

Einleitung

Derzeitige Klimamodelle sagen einen Anstieg des mittleren Meeresspiegels und höhere Niederschläge im Nordseeraum voraus. Dies führt zu einem anwachsenden Grundwasserspiegel. Des Weiteren ist mit verstärkter Auswaschung von Nährstoffen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie mit einem erhöhten Eintrag von Schadstoffen aus Industriegebieten und Deponien ins Grundwasser zu rechnen.

CLIWAT ist ein länderübergreifendes EU-Interreg-Projekt mit Partnern aus Belgien (Universität Gent), den Niederlanden (TNO, VITENS, Provincie Fryslan, Wetterskip Fryslan), Deutschland (LIAG, LLUR, SEECON, BGR) und Dänemark (Region Midtjylland, GEUS, Region Syddanmark, Environment Centre Aarhus, Environment Centre Ribe, Universität Aarhus, Gemeinde Horsens). Es werden die Auswirkungen eines möglichen Klimawandels auf Grundwassersysteme, Oberflächenwässer sowie die Lage der Süß-/Salzwassergrenze im Bereich der Nord- und Ostsee untersucht. Dazu finden in den sieben Zielgebieten des Projekts (Abb. 1) geologische Untersuchungen und geophysikalische Messungen statt. Die gewonnenen Daten fließen in die hydrologische Modellierung der jeweiligen Grundwasserstrukturen ein.

Die Aufgabe der BGR umfasst die aerogeophysikalische Erkundung von Teilgebieten aus **B**, **C** und **E** (Abb. 1). Durch den Leitfähigkeitskontrast zwischen Süß- und Salzwasser bzw. Sanden und Tonen lassen sich bestehende Grundwasserstrukturen sowie Versalzungszone, hervorgerufen durch eindringendes Meerwasser, erkunden. Die Elektromagnetik ist sensitiv gegenüber der Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund und eignet sich somit für die gegebene Fragestellung.

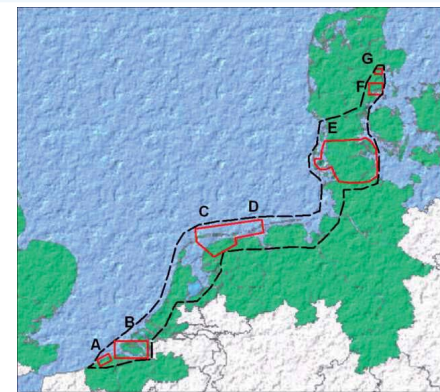
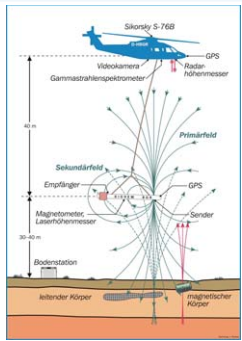


Abb. 1: CLIWAT Zielgebiete: **A** Belgische Mittelküste (**B**), **B** Zeeland (B/NL), **C** Terschelling und Nordfriesland (NL), **D** Borkum (**D**), **E** Schleswig und Südjütland (**D/DK**), **F** Egebjerg (**DK**), **G** Fluss Aarhus (**DK**)



Messsystem

Das Hubschraubermesssystem der BGR (Abb. 2) besteht aus einem Frequenzelektromagnetik-System (HEM-System), einem Cäsium-Magnetometer sowie einem 256-Kanal-Gammastrahlenspektrometer. Die sechs Messfrequenzen des HEM-Systems sind $f = 387, 1820, 5400, 8390, 41440, 133300$ Hz. Der Spulenabstand zwischen Sender- und Empfängerspulen beträgt jeweils rund 8 m. Bis auf das Spulenpaar der dritten Frequenz, welches vertikal-koaxial angeordnet ist, sind die Spulenpaare horizontal-koplanar orientiert. Bei einer Samplingrate von 10 Hz und einer Fluggeschwindigkeit von etwa 140 km/h ergibt sich ein Messpunkt-Abstand von etwa 4 m.

