

**Machbarkeitsstudie
zur Erstellung eines numerischen
Modells für das Grundwasser
im Bereich der Halde Niedersachsen in
Wathlingen**

Sitz der Gesellschaft:
Wolfener Str. 36
12681 Berlin

Geschäftsführer:
Dr. Uta Alisch (Vorsitz)
Dr. Martin Bernhard
Dr. Dirk Brinschwitz
Wolfgang Weinhold

Tel.: 030 93651-0
Fax: 030 93651-250
FCG-Info@fugro.com
www.fugro.de

Auftraggeber: K+S Baustoffrecycling GmbH
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel

Auftragnehmer: Fugro Consult GmbH
Lübecker Straße 53-63
39124 Magdeburg

Bearbeiter: B. Sc. Geol. David Hoffmann
Dipl.-Ing. Thomas Lange
Dipl.-Geol. Andreas Ogroske

Kurzbezeichnung: K+S Wathlingen, Machbarkeit Modell
Bestell-Nr. 6701540830/0068/62A
KT-Nr.: 310-16-307

Bestätigt:


.....
Andreas Ogroske
Bereichsleiter

Datum: Magdeburg, 28.02. 2017

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Veranlassung | 4 |
| 2 | Aufgaben / Zielstellung der Machbarkeitsstudie | 4 |
| 3 | Anforderungen an das numerische Grundwassermodell | 5 |
| 3.1 | Untersuchungs-, Modell- und Aussagegebiet | 5 |
| 3.2 | Kategorie der numerischen Grundwassermodelle | 6 |
| 3.3 | Ziel der numerischen Grundwassermodellierung | 7 |
| 3.4 | Spezifische Anforderungen an das zu erstellende numerische Modell | 8 |
| 4 | Zusammenstellung und Bewertung der vorhandenen Datenlage | 10 |
| 4.1 | Hydrologische Verhältnisse | 10 |
| 4.2 | Geologische Verhältnisse | 11 |
| 4.3 | Hydrogeologische Verhältnisse | 16 |
| 4.4 | Hydrochemische Verhältnisse / Salzwasserverbreitung | 19 |
| 5 | Machbarkeitsbewertung anhand der vorhandenen Datenlage | 20 |
| 5.1 | Bewertung Modellaufbau mit vorliegendem Datenbestand | 20 |
| 5.2 | Bewertung Grundwasserströmungssimulation mit vorliegendem Datenbestand | 20 |
| 5.3 | Bewertung Stofftransportsimulation mit vorliegendem Datenbestand | 21 |
| 6 | Konzept zur Verbesserung des Datenbestandes | 22 |
| 7 | Machbarkeitsbewertung auf Grundlage einer erweiterten Datenlage | 23 |
| 8 | Modellvorbetrachtung zur Differenzierbarkeit anthropogener und geogener Salzwässer | 24 |
| 8.1 | Modellannahmen / Grundlagen | 24 |
| 8.2 | Abschätzung der Salzfrachten der einzelnen Quellterme | 25 |
| 8.3 | Abschätzung des potenziell zu erwartenden Modellfehlers | 28 |
| 8.4 | Schlussfolgerungen der Modellvorbetrachtungen | 28 |
| 9 | Abschließende Bewertung und Handlungsempfehlung | 29 |
| 10 | Literatur- und Quellenverzeichnis | 30 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 3-1: Lage der Halde Niedersachsen mit Aussage-, Modell- und Untersuchungsgebiet | 6 |
| Abbildung 3-2: Bewertungsprinzip für die Modellsimulation | 8 |
| Abbildung 4-1: Lage der Vorfluter und Gräben im Modellgebiet | 10 |
| Abbildung 4-2: Schematisches hydrogeologisch-stratigrafisches Profil NE-SW (GOLDER ASSOCIATES GmbH, 1998) | 11 |
| Abbildung 4-3: Darstellung der im Gebiet vorhandenen Bohrdaten des LBEG (klassifiziert nach Endteufe) | 12 |
| Abbildung 4-4: Darstellung der im Gebiet vorhandenen Bohrdaten des LBEG (klassifiziert nach Endhorizont) | 13 |
| Abbildung 4-5: Darstellung der freigegebenen Bohrungen des LBEG (klassifiziert nach Endteufe) | 14 |
| Abbildung 4-6: Grundwasserströmungsverhältnisse gemäß der HK50 (LBEG, 2016) | 16 |
| Abbildung 4-7: Bohrungen mit hydrogeologischen Informationen und GWM des Landesmessnetzes | 17 |
| Abbildung 4-8: Grundwasserneubildung nach mGROWA (LBEG, 2016) | 18 |
| Abbildung 8-1: Schematische Darstellung der Strömungsverhältnisse im Hangenden des Salzstocks | 24 |
| Abbildung 8-2: Schematische Darstellung des mechanischen Dispersionsansatzes (ergänzt nach (Beims, 1985)) | 26 |

1 **Veranlassung**

Die K+S Entsorgung GmbH beabsichtigt die Abdeckung und Begrünung der Kalirückstandshalde Niedersachsen im Bereich südwestlich der Ortslage Wathlingen (Landkreis Celle). In diesem Zusammenhang ist aus dem vorläufigen Untersuchungsrahmen für die Umweltverträglichkeitsstudie im Rahmen des bergrechtlichen Planfeststellungsverfahrens die Machbarkeit eines numerischen Grundwassermodells zu prüfen, welches die von der Halde ausgehenden stofflichen Beeinflussungen auf das Schutzgut Wasser abbildet.

2 **Aufgaben / Zielstellung der Machbarkeitsstudie**

Die Aufgabenstellung beinhaltet folgende vier Arbeitspakete:

1. Sichtung und Zusammenstellung der Datengrundlagen

Die von K+S zur Verfügung gestellten Unterlagen und in den Geo-Datenportalen verfügbaren Informationen sind zu sichten und in Bezug zu einer potenziellen Nutzung innerhalb einer Modellierung zusammenzustellen.

2. Machbarkeitsbewertung anhand der vorhandenen Datenlage

Anhand der sich ergebenden Datenlage ist die Machbarkeit eines numerischen dreidimensionalen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodells mit Hinblick auf die zu erwartende Aussageschärfe für den Standort und das weitere Umfeld der Halde Wathlingen zu bewerten.

3. Machbarkeitsbewertung auf Grundlage einer erweiterten Datenlage

Es ist zu prüfen, ob durch zusätzliches hydrogeologisches Erkundungsprogramm (z.B. Errichtung neuer Grundwassermessstellen) oder weiterer Untersuchungen die vorhandene Datenlage sinnvoll ergänzt werden könnte. Auf Grundlage der daraus abzuleitenden erweiterten Datenlage ist die Machbarkeitsbewertung erneut durchzuführen.

4. Abschließende Bewertung und Handlungsempfehlung

Im Ergebnis ist zu bewerten, ob mit einer numerischen Grundwassermodellierung die Zielstellung der Bewertung der von der Halde ausgehenden stofflichen Beeinflussungen auf das Schutzgut Wasser erreicht werden kann. Bei der Bewertung ist die Verhältnismäßigkeit des erforderlichen Aufwandes für ein zusätzliches hydrogeologisches Erkundungsprogramm zu berücksichtigen und eine abschließende Empfehlung zur weiteren Verfahrensweise zu geben.

3 Anforderungen an das numerische Grundwassermodell

3.1 Untersuchungs-, Modell- und Aussagegebiet

Die Qualität eines Strömungs- und Transportmodells hängt entscheidend von der Wahl der Modellgrenzen ab. Gemäß der derzeitigen technischen Regeln, z. B. in (DVWG, 2016) oder (LBEG, 2009), ist hierbei zu unterscheiden zwischen der Größe des Aussagegebietes, des Modellgebietes und des Untersuchungsgebietes.

Im vorliegenden Fall ist das **Aussagegebiet** der numerischen Modellierung identisch mit dem Untersuchungsraum der Umweltverträglichkeitsuntersuchung, welcher im Rahmen des Scopingtermins festgelegt wurde (Bosch & Partner, 2016) und in Abbildung 3-1 dargestellt ist. Das Aussagegebiet hat eine E-W-Ausdehnung von ca. 3,0 km und eine N-S-Ausdehnung von ebenfalls ca. 3,0 km. Hieraus ergibt sich eine Fläche von ca. 7 km².

Das **Modellgebiet** ist in der Regel deutlich größer als das Aussagegebiet zu wählen, um Einflüsse der als Modellgrenze festgelegten äußeren Randbedingungen auf die Modellaussage gering zu halten. Insbesondere wenn aus den Modellsimulationen eine hydrodynamische Einflussnahme auf die Modellränder zu erwarten ist, muss ein hinreichend großer Abstand zum Aussagegebiet gewählt werden. Zur Abgrenzung eignen sich natürliche geohydraulische Grenzen. Im vorliegenden Fall stellen die Vorfluter im Westen, Norden und Osten hierfür geeignete Randbedingungen dar. Im Süden bildet die Ausdehnung des Salzstocks die ungefähre Modellausdehnung. Dies führt zu den folgenden Modellgebietsgrenzen (ebenfalls dargestellt in Abbildung 3-1):

- im Westen (von S nach N): Alte Aue / Aue (bis zur Mündung in die Fuhse)
- Im Norden und Osten (von N nach S): Fuhse (von der Einmündung der Aue bis in etwa zur Einmündung der Erse) sowie der Oberlauf der Thöse
- Im Süden: (von O nach W): Kreisstraße K125 (östlicher Ortsrand Hänigsen bis zur Brücke Alte Aue)

Das potenzielle Modellgebiet hat eine E-W-Ausdehnung von ca. 8,0 km und eine N-S-Ausdehnung von ca. 9,3 km. Hieraus ergibt sich eine Fläche von ca. 52 km².

Um die hydrogeologischen Strukturen ausreichend berücksichtigen zu können, muss das **Untersuchungsgebiet** nochmals größer als das Modellgebiet gefasst werden (Abbildung 3-1). Innerhalb des Untersuchungsgebietes erfolgen die erforderlichen Datenrecherchen und -auswertungen.

Das Untersuchungsgebiet hat eine E-W-Ausdehnung von ca. 8,4 km und eine N-S-Ausdehnung von ca. 10,4 km. Hieraus ergibt sich eine Fläche von ca. 88 km².

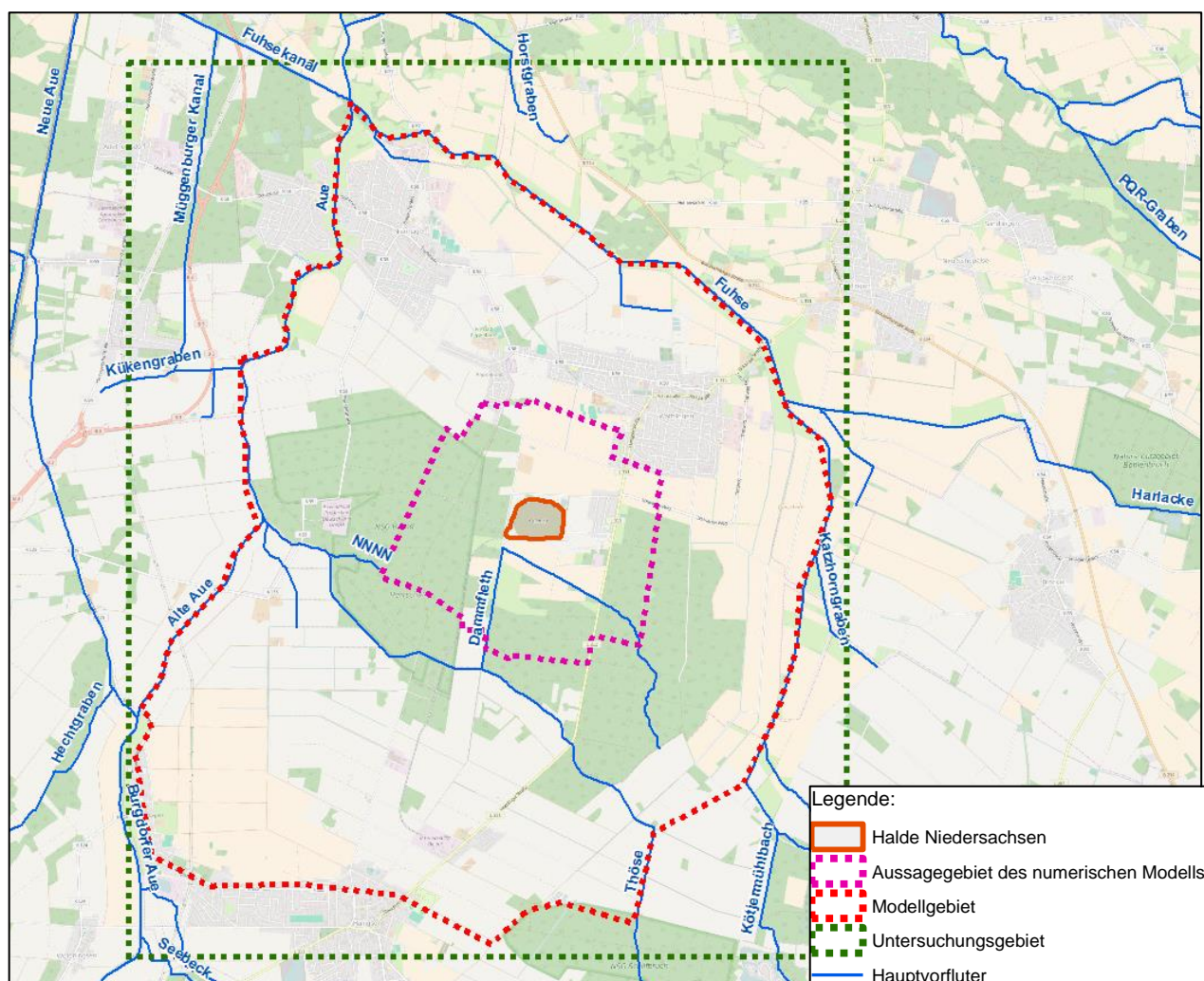


Abbildung 3-1: Lage der Halde Niedersachsen mit Aussage-, Modell- und Untersuchungsgebiet

