

## Sinkende Seespiegel in Nordostdeutschland: Vielzahl hydrologischer Spezialfälle oder Gruppen von ähnlichen Seesystemen?

Sonja Germer<sup>1</sup>, Knut Kaiser<sup>2</sup>, Rüdiger Mauersberger<sup>3</sup>, Peter Stüve<sup>4</sup>, Tiemo Timmermann<sup>5</sup>, Oliver Bens<sup>2</sup>, Reinhard F. Hüttl<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW), Jägerstraße 22/23, 10117 Berlin, germer@bbaw.de; <sup>2</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Telegrafenberg, 14473 Potsdam; <sup>3</sup>Förderverein Feldberg-Uckermärkische Seenlandschaft e.V., Am Markt 13, 17268 Templin; <sup>4</sup>Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt (StALU) Mecklenburgische Seenplatte, Helmut-Just-Straße 2-3, 17036 Neubrandenburg; <sup>5</sup>Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Grimmer Straße 88, 17487 Greifswald

**Kurzfassung:** Die teilweise seit 20-30 Jahren sinkenden Grundwasser- und Seespiegel in Nordostdeutschland werden zunehmend in Wissenschaft, Umwelt- und Naturschutz sowie durch regionale politische Akteure thematisiert. Die Ursachen reichen vom Klimawandel, über den Landnutzungswandel bis zum direkten anthropogenen Eingriff in den Wasserhaushalt. Der Frage nachgehend, inwieweit es sich um regional ähnliche Ursachen-Wirkungs-Komplexe handelt oder jeweils Einzelfälle vorliegen, wurden 19 Seepegel-Zeitreihen der Jahre 1999-2008 aus den Teilregionen Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Naturpark Uckermärkische Seen und Müritz-Nationalpark miteinander verglichen. Mittels hierarchischer Clusteranalyse wurden fünf Gruppen gebildet, deren zugehörige Zeitreihen sich jeweils ähneln. Eine Gruppe mit neun Seen mit Vertretern aus allen drei Teilregionen fällt hier besonders auf, da sie sich nicht nur in der kurzfristigen Dynamik der Seepegel stark ähneln, sondern alle während des betreffenden Zeitraumes auch eine negative Tendenz der Seespiegel aufweisen. Dies steht im Gegensatz zu den anderen vier Gruppen. Obwohl eine Klassifizierung der Seen möglich und sinnvoll ist, lässt eine Übersicht von hydrologischen, geologischen und nutzungsbedingten Parametern auf keine eindeutigen Gemeinsamkeiten innerhalb der betreffenden Gruppen schließen, wenn man von der Dominanz von sogenannten „Grundwasserseen“ als hydrologische Seetypen absieht. Um die Ursachen-Wirkungs-Komplexe besser zu verstehen, ist geplant, in den nächsten Schritten weitere Seen aus den genannten Teilregionen zur Analyse einzubeziehen, die Parameteranalyse zu erweitern, ufermorphologisch-geobotanische Transektstudien durchzuführen und paläohydrologische Befunde zu integrieren.

### Decreasing lake levels in Northeast Germany: a multitude of individual hydrologic cases or rather groups of similar lake systems?

**Abstract:** Groundwater and lake levels in Northeast Germany have partly decreased over the last 20-30 years. This has been increasingly addressed by science, environmental and nature conservation and by regional political stakeholders. The causes range from climate and land-use change to direct anthropogenic intervention in the water budget. In order to investigate whether similar regional cause-effect-complexes exist for lakes in this region or if each lake is an individual case, 19 lake level time series for the years 1999-2008 from the subregions Biosphere Reserve Schorfheide-Chorin, Nature Park Uckermärkische Seen and Müritz National Park were compared. By means of hierarchical cluster analysis five groups were formed whose associated time-series were similar. One group with nine lakes and representatives of all three subregions is especially remarkable, since not only the short-time lake-level dynamics resemble each other, but all of them show a negative trend during the respective period. This is in contrast to the four other groups. Although a classification of the lakes is possible and reasonable, an overview of hydrologic, geologic and land-use parameter does not reveal any similarities within the respective groups. This is if one disregards the dominance of so called 'ground water lakes' as hydrologic lake type. In order to get a better understanding of the cause-effect-complexes, for the next steps it is planned to include more lakes from the subregions into the analyses, to extend the parameter analyses, to perform morphologic-geobotanical transect studies at lake shores and to integrate paleohydrologic data.

### 1. Einleitung

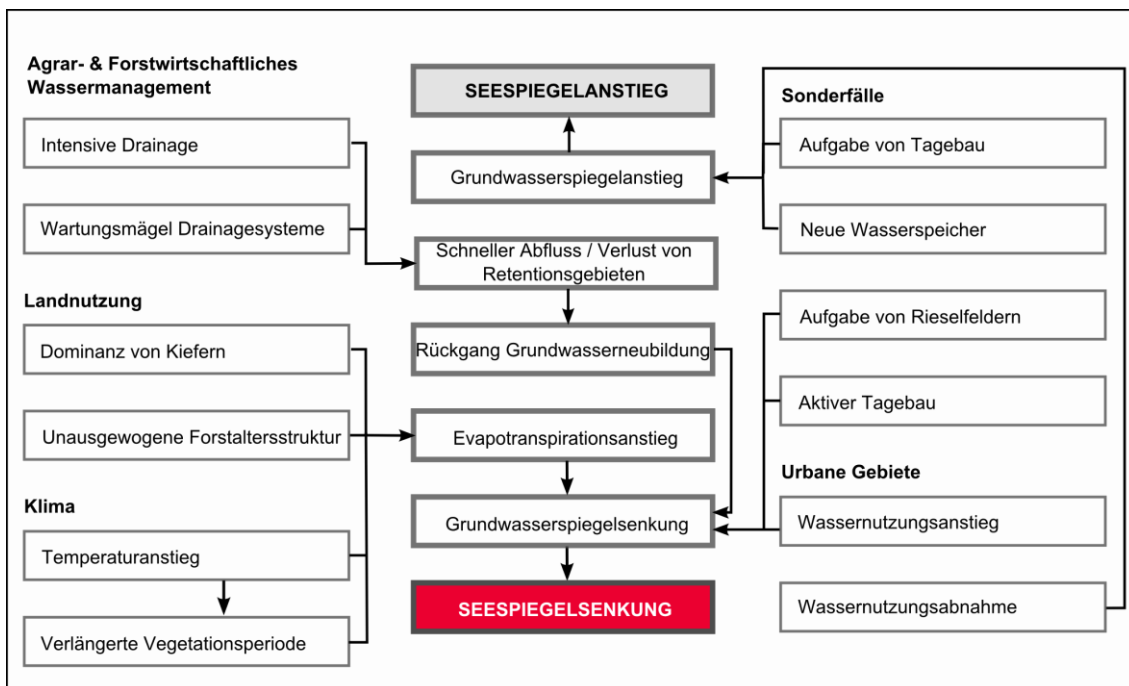
Die globale Erwärmung ist heute eine wissenschaftlich anerkannte Tatsache und es wird prognostiziert, dass die Erwärmung weiter voranschreitet, auch wenn der anthropogene Ausstoß von Treibhausgasen unverzüglich gestoppt werden könnte (IPCC, 2007a, 2007b). Auch ist bekannt, dass die Lufttemperatur den globalen und regio-

