

# Regionale Grundwassererkundung unter Berücksichtigung des Klimawandels mit GIS-AHP-Ensembles

Im Rahmen der **Anpassung an einen steigenden Trinkwasserbedarf und die Einflüsse des Klimawandels** kann die Erschließung neuer Grundwassergewinnungsgebiete in bisher wenig beanspruchten Grundwasserkörpern eine zielführende Maßnahme darstellen. Der Beitrag stellt in diesem Kontext ein multikriterielles Entscheidungsunterstützungsverfahren vor (GIS-AHP-Ensembles), das es ermöglicht, auf regionaler Ebene geeignete Gebiete für die weiterführende Grundwassererkundung einzugrenzen. Dabei können sowohl **die Problemwahrnehmungen unterschiedlicher Fach- und Interessengruppen** als auch Einflüsse des Klimawandels berücksichtigt werden. Die verwendete Methodik stellt eine Weiterentwicklung des etablierten GIS-AHP-Verfahrens dar – **mit dem übergeordneten Ziel, Konflikte zwischen unterschiedlichen Stakeholdern** bei der Standortwahl zu mitigieren. Zur Veranschaulichung dient ein Fallbeispiel der regionalen Grundwassererkundung im Verbandsgebiet des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbands (OOWV).

von: Dr.-Ing. Konstantin W. Scheihing, Dr. Christine Kübeck & Uwe Sütering (alle: Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband)

Der globale Wandel beeinflusst die Trinkwasserwirtschaft vor allem durch Einflüsse des Klimawandels sowie demografisch und wirtschaftlich getriebene Änderungen des Wasserbedarfs. Die durch den Klimawandel erwarteten Auswirkungen auf die Grundwasserbewirtschaftung in Deutschland umfassen für die Periode 2020 bis 2050 eine saisonale Steigerung des Wasserbedarfs und assoziierter Spitzenlasten sowie eine Zunahme von sommerlichen Dürreperioden. Da der weitaus größte Teil des Wasserbedarfs in Deutschland aus Grundwasser gedeckt wird, kann eine Erhöhung des Bedarfs in Dürreperioden zu einer saisonal erhöhten Beanspruchung stark bewirtschafteter Grundwasserkörper führen [1]. Dies könnte in Gebieten mit geringen Flurabständen (wenige Meter unter Geländeoberkante) nachteilige Auswirkungen auf grundwasserabhängige Landökosysteme, den Regenfeldbau und die Forstwirtschaft haben und ggf. nachhaltige Bewirtschaftungsziele der europäischen Wasserrahmenrichtlinie gefährden [2].

Im Verbandsgebiet des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbands im nordwestlichen Teil Niedersachsens (Abb. 2)

hat sich der jährliche Wasserbedarf vom Jahr 1975 bis zum Jahr 2021 kontinuierlich erhöht, mit einer Gesamtsteigerung von etwa 70 Prozent (Abb. 1).

Um in Zukunft unerwünschte lokale ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen von Grundwasserentnahmen, auch in Dürrephasen, besser zu mitigieren, werden

regional unterschiedliche Ansätze diskutiert. Eine Maßnahme ist die Erschließung neuer Grundwassergewinnungsgebiete in Grundwasserkörpern, die bisher wenig beansprucht sind. Ziel dieser Maßnahme ist eine Entzerrung der Grundwasserbewirtschaftung und damit eine Verringerung des saisonalen Wasserstresses für stark beanspruchte Grundwasserkörper.

