

Seetrassen 2030

Möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf Süßwasserlinsen unter Langeoog und Baltrum

Abschlussbericht
zur Einordnung der ergänzenden Untersuchungen in Form der
Aufstellung eines Grundwasserströmungsmodells

Trassenkorridore Langeoog

Erstellt für:

TenneT Offshore GmbH
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

Erstellt von:



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Auguste-Viktoria-Str. 14
24103 Kiel



Projekt-Nr.: P 10 890

Datum: 20.03.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	4
2	Vorgang	4
3	Vorliegende Unterlagen	6
4	Wärmetechnische Randbedingungen für die Modellierung	7
5	Strömungs- und Wärmemodellierung Süßwasserlinse Langeoog	8
5.1	Hydrogeologisches Modell und hydraulische Parameter	8
5.2	Randbedingungen	9
5.3	Kalibrierung	9
5.4	Sensitivitätsanalyse	9
5.5	Modelltest (Validierung)	9
5.6	Vergleichsrechnungen	10
5.7	Ergebnisse der Modellierung und Bewertung seiner Eignung	10
5.7.1	Hydraulisches Gesamtsystem	10
5.7.2	Erwärmung des Untergrundes	10
5.7.3	Auswirkung von neuen Brunnen	11
5.7.4	Auswirkungen der ONAS auf die Verlagerung und Erweiterung der Trinkwasserförderung in den östlichen Bereich der Insel	12
6	Zusammenfassender Abgleich der Ergebnisse mit den im Raumordnungsverfahren vorgelegten Ausarbeitungen	12
6.1	Unberührte Fragestellungen	12
6.2	Relevante Fragestellungen	12
6.3	Mittelbar berührte Fragestellungen	13

Quellenverzeichnis

Verwendete Unterlagen

- [U1] Seetrassen 2030, Möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf Süßwasserlinsen unter Langeoog und Baltrum, Risiko- und Gefährdungsanalyse, BIG 17.06.2021
- [U2] Ergänzende Stellungnahme zum Gutachten „Möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf Süßwasserlinsen unter Langeoog und Baltrum – Risiko- und Gefährdungsanalyse“, BIG 09.07.2021
- [U3] Studie „Magnetische und thermische Eigenschaften von 252 KV-HGÜ-Landkabeltrassen, Sta-fem GmbH, November 2020
- [U4] Ergänzungen zur Studie „Magnetische und thermische Eigenschaften von 252 KV-HGÜ-Landkabeltrassen, Sta-fem GmbH, Juni 2021
- [U5] Bericht Strömungs- und Wärmemodellierung „Seetrassen 2030“, Süßwasserlinse Langeoog, delta h Ingenieurgesellschaft 19.03.2024

- [L1] DVGW-Regelwerk (2016): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten, Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 107 (A)

1 Ausgangslage

Im Rahmen des Raumordnungsverfahrens (ROV) „Seetrassen 2030“ wurden Trassenkorridore, die über die Inseln Baltrum und Langeoog führen, untersucht. Dabei wurde die Fragestellung zu potenziellen vorhabenbedingten Auswirkungen auf die Nutzung der Süßwasserlinsen, die für die Trinkwassergewinnung auf den Inseln eine hohe Bedeutung haben, in einer ergänzenden Risiko- und Gefährdungsanalyse betrachtet. Hierbei sollte insbesondere geklärt werden, welche baubedingten Auswirkungen durch die Ausführung einer Horizontalbohrung (HDD-Verfahren) bei der Inselquerung zu erwarten sind.

Zu einem möglichen Einfluss von Horizontalbohrungen auf die Süßwasserlinsen unter Langeoog und Baltrum wurde im Auftrag des Übertragungsnetzbetreibers (ÜNB) TenneT Offshore GmbH (TenneT) eine Risiko- und Gefährdungsanalyse von der Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH (BIG) erstellt (Bericht vom 17.06.2021) [U 1] und in einem Gespräch mit den Fachbehörden am 29.06.2021 im Vorfeld des Erörterungstermins am 14./15.07.2021 vorgestellt. Im Nachgang zu diesem Gespräch wurde am 09.07.2021 eine ergänzende Stellungnahme vorgelegt [U 2].

Nach Abschluss des ROV „Seetrassen 2030“ wurde für die Querung von Langeoog ergänzend dazu ein Grundwassermodell von der delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten (delta h) erstellt [U 5].

BIG wurde im Zuge der Fertigstellung des Modells durch delta h von TenneT ergänzend mit der hydrogeologischen Beratung und der Bewertung der Ergebnisse des Modells im Hinblick auf die in den beiden Berichten [U1] [U2] getroffenen Aussagen beauftragt.