In **vertikaler Ausdehnung** hat das Modell den gesamten Lockergesteins-Grundwasserleiter bis zur Oberkante des Liegendstauers zu erfassen. Darüber hinaus muss der Eintrag salinarer Wässer aus dem Bereich des Salzstocks als Randbedingung berücksichtigt werden. Nach unten wird das Modellgebiet demzufolge durch die Lage der Quartärbasis in Bereichen außerhalb des Salzstocks definiert. Ansonsten bildet die Oberkante des Salzstocks die Liegendbegrenzung des Modells.

3.2 Kategorie der numerischen Grundwassermodelle

In Anlehnung an die Technische Regel (Arbeitsblatt) DVGW W 107 (A) (DVGW, 2016) erfolgt eine Einstufung des zu erarbeitenden Modells in Kategorien entsprechend Modellgröße, Art, Wiedergabetreue sowie räumlicher und zeitlicher Modelldimension.

Hinsichtlich des zu beschreibenden Prozesses handelt es sich bei der Simulation der Salzwasserverbreitung oberhalb des Salzstocks Wathlingen um ein **Stofftransportmodell**.

Entsprechend der zu bearbeitenden Modellgröße handelt es sich um ein mittelmaßstäbliches Modell. In Bezug auf die erforderliche Wiedergabetreue handelt es sich bei der Bearbeitung um ein **Planungsmodell**. Bezüglich der zu erwartenden Aussagegenauigkeit ist eine hohe Übereinstimmung zwischen Modell und Wirklichkeit erforderlich. Insbesondere das Erfordernis zur dichtegetriebenen Strömungs- und Transportmodellierung führt zu einem erhöhten Datenbedarf und Aufwand bei Erstellung und Kalibrierung des Modells.

Die räumlichen Modelldimensionen werden in Form eines **dreidimensionalen (mehrschichtigen) Modells** gewählt. Die zeitlichen Modelldimensionen werden durch die Berücksichtigung von **instationären** (zeitlich variablen) **Verhältnissen** gekennzeichnet, um den Prozess des Eintrags von salinaren Wässern und prognostische Aussagen zu ermöglichen.

3.3 Ziel der numerischen Grundwassermodellierung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Abdeckung und Begrünung der Kalirückstandshalde Niedersachsen ist als wesentliches Ziel der numerischen Modellierung zu definieren:

- Bewertung der Wirksamkeit der geplanten Abdeckung gegen Einträge von Haldensickerwässern in den Untergrund

Hierzu ist ein Vergleich der prognostischen Auswirkungen der Halde im derzeitigen unabgedeckten Zustand mit den prognostischen Auswirkungen der Halde im abgedeckten und begrünzten Planzustand auf das Schutzgut Wasser (Grundwasser und Oberflächenwasser) erforderlich (Abbildung 3-2).

Als Grundlage für die Prognosen ist der Ist-Zustand modellhaft nachzubilden, in dem sowohl die

- geogene Vorbelastung (höher mineralisierte Ablaugungswässer vom Salzstock)

als auch die

- anthropogenen Vorbelastungen aus
 - den bisherigen von der Halde ausgehenden stofflichen Beeinflussungen (Haldenrandgraben und Haldensickerwässer) und
 - der Versenkung von Haldenwasser in den tieferen Untergrund (Hutgestein)

auf das Schutzgut Wasser berücksichtigt werden.

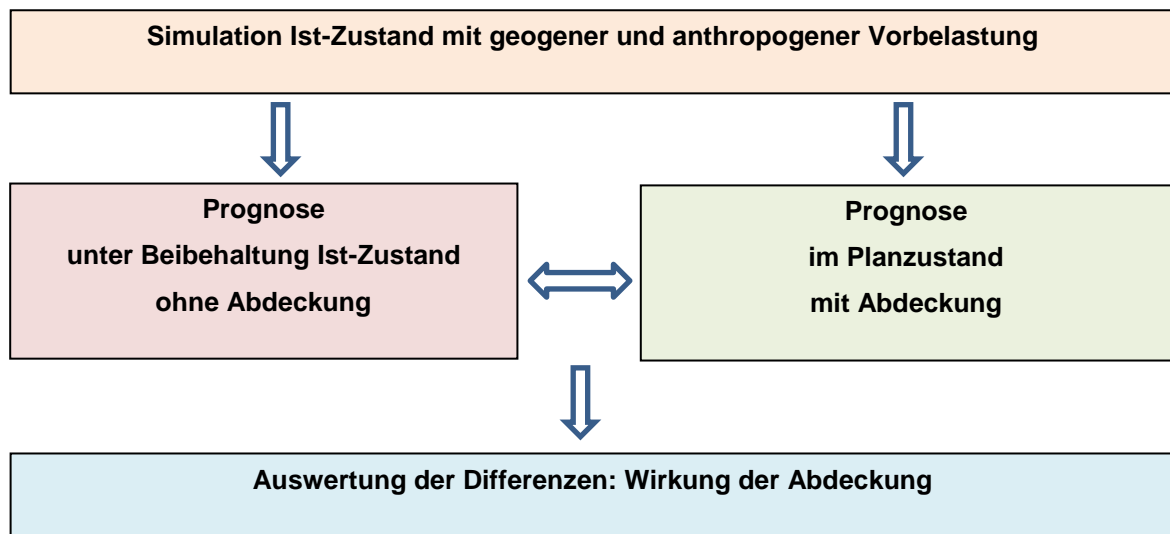


Abbildung 3-2: Bewertungsprinzip für die Modellsimulation

3.4 Spezifische Anforderungen an das zu erstellende numerische Modell

Das zu erstellende numerische Grundwasserströmungs- und Transportmodell hat folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Erfassung und Abbildung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Umfeld der Halde,
- Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse in der gesättigten Zone inkl. Abbildung der existierenden Süß-/Salzwassergrenze (ggf. mit Erweiterungsfähigkeit des Modells auf die Berechnung der ungesättigten Strömungsverhältnisse zwischen Halde und Grundwasseroberfläche zur Abbildung des Eintrags salinarer Wässer in den Untergrund),
- Berücksichtigung eines dichtegetriebenen Stofftransports
- Prognosefähigkeit in Bezug auf möglicher Veränderungen der Tiefenlage der Süß-/Salzwassergrenze,
- ausreichend genaue Erfassung, Wiedergabe und Prognose der von der Halde theoretisch ausgehenden derzeitigen und zukünftigen stofflichen Beeinflussungen auf die Schutzgüter Grundwasser und ggf. Oberflächengewässer.

Der quartäre Grundwasserleiter oberhalb des Salzstocks Wathlingen ist in weiten Bereichen durch die Verbreitung geogen mineralisierter Wässer gekennzeichnet (K+S AG, 2016) / (Fugro Consult GmbH, 2015).

In diesem Spezialfall ist es notwendig, neben der klassischen Grundwasserströmungssimulation für gespannte oder ungespannte Grundwasserleitersysteme zusätzlich dichtegetriebene bzw. thermohaline Strömung zu

berücksichtigen. Die durch die thermohalinen Vorgänge (Dichte-/ Temperatur- und Viskositätsunterschiede) ausgelöste Grundwasserströmung kann sich dabei auf vertikal sehr kleinräumigen Maßstäben ereignen.

Um belastbare Modellaussagen erreichen zu können, ist eine hochauflösende Detailkenntnis der geologischen und hydrogeologischen Parameter erforderlich. Weiterhin kommt der realitätsnahen numerischen Beschreibbarkeit der Quellterme (sowohl geogen als auch anthropogen) eine große Bedeutung zu.

4 Zusammenstellung und Bewertung der vorhandenen Datenlage

4.1 Hydrologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet wird von mehreren Vorflutern durchquert bzw. tangiert (Abbildung 4-1). Hierbei handelt es sich um die Fuhse, die Thöse und die Aue bzw. Alte Aue. Die Entwässerungsrichtung erfolgt hier in der Regel von Südost nach Nordwest.

Hinzu kommen zahlreiche kleinere Entwässerungsgräben in weiten Teilen des Modellgebietes (Abbildung 4-1). Die Gräben konzentrieren sich hierbei vorrangig auf die Randbereiche und haben daher zumeist nur einen vernachlässigbar geringen Einfluss auf die Modellierung. Ausnahmen bilden der nördlich der Halde verlaufende Heidegraben und das Dammfleth südlich der Halde. Beide Gewässer liegen innerhalb des Aussagegebietes der Modellierung und sind daher in der Modellgeometrie zu berücksichtigen.

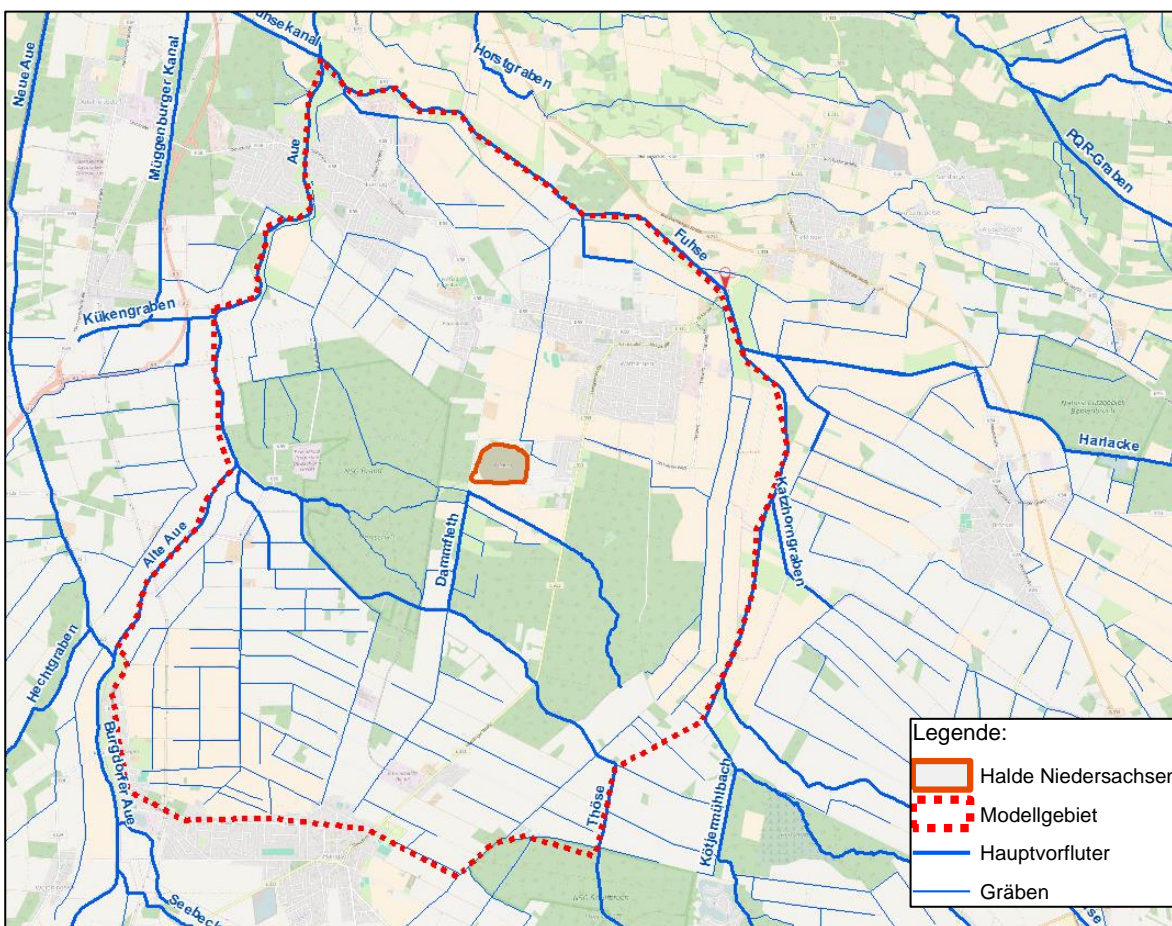


Abbildung 4-1: Lage der Vorfluter und Gräben im Modellgebiet

Basierend auf den verfügbaren Unterlagen existiert mit dem Fuhse-Pegel nordöstlich von Wathlingen eine Oberflächenwassermessstelle des Gewässerüberwachungsnetzes des NLWKN am Rand des Modellgebietes.

