

Seespiegelschwankungen in Nordostdeutschland: Beobachtung und Rekonstruktion

Knut Kaiser¹, Sonja Germer², Mathias Küster³, Sebastian Lorenz³, Peter Stüve⁴, Oliver Bens¹

¹Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, ²Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim ATB, ³Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, ⁴Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburgische Seenplatte StALUMS, Neubrandenburg

Currently, central Europe undergoes distinct changes in regional water balances. In northeast Germany a drying trend prevails, resulting in decreasing water quantities. If this trend continues, a negative influence on ecosystem services, such as the provision of water for human use and wetland conservation, is to be feared. Lake-level records of both short-term (last decades) and long-term perspective (last millennia) offer important hydrological information as they document changes in the local to regional water budget, depending from climatic and human impact. Research on lake hydrology can help to optimise management strategies for rebalancing the landscape water budget. Lake levels in northeast Germany have decreased or intensively fluctuated over the last decades. Examples for the hydrological development of some lakes in the Mecklenburg Lake District are given, showing highly variable local records with some conformity. From a palaeohydrological point of view, until the late Mediaeval regional lake hydrology was predominantly driven by climatic, geomorphic and non-anthropogenic biotic factors. Since the late Mediaeval, human activities have strongly influenced the drainage pattern and the lake water cycle, for instance, by damming of lakes, construction of canals and land cover changes in the lake catchments.



Veränderungen im regionalen Wasserhaushalt

Durch den Klima- und Landnutzungswandel im 20. und 21. Jahrhundert verändert sich der Wasserhaushalt großräumig – allerdings regional sehr differenziert. Während sich in den letzten Jahrzehnten im Westen Deutschlands das Wasserangebot teilweise erhöhte (z. B. höhere Abflussmenge in den Flüssen und höhere Grundwasserneubildung), reduzierte es sich in weiten Teilen Ostdeutschlands (Merz et al. 2012). Offenbar verstärkt sich die natürliche Differenzierung Mitteleuropas in einen „ozeanisch-feuchten“ Westen und in einen „kontinental-trockenen“ Osten. In vielen Regionen erhöht sich die hydrologische Variabilität; dies führt zu spezifischen wasserwirtschaftlich-ökonomischen und ökologischen Herausforderungen.

In Nordostdeutschland, und hier vor allem in Brandenburg, sind in den vergangenen etwa 30 Jahren die Grundwasserspiegel des obersten unbedeckten Grundwasserleiters und die Pegel vieler grundwassergespeister Seen um ein bis zwei Meter gesunken, die mittleren Abflüsse mittelgroßer und kleiner Flüsse zurückgegangen sowie vielerorts die Bäche im Sommer häufiger als früher ausgetrocknet. Als Ursachen werden die nachhaltig wirksamen Hydromeliorationen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, die den Waldanteil dominierenden wasserzehrenden Kiefern-(Mono-)Kulturen und der Einfluss des Klimawandels diskutiert. Zudem strapazieren großflächig die Landwirtschaft und lokal der Bergbau den Wasserhaushalt (Kaiser et al. 2010, Germer et al. 2011, Hüttel et al. 2011). Auch die Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Region zeigen eine Verminderung des Wasserangebots.

Eine entscheidende Voraussetzung für die Detektion, Deutung und Prognose dieses „hydrologischen Wandels“ – als einer Facette des Globalen Wandels – ist das Monitoring und die Rekonstruktion von Wasserhaushaltsgrößen. Beides wird durch das Deutsche GeoForschungszentrum GFZ derzeit im Rahmen der Helmholtz-Vorhaben TERENO (Terrestrial Environmental Observatories; Zacharias et al., 2011) und ICLEA (Virtual Institute of Integrated Climate and Landscape Evolution Analyses) mit Bezug zu den Seenlandschaften in Nordostdeutschland durchgeführt.