2 Vorgang

Im Ergebnis des ROV „Seetrassen 2030“ wurde der Trassenkorridor über Baltrum am 18.10.2021 für den Bau von zwei Offshore-Netzanbindungssystemen (ONAS) landesplanerisch festgestellt. Der Trassenkorridor über Langeoog war nicht Gegenstand dieser Landesplanerischen Feststellung. Im Ausblick der Landesplanerischen Feststellung wird aufgezeigt, dass der Langeoog-Korridor gegenüber dem Baltrum-Korridor Nachteile aufweist.

Nachteilig beurteilt wurde, dass der Langeoog-Korridor die östliche Süßwasserlinse der Insel Langeoog quert, welche zwar derzeit nicht für die Trinkwasserversorgung genutzt wird, jedoch für eine zukünftige Nutzung verfügbar bleiben soll. Dies ist eine Grundlage für die langfristigen Planungsabsichten des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) zur Erweiterung der Trinkwasserversorgung auf die östliche Süßwasserlinse.

Auf Ebene der Raumordnung konnten die wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Baltrum- und des Langeoog-Korridors ausreichend beurteilt werden. Für den Langeoog Korridor bestehen keine rechtlichen Verbotstatbestände oder verletzte Ziele der Raumordnung.

Die Aussagen der oben angeführten Gutachten [U 1], [U 2] wurden durch die Raumordnungsbehörde im Wesentlichen bestätigt.

Der Gewässerkundliche Landesdienst (GLD – bestehend aus dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) sowie Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)) hat dazu folgende Einschätzung getroffen: *„Die Grundwasserverhältnisse der Süßwasserlinse der Insel Langeoog in dem vom Korridor betroffenen Bereich sind bisher noch weitgehend nicht untersucht. Dieser Bereich stellt jedoch die einzige mögliche Quelle für eine ortsnahe Wasserversorgung dar. Eine Süßwasserlinse zeichnet sich durch besondere Grundwasser- bzw. Fließverhältnisse aus. In der Regel fließt das Grundwasser oberflächennah in die Nordsee bzw. das Wattenmeer ab; dabei nehmen*

tieferen Bereiche der Süßwasserlinse nur eingeschränkt am Wasseraustausch teil. Entsprechend sind die gegebenen Abschätzungen hinsichtlich der Folgen der Erwärmung des Grundwassers im Leitungsbereich mit großen Unsicherheiten versehen. Insofern ist diese Fragestellung weiterhin nicht befriedigend geklärt und kann vermutlich nur durch zusätzliche Szenariobetrachtungen, ggf. auf der Grundlage von Monitoring-Ergebnissen, zufriedenstellend beantwortet werden.“

Aufgrund der Einwände des GLD wurde am 05.04.2022 ein Gespräch zu den wasserwirtschaftlichen Themen bei der Querung der Insel Langeoog durchgeführt, um abzuklären, welche zusätzlichen Betrachtungen und Untersuchungen seitens des GLD notwendig wären, um eine erneute raumordnerische Prüfung des Langeoog-Korridors aufzunehmen.

Seitens des GLD wurde die Forderung nach einer Erstellung eines 3D-Grundwasserströmungsmodells mit Prognoseberechnungen gestellt. Nur auf dieser Grundlage wäre eine belastbare Einschätzung zu nachteiligen Veränderungen im Grundwasserleiter möglich. Hierbei müsste auch die maximale Anzahl von acht ONAS im Langeoog-Korridor (verteilt auf zwei Teilkorridore - C6a und C6b) für die Prognose der Erwärmung berücksichtigt werden. Bisher wurde bei der Berechnung der Erwärmung nur ein Kabelsystem, bestehend aus 3 Kabeln (ohne Lichtwellenleiter, da für die Erwärmung nicht relevant), betrachtet.

In einem Gespräch zwischen ÜNB und GLD am 14.07.2022 wurden die Anforderungen und Vorstellungen an das zu erstellende 3D-Modell vom GLD nochmals konkretisiert.

Seitens des GLD wurden im Gespräch am 14.07.2022 Anforderungen an die weitergehende hydrogeologische Bewertung einer möglichen gegenseitigen Beeinträchtigung der Trinkwassergewinnung und der Einrichtung der Kabelsysteme vor dem Hintergrund einer zukünftigen Grundwasserförderung im Osten der Insel präzisiert. Es wurde betont, dass es sich bei dem geforderten hydraulischen 3D-Modell um ein stationäres Prinzipmodell handeln soll, welches die Grundwasserströmung und den Wärmetransport abbildet.

Bei einem Prinzipmodell handelt es sich gemäß DVGW-Regelwerk [L1] um die einfachste Kategorie eines hydraulischen Modells, was die Wiedergabetreue der Modellergebnisse angeht. Das Prinzipmodell unterscheidet sich daher erheblich von den komplexeren Planungsmodellen und Bewirtschaftungsmodellen.