Während für die größeren Vorfluter vermutlich eine ausreichende Datenlage für die Modellierung gegeben ist (Wasserstände und Sohlniveau, ggf. auch Abflussmengen), fehlen bisher ausreichende Informationen für die Abbildung der Gräben im Haldenumfeld. Die für die Modellierung erforderlichen Mindestangaben umfassen

Aussagen zur Sohlentiefe, zur Wasserführung und bzgl. zu erwartender Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser.

4.2 Geologische Verhältnisse

Die Grundlage des numerischen Strömungs- und Transportmodells wird durch ein zu erstellendes geologisches Strukturmodell gebildet.

Das Modellgebiet befindet sich im Umfeld des Salzstocks Wathlingen-Hänigsen. Oberflächennah stehen im gesamten Bereich quartäre Lockersedimente an. Die Mächtigkeiten schwanken zwischen 25 und 95 m im zentralen Bereich des Salzstocks. In Abbildung 4-2 sind die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse oberhalb des Salzstocks in einem Profilschnitt schematisch dargestellt (GOLDER ASSOCIATES GmbH, 1998). Der Verlauf des Profils von Nordost nach Südwest folgt in etwa der Längsachse des Salzstocks.

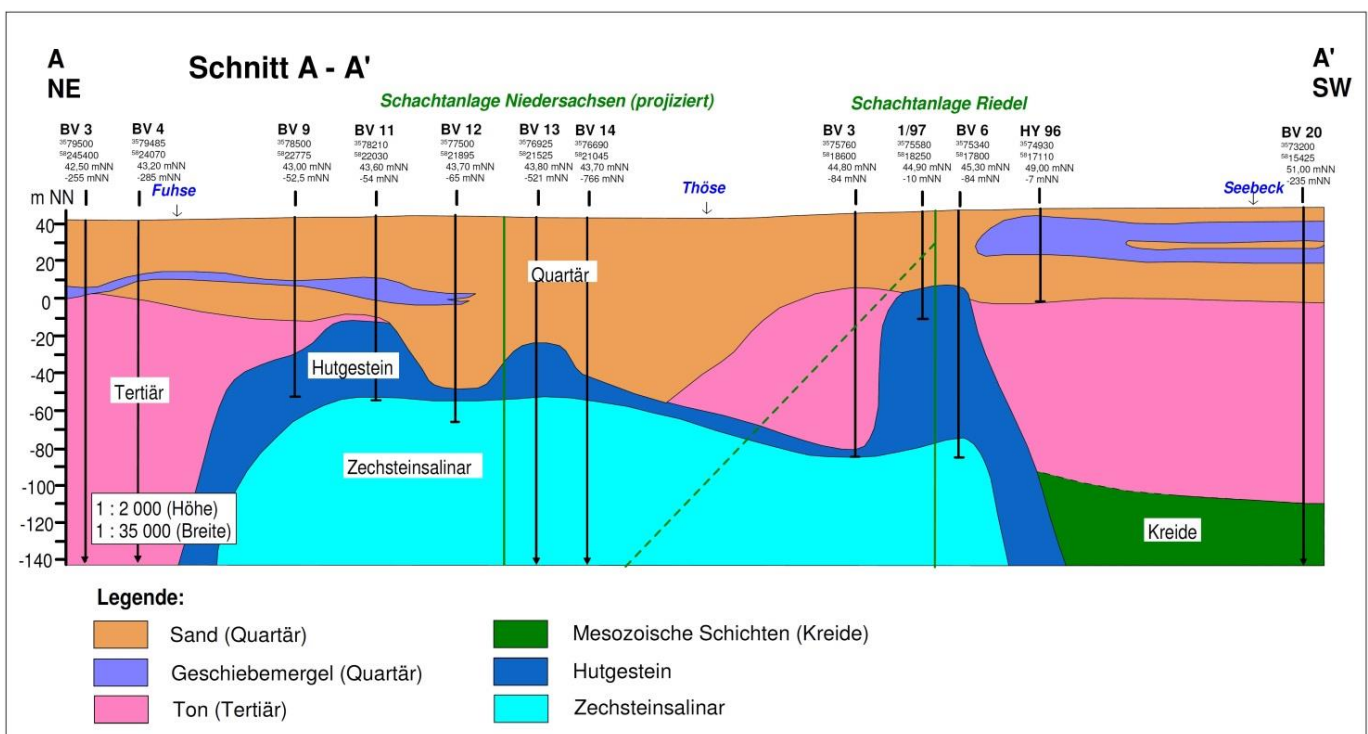


Abbildung 4-2: Schematisches hydrogeologisch-stratigrafisches Profil NE-SW (GOLDER ASSOCIATES GmbH, 1998)

Neben der Kenntnis des grundsätzlichen geologischen Schichtenaufbaus aus geologischen Kartenwerken, z. B. (LBEG, 2016), bilden die im Untersuchungsgebiet verfügbaren Bohrdaten die wesentliche Grundlage zum Aufbau des geologischen Strukturmodells. Zur qualifizierten Erarbeitung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen geologischen Strukturen ist einerseits eine ausreichende Erkundungstiefe der Bohrungen

erforderlich, andererseits sollten die Bohrungen innerhalb des Untersuchungsgebietes möglichst gleichmäßig verteilt sein.

Als Hauptdatenquelle dient hierbei die Landesbohrdatenbank des LBEG. In Abbildung 4-3 sind die im Gebiet vorhandenen Bohrungen mit vorhandenen Schichtenverzeichnissen klassifiziert nach der erreichten Endteufe dargestellt. Innerhalb weiter Teile des Gebietes kann demzufolge von einer guten Verbreitung von Bohrdaten ausgegangen werden. Neben einigen oberflächennahen Bohrungen bis 20 m Endteufe existieren auch zahlreiche Bohrungen des tieferen Untergrundes insbesondere im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Lediglich in Teilbereichen südwestlich und südöstlich der Halde Niedersachsen ist der derzeitige Datenstand möglicherweise nicht ausreichend für eine Modellierung.

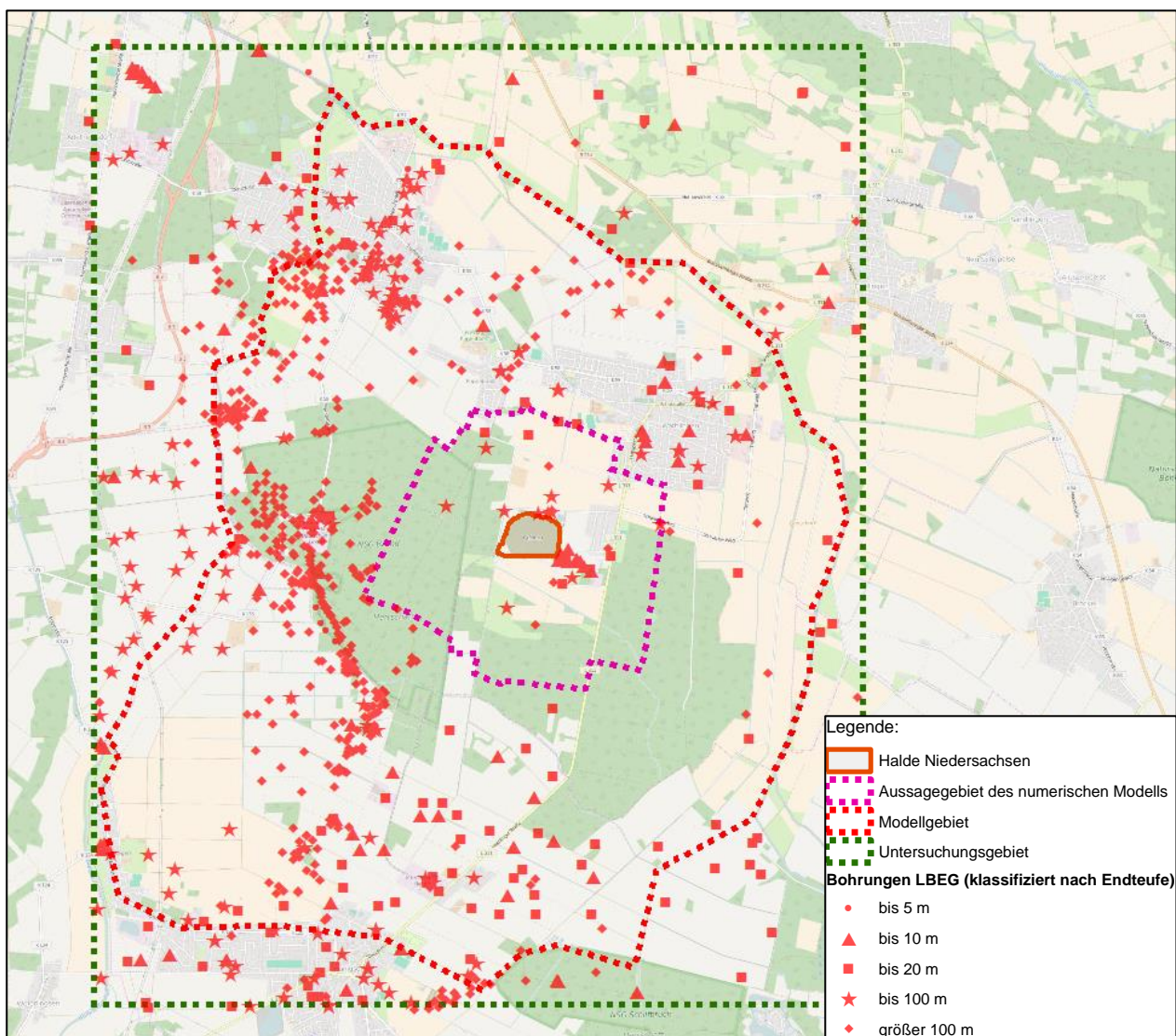


Abbildung 4-3: Darstellung der im Gebiet vorhandenen Bohrdaten des LBEG (klassifiziert nach Endteufe)

Die Klassifikation nach erreichtem Endhorizont in Abbildung 4-4 liefert eine ähnliche Bewertung der Datenlage mit einer guten Abdeckung der geologischen Verhältnisse in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes.