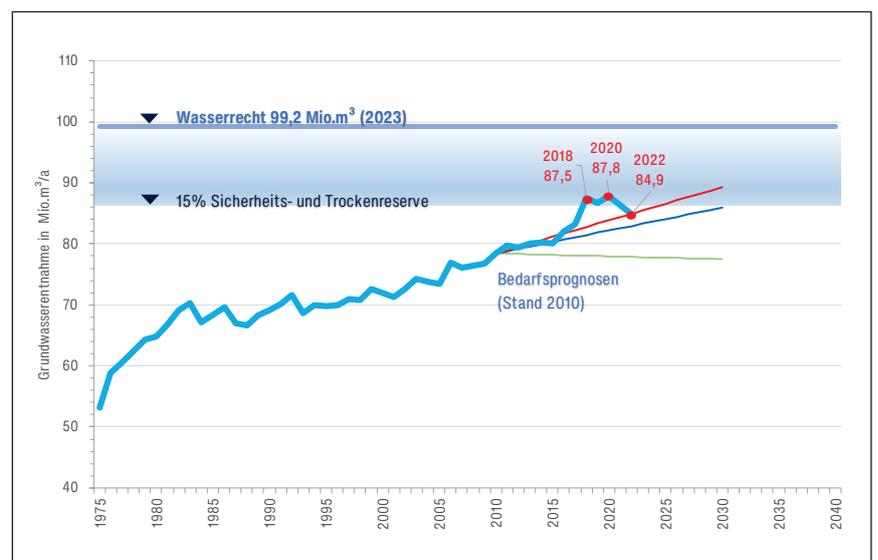


Abb. 1: Grundwasserentnahmen zur Trinkwasserbedarfsdeckung im Verbandsgebiet des OOWV von 1975 bis 2021. Die dargestellten Entwicklungsprognosen wurden im Jahr 2010 erarbeitet und deckten den damaligen Erwartungshorizont für die Bedarfsentwicklung ab. Im Dürrejahr 2018 wurden erstmalig über 85 Prozent der gültigen Gesamtgrundwasserentnahmerechte von 100 Mio. m/a ausgeschöpft, um den Trinkwasserbedarf decken zu können.

