen und des Wasserwerksbetriebs bis 2002 bekannt. Die Ursache für die erhöhten Werte in den tiefliegenden bedeckten Grundwasserleitern ist nicht eindeutig geklärt, eine anthropogene Beeinflussung erscheint jedoch auf Grund der sehr hohen Schutzfunktion der Deckschichten und der daraus resultierenden sehr langen Verweilzeiten des Sickerwassers nicht wahrscheinlich. Ausgeschlossen werden kann sie jedoch nicht mit Sicherheit, da durch Stauchungserscheinungen die Schichten in keiner ungestörten Lagerung vorliegen und somit eine unkontrollierbare und zeitlich nicht quantifizierbare Versickerung möglich sein kann. Die etwas niedrigere Mineralisation des Grundwassers der Bohrung HyPkn 2/12, die in einem höheren Niveau verfiltert war, könnte ein Indiz für eine primär geogene Ursache der erhöhten Mineralisierung im Grundwasser durch Tiefenwassereinfluss sein.

Die Temperaturen des Grundwassers sind durch den Pumpvorgang bereits leicht mit Werten um 10° C angestiegen. Vor allem in den Sommermonaten be-

ANZEIGE

Klassische Helfer für eine
bessere Organisation!
www.bessere-organisation.de
HERMANN Tel.: 02261-7099 0



steht zwischen der Temperatur des geförderten Grundwassers und den Seewassertemperaturen eine Differenz von mehr als 10° C, die sich allerdings durch die geplante oberirdische Zuführung des Wassers über einen künstlich angelegten Graben mit der angestrebten Belüftung und Sauerstoffaufnahme wieder etwas reduzieren kann.

Die pH-Werte liegen im neutralen Bereich (7,0) und können damit zu einer Verbesserung der Qualität des Seewassers beitragen.

Das Grundwasser ist in seiner natürlichen Lagerungsposition unter dem mächtigen Geschiebemergel nahezu sauerstofffrei, die Konzentrationen liegen durchweg unterhalb von 1 mg/l; im Seewasser differieren die Werte stark in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe, liegen aber auch im Mittel über alle drei Seen deutlich oberhalb von 5 mg/l und damit etwa bei 70 % Sättigung. Die Sauerstofffreiheit des Grundwassers muss in jedem Fall vor der Einleitung in den See behoben werden.

Die Chloridkonzentration des Grundwassers liegt etwas höher als im Seewasser, was die erhöhte Mineralisation des Grundwassers belegt. Salinarer Tiefenwassereinfluss liegt jedoch vermutlich nicht vor. Das wurde bereits in den Altunterlagen für die quartären Grundwasserleiter ausgeschlossen und kann auch anhand genetischer Bewertungen auf der Basis von Ionenverhältnissen mit den aktuellen Daten nicht bestätigt werden. Hohe Konzentrationen wurden vor allem bei den beiden Bohrungen HyPkn 1/12 und HyPn 3/12 angetroffen. Bei der Bohrung HyPkn 2/12 hingegen liegt die Konzentration mit 106 mg/l nur geringfügig über den Seewasserwerten.

Die Sulfat-Konzentrationen sind vor dem Hintergrund der Lagerungsverhältnisse relativ hoch und deuten auf Neubildungseinfluss in den gestauchten Zonen hin, da Sulfat noch weitestgehend unreduziert vorliegt. Die Konzentration des Wassers aus der flacheren Bohrung HyPkn 2/12 ist etwas niedriger als im See (159 gegenüber etwa 200 mg/l), während sie bei den übrigen beiden Bohrungen mit Werten über 250 mg/l höher liegt. Das ist von Bedeutung, da zu hohe Sulfatgehalte durch eine dadurch induzierte H_2S-Bildung unerwünschte Auswirkungen haben könnten.

Sowohl Grund- als auch Seewasser sind nahezu nitrat- und auch nitritfrei, hier läge also kein Hindernis für eine Einleitung des Tiefenwassers in den See.

Bei Ammonium liegen die Konzentrationen des Grundwassers bei den beiden Bohrungen HyPkn 1/12 und HyPn 3/12 höher als im Seewasser, bei der Bohrung HyPkn 2/12 hingegen im gleichen Bereich wie im See.

Die Kalium-Werte im Grundwasser liegen bei allen Proben deutlich erhöht vor, mit 15,8 mg/l sind sie bei der Bohrung HyPkn 2/12 mit Abstand am höchsten. Das kann als Hinweis auf eine anthropogene Herkunft der Beeinflussung gedeutet werden. Zum See liegen keine Vergleichsdaten zu Kalium vor.

Die Eisen- (Gesamt und gelöst) sowie Mangankonzentrationen im Grundwasser sind geogen bedingt deutlich höher als im See und würden zu Verfärbungen der oberirdischen Gewässer beitragen. Durch die Belüftung kann dies abgestellt werden. Ökologisch betrachtet sind erhöhte Eisengehalte jedoch eher unproblematisch, da sie als potenzielle Bindungspartner für Phosphor zu einer Festlegung des eutrophierungsrelevanten Nährstoffes Phosphors am Gewässergrund beitragen könnten [5].