nenal Wasserkeislauf reguliert (Huntington, 2006). In Nordostdeutschland wurde über die letzten Dekaden ein statistisch signifikanter Temperaturanstieg nachgewiesen (1961-1998: +1 K; Lahmer und Pfützner, 2003). Gleichzeitig konnte durch zahlreiche regionale und lokale Studien gezeigt werden, dass auch der Landschaftswasserhaushalt im Wandel begriffen ist (Germer et al.,

im Druck). Dies manifestiert sich beispielsweise in großräumig sinkenden Grundwasserspiegeln, der Abnahme des mittleren jährlichen Abflusses und Mindestabflusses der Havel sowie zahlreicher kleinerer Fließgewässer und der Absenkung von Seespiegeln (Abb. 1) sowie dem Trockenfallen von Mooren (z.B. Landgraf und Notni, 2003; Finke und Krause, 2005; Krone, 2007; Landgraf, 2007; Nützmann und Mey, 2007; Nillert et al., 2008; LUA, 2009; Natkhin et al., 2009). Die von den Autoren benannten Ursachen sind vielfältig und reichen von der Klimaveränderung über den Landnutzungswandel, das agrar- und forstwirtschaftliche Wassermanagement bis hin zu einem veränderten Wasserverbrauch in urbanen Gebieten und Sonderfällen, wie die Aufgabe der Rieselfeldbewirtschaftung um Berlin (Abb. 2).

Die Befund- und Interpretationsvielfalt lässt ein heterogenes Bild von hydrologischen Auswirkungen und dahinter liegenden Ursachen entstehen. Mit dem Ziel, mögliche Muster in diesem heterogenen Bild zu erkennen, wird in dieser Arbeit der Frage nachgegangen, ob es sich bei den beobachteten Seespiegelsenkungen um Gruppen von regional ähnlichen Ursachen-Wirkungs-Komplexen handelt, oder ob jeweils Einzelfälle vorliegen, die nur individuell betrachtet werden können.

**Abb. 1:** Trocken gefallene Seeufer in Nordostdeutschland. Oben: Ostufer des Redernswalder Sees im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (Foto: K. Kaiser, September 2009); unten: Südostufer des Großen Fürstenseer Sees im Müritz-Nationalpark (Foto: U. Meßner, Mai 2009).



**Abb. 2:** Mögliche Ursachen für Seespiegelsenkungen und -anstiege (nach Germer et al., im Druck).

## 2. Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

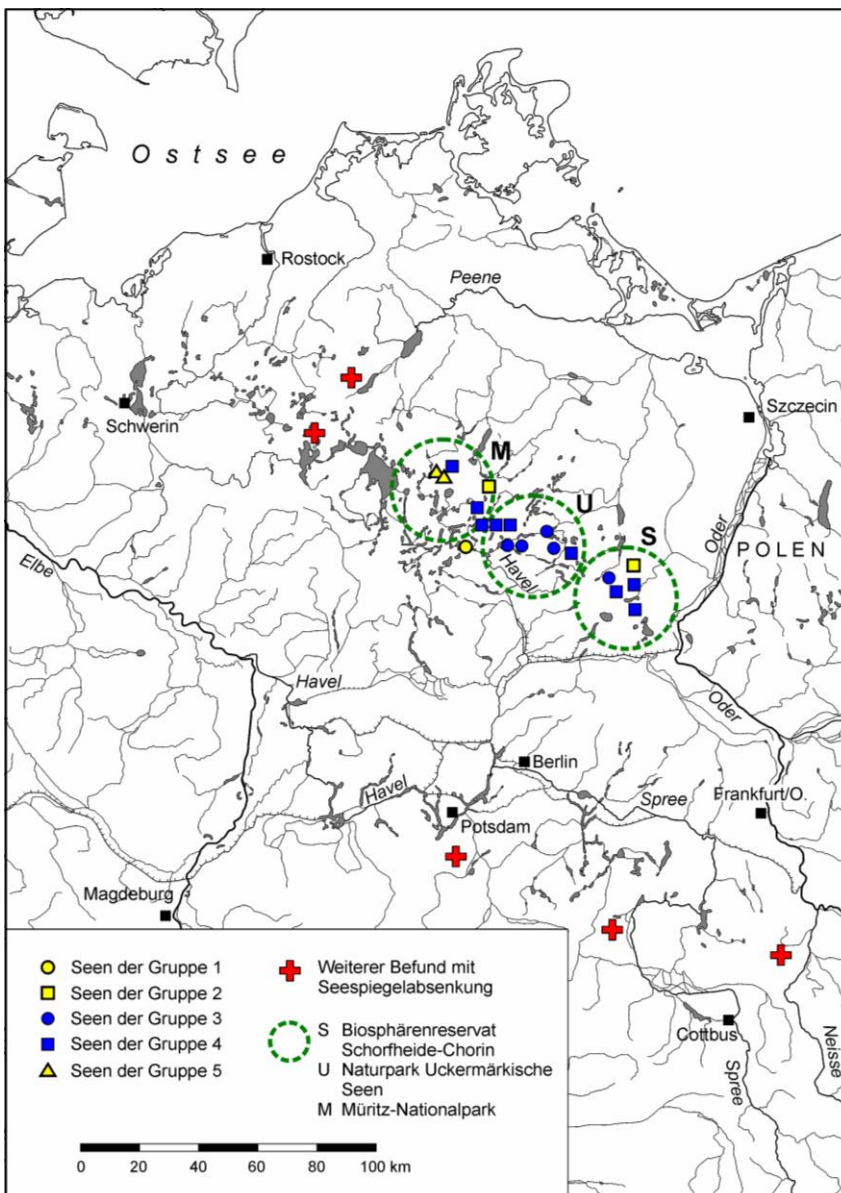
Entlang eines Südost-Nordwest orientierten Transektes im Bereich der Mecklenburgisch-Brandenburgischen

