



ExxonMobil Production Deutschland GmbH

Riethorst 12
30659 Hannover

Telefon: +49-(0)511-641-0
Telefax: +49-(0)511-641-1000
Internet: www.exxonmobil.de

Rahmenbetriebsplan

Gutachten

Teil 4 Anhang
4.8.b – 4.9
Ordner 3 von 3

Antragsteller: **ExxonMobil Production Deutschland GmbH**
Riethorst 12
30659 Hannover

Teil 4 Anhang

4. Gutachten

Thema:

4.4.8 Hydrogeologie

4.4.8b Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

- Untersuchungsraum Apeldorn

Gutachter: Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Stand: 19.11.2015

ExxonMobil Production Deutschland GmbH
Frau Claudia Seifert
Riethorst 12

30659 Hannover

Bericht Nr. 14 – 23862.2

**Hydrogeologische Grundlagenermittlung
für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“
- Untersuchungsraum Apeldorn**

**vom
19. November 2015**

I Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	5
2 Projektunterlagen	7
3 Beschreibung des Vorhabens	10
4 Beschreibung des Betrachtungsgebietes	12
5 Wasserwirtschaftliche Gegebenheiten	14
5.1 Lage von Wasserschutz-, Gewinnungs- bzw. -vorranggebieten	14
5.2 Genehmigte Grundwasserentnahmen	14
5.3 Nutzbares Grundwasserdargebot, nutzbare Dargebotsreserve	14
6 Geographische und hydrologische Verhältnisse	16
6.1 Morphologie	16
6.2 Gewässernetz	19
6.3 Wasserhaushalt	19
7 Geologische Verhältnisse	20
7.1 Datengrundlage	20
7.2 Regionalgeologischer Überblick	20
7.3 Schichtenfolge und Gesteinsbeschreibung	21
8 Hydrogeologische Verhältnisse	25
8.1 Hydrogeologischer Aufbau	25
8.2 Geohydraulische Kenndaten	26
8.3 Grundwasserneubildung	27
8.4 Grundwasserstände und Grundwasserbewegung	28
8.5 Grundwasserbeschaffenheit	30
8.5.1 Ergebnisse der Messkampagne 2015	30
8.5.2 Daten des NLWKN	34
8.5.3 Chemischer Zustand gemäß WRRL	35
9 Zusammenfassung	36
10 Literaturverzeichnis	38

II Anlagenverzeichnis

- 1 Übersichtslageplan (M 1 : 500.000)
- 2 Lage der Brunnen, Bohrungen und Grundwassermessstellen (M 1 : 25.000)
- 3 Tiefenlage der Basis der quartären Schichten (M 1 : 25.000)
- 4 Schematischer Schnitt A - A' (M 1 : 25.000 / 1 : 1.000)
- 5 Schematischer Schnitt B - B' (M 1 : 25.000 / 1 : 1.000)
- 6 Grundwassergleichenplan, oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
(August 2015) (M 1 : 25.000)
- 7 Grundwassergleichenplan, unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
(August 2015) (M 1 : 25.000)
- 8 Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen des NLWKN Meppen
- 9 Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen der Fa. ExxonMobil
(2015)
- 10 Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN
(2007 bis 2014)
- 11 Technische Daten der Grundwassermessstellen
- 12 Bohrungsdokumentation für die Grundwassermessstellen B9 bis B13
- 13 Prüfbericht der Fa. GBA
- 14 Kurzbericht der Fa. Hydroisotop

III Abkürzungsverzeichnis

BTEX	Abkürzung für die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzon, Toluol, Ethylbenzol und die Xylole
FFH-Gebiete	Gebiete der Flora-Fauna-Habitatrichtlinie
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
GWM	Grundwassermessstelle
HGWL	Hauptgrundwasserleiter
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
mNN	Meter bezüglich Normalnull
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NSG	Naturschutzgebiet
UR	Untersuchungsraum
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 **Veranlassung und Aufgabenstellung**

Die ExxonMobil Production Deutschland GmbH (EMPG), Hannover, beabsichtigt die Fortführung der Erdölförderung im Erdölfeld Rühlermoor, Landkreis Emsland. Zur Verbesserung der Ausbeute der in ca. 700 m Teufe befindlichen Erdöl-Lagerstätte soll durch die Erhöhung der Dampf-Injektionen weiter Öl aus der Lagerstätte gefördert und die Förderrate erhöht werden. In diesem Zusammenhang sind u.a. diverse Um- und Ausbauarbeiten, der Bau einer KWK-Anlage, das Abteufen weiterer Bohrungen sowie die Verlegung neuer Transportleitungen geplant.

Im Zusammenhang mit der Erstellung der entsprechenden Unterlagen für die UVP soll für das Erdölfeld Rühlermoor eine hydrogeologische Grundlagenermittlung mit dem Ziel der Charakterisierung der hydrogeologischen Standortverhältnisse angefertigt werden. Die flächenhafte Abgrenzung des Untersuchungsraums orientiert sich an der „Beratungsvorlage zur Festlegung des Untersuchungsrahmens für die Umweltverträglichkeitsstudie im bergrechtlichen Planfeststellungsverfahren mit UVP [...]“ /4/. Dort wird für die dort genannten Projektbestandteile A-D (Erdölfeld Rühlermoor, Umbau des zentralen Betriebsplatzes, Neubau KWK-Anlage, Verpressung von Produktionswasser/Wasserinjektion) ein zusammenhängender Untersuchungsraum gewählt, dessen vorläufige Begrenzung östlich mindestens bis an den regional wichtigen Vorfluter Ems heranreicht und einen allseitigen Abstand von mindestens 2 km zu den Räumen der Projektbestandteile A-D gewährleistet. Im Zuge der Erarbeitung der Unterlagen für die UVP ergab es sich aufgrund der Druckverhältnisse in der Lagerstätte und der besonderen Deckgebirgssituation als sinnvoll, den Raum Apeldorn - östlich der Ems gelegen - in die hydrogeologische Grundlagenermittlung einzubeziehen. Die Bearbeitung der beiden Untersuchungsräume „Rühlermoor“ und „Apeldorn“ erfolgt in zwei separaten Berichten. In der Tiefe wird jeweils der gesamte quartäre Grundwasserleiter sowie die sich im Liegenden unmittelbar anschließenden Schichten tertiären Alters betrachtet.

Mit Datum vom 14.02.2014 erhielt die Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, von der ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover, den Auftrag zur Anfertigung einer hydrogeologischen Grundlagenermittlung für das Erdölfeld Rühlermoor. Der entsprechende Bericht für den Untersuchungsraum „Apeldorn“ wird hiermit vorgelegt.

2 Projektunterlagen

- /1/ Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ – Untersuchungsraum Rühlermoor, Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, 13.11.2015
- /2/ Gemessene Grundwasserstände und Ergebnisse der Grundwasseranalytik Apeldorn. Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/2, Pinneberg, GBA vom 29. Oktober 2015
- /3/ Wasserwirtschaftliche Beweissicherung 2013 Wasserwerk Haren-Düne, Trink- und Abwasserverband „Bourtanger Moor“, Meppen, Dipl.-Geol. Knut Struckmeyer, Niederstadt vom Mai 2014
- /4/ Beratungsvorlage zur Festlegung des Untersuchungsrahmens für die Umweltverträglichkeitsstudie im bergrechtlichen Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung gem. § 52 Abs. 2a BBergG/Rahmenbetriebsplan Fortführung der Erdölförderung Emsland, ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover vom April 2014
- /5/ Grundwasserförderung der Stadtwerke Meppen im Wasserwerk Kossen-Tannen. Hydrogeologischer Jahresbericht 2013, GeoDienste GmbH, Garbsen vom März 2014
- /6/ Hydrogeologisches Gutachten zum Antrag der Stadtwerke Meppen auf Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Fassungsanlagen im Wasserwerk „Kossen-Tannen“, GeoDienste GmbH, Garbsen vom Juni 2007
- /7/ Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers, RdErl. d. MU. v. 29.05.2015
- /8/ Der Landkreis Emsland: Geographie, Geschichte, Gegenwart - eine Kreisbeschreibung, Landkreis Emsland, Meppen, 2002
- /9/ Diverse Unterlagen und Daten der ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover

- /10/ Diverse Unterlagen und Daten des NLWKN, Betriebsstelle Meppen: Stammdaten, Grundwasserstandsdaten, Grundwassergüte-Daten
- /11/ Bohrprofile diverser Bohrungen aus der Bohrdatenbank des LBEG, Hannover
- /12/ NIBIS – Kartenserver des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover: [http:// www.nibis.lbeg.de/cardomap3](http://www.nibis.lbeg.de/cardomap3)
- /13/ Kartendienste (Web Map Services) des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover:
http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=721&article_id=91769&_psmand=4
- /14/ Map-Server der Niedersächsischen Umweltverwaltung, Nds. Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz: http://www.umweltkarten-niedersachsen.de/GlobalNetFX_Umweltkarten/
- /15/ Hintergrundwerte im Grundwasser, Projekt der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR):
http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hintergrundwerte/hgw_projektbeschr.html
- /16/ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Vanadium und andere Spurenstoffe in hessischen Grund- und Rohwässern:
http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/wasser/grundwasser/artikel/Rueckert_Vanadium.pdf
- /17/ Diverse Unterlagen und Daten des Landkreises Emsland: Angaben zu wasserrechtlich genehmigten Grundwasserentnahmen
- /18/ Diverse Unterlagen und Daten der Stadtwerke Meppen: Stammdaten, Grundwasserstandsdaten
- /19/ Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung (ML), Referat 303, Raumordnung und Landesentwicklung, Hannover, 2008

- /20/ Verordnung zur Änderung der Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung (ML), Referat 303, Raumordnung und Landesentwicklung, Hannover, September 2012
- /21/ Fachinformationssystem Raumordnung Niedersachsen: <http://sla.niedersachsen.de/raumordnung/FIS-RO/>
- /22/ Landesweite Datenbank für wasserwirtschaftliche Daten: <http://www.wasserdaten.niedersachsen.de/cadenza/>
- /23/ Bundesamt für Naturschutz, Landschaftssteckbriefe Niedersachsen: http://www.bfn.de/0311_landschaften.html

3 Beschreibung des Vorhabens

Zur Verbesserung der Fließeigenschaften des Rohöls in der Lagerstätte wird im Erdölfeld Rühlermoor seit Beginn der 1980er Jahre Wasserdampf injiziert (Thermalförderung). Das erforderliche Wasser zur Dampferzeugung wird zurzeit dem Grundwasser entnommen. Die Kesselanlagen zur Dampferzeugung werden im Wesentlichen mit dem anfallenden Erdölgas befeuert. Die Versorgung mit elektrischer Energie für die Anlagen erfolgt aus dem öffentlichen Netz. Die Trennung von Rohöl, Lagerstättenwasser und Gas erfolgt im Feld auf der Station H mittels drei Separatoren und auf dem zentralen Betriebsplatz. Zur Druckerhaltung wird das vom Erdöl abgetrennte Wasser (Lagerstättenwasser) wieder in die gleiche Lagerstätte injiziert. Das Rohöl wird vom zentralen Betriebsplatz zur weiteren Verarbeitung über eine bestehende Rohöl-Transportleitung zur Raffinerie in Lingen transportiert.

Das Ziel des Vorhabens „Fortführung Erdölförderung Emsland“ ist eine Steigerung der Lagerstättenausbeute von derzeit ca. 25-30% auf ca. 50-60% in einem Zeitraum bis ca. 2045 /4/. Zur Herstellung des Dampfes soll aufbereitetes Lagerstättenwasser verwendet werden. Im Rahmen des geplanten Vorhabens sind diverse Um- und Ausbauarbeiten erforderlich /4/:

➤ Entwicklung des Erdölfeldes Rühlermoor (Projektbestandteil A):

- Zur Entwicklung des Erdölfeldes Rühlermoor sind Neubohrungen und Rekomplettierungen vorhandener Produktionsbohrungen geplant. Ein Teil der bestehenden Bohrungen wird nicht weiter betrieben, sodass die Gesamtzahl der betriebenen Bohrungen nahezu unverändert bleibt.
- Station H wird technisch angepasst. Dies betrifft Separatoren, Leitungen, Pumpen und Wärmetauscher.
- Die bestehenden Feldleitungen zum Transport von Öl, Lagerstättenwasser und Erdölgas, mit einer Gesamtlänge von ca. 60 km, werden zum Großteil (ca. 90%)

durch neue Leitungen ersetzt; die restlichen Leitungen werden modernisiert, um eine Einbindung der neuen Leitungen zu ermöglichen.

➤ Umbau des bestehenden Betriebsplatzes (Projektbestandteil B):

- Die Infrastruktur des zentralen Betriebsplatzes wird an die neuen Erfordernisse angepasst (Tankkapazitäten, Pumpen und Rohrleitungssysteme).

➤ Neubau einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage inklusive erforderlicher Nebenanlagen (Projektbestandteil C):

- Es ist geplant, die injizierte Dampfmenge zur Thermalförderung zu erhöhen. Zur Dampferzeugung wird eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage) eingesetzt. Die KWK-Anlage mit Nebenanlagen wird auf einem neuen Gelände südlich des zentralen Betriebsplatzes errichtet.

➤ Errichtung von Cluster-Plätzen zur Wasserinjektion (Projektbestandteil D):

- Es ist geplant, das bei der Erdölförderung produzierte Lagerstättenwasser zum Teil zu Kesselspeisewasser aufzubereiten. Das restliche Lagerstättenwasser wird in die Lagerstätte reinjiziert. Die Injektionsbohrungen werden von Clusterplätzen in zwei Bereichen nordöstlich des Feldes abgeteuft.

4 Beschreibung des Betrachtungsgebietes

Das Betrachtungsgebiet umfasst die Ortslage Apeldorn sowie das weitere Umfeld und schließt den Untersuchungsraum „Apeldorn“ ein. Zusätzlich zum Untersuchungsraum Rühlermoor (Bericht 14-23862) /4/ wurde der Untersuchungsraum in Apeldorn in die hydrogeologische Grundlagenermittlung einbezogen, da der Bentheimer Sandstein, aus welchem im Raum Rühlermoor das Erdöl gewonnen wird, hier unter einem vergleichsweise geringmächtigen Deckgebirge auskeilt und die Frage eines Zustroms von Formationswässern infolge eines nach oben gerichteten hydraulischen Gradienten im Raum steht.