Abb. 2: Hubschraubermesssystem der BGR

Befliegungen in Zeeland

Die Messgebiete Schouwen und Perkpolder liegen in der Provinz Zeeland, Niederlande (Gebiet **B**). Sie sind etwa 60 km² bzw. 50 km² groß. An je zwei Tagen wurden rund 360 bzw. 230 Profilkilometer geflogen. Der Abstand der Profile bzw. Kontrollprofile beträgt bei beiden Messgebieten 200 m bzw. 500 m. Die HEM-Daten wurden für jeden Messpunkt mit einem Marquardt-Levenberg 1D-Algorithmus (Siemon et al., 2009) in ein 3-Schicht-Modell invertiert. Anschließend wurden Tiefenschnitte über die gesamte Fläche des Messgebiets erstellt (Abb. 3 und 8). Die Mächtigkeit des Süßwasseraquifers ergibt sich damit durch Aufsummierung der Schichten mit einem spezifischen elektrischen Widerstand $\rho > 10 \Omega\text{m}$. Die für die Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstands bzw. der Aquifermächtigkeit verwendeten Farbkeile sind in Abbildung 6 bzw. 7 zu sehen. Zusätzlich sind die Inversionsergebnisse entlang der Profile zu den in Abbildung 5 und 10 dargestellten vertikalen Widerstandsverteilungen zusammengesetzt worden. Die Abbildungen zeigen in der obersten Zeile die Daten für die fünf horizontal-koplanaren Spulenpaare. Darunter ist die vertikale Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands abgebildet. Die unterste Zeile beinhaltet den Anpassungsfehler der Inversion.

Schouwen

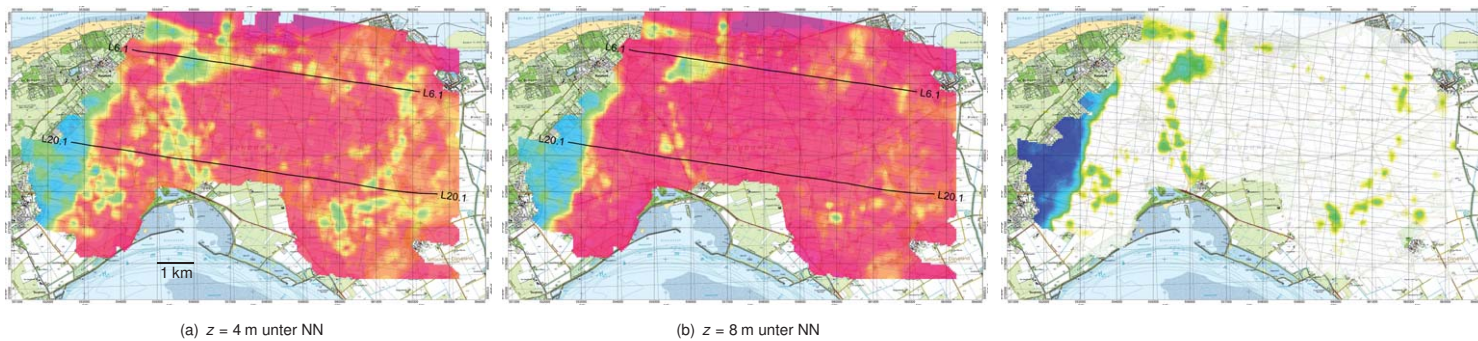


Abb. 3: Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstands in 4 und 8 m unter NN

Abb. 4: Aquifermächtigkeit in m, für $\rho > 10 \Omega\text{m}$

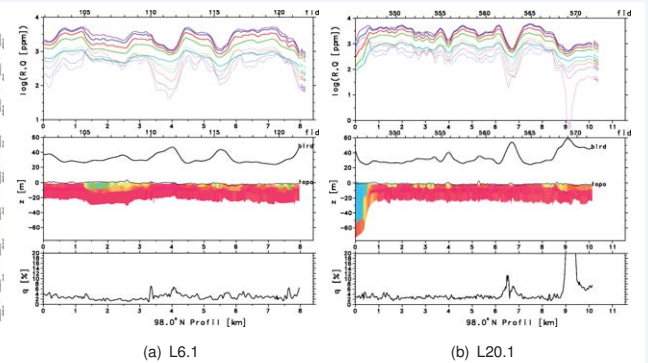


Abb. 5: Vertikale Widerstandsverteilung für zwei Profile

Gut leitende Gebiete mit spezifischen elektrischen Widerständen $\rho < 3 \Omega\text{m}$ zeigen salzwasserführende, schlecht leitende Bereiche ($\rho > 10 \Omega\text{m}$) süßwasserführende Strukturen an. Im Messgebiet Schouwen liegt die Süß-/Salzwassergrenze im westlichen Bereich (Dünen) bei ≥ 50 m unter NN, sonst bei ≤ 10 m unter NN (Abb. 3-5).