Seenplatte wurden langjährig erhobene Seespiegeldaten aus drei Großschutzgebieten ausgewertet (Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (S), Naturpark Uckermärkische Seen (U), Müritz-Nationalpark (M); Abb. 3). Alle Gebiete liegen im unmittelbaren Vor- oder Rückland der weichselglazialen Pommerschen Haupteisrandlage und

die jeweiligen Seen damit in unterschiedlichen Teilen der glazialen Serie (Grundmoräne, Endmoräne, Sander; Tab. 1). Hydrographisch befinden sich die Seen entweder in Binneneinzugsgebieten – deren Vorhandensein ein Charakteristikum der regionalen Jungmoränenlandschaft darstellt – oder gehören den Flusseinzugsgebieten von Ucker/UEcker (Ostsee) und Havel (Nordsee) an. Den subkontinentalen Charakter des Untersuchungsgebietes verdeutlichen die den jeweiligen Großschutzgebieten nächstgelegenen Klimastationen Angermünde, Neustrelitz und Waren mit mittleren Jahresniederschlägen von 532 bis 584 mm (1951-2000) und einer geringen positiven (lokal sogar negativen) klimatischen Wasserbilanz. Die Jahresdurchschnittstemperaturen liegen um 8 °C (BMUNR, 2003). In den letzten etwa 100 Jahren stieg die Jahresdurchschnittstemperatur im Untersuchungsgebiet um 0,8-1,2 K an. Die Niederschlagsentwicklung zeigt kein einheitliches Bild (Trends bis  $\pm 40$  mm), doch wird eine häufigere Sommertrockenheit deutlich (Werner et al., 2005; Stüve, 2010). Die Seen und ihre Einzugsgebiete haben in den vergangenen etwa 800 Jahren eine

Reihe von teils gravierenden anthropogenen Eingriffen erfahren (z.B. Seespiegelveränderungen, Anschluss an die Vorflut, Wandel der Gebietsnutzung vor allem durch Ent- und Wiederbewaldung; Kaiser, 1996). Einige See-einzugsgebiete waren zudem von sogenannten „Komplexmeliorationen“ in den 1960er und 70er Jahren betroffen. Die Mehrzahl der Einzugsgebiete ist gegenwärtig fast vollständig bewaldet, vor allem mit Dominanzbeständen der Kiefer (Tab. 1).

Ein großer Teil der ausgewählten Seen lässt sich hydrologisch als „Grundwassersee“ typisieren (Mauersberger, 2002, 2006), das heißt, ihre Wasserspeisung erfolgt hauptsächlich durch den Grundwasserzustrom aus dem oberen, in der Regel unbedeckten Aquifer und ein oberirdischer Abfluss, der die Lage des Wasserspiegels bestimmen könnte, ist nicht vorhanden. Einige der zwischen 2 und 212 ha großen Seen besitzen Zu- und/oder Abflussgerinne, die jedoch nur noch selten Wasser führen und daher für das hydrologische Geschehen (mittlerweile) weitgehend bedeutungslos sind (Tab. 1).



**Abb. 3:** Seen in Nordostdeutschland deren Pegel-Zeitreihen in dieser Studie miteinander verglichen wurden. Zudem ist eine Auswahl weiterer, peripher gelegener Befunde gesunkener Seespiegel dargestellt (Juschus und Albert, 2010; Lorenz et al., 2010; Mietz und Vedder, 2010; Wichern et al., 2010; W. Wihle/Waren, mdl. Mitt.).

**Tab. 1:** Übersicht von hydrologischen, geologischen und nutzungsbedingten Parametern. Die Einteilung der Gruppen ist das Ergebnis der statistischen Analyse.