Bei dem geforderten „stationären“ Modell handelt es sich gemäß DVGW-Richtlinie um ein Modell, das die räumliche Verteilung der Standrohrspiegelhöhen (Grundwassergleichenplan) und der Filtergeschwindigkeit (Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers durch den Grundwasserleiter) in zeitlich konstanter bzw. gemittelter Form berücksichtigt. Ein stationäres Modell unterscheidet sich daher von einem instationären Modell dadurch, dass es langfristig sich einstellende mittlere hydraulische Verhältnisse abbildet, während beim aufwändigeren instationären Modell auch zeitliche Änderungen abgebildet werden.

Die Forderung des GLD beinhaltet jedoch eine notwendige Erweiterung des Strömungsmodells, das mit der Forderung nach der Abbildung des Wärmetransportes zu einem sogenannten Transportmodell wird. Dabei wird die Ausbreitung von Wärme der Ausbreitung von Stoffen (Wasserinhaltsstoffe) gleichgesetzt.

Ziel der Prognoseberechnungen soll sein, die Vereinbarkeit einer zukünftigen Trinkwasserversorgung aus der östlichen Süßwasserlinse und den Kabelsystemen nachzuweisen. Hierbei sollen mehrere Szenarien/Ausbaustufen betrachtet werden.

Dabei sind folgende Aspekte zu betrachten:

- Der OOWV plant zukünftig die Verlegung der Grundwasserförderung von der westlichen in die östliche Süßwasserlinse.
- Es ist eine Steigerung der Förderung von etwa 15 % gegenüber der derzeitigen Förderung geplant.
- Die Trassenkorridore werden im Endausbauzustand ca. 20 % der Fläche der östlichen Süßwasserlinse beanspruchen.

Ziel der Untersuchungen ist, die Vereinbarkeit von Grundwasserförderung/Trinkwassergewinnung und Nutzung der Trassenkorridore/Einrichtung und Betrieb der Kabelsysteme nachzuweisen.

Unter „Prüfung der Vereinbarkeit“ wird verstanden, die Auswirkungen der ONAS durch Wärmeeintrag in den Untergrund einerseits und die Veränderung des natürlich anstehenden Bodens durch den Bodeneingriff mit der Horizontalbohrung zur Verlegung der unterirdischen Kabelstränge andererseits zu bewerten. Dies geschieht dann vor dem Hintergrund, dass die Verlagerung und Erweiterung der Trinkwasserförderung in den Osten der Insel dazu führen wird, dass konkurrierende Flächennutzungen durch Schutzstreifen im Trassenbereich und Schutzbereiche um die neuen geplanten Brunnen herum auftreten werden. Im Hinblick auf den Wärmetransport ist abzuklären, ob angesichts der durch Modellierung erzielten genaueren Ergebnisse die ursprünglich getroffenen Aussagen ([U1] und [U2]) noch Gültigkeit haben oder gegebenenfalls zu überarbeiten sind.

Bei der Herstellung der ONAS mittels Horizontalbohrungen wird der Untergrund durch Entnahme eines zylindrischen Bodenkörpers entlang der Bohrachse verändert. Dieser Boden wird durch den Kabelstrang und die Verdämmung ersetzt, in die die Leitungen gebettet sind. Im Einzelnen wird zur technischen Ausführung auf [U1] verwiesen. Kurz zusammengefasst bedeutet die Durchführung der Horizontalbohrungen eine lokale Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit des Untergrundes im Bereich des verdämmten Bohrkanals. Im Ergebnis der Prüfung soll beurteilt werden, ob die Herstellung der ONAS negative Auswirkungen auf die durch den OOWV geplante Verlegung und Erweiterung der Grundwasserförderung hat.

Folgendes Vorgehen wurde vom GLD im Hinblick auf die Modellierung vorgeschlagen:

- Erstellung eines stationären 3D-Grundwasserströmungsmodells als einfaches Prinzipmodell ohne weitere Datenerhebung auf der Grundlage vorliegender Daten und Annahmen.
- Modellierung verschiedener Ausbaustufen zur Vereinbarkeit von Grundwasserförderung/Trinkwassergewinnung und Nutzung der Trassenkorridore/Einrichtung der Kabelsysteme sowie Abschätzungen zum konvektiven Wärmetransport.

Im Ergebnis der Abstimmungen wurde durch den Übertragungsnetzbetreiber Amprion delta h mit der Aufstellung des Grundwassermodells beauftragt.

3 Vorliegende Unterlagen

Zum Zeitpunkt der Aufstellung der Risiko- und Gefährdungsanalyse [U 1] [U 2] waren lediglich die frei publizierten Daten zur Hydrogeologie und zu den Grundwasserverhältnissen unterhalb der Insel verfügbar. Für die Erstellung des Grundwassermodells wurden der delta h Ingenieurgesellschaft dann allerdings umfangreiche Daten vom Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) zur Verfügung gestellt. Diese betreffen jedoch vorrangig den Westteil der Insel Langeoog mit dem bestehenden Wasserwerk.