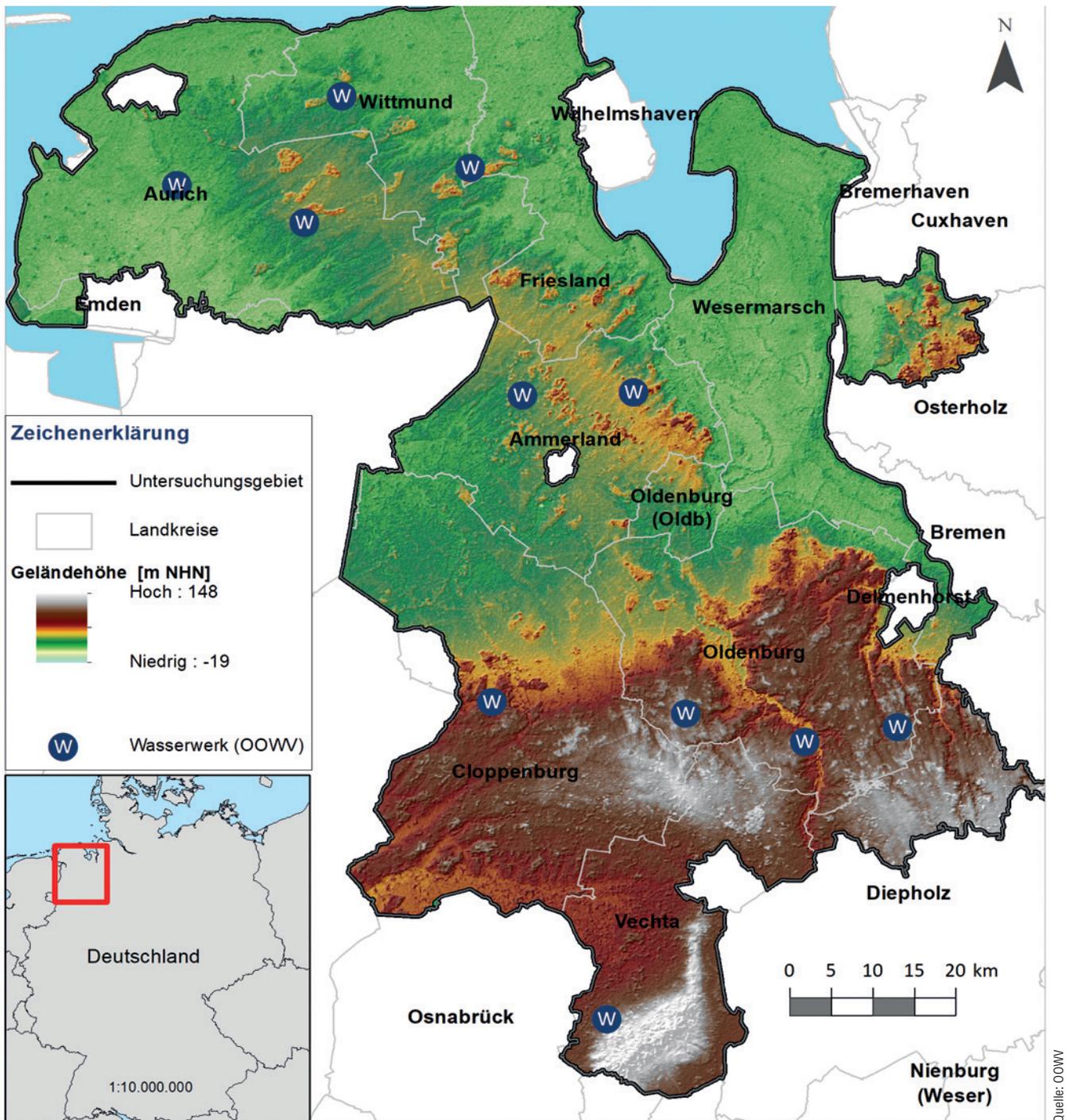


Abb. 2: Das Verbandsgebiet des OOWV (Fläche: ca. 7.800 km<sup>2</sup>)

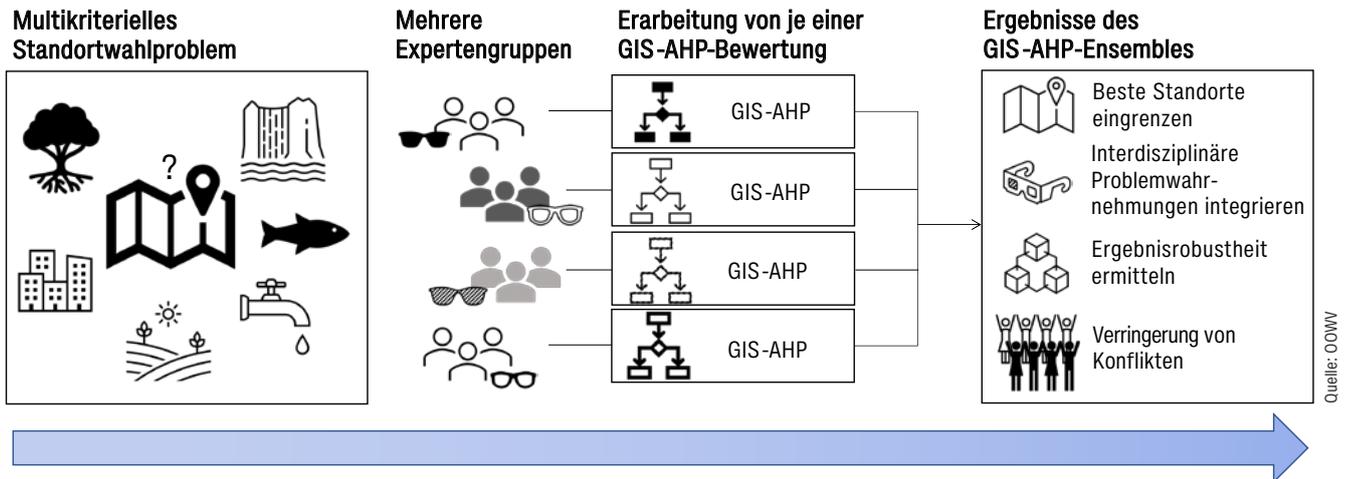
Im vorliegenden Fachbeitrag wird eine multikriterielle Entscheidungsunterstützungsmethodik vorgestellt (GIS-AHP-Ensembles). Diese erlaubt es, auf regionaler Ebene eine differenzierte Analyse und Bewertung von Standortbedingungen für die Grundwasserbewirtschaftung durchzuführen. Der Ansatz kann dabei helfen, hydrogeo-

logische Detailerkundungen für die Erschließung neuer Gewinnungsgebiete systematisch räumlich einzuschränken und mögliche Erkundungszielgebiete regional zu priorisieren. Die Methodik weist eine hohe Übertragbarkeit auf andere Standortwahlprobleme auf. Das vorgeschlagene GIS-AHP-Ensemble-Verfahren wird im Folgenden beispielhaft für das OOWV-Verbandsgebiet in Nordwestdeutschland zur Ausweisung potenzieller neuer Grundwassergewinnungsgebiete dargelegt.

### Weiterentwicklung der GIS-AHP-Methodik und Anwendung

Die GIS-AHP-Methode basiert auf dem „Analytischen Hierarchie-Prozess“ (AHP), der für die Entscheidungsunterstützung in der operativen Betriebswirtschaft entwickelt wurde [3].

Die klassische GIS-AHP-Methode stellt einen räumlich bezogenen Anwendungsfall des AHP-Verfahrens zur systematischen Entscheidungsunterstützung ▶



Quelle: OOWV

Abb. 3: Schematische Darstellung des Ablaufs der Erarbeitung eines GIS-AHP-Ensembles

zung bei multikriteriellen Standortwahlproblemen dar. Die Methodik hat bereits in einem breiten fachlichen Spektrum wissenschaftlicher Studien Anwendung gefunden und wurde auch im Fachbereich der Hydrogeologie eingesetzt.