See	Zu-/Abfluss	Hydrologischer Typ <sup>1</sup> aktuell	Hydrologischer Typ <sup>1</sup> primär	Größe [ha]	Nutzung im EZG	Geologie <sup>2</sup>
Gruppe 1						
U Thymensee	permanent zwei Zuflüsse, ein Abfluss	Fließsee mit großem EZG	Fließsee	111	Wald	Sander
Gruppe 2						
S Jakobsdorfer See	2 Zuflüsse und 1 Abfluss periodisch (künstlich)	Fließsee mit kleinem EZG	Grundwassersee	23	Wald	Endmoräne
M Gr. Serrahnsee	Abfluss	Fließsee mit kleinem EZG	Grundwassersee	>17	Wald	Endmoräne-Sander
Gruppe 3						
U Gr. Griebchensee	ohne (Abfluss seit langem trocken)	Grundwassersee	Grundwassersee	6	Wald	Sander
U Steißsee	ohne (Abfluss seit langem trocken)	Grundwassersee	Grundwassersee	5	Wald-Acker	Grundmoräne-Sander
U Stoitzsee	ohne	Grundwassersee (Übergang zu Kesselsee)	Grundwassersee (Übergang zu Kesselsee)	24	Wald	Grundmoräne-Sander
U Stübnitzsee	ohne (Abfluss seit langem trocken)	Grundwassersee	Grundwassersee	5	Wald	Sander
S Laagensee	Zuflüsse, ein Abfluss	Fließsee mit kleinem EZG	Fließsee	39	Wald	Endmoräne
Gruppe 4						
U Clanssee	ohne	Grundwassersee (Übergang zu Kesselsee)	Grundwassersee (Übergang zu Kesselsee)	44	Acker-Wald	Grundmoräne
U Gr. Kronsee	unbedeutender(?) Drainagezufluss	Grundwassersee	Grundwassersee	47	Wald-Acker	Grundmoräne-Sander
U Gr. Petznicksee	geringer periodischer Zufluss, künstlicher Abfluss trocken	Grundwassersee	Grundwassersee	14	Wald	Sander
U Kl. Kronsee	ohne	Grundwassersee (Übergang zu Kesselsee)	Grundwassersee (Übergang zu Kesselsee)	13	Wald-Acker	Grundmoräne
S Gr. Peetzigsee	ohne	Grundwassersee	Grundwassersee	39	Wald-Acker	Sander
S Buckowsee	ohne	Kesselsee	Kesselsee	4	Wald	Endmoräne
S Redernswalder See	1 periodischer Zufluss (künstlich)	Endsee	Grundwassersee	48	Wald	Sander
M Gr. Fürstenseer See	künstl. 2 Zu- und 2 Abflüsse (trocken)	Grundwassersee	Grundwassersee	212	Wald	Sander
M Babker See	ohne	Grundwassersee	Grundwassersee	10	Wald	Sander
Gruppe 5						
M Gr. Bodensee	Abfluss	Quellsee	Grundwassersee	32	Wald	Sander
M Kl. Bodensee	Zu- und Abfluss	Fließsee mit kleinem EZG	Grundwassersee	2	Wald	Sander

<sup>1</sup>nach Mauersberger (2002, 2006); <sup>2</sup>nach (a) Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern, Karte der quartären Bildungen – Oberfläche bis fünf Meter Tiefe 1:200.000 (verschiedene Blätter); (b) Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300.000.

## 2.2 Datengrundlage und -analyse

Aus den drei genannten Großschutzgebieten wurden für die vorliegende Betrachtung Seen ausgewählt, für die

1. lückenlose Pegeldata für einen möglichst großen Zeitraum vorlagen und
2. eine direkte anthropogene Einflussnahme auf den Wasserspiegel (Staubewirtschaftung, Wasserspiegeländerung durch Maßnahmen innerhalb des Zeitraumes) ausgeschlossen werden konnte.

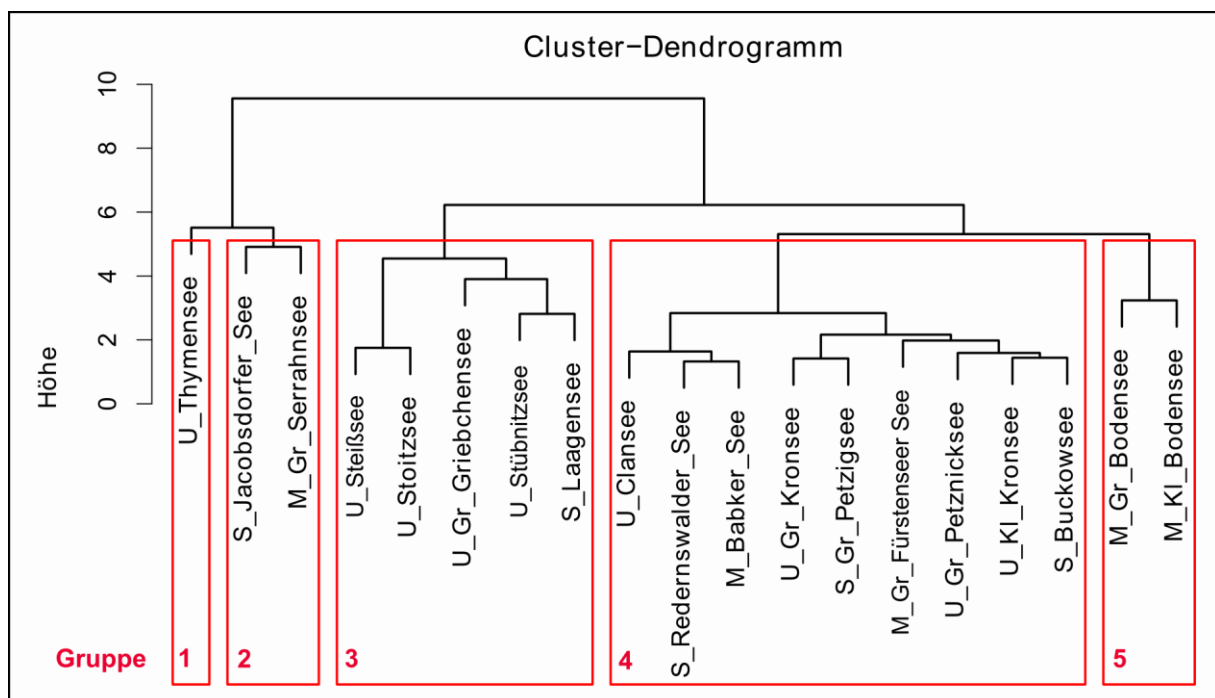
Es handelt sich um 19 Seen, für die Daten mindestens aus der gesamten letzten Dekade bereit standen. Für die Analyse wurden Quartalswerte für den Zeitraum 1999-2008 betrachtet.