Links: Durch Seespiegelsenkung trocken gefallenes Ufer am Großen Kronsee/Uckermark im Jahr 2005 (Foto: R. Mauersberger)

Left: Dried shoreline caused by lake-level lowering of lake Großer Kronsee/Uckermark area in 2005 (Photo: R. Mauersberger)



Kontakt: K. Kaiser
(knut.kaiser@gfz-potsdam.de)



Abb. 1: Lage der vorgestellten Seen in Nordostdeutschland

Fig. 1: Location of the presented lakes in northeast Germany

Seen – empfindliche hydrologische Indikatoren

Hintergrund der regionalen Befunde über abnehmende Wassermengen sind Zeitreihen von Fluss-, Grundwasser- und Seespegeln, die gewöhnlich die letzten 20 bis 50 Jahre umfassen, und nur in wenigen Fällen zumeist für die Binnenschifffahrt wichtiger Gewässer darüber hinaus gehen.

Eine besondere Rolle bei der Indikation von lokalen bis regionalen Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt spielen Seewasserspiegel. Sie werden zum einen durch klimatische Parameter, insbesondere durch Niederschlag und Verdunstung beeinflusst. Zum anderen können die Seespiegel durch eine Reihe lokaler, nicht-klimatischer Faktoren gesteuert werden.

Seen sind eine landschaftsprägende Größe von Nordostdeutschland und als natürliche, d. h. überwiegend glazial entstandene Gewässer vor allem im Jungmoränengebiet dieser Region verbreitet. Die gesamte natürliche Seenfläche in diesem Raum beträgt rund 1300 km²; ihre Anzahl bemisst sich nach Tausenden. Hinzu kommt im Altmoränengebiet der Niederlausitz (südliches Brandenburg) eine Fläche von rund 250 km² aktuell entstehender Tagebau-Restseen. Die meisten der natürlichen Seen werden neben dem Regen auf die Wasserfläche vor allem durch das Grundwasser gespeist. Das bedeutet, Grundwasser- und Seespiegeldynamik sind in der Region sehr eng miteinander verbunden.

Das bisherige Wissen zur regionalen Seespiegeldynamik gründet sich auf der Analyse von einzelnen Seespegeln (Abb. 1, 2). Generell ist nur für einen kleinen Teil der Seen Datenmaterial vorhanden, wobei die meisten Seespegel ab den 1990er Jahren eingerichtet wurden. Seit etwa 30 Jahren werden in Nordostdeutschland fallende oder verstärkt schwankende Seespiegel dokumentiert. Dies betrifft vor allem Grundwasserseen und

