

Aus der Professur für Bodenphysik
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Zusammenfassung der kumulativen Dissertation

Seawater effects on water flow and solute mobility in peat soils

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von Dipl.-Hydrol. Lennart Gosch
wohnhaf in Rostock

Verteidigung am 28. Oktober 2021

SUMMARY

The climate change-induced sea-level rise exposes more and more low-lying coastal areas to an increased temporary or permanent seawater influence. The resulting soil salinization has distinct consequences for organic peat soils, whose physicochemical properties are more likely to change during seawater inflow than they would for mineral soils. The high ion load of seawater including sodium (Na^+), chloride (Cl^-) and sulfate (SO_4^{2-}) affects the organic peat matrix leading to potential changes in water flow, solute transport and solute release.

This thesis aimed to reveal and quantify the seawater effects on these peat soil processes using different laboratory flow-through experiments. Therefore, intact soil cores were taken from drained fens, which represent the most common peatland type in the southern Baltic Sea region. The peat cores were exposed to fresh, brackish or ocean water treatments and parameters of water flow, solute transport and solute release were monitored. Additionally, sea-exposed peat from a coastal fen was included in the experiments to explore its solute exchange behavior as a marine sediment as well as potential long-term seawater effects.

The peat's saturated hydraulic conductivity (K_s), the key soil parameter for water flow, showed a decreasing trend with test time and was not affected by a change of water salinity. This was unexpected as previous studies on bog peat reported a salinity-induced increase of K_s , which was attributed to a chemical pore dilation. Presumably, the non-occurrence of the pore dilation is linked to the tested peat's chemistry and could be due to elevated iron contents, which are often featured by drained fens. Iron oxides may interfere with salinity-induced precipitation processes and delay an increase in K_s and thus a more widespread distribution of sea salts in the peatland.

In terms of solute transport, all peats exposed to saline conditions showed typical non-equilibrium flow patterns analogue to freshwater conditions. Sulfate transport resembled bromide transport and thus had a conservative (i.e. non-reactive) character. Sulfate reduction required an input solution additionally enriched in acetate, which served as a labile organic carbon source for sulfate-reducing bacteria. Even then sulfate reduction only occurred after a lag time of 17 days, which may be attributed to an initial inhibitory iron reduction. With the beginning of sulfate reduction, an increased release of dissolved carbon, nitrogen and phosphorus was observed, which demonstrates the risk for nutrient release in case of peat decomposition.

The release of dissolved organic carbon (DOC) slightly increased with rising water salinity, which — just like the decrease in K_s — contradicts results of previous studies, which reported an abrupt decrease in DOC release after a rise in salinity. It stands to reason that this fact is likewise related to the peat's chemistry and could be attributed to anion exchange processes that may occur on organometallic complexes. Conversely, the sea-exposed peat released during alternating saltwater-freshwater inflows

more DOC and also more carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) under less saline conditions, underlining the peat's potential as carbon source for the marine environment in case of freshwater submarine groundwater discharge (SGD).

Overall, short-term seawater effects on water and matter fluxes in peat depend on the environmental conditions, which are in turn strongly affected by the peatland's land-use history, and therefore differ considerably among peatlands. The interaction of geochemical and hydrophysical soil properties determines the mobility of solutes. Initial leaching and desorption processes and, later on, an enhanced, sulfate-related decomposition of organic matter may lead to nutrient emission into adjacent aquatic ecosystems. However, the analysis of the sea-exposed peat indicated that in case of long-term seawater submergence most of the geochemical and hydrophysical peat properties may remain rather unaffected.

ZUSAMMENFASSUNG

Der klimawandelbedingte Anstieg des Meeresspiegels setzt immer mehr tiefliegende Küstengebiete einem erhöhten temporären oder dauerhaften Meerwassereinfluss aus. Die daraus resultierende Bodenversalzung hat spezifische Auswirkungen für organische Torfböden, deren physikochemische Eigenschaften durch Meerwasserzufluss stärkeren Veränderungen unterworfen sind als es für mineralische Böden der Fall ist. Die hohe Konzentration an Salzionen wie Natrium (Na^+), Chlorid (Cl^-) und Sulfat (SO_4^{2-}) beeinflusst die organische Torfmatrix, was zu Änderungen des Wasserflusses sowie des Transports und der Freisetzung gelöster Stoffe führen kann.