Zur Identifizierung von Seen, deren Dynamik der Zeitpunkte von Anstieg und Abfall der Seespiegel sowie deren Verhältnisse zueinander sich ähnelt, wurden die Zeitreihen normalisiert (Mittelwert = Null, Varianz = 1). Mittels hierarchischer Clusteranalyse wurden Gruppen gebildet, deren zugehörige Zeitreihen sich jeweils am meisten ähneln (Crawley, 2007). Das entstehende Cluster-Dendrogramm gruppiert die ähnlichsten Zeitreihen im gleichen Ast des Dendrogramms. Gruppen, die sich deutlich unterscheiden, werden einem anderen Ast zugeordnet. Die „Ähnlichkeit“ wird definiert durch die Euklidische Distanz zwischen zwei Datensätzen (hier Zeitreihen) in einem m-Dimensionalen Raum mit m Variablen (hier Länge der Zeitreihen). Bei dem hier angewandten hierarchisch-agglomerativen Verfahren wird das System durch sukzessives Gruppieren von Datensät-

zen und im weiteren Verlauf durch Fusion von kleineren zu größeren Gruppen konstruiert. Zur Fusion der Gruppen wurde das „complete linkage“-Verfahren genutzt, bei dem der Abstand zweier Gruppen gleich dem maximalen Abstand zweier Objekte aus je einer Gruppe ist. Aus diesem System ist eine der Gruppierungen zwischen den beiden Extremen als Lösung des Clusterungsproblems auszuwählen. Hier wurde eine Aufteilung in fünf Gruppen gewählt, da sich diese Anzahl für die spätere Diskussion der Ergebnisse am besten eignet. Die Einteilung dient nur als Instrument zur Beschreibung der Ergebnisse und für die Diskussion. Sie beeinträchtigt jedoch nicht die Ergebnisse der Clusteranalyse selbst. Das Normalisieren der Zeitreihen führt dazu, dass innerhalb einer Gruppe Seen mit ganz unterschiedlichen absoluten Seespiegeländerungen vereint sein können.

## 3. Ergebnisse

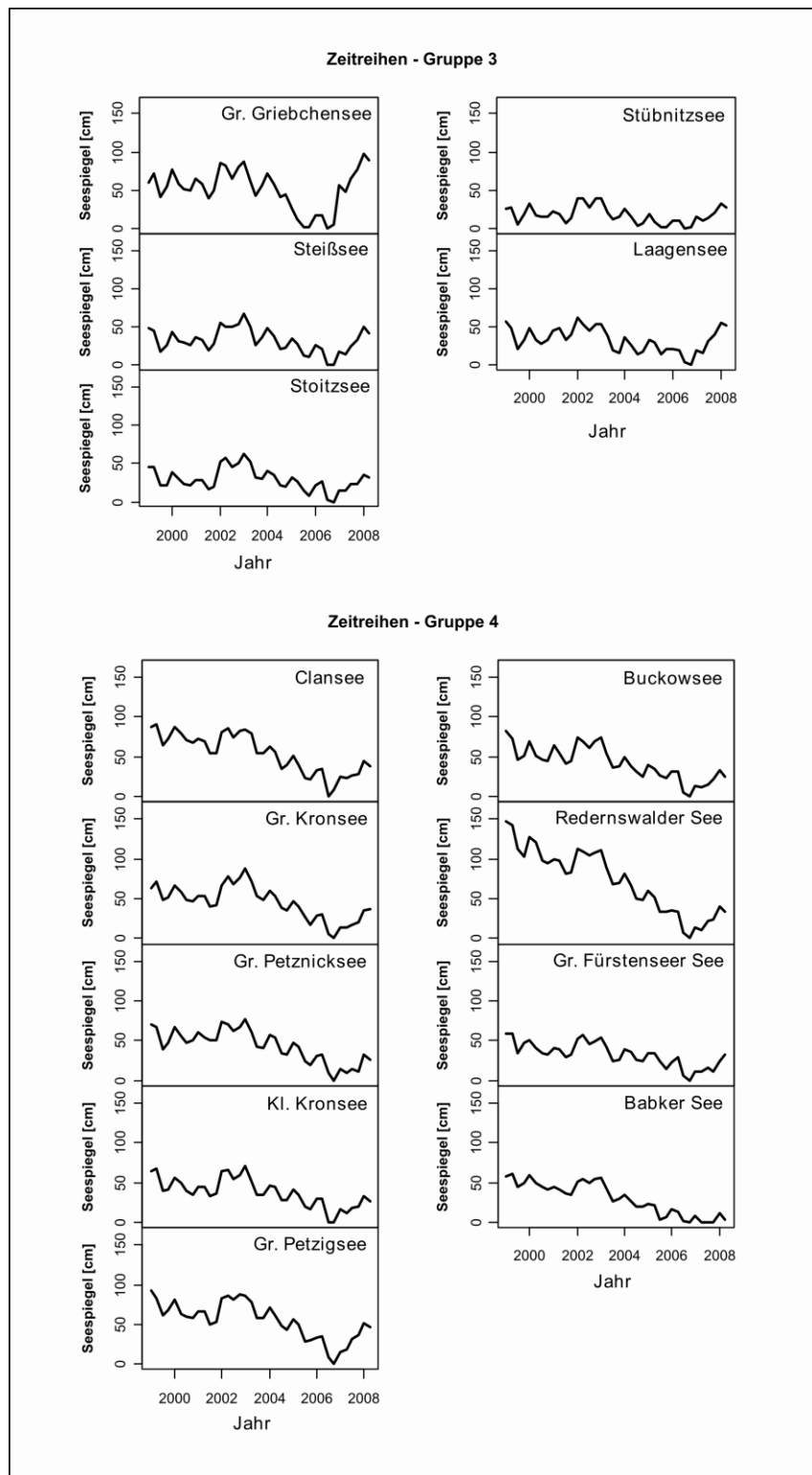
Die Clusteranalyse hat zu einer Einteilung in 5 unterschiedlich große Gruppen geführt (Abb. 4). Die kleinste Gruppe umfasst einen und die größte Gruppe neun Seen. Je höher der Abstand zwischen zwei Ästen des Dendrogramms, desto höher ist die Heterogenität der Gruppe, die beide Äste umfasst. Demzufolge ist bei einer Einteilung in fünf Gruppen die Heterogenität in der Gruppe 4 am geringsten. Bemerkenswert ist, dass diese Gruppe Vertreter aller Teilgebiete einschließt. Im Vergleich dazu weist die Gruppe 3 eine relativ hohe Heterogenität auf. Dennoch ist die Ähnlichkeit zweier Seen innerhalb dieser Gruppe sehr groß (Steißsee und Stoitzsee).