Das betrachtete Gebiet liegt im Landkreis Emsland und erstreckt sich auf Teilbereiche der Kartenblätter

3209	Haren (Ems)	3210	Klein Berßen
3309	Meppen	3310	Haselünne

der Topographischen Karte 1 : 25.000 (**Anlagen 1 und 2**). Im Westen verläuft das Betrachtungsgebiet durch die Ortschaft Meppen, im Norden verläuft die Grenze ca. 1,5 km nördlich von Apeldorn. Die östliche Grenze des Betrachtungsgebietes verläuft durch die Ortslagen Hülsen und die Stadt Haselünne. Die südliche Begrenzung verläuft südlich der Hase und durch Haselünne. Insgesamt erstreckt sich das Betrachtungsgebiet über eine Fläche von ca. 120 km².

Das Betrachtungsgebiet liegt innerhalb der Fläche der Grundwasserkörper Mittlere Ems Lockergestein rechts 1 (NI37_02), Mittlere Ems Lockergestein rechts 2 (NI37_03), Hase Lockergestein rechts (NI36_05) und Hase links Lockergestein (NI36_01).

Der Untersuchungsraum Apeldorn liegt innerhalb der Fläche der Grundwasserkörper Mittlere Ems Lockergestein rechts 2 und Hase Lockergestein rechts. Die Grenze

zwischen den Grundwasserkörpern verläuft näherungsweise durch eine Linie entlang der Ortslagen Bokeloh - Neubauern - Klein Berßen.

5 Wasserwirtschaftliche Gegebenheiten

5.1 Lage von Wasserschutz-, Gewinnungs- bzw. -vorranggebieten

Innerhalb des Betrachtungsgebietes liegt das Trinkwasserschutzgebiet Kossen-Tannen. Im Umfeld des Wasserschutzgebiets liegt zudem das in seiner Begrenzung leicht von dem gleichnamigen Trinkwasserschutzgebiet abweichende Vorranggebiet zur Trinkwassergewinnung nach dem Niedersächsischen Landesraumordnungsprogramm /19/ /20/. Die Grenzen der o.g. Gebiete sind in **Anlage 2** dargestellt. Teilflächen des o.g. Vorranggebiets liegen innerhalb des Untersuchungsraums Apeldorn. Die Entfernung des Untersuchungsraums Apeldorn zum Trinkwasserschutzgebiet für das Wasserwerk Kossen-Tannen beträgt minimal ca. 140 m.

5.2 Genehmigte Grundwasserentnahmen

Für das von den Stadtwerken Meppen betriebene Wasserwerk Kossen-Tannen liegt eine vom Landkreis Emsland ausgestellte Bewilligung für eine Grundwasserentnahme in Höhe von maximal 2,0 Mio. m³/a vor /5/. Zur Grundwasserentnahme stehen sechs Vertikalfilterbrunnen zur Verfügung (Br. I bis Br. VI). Das Recht ist befristet bis zum 25.08.2027 /22/. Die Filterbereiche der Brunnen des Wasserwerks Meppen Kossen-Tannen liegen bei ca. 32 bis 46 m u. GOK /6/.

Weiterhin besteht im Betrachtungsgebiet eine wasserrechtliche Genehmigung zur Entnahme von Grundwasser zur Feldberegnung /17/ (FB 1; R 32390541, H 5843393). Die genehmigte Entnahme beträgt 38.000 m³/a; die Lage des Brunnens FB 1 ist in **Anlage 2** dargestellt.

5.3 Nutzbares Grundwasserdargebot, nutzbare Dargebotsreserve

Hinsichtlich der Grundwassermenge sind die für den Untersuchungsraum Apeldorn relevanten Grundwasserkörper „Mittlere Ems Lockergestein rechts 2“ und „Hase Lockergestein rechts“ (**Anlage 2**) in einem guten Zustand (/14/). Das nutzbare Dargebot für die o. g. Grundwasserkörper beträgt 33,01 bzw. 66,90 Mio. m³/a, die

nutzbare Dargebotsreserve beträgt 21,63 bzw. 43,30 Mio. m³/a (/7/, Anlage 2, Tabelle 1 – Stand 25.11.2014).

6 Geographische und hydrologische Verhältnisse

6.1 Morphologie

Naturräumlich gesehen liegt das Betrachtungsgebiet in der „Ems-Hunte-Geest und Dümmer-Geestniederung“ /14/. Die im südlichen Teil des Betrachtungsgebietes liegenden Flächen der „Ems-Hunte-Geest und Dümmer-Geestniederung“ können weitgehend der Landschaft Lingener Land zugeordnet werden. Die nördlichen Flächen im Betrachtungsgebiet gehören zur Landschaft Hümmling (Sögeler Geest). Im nordwestlichen Betrachtungsgebiet befindet sich die Landschaft Tinner / Staverner Dose. Entlang des Vorfluters Hase liegen Bereiche des Hasetals /8/.

Das Lingener Land erstreckt sich größtenteils auf einer Talsandebene und ist wenig reliefiert. Der zentrale Bereich des Lingener Landes wird vorwiegend ackerbaulich genutzt, in den Geestbereichen haben sich z. T. Nadelwälder gebildet /23/. Im Norden wird das Lingener Land von der Niederung der Hase begrenzt, deren Mäander von Dünenfeldern begrenzt werden.

Der Hümmling (Sögeler Geest) grenzt südlich an das Tal der Hase mit seinen angrenzenden Dünen-Talsandgebieten und reicht im Westen bis an die rechtsemsischen Dünen-Talsandgebiete /8/. Die Landschaft wird durch in nordöstlicher Richtung verlaufende Geestrücken mit dazu parallel verlaufenden Niederungen (Nord-, Mittel- und Südradde) geprägt /23/. Die Niederungsbereiche sind weitgehend mit Mooren belegt, die von Erlen- und Birkenbruchwäldern gesäumt werden. Die Niederungen werden vorwiegend als Grünland genutzt. Die Geest wird von Talsanden und Geschiebelehmen dominiert und nach ehemaliger Nadelwaldnutzung wird heute zumeist Ackerbau betrieben /23/.

Die Landschaft Tinner / Staverner Dose umfasst das gleichnamige Moorgebiet. Das Moor ist ein naturnahes stellenweise noch lebendes Hochmoor, das ca. 10 m gegen die westlichen und ca. 20 m gegen die östlichen Hügel eingesenkt ist. Die Hochmoor-

flächen wurden teilweise abgetorft, daneben wird die Landnutzung von Ackerbau und Forstwirtschaft dominiert. Weite Teile der verbleibenden Moorflächen sind als besonders bedeutend für den Naturschutz eingestuft und verbreitet als Naturschutzgebiet ausgewiesen.

Das Hasetal ist geprägt durch den mäandrierenden Charakter des Vorfluters. In den Altarmen der Hase wurden oftmals nach einer Verlandung Niedermoores ausgebildet /23/. Am Rand der Aue befinden sich Niedermoorflächen, die vermehrt in Grünland umgewandelt wurden. Auch die ackerbauliche Nutzung hat durch Entwässerungsmaßnahmen zugenommen und prägt heute die Landschaftsfläche. Weite Bereiche des Hasetals mit den angrenzenden Dünen- und Flugsandgebieten sind als FFH-Gebiet gemeldet /14/.

Die Geländehöhen liegen im Betrachtungsgebiet bei maximal ca. +37 mNN in den Apeldorner Sandbergen. In Richtung der Niederungen der Hase und der Nordradde nehmen die Geländehöhen auf weniger als ca. +15 mNN ab.

Der Untersuchungsraum Apeldorn befindet sich zum Großteil in der Landschaft Hümmling (Sögeler Geest). Randlich reicht der Untersuchungsraum Apeldorn im Westen und im Süden in die Landschaft Lingener Land hinein. Die Geländehöhe beträgt im Untersuchungsraum ca. +20 mNN bis ca. +30 mNN.

Ein Großteil des Betrachtungsgebietes wird ackerbaulich genutzt, Grünland befindet sich v.a. in den Niederungen der Vorfluter. Neben der landwirtschaftlichen Nutzung sind Wälder ein weiteres prägendes Merkmal im Betrachtungsgebiet. Größere Waldgebiete befinden sich nördlich von Meppen, im Bereich der Tinner Dose-Sprakeler Heide, im Bereich des Karlsruwalds und der Apeldorner Sandberge sowie in den Niederungen der Hase, Mittelradde und Nordradde. Im Bereich des Untersuchungsraums Apeldorn sind neben den Waldbereichen der Apeldorner Sandberge und der Niederung der Mittelradde weitere kleinere Waldflächen verbreitet, z. B. nördlich und nordwestlich von Lohe und westlich von Apeldorn.

Vorwiegend im nordwestlichen Teil des Betrachtungsgebietes, im Bereich der Tinner / Staverner Dose, sind ausgedehnte Moorgebiete verbreitet. Daneben befinden sich kleinere Moorgebiete im Betrachtungsgebiet; östlich von Bokeloherfeld befindet sich das Dörgener Moor, im Nordosten liegen das Kesselmoor, das Südtannenmoor sowie das Südmoor, nördlich von Lahre befindet sich das Lahrer Moor und westlich von Haselünne liegt das Hudener Moor. Es handelt sich hierbei überwiegend um Hochmoore. Innerhalb des Untersuchungsraums Apeldorn liegen Teilflächen des Dörgener Moors und ein Kleinsthochmoor (Oewest).

Die Tinner / Staverner Dose, das Kesselmoor, das Südtannenmoor, das Dörgener Moor und das Lahrer Moor sind als Naturschutzgebiete ausgewiesen. Daneben sind zwei Kleinstmoore als Naturschutzgebiete ausgewiesen (Oewest und Auf Troendoj). Weitere Naturschutzgebiete im Betrachtungsraum sind das NSG Schweinefehn und Stadtveen (nördlich von Haselünne), das NSG Koppelwiesen (westlich von Haselünne), das NSG Im Leiken (nordwestlich von Apeldorn) und das NSG Hase-Insel und Hase-Altarm (südlich des NSG Dörgener Moor).

Als FFH-Gebiete sind Bereiche der Hase-Niederung, die Koppelwiesen, die Tinner Dose, Sprakeler Heide und mehrere kleinere Bereiche im Osten des Betrachtungsgebietes ausgezeichnet, die als Stadtveen, Kesselmoor, Süd-Tannenmoor zusammengefasst sind. Die Naturschutz- und FFH-Gebiete innerhalb des Betrachtungsgebietes sind in der **Anlage 2** hervorgehoben.

Innerhalb des Untersuchungsraumes Apeldorn befinden sich mehrere Biotope /12/. Am östlichen Rand des Untersuchungsraums Apeldorn liegen fünf als „Naturnahes nährstoffreiches Stillgewässer“ und „Erlen- und Eschenwald der Auen und Quellbereiche“ angesprochene Biotope. Teilflächen des NSG „Oewest“ sind als Sonstiges Feuchtgebüsch / Anmoor- und Übergangsbereich / Sauergras-, Binsen- und Staudenried angesprochen. Ebenfalls sind Teilbereiche des NSG Dörgener Moor als Biotop des Typs Birken- und Kiefern-Bruchwald gekennzeichnet.

6.2 Gewässernetz

Die Niederschlagswässer werden gemäß den morphologischen Bedingungen in den Vorflutern gesammelt und von der Geest in die Niederungen abgeführt. Nördlich der Hase verläuft die oberirdische Wasserscheide Ems-Hase in Südwest-Nordost-Richtung durch das Betrachtungsgebiet und lässt sich in ihrem Verlauf näherungsweise durch eine Linie entlang den Ortslagen Bokeloherfeld - Neubauern - Wolkenburg beschreiben /14/. Die Hase, die das Betrachtungsgebiet von Osten nach Westen durchfließt, mündet ca. 470 m außerhalb des Betrachtungsgebietes in die Ems, die der Nordsee zufließt. Die Nordradde wird vor allem von der Gräfte gespeist und mündet außerhalb des Betrachtungsgebietes in einen Altarm der Ems. Die Mittelradde durchfließt das Betrachtungsgebiet in Nordost-Südwest-Richtung und mündet im Süden in die Hase. Im Untersuchungsraum Apeldorn sind neben der Mittelradde die in die Hase mündende Dörgener Beeke, der in die Mittelradde entwässernde Loherfeldgraben sowie der Apeldorner Graben, welcher der Nordradde zufließt, die größeren Vorfluter.

6.3 Wasserhaushalt

Nach /12/ ist im Betrachtungsgebiet, basierend auf langjährigen Mittelwerten (30-jähriges Mittel für die Jahre 1961 - 1990), von einer mittleren jährlichen Niederschlagshöhe zwischen 700 mm/a und 800 mm/a auszugehen. Basierend auf der Methodenbank des NIBIS kann für den betrachteten Raum die jährliche klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung in Form eines langjährigen Mittelwertes), ebenfalls für den 30-jährigen Zeitraum 1961 - 1990, abgeleitet werden. Dieser Parameter liefert in erster Annäherung ein Maß für die regionale Wasserverfügbarkeit und gibt einen Hinweis darauf, ob die Vegetation in einem Gebiet von Wassermangel betroffen sein kann /12/. Die klimatische Wasserbilanz schwankt im Betrachtungsgebiet in einer Größenordnung zwischen 100 mm/a und 200 mm/a /12/.

7 Geologische Verhältnisse

7.1 Datengrundlage

Informationen über den Aufbau des Untergrundes im Raum Apeldorn lassen sich aus den hier abgeteuften Bohrungen gewinnen. Die Lage der für die Erstellung dieser Stellungnahme herangezogenen Bohrungen und Grundwassermessstellen ist in **Anlage 2** dargestellt. Die Bohrungsdokumentation für die im Zuge der Grundlagenermittlung im Jahr 2015 eingerichteten Grundwassermessstellengruppen B9 bis B13 sind der **Anlage 12** zu entnehmen. Die stratigrafischen und lithologischen Informationen an den Tiefbohrungslokalationen wurden von ExxonMobil zur Verfügung gestellt /9/ und beruhen auf Auswertungen von Logs. Dazu wurden die z.T. sehr alten Bohrungsdokumentationen erneut ausgewertet und mithilfe der Informationen aus den neu errichteten Grundwassermessstellen neu interpretiert.

7.2 Regionalgeologischer Überblick

Die Landschaftsgliederung, die Formen und oberflächennahen Ablagerungen im Betrachtungsgebiet sind in erster Linie ein Ergebnis der nordischen Vereisung, des Eiszeitklimas und der nacheiszeitlichen, erdgeschichtlich jungen Entwicklungen.

In den Geestbereichen stellen pleistozäne Sedimente den weitaus größten Teil der vorgefundenen quartären Ablagerungen dar. Sie sind in ihrer petrographischen Ausbildung durch laterale und vertikale Schwankungen gekennzeichnet.

Die im Betrachtungsgebiet abgeteuften Bohrungen zeigen relativ geringe Schwankungen der Gesamtmächtigkeit der quartären Ablagerungen. Eine Übersicht über die Tiefenlage der Quartärbasis liefert **Anlage 3**, sie wurde auf der Basis von Bohrdaten sowie dem in /12/ veröffentlichten Kartenmaterial zur Gestalt des präquartären Untergrundes in Niedersachsen erstellt. Die Auswertung der

Quartärbasistiefen an Tiefbohrungslokalationen wurde von ExxonMobil durchgeführt und als Datensatz geliefert.