Zum Temperaturanstieg in Boden und Grundwasser während der Betriebsphase der Kabel liegen bereits wärmetechnische Berechnungen der sta-fem GmbH (sta-fem) vor [U 3], [U 4], die Eingang in die Risikobewertung der BIG [U1] [U2] gefunden haben. Diese zweidimensionalen Berechnungen berücksichtigen ausschließlich den konduktiven Wärmetransport. Dies bedeutet, dass nur der Vorgang des „Abtransportes der Wärme“ durch Wärmeübertragung in dem den verdämmten Bohrkanal umgebenden grundwassererfüllten Grundwasserleiter Berücksichtigung findet. Dieser Wärmetransport hängt ab vom Temperaturgradienten, d.h. dem Rückgang der Temperatur dieses Mediums mit zunehmender Entfernung von der Horizontalbohrung bis auf die natürliche Grundwassertemperatur und von den thermischen Eigenschaften des Grundwasserleiters. Nicht berücksichtigt ist dabei der „konvektive Stofftransport“, d.h. der Abtransport von Wärme durch strömendes Grundwasser.

Auf dieser Grundlage wurde von sta-fem mit eigens für Stromkabel entwickelten FE-Modellen unter Berücksichtigung der Umwandlung der elektrischen Verlustleistung der Stromleitungen in Wärmeenergie die zu erwartende Erwärmung in dem die Kabel umgebenden Boden und deren Ausbreitung berechnet.

Die Berechnungen wurden für ein einzelnes Kabelsystem, bestehend aus drei Kabeln, durchgeführt. Es wurde der symmetrische Fall (metallischer Rückleiter stromlos = Regelfall) unter Dauerlast und bei anzunehmendem Windlastprofil (77% Last im Regelfall, Berücksichtigung siebentägiger Starkwindphase mit 99% Last und anschließendem Rückgang auf 77% Last) betrachtet. Es wurde von einem Leiterquerschnitt von 2.500 mm², einer Boden- bzw. Grundwassertemperatur von 15°C und wassergesättigtem Boden mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,43 W/mK ausgegangen. Das Programm berechnet aus diesen Eingaben zunächst die Temperatur an der Leiteroberfläche und dann den Temperaturrückgang mit zunehmender Entfernung vom Leiter.

Im Ergebnis der Modellierung wurde ermittelt, dass für den Bereich der Horizontalbohrungen bei einer Überdeckung von 25 m davon auszugehen ist, dass sich im Bettungsbereich der Leitung (drill-mix Verdämmung) eine Maximaltemperatur von 38,7 ° C einstellt, wobei darauf hingewiesen wird, dass die Modellierung weit auf der sicheren Seite liegt. Ausgehend von den ONAS nehmen die ermittelten Maximal-Temperaturen exponentiell ab und erreichen im Bereich zwischen zwei ONAS etwa 21° C.

4 Wärmetechnische Randbedingungen für die Modellierung

Anforderung an die Modellierung durch delta h war, nun weitere Temperaturberechnungen unter Berücksichtigung der maximalen Anzahl von acht ONAS im Langeoog-Korridor (verteilt auf zwei Teilkorridore - C6a und C6b) durchzuführen. Anders als bei der vorliegenden Modellierung [U 3], [U 4] sollte die Modellierung unter Dauerlast und damit noch weiter auf der sicheren Seite erfolgen. Dazu wurden der delta h von den beiden Übertragungsnetzbetreibern TenneT und Amprion jeweils Verlustleistungen der Leiter angegeben. Außerdem waren, ebenso anders als bei der früheren Modellierung durch sta-fem, bei der Modellierung neben dem konduktiven Wärmetransport der konvektive Wärmetransport und die Dichteänderung des die ONAS umgebenden Grundwassers zu berücksichtigen.

Dieser Ansatz bedeutet dann zwangsläufig, dass im Modell die unterschiedlichen Dichten unterschiedlich mineralisierter Grundwässer (Salz-, Süßwasser) bzw. unterschiedlich warmer Grundwässer im Modell mathematisch zu berücksichtigen sind.

5 Strömungs- und Wärmemodellierung Süßwasserlinse Langeoog

Im Auftrag der Amprion offshore GmbH wurde von der delta h Ingenieurgesellschaft, Witten, auf den oben beschriebenen Grundlagen aufbauend, eine Grundwassermodellierung durchgeführt. Die Ergebnisse des Modells sind in einem Erläuterungsbericht [U 5] zusammengestellt.

Bei dem Modell handelt es sich um ein instationäres Grundwasserströmungs- und Dichtemodell für dichteabhängige Strömungs- und Wärmetransportberechnungen. Das Modell wurde zunächst stationär, dann instationär kalibriert. Im Rahmen der beauftragten Modellierung wurden Lösungen für den stationären Zustand entwickelt. Das Modell eignet sich jedoch auch für die Ableitung instationärer Lösungen im Hinblick auf hydraulische Fragestellungen (Dimensionierung von Wasserentnahmen) nicht jedoch im Hinblick auf Fragestellungen zum Wärmetransport. Das Modell ist jedoch so ausgelegt, dass auch dafür instationäre Lösungen ermittelt werden können, wenn derzeit nicht vorhandene zusätzliche Grundlagendaten ermittelt und eingegeben werden.