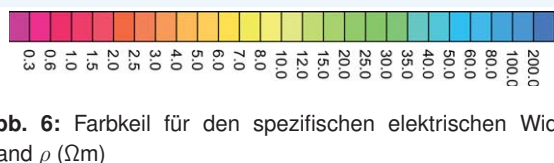


Abb. 6: Farbkeil für den spezifischen elektrischen Widerstand ρ (Ωm)



Abb. 7: Farbkeil für die Aquifermächtigkeit (m)

Perkpolder

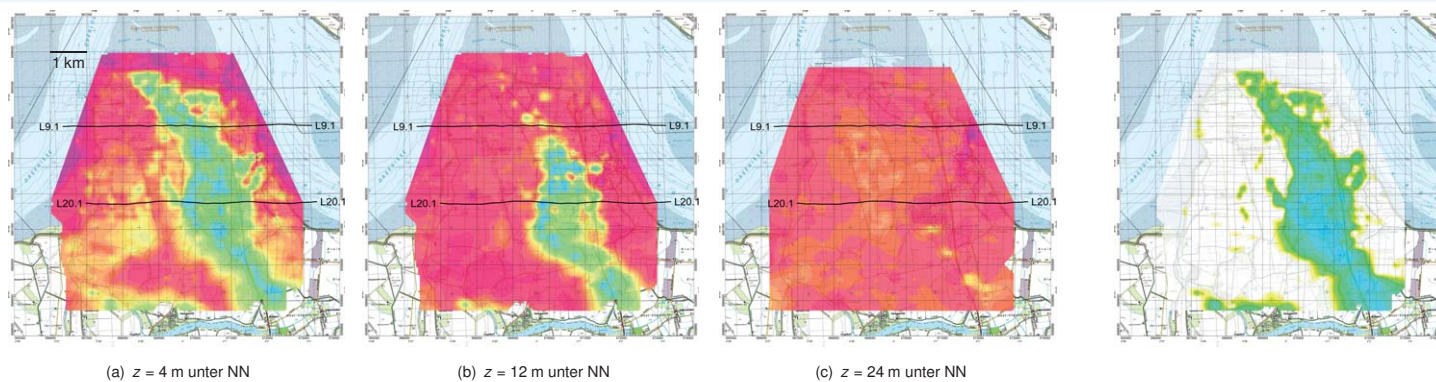


Abb. 8: Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstands in 4, 12 und 24 m unter NN

Abb. 9: Aquifermächtigkeit in m, für $\rho > 10 \Omega\text{m}$

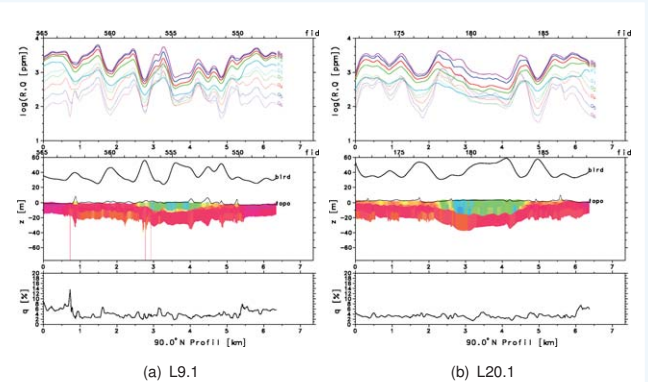


Abb. 10: Vertikale Widerstandsverteilung für zwei Profile

In den Abbildungen 8-10 ist eine NW-SE streichende süßwasserführende Struktur zu erkennen. Die Grenze zwischen Süß- und Salzwasser liegt dort bei bis zu 30 m unter NN. Mit zunehmender Tiefe zieht sich das Süßwasser nach Süden zurück.

Ausblick

Die gewonnenen Daten fließen in die hydrologische Modellierung der jeweiligen Grundwasserstrukturen ein, welche von den Projektpartnern umgesetzt wird. Durch Simulationsrechnungen basierend auf verschiedenen Klimaszenarien soll insbesondere die Gefährdung der bestehenden Süßwasserressourcen untersucht werden.

Literatur

Siemon, B., Auken, E., & Christiansen, A. V. (2009). Laterally constrained inversion of helicopter-borne frequency-domain electromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 67, 259–268.