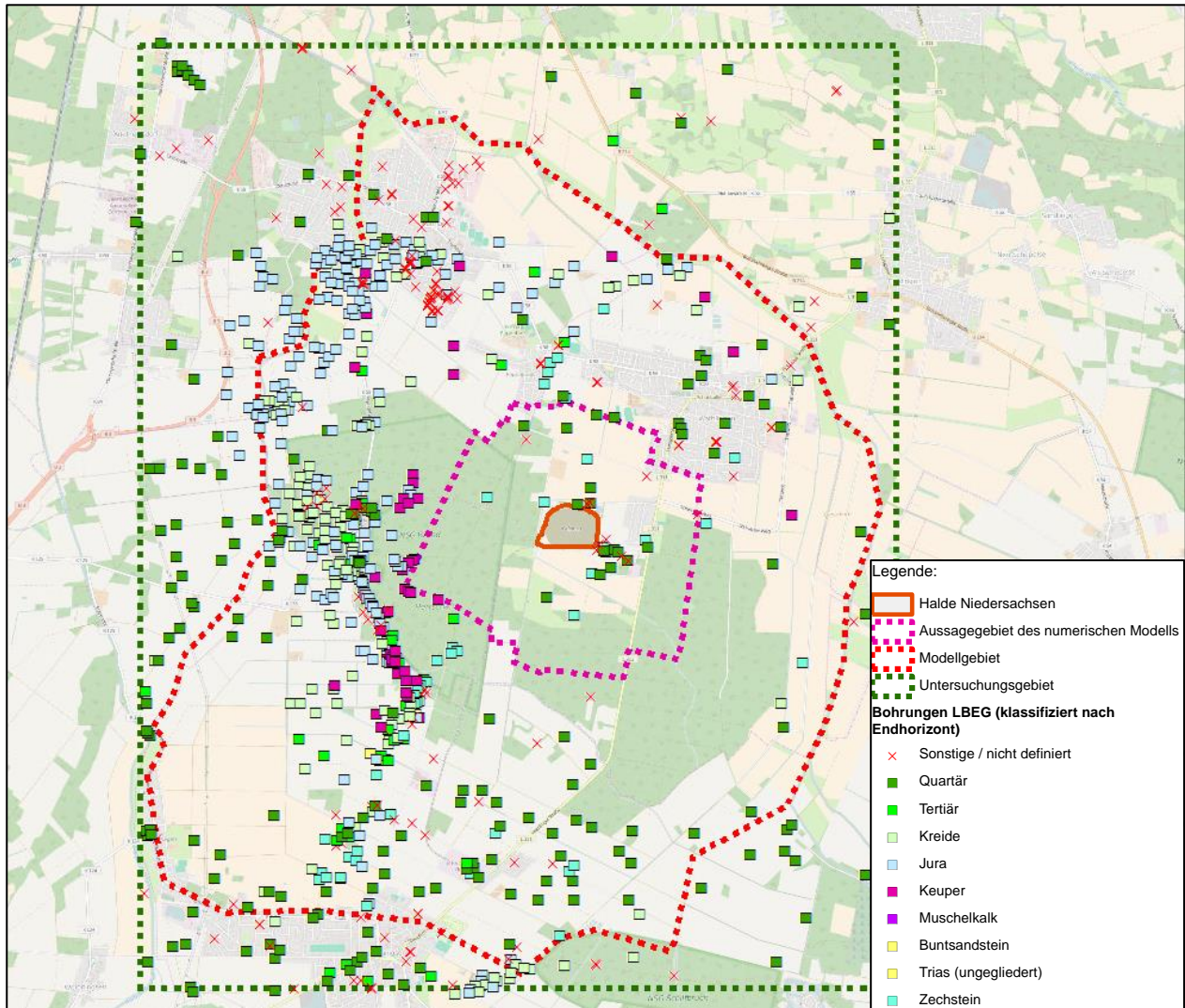


Abbildung 4-4: Darstellung der im Gebiet vorhandenen Bohrdaten des LBEG (klassifiziert nach Endhorizont)

Berücksichtigt man den Freigabestatus der vorhandenen Schichtenverzeichnisse, verschlechtert sich die Datenlage allerdings deutlich. Von ursprünglich ca. 880 Bohrungen sind nur ca. 240 Schichtenverzeichnisse für die Nutzung freigegeben. Diese decken größtenteils den Bereich bis 20 m unter Gelände ab (Abbildung 4-5). Die meisten der im Gebiet vorhandenen, nicht freigegebenen Bohrungen sind zur Erkundung von Kohlenwasserstoffen abgeteuft worden. Eine Freigabe der Bohrdaten zum Zwecke der Erstellung eines geologischen Modells durch die Eigentümer bzw. der entsprechenden Rechtsnachfolger ist unsicher. Eine im Jahr 1998 durchgeführte Recherche der damals vorhandenen Kohlenwasserstoffbohrungen im LBEG-Archiv ergab

zudem, dass die geologische Aufnahme der Explorationsbohrungen bis ca. 500 m unter GOK nur unzureichend und für die Beschreibung des Deckgebirges ungeeignet ist (GOLDER ASSOCIATES GmbH, 1998).

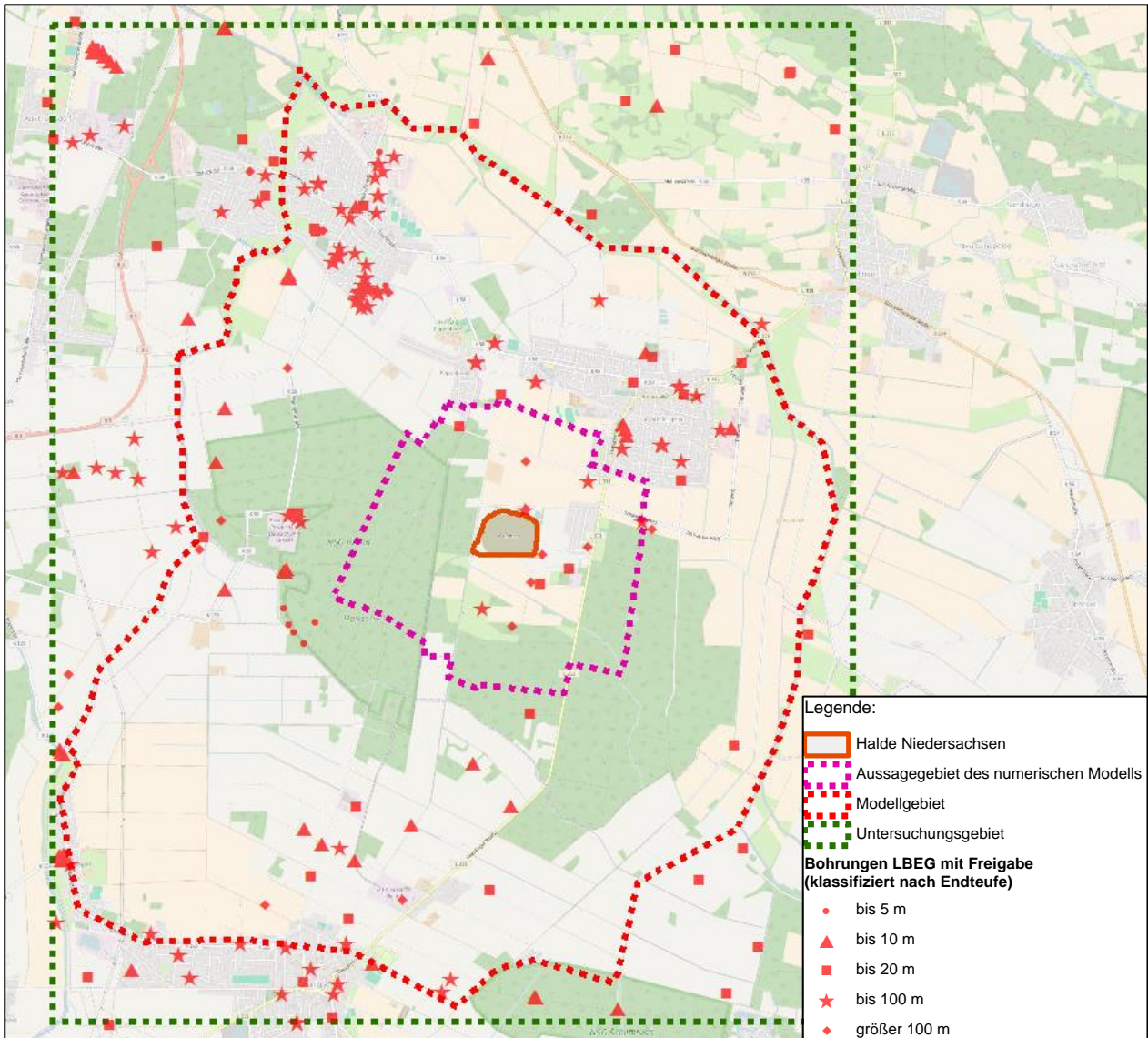


Abbildung 4-5: Darstellung der freigegebenen Bohrungen des LBEG (klassifiziert nach Endteufe)

Zusätzlich liegen einige weitere Bohrungen mit zumeist nur geringen Erkundungstiefen im Umfeld der Halde Niedersachsen im K+S-Archiv vor, die in die Bearbeitung einzubeziehen wären.

Zur Abbildung der Oberfläche des Salzstocks im Untersuchungsbereich ist ein Isolinenplan mit vermutlich hinreichender Genauigkeit vorhanden, der für die Modellierung zur Verfügung steht.

Zur Verbesserung der Datenbasis zu den geologischen Strukturen wäre eine Abgrenzung lithologischer Einheiten unter Zuhilfenahme der hydrogeologischen Auswertung der TEM-Daten (Fugro Consult GmbH, 2015)

zwar theoretisch denkbar, ist aber aufgrund eines begrenzten Auflösungsvermögens und bestehender Mehrdeutigkeiten nur bedingt sinnvoll und nicht empfehlenswert.

Bezüglich der geologischen Datenbasis ist anzumerken, dass die örtliche Verteilung und tatsächliche Verfügbarkeit von Schichtenverzeichnissen sowie die Qualität der lithologischen Schichtenansprachen in den jeweiligen Bohrdaten entscheidenden Einfluss auf die im Ergebnis der Modellierung verbleibenden Restunsicherheiten der Modellierung (Modellfehler) haben.

4.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Verbreitung von Grundwasserleitern und –stauern innerhalb des Untersuchungsgebietes ist aus dem als Grundlage zu erarbeitenden geologischen Modell und daraus abzuleitenden hydrogeologischen Strukturmodell zu übernehmen.

Im Untersuchungsgebiet ist ein quartärer ungespannter Grundwasserleiter flächenhaft verbreitet. Die Mächtigkeiten im Umfeld der Halde Niedersachsen schwanken zwischen 25 und 95 m (LBEG, 2016). Lokale Verbreitungen eines bindigen Zwischenstauer (Geschiebemergel) sind möglich.

Die Grundlagen zur Beschreibung der Grundwasserströmungsverhältnisse sowie zu den zu berücksichtigenden Wechselwirkungen zwischen quartärem Grundwasserleiter und den Vorflutern sind aus der hydrogeologischen Karte HK50 (LBEG, 2016) abzuleiten. Die generelle Grundwasserdynamik innerhalb des Untersuchungsgebietes folgt mit einem generellen Abstrom von Südost nach Nordwest dem morphologischen Gefälle und der Entwässerungsrichtung der Vorfluter (siehe Abbildung 4-6).

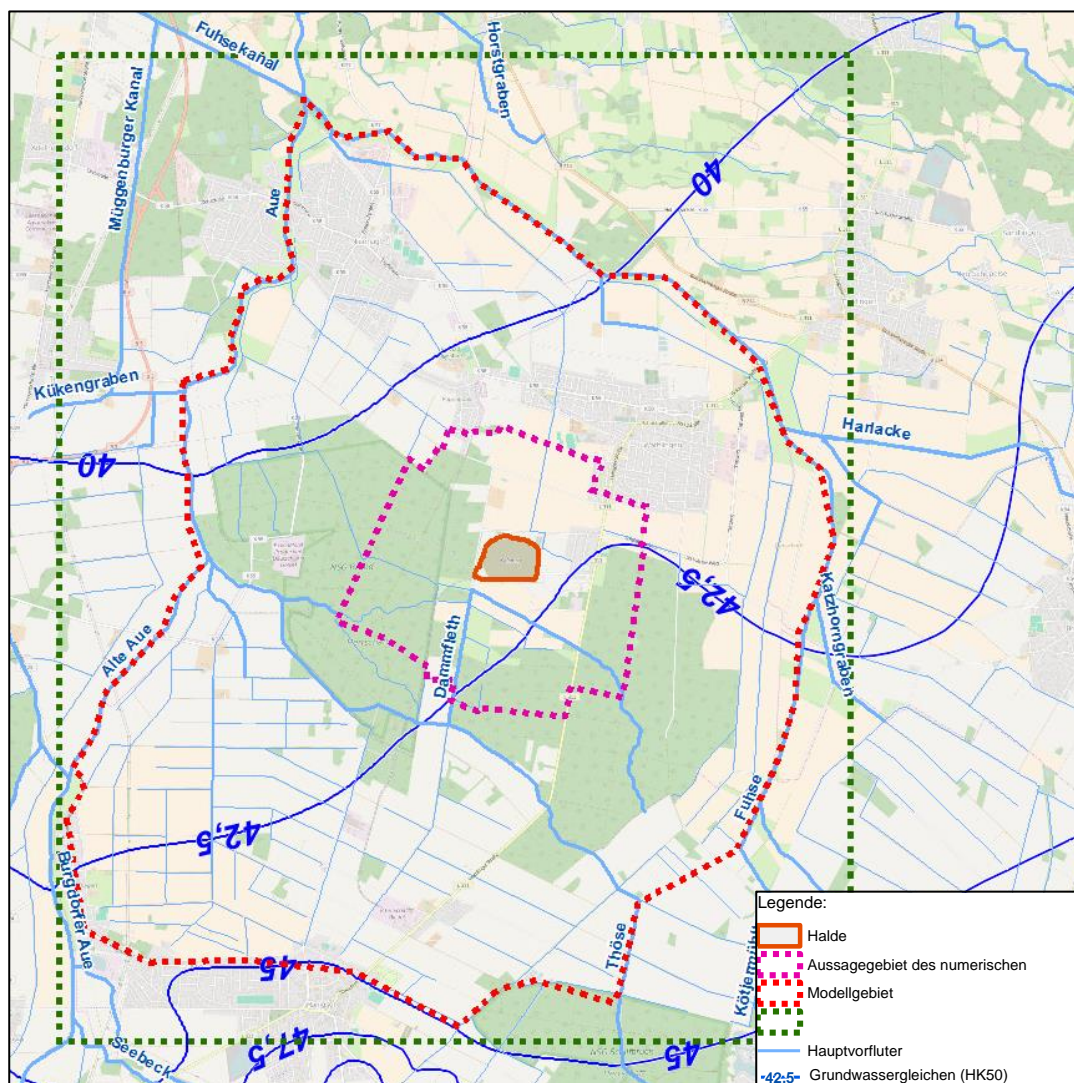


Abbildung 4-6: Grundwasserströmungsverhältnisse gemäß der HK50 (LBEG, 2016)

Im unmittelbaren Umfeld der Halde Niedersachsen existieren derzeit ca. 30 Grundwasseraufschlüsse der K+S AG (Stand 08/2016). Davon werden 14 GWM regelmäßig beprobt. Teilweise sind mehrjährige Messreihen mit bis zu 20 Jahren Dauer vorhanden. Im Juli 2016 wurden in unmittelbarer Nähe zur Halde 11 weitere GWM an 4 Standorten zur ergänzenden Überwachung des Grundwassers errichtet.