Bei der Bewertung von Standorten für die Entwicklung neuer Grundwassergewinnungsgebiete handelt es sich jedoch nicht nur um ein multikriterielles Entscheidungsproblem. Aufgrund der Vielzahl von Betroffenen und fachlichen Perspektiven auf diese Standortwahlfrage handelt es sich zusätzlich um ein Multi-Stakeholder-Problem. Um dieser Herausforderung im Entscheidungsprozess gerecht zu werden, wurde das klassische GIS-AHP-Verfahren zu einem GIS-AHP-Ensemble weiterentwickelt. Dazu wurden mehrere regionale GIS-AHP-Standortbewertungen von unterschiedlichen Fachgruppen parallel durchgeführt und in einem GIS-AHP-Ensemble zusammengefasst (Abb. 3). Dieser erweiterte Ansatz ermöglicht es, unterschiedliche fachliche Perspektiven auf das gleiche Standortwahlproblem zu integrieren und das Konfliktpotenzial zwischen den Fachgruppen zu verringern.

Die Bewertungskriterien (Datensätze), die als Grundlage für die einzelnen GIS-AHP-Bewertungen im vorliegenden Fallbeispiel der Vorerkundung möglicher neuer Grundwasserentnahmestandorte genutzt wurden, waren:

- Grundwasserflurabstand (Grundwasserdruckspiegel, kurz: GWD)
- Grundwasserneubildung (GWN), historisches Szenario (1980–2010) und Zukunftsszenario unter RCP 8.5 (2020–2050)
- Grundwasserschutzpotenzial (SP)
- hydrogeologische Entnahmebedingungen (E)
- amtlich ausgewiesene nutzbare Grundwasserdargebotsreserve je Teilgrundwasserkörper (DR)

Für die räumliche Standortbewertung innerhalb eines GIS müssen diese Bewertungskriterien als flächendeckende Rasterdatensätze vorliegen. Im vorliegenden Fall wurden dazu die entsprechenden amtlichen Datensätze des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG) genutzt [4–9]. Diese Datensätze stellen die besten zur Verfügung stehenden Eingangsdatsätze für die vorliegende regionale Standortbewertung dar. Um mögliche Folgen des Klimawandels zu berücksichtigen, wurde das GIS-AHP-Ensemble in einem ersten Lauf mit einer historischen Grundwasserneubildung berechnet (mGROWA18, 1980–2010) und in einem zweiten Lauf unter Berücksichtigung einer Grundwasserneubildung unter Klimaprojektionen mit dem Emissionsszenario RCP 8.5 (mGROWA18, 2020–2050) [4, 9, 10]).

In der vorliegenden Studie wurden durch fünf unterschiedliche OOWV-Fachgruppen insgesamt fünf GIS-AHP-Bewertungen mit unterschiedlichen Bewertungsschwerpunkten erarbeitet (Abb. 4). Die Fachgruppen bestanden u. a. aus Expertinnen und Experten der Fachgebiete Hydrogeologie, Hydrochemie, Wasserrecht, Wasserversorgung und Umweltverträglichkeit. Für methodische Details sei auf eine vorangegangene wissenschaftliche Publikation [11] der Autoren zu dem Verfahren verwiesen.

Über die Berechnung von zellbezogenen Mittelwerten und zellbezogenen relativen Standardabweichungen (STD) im GIS-AHP-Ensemble lassen sich flächendeckend jene Standorte identifizieren, die rechnerisch die besten Bedingungen aufweisen (Maxima der Zellenmittelwerte), mit der gleichzeitig höchstmöglichen Bewertungsübereinstimmung über alle Fachgruppen hinweg (Minima der zellbezogenen relativen STD). Die relative STD wird hier entsprechend als Indikator für die Robustheit der Standortbewertungsergebnisse innerhalb des Ensembles angeführt. Das so erarbeitete GIS-AHP-

Ensemble erlaubt eine interdisziplinäre und damit differenziertere Betrachtung des Standortwahlproblems bezüglich möglicher neuer Grundwassergewinnungsgebiete als das klassische GIS-AHP-Verfahren.