Die Gehalte an gelöstem (DOC) bzw. gesamtem organischen Kohlenstoff (TOC) sind in allen drei Brunnen zwar im Vergleich mit den für Grundwasser in der Region typischen Werten relativ hoch. Sie liegen aber durchgehend niedriger als im See vor und stellen daher kein Einleitungshindernis dar.

Die für die ökologische Relevanz entscheidenden Gesamt-Phosphatgehalte liegen in allen fünf Proben oberhalb der aktuell im Untersee gemessenen Konzentrationen. Im Unteren Schlosssee lagen die Werte im Mittel das Jahres 2011 bei 108 µg/l P (Entnahmetiefe 0,5 m) und im Durchschnitt der vergangenen Jahre – über alle Tiefen hinweg – bei 140 µg/l P (Tabelle 4). Im Grundwasser lagen die Konzentrationen bei der Bohrung HyPkn 1/12 bei 277 und bei der Bohrung HyPkn 3/12 bei 160 µg/l P.

Anhand des Pumpversuchs an der Messstelle wurde getestet, inwiefern sich die Zusammensetzung des Grundwassers nach größeren Entnahmeraten signifikant ändert bzw. ob sich die Konzentrationen der kritischen Parameter ändern. Zum Vergleich dienen die Werte der an der Bohrung HyPkn 3/12 gewonnenen Proben sowie die an der Messstelle nach Pumpzeiten von 4 bzw. 6 Stunden entnommenen Proben. Die Werte zeigen, dass es zu keiner deutlichen Veränderung gekommen ist, die Konzentrationen von Gesamt-Phosphat z. B. verblieben mit 228 bzw. 232 µg/l P im gleichen Bereich. Auch die Leitfähigkeiten und die übrigen Stoffe änderten sich nicht deutlich in ihren Konzentrationsbereichen.

Die erhöhten Phosphat-Werte können mit dem erhöhten organischen Anteil in den Grundwasserleitern (TOC-Gehalte und angetroffene Braunkohleschmitzen) in Verbindung stehen, da organische Anionen die Sorption von Phosphor an die festen Bestandteile blockieren und damit zu einer Freisetzung in die gelöste Phase beitragen können. Bei der Bohrung HyPkn 2/12 in einem anderen Tiefenniveau hingegen wurden diese Bestandteile nicht erbohrt und die DOC/TOC-Gehalte liegen auch etwas niedriger. Eine endgültige Klärung der Herkunft der erhöhten Phosphatgehalte ist also mit der derzeitigen Datenlage nicht möglich.

Eine direkte Einleitung des geförderten Grundwassers in den See wurde aus hydrochemischen bzw. ökologischen Gründen nicht befürwortet, da hierdurch der schlechte Trophiestatus des Sees weiter gefestigt würde. Durch geeignete Maßnahmen (Belüftung, Eisenausfällung, Phosphatelimination) muss vielmehr die Qualität vor der Einleitung deutlich verbessert werden, damit sowohl der ökologische Zustand als auch die Nutzungsmöglichkeit der oberirdischen Gewässer für die Bevölkerung erhalten bleibt bzw. verbessert wird. Nötig ist eine Oxidierung und damit verbundene Reduzierung der gelösten Eisenionen durch eine oberirdische Grabenführung des Wassers vom Entnahmestandort (Brunnen) zum See bei einer Entfernung von etwa 60 m und einem Höhenunterschied von etwa 10 m.

Zudem muss eine weitergehende Phosphatelimination durchgeführt werden, um Gesamt-Phosphat-Konzentrationen des Einleitwassers im Bereich von 50 bis 80 µg/l P zu erreichen. Zu klären ist, ob dies technisch durch die Festlegung von Phosphor an der Oberfläche von Eisenhydroxidpartikeln in sog. „Filtersäcken“ erreicht werden kann, mit denen im Zulauf zum See eine “Nährstoff-Falle” errichtet würde. In Wasser gelöst vorliegende Phosphat-Ionen würden in einem ersten Schritt adsorptiv an eine geeignete Oberfläche gebunden. In einer nachfolgenden Reaktion (Eisenhydroxid zu Eisensulfat) würde dann die Umwandlung zu stabilem Eisenphosphat und damit die Phophateliminierung aus dem Wasser erfolgen.

5. Empfehlungen zu weiterführenden Arbeiten

Nach Durchführung der hydrogeologischen Erkundung des Standortes am Schlossberg zur aperiodischen Befüllung steht anhand der gewonnenen Daten fest, dass es möglich wäre, einen Brunnen zu errichten, mit dessen gefördertem und aufbereitetem Rohwasser der Untere Schlosssee in zukünftigen Bedarfszeiten, also bei niedrigen Wasserständen im Sommer, ortsnah mit Grundwasser befüllt werden kann.