Eine weitere Informationsquelle bilden die ebenfalls in Abbildung 4-7 dargestellten Grundwassermessstellen (GWM) des Landesmessnetzes. Insgesamt 6 GWM befinden sich am Rand bzw. im Umfeld des Untersuchungsraums. Diese verfügen zumeist auch über langjährige Messreihen und ermöglichen so auch Aussagen zum Schwankungsverhalten innerhalb des Grundwasserleiters.

Eine zusätzliche Verdichtung der Informationen zu den Grundwasserständen ist anhand der beim LBEG vorhandenen Bohrdaten möglich, sofern diese über Angaben zu Wasserständen und Ausbau der Bohrung verfügen (Abbildung 4-7).

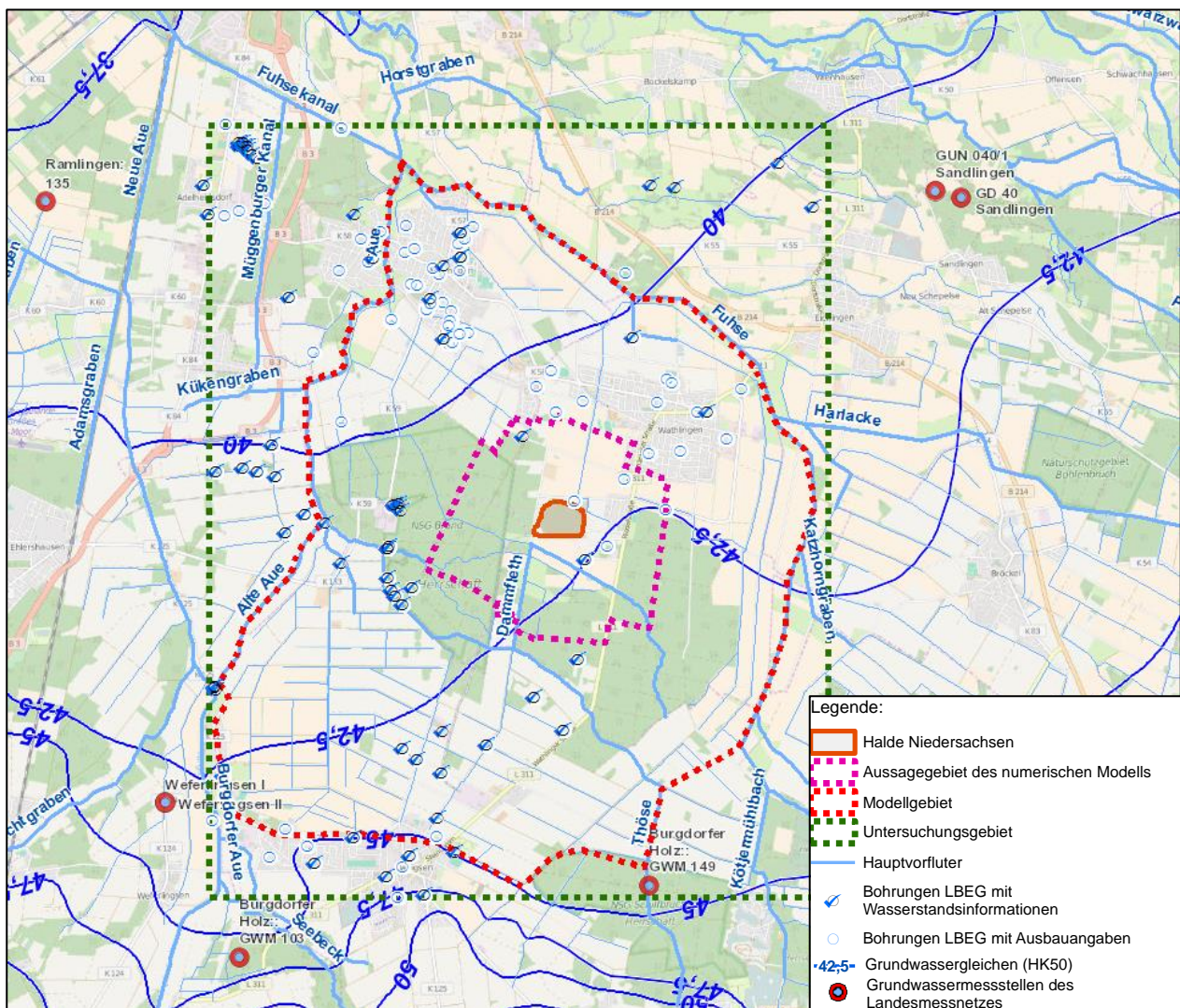


Abbildung 4-7: Bohrungen mit hydrogeologischen Informationen und GWM des Landesmessnetzes

Die Grundwasserneubildung ist für das Untersuchungsgebiet flächendifferenziert nach der Methode mGROWA vorhanden (Abbildung 4-8). Diese im Rahmen der im Regionalmaßstab 1:200.000 erstellten Neubildungsrechnungen mGROWA sind als Modellgrundlage ausreichend.

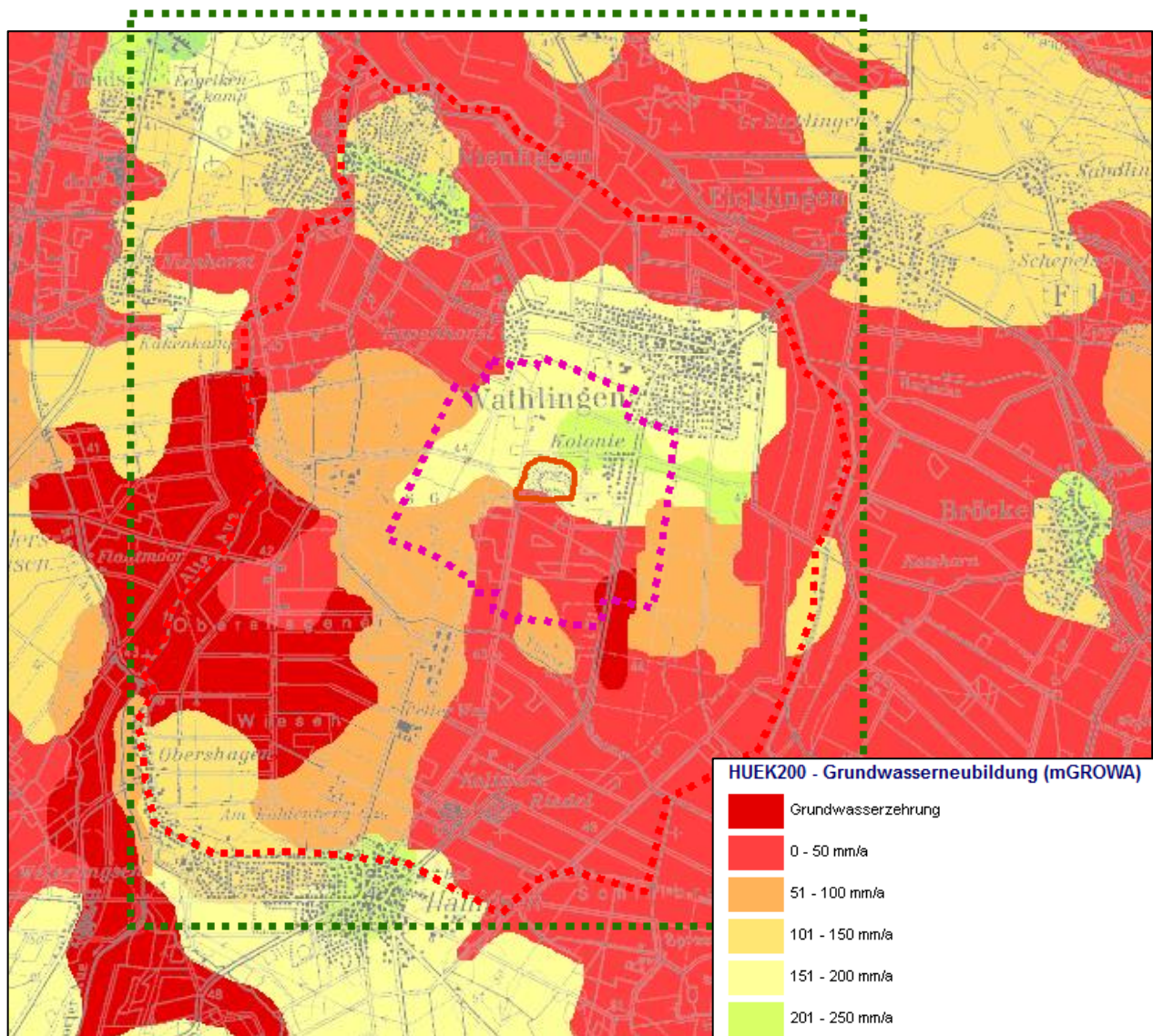


Abbildung 4-8: Grundwasserneubildung nach mGROWA (LBEG, 2016)

4.4 Hydrochemische Verhältnisse / Salzwasserverbreitung

Für die Bearbeitung des erforderlichen Stofftransportmodells ist die Abbildung der Süß-/Salzwassergrenze erforderlich.

Im Untersuchungsgebiet wurde eine große Anzahl an geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen durchgeführt, aus denen sich die im Folgenden dargelegte Verbreitung mineralisierter Wässer im Umfeld der Halde Niedersachsen ergibt.

Durch die Ablaugung bzw. Erosion des Hutgesteins im Kernbereich des Salzstocks (Abbildung 4-2) sind Wechselwirkungen zwischen Salzstock / Hutgesteinsrest und dem darüber liegenden quartären Grundwasserleiter möglich und führen im tieferen Teil des Grundwasserleiters in weiten Bereichen oberhalb des Salzstocks zum Vorhandensein mineralisierter Wässer.

Im Flankenbereich des Salzstocks kam es infolge der Halokinese zur Aufschleppung der benachbarten mesozoischen und tertiären Schichten. Bei den aufgeschleppten Gesteinen handelt es sich zumeist um gering durchlässige Schluffe und Tone. Diese bilden eine Art „Ringwall“ entlang der Salzstockflanken im Liegendbereich des Grundwasserleiters und verhindern eine direkte konvektive Verlagerung bzw. weitere Verbreitung hochgradig mineralisierter Wässer aus dem Gipshutbereich.

Anhand der Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung im Umfeld der Halde Wathlingen (K+S AG, 2016) sowie der hydrogeologischen Auswertung der SkyTEM-Befliegung am Standort Niedersachsen-Riedel (Fugro Consult GmbH, 2015) liegen Angaben und Hinweise zur Lage und Verbreitung der mineralisierten Wässer im Umfeld der Halden Niedersachsen und Riedel vor. Demnach befindet sich die Salzwasser-Süßwassergrenze in etwa zwischen 15 und 30 m unterhalb der Geländeoberkante.

Es kann insgesamt davon ausgegangen werden, dass die mineralisierten Wässer im Wesentlichen aufgrund der hydrochemischen Zusammensetzung geogenen Ursprungs sind (Braun, 2010). Es gibt jedoch auch Hinweise auf einen anteiligen Einfluss durch Haldenwässer (Fugro Consult GmbH, 2015).

Im Rahmen der angestrebten Grundwasserströmungsmodellierung sollen quantitative Aussagen zu möglichen anthropogenen Beeinflussung durch eingetragene mineralisierte Wässer getroffen werden. Hierbei sind sowohl die im Rahmen der Versenkung ins Hutgestein eingetragenen Anteile als auch mögliche diffuse Einträge im Haldenumfeld (Haldenrandgraben, Haldenmantel) zu berücksichtigen.