### Ergebnisse des GIS-AHP-Ensembles

Die **Abbildung 5a** zeigt den Mittelwert des GIS-AHP-Scores über alle fünf Bewertungsprofile an (GIS-AHP-Ensemble). Die Standortbewertungsskala reicht dabei in der vorliegenden Fallstudie von 0 bis 10, wobei der Wert 0 ungenügende Standortbedingungen ausweist und 10 ideale Standortbedingungen. Gebiete mit einem GIS-AHP-Score größer 6 (mindestens gut) finden sich demnach in vier Zonen, jeweils (von Nord nach Süd) im westlichen Ostfriesland, im

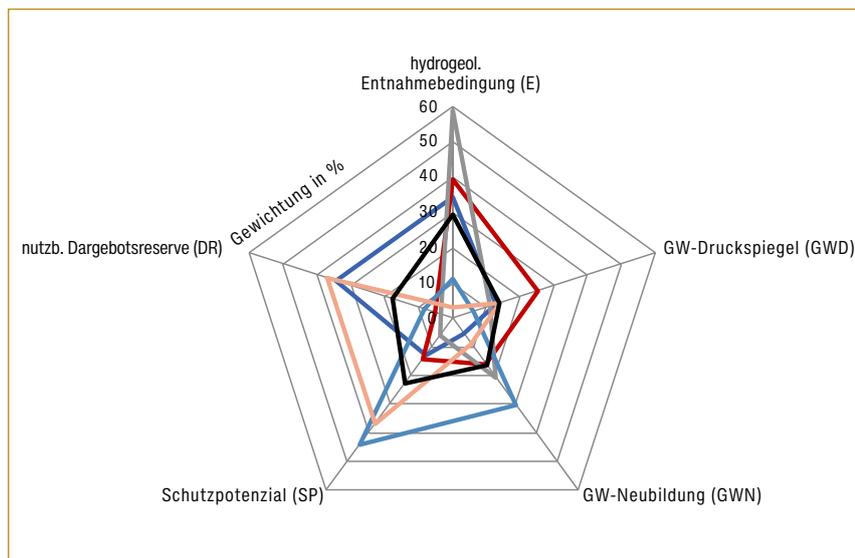
Landkreis Ammerland, in einem Gebiet, das sich vom Landkreis Oldenburg bis zum Landkreis Cloppenburg zieht, und im südlichen Teil des Landkreises Vechta. Ein Vergleich mit bisherigen Standorten, die bereits als Trinkwassergewinnungs- und -schutzgebiete (TWGSG) ausgewiesen sind, zeigt, dass TWGSG fast ausnahmslos in Gebieten verortet sind, die laut der vorliegenden Analyse einen GIS-AHP-Score größer 6 aufweisen (also gute bis sehr gute Standortbedingungen aufweisen sollten). Dieser Vergleich bestätigt die Plausibilität der Ergebnisse, da langjährig etablierte Gewinnungsgebiete als Indikator für gute Gewinnungsgebiete dienen können.

Die **Abbildung 5b** stellt die räumlich verteilte relative Standardabweichung der GIS-AHP-Scores über die fünf Bewer-

tungsprofile dar. Die relative STD ist in den Zellen am geringsten, wo alle Bewertungsprofile in einem ähnlichen GIS-AHP-Score resultieren (das gilt sowohl für geringe wie auch für hohe GIS-AHP-Scores). Die geringsten STD finden sich demnach in südlichen Teilen des Untersuchungsgebietes sowie im Landkreis Ammerland und im westlichen Ostfriesland (**Abb. 5b**).

Zusätzlich ist in **Abbildung 5c** der Mittelwert der GIS-AHP-Scores dargestellt, wenn als eines der Bewertungskriterien statt der historischen mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (1980 bis 2010) eine simulierte jährliche Grundwasserneubildung unter dem Emissionsszenario RCP 8.5 für die Periode 2020 bis 2050 angenommen wird (berechnet mit mGROWA18 und einem ausgewählten Global-/Regionalklimamodellensemble, siehe [10]). Im Gesamtergebnis wird der GIS-AHP-Score sehr gut bestätigt, obgleich sich vereinzelt Abweichungen ergeben, die mit einer geringfügig verringerten simulierten Grundwasserneubildung zusammenhängen. Auch für die entsprechende relative STD ergeben sich kaum Unterschiede (vgl. **Abb. 5**).