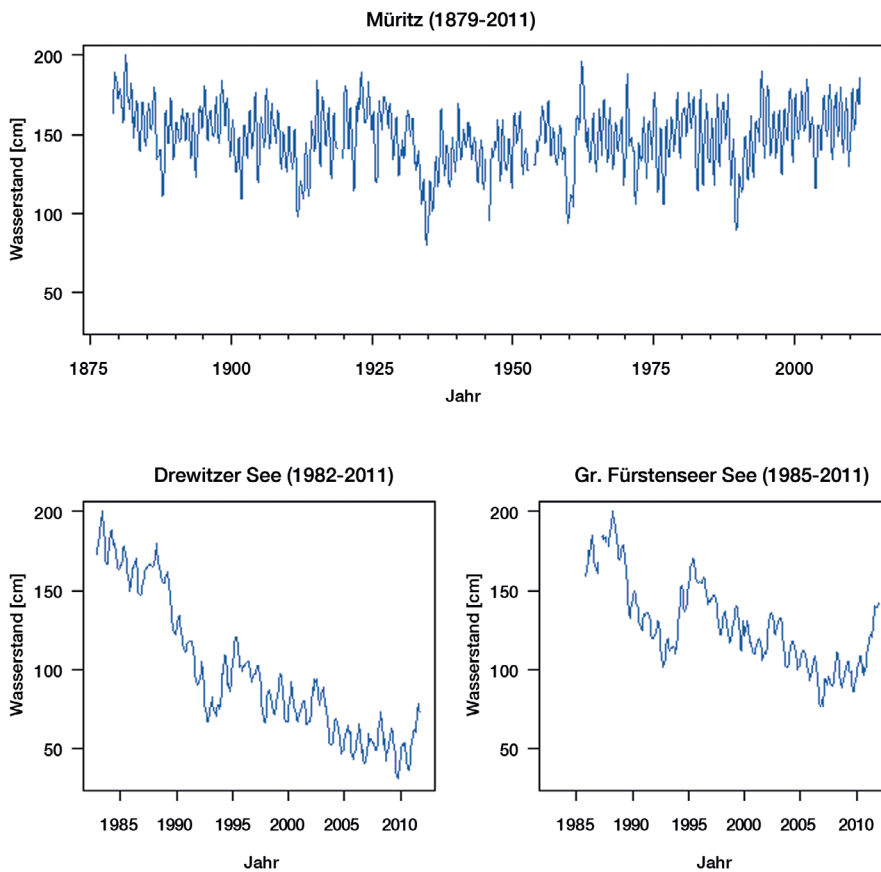


Abb. 2: Beispiele von unterschiedlich langen Seespiegelzeitreihen (Seepegel-Beobachtungsdaten). Die Müritz ist ein staugeregelter See. Der Drewitzer See und der Große Fürstenseer See sind Grundwasserseen, die natürlicherweise über keine oberirdischen Abflüsse verfügen.

Fig. 2: Examples of lake gauge data series of different observation intervals. Lake Müritz is an artificially dammed lake. Lake Drewitzer See and lake Großer Fürstenseer See are groundwater-fed lakes, having no natural outlet.

Endseen, die von Natur aus abflusslos sind. Darüber hinaus gibt es Seen (zumeist staugeregt), die einen quasi-konstanten Seespiegel aufweisen und auch solche mit ansteigendem Seespiegel. Letztere sind vor allem mit Staumaßnahmen im Rahmen von (Naturschutz-) Revitalisierungsmaßnahmen verknüpft (Kaiser, 2012a).

Paläohydrologische Seespiegelrekonstruktion

Am Beispiel einiger durch die Universität Greifswald und das GFZ untersuchter Seen der Mecklenburgischen Seenplatte können auf der Grundlage von Bohrungen und Aufschlüssen Aussagen zur langfristigen Wasserstandsentwicklung abgeleitet werden. Zudem liefern archäologische Fundplätze und geomorphologische Befunde Hinweise auf hydrologische Veränderungen (z. B. Lampe et al., 2009, Kaiser et al., 2012b, Lorenz, 2012; Abb. 3, 4).

Im Spätglazial der Weichselkaltzeit (etwa 15 000 bis 11 500 Jahre vor heute) führten – teilweise unter Permafrostbedingungen – vermehrte Oberflächenabflüsse zu hohen Wasserstandsständen (Abb. 5, 6). Zeugnis der hohen Wasserstände sind bis heute Seeterrassen und Seesedimente im Gewässerumfeld. Mit zunehmender Erwärmung vollzog sich in der Seeumgebung eine Vegetationsentwicklung von Kältesteppen zu geschlossenen Wäldern. Torfe unterhalb von Seesedimenten und Schichtlücken in den Seesedimenten bezeugen drei bis fünf Meter tiefere Wasserstände im frühen Holozän (frühe Nacheiszeit) vor etwa 11 000 Jahren. Anschließend erfolgte ein Wasserpegelanstieg, der über weite Abschnitte des mittlere-

ren Holozäns (etwa 9000 bis 6000 Jahre vor heute) anhielt. Der Trend steigender Seespiegel wird vor etwa 6000 Jahren durch eine Trockenphase beendet. Aufgrund anthropogen verursachter Vegetationsveränderungen (z. B. Umwandlung von Wald in Acker und Grünland) muss etwa seit dieser Zeit mit hydrologischen Wirkungen auf die Seen durch eine veränderte Grundwasserneubildung gerechnet werden. In den vorgestellten Seen zeichnet sich für die Bronzezeit (um 3000 Jahre vor heute) eine Phase niedriger Wasserstände ab. Nach einem Abschnitt mit tendenziell erhöhten Wasserständen vor etwa 2500 bis 1500 Jahren kommt es während des mittelalterlichen Klimaoptimums (etwa 10. bis 12. Jahrhundert) zu einem erneuten Absinken der Wasserstände. Zahlreiche slawische Fundplätze in Seen der Mecklenburgischen Seenplatte bezeugen früh- bis hochmittelalterliche Wasserstände, die etwa ein bis zwei Meter unter dem heutigen Niveau lagen. Ab dem 13. Jahrhundert wird der Trend klimabedingt steigender Seespiegel durch die hydrologischen Auswirkungen des mittelalterlichen Wassermühlenbaus (Mühlenstau) und der großflächigen Entwaldungen im Zuge der deutschen Ostkolonisation verstärkt. Zwischen dem 13. und 18. Jahrhundert verharrten die Wasserstände vieler Seen auf einem Niveau, das ein bis zwei Meter über dem gegenwärtigen lag. Abbild dieser hohen Wasserstände sind Seeterrassen und Strandwälle oberhalb des heutigen Wasserspiegels, die beispielhaft an den Ufern der Müritz ausgebildet sind (Abb. 4). Beginnend im 13. Jahrhundert und verstärkt seit dem 18. Jahrhundert wurde der Wasserhaushalt der meisten Seen erheblich anthropogen beeinflusst. Durch technische Bauwerke (Wehre, Schleusen, Kanäle) wurde allgemein eine starke Regulierbarkeit des Gewässernetzes erreicht.