Im Laufe des Abstimmungsprozesses parallel zur Aufstellung des Modells ergaben sich Änderungen im Hinblick auf die ursprünglichen Anforderungen an das Modell. Insbesondere resultierend aus der erheblich verbesserten Datengrundlage erfolgte eine erheblich aufwändigere Modellierung mit dem Resultat:

- Das aufgestellte Modell ist geeignet, die Wärmeausbreitung, ausgehend von beliebig vielen ONAS zu prognostizieren und für den stationären Zustand deren Auswirkungen auf die Dichteverhältnisse und die Temperaturverteilung des Grundwassers in deren Umgebung zu ermitteln.
- Das Modell ist weiterhin geeignet, die Auswirkungen von beliebig platzierten und beliebig dimensionierten Entnahmebrunnen sowie deren gegenseitige Beeinflussung für den stationären und den instationären Zustand zu ermitteln und die gegebenenfalls resultierenden hydraulischen Veränderungen in Abhängigkeit von der Zeit zu prognostizieren. Dies gilt insbesondere für die hier entscheidenden Aufgabestellungen der Lagestabilität der Salz-/Süßwassergrenze sowie der Einzugsgebiete der Einzelbrunnen bzw. überlagerter Einzugsbereiche von Brunnengalerien.

Nachfolgend wird auf einzelne Aspekte der Modellerstellung eingegangen.

5.1 Hydrogeologisches Modell und hydraulische Parameter

Als Grundlage für die Modellierung wurde das vorhandene hydrogeologische Modell des OOWV übernommen und mit Annahmen zur Geologie im Osten der Insel ergänzt. Auf dieser Grundlage wurde die Parametrisierung durchgeführt.

Die Annahme, dass die geologischen Verhältnisse nach Osten extrapoliert werden können, ist nach unserer Einschätzung aufgrund der regionalgeologischen Situation der dem Festland vorgelagerten Inselkette gerechtfertigt und wenig fehlerbehaftet.

Die angenommenen Spannweiten der hydraulischen Parameter als Startwerte der Kalibrierung liegen auf der sicheren Seite entsprechend unserer Kenntnisse der regionalen Geologie. Die modelltechnisch abgeleiteten und in Tabelle 13 des Erläuterungsberichtes zusammengestellten hydraulischen Parameter Durchlässigkeitsbeiwert und effektive Porosität sind plausibel und entsprechen eigenen Untersuchungsergebnissen aus hydrogeologischen Untersuchungen von zahlreichen Deponie- und Altlastenprojekten in vergleichbarer stratigraphischer und lithologischer Position im Küstengebiet.

5.2 Randbedingungen

Folgende Randbedingungen wurden gewählt:

- Grundwasserneubildungsrate und Entnahme: Randbedingung 2. Art
- Leakage der Vorfluter: Randbedingung 3. Art
- Exfiltrierendes Grundwasser an der GOK: Randbedingung 1. Art
- Modellrand: Randbedingung 1. Art mit Dichtekorrektur für Salzwasser
- Unterkante: Undurchlässiger Rand: Randbedingung 2. Art.

Dass die Tide, anders als erwartet, bei der Sensitivitätsanalyse (vgl. Abschnitt 5.4) nur einen geringen Einfluss gezeigt hat, rechtfertigt den Ansatz einer Randbedingung 1. Art im Bereich des Modellrandes. Der Ansatz einer undurchlässigen Unterkante lässt sich durch die präquarternen Schichten begründen. Die pliozänen Schichten können unseres Ermessens aufgrund ihrer üblicherweise lückenhaften Ausbildung vernachlässigt werden. Die Randbedingungen sind somit zutreffend gewählt.

5.3 Kalibrierung

Der stationären Kalibrierung wurde ein Grundwassergleichenplan zugrunde gelegt, der im Westen der Insel zahlreiche Stützstellen hat und im Osten plausibel ergänzt wurde. Die Kalibrierung ist als „sehr gut“ im Sinne der DVWG W 107(A) einzustufen.

Für die instationäre Kalibrierung wurden ein Zeitraum von 4 Jahren gewählt und der Parameter Porosität angepasst. Die sich aus der Kalibrierung ergebenden Werte der Porosität liegen in der Spanne der Startwerte und sind der Kenntnisse der regionalen Geologie zufolge plausibel. Dasselbe gilt für die kalibrierten Durchlässigkeiten.