Weitere Nebenkriterien, die in der vorliegenden Studie noch keine Anwendung fanden, könnten identifizierte Zielgebiete weiter einschränken oder gar bis zum Verwerfen eines Zielgebietes führen. In **Abbildung 5e** ist eine Auswahl weiterer Umweltdaten abgebildet, welche für die Standortwahl zur Erschließung neuer Grundwassergewinnungsgebiete ebenfalls von Bedeutung sind. ▶



Quelle: OÖWW

**Abb. 4:** Gewichtungssprofile der Bewertungskriterien, die durch die fünf einbezogenen Fachgruppen erarbeitet wurden und den unterschiedlichen GIS-AHP-Ensemblemitgliedern zugrunde liegen (das schwarze Profil bildet den Ensemblemittelwert ab.)



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 7**, enthält Beiträge zu den Themen Sanitär-, Heizungs- sowie Lüftungstechnik und stellt Referenzobjekte sowie neue Produkte und Normen aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus u. a. mehr zu den Themen:

- **Neue Serie**  
So gelingt die Wärmewende
- **Nachhaltigkeit**  
Zuverlässige Verbindungen für nachhaltigere Gebäude
- **Korrosion**  
Optimaler Heizungsbetrieb in Neuanlagen und im Bestand

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter [www.sht-online.de](http://www.sht-online.de).  
Kostenloses Probeheft unter [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de).