Wie die Darstellung der Tiefenlage der Basis der quartären Schichten in **Anlage 3** zeigt, befindet sich im Betrachtungsgebiet annähernd in Nordwest-Südost-Richtung ein Bereich, in dem die Quartärbasis tiefer als -50 mNN liegt. An der NLWKN-Messstelle 425/426 wurde mit -54,7 mNN die tiefste Lage der Quartärbasis im Betrachtungsgebiet dokumentiert. Die angrenzenden Bereiche weisen mit bis -14,0 mNN (B11) eine deutlich geringere Tiefenlage der Basis der quartären Schichten auf; diese Hochlage der Quartärbasis befindet sich im Untersuchungsraum Apeldorn nordöstlich der Ortslage Neubauern. In Richtung des südlichen Untersuchungsraums nehmen die Mächtigkeiten der quartären Ablagerungen zu; die Quartärbasis liegt hier etwa zwischen -30 und -50 mNN.

Die quartären Schichten liegen diskordant über älteren Gebirgsschichten, die in diesem Gebiet das Ergebnis einer lang anhaltenden Strukturbildung sind und eine komplexe Stratigraphie mit großen Mächtigkeitsunterschieden bei den einzelnen Deckgebirgs-Schichtgliedern (Erosion, Schichtlücken und Kondensation) zur Folge hatte /9/. Die kennzeichnende Struktur im tieferen Untergrund des zu betrachtenden Gebietes ist die Salzstruktur Apeldorn.

7.3 Schichtenfolge und Gesteinsbeschreibung

Die jüngsten im Betrachtungsgebiet auftretenden Sedimente sind holozänen Alters. Nach Angaben der geologischen Karte (M 1 : 25.000, /12/) handelt es sich in räumlich begrenzten Bereichen (z. B. Dörgener Moor, Tinner Dose, Sprakeler Heide) um Hochmoor (Sphagnum-Torfe), unterlagert von weichsel- bis saalezeitlichen Sanden. In den Niederungen der Vorfluter Nordradde, Mittelradde und Hase haben sich bereichsweise Niedermoortorfe entwickelt.

Entlang des Vorfluters Hase haben sich vorwiegend fluviatile Sande, Auelehme und Uferwall-Sedimente abgelagert. Im Bereich des Hasetals sind vermehrt holozäne bis weichselzeitliche Dünenbildungen und Flugsandablagerungen zu beobachten. Im Bereich der Apeldorner Sandberge sind holozäne Dünensande – allerdings in geringer räumlicher Ausdehnung – an der Geländeoberfläche verbreitet. Im Bereich Apeldorn und im Bereich des Karlswaldes stehen an der Geländeoberfläche in Nordost-Südwest-Erstreckung saalezeitlicher Geschiebelehm und untergeordnet saalezeitliche glazifluviatile Sande an.

Einen Überblick über den geologischen Aufbau des tieferen Untergrunds vermitteln die geologischen Schnitte A-A' bis B-B' (**Anlagen 4 und 5**). Der Verlauf der Profilführungen ist in **Anlage 2** verzeichnet. Geringmächtige oberflächennah anstehende Sedimente sind in den Profilschnitten nicht dargestellt. Die geologische Schichtenfolge wird generell bis zum Top des Untereozän 1 dargestellt.

An der Erdoberfläche stehen verbreitet fluviatile Sande weichselzeitlichen Alters an. Es handelt sich dabei um fein- bis mittelkörnige Sande mit bereichsweise eingeschalteten grobsandigen/kiesigen oder z.T. auch schluffigen Partien. Lokal sind schluffige bis tonige Ablagerungen eingeschaltet; die Mächtigkeit dieser Sedimente beträgt max. ca. 10 m.

Im Liegenden der weichselzeitlichen Sedimente treten mittel- bis feinsandige, z. T. auch grobsandige bis kiesige oder schluffige glazifluviatile Ablagerungen saalezeitlichen Alters auf. Das Vorhandensein von Schmelzwassersanden elsterzeitlichen Alters wurde in den für die geologischen Schnitte verwendeten Bohrungen nicht eindeutig dokumentiert. Möglicherweise können die Sedimente an der Quartärbasis der Elster-Kaltzeit zugeordnet werden. Eine eindeutige Zuordnung ist aufgrund des Fehlens von regionalen Trennschichten jedoch schwierig. Abschnittsweise können in die pleistozänen Sande Beckentone bzw. -schluffe oder Geschiebelehm/-mergel eingeschaltet sein. Die glazifluviatilen Sande erreichen eine Mächtigkeit von bis zu ca. 75 m (GWM 425/426).

Im Liegenden der quartären Schichten setzt die tertiäre Schichtenfolge je nach Tiefenlage der Quartärbasis und regionaler Schichtenfolge mit miozänen, oligozänen und untereozänen Ablagerungen ein.

Die schluffig bis z.T. sandig oder tonig ausgebildeten miozänen Schichten werden im Norden des Betrachtungsgebietes mit einer Mächtigkeit von bis zu ca. 20 m angetroffen (B 13).

Die oligozänen Schichten bestehen aus vorwiegend tonigen bis schluffigen Sedimenten. Zur Ablagerung kamen allerdings auch mittel- bis feinsandige Glaukonit-Sande (z.B. B9, B10, B11 und B13). Im Norden des Betrachtungsgebiets folgen auf die oligozänen Schichten im Liegenden tonige und schluffige Feinsande des Untereozän 3. Schichten des Untereozän 3 wurden nur in der Bohrung APLD-13 dokumentiert. Im Liegenden des Untereozän 3 stehen verbreitet Tone des Untereozän 2 an, die mit einer Mächtigkeit von bis zu 23 m dokumentiert wurden (APLD-16). Den Abschluss der betrachteten tertiären Schichtenfolge bilden Tone des Untereozän 1 (B12).

Im Liegenden der miozänen Schichten treten vermehrt Schichtlücken auf, so dass lokal bis regional einzelne und z.T. mehrere Schichten der Schichtenfolge fehlen. Die größte Schichtlücke wurde im westlichen Untersuchungsraum festgestellt (B12); hier folgen auf die quartären Schichten tonige Ablagerungen des Untereozän 1. Die im Hause ExxonMobil durchgeführten mikropaläontologischen Analysen und Log-Korrelationen zeigen, dass die Vollständigkeit und die Mächtigkeit der einzelnen Schichtglieder im oberen Tertiär (Mittелеozän bis Miozän) ein Abbild der syn-sedimentären Tektonik vor der Ablagerung des Quartärs ist. Alle Formationsgrenzen bis zur Basis der mittelseozänen Tonmergel-Gruppe sind Transgressionen /9/. Die Mächtigkeit der entstandenen Schichtlücken korreliert mit der Intensität der syn-sedimentären Hebung in Kombination mit prä-quartärer Erosion /9/.

Die sandigen Abschnitte des oberen Tertiärs stehen direkt oder indirekt (über Erosionsflächen in der Schichtenfolge) in Kontakt mit dem süßwasserführenden Quartär. In strukturierten Bereichen des Tertiärs schneiden die Erosionsflächen bis in die Tone des Untereozän ein. Ehemals salzhaltige Formationswässer des oberen Tertiärs sind daher über lange Zeiträume ausgesüßt.

8 Hydrogeologische Verhältnisse

8.1 Hydrogeologischer Aufbau

In den als **Anlagen 4** und **5** beigefügten schematischen geologischen Schnitten A-A' bis B-B' sind die Filter der Grundwassermessstellen – soweit bekannt – und die gemessenen Grundwasserstände vom Juni/Juli/August 2015, August 2013 bzw. Mai 2013 (/1/, /18/, /10/) (**Anlage 13**) dargestellt.

In den weichselzeitlichen fluviatilen Sanden, den saalezeitlichen Schmelzwassersedimenten und in den feinsandigen Ablagerungen des Miozäns ist regional gesehen ein zusammenhängendes hydraulisches System entwickelt, das nachfolgend als Hauptgrundwasserleiter bezeichnet wird. Dort, wo die oligozänen und mitteleozänen Ablagerungen sandig ausgebildet sind, d.h. im Verbreitungsgebiet der Glaukonitsande, besteht vermutlich zumindest lokal eine Verbindung zum Hauptgrundwasserleiter.

Die Basis des Hauptgrundwasserleiters bilden je nach regionaler Schichtenfolge und Tiefenlage der Quartärbasis die schluffigen und tonigen Ablagerungen des Miozäns, die Tone des Oligozäns bzw. die Tone des Untereozän 1 und 2. Der Tonstein aus dem Untereozän 1 ist der erste durchgehende Barriere-Horizont im Bereich Apeldorn /9/.

Eingeschaltete Ablagerungen der Eem-Warmzeit sowie Beckensedimente und Geschiebemergelkomplexe der Saale-Kaltzeit bewirken örtlich eine Untergliederung dieses ausgedehnten Grundwasserleiters. Der Hauptgrundwasserleiter lässt sich in der Regel in zwei Abschnitte unterteilen:

Der obere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters befindet sich in den zumeist fein- bis mittelsandigen fluviatilen Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit und den glazifluviatilen Sanden der Saale-Kaltzeit im Hangenden saalezeitlicher Beckentone. Dieser Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters ist im Betrachtungsgebiet ausweislich der vorliegenden

Daten durchgehend vertreten und weist eine maximale Mächtigkeit von ca. 25 bis 30 m auf.

Der untere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters befindet sich in den vorwiegend saalezeitlichen glazifluviatilen Sanden. Trennschichten zwischen oberem und unterem Abschnitt des Grundwasserleiters durch geringmächtige Beckenablagerungen treten nach aktueller Datenlage im Bereich Apeldorn (Grundwassermessstellen 425/426, B9, B10, B13, **Anlage 4**) und im westlichen Betrachtungsgebiet auf (Grundwassermessstellen M78, B12). Die maximale Mächtigkeit des unteren Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters beträgt ca. 40 bis 50 m. Dort, wo die unterlagernden Sedimente des Miozäns, Oligozäns und Untereozän sandig ausgebildet sind, sind diese ebenfalls dem unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zuzuordnen. Im Gegensatz zu dem in den quartären Sedimenten ausgebildeten Bereich des unteren Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters, scheint der in den tertiären Sedimenten ausgedehnte Bereich nur bereichsweise verbreitet zu sein.

8.2 Geohydraulische Kenndaten

Das Fließregime des Grundwassers wird entscheidend durch den Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) bestimmt. Anhaltspunkte über die Größenordnung der im unteren Abschnitt des ersten Grundwasserleiters wirksamen k_f -Werte können aus [7] abgeleitet werden. Die Durchlässigkeitsverhältnisse der weichsel- und saalezeitlichen Sande des oberen Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters sind als mittel einzustufen; die k_f -Werte werden mit $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s angegeben.

Für die saalezeitlichen Sande des unteren Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters sind im Bereich der Brunnen der Stadtwerke Meppen k_f -Werte in einer Bandbreite von $3,5 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $7,0 \cdot 10^{-4}$ m/s dokumentiert [6]; die ermittelten k_f -Werte liegen insofern ebenfalls in der Wertespanne von $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Neben dem Durchlässigkeitsbeiwert ist die effektive Porosität eine weitere bestimmende hydraulische Größe, die vor allem für die Berechnung der Fließzeiten des Grundwassers von Bedeutung ist. Die effektive Porosität definiert die Größe des zusammenhängenden Porenraumes, der an der Wasserbewegung beteiligt ist. Die effektiven Porositäten lassen sich aus den Durchlässigkeitsbeiwerten ableiten. Dabei handelt es sich um Annahmen aus Literaturangaben ([1], [6]), die z. B. mit Hilfe von Tracer-Versuchen verifiziert werden könnten. Dem oben angegebenen k_f -Wertebereich von $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s und $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s lässt sich für beide Abschnitte des Hauptgrundwasserleiters eine effektive Porosität von 0,20 zuweisen.

8.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung entspricht der Differenz aus Niederschlag und der Summe aus Evapotranspiration und Direktabfluss. Sie ist das wichtigste positive Bilanzglied in der Grundwasserhaushaltsgleichung. Für das Betrachtungsgebiet Apeldorn wurde analog zum Betrachtungsgebiet Rühlermoor /1/ die Methode GROWA06V2 verwendet. In weiten Teilen der Geest beträgt die Grundwasserneubildung nach der Methode GROWA06V2 /12/ ca. 150 mm/a bis 250 mm/a. In einigen Bereichen – vor allem im Nordosten des Betrachtungsgebietes (z. B. im Bereich der Apeldorner Sandberge) – können die Neubildungsraten jedoch höher liegen (250 mm/a bis 350 mm/a). In einigen vorfluternahen Bereichen liegt die Grundwasserneubildung bei etwa 100 mm/a bis 150 mm/a.

In den Niederungen der Hase und im Nahbereich weiterer Vorfluter (z.B. Nordradde, Mittelradde) sind Grundwasserneubildungsraten zwischen 50 mm/a und ca. 100 mm/a anzutreffen. Die Torfflächen der Tinner / Staverner Dose, das Dörgener Moors, des Lahrer Moors, des Südmoors und der Koppelwiesen bzw. des Hudener Moors zeichnen sich durch Grundwasserneubildungsraten von weniger als 50 mm/a aus.

8.4 Grundwasserstände und Grundwasserbewegung

Für den oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters wurden Grundwassergleichenpläne für den Stichtag August 2015 konstruiert (**Anlagen 6** und **7**). Die in **Anlage 8** dargestellten langjährigen Grundwasserganglinien für alle im Betrachtungsgebiet befindlichen Messstellen des NLWKN /10/ belegen, dass die Wasserstände im August 2015 niedriger als im Mittel der letzten 10 Jahre waren. Da nicht für alle Messstellen des NLWKN Daten für den Stichtag im August 2015 vorliegen, wurden hilfsweise Grundwasserstände aus dem Juni 2015, Juli 2015, August 2013 und Mai 2013 verwendet. Weiterhin wurden Grundwasserstände der Stadtwerke Meppen im Bereich des Trinkwasserschutzbereichs Kossen-Tannen herangezogen /18/. Die Grundwasserstände im Juni 2015, Juli 2015, August 2013 und Mai 2013 lagen auf einem ähnlichen Niveau wie im August 2015 (**Anlage 8**). Bereichsweise ist der Verlauf der Grundwassergleichen aufgrund der geringen Datendichte mit Unsicherheiten behaftet. Die technischen Daten der Grundwassermessstellen sind in der **Anlage 11** zusammengefasst.