5.4 Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen der Modellierung wurden seitens delta h Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Entsprechend der Modellsituation mit einer Basis, die mit Randbedingungen 1. Art zu beschreiben ist, waren auf die seitlichen Begrenzungen und auf die Oberfläche ein besonderes Augenmerk zu legen. Die Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass der Einfluss der Tide bzw. der unterschiedlichen Wasserstände infolge unterschiedlicher Windbedingungen unwesentlich ist, da sich die Oszillation im Mittel ausgleicht. Zur differenzierten Untersuchung wurde eine 2d-Modellierung im Schnitt gewählt, vgl. Abschnitt 6.2 des Erläuterungsberichtes von delta h. Dementsprechend ist daher die verbleibende Größe, die Grundwasserneubildung, die entscheidende Variable, die den Wasserhaushalt und damit auch die Salz-, Süßwassergrenze bestimmt. Dieser Einfluss wird differenziert in den Abschnitten 4.6.3 und 4.6.4 des Erläuterungsberichtes von delta h erörtert.

5.5 Modelltest (Validierung)

Mit der instationären Kalibrierung sind im Wesentlichen die Systemzustände abgebildet, die im natürlichen hydraulischen System auf der Insel üblicherweise auftreten. Ein Modelltest (Validierung) im Sinne einer Abbildung erheblich abweichender Systemzustände wurde bei der Wahl der Modellränder durchgeführt, die im Abschnitt 5.1 des Erläuterungsberichtes beschrieben ist.

Eine weitere Untersuchung von Systemzuständen, die außerhalb des Bereiches der Kalibrierung liegen, z.B. durch Annahme extremer Grundwasserneubildungsraten, wurde nicht durchgeführt und erscheint uns auch nicht zielführend. Der eigentliche Modelltest erfolgte im Rahmen der Prognoserechnungen für den Einfluss von zusätzlichen Brunnen im Osten der Insel.

5.6 Vergleichsrechnungen

Für eine Absicherung der Ergebnisse des Modells wurden diese mit den früheren Ergebnissen verglichen. Von delta h wurden zusätzlich Vergleichsrechnungen nach einem anderen Verfahren durchgeführt.

Bei der Risiko- und Gefährdungsanalyse [U2] erfolgte die Lagebestimmung der Salz-, Süßwassergrenze über das halbquantitative Verfahren nach Ghyben-Herzberg. Dies lieferte mit einer maximalen Tiefe von 56,6 m Ergebnisse, die in guter Übereinstimmung mit den hier vorgestellten Modellrechnungen liegen.

Das auf dem NIBIS-Server abgelegte 3D-Modell, abgeleitet aus den geophysikalischen Untersuchungen (Hubschrauberelektromagnetik, geoelektrische Sondierungen, Bohrlochgeophysik, Wasseranalysen) lieferte mit einer maximalen Tiefe der Süßwasserlinse im Osten von 64 m und einer vermutlich durch die Trinkwasserentnahme reduzierten maximalen Tiefe von 54 m im Westen ebenso vergleichbare Ergebnisse [U1].

Von delta h wurde zur weiteren Überprüfung der Ergebnisse ein erheblich verbessertes analytisches Verfahren nach White und Falkland herangezogen, das im Erläuterungsbericht im Abschnitt 7.3 „Zusätzliche Plausibilisierung“ beschrieben ist. Dieses liefert die maximale Tiefenlage der Süß-/Salzwassergrenze, die sehr gut mit der im Modell ermittelten Tiefenlage übereinstimmt, vgl. Tabelle 14 des Erläuterungsberichtes.

5.7 Ergebnisse der Modellierung und Bewertung seiner Eignung

5.7.1 Hydraulisches Gesamtsystem

Das Modell bildet die hydraulische Situation der gesamten Insel ab. Im Ergebnis der Modellierung kann die Unterkante der Süßwasserlinse für den derzeitigen Zustand für jedes Element der Diskretisierung dargestellt werden. Weiterhin können in Abhängigkeit von der Zeit ebenso für unterschiedliche Randbedingungen (z.B. simulierte Trinkwasserentnahmen in beliebig angenommenen Brunnen) Prognosezustände abgerufen werden. Exemplarisch enthält die Abbildung 72 des Erläuterungsberichtes eine Darstellung der Morphologie der Unterkante der Süßwasserlinse entlang eines Nord-Süd verlaufenden Schnittes, der sich an der in Diskussion befindlichen Lage eines zu planenden Brunnenfeldes im Osten der Insel orientiert. Das Modell ist daher in der Lage, die Auswirkungen von unterschiedlich angeordneten und unterschiedlich betriebenen Brunnen zu modellieren und kann daher als Planungs- und Bewirtschaftungsmodell für die vorgesehenen Änderungen in der Nutzung der Süßwasserlinse zur Trinkwassergewinnung eingesetzt werden.