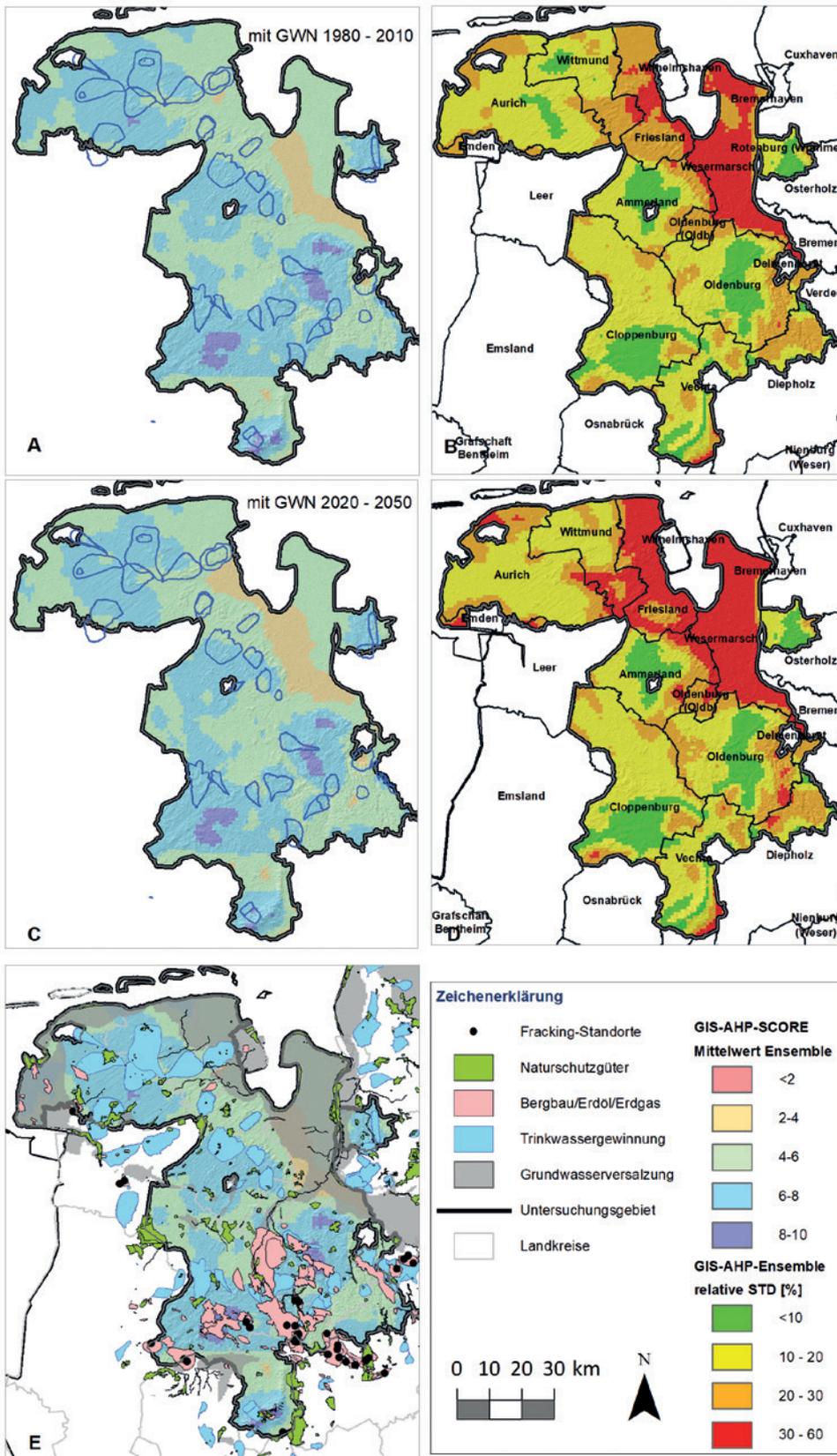


Abb. 5: Ergebnisse aus den GIS-AHP-Ensembles, a) Mittelwert der GIS-AHP-Scores über alle fünf Bewertungsprofile zusammen mit bereits existenten Trinkwassergewinnungs- und schutzgebieten, b) relative Standardabweichung der GIS-AHP-Scores über alle fünf Bewertungsprofile, c) Mittelwert der GIS-AHP-Scores über alle fünf Bewertungsprofile unter veränderter Grundwasserneubildung nach [9] für die Periode 2020 bis 2050, d) relative Standardabweichung der GIS-AHP-Scores über alle fünf Bewertungsprofile mit veränderter Grundwasserneubildung nach [9] für die Periode 2020 bis 2050, e) Darstellung des GIS-AHP-Scores aus Abbildung 5a mit weiteren relevanten Umweltdaten

### Schlussfolgerung

Die hier beschriebene GIS-AHP-Ensemble-Methodik hat gegenüber der klassischen GIS-AHP-Methodik den Vorteil, dass sie eine differenziertere Betrachtung erarbeiteter multikriterieller Standortbewertungen erlaubt – einschließlich einer Abschätzung der Robustheit der Ergebnisse mittels der Berechnung einer zellbezogenen relativen Standardabweichung über alle Ensemblemitglieder hinweg (Abb. 5b). GIS-AHP-Ensembles eignen sich daher vor allem für multikriterielle Standortwahlprobleme, bei denen eine Reihe von interdisziplinären und/oder interinstitutionellen Stakeholdern eine Einigung hinsichtlich einer Standortwahl erzielen will – auch für Standortwahlprobleme außerhalb der Grundwassererkundung. Die Art und Anzahl der einbezogenen Stakeholder ist fallabhängig. Die Methodik erlaubt im vorliegenden Fallbeispiel die räumliche Eingrenzung möglicher neuer Grundwassergewinnungsgebiete, deren wasserwirtschaftliche Erschließung in einigen Fällen als geeignete Anpassungsmaßnahme für die Trinkwasserwirtschaft an den globalen Wandel gewertet werden kann. Die durchgeführte flächendeckende Standortbewertung wird auch nach einer Neubewertung unter einer veränderten Grundwasserneubildung für die Periode 2020 bis 2050 unter Emissionszenario RCP 8.5 weitgehend bestätigt (Abb. 5c).

Die Belastbarkeit der Ergebnisse der GIS-AHP-Ensemble-Methodik für das vorliegende Untersuchungsgebiet in Nordwestdeutschland wird durch eine Plausibilitätsprüfung mit bestehenden Trinkwassergewinnungs- und -schutzgebieten bekräftigt (Abb. 5a).

Es wurde gezeigt, dass die GIS-AHP-Ensemble-Methodik dabei helfen kann, hydrogeologische Detailerkundungen für die Erschließung neuer Gewinnungsgebiete systematisch räumlich einzuschränken, vorzubereiten und Erkundungszielgebiete regional zu priorisieren. Hydrogeologische Detailerkundungen können dadurch transparent und nachvollziehbar begründet werden. GIS-AHP-Ensembles sind ein vielversprechender Ansatz, um auch in anderen Regionen mit

Quelle: COWI

einer vergleichbaren Datenbasis mögliche neue Grundwassergewinnungsgebiete einzugrenzen und dadurch Kosten für großräumige Grundwassererkundungsmaßnahmen zu reduzieren. ■