Während die zur Versenkung gelangten Salzwässer in Menge und Konzentration in Jahresberichten dokumentiert sind (aktuell (K+S AG, 2016)), gibt es keine konkreten Informationen zu den diffusen Einträgen aus dem Haldenbereich.

5 Machbarkeitsbewertung anhand der vorhandenen Datenlage

5.1 Bewertung Modellaufbau mit vorliegendem Datenbestand

Im ersten Schritt ist ein geologisches Standortmodell zu erstellen, aus dem ein hydrogeologisches Strukturmodell abgeleitet wird. Es wird eingeschätzt, dass mit dem vorliegenden Datenbestand der Aufbau des geologischen Modells grundsätzlich möglich ist. Einschränkungen bezüglich der Datendichte aufgrund der nicht frei verfügbaren Bohrdaten und unzureichender Schichtenbeschreibung der Kohlenwasserstoffbohrungen in Bereich des quartären Grundwasserleiters führen zur Unsicherheiten bezüglich der Güte des Modells.

Das daraus abzuleitende hydrogeologische Strukturmodell muss daher zwangsläufig mit Unsicherheiten verbleiben. Insbesondere ist die Verbreitung von Zwischenstauern innerhalb des quartären Grundwasserleiters nicht hinreichend geklärt. Die wesentlichen Strukturen sind jedoch bekannt, so dass der Aufbau eines nutzbaren Modells grundsätzlich machbar erscheint.

Zur Überführung des hydrogeologischen Strukturmodells in ein numerisches Modell sind die Grundlagen prinzipiell gegeben. Das Modellgebiet ist geeignet abgrenzbar und sowohl horizontal als auch vertikal aufgabenbezogen hinreichend fein diskretisierbar. Die äußeren Randbedingungen können anhand der Grundwasserströmungsverhältnisse als Randstromlinie der HK50 (LBEG, 2016) und der Vorfluter definiert werden. Es bestehen jedoch Einschränkungen beim Datenbestand der Vorfluter, so dass hier weitere Datenerhebungen oder alternativ Vereinfachungen bei der Übernahme in das Modell erforderlich wären. Ebenso ist die Anbindung der Vorfluter an das Grundwasser nicht bekannt, so dass die Werte für die Leakage-Faktoren, die die Verbindung zwischen der Vorflut und Grundwasserleiter charakterisieren, Zielgröße der Modellkalibrierung sein müssen.

Für die Grundwasserneubildung liegen geeignete Eingangsdaten aus mGROWA (LBEG, 2016) vor. Im Untersuchungsgebiet vorhandenen Brunnen können als innere Randbedingungen in das numerische Modell integriert werden. Hierzu wären noch Entnahmemengen zu recherchieren.

5.2 Bewertung Grundwasserströmungssimulation mit vorliegendem Datenbestand

Zum Funktions- und Plausibilitätstest des aufgebauten Strömungsmodells werden entsprechende Kalibrierungsrechnungen vorgenommen. Es sollten mit dem geohydraulischen Simulationsmodell die gemessenen mittleren Grundwasserströmungsverhältnisse so gut wie möglich (vorerst stationär) nachsimuliert werden. Ausgehend von den Grundwasserstandsmessungen im Umfeld der Halde sowie den Grundwassergleichen der HK50 (LBEG, 2016) kann prinzipiell eine Kalibrierung des Strömungsmodells erfolgen. Diese muss aber aufgrund fehlender zusammenhängender Stichtagsmessungen orientierend bleiben.

Im Ergebnis der Kalibrierung entsteht eine k_f -Wertverteilung für die einzelnen Modellschichten. Die Bewertung der kalibrierten k_f -Werte ist jedoch aufgrund fehlender Datenbasis nur eingeschränkt möglich.

Als Ergebnis kann ein Grundwasserströmungsmodell entstehen, welches die wesentlichen Fließvorgänge im Grundwasser am Standort nachbildet, jedoch im Detail Unsicherheiten aufweist.

5.3 Bewertung Stofftransportsimulation mit vorliegendem Datenbestand

Auf der Grundlage der kalibrierten Grundwasserströmungsverhältnisse ist das Modell für die Simulation des Stofftransports zu parametrisieren. Eine wesentliche Voraussetzung der Simulation des dichteabhängigen Stofftransports ist die Einhaltung der numerischen Stabilitätskriterien (PECLET-Zahl, COURANT-Zahl, NEUMANN-Zahl) im 3D-Modell. Die Voraussetzungen hierzu sind bereits beim Modellaufbau (Diskretisierung) zu schaffen.

Für die Simulation des dichtegetriebenen Stofftransports ist konzeptionell vorrangig die gesättigte Zone vorzusehen. Auf die Einbeziehung von ungesättigt durchströmten Bereichen in das Stofftransportmodell sollte im vorliegenden Fall verzichtet werden, da diese für die Stoffausbreitung im Grundwasserströmungsfeld nicht von Bedeutung ist. Bei der Berechnung von Ausbreitungen mit dichtegetriebener Strömung im ungesättigten Bereich im gekoppelten Modell sind signifikante numerische Instabilitäten die Folge. Sofern die Durchströmung im ungesättigten Bereich eine wesentliche zu lösende Fragestellung ist, ist generell eine eigenständige Stofftransportsimulation empfehlenswerter. Die Beschränkung der Stofftransportsimulation auf den gesättigten Bereich bedeutet, dass der anthropogene Eintrag aus dem Bereich der Halde modellhaft ohne Transfer durch die ungesättigte Zone in das Grundwasser erfolgt.

Im Rahmen der Aufgabenstellung ist die Simulation des dichtegetriebenen Stofftransports ausgehend von einem Quellterm im Haldenbereich unter Berücksichtigung erheblicher geogener Mineralisation des Grundwassers auszuführen.

Hierbei stellt sich die Datenbasis für den Quellterm Halde als unzureichend für die Ausführung der Modellsimulation dar.

- Für das Nachvollziehen des Ist-Zustand fehlen Datengrundlagen zu den bisherigen diffusen Einträgen aus Haldenrandgraben und Haldenmantel in den Grundwasserleiter. Diese können auch nicht aus der Verbreitung der salinaren Wässer im Untergrund rückgerechnet werden, da keine Differenzierung zu den geogen Salzwässern möglich ist.
- Für die Prognose des Vergleichszustandes unter Beibehaltung des Ist-Zustandes ohne Abdeckung ist der theoretisch zu erwartende Eintrag an Salzwässern aus dem Haldenbereich nicht quantifiziert.
- Für die Prognose des künftigen Planzustandes mit Abdeckung liegt mit dem Gutachten (Dunger, 2017) eine Berechnung der Restdurchsickerung durch die aufzubringenden Deckschichten als Grundlage vor. Die aus dem Kontakt mit dem darunter lagernden Haldenkörper minimal verbleibenden Resteinträge in den Grundwasserleiter sind dagegen nicht prognostiziert bzw. prognostizierbar (siehe hierzu auch Kap. 8.2).

Als Fazit ist einzuschätzen, dass die Modellierung auf Basis des vorliegenden Datenbestandes nur als Prinzipsimulation unter Nutzung von plausiblen Annahmen für die zwei unbekannten Quellterme erfolgen kann. Grundsätzliche Aussagen in Bezug auf eine Wirksamkeit der Abdeckung der Halde wären daraus ableitbar, jedoch kann eine derartige Aussage ebenso ohne aufwändige Stofftransportsimulation erfolgen.

Die Kosten für den Aufbau eines plausiblen Grundwasserströmungs- und Transportmodells (inkl. Aufbau, 2D- / 3D-Kalibrierung, Rechnung eines Zielszenarios und Modelldokumentation) liegen in erster Näherung zwischen **80.000 und 100.000 €**.

6 Konzept zur Verbesserung des Datenbestandes

Für die Qualifizierung des numerischen Grundwasserströmungsmodells wären im Wesentlichen folgende vertiefende Untersuchungen und Datenaquisitionen zu erbringen:

- Erwirkung der Freigabe zur Einsichtnahme der gesperrten Schichtenverzeichnisse der Bohrdatenbank des LBEG zur Verbesserung des geologischen Modells (Verbreitung von Zwischenstauern / Lage der Quartärbasis)
- Durchführung von weiteren Erkundungsbohrungen und (teilweiser) Ausbau zu Grundwassermessstellen zur Verbesserung des geologisch-hydrogeologischen Modells (Verbreitung GW-Leiter / -Stauer, Lage der Quartärbasis) und der hydrogeologischen Datenbasis (Grundwasserstände, -gefälle)
- Durchführung hydraulischer Tests, geophysikalischer Untersuchungen an den neuen Bohrungen / GWM sowie Leitfähigkeitsmessungen zur Ermittlung der Süß-/Salzwassergrenze und Probenahmen / Analytik zur Erzielung von Beschaffenheitsdaten
- Durchführung von Stichtagsmessungen zur Modellkalibrierung sowie regelmäßige Grundwasserspiegel- und Leitfähigkeitsmessungen zur Ermittlung des GW-Schwankungsverhaltens und der Variabilität der Lage der Süß-/ Salzwassergrenze zur Überprüfung der Modellkalibrierung
- Vermessung der im Modellgebiet vorhandenen Fließgewässer / Entwässerungsgräben zur Parametrisierung der Modellrandbedingungen (Wasserstand, Gewässerbreite und -tiefe, Anbindung an GW-Leiter) sowie Durchflusssmessungen sowie Erfassung der Sohlsubstrate und Mächtigkeiten zwecks Ableitung kf-Werte / Leakage-Faktoren
- Recherche und Einbeziehung von Wasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Beregnung sowie ggf. weiterer Wassernutzungen im Umfeld der Halde Niedersachsen

Der Rechercheaufwand zur Ermittlung der ergänzenden Daten kann in etwa mit 3 bis 6 Monaten abgeschätzt werden. Für das Abteufen zusätzlicher Bohrungen bis zur Quartärbasis und den Ausbau zu Grundwassermessstellen (inkl. der geophysikalischen Untersuchungen, Feldmessungen, Probenahmen) sowie für die daran anschließenden Stichtagsmessungen wird in Abhängigkeit von der tatsächlichen Anzahl der Bohrungen und den anzuwendenden Bohrverfahren von einer Dauer zwischen 6 bis 12 Monaten ausgegangen. Insgesamt ist in Abhängigkeit vom auszuführenden Bohrprogramm mit **zusätzlichen Kosten von 150.000 bis 250.000 €** zu rechnen.

Für die erforderliche Simulation des Stofftransports ist es wesentlich, die Eingangsdaten für den Quellterm Halde zu verbessern:

- Erarbeitung von Daten zu bisherigen Einträgen aus Haldenrandgraben und Halde
- Haldenwasserbilanz im Ist-Zustand mit Ausweisung des zu erwartenden Resteintrags in den Untergrund

Inwiefern eine qualifizierte Ermittlung diffuser anthropogener Einträge tatsächlich möglich ist, kann anhand der derzeitigen Datenlage nicht abgeschätzt werden.

7 Machbarkeitsbewertung auf Grundlage einer erweiterten Datenlage

Durch die vertiefenden Untersuchungen und Ermittlung zusätzlicher Informationen kann der zu erwartende Modellfehler reduziert werden. Umfang und Schwerpunkte der erforderlichen Arbeiten können jedoch erst nach Fertigstellung des Ausgangsmodells sicher abgeschätzt werden.

Durch das Abteufen zusätzlicher Bohrungen ist eine Verbesserung des geologischen Modells und des hydrogeologischen Strukturmodells zu erwarten, insbesondere in Bezug auf die Lage der Quartärbasis sowie die Verbreitung von GW-Leitern / -Stauern. Möglicherweise sind auch aus der Recherche bisher nicht freigegebener Bohrdaten im LBEG Archiv zusätzliche Modellverbesserungen möglich.

Nach Durchführung zusätzlicher Stichtagsmessungen an bestehenden bzw. zu errichtenden Messstellen sind deutliche Verbesserungen bei der Kalibrierung / Prüfung des Strömungsmodells erwarten. Insbesondere wird die Kontrolle der Modellgüte über die Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Wasserspiegeln ermöglicht.

Die Interaktionen zwischen Grund- und Oberflächenwasser sind mit einer verbesserten Datenlage besser abbildbar und prüffähig. Anhand von Durchflussmessungen kann die Stimmigkeit der Gebietswasserbilanzen geprüft werden. Eine Optimierung der k_f -Wertverteilung im Umfeld der Halde Niedersachsen durch hydraulische Tests kann die Detailauflösung des Modells in diesem Bereich verbessern.

Damit ist für das hydrogeologische Strukturmodell und Grundwasserströmungsmodell einzuschätzen, dass aufgrund der durch zusätzliche Untersuchungen verbesserten Datenlage deutlich geringere Modellfehler und ein qualifiziertes Modell für den Teilaspekt Grundwasserströmung zu erwarten ist.