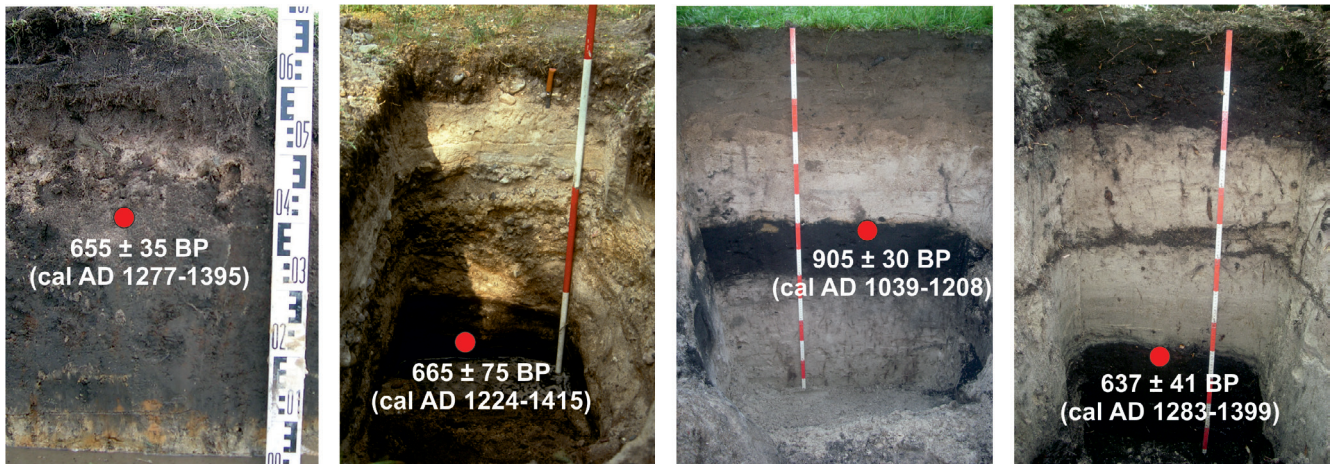


Abb. 3: Datierte Seeuferprofile von der Müritz (beide links) und vom Großen Fürstenseer See (beide rechts). Oberhalb von mittels Radiokohlenstoffanalysen datierten fossilen Bodenbildungen (rote Punkte) lagern Seesande, die einen mittelalterlichen bis neuzeitlichen Wasserspiegelanstieg in beiden Seen nachweisen.

Fig. 3: Dated sedimentary sequences from the lake shores of lake Müritz (both left) and lake Großer Fürstenseer See (both right). Palaeosols, dated by radiocarbon analyses (red dots), are overlain by lacustrine sands, indicating a Mediaeval to post-Mediaeval lake-level rise in both lakes.

Die beschriebenen Seespiegelveränderungen sind zum einen Ausdruck der langfristigen Klimavariabilität. Zum anderen greift der Mensch seit etwa 800 Jahren aktiv in den Wasserhaushalt ein. Demzufolge sind nicht nur klimatische Faktoren wie z. B. Niederschlag und Verdunstung in der den Seespiegel steuernden lokalen Wasserbilanz zu berücksichtigen, sondern auch die direkten und indirekten Einflüsse infolge der anthropogenen Landschaftsnutzung.