#### Literatur

- [1] Bender, S., Groth, M., Viktor, E.: Auswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Grundwassernutzung – Betroffenheiten, Handlungsbedarfe und Lösungsansätze, in: Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 26(1), 61-72 (2021).
- [2] Scheihing, K. W.: Klimawandel in Niedersachsen und mögliche Folgen für die Grundwasserbewirtschaftung: ein Review, 63, (2), 85-97 (2019).
- [3] Saaty, T. L.: How to make a decision: The analytic hierarchy process, in: European Journal of Operational Research 48(1), 9-26 (1990).
- [4] Herrmann, F., Chen, S., Heidt, L., Elbracht, J., Engel, N., Kunkel, R., Müller, U., Röhm, H., Vereecken, H., Wendland, F.: Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächen-differenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung: HyWa 57(5), 206-224 (2013).
- [5] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen: Verfahrensweise zur Abschätzung des nutzbaren Dargebots von Grundwasserkörpern und seine Aufteilung auf die Teilkörper der unteren Wasserbehörden, online unter [www.umwelt.niedersachsen.de/download/78608/Verfahrensweise\\_zur\\_Abschaetzung\\_des\\_Nutzbaren\\_Dargebots\\_von\\_Grundwasserkoerpern\\_und\\_seine\\_Aufteilung\\_auf\\_die\\_Teilkoeper\\_der\\_unteren\\_Wasserbehoerden.pdf](http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/78608/Verfahrensweise_zur_Abschaetzung_des_Nutzbaren_Dargebots_von_Grundwasserkoerpern_und_seine_Aufteilung_auf_die_Teilkoeper_der_unteren_Wasserbehoerden.pdf), abgerufen am 24. März 2021.
- [6] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen: Hydrogeologische Übersichtskarte Niedersachsen 1:200.000: Lage der Grundwasser-oberfläche, Hannover 2015.
- [7] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen: Hydrogeologische Übersichtskarte Niedersachsen 1:200.000: Schutzpotenzial der Grundwasserüberdeckung, Hannover 2015.
- [8] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen: Hydrogeologische Übersichtskarte Niedersachsen 1:200.000: Entnahmebedingungen in grundwasserführenden Gesteinen, Hannover 2016.
- [9] Ertl, G., Bug, J., Elbracht, J., Engel, N., Herrmann, F.: Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen. Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18. GeoBerichte, 36. LBEG, Hannover (2019).
- [10] Elbracht, J., Engel, N., Harders, D., Müller, U., Prause, D., Schlinsog, T., Anhalt, M., Petry, U., Schnorr, C., Becker, J., Holl, C., Hübsch, L., Jacobs, C., Schilling, P.: Klimawirkungsstudie Niedersachsen: Wissenschaftlicher Hintergrundbericht. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Hannover 2019.
- [11] Scheihing, K. W., Kübeck, C., Sütering, U.: GIS-AHP Ensembles for Multi-Actor Multi-Criteria Site Selection Processes: Application to Groundwater Management under Climate Change, in: Water, 14(11), 1793.

#### Die Autoren

**Dr. Christine Kübeck** verantwortet als Ingenieurin für Hydrochemie Projekte im Themenfeld Wasserqualität beim OOWV.

**Uwe Sütering** ist langjähriger Abteilungsleiter für Wasserbewirtschaftung und -rechte beim OOWV.

**Dr.-Ing. Konstantin Scheihing** ist als Projektleiter verantwortlich für regionale Grundwassererkundungsmaßnahmen beim OOWV.

#### Kontakt:

Dr.-Ing. Konstantin Scheihing  
Oldenburgisch-Ostfriesischer  
Wasserverband  
Georgstr. 4  
26919 Brake  
Tel.: 04401 916-462  
E-Mail: [scheihing@oowv.de](mailto:scheihing@oowv.de)  
Internet: [www.oowv.de](http://www.oowv.de)

# INNOWATECH

## SALZ STATT SALZSÄURE!

# Transportchlorung im Wasserwerk ohne Gefahrstoffe

Ob zur permanenten Absicherung  
der Trinkwasserqualität oder  
nur für den Notfalleinsatz:

INNOWATECH Anolyte® macht  
gefährliche Chemikalien überflüssig.



INNOWATECH Aquadron®  
produziert pH-neutrales  
Anolyte just in time

## INNOWATECH Anolyte® im Wasserwerk bietet unschlagbare Vorteile:

- + beste Trinkwasserqualität bis zum Verbraucher
- + geringe Wirkstoffzugabe, nachhaltige Wirksamkeit
- + reduzierte Biofilm-Bildung, auch im Hochbehälter
- + auch zur Flächendesinfektion (Leitungen, Behälter...)
- + Verzicht auf Chlordioxid, Chlorbleichlauge, Chlorgas
- + Umgang mit Gefahrstoffen entfällt
- + Einstufung als *nicht wassergefährdend*

INNOWATECH  
[www.innowatech.de](http://www.innowatech.de)



weitere  
Informationen