Entscheidend für die Erfüllung der Zielstellung der numerischen Grundwassermodellierung ist jedoch die Verbesserung der Datenbasis für die Stofftransportsimulation. Dieses ist nur möglich, sofern sich die Eintragsquellen und –mengen der mineralisierten Wässer im Ist-Zustand hinreichend genau ermitteln bzw. prognostizieren lässt.

Hierzu ist einzuschätzen, dass auch mit zusätzlichen Recherchen und Untersuchungen eine deutliche Verbesserung der Stofftransportmodellierung kaum zu erwarten ist. Dies liegt vorrangig an der mangelhaften Quantifizierbarkeit und Abgrenzung der geogenen und anthropogenen Einträge voneinander. Die Schwierig-

keiten sowie die daraus resultierenden Modellunsicherheiten aufgrund der unterschiedlichen Eintragsquellen mineralisierter Wässer werden im folgenden Kapitel nochmals erläutert.

8 Modellvorbetrachtung zur Differenzierbarkeit anthropogener und geogener Salzwässer

8.1 Modellannahmen / Grundlagen

Eine orientierende Gesamtab schätzung der im Gebiet vorhandenen Menge hochmineralisierter Wässer lässt sich anhand der TEM-Auswertung (Ermittlung der Salzwasser-Süßwasser-Grenze) und der Lage der Quartärbasis vornehmen. Eine Differenzierung nach geogenen und anthropogenen Quellen ist hiermit jedoch nicht möglich.

Anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse (K+S AG, 2016) kann die Herkunft der Hauptanteile des mineralisierten Wassers aufgrund der hydrochemischen Zusammensetzung geogenen Quellen zugeordnet werden. Diese sammeln sich in der Beckenstruktur im tieferen Bereich des quartären Grundwasserleiters. Aufgrund des umgebenden Ringwalls im Bereich der Salzstockflanken findet eine Verlagerung entsprechend der Grundwasserfließrichtung kaum statt. Die Oberkante des Ringwalls befindet sich auf einem Niveau zwischen 20 und 40 m unter GOK (vgl. Abbildung 4-2).

In vertikaler Richtung ist ein dispersiver Austausch mit dem überlagernden Süßwasser grundsätzlich möglich, Zwischenstauer besitzen nur eine untergeordnete lokale eng begrenzte Wirksamkeit. Die Austauschvorgänge im Hangenden des Salzstocks veranschaulicht Abbildung 8-1.

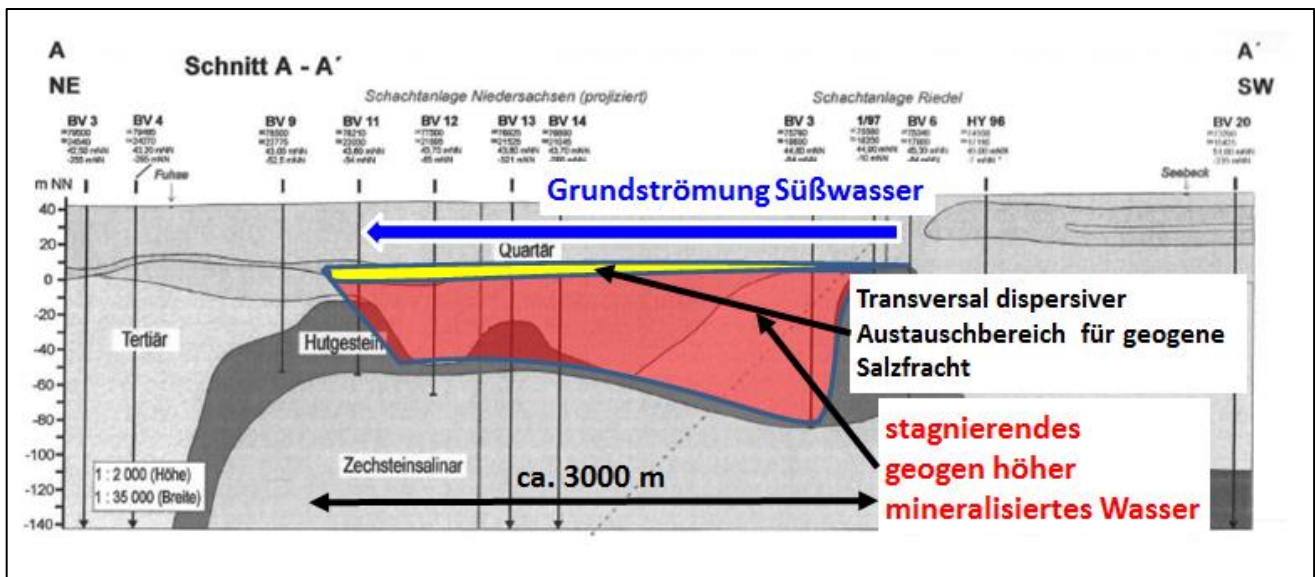


Abbildung 8-1: Schematische Darstellung der Strömungsverhältnisse im Hangenden des Salzstocks

Als hochmineralisierte Wässer anthropogenen Ursprungs sind diffuse Versickerungen aus dem Haldenbereich (ehemalige Undichtheiten von Haldenrandgraben, diffuse Einträge aus dem Haldenrand / Haldenmantel) und die Haldenwasserversenkung, die im Frühjahr 2017 eingestellt werden soll, zu nennen.

8.2 Abschätzung der Salzfrachten der einzelnen Quellterme

Auf Basis der verfügbaren Informationen zur Herkunft der Mineralisation des Grundwassers kann eine orientierende Abschätzung der Frachtanteile erfolgen. Diese wäre im Rahmen der angestrebten Grundwasserströmungsmodellierung durch eine verbesserte Datenbasis zu untersetzen und im Modell nachzubilden. Die orientierende Abschätzung der einzelnen Anteile dient zur Prüfung der Machbarkeit der aufgabenbezogenen Stofftransportsimulation und ist im Folgenden erläutert.

Geogener Anteil aus Subrosion des Salzstocks

Der geogene Anteil der Salzfracht, welcher durch die Grundwasserströmung aufgenommen und mitgetragen wird, kann über eine überschlägige Abschätzung der transversal-dispersiven Mobilisation von eingeschichteten Salzwässern aus dem Gipshut ermittelt werden. Konvektive Subrosionsanteile finden hierbei keine Berücksichtigung. Es handelt sich hierbei demzufolge um eine Minimalabschätzung, die tatsächlichen Anteile geogen mineralisierten Wassers sind vermutlich noch deutlich größer.

Grundlage ist die Abschätzung der longitudinalen Dispersivität (δ_L) aus der Geometrie des Transportphänomens. Im Fall eines Lockergesteins-Aquifers wird sie durch das Umströmen der Kornpackung des Grundwasserleiters verursacht. Nach (Beims, 1985) kann man davon ausgehen, dass die longitudinale Dispersivität von migrativen Stofftransportprozessen innerhalb kiesig-sandiger Grundwasserleiter etwa 1/100 der Fließweglänge des Transportphänomens beträgt (Verzögerung / Beschleunigung in Bezug zur mittleren Abstandsgeschwindigkeit einer Front). Der transversale Anteil der Dispersion δ_T beträgt dabei etwa 10 % der longitudinalen Dispersion (Kinzelbach & Rausch, 1995). Dieser Anteil kommt als „Quellterm“ für geogene Salzfrachten zum Ansatz. Eine Unterscheidung zwischen transversal-horizontaler Dispersivität (dem „Breitlaufen“ der Front) und einer transversal vertikalen Komponente ist aufgrund der vertikal und horizontal auftretenden Wechselwirkungen nicht sinnvoll.

Im Fall des Salzstocks Wathlingen beträgt die Länge des Salzstocks / Hutgesteins in Grundwasserfließrichtung (Südost nach Nordwest) ca. 3.000 m. Damit ergibt sich eine wirksame longitudinale Dispersivität von $\delta_L = 30$ m. Die transversale Dispersivität beträgt 10 % der longitudinalen Dispersivität, somit $\delta_T = 3$ m (Abbildung 8-2). Da sie nur in der unteren Hälfte des Dispersionstrichters zur Mobilisation hochmineralisierter Wässer beiträgt, kommt nur die Hälfte der transversalen Dispersivität (1,5 m) zur Betrachtung der Freisetzung zum Ansatz.

Bei einer oberflächlichen Ausdehnung des Hutgesteins von 3 x 4 km (12 km²) und einer salzwasserseitigen Austauschlamellendicke von durchschnittlich 1,5 m stehen dispersiv unter Berücksichtigung einer effektiven (entwässerbaren / durchflusswirksamen) Porosität von 20 % des Gesamtvolumens somit an der Kontaktfläche zum Grundwasserleiter etwa 3,6 Mio. m³ Salzwasser bereit.

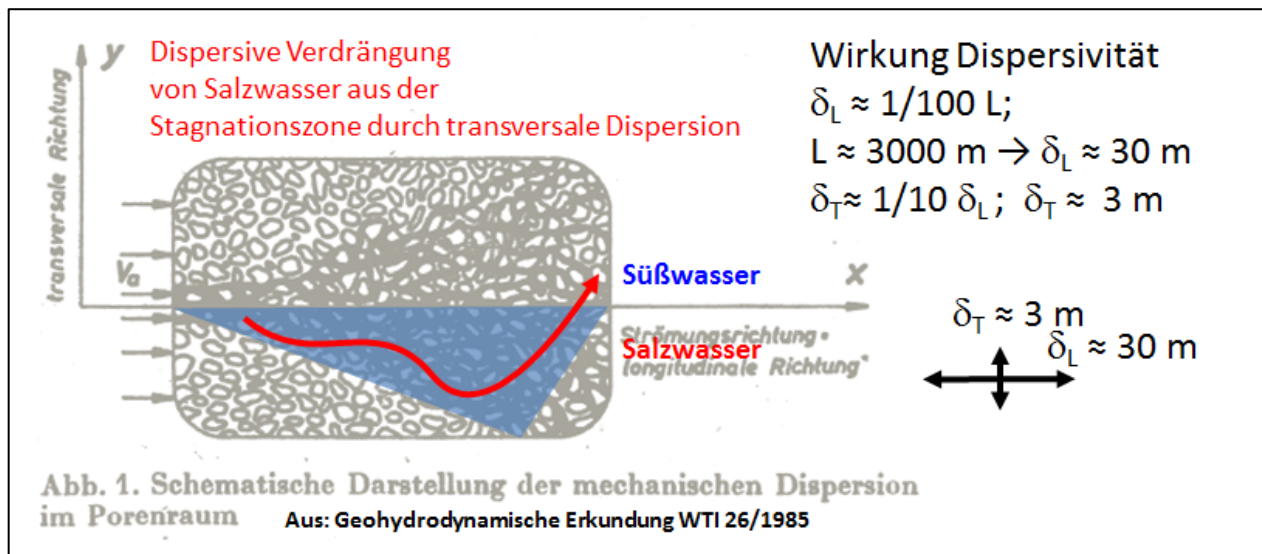


Abbildung 8-2: Schematische Darstellung des mechanischen Dispersionsansatzes (ergänzt nach (Beims, 1985))

Um aus dem verfügbaren geogenen Gesamtvolumen eine jährliche Menge abzuleiten, welche dem Grundwasserleiter zufließt, muss die Verweildauer oberhalb des Hutgesteins ermittelt werden. Diese lässt sich als Quotient der mittleren Abstandsgeschwindigkeit und der Fließstrecke oberhalb des Hutgesteins von 3.000 m ermitteln. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit lässt sich wiederum aus der Filtergeschwindigkeit berechnen.

Die Filtergeschwindigkeit v ist eine theoretische Geschwindigkeit, die sich als Produkt von Durchlässigkeitsbeiwert k_f und hydraulischem Gefälle i ergibt (abgeleitet aus dem Gesetz von Darcy):

$$v = k_f \cdot i$$

Auf Grundlage des Grundwassergleichenplans von LÜTTIG (Lüttig, 1990) ergibt sich ein Gefälle i von rund 1/700. Aus der Auswertung von Pumpversuchen im gleichen Gutachten kann für den Grundwasserleiter ein k_f -Wert von ca. $5 \cdot 10^{-4}$ m/s angenommen werden. Hieraus ergibt sich eine Filtergeschwindigkeit von $7,1 \cdot 10^{-7}$ m/s (entspricht 23 m/a).