5.7.2 Erwärmung des Untergrundes

Weiterhin erfolgte eine Darstellung des stationären Zustandes der Auswirkung der Erwärmung des Untergrundes durch die Verlustleistung (Abwärme) während des Betriebs der ONAS für insgesamt 8 ONAS bei Wahl der ungünstigsten Randbedingungen, die somit weit auf der sicheren Seite liegt. Diese Ergebnisse sind im Abschnitt 8.1 des Erläuterungsberichtes in Horizontal- und Vertikalschnitten dargestellt. Folgende wesentlichen Ergebnisse wurden ermittelt:

- Die Modellierung durch sta-fem [U 3] [U 4] liegt auf der sicheren Seite. Unter Berücksichtigung des konvektiven Stofftransportes zusätzlich zum konduktiven Stofftransport ergeben sich erwartungsgemäß günstigere Werte, d.h. die Erwärmung fällt geringer aus. Dies gilt insbesondere für die Erwärmung direkt an den Kabeltrassen mit einer Erhöhung der Temperatur von lediglich 10 K gegenüber dem Ergebnis von sta-fem von etwa 12 K.
- Die Überlagerung der Wärmeverluste benachbarter ONAS kann nunmehr durch das Modell von delta h modelliert werden, was bislang nicht möglich war. Die betriebsbedingte Erwärmung kann daher nun dreidimensional im gesamten Trassenbereich dargestellt werden. Sie reicht in horizontaler Richtung bis zu einem Abstand von 140 m vom äußeren Kabelstrang, zur Tiefe hin bis 85 m und nach oben bis 30 m.
- Entscheidendes Ergebnis ist jedoch, dass der beeinflusste Bereich durch die Ausbildung von sogenannten Konvektionszellen begrenzt wird.
- Die Erwärmung führt zu einer Dichtereduktion, die von delta h ebenso in Vertikalschnitten im stationären Zustand dargestellt wurde. Diese Dichtereduktion wirkt dahingehend, dass die Süß-/Salzwassergrenze prinzipiell angehoben wird. Die Ergebnisse der Modellierung haben allerdings ergeben, dass diese von der Größenordnung her vernachlässigbar ist, vgl. Abschnitt 8.1 des Erläuterungsberichts.

Mit dem vorliegenden Modell können somit eine unterschiedliche Anzahl an ONAS in unterschiedlichen Betriebszuständen in ihrer Auswirkung auf die Lage der Süß-/Salzwassergrenze im stationären Zustand geprüft werden. Der stationäre Zustand ist der relevante Zeitpunkt der Bewertung. Er stellt sich ein, wenn durch die Wärmeentwicklung im Bereich der ONAS ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, so dass sich die Zufuhr von Wärmeenergie durch Verlustleistung mit der Abfuhr durch konduktiven und konvektiven Stofftransport „die Waage halten“ und keine Temperaturerhöhung wie im instationären Zustand davor mehr stattfindet.

5.7.3 Auswirkung von neuen Brunnen

Mit dem Modell wurden explizit unterschiedliche Konstellationen von neuen Entnahmebrunnen im Ostteil der Insel in ihrer Auswirkung auf die Salz-/Süßwassergrenze und im Hinblick auf Wasserdargebot und Einzugsbereiche untersucht. Diese Ergebnisse sind in den Abschnitten 8.2 und 8.3 des Erläuterungsberichtes dargestellt. Folgende grundsätzlichen Ergebnisse wurden erarbeitet:

- Die Verlagerung und Erweiterung der Trinkwasserförderung in den Osten der Insel ist prinzipiell machbar

Zur Minimierung des Einflusses der Trinkwassergewinnung auf die Stabilität der Süßwasserlinie ist von Vorteil:

- Eine Entnahme möglichst im Zentrum der Insel in Quererstreckung gesehen (Bereich Wasserscheide)
- Eine möglichst kontinuierliche Wasserentnahme
- Eine Wasserentnahme aus möglichst flacher Tiefe
- Eine großflächige Gewinnung unter Vermeidung punktuell hoher Entnahmen

5.7.4 Auswirkungen der ONAS auf die Verlagerung und Erweiterung der Trinkwasserförderung in den östlichen Bereich der Insel

Die Herstellung der ONAS und deren Betrieb hat folgende Konsequenzen:

Im unmittelbaren Trassenbereich ist der Schutz der Leitungen zu gewährleisten. Es resultieren Schutzabstände, die gemäß der bisherigen Diskussion dazu führen würden, dass im gesamten Trassenbereich und einem Schutzstreifen links und rechts davon Eingriffe in den Untergrund durch das Bohren von Brunnen ausgeschlossen wären. Allerdings ist ohnehin gemäß den bisherigen Planungen des OOWV die neue Trinkwassergewinnung in einem deutlichen Abstand westlich der Trasse der ONAS vorgesehen. Die Modellierung durch Δh hat nun ergeben, dass dieser Standort auch nachweislich besser geeignet ist als ein potenzieller Standort näher an den ONAS. Eine Trinkwasserförderung ist in dem vorgesehenen Bereich ca. 2 km westlich der ONAS entsprechend der Modellierungsergebnisse auch möglich. Es besteht noch großer Spielraum für eine weitere Verlagerung nach Osten, die hydraulisch gesehen aufgrund der zwischen dem vorgesehenen Standort und den ONAS breiteren und tieferen Süßwasserlinse noch günstiger wäre, vgl. Abb. 87 des Erläuterungsberichtes.