**Abb. 4:** Cluster-Dendrogramm für 19 Seepiegel-Zeitreihen und Einteilung in 5 Gruppen. Die Buchstaben vor den Seennamen geben deren Zugehörigkeit zu den drei Teilgebieten wieder (U: Naturpark Uckermärkische Seen, S: Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, M: Müritz-Nationalpark). Die Skala am linken Rand gibt die skalierten Abstände zwischen den Clustern wieder. Diese Abstandsrelationen zwischen den Gruppen geben die Reihenfolge der Vereinigung wieder. Je höher der Abstand zwischen den Gruppen ist, desto heterogener werden diese.

Die Gruppen 2 und 5 beinhalten jeweils nur zwei Seen, wobei die zweite Gruppe eine viel höhere Heterogenität aufweist. Die fünfte Gruppe hingegen ist weniger heterogen, da sie die miteinander verbundenen Seen Großer und Kleiner Bodensee beinhaltet. Der Thymensee (Gruppe 1) ähnelt keinem anderen, weil es sich um einen Vertreter eines anderen hydrologischen Typs handelt (permanent durchströmter Fließsee; Tab. 1).

Betrachtet man die Ganglinien der einzelnen Gruppen nebeneinander, so wird deutlich, dass die durch die Clusteranalyse definierten Gruppen sich deutlich in ihrer Seepegeldynamik unterscheiden. Die Gruppe 4 fällt hier besonders auf, da sich die Seepiegel dieser Gruppe nicht nur in der kurzfristigen Dynamik ähneln, sondern alle während des betreffenden Zeitraumes auch eine deutliche negative Tendenz aufweisen (Abb. 5). Dies steht im Gegensatz zu den anderen vier Gruppen.



**Abb. 5:** Seespiegel-Zeitreihen der Jahre 1999-2008 für die Gruppen 3 und 4 des Cluster-Dendrogramms (vgl. Abb. 4).

Die Gruppe 3 zeigt eine ähnliche Dynamik bezüglich des Ansteigens und Abfallens der Seespiegel wie die vierte Gruppe. Hier ist jedoch der Erholungseffekt im Sinne eines Wiederanstiegs nach Phasen erhöhten Niederschlags viel stärker ausgeprägt, so dass über den beobachteten Zeitraum kein eindeutiger Trend sichtbar ist (Abb. 5).

Die Übersicht von hydrologischen, geologischen und nutzungsbedingten Parametern (Tab. 1) lässt auf keine eindeutigen Gemeinsamkeiten innerhalb der betreffenden Gruppen schließen, wenn man von der Dominanz von so genannten „Grundwasserseen“ als hydrologische Seetypen absieht.

#### 4. Diskussion

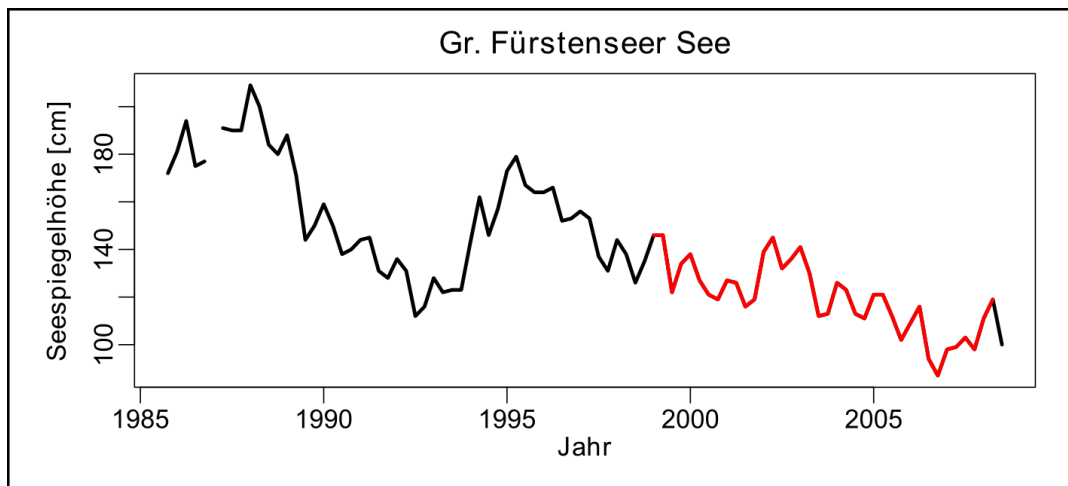
Die Ergebnisse legen nahe, dass eine Klassifizierung der untersuchten Seen möglich und bei Vergleich der Zeitreihen auch sinnvoll ist. Gerade die unter Gruppe 4 zusammengefassten Seen weisen eine hohe Ähnlichkeit auf. Da diese Seen deutlich gesunkene Seespiegel im Laufe des Untersuchungszeitraumes aufweisen, ist das Verständnis der diesen Seen zugrunde liegenden Hydrodynamik von besonderem Interesse. Anhand der aufgelisteten Parameter (Tab. 1) lässt sich derzeit noch nicht klären, ob dieser Gruppe von Seen mit ähnlicher Pegeldynamik auch ähnliche Umweltveränderungen als Triebkräfte zu Grunde liegen. Eine detaillierte Aufnahme z.B. der Geologie oder zusätzlicher Parameter, wie die jeweilige Entfernung zur Wasserscheide, könnten hier hilfreich sein. Da es jedoch keine räumliche Häufung der einer Gruppe zugehörigen Seen gibt, wird gefolgert, dass eher regional wirksame Ursachen die entscheidenden Triebkräfte sind. Eine regional auftretende Ursache kann z.B. die mit dem Klimawandel einhergehende Temperatur-/Verdunstungserhöhung in Nordostdeutschland sein (Werner et al., 2005). Hierbei ist zu bedenken, dass die Zeitreihen aus Großschutzgebieten stammen und in der unmittelbaren Umgebung der betreffenden Seen während des Untersuchungszeitraumes kein entscheidender Landnutzungswandel als potenzielle lokale Triebkraft stattgefunden hat. Ein anderer Grund für die klare Gruppenbildung könnte auch die Lage aller 19 Seen im unmittelbaren Vor- oder Rückland der weichselglazialen Pommerschen Haupteisrandlage und damit in Wasserscheidennähe sein. Gemäß LUA (2009) treten die stärksten natürlichen Grundwasserstandsänderungen auf den Hochflächen in der Nähe der Wasserscheiden auf. Diesem Bericht zufolge ist der Rückgang der Abflussspenden in den Niederungen jedoch so groß, dass er sich nur