Die Abstandsgeschwindigkeit v_a als mittlere reale Fließgeschwindigkeit zwischen zwei Punkten lässt sich wie folgt bestimmen:

$$v_a = \frac{v}{n_e}$$

Unter Annahme einer effektiven Porosität von 0,2 ergibt sich eine Abstandsgeschwindigkeit von ca. 115 m/a. Das Grundwasser im quartären Grundwasserleiter benötigt demnach also etwa 26 Jahre, um das Hutgestein zu passieren. Im Umkehrschluss werden die zur Verfügung stehenden 3,6 Mio. m³ Salzwasser in ca. 26 Jahren einmal durch Süßwasser ausgetauscht. Die jährliche geogene Salzwasserfracht beträgt damit überschläglich (3,6 Mio m³ / 26 Jahre) **138.000 m³/a**.

Zur o. g. Berechnung ist anzumerken, dass es sich um eine grobe Abschätzung zum Zwecke der Gegenüberstellung von orientierenden Größenordnungen des geogenen und anthropogenen Anteils handelt. Die dabei ermittelten absoluten Zahlen sind daher nicht geeignet für anderweitige Betrachtungen und Auswertungen.

Anthropogener Anteil aus Versenkung von Haldenwasser in Hutgestein und Bergwerk Riedel

Im Bereich der Halde Niedersachsen fallen jährlich durchschnittlich 84.600 m³ Haldenwässer an. Der größte Teil dieser Menge wird in das Bergwerk Riedel verbracht. Ein Teil wird am Standort der Halde Niedersachsen in das Hutgestein versenkt.

Aus dem Versenkbericht 2015 (K+S AG, 2016) geht hervor, dass seit Beginn der Versenkung von Haldenwässern vom Januar 1997 bis Ende 2015 fast 430.000 m³ Haldenwässer in das Hutgestein verbracht worden sind. Dies entspricht im Mittel ca. 22.600 m³ pro Jahr.

Die Versenkung wird im Frühjahr 2017 eingestellt. Dementsprechend ist dieser Quellterm für die Bewertung des künftigen Zustandes nicht mehr relevant.

Anthropogener Anteil aus diffusen Versickerungen aus der Halde und dem Haldenrandgraben

Eine Haldenwasserbilanz mit konkreter Ausweisung der diffusen Einträge aus dem Haldenbereich im derzeitigen Zustand liegt nicht vor. Aufgrund der Zielstellung der Bearbeitung kann sich die Betrachtung der Quellterme auf den Planzustand mit Abdeckung beschränken. Für diesen Fall kann auf die Wasserbilanzberechnung aus (Dunger, 2017) zurückgegriffen werden, in der Restdurchsickerung für die Haldenabdeckung prognostiziert wird

In Bezug auf die als Quellterm anzusetzende unvermeidbare Restdurchsickerung in den Grundwasserleiter können daraus die folgenden Annahmen abgeleitet werden:

- Relevant für die Durchsickerung der Deckschicht und das Auftreffen auf den Haldenkörper sind lediglich
 - o Schichtkonfiguration A (Haldentop sowie Bermenaufweitung mit Tondichtung) mit einer mittleren Sickerwassermenge von **15 bis 16 mm/a**, entspricht ca. 2.600 m³/a (Dunger, 2017) S. 35
 - o Schichtkonfiguration B (Haldenböschungen mit Nachverdichtung / ohne Tondichtung) mit einer mittleren Sickerwassermenge von **13 mm/a**, entspricht ca. 1.400 m³/a (Dunger, 2017) S. 35

Die übrigen Bereiche befinden sich in der Endkonfiguration entsprechend der Zielplanung künftig außerhalb des Salzkörpers der Halde, so dass eine dortige Durchsickerung nicht aufmineralisiert werden kann. Entsprechend ergibt sich eine mittlere jährliche Restdurchsickerungsmenge (Sickerwasser an der Basis der Abdeckung oberhalb des Salzkörpers der Halde) von ca. **4.000 m³**, die einer Aufsalzung durch den Kontakt zum Haldenkörper unterliegen können.

- Im Sinne eines konservativen „worst-case“-Ansatzes wird angenommen, dass die gesamte Menge den Haldenkörper (überwiegend im Bereich des Haldenmantels) durchsickert und an der Haldenbasis in den Untergrund eindringt.
- Tatsächlich sind die zu erwartenden Mengen deutlich geringer, da aufgrund der Haldenverfestigung und -rekristallisation kaum bis keine Wasserführung im Kern der Halde erfolgt und sich die Durchsickerung auf die Haldenrandbereiche (sog. Haldenmantel) konzentriert. Hier erfolgt auch zukünftig eine Fassung

anfallenden Wassers mittels Dränagen sowie im Bereich des (ehemaligen) Haldenrandgrabens, so dass die reale Zusickerung zum Grundwasser im Planzustand sehr gering sein dürfte.

Setzt man die geogene Ausgangsbelastung, die orientierend einer Größenordnung von **138.000 m³/a** entsprechen könnte, ins Verhältnis zum anthropogen verursachten Anteil aus der diffusen Versickerung von maximal **4.000 m³/a**, so entspricht der mögliche Leckageanteil aus dem Haldenmantel ca. 3 % der geogenen Fracht. Wie bereits erläutert, ist der anthropogene Quellterm perspektivisch vermutlich noch kleiner, so dass der tatsächliche anthropogene Anteil nochmals deutlich darunter liegen dürfte.

Der o. g. anthropogene Anteil an der Gesamtsalzfracht, der aus dem Eintrag im Bereich des Haldenmantels stammt, müsste im Fall einer geohydraulischen Modellierung durch das Modell klar identifizierbar sein, um eine Modellierung sinnvoll erscheinen zu lassen. Hierfür muss die Fehlertoleranz der Stofftransportsimulation (tolerierbarer prozentualer Modellfehler) deutlich unterhalb der prozentualen Fracht liegen.

8.3 Abschätzung des potenziell zu erwartenden Modellfehlers

Innerhalb einer Modellierung werden aufgrund von Unsicherheiten der Modellannahmen und Ausgangsdaten immer Modellunschärfen auftreten. Die Quellen der Modellfehler und deren ungefähr zu erwartende Größenordnung sind im Folgenden kurz zusammengestellt (Erfahrungswerte):

| | |
|--|----------------|
| a) Geologisches Modell (Regionalisierung von Bohrungen) und damit möglicherweise falsche Interpretation von Fließwegen | ca. 10 bis 30% |
| b) Fehler bei der Modellkalibrierung des hydraulischen Modells | ca. 5 bis 10% |
| a)+b) <i>Summierung von Fehlern in der Transportsimulation</i> | ca. 15 bis 40% |

8.4 Schlussfolgerungen der Modellvorbetrachtungen

Anhand der Vorbetrachtungen zum Anteil der einzelnen Quellterme an der Gesamtfracht und dem Vergleich mit dem zu erwartenden Modellfehler kann davon ausgegangen werden, dass der relativ geringe Anteil der anthropogenen Einträge im Rahmen einer Modellierung nicht abzubilden ist.

Hauptgrund dafür ist die am Standort vorhandene signifikante geogene Hintergrundbelastung des Grundwasserleiters mit mineralisierten Wässern aus dem Hutgestein. Diese bilden den deutlich überwiegenden Anteil an der Gesamtmineralisation und sind beinahe ausschließlich für die im Untergrund ablaufenden Transportprozesse verantwortlich. Der anthropogene Anteil aus der diffusen Versickerung von Haldenwässern in den Untergrund ist nur von untergeordneter Bedeutung und liegt im einstelligen Prozentbereich und damit deutlich im Fehlerbereich des Stofftransportmodells.

Die ablaufenden Prozesse des Stofftransportes sind derart durch die geogenen Komponente überprägt, dass eine qualifizierte Auswirkungsbewertung der geplanten Haldenabdeckung trotz aufwändiger dichtegetriebener Stofftransportmodellierung allein schon modelltechnisch nicht möglich erscheint.

9 Abschließende Bewertung und Handlungsempfehlung

Nach Prüfung der zur Verfügung stehenden Daten ist die Erstellung eines Grundwasserstofftransportmodells am Standort der Halde Niedersachsen zwar grundsätzlich möglich, aber nicht zur Bewertung der Wirksamkeit der geplanten Abdeckung der Halde Niedersachsen zur Verminderung des Haldenwasseranfalls geeignet.

Unter Berücksichtigung der durch weitere Untersuchungen und Datenrecherchen erzielbaren Verbesserungen der Modellgrundlagen kann zwar ein qualifiziertes Grundwasserströmungsmodell erstellt werden, die erforderliche Stofftransportsimulation kann jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht die erforderliche Aussageschärfe erzielen.

Insbesondere die geogene Vorbelastung des Standortes mit höher mineralisierten Wässern und die fehlende Differenzierbarkeit der geogenen von den anthropogenen Salzwasseranteilen stellen erhebliche Probleme für die Abbildung des Ist-Zustandes und die Simulation des Stofftransports dar. Für den Quellterm Halde liegen weder für den bisherigen Eintrag noch für den künftigen Eintrag im unabgedeckten Zustand (Vergleichszustand) belastbare Daten vor. Für den geplanten abgedeckten Zustand kann zwar auf die Daten eines Wasserhaushaltsmodells zurückgegriffen werden. Diese lassen jedoch nicht auf konkrete Eintragsfrachten in den Grundwasserleiter schließen. Auch durch umfassende Untersuchungen lassen sich die fehlenden Informationen nicht in einer Qualität ermitteln, die über den Status plausibler Annahmen hinwegreicht.

Neben den Unsicherheiten der Eingangsgrößen sind die aufgrund der modellprägenden geogenen Salzwasseranteile zu erwartenden Restunsicherheiten der Modellierung deutlich größer als der abzubildende anthropogene Anteil aus dem Haldenbereich an der Gesamtmineralisation.

Belastbare Aussagen zur Wirksamkeit der Haldenabdeckung, die über Aussagen aus hydrogeologisch-gutachterlichem Sachverstand hinausgehen, sind mithilfe eines Stofftransportmodells nicht zu erwarten. Eine Bewertung der grundsätzlichen Auswirkungen der geplanten Abdeckung ist anhand der verfügbaren Daten auch ohne numerisches Grundwassermodell möglich, deutlich weniger aufwendig und führt zu vergleichbaren Aussagen wie die mit einem deutlich höheren Aufwand verbundene Erstellung eines numerischen Grundwassermodells. Die Kosten für die Modellierung (geschätzt zwischen 80.000 und 100.000 €) zzgl. ggf. erforderlicher Kosten für die Verbesserung des Datenbestandes (geschätzt zwischen 150.000 und 250.000 €) werden in Anbetracht des gering zu erwartenden Erkenntnisgewinns nicht als verhältnismäßig eingeschätzt. Daher ist eine Modellerstellung im Zuge des Verfahrens nicht zu empfehlen.

Es wird empfohlen, den Schwerpunkt künftig auf das weiterzuführende Grundwassermonitoring zu legen.

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Beims, U. (1985). Planung, Durchführung und Auswertung von Gütepumpversuchen. In W.-T. Informationsdienst, *Geohydrodynamische Erkundung von Erdöl-, Erdgas-, und Grundwasserlagerstätten* (S. 208). Berlin: Zentrales Geologisches Institut.
- Bosch & Partner. (2016). Halde Niedersachsen in Wathlingen südlich von Celle - Rekultivierung und Errichtung einer Recyclinganlage. *Entwurf eines Untersuchungsrahmens zur Antragskonferenz gemäß § 52 Abs. 2a BBodG*.
- Braun, M. (2010). *Gutachten zur Feststellung etwaiger Einflüsse der Halde Niedersachsen südwestlich Wathlingen auf das Grundwasser*.
- Dunger, V. (06. 02 2017). Wasserhaushaltliche Untersuchungen im Zuge der Planung der Abdeckung und Rekultivierung der Halde Niedersachsen bei Wathlingen.
- DVGW. (2016). *Technische Regel - Arbeitsblatt 107 (A) Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten*. Bonn.
- Fugro Consult GmbH. (2015). Hydrogeologische Auswertung der SkyTEM-Befliegungen im Umfeld der Rückstandshalden Königshall-Hindenburg, Niedersachsen-Riedel, Hugo und Friedrichshall. *Teil 1: Standort Niedersachsen-Riedel*.
- GOLDER ASSOCIATES GmbH. (1998). *Untertagedeponie Riedel, Planfeststellungsverfahren: Hydrogeologisches Gutachten* .
- K+S AG. (2016). Grundwasserbeobachtung im Umfeld der Halde in Wathlingen im Jahr 2015.
- Kinzelbach, W., & Rausch, R. (1995). *Grundwassermodellierung*.
- Langguth, H.-R., & Voigt, R. (1980). *Hydrogeologische Methoden*.
- LBEG. (2009). *Geofakten 8 Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen*. Hannover.
- LBEG. (2016). *NIBIS-Datenserver / WMS-Dienst*. Abgerufen am 01. 09 2016 von Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: <http://nibis.lbeg.de>
- Lüttig, G. (1990). *Geotechnische Betrachtung der Rückstandshalde Niedersachsen-Riedel in Wathlingen*.