Der in **Anlage 6** dargestellte Grundwassergleichenplan verdeutlicht, dass die Grundwasserströmung im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters im Wesentlichen von der Geländemorphologie sowie der Lage der Vorfluter bestimmt wird. Die höchsten Grundwasserstände im Betrachtungsgebiet wurden im Bereich einer Grundwasserkuppe im Bereich der Apeldorner Sandberge gemessen (423: +22,48 mNN; B13: +22,37 mNN). Von dieser Hochlage erfolgt der natürliche Grundwasserabstrom in die umgebenden Niederungsgebiete. Die Grundwasserstände verringern sich im Nahbereich der Hase auf ca. +12 mNN im südlichen Betrachtungsgebiet.

Die o.g. Grundwasserkuppe setzt sich bis in den Bereich des Untersuchungsraums Apeldorn fort. Von dieser Grundwasserkuppe fließt das Grundwasser in westliche, südliche und östliche Richtungen den Vorflutern zu.

Das Grundwassergefälle beträgt im Bereich des nordöstlichen Untersuchungsraums Apeldorn ca. 1 : 900 bis 1 : 1.000 und im südwestlichen Untersuchungsraum Apeldorn ca. 1 : 300 bis 1 : 500.

Die Abstandsgeschwindigkeit v_a des Grundwassers im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters im Untersuchungsraum Apeldorn lässt sich näherungsweise nach DARCY [1] bestimmen. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s, einer effektiven Porosität von 0,20 und einem Grundwassergefälle von 1 : 900 ergibt sich eine Abstandsgeschwindigkeit v_a von ca. $5,6 \cdot 10^{-8}$ m/s bis ca. $5,6 \cdot 10^{-6}$ m/s, d. h. maximal ca. 175 m/a. Im südwestlichen Untersuchungsraum nimmt die Abstandsgeschwindigkeit ausgehend von einem hydraulischen Gefälle von bis zu 1 : 300 auf ca. $1,7 \cdot 10^{-7}$ m/s bis ca. $1,7 \cdot 10^{-5}$ m/s, d. h. maximal ca. 526 m/a zu.

Ausweislich der vorliegenden Grundwasserstandsdaten ist die Grundwasseroberfläche des Hauptgrundwasserleiters im Untersuchungsraum Apeldorn i. d. R. frei, im südlichen Untersuchungsraum können an der Basis überlagernder geringdurchlässiger Geschiebemergel gespannte bis halbgespannte Grundwasserverhältnisse anzutreffen sein (**Anlage 4**). Der Flurabstand ist definiert als Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche des ersten Grundwasserstockwerks. Insofern ist hier der obere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters relevant. Im Untersuchungsraum Apeldorn liegt der Flurabstand für den Stichtag August 2015 nach Daten aus den im Jahr 2015 errichteten Grundwassermessstellen und den Messstellen des NLWKN nur örtlich, insbesondere im nördlichen Teil über 5 m, ansonsten verbreitet unter 5 m, in der Nähe der Vorfluterniederungen bis unter 2 m. Ganglinienauswertungen zufolge liegen die Grundwasserstände im August 2015 niedriger als im Mittel der letzten 10 Jahre /10/. Sofern klimatisch bedingt hohe Grundwasserstände vorliegen, dürften die Flurabstände im Untersuchungsraum Apeldorn um ca. 0,5 - 1 m geringer ausfallen.

Der Grundwassergleichenplan für den unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (**Anlage 7**) zeigt einen ähnlichen Verlauf wie der Grundwassergleichenplan für den

oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters, wobei sich die Vorfluter weniger stark in einer Verschwenkung der Grundwassergleichen bemerkbar machen. Das Grundwassergefälle im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters beträgt im Bereich des Untersuchungsraums Apeldorn ausweislich der vorliegenden Daten ca. 1 : 500 bis 1 : 900. Die Abstandsgeschwindigkeiten liegen bei einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s, einer effektiven Porosität von 0,20 und einem Grundwassergefälle von 1 : 500 bei ca. $1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s bis ca. $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s, d. h. maximal ca. 315 m/a.

Die Differenzen der Grundwasserstände aus dem oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters reichen von wenigen Zentimetern bis zu maximal ca. 4 m. Der hydraulische Gradient ist auf den unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters gerichtet. Die maximale Differenz der Grundwasserstände von 4,03 m wurde im Untersuchungsraum Apeldorn an der NLWKN-Messstelle 421/422 gemessen.

8.5 Grundwasserbeschaffenheit

8.5.1 Ergebnisse der Messkampagne 2015

An den im Jahr 2015 errichteten Grundwassermessstellengruppen B9 bis B13 der ExxonMobil Production Deutschland GmbH wurden im August 2015 Grundwasserproben entnommen und chemisch-analytisch untersucht. Die technischen Daten der Grundwassermessstellen sind in der **Anlage 11** zusammengefasst. Der Prüfbericht der Fa. GBA ist der **Anlage 13** zu entnehmen; die Analysenergebnisse sind tabellarisch in der **Anlage 9** aufbereitet.

Die Grundwasserbeschaffenheit im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters lässt sich durch die Analysenergebnisse von Grundwasserproben der Messstellen mit flacher Filterstellung (B9-F1 bis B13-F1) beschreiben. Die Analysenergebnisse der Grundwasserproben der Messstellen mit tiefer Filterstellung (B9-F2 bis B13-F2)

beschreiben die Grundwasserbeschaffenheit im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters. Da die Grundwasserbeschaffenheitsdaten des oberen und unteren Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters keine prinzipiellen Unterschiede aufweisen, werden die Analysenergebnisse für beide Abschnitte des Hauptgrundwasserleiters gemeinsam beschrieben.

Die Ergebnisse der Basisparameter-Analysen zeigen, dass es sich bei dem Grundwasser im Untersuchungsraum Apeldorn generell um sehr weiches bis weiches, sehr schwach bis schwach mineralisiertes Wasser mit einer Gesamthärte von ca. 1,5 bis 6,2 °dH und einer Leitfähigkeit zwischen ca. 144 und 407 µS/cm handelt. Eine Ausnahme bildet die Grundwasserprobe der Messstelle B9-F1; die Leitfähigkeit und die Gesamthärte erreichen höhere Werte von 526 µS/cm bzw. 8,7 °dH. Die Wasserproben liegen mit pH-Werten von 5,6 bis 7,5 im schwach sauren bis schwach basischen Bereich.

Das Grundwasser im Hauptgrundwasserleiter des Untersuchungsraums Apeldorn kann als sauerstoffarmes bis gering sauerstoffhaltiges (0,1 – 3,1 mg/l O₂) Wasser mit z.T. höheren Eisengehalten, sowie höheren DOC- und ortho-Phosphatgehalten charakterisiert werden. Erhöhte Nitratgehalte wurden an der Grundwassermessstelle B9-F1 (63 mg/l) und B11-F1 (15 mg/l) gemessen; im Übrigen liegen die Nitratgehalte bei < 1 mg/l. Die Sulfat-Konzentrationen liegen unter 73 mg/l; die Chlorid-Konzentrationen unterhalb von 52 mg/l. Hinweise auf eine Versalzung des Grundwassers im Hauptgrundwasserleiter gibt es daher basierend auf den hier analysierten Grundwasserproben nicht.

Im Hinblick auf die anorganisch-chemischen Kenngrößen sind mehrere Parameter z.T. in auffälligen Konzentrationen nachgewiesen worden. Die Arsen-Hintergrundwerte nach /15/ für die hydrogeochemischen Einheiten „Nordwestdeutsche Geest“ und „Nordwestdeutsche Flussniederung“ im Untersuchungsraum Apeldorn liegen bei 2,82 µg/l bzw. 2,58 µg/l (90 % Perzentil). Arsengehalte von über 10 µg/l (Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) nach [3]) wurden an den Grundwassermessstelle B9-F2 von

14 µg/l nachgewiesen. In der Region Ostfriesland, ca. 35 bis 40 km nördlich des Betrachtungsgebietes Apeldorn, wurden maximale Arsen-Konzentrationen von 86 µg/l gemessen [5]. Insofern deutet sich an, dass auch Arsen-Gehalte von über 10 µg/l in der Region Apeldorn/Meppen einen geogenen Ursprung haben dürften.

Die Kobalt-Konzentrationen lagen an den Messstellen B9-F1 und B11-F1 mit 8,7 µg/l bzw. 13,0 µg/l leicht oberhalb des GFS nach [3] von 8 µg/l. Die Hintergrundkonzentration für die hydrogeochemischen Einheiten „Nordwestdeutsche Geest“ und „Nordwestdeutsche Flussniederung“ im Bereich des Untersuchungsraums Apeldorn liegt laut /15/ zwischen ca. 7,06 µg/l bis 9,19 µg/l Kobalt (90% Perzentile) und weist damit auf eine leicht erhöhte Hintergrundkonzentration in dieser Region hin. Das 95 % Perzentil zeigt Werte bis max. 18,4 µg/l an /15/. Die gemessenen Kobalt-Gehalte sind demzufolge vermutlich geogener Natur.

Die Zink-Konzentration lag an der Messstelle B9-F1 mit 73 µg/l oberhalb des GFS von 58 µg/l. Die Zink-Hintergrundwerte nach /15/ für die hydrogeochemischen Einheiten „Nordwestdeutsche Geest“ und „Nordwestdeutsche Flussniederung“ im Untersuchungsraum Apeldorn liegen bei 43,8 µg/l bzw. 77,7 µg/l (90 % Perzentil). Die gemessenen Zink-Konzentrationen sind demzufolge vermutlich geogener Natur.

An den Messstellen B9-F1, B9-F2, B11-F2, B12-F1, B12-F2 und B13-F2 wurden Vanadium-Konzentrationen von 4,5 µg/l bis 22,0 µg/l gemessen. Diese Werte sind gegenüber einem GFS von 4 µg/l [3] erhöht und überschreiten die Hintergrundkonzentration von 1,78 µg/l bzw. 4,18 µg/l (90% Perzentil laut /15/) für die hydrogeochemischen Einheiten „Nordwestdeutsche Geest“ und „Nordwestdeutsche Flussniederung“ im Bereich des Untersuchungsraums Apeldorn. Vanadiumkonzentrationen von über 4 µg/l treten geogen bedingt in hessischen Grundwässern in tertiären Vulkaniten (Basalten) auf /16/. Es erscheint daher plausibel, die erhöhten Vanadium-Gehalte mit den im Untersuchungsraum Apeldorn erbohrten tertiären Tuffiten in Verbindung zu bringen und insofern von einem geogenen Effekt auszugehen.

Die Uran-Konzentrationen liegen zwischen $< 0,0001 \text{ mg/l}$ und $0,001 \text{ mg/l}$, d.h. bei max. $1,0 \text{ } \mu\text{g/l}$. Die Hintergrundkonzentration für die hydrogeochemischen Einheiten „Nordwestdeutsche Moorniederungen“ und „Nordwestdeutsche Flussniederung“ liegen laut /15/ zwischen $0,0899 \text{ } \mu\text{g/l}$ und $0,238 \text{ } \mu\text{g/l}$ (90 % Perzentile) und damit etwas niedriger.

Die Gehalte der weiteren analysierten anorganisch-chemischen Kenngrößen (Antimon, Barium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Cyanid, Fluorid, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Selen, Molybdän, Thallium) waren entweder nicht nachweisbar oder lagen unterhalb des Geringfügigkeitsschwellenwertes nach [3].

Hinsichtlich der organisch-chemischen Kenngrößen ist festzustellen, dass BTEX-Aromaten, leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB), Phenolindex und Kohlenwasserstoffe nicht oder nur in geringfügig über der Bestimmungsgrenze liegenden Gehalten nachgewiesen werden konnten.

Alle untersuchten Pflanzenschutzmittel und Metaboliten (**Anlage 9**) konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Methangehalte bewegen sich zwischen $< 10 \text{ } \mu\text{g/l}$ und $298 \text{ } \mu\text{g/l}$, wobei die höchsten Konzentrationen an der Messstelle B11-F2, die niedrigsten an den Messstellen B9-F1, B10-F1, B12-F1 und B13-F1 sowie B13-F2 gemessen wurden. Eine nachgeschaltete Untersuchung der Methan-Isotopie ($\delta^{13}\text{C-CH}_4$ und $\delta^2\text{H-CH}_4$) und der Gehalte an Ethan und Propan zeigt, dass es sich um Methan biogener Herkunft handelt (**Anlage 14**). Es gibt keinen Hinweis auf thermogenes Methan. Die genauen mikrobiellen Prozesse sind dabei nicht charakterisierbar (**Anlage 14**). Ethan und Propan wurden in keiner Grundwasserprobe detektiert.

Die Gesamt- α -Aktivitätskonzentration liegt bei max. 0,16 Bq/l, die Gesamt- β -Aktivitätskonzentration bei max. 0,47 Bq/l.

8.5.2 Daten des NLWKN

Grundwasserbeschaffenheitsdaten für den Zeitraum 2005 bis 2014 liegen für fünf NLWKN-Messstellen (218, 423, 424, 425, 426) im Untersuchungsraum Apeldorn vor /10/. Die Analysenergebnisse sind in Tabellenform in **Anlage 10** dargestellt.

Die Ergebnisse der Grundwassergütemessstellen des NLWKN zeigen ähnliche Verhältnisse wie die in Kap. 8.5.1 beschriebenen. In den untersuchten Grundwasserproben liegt die Leitfähigkeit zwischen ca. 74 und 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$, für den Sauerstoffgehalt wurden 0,3 bis 8,5 mg/l O_2 gemessen. Das Wasser weist z.T. höhere DOC-Gehalte auf. Die pH-Werte der Wasserproben liegen im schwach sauren Bereich (pH-Werte zwischen 4,9 und 6,0). Nitrat wurde mit maximal 106,3 mg/l an der Messstelle 218 in 2011, Nitrit mit max. 0,2 mg/l an der Messstelle 426 in 2009 nachgewiesen. Die Sulfat- und Chlorid-Konzentrationen liegen zwischen 6,7 - 88 mg/l bzw. 7,1 - 39 mg/l. Anhaltspunkte für eine Versalzung des Grundwassers liegen nicht vor.