teilweise mit verringerten Grundwasserneubildungsraten in den Hochflächen erklären lässt. Vielmehr muss es gleichzeitig eine höhere Grundwasserzehrung in den Niederungen geben. Da viele Seen vom Grundwasser gespeist werden, lässt diese Topographieabhängigkeit darauf schließen, dass eine Klassifizierung, die auch Seen der Niederungen umfasst, in topographieabhängige Gruppen resultieren würde.

Die Gruppe 3 umfasst nur Gewässer ohne Zufluss; Abflüsse fehlen oder sind seit langem trocken. Eine Ausnahme bildet der Laagensee, da er Zu- und Abfluss besitzt und dessen Wasserstand in den letzten Jahren angehoben wurde. Diese Zeitreihe sollten also im Gegensatz zu den anderen Seen der Gruppe 3 keine Klima- oder Landnutzungsabhängigkeit zeigen.

Ein Kritikpunkt an Clusteranalyse-Verfahren besteht darin, dass das Ergebnis maßgeblich davon abhängt, wie groß der Datensatz ist (hier Länge der Zeitreihen) und welchen Zeitabschnitt man wählt. Wie bei jedem statistischen Verfahren zur Zeitreihenanalyse gilt, dass die Qualität der Aussage mit der Länge einer Zeitreihe steigt. Da für die Clusteranalyse möglichst viele Seen berücksichtigt werden sollten, war es notwendig, sich auf den größten gemeinsamen Nenner zu beschränken. Somit ist eine Validierung mit längeren Zeitreihen nicht möglich. Um die Güte der Aussage zu prüfen, wurde die Clusteranalyse mit den Jahren 1999-2006 wiederholt, da die Jahre 2007 und 2008 bei visuellem Vergleich der Zeitreihen maßgeblich für die Trennung der Gruppen 3 und 4 verantwortlich scheinen. In diesen beiden Jahren zeigt die Gruppe 3 einen wesentlich stärkeren Wiederanstieg der Seespiegel als dies in Gruppe 4 der Fall ist. Hierfür spielen spezifische Ereignisse an einzelnen Gewässern eine Rolle. So wurde der Abfluss des Laagensees höher gelegt und im direkten Einzugsgebiet des Griebchensees eine Durchforstung der Kiefernbestände durchgeführt. Die Analyse mit der verkürzten Zeitreihe liefert ein anderes Ergebnis, allerdings vor allem in den heterogeneren Gruppen. Die Gruppe von besonderem Interesse (Gruppe 4) bleibt bestehen und wird lediglich durch einen See (Großer Griebchensee) ergänzt.

Die Zeitreihen für die Clusteranalyse gingen nur bis zum Jahre 1999 zurück. Die Jahre zuvor haben im Schnitt jedoch auch eine sinkende Tendenz gezeigt, wie dies Daten vom Großen Fürstenseer See (Stüve, 2010) oder Redernswalder See (Natkhin et al., 2009) verdeutlichen (Abb. 5, 6).



**Abb. 6:** Zeitreihe des Pegels vom Großen Fürstenseer See (Müritz-Nationalpark) für die Jahre 1985-2008. Hervorgehoben in Rot ist der Zeitabschnitt, für den Zeitreihen verschiedener Seen verglichen wurden.

Kritisch angemerkt werden sollte auch, dass es nicht möglich ist, mit Hilfe von Clusteranalyse-Verfahren Übergangstypen zwischen zwei Seegruppen zu identifizieren. Hierzu müssten andere statistische Verfahren durchgeführt werden. Lischeid et al. (im Druck) konnten beispielsweise mit einer Hauptkomponentenanalyse von See- und Grundwasserdaten solche Übergangstypen aufzeigen.

## 5. Schlussfolgerung und Ausblick

Das hier angewandte Clusteranalyseverfahren war sehr hilfreich, um einen schnellen Überblick über eine Vielzahl von Seepiegel-Zeitreihen zu bekommen. Es legt nahe, dass es neben Spezialfällen auch Gruppen von Seen mit regional ähnlichen Ursachen-Wirkungs-Komplexen gibt. Welche Ursache-Wirkungs-Komplexe den größeren Gruppen zugrunde liegen, bleibt offen. Es kann jedoch angenommen werden, dass regional wirksame Ursachen, wie der Klimawandel, eine bedeutende Rolle spielen.

In einem nächsten Schritt soll der Frage nachgegangen werden, aus welchen Gründen sich manche Seen bezüglich ihrer Dynamik und ihres mehrjährigen Trends ähneln und andere dies bei vergleichbarer Konstellation der Rahmenbedingungen nicht tun. Hierzu werden weitere

## 6. Literatur

- BMUNR – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2003. Hydrologischer Atlas von Deutschland. Bonn/Berlin.
- Crawley, M.J., 2007. The R book. John Wiley & Sons, Chichester.
- Finke, W., Krause, S., 2005. Langzeitverhalten von Niedrigwasserkenngößen von Pegeln des Haveleinzugsgebiets und der Elbe. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 49, 248-254.
- Germer, S., Kaiser, K., Bens, O., Hüttl, R.F., im Druck. Water balance changes and responses of ecosystems and society in the Berlin-Brandenburg region, Germany – a review. Die Erde.
- Huntington, T.G., 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. Journal of Hydrology 319, 83-95.