Sollte sich in Zukunft herausstellen, dass Brunnenstandorte näher an den ONAS vorzusehen sind, so liegt nun ein Planungsmodell vor, mit dem durch Nachweis die zu fordernden Schutzabstände neu festgelegt werden können. Dabei ist als einziges Kriterium zu nennen, dass der Betrieb der Brunnen so zu steuern wäre, dass eine negative Beeinflussung der Konvektionsströmungen im Einflussbereich der ONAS zu vermeiden ist.

6 Zusammenfassender Abgleich der Ergebnisse mit den im Raumordnungsverfahren vorgelegten Ausarbeitungen

Mit den beiden Berichten zur Risiko- und Gefährdungsanalyse [U1] [U2] wurden potenzielle Gefährdungen und Risiken bei der Herstellung und dem Betrieb der ONAS aufgezeigt und bewertet. Diese Bewertung hat ergeben, dass keine signifikanten negativen Auswirkungen zu erwarten sind. Vor dem Hintergrund der nunmehr vorliegenden Modellierung wird eine Einordnung vorgenommen. Eine Revision von Aussagen ergibt sich nicht.

6.1 Unberührte Fragestellungen

Die Ergebnisse der Modellierung sind für folgende in [U1] [U2] erörterten Fragestellungen nicht relevant:

- Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und durch im Bohrlochbereich verbleibende Bohrspülung ([U1], Abschnitt 6.2.2)
- Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch ausgetretene Bohrspülung (auf ausgedehnten Fließwegen auftretende Spülungsverluste, Spülungsausbrüche = Havariiefall) ([U1], Abschnitt 6.2.3)

6.2 Relevante Fragestellungen

Beeinträchtigungen bei Erschließung der Süßwasserlinsen für die Trinkwasserversorgung ([U1], Abschnitt 6.2.5)

Eine potenzielle Beeinträchtigung ist beschränkt durch die in Abschnitt 5.7.4 des vorliegenden Berichtes erläuterten Fragen der Schutzabstände. Diese ergeben sich aus den variablen Auswirkungen der Grundwasserförderung im Gegensatz zum ortsfesten Einwirkungsbereich der

ONAS. Die Ergebnisse der Modellierung bestätigen die in [U1] gemachten Aussagen. Mit Erstellung des vorliegenden Modells liegt ein Planungsmodell vor. Dessen Anwendung ergeben darüber hinaus gegebenenfalls Möglichkeiten einer weniger strikten Regulierung der Schutzabstände durch rechnerischen Nachweis der Unschädlichkeit.

Veränderung der Übergangszone bzw. Verschiebung der Grenzschicht zwischen Salzwasser und Süßwasser durch temperaturbedingte Änderungen der Dichte ([U2])

Die Modellierung kommt zum selben Ergebnis wie die vorausgegangenen halbquantitativen Abschätzungen, dass temperaturbedingt keine signifikante Auswirkung resultieren wird und diese im Unterschied zu den signifikanten Auswirkungen von Förderbrunnen vernachlässigbar sind.

6.3 Mittelbar berührte Fragestellungen

Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Temperaturanstieg ([U1], Abschnitt 6.2.4)

Durch die Modellierung konnte nachgewiesen werden, dass die ursprünglichen Aussagen zur temperaturbedingten Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit auf der sicheren Seite liegen. Die dreidimensionale Modellierung von Δh hat ergeben, dass die Erwärmung des die ONAS umgebenden Grundwassers bei der differenzierteren Modellierung unter Berücksichtigung des konvektiven Stofftransportes etwas geringer ausfällt als bei der einfacheren zweidimensionalen von σ -fem ohne Berücksichtigung des konvektiven Stofftransportes. Berücksichtigt man zusätzlich, dass die Annahmen zur Verlustlast sehr konservativ, d.h. als Worst-Case-Szenario angesetzt wurden, so sind die Ergebnisse als weit auf der sicheren Seite zu bewerten.

Veränderung der Strömungsverhältnisse durch Veränderungen in der Durchlässigkeit innerhalb der Süßwasserlinse durch verdämmte Bohrkanäle ([U2])

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung zeigen, dass die ursprünglichen Annahmen zu Permeabilität und Porosität richtig waren. Die Abschätzung, dass der Einfluss vernachlässigbar ist, hat daher Bestand.

Verlust von Speichervolumen innerhalb der Süßwasserlinse durch verdämmte Bohrkanäle

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung zeigen, dass die ursprünglichen Annahmen zu Permeabilität und Porosität richtig waren. Die Abschätzung, dass der Einfluss vernachlässigbar ist, hat daher Bestand.

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH



Gemäß § 36 GewO öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gefährdungsabschätzung, anerkannt nach § 18 BBodSchG