Bezüglich der anorganisch-chemischen Kenngrößen sind die Parameter Cadmium, Nickel und Zink in z.T. auffälligen Konzentrationen nachgewiesen worden. An der Messstelle 218 wurde im Jahr 2009 ein Cadmium-Gehalt von 1,10 $\mu\text{g}/\text{l}$ gemessen. Dieser Wert liegt oberhalb des GFS nach [3] von 0,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ Cadmium. In den weiteren sieben Analysen der Messstelle 218 aus den Jahren 2007 bis 2014 wurden teilweise Konzentrationen, die über dem GFS liegen, ermittelt. An der Messstelle 425 wurde ein Cadmium-Gehalt von 0,8 $\mu\text{g}/\text{l}$ gemessen. Im Grundwasser der Messstellen 423, 424 und 426 wurde kein Cadmium nachgewiesen. An der Messstelle 218 wurden mehrfach erhöhte Nickel-Konzentration beobachtet, die den GFS nach [3] von 14 $\mu\text{g}/\text{l}$ überschreiten (max. 51 $\mu\text{g}/\text{l}$ in 2011). Erhöhte Zink-Gehalte (max. 67 $\mu\text{g}/\text{l}$) wurden an der

Messstelle 218 ebenfalls registriert. Der entsprechende GFS nach [3] von 58 µg/l wird dabei leicht überschritten.

Die Gehalte der weiteren analysierten anorganisch-chemischen Kenngrößen (Antimon, Arsen, Blei, Bor, Chrom, Cyanid, Fluorid, Kupfer, Molybdän, Quecksilber, Uran und Thallium) waren entweder nicht nachweisbar oder lagen unterhalb des Geringfügigkeitsschwellenwertes nach [3]. Für die Parameter Barium, Selen, Vanadium und Kobalt lagen keine Analysenergebnisse vor.

An der Messstelle 218 wurden LHKW, der Phenol-Index und Pflanzenschutzmittel untersucht. Die Grundwasserproben zeigen nur hinsichtlich des AOX-Wertes eine Auffälligkeit; im Jahr 2013 wurde hier eine Konzentration von 0,019 mg/l für AOX festgestellt. Weitere organisch-chemischen Kenngrößen wie z.B. BTEX-Aromaten oder PAK wurden nicht analysiert.

8.5.3 Chemischer Zustand gemäß WRRL

Der chemische Zustand der für den Untersuchungsraum Apeldorn relevanten Grundwasserkörper „Hase Lockergestein rechts“ und „Mittlere Ems Lockergestein rechts 2“ gemäß WRRL wurde laut Angaben in /14/ als „nicht gut“ eingestuft. Das gilt sowohl für den Gesamt-Zustand, also auch für den Zustand bezüglich der Pestizide. Der Zustand bezüglich Nitrat wurde für den Grundwasserkörper „Hase Lockergestein rechts“ als „nicht gut“ und für den Grundwasserkörper „Mittlere Ems Lockergestein rechts 2“ als „gut“ eingestuft. Der Zustand der relevanten Grundwasserkörper bezüglich Cadmium wurde laut Angaben in /14/ als sich in einem guten Zustand befindend eingestuft.

9 Zusammenfassung

In der vorliegenden hydrogeologischen Grundlagenermittlung wurde für den Untersuchungsraum Apeldorn eine Charakterisierung der hydrogeologischen Standortverhältnisse vorgenommen.

Im Untersuchungsraum Apeldorn ist in den weichselzeitlichen fluviatilen Sanden, den pleistozänen Schmelzwassersedimenten sowie in den sandigen Ablagerungen des Miozän, Oligozän und Untereozän 3 ein zusammenhängender Hauptgrundwasserleiter ausgebildet. Örtlich besteht durch zwischengeschaltete bindige Schichten eine Gliederung in einen oberen und einen unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters. Die Grundwasserfließverhältnisse sind im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters sehr ähnlich, wobei sich die Lage der Vorfluter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters weniger deutlich durch ein Verschwenken der Grundwassergleichen bemerkbar macht. Von einer Grundwasserkuppe im nord-östlichen Betrachtungsgebiet fließt das Grundwasser in südwestliche Richtung.

Der mengenmäßige Zustand der für den Untersuchungsraum relevanten Grundwasserkörper „Hase Lockergestein rechts“ und „Mittlere Ems Lockergestein rechts 2“ gemäß WRRL wurde als „gut“ eingestuft.

Der chemische Zustand der Grundwasserkörper „Hase Lockergestein rechts“ und „Mittlere Ems Lockergestein rechts 2“ wurde als „nicht gut“ eingestuft. Das gilt sowohl für den Gesamt-Zustand, also auch für den Zustand bezüglich der Pestizide. Der Zustand bezüglich Nitrat wurde für den Grundwasserkörper „Hase Lockergestein rechts“ als „nicht gut“ eingestuft und für den Grundwasserkörper „Mittlere Ems Lockergestein rechts 2“ als „gut“ eingestuft. Der Zustand der relevanten Grundwasserkörper bezüglich Cadmium wurde als sich in einem guten Zustand befindend eingestuft.

Die für den Untersuchungsraum Apeldorn vorliegenden Grundwasseranalysen aus dem Jahr 2015 und ältere Daten des NLWKN geben keine Veranlassung für eine

abweichende Einschätzung der gütemäßigen Einordnung. Sie zeigen vielmehr, dass lokal geogen bedingt höhere Stoffgehalte vorliegen. Dies betrifft insbesondere die Vanadium-Gehalte, die vermutlich mit tertiären Tuffiten in Verbindung gebracht werden können. Anhaltspunkte für eine Versalzung des Grundwassers liegen nicht vor.

Analysen belegen, dass sich bei dem in zwei Proben nachgewiesenen Methan um Methan biogener Herkunft handelt; es gibt keinen Hinweis auf thermogenes Methan.

Aus den Grundwasserbeschaffenheitsdaten ergeben sich keine Hinweise auf einen Zustrom von Formationswässern aus dem Bentheimer Sandstein in den Hauptgrundwasserleiter.

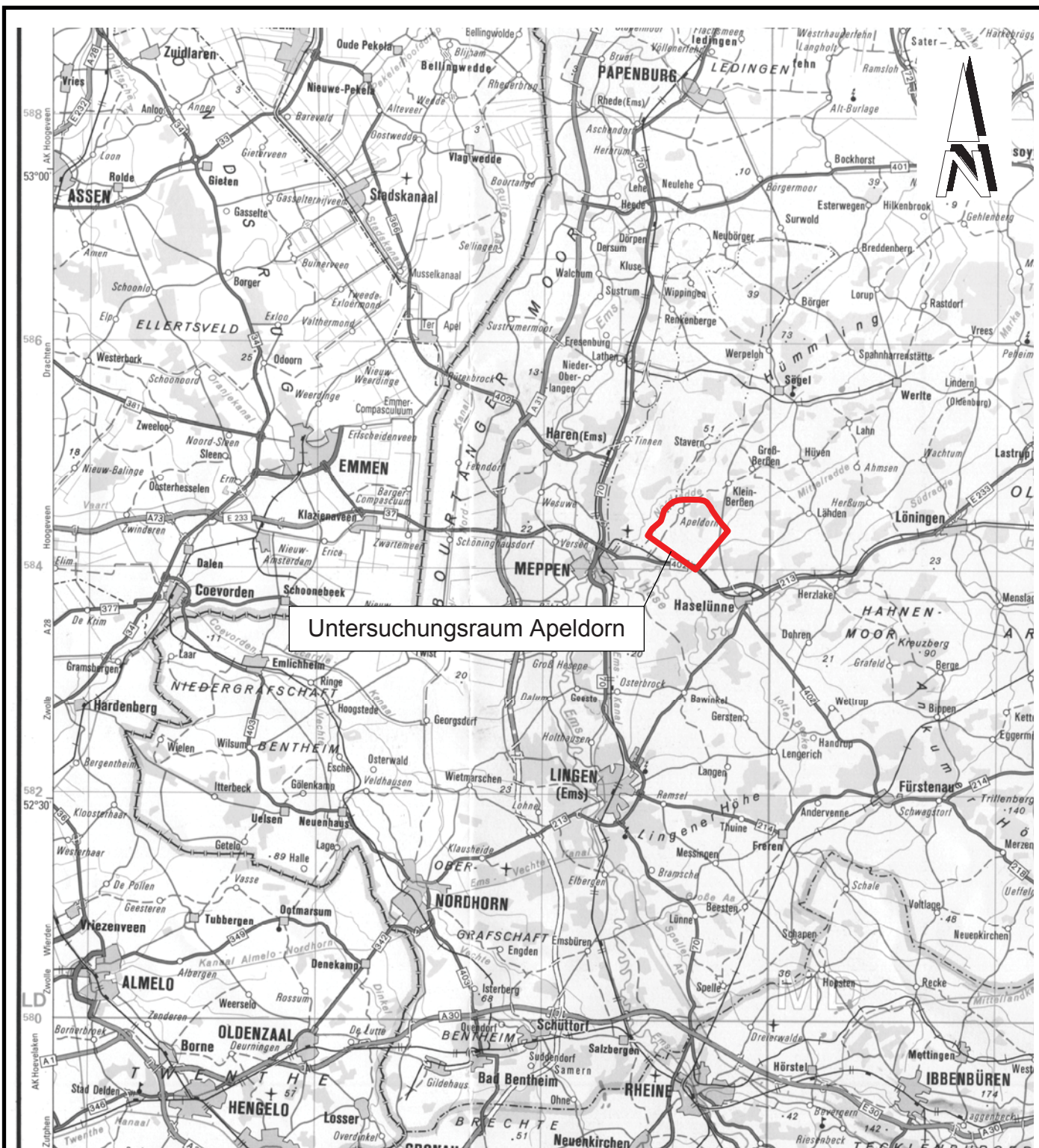
Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Dr. Udo Schmidt

Dipl.-Geol. Christoph Haase

10 Literaturverzeichnis

- [1] Hölting, B. & Coldewey, W. G., 2009: Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- Springer, Heidelberg, 7. Aufl., 383 S.
- [2] R. Kunkel, H.-J. Voigt, F. Wendland, S. Hannappel, 2004: Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland.- Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt / Environment Band / Volume 47
- [3] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2004: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser.- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Düsseldorf
- [4] Matthes, G. & Ubell K., 1983: Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt.- Verlag Bornträger, Berlin, 438 S.
- [5] NLWKN, Betriebsstelle Aurich, 2013: Spurenmetalle im Grundwasser Ostfrieslands (Regionaler Themenbericht, Datenauswertung 1993 bis 2012)
- [6] Prinz, H., 1997: Abriß der Ingenieurgeologie mit Grundlagen der Boden- und Felsmechanik, des Erd-, Grund- und Tunnelbaus sowie der Abfalldeponien.- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 3., neu bearb. u. erw. Auflage, 546 S.
- [7] Reutter, E., 2011: Geofakten 21, Hydrostratigraphische Gliederung Niedersachsens, LBEG, Hannover, 11 S.
- [8] Schleyer, R. & Kerndorff H.: Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1992.



Ingenieurgesellschaft
Dr. **SCHMIDT**
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade

Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988

URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt:

Hydrogeologische Grundlagenermittlung
für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“
- Untersuchungsraum Apeldorn

Bearbeiter:
CH

Anlage:
1

Zeichner:
SW

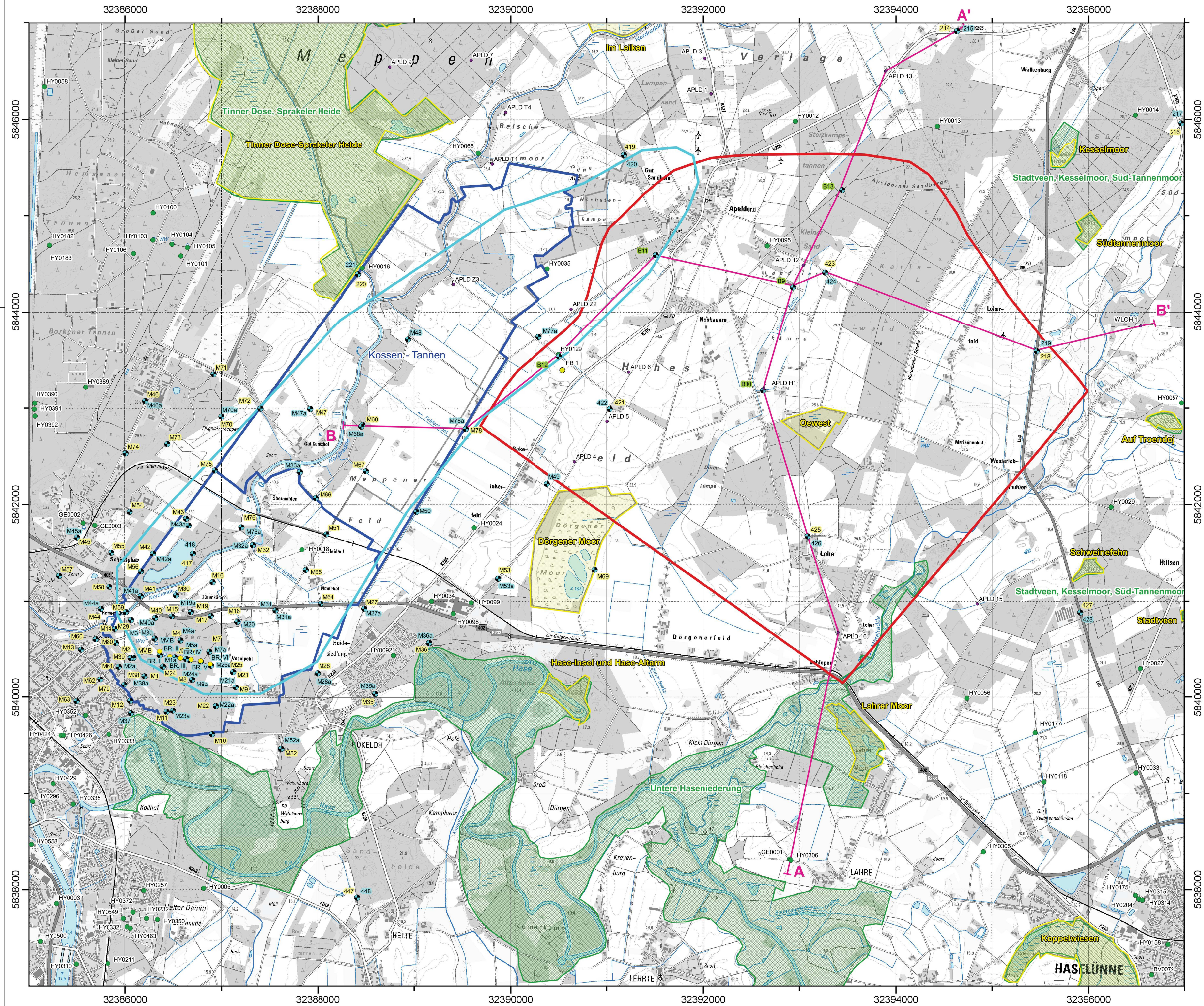
Datum:
26.10.2015

Maßstab:
1 : 500 000

Darstellung:

Übersichtslageplan

Projekt: 14 - 23862.2 Verzeichnis: R:\2014\Proj\14-23862\CAD



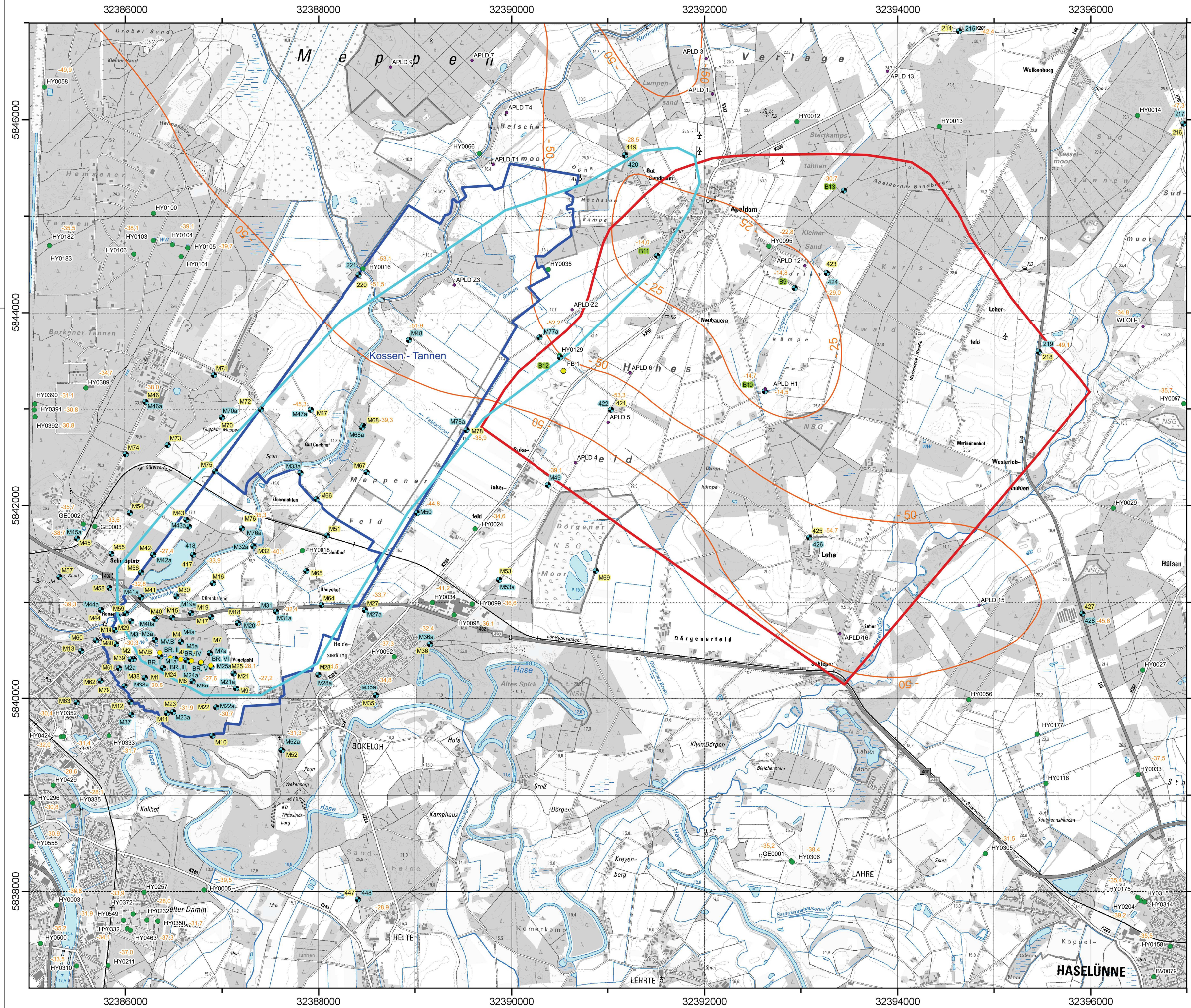
LEGENDE

- Untersuchungsraum Apeldorn
- Brunnen
- Grundwassermessstelle bzw. -messstellengruppe
- Bohrung
- Tiefbohrungen
- Filter im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- kein Filter bzw. Filterlage unbekannt
- Bezeichnung gem. NLWKN Meppen
- Bezeichnung gem. Stadwerke Meppen (M = GWM)
- Bezeichnung gem. EMPG
- Bezeichnung gem. Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH
- Bezeichnung gem. LBEG-Archiv
- Wasserschutzgebiets- bzw. Schutzzonengrenze
- Trinkwasservorranggebiet (LROP)
- Naturschutzgebiet
- FFH-Gebiet
- Lage der Profilführung

Quelle der topografischen Kartengrundlage:
Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung

© 2015 LGLN

 Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH	Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH						
	Projekt: Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn	<table><tr><td>Bearbeiter: CH</td><td>Anlage: 2</td></tr><tr><td>Zeichner: CH</td><td>Datum: 10.08.2015</td></tr><tr><td colspan="2">Maßstab: 1 : 25.000</td></tr></table>	Bearbeiter: CH	Anlage: 2	Zeichner: CH	Datum: 10.08.2015	Maßstab: 1 : 25.000
Bearbeiter: CH	Anlage: 2						
Zeichner: CH	Datum: 10.08.2015						
Maßstab: 1 : 25.000							
Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988 URL: http://www.schmidt-geologen.de	Darstellung: Lage der Brunnen, Bohrungen und Grundwassermessstellen						
Projekt: 14 - 23862.2	Verzeichnis: R1_2014_Proj114-23862/CAD						



LEGENDE

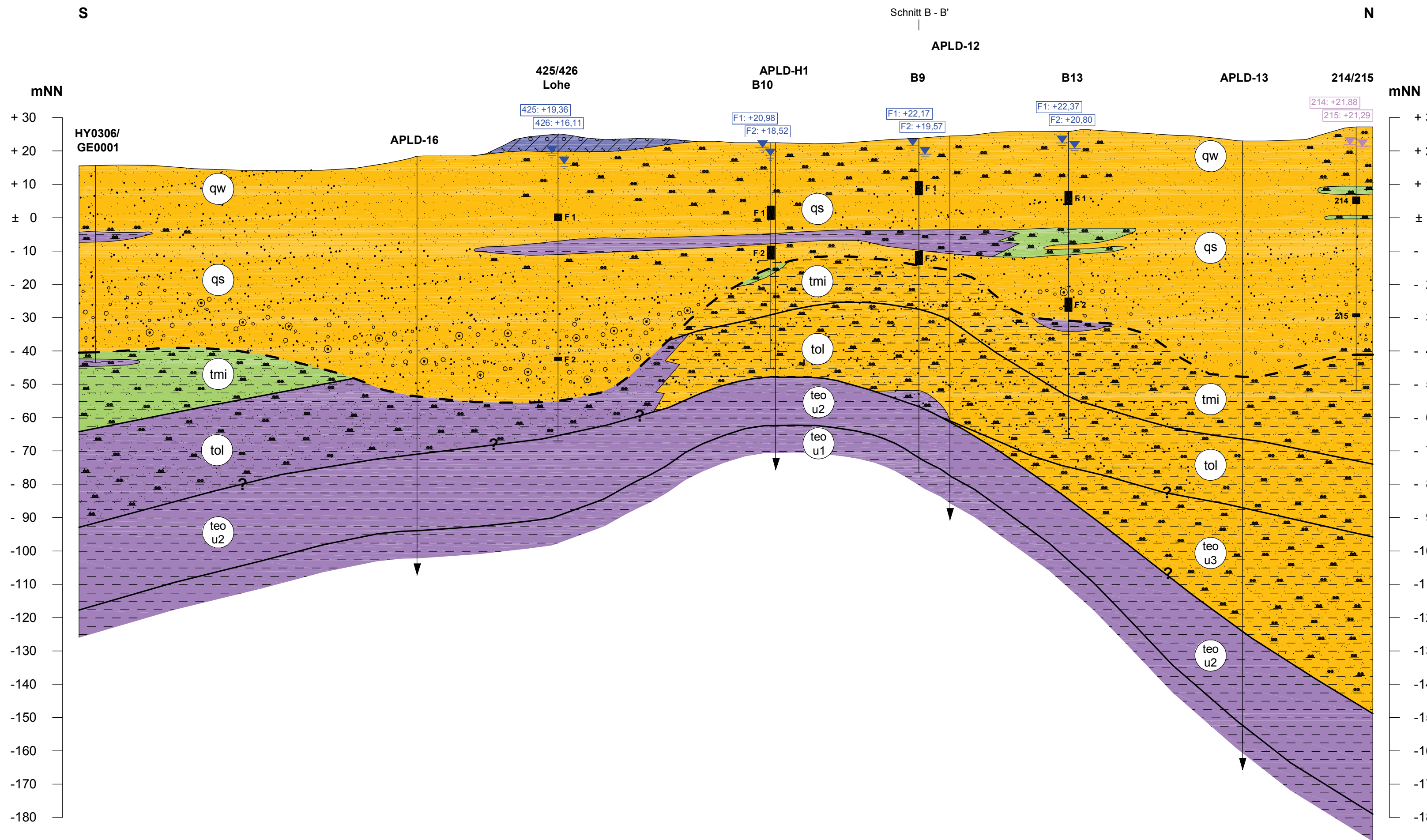
- Untersuchungsraum Apeldorn
- Brunnen
- Grundwassermessstelle bzw. -messstellengruppe
- Bohrung
- Tiefbohrung
- Filter im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- APLD 12 kein Filter bzw. Filterlage unbekannt
- 218 Bezeichnung gem. NLWKN Meppen
- M76 Bezeichnung gem. Stadtwerke Meppen (M = GWM)
- APLD-2, APLD-Z2, WLOH-1 Bezeichnung gem. EMPG
- B 13 Bezeichnung gem. Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH
- HY0024, GE0002 Bezeichnung gem. LBEG-Archiv
- Wasserschutzgebiets- bzw. Schutzzonengrenze
- Trinkwasservorranggebiet (LROP)
- Quartärbasis [mNN]
- Quartärbasis [mNN], abgeleitet aus Schichtenverzeichnis/Log der betreffenden Bohrung

Quelle der topografischen Kartengrundlage:
Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung

© 2015 LGLN

 Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH		Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH	
Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988 URL: http://www.schmidt-geologen.de		Projekt: Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn	Bearbeiter: CH Zeichner: CH Anlage: 3 Datum: 11.08.2015 Maßstab: 1 : 25.000
Darstellung: Tiefenlage der Basis der quartären Schichten			
Projekt: 14 - 23862.2		Verzeichnis: R1_2014_Prog/114-23862/CAD	

Schematischer Schnitt A - A'



LEGENDE:

- Feinsand
- Mittelsand
- Grobsand
- Kies
- Ton
- Schluff
- Geschiebelehm/-mergel
- qw: Quartär, Weichsel-Kaltzeit
- qs: Quartär, Saale-Kaltzeit
- tmi: Tertiär, Miozän
- tol: Tertiär, Oligozän
- teo u3: Tertiär, Untereozän 3
- teo u2: Tertiär, Untereozän 2
- teo u1: Tertiär, Untereozän 1
- Filterposition
- Quartärbasis
- Schichtverlauf unsicher
- Endteufe >200 m u. GOK
- F1: +22,17: Grundwasserstand [mNN], Stichtag 12.08.2015
- 214: +21,88: Grundwasserstand [mNN], Stichtag 29.08.2013



Ingenieurgesellschaft
Dr. SCHMIDT
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 14 - 23862.2 Verzeichnis: R:\2014\Proj\14-23862\CAD

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt:	Bearbeiter: CH	Anlage: 4
Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn	Zeichner: JT	Datum: 12.10.2015
	Maßstab:	1 : 25 000 1: 1 000

Darstellung:

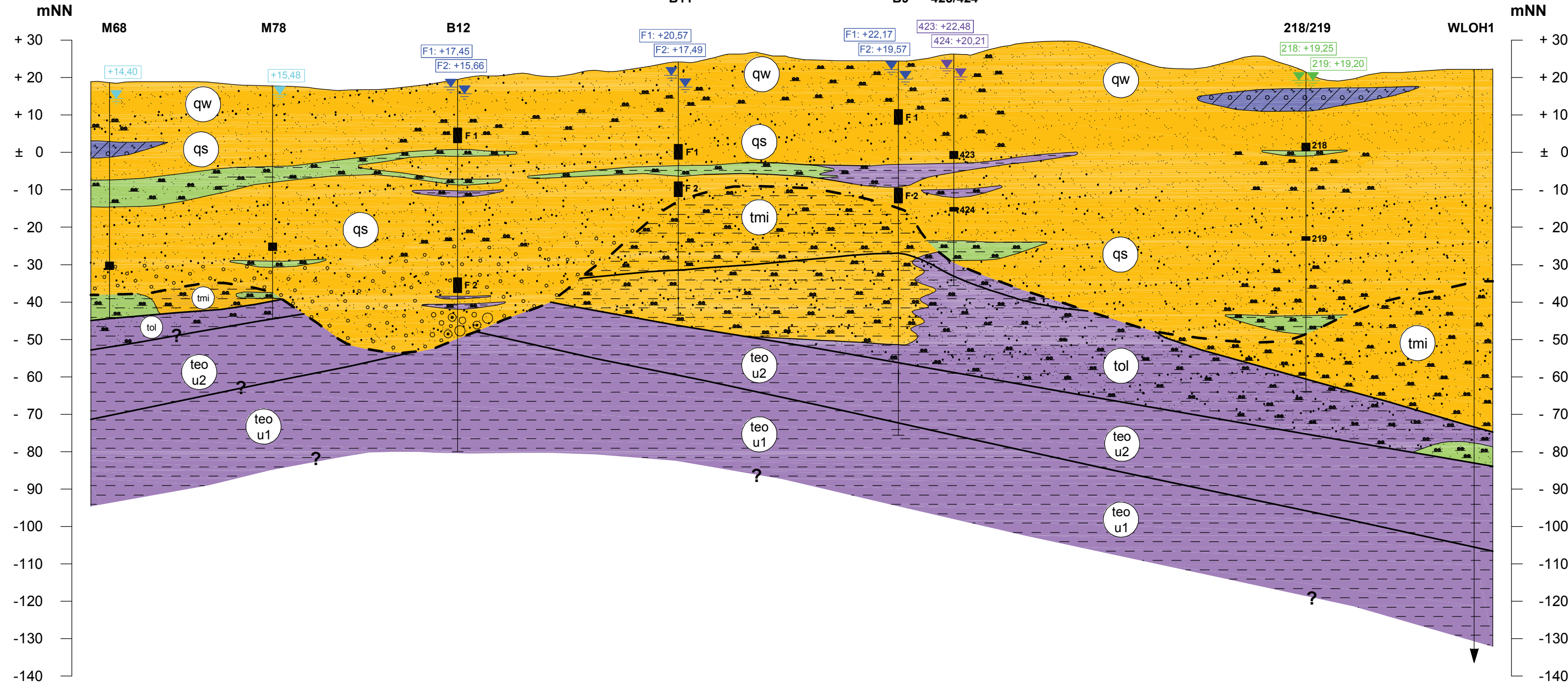
Schematischer Schnitt A - A'