Seen aus den genannten Teilregionen in die Analyse einbezogen und die Parameteranalyse erweitert. Hinsichtlich der Auswirkungen der Seespiegelabsenkungen ist die Durchführung ufermorphologisch-geobotanischer Transektstudien an Beispielseen geplant. Zudem werden paläohydrologische Befunde integriert, um die langfristige, von Klima- und Landnutzungsänderungen abhängige Variabilität der Wasserspiegel dieser Seen einschätzen zu können.

## Danksagung

Diese Untersuchungen konnten im Rahmen zweier kooperierender Akademieprojekte realisiert werden: der Interdisziplinären Arbeitsgruppe „Globaler Wandel – Regionale Entwicklung“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Projektgruppe „Georesource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel“ der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Für die Pegeldata danken wir Achim Kobel und Matthias Schwabe (Müritz-Nationalpark), Hartmut Neumann (Naturwacht Uckermarkische Seen) sowie Rüdiger Michels (Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin). Für ihre kartographische Unterstützung danken wir Petra Wiese (Universität Greifswald).

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007a. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Hrsg.): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007b. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Hrsg.): Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.
- Juschus, O., Albert, H., 2010. Sinkende See- und Grundwasserstände im Naturschutzgebiet "Luchseemoor" (Spreewald, Brandenburg) – Landschaftsgeschichtliche und hydrologische Befunde. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Sci-



- entific Technical Report 10/10, S. 86-92. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- Kaiser, K., 1996. Zur hydrologischen Entwicklung mecklenburgischer Seen im jüngeren Quartär. Petermanns Geographische Mitteilungen 140, 323-342.
- Krone, A., 2007. Folgen der Klimaveränderung auf die Fließgewässer in Brandenburg und Lösungsbeispiele. Präsentation auf der "Flusskonferenz am 21. März 2007 in Berlin – Unsere Fließgewässer im Zeichen des Klimawandels". Deutsche Umwelthilfe, Berlin.
- Lahmer, W., Pfützner, B., 2003. Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsrechnungen. PIK Report 85. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Potsdam.
- Landgraf, L., 2007. Rekonstruktion von Wasserstandsschwankungen in der Hochfläche der östlichen Zauche mit Hilfe dendrohydrologischer Methoden und Analyse der Ursachen. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 46, 41-67.
- Landgraf, L., Notni, P., 2003. Das Moosfenn bei Potsdam – Langzeitstudie zu Genese und Wasserhaushalt eines brandenburgischen Kesselmooses. Telma 33, 59-83.
- Lischeid, G., Natkhin, M., Steidl, J., Dietrich, O., Dannowski, R., Merz, C., im Druck. Assessing coupling between lakes and layered aquifers in a complex Pleistocene landscape based on water level dynamics. Advances in Water Resources.
- Lorenz, S., Rowinsky, V., Koch, R., 2010. Historische und rezente Wasserstandsentwicklung von Seen und Mooren im Naturpark "Nossentiner/Schwinzer Heide" im Spiegel der Landnutzungsgeschichte. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10, S. 133-139. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- LUA – Landesumweltamt Brandenburg, 2009. Umweltdaten aus Brandenburg – Bericht 2008/2009. Potsdam.
- Mauersberger, R., 2002. Hydrologische Seentypen und ihre Kennzeichnung am Beispiel der Seenlandschaften Nordostdeutschlands. In: Kaiser, K. (Hrsg.): Die jungquartäre Fluss- und Seegenese in Nordostdeutschland. Greifswalder Geographische Arbeiten 26, 227-231. Greifswald.
- Mauersberger, R., 2006. Klassifikation der Seen für die Naturraumerkundung des nordostdeutschen Tieflandes. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 45, 51-89.
- Mietz, O., Vedder, F., 2010. Stabilisierung der hydrologischen Situation im Großen Seddiner See (Brandenburg) durch Überleitung von gereinigtem Nieplitzwasser. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10, S. 158-166. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- Natkhin, M., Steidl, J., Dietrich, O., Dannowski, R., Hoffmann, D., 2009. Der Einfluss von Waldumbau auf den Wasserhaushalt eines Sees in einem niederschlagsarmen Tieflandeingebiet. Forum der Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 26, 59-64.
- Nilfert, P., Schäfer, D., Zühlke, K., 2008. Auswirkungen der regionalen Klimaentwicklung auf die Wasserversorgung am Beispiel Wasserwerk Potsdam Leipziger Straße. GWF – Wasser/Abwasser 149, 948-955.
- Nützmann, G., Mey, S., 2007. Model-based estimation of runoff changes in a small lowland watershed of north-eastern Germany. Journal of Hydrology 334, 467-476.
- Stüve, P., 2010. Die Wasserhaushaltssituation der letzten 40 Jahre im Raum der Neustrelitzer Kleinseenplatte (Süd-Mecklenburg). In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10, S. 206-211. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- Werner, P.C., Gerstengarbe, F.-W., Lahmer, W., Lasch, P., Suckow, F., Wechsung, F., 2005. Klima, Klimaveränderungen und deren Auswirkungen im Gebiet der Märkischen Eiszeitstraße zwischen 1951 und 2055. In: Gesellschaft zur Erforschung und Förderung der Märkischen Eiszeitstraße e.V. (Hrsg.): Entdeckungen entlang der Märkischen Eiszeitstraße 10. Eberswalde.
- Wichern, J., Biemelt, D., Grünewald, U., 2010. Analyse und Bewertung von Einflüssen auf den Wasserhaushalt von Seen auf eiszeitlichen Hochflächen des Ostbrandenburger Heide- und Seengebietes. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10, S. 223-228. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.