Es liegen Informationen dazu vor, wie viel Grundwasser durch einen Brunnen gefördert werden könnte und welche Qualität dieses Wasser voraussichtlich beinhaltet. Letzterer Aspekt ist von großer Bedeutung, um die Seenkette durch das zugeführte Wasser nicht einer zusätzlichen Belastung auszusetzen. Daher müssen hier technische Lösungen gefunden werden, die zu einer Reduzierung der P-Belastung auf das empfohlene Konzentrationsniveau von 50 bis 80 µg/l P führen.

Zudem muss der mengenmäßige Aspekt näher untersucht werden. Bekannt ist, dass das unterirdische Einzugsgebiet am Standort des ehemaligen Wasserwerkes am Schlossberg ein natürliches Grundwasserdargebot von 443 m³/d bietet. Dieses Wasser würde dem tief liegenden, gespannten Grundwasserleiter entnommen, der keinen hydraulischen Anschluss an den Seewasserkörper enthält, so dass ein „hydraulischer Kurzschluss“ durch die Förderung und anschließende Einleitung vermieden wäre.

Berechnet werden muss, zu welcher Aufhöhung des Wasserspiegels des Unteren Schlosssees bzw. der Schlossseenkette insgesamt eine oberirdische Einleitung in welchem Zeitraum führen würde. Hierzu gibt es bisher nur erste Abschätzungen im Rahmen der Grundlagenermittlung (z. B. eine Aufhöhung um 10 cm bei einer Entnahme des durchschnittlichen Grundwasserdargebots von 18 m³/h über einen Zeitraum von 189 Tagen), die durch hydraulische Modellrechnungen einer numerischen Grundwassermodellierung näher untersetzt werden müssen. Dabei muss das gesamte unterirdische Einzugsgebiet der Seenkette berücksichtigt werden, auch deren oberirdische Zuflüsse (z. B. über die Pferdekoppel) sowie die Grundwasserzutritte.

Zugleich wird damit untersucht, welche Auswirkungen die geplante Entnahme auf den gespannten Grundwasserleiter hat. Diese Erkenntnisse können für die notwendige Bewilligung der Grundwasserentnahme durch die Untere Wasserbehörde des Landkreises genutzt werden. Eine neue Bewilligung ist erforderlich, denn die bisherige Genehmigung der Förderung in Penkun ist inzwischen erloschen, weil die Förderung durch den Zweckverband Süd-Ost seit nunmehr 9 Jahren eingestellt ist.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des von der EU geförderten Projektes zur „Sanierung und Restaurierung der Penkuner Seenkette“ durchgeführt.

Literatur

[1] Ermittlung grundwasserbeeinflusster oberirdischer Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern.- Gutachten der HYDOR Consult GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Berlin, 2010, unveröff.

[2] LUA (2001): Zur Dynamik des Grundwasserstandes im deutschen Oder-Einzugsgebiet.- Landesumweltamt Brandenburg, Außenstelle Frankfurt (Oder), unveröff.

[3] Germer et al.: Sinkende Seespiegel in Nordostdeutschland: Vielzahl hydrologischer Spezialfälle oder Gruppen von ähnlichen Seesystemen? In: Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland, 2010, Herausgeber: Geoforschungszentrum Potsdam.

[4] Machbarkeitsuntersuchungen zur Förderung von Grundwasser zur temporären Befüllung der Penkuner Seen in Niedrigwasserzeiträumen. – Technische Dokumentation der HYDOR Consult GmbH im Auftrag des Amtes Löcknitz-Penkun 2012, Berlin, unveröff.

[5] Fachliche Stellungnahme zur bedarfsweisen Auffüllung der Penkuner Seen mit Grundwasser in Niedrigwassersituationen. Stellungnahme der bioplan GmbH vom 21.03.2011, unveröff.

[6] Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern in Mecklenburg-Vorpommern.- Gutachten des BIOTA Instituts für ökologische Forschung und Planung GmbH Bützow im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, unveröff.

Autoren

Dr. Stephan Hannappel
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40
13507 Berlin
E-Mail: hannappel@hydor.de

Dipl. Ing. Thomas Will
KUTIWA projekt gmbh
Pasewalker Str. 18
17098 Friedland

Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Fichte
Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern
Kastanienalle 13
17373 Ueckermünde

a **Zusatzservice für Abonnenten von „Springer für Professionals | Energie + Umwelt**

Zum Thema Anhebung Wasserspiegel Suche

finden Sie unter www.springerprofessional.de 52 Beiträge, davon 17 im Fachgebiet Energie + Umwelt Stand: Juli 2013

Medium

☐ Zeitschriftenartikel (7)
☐ Buchkapitel (45)

Sprache

☐ Deutsch (52)

Von der Redaktion empfohlen

Grambow, M.: Nachhaltige Technologien als praktische Konkretisierung des IWRM, in: Nachhaltige Wasserbewirtschaftung, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2013, S. 91 – 303, www.springerprofessionals.de/3552286