Hydrologische Variabilität – vom Wert langer Zeitreihen

Die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Umgang mit dem Wasserhaushalt in Nordostdeutschland – z. B. die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, die Revitalisierung des Wasserhaushalts, der Moorschutz und die Anpassung an eine mögliche Wasserverknappung infolge des Klimawandels (Kaiser et al., 2010, Hüttel et al., 2011) – benötigen allgemein ein vertieftes Verständnis der langfristigen hydrologischen Dynamik. So ist es beispielsweise von großer Bedeutung zu wissen, welche Höhe maximale Flusshochwasser in der Vergangenheit unter gegenüber heute vergleichbaren klimatischen Bedingungen erreichten, ob es historische Parallelen für minimal zu erwartende Grundwasser- und Seespiegelstände gibt oder wie der ökologisch-hydrologische (Referenz-) Zustand von Flussauen und Seebecken vor dem Beginn nennenswerter anthropogener Umgestaltungen war.

Die klimatische Entwicklung im 20./21. Jahrhundert weist in Nordostdeutschland offensichtlich eine „warm-trockene“ Tendenz auf. Regional lässt sich anhand des langfristigen Trends sinkender Grundwasser- und Seespiegel folgern: das Wasser

in der Landschaft wird knapper – dies nicht zuletzt auch durch die direkten und indirekten menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt.

Relativ warm-trockene Verhältnisse herrschten aber auch schon in vergangenen Klimaperioden in den letzten etwa 11500 Jahren mit der Folge gegenüber heute um mehrere Meter tiefer liegender See- und Grundwasserspiegel. Werden wir zukünftig klimatisch-hydrologische Bedingungen haben, die diesen Trockenperioden entsprechen? Wenn z. B. nach dem möglichen „Tiefpunkt“ des gegenwärtigen Trends fallender Grundwasser- und Seespiegel bzw. nach einer möglichen Zyklizität/Periodizität von Wasserhaushaltsgrößen gefragt wird, so ist neben einer hydrologischen Modellierung der gegenwärtigen und der möglichen zukünftigen Situation auch ein Blick in die Vergangenheit hilfreich. Entsprechende Rekonstruktionen helfen, ein gut nachvollziehbares Bild der komplexen Vorgänge auf der Landschaftsebene zu geben.

Insgesamt stehen in Nordostdeutschland die paläohydrologische Forschung und die Ableitung langer hydrologischer Zeitreihen anhand von Proxydaten erst am Beginn. Dieses vielversprechende Forschungsfeld soll in den kommenden Jahren vor allem im Rahmen des vom GFZ koordinierten Helmholtz-Vorhabens ICLEA vorangebracht werden. Diese Arbeiten tragen mit ihren Befunden wesentlich zu einem verbesserten Verständnis der mittel- und langfristigen Landschaftsentwicklung, speziell der Differenzierung in natürliche (Klima-) und anthropogene (Landnutzungs-) Einflüsse bzw. Ursache-Wirkungs-Bezüge bei.



Abb. 4: Seeterrasse am Westufer der Müritz mit Ableitung eines historischen Wasser-spiegels

Fig. 4: Lake terrace at the western shore of lake Müritz with indication of a historical water level