Ziel dieser Doktorarbeit war es, Meerwassereffekte auf diese Torfbodenprozesse mithilfe verschiedener Säulenexperimente in Laborversuchen aufzuzeigen und zu quantifizieren. Dafür wurden ungestörte Bodenproben in entwässerten Niedermooren genommen, die in der südlichen Ostsee-Region den häufigsten Moortyp darstellen. Die Proben wurden einem Zufluss von Süß-, Brack- oder Meerwasser ausgesetzt und Parameter hinsichtlich Wasserfluss, Stofftransport und Stofffreisetzung messtechnisch überwacht. Zusätzlich wurde meerexponierter Torf aus einem Küstenniedermoor in die Experimente integriert, um sein Stoffaustauschverhalten als marines Sediment sowie potenzielle Langzeitmeerwassereffekte zu untersuchen.

Die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (K_s), der wichtigste Bodenparameter für den Wasserfluss, zeigte für die in dieser Arbeit untersuchten Niedermoor torfe während der Messung einen abnehmenden Trend und keine Abhängigkeit vom Salzgehalt des Wassers. Dies war unerwartet, da frühere Studien an Hochmoortorf von einem steigenden Effekt einer erhöhten Salinität auf K_s berichten, der einer chemischen Porenaufweitung zugeschrieben wurde. Das Ausbleiben dieses Effektes ist vermutlich auf die Torfchemie zurückzuführen und könnte mit dem für entwässerte Niedermoore typischen erhöhten Eisengehalt zusammenhängen. Eisenoxide können sich störend auf salinitätsbedingte Fällungsprozesse auswirken und somit einen Anstieg von K_s und damit eine umfänglichere Verteilung der Seesalze im Moor verzögern.

Hinsichtlich des Stofftransports zeigten alle untersuchten Torfe unter Salzwasserbedingungen typische Ungleichgewichts-Strömungsmuster, wie sie auch unter Süßwasserbedingungen beobachtet werden. Der Sulfattransport ähnelte dem Bromidtransport und war folglich als konservativ, d.h. nicht reaktiv, einzustufen. Eine Sulfatreduktion setzte nur bei einer Eingangslösung ein, die mit Acetat angereichert war, welches den sulfatreduzierenden Bakterien als leicht verfügbare Kohlenstoffquelle dient. Selbst in diesem Fall trat die Sulfatreduktion nur mit einer Verzögerungszeit von 17 Tagen ein, was auf eine anfänglich hemmende Eisenreduktion zurückzuführen sein könnte. Mit dem Eintreten der Sulfatreduktion wurde eine verstärkte Freisetzung von gelöstem Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor beobachtet, was das Risiko für Nährstoffaustrag im Fall von Torfzersetzung aufzeigt.

Die Freisetzung von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) nahm mit steigender Salinität etwas zu, was — analog zu den Ergebnissen für K_s — früheren Studien widerspricht, nach denen die DOC-Freisetzung mit steigender Salinität abrupt abfällt. Es liegt nahe, dass dieser Umstand ebenfalls mit der Torfchemie zusammenhängt und ihm Anionen-Austauschprozesse an metallorganischen Komplexen zugrunde liegen könnten. Dagegen setzte der meeresexponierte Torf bei wechselndem Salz- und Süßwasserzufluss mehr DOC und auch mehr Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Methan (CH_4) unter salzarmen Bedingungen frei, was seine potenzielle Wirkung als Kohlenstoffquelle für die marine Umwelt im Fall von süßwassergespeisten submarinem Grundwasseraustritt (SGD) hervorhebt.

Insgesamt hängen kurzfristige Meerwasserauswirkungen auf Wasser- und Stoffflüsse im Torf von den Umweltbedingungen im Moor ab, welche stark von der Landnutzung beeinflusst werden, wodurch die Auswirkungen sich je nach Standort stark voneinander unterscheiden können. Dabei bestimmt das Zusammenspiel von geochemischen und hydrophysikalischen Bodenparametern die Mobilität gelöster Stoffe. Anfängliche Auswaschungs- und Desorptionsprozesse und eine später einsetzende sulfatbasierte Zersetzung von organischem Material können zu Nährstoffaustrag in angrenzende aquatische Ökosysteme führen. Allerdings deutet die Analyse des meeresexponierten Torfes darauf hin, dass im Fall einer langfristigen Überflutung mit Meerwasser die meisten geochemischen und hydrophysikalischen Torfparameter weitgehend unbeeinflusst bleiben.