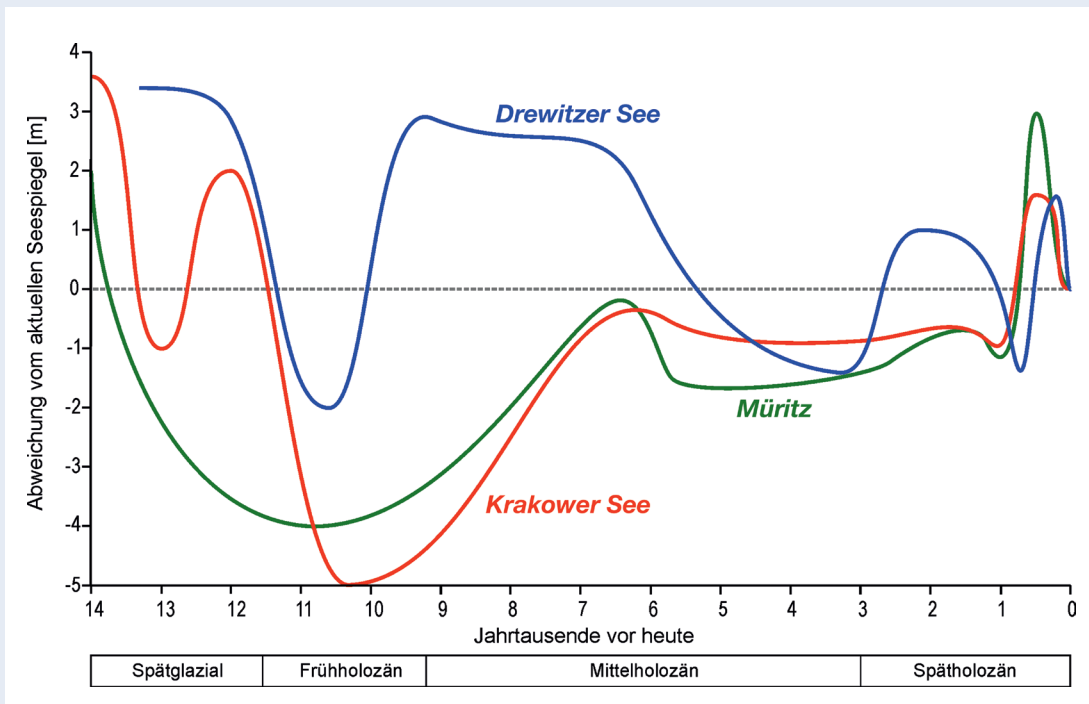


Abb. 5: Langfristige Seespiegelenwicklung im Holozän (Nacheiszeit) für drei ausgewählte Seen der Mecklenburgischen Seenplatte. Die Rekonstruktion beruht auf geomorphologischen, limnogeologischen und paläoökologischen Befunden.

Fig. 5: Long-term lake-level development in the Holocene (Postglacial) for three selected lakes of the Mecklenburg Lake District. The reconstruction is based on geomorphological, limnogeological and palaeoecological records.

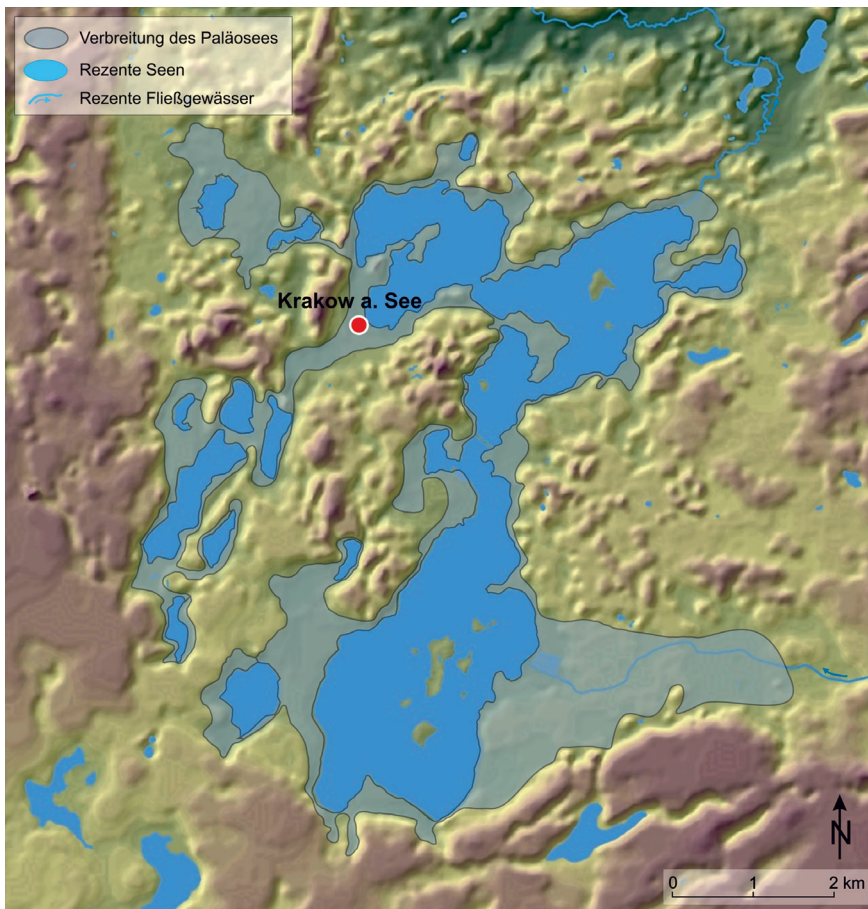


Abb. 6: Spätglaziale Erstreckung des Krakower Sees bei einem Seespiegel von mindestens 3 m über dem heutigen Niveau. Dieser Paläosee (grau schattiert) aus dem „Prä-Allerød“ (etwa 13 400 Jahren vor heute) vereinigte viele heute separate Seen.

Fig. 6: Lateglacial area of lake Krakower See with a lake level of at least 3 m above the recent level. This palaeolake (shaded in grey) dating into the „Pre-Allerød“ (before around 13 400 years before present), incorporated several currently separate lakes.

Literatur

- Germer, S., Kaiser, K., Bens, O., Hüttl, R. F. (2011): Water Balance Changes and Responses of Ecosystems and Society in the Berlin-Brandenburg Region - a Review. - *Die Erde*, 142, 1-2, 65-95.
- Hüttl, R. F., Emmermann, R., Germer, S., Naumann, M., Bens, O. (Eds.) (2011): *Globaler Wandel und regionale Entwicklung: Anpassungsstrategien an globale Herausforderungen in der Region Berlin-Brandenburg*, Berlin [u.a.], 197 p.
- Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R. F. (2010): Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen, (Scientific Technical Report, 10/10), Potsdam, 239 p.
- Kaiser, K., Friedrich, J., Oldorf, S., Germer, S., Mauersberger, R., Natkhin, M., Hupfer, M., Pingel, P., Schönfelder, J., Spicher, V., Stüve, P., Vedder, F., Bens, O., Mietz, O., Hüttl, R. F. (2012): Aktuelle hydrologische Veränderungen von Seen in Nordostdeutschland: Wasserspiegeltrends, ökologische Konsequenzen, Handlungsmöglichkeiten - In: Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R. F., Kaiser, K., Knierim, A. (Eds.), *Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel in Deutschland*, 299 p.
- Kaiser, K., Lorenz, S., Germer, S., Juschus, O., Küster, M., Libra, J., Bens, O., Hüttl, R. F. (2012): Late quaternary evolution of rivers, lakes and peatlands in northeast Germany reflecting past climatic and human impact - an overview. - *E&G Eiszeitalter und Gegenwart = Quaternary Science Journal*, 61, 2, 103-132.
- Lampe, R., Lorenz, S., Janke, W., Meyer, H., Küster, M., Hübener, T., Schwarz, A. (2009): Zur Landschafts- und Gewässergeschichte der Müritz: umweltgeschichtlich orientierte Bohrungen 2004-2006 zur Rekonstruktion der nacheiszeitlichen Entwicklung, (Forschung und Monitoring ; 2), Greifswald.
- Lorenz, S. (2012): Die spätpleistozäne und holozäne Gewässernetzentwicklung im Bereich der Pommerschen Haupteisrandlage Mecklenburgs, Greifswald (Geozon Science Media).
- Merz, B., Kaiser, K., Bens, O., Emmermann, R., Flühler, H., Grünewald, U., Negendank, J. F. W. (2012): Klimawandel und Wasserhaushalt - In: Hüttl, R. F., Bens, O. (Eds.), *Georessource Wasser - Herausforderung Globaler Wandel*, (Acatech-Studie), Springer, 24-90.
- Zacharias, S., Bogena, H., Samaniego, L., Mauder, M., Fuß, R., Pütz, T., Frenzel, M., Schwank, M., Baessler, C., Butterbach-Bahl, K., Bens, O., Borg, E., Brauer, A., Dietrich, P., Hajnsek, I., Helle, G., Kiese, R., Kunstmann, H., Klotz, S., Munch, J. C., Papen, H., Priesack, E., Schmid, H. P., Steinbrecher, R., Rosenbaum, U., Teutsch, G., Vereecken, H. (2011): A network of terrestrial environmental observatories in Germany. - *Vadose Zone Journal*, 10, 3, 955-973, 10.2136/vzj2010.0139.

Weitere Informationen:

www.tereno.net (Helmholtz-Vorhaben TERENO)

www.iclea.de (Helmholtz-Virtuelles Institut ICLEA)