Schematischer Schnitt B - B'

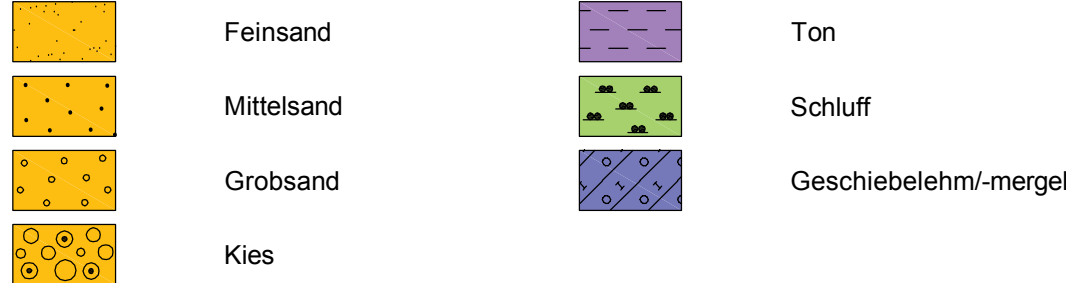
Schnitt A - A

W

E



LEGENDE:



qw Quartär, Weichsel-Kaltzeit

qs Quartär, Saale-Kaltzeit

(tmi) Tertiär, Miozän

(tol) Tertiär, Oligozän

$\begin{pmatrix} \text{teo} \\ \text{u2} \end{pmatrix}$ Tertiär, Untereozän 2

teo
u1

Tertiär, Untereozän 1

 Filterposition

— — — Quartärbasis

? Schichtverlauf unsicher

▼ Endteufe >200 m u. GOK

F1: +22,17 Grundwasserstand [mNN], Stichtag 12.08.2015

+15,48 Grundwasserstand [mNN], Stichtag 30.07.2015

218: +19,25 Grundwasserstand [mNN], Stichtag 17.06.2015

423: +22,48

Grundwasserstand [mNN], Stichtag 27.05.2013



Auftraggeber

ExxonMobil.

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt:
Hydrogeologische Grundlagenermittlung
für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“
- Untersuchungsraum Apeldorn

Bearbeiter:	Anlage:
CH	5

Zeichner:	Datum:
IT	22.10.2015

Maßstab: 1 : 25 000
1 : 1 000

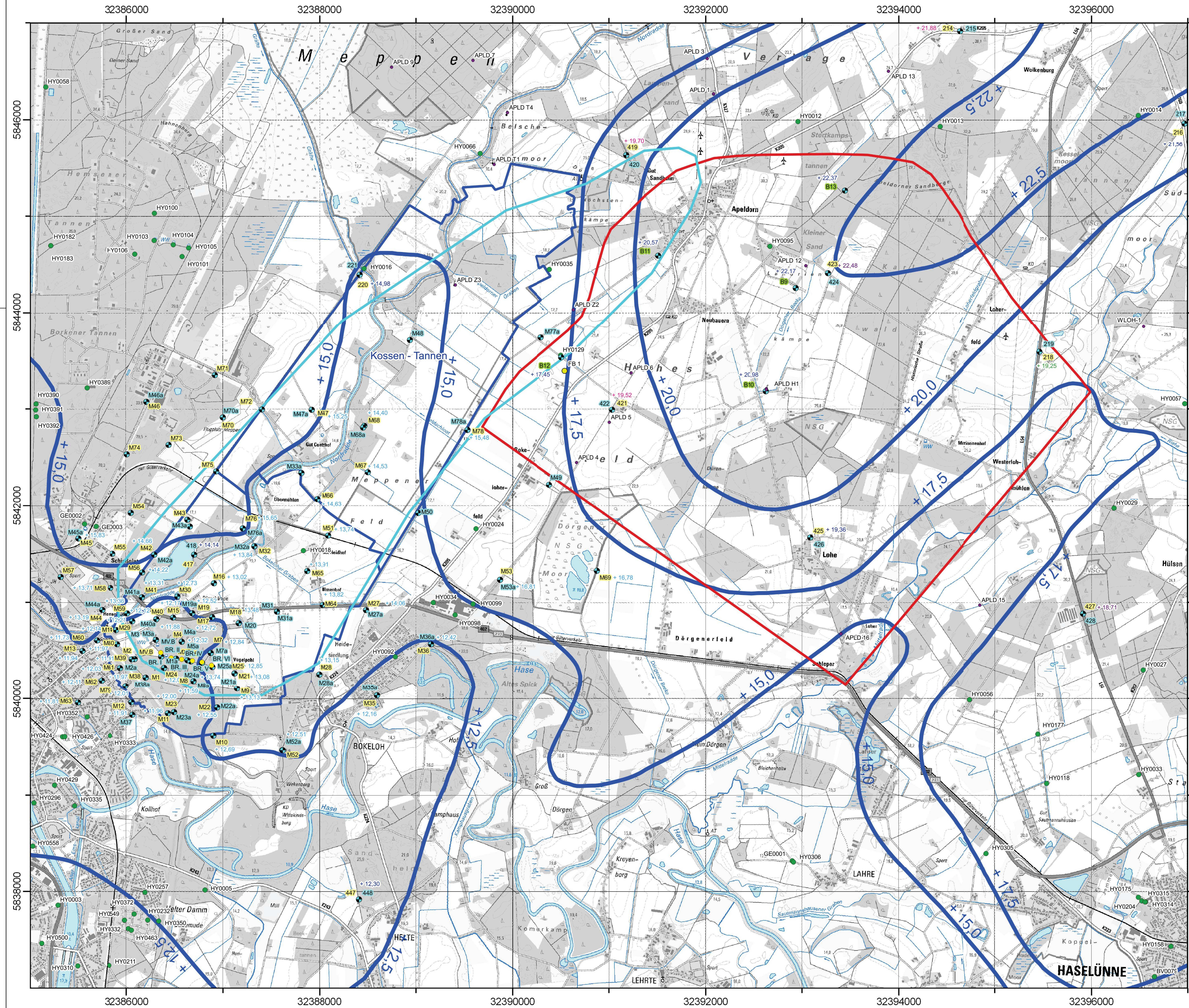
Darstellung:

Schematischer Schnitt B - B'

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade

Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 14 - 23862.2	Verzeichnis: R:\2014\ Proj.\14-23862\CA
-----------------------	---



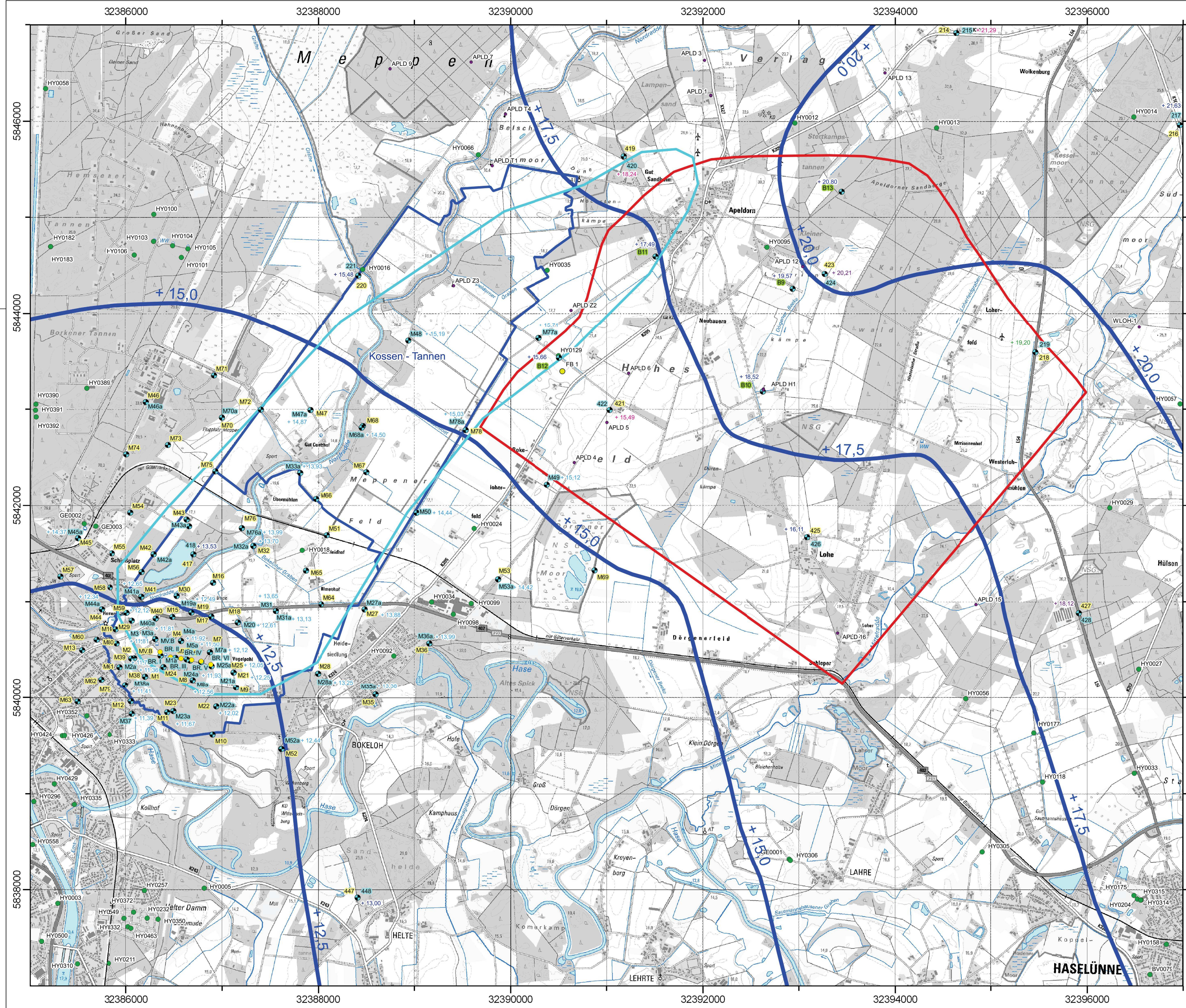
LEGENDE

- Untersuchungsraum Apeldorn
- Brunnen
- Grundwassermessstelle bzw. -messstellengruppe
- Bohrung
- Tiefbohrung
- Filter im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- kein Filter bzw. Filterlage unbekannt
- Bezeichnung gem. NLWKN Meppen
- Bezeichnung gem. Stadtwerke Meppen (M = GWM)
- Bezeichnung gem. EMPG
- Bezeichnung gem. Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH
- Bezeichnung gem. LBEG-Archiv
- Wasserschutzgebiets- bzw. Schutzzonengrenze
- Trinkwasservorranggebiet (LROP)
- Grundwasserstand [mNN], 12.08.2015
- Grundwasserstand [mNN], 30.07.2015
- Grundwasserstand [mNN], 17.06.2015
- Grundwasserstand [mNN], 29.08.2013
- Grundwasserstand [mNN], 27.05.2013
- Grundwassergleiche [mNN]

Quelle der topografischen Kartengrundlage:
Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung

© 2015 LGLN

 Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH		Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH	
Projekt: Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn		Bearbeiter: CH	Anlage: 6
Darstellung: Grundwassergleichenplan, oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (August 2015)		Zeichner: SW	Datum: 18.09.2015
Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988 URL: http://www.schmidt-geologen.de		Maßstab: 1 : 25.000	
Projekt: 14 - 23862.2		Verzeichnis: R1_2014_Proj.14-23862/CAD	



LEGENDE

- Untersuchungsraum Apeldorn
- Brunnen
- Grundwassermessstelle bzw. -messstellengruppe
- Bohrung
- Tiefbohrung
- Filter im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- kein Filter bzw. Filterlage unbekannt
- Bezeichnung gem. NLWKN Meppen
- Bezeichnung gem. Stadtwerke Meppen (M = GWM)
- Bezeichnung gem. EMPG
- Bezeichnung gem. Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH
- Bezeichnung gem. LBEG-Archiv
- Wasserschutzgebiets- bzw. Schutzzonengrenze
- Trinkwasservorranggebiet (LROP)
- Grundwasserstand [mNN], 12.08.2015 / 04.08.2015
- Grundwasserstand [mNN], 30.07.2015
- Grundwasserstand [mNN], 17.06.2015
- Grundwasserstand [mNN], 29.08.2013
- Grundwasserstand [mNN], 27.05.2013
- Grundwassergleiche [mNN]

Quelle der topografischen Kartengrundlage:
Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung

© 2015 LGLN

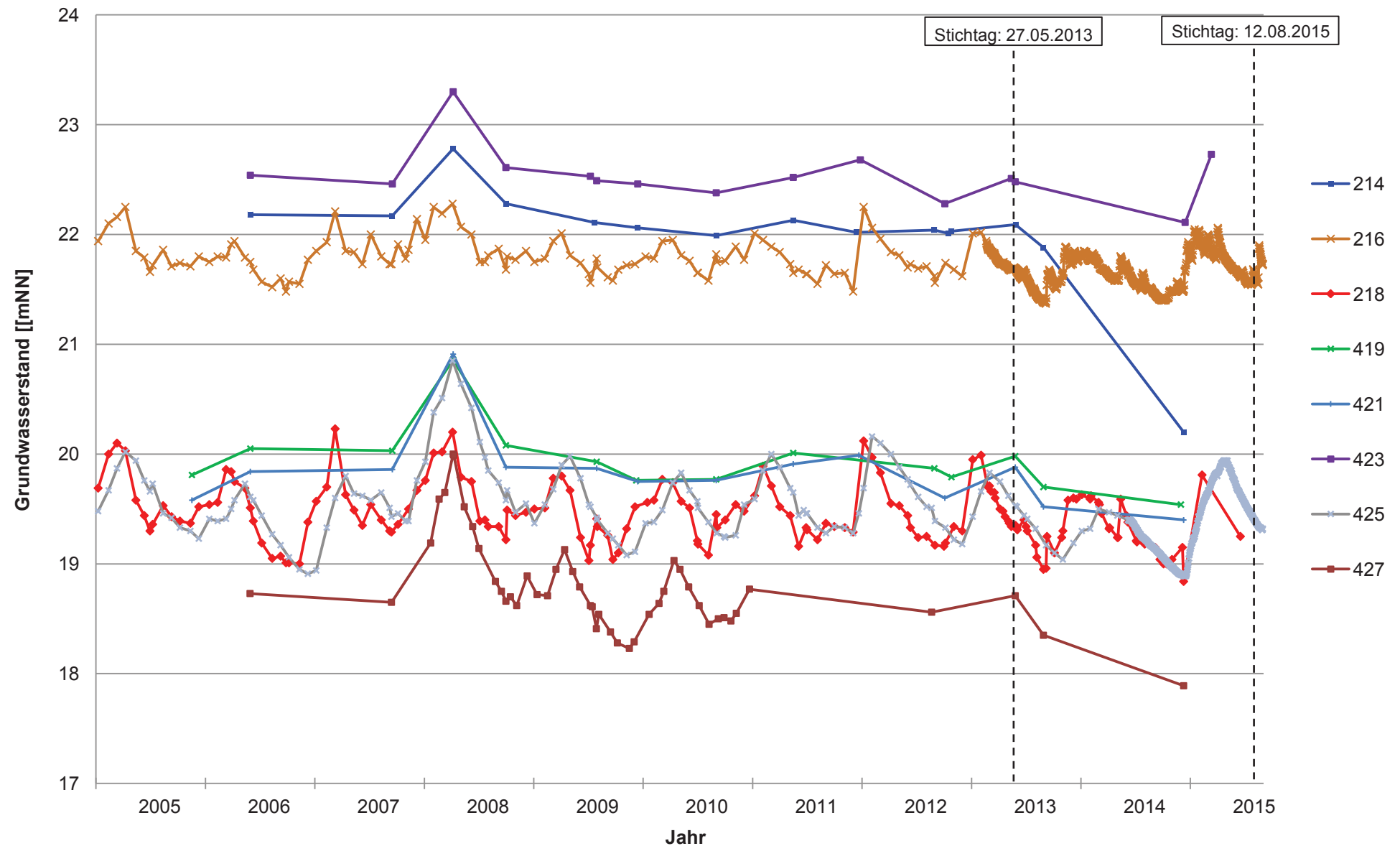
 Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988 URL: http://www.schmidt-geologen.de Projekt: 14 - 23862 Verzeichnis: R1_2014_Proj.14-23862/CAD		Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH	
		Projekt: Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn	Bearbeiter: CH Zeichner: JT Anlage: 7 Datum: 22.10.2015 Maßstab: 1 : 25.000
Darstellung: Grundwassergleichenplan, unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (August 2015)			

Anlage 8

Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen des NLWKN Meppen

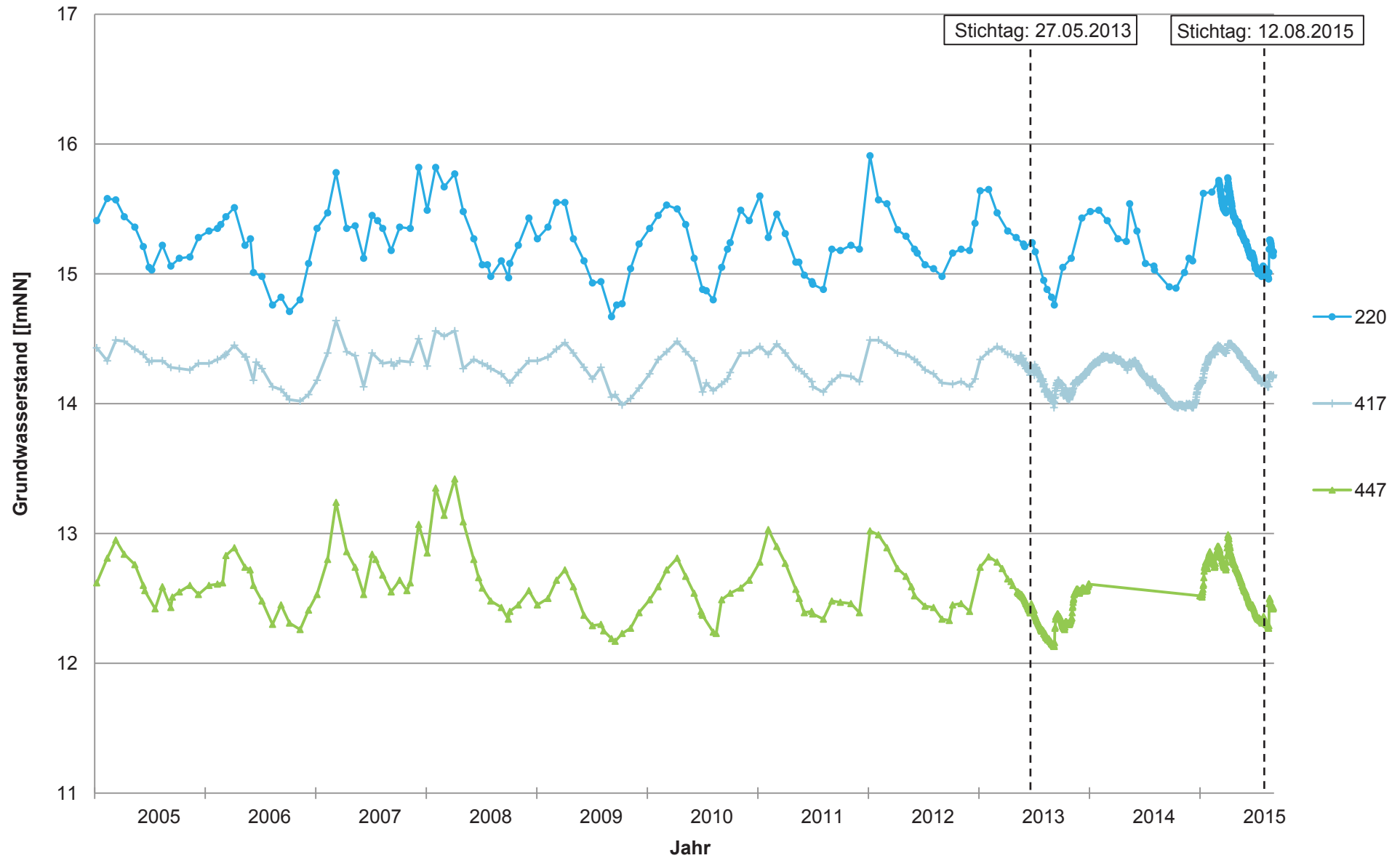
Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen des NLWKN Meppen, oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters



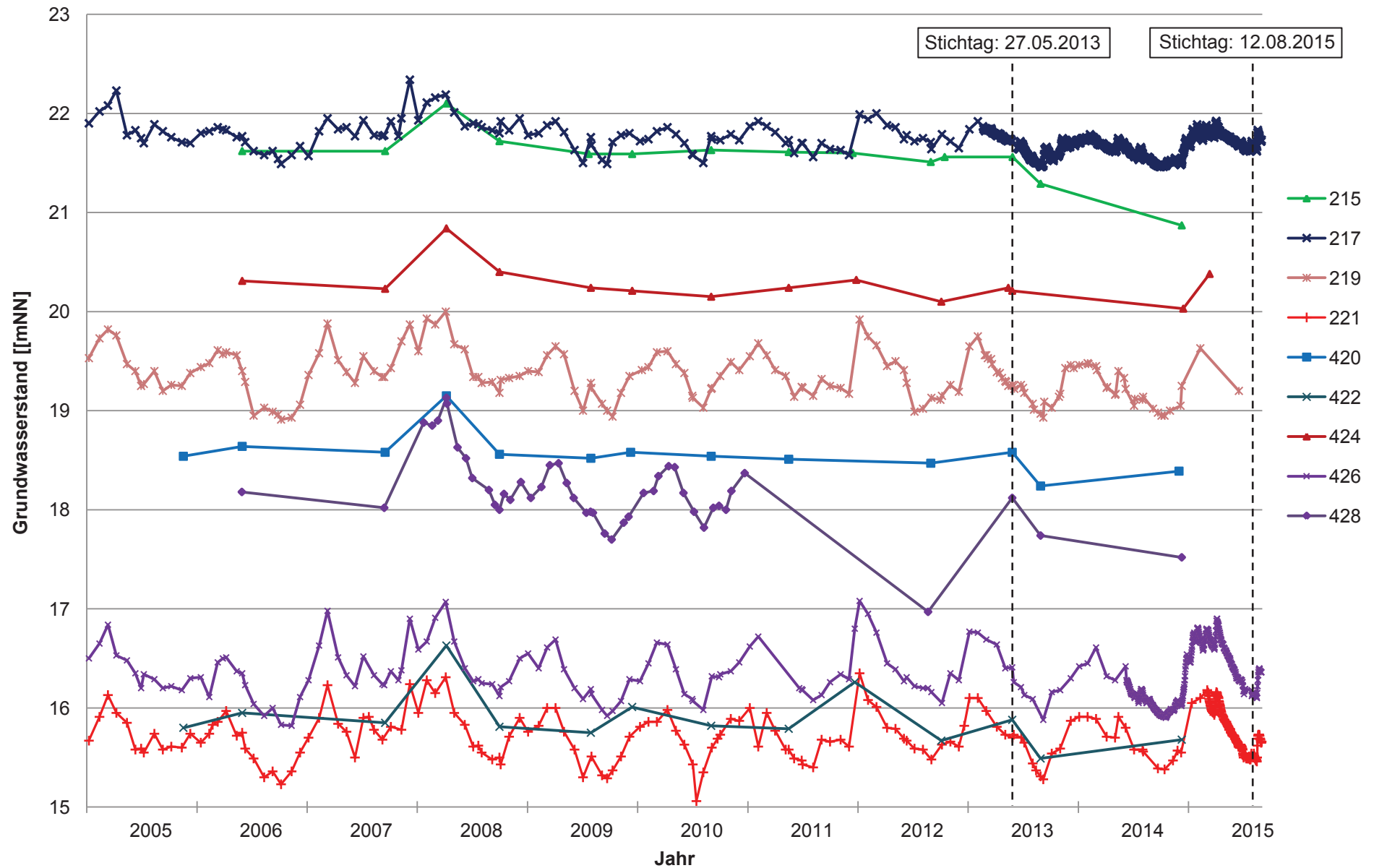
Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen des NLWKN Meppen, oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters



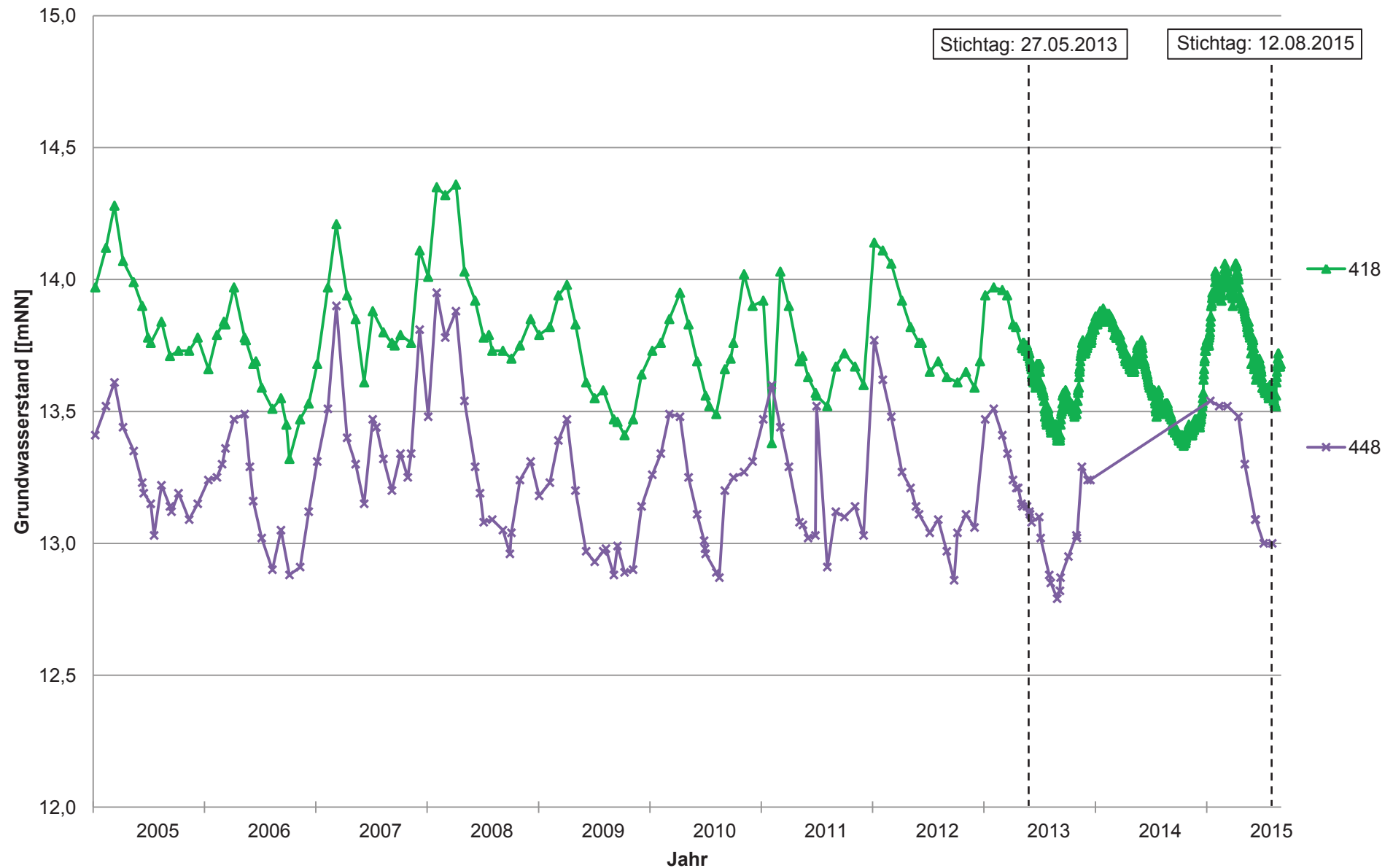
Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen des NLWKN Meppen, unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters



Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen des NLWKN Meppen, unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters



Anlage 9

**Analyseergebnisse von Grundwasserproben
aus Messstellen der Fa. ExxonMobil (2015)**

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen der Fa. ExxonMobil (2015)

Probenbezeichnung			B9 F1 (flach)	B9 F2 (tief)	B10 F1 (flach)	B10 F2 (tief)	B11 F1 (flach)	B11 F2 (tief)	B12 F1 (flach)	B12 F2 (tief)	B13 F1 (flach)	B13 F2 (tief)
Probenmenge			ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l
Probeneingang			12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Parameter	Einheit	GFS										
Temperatur (Probenahme)	°C		11	11	12	12	12	12	13	12	11	11
Leitfähigkeit (Probenahme, 25 °C)	µS/cm		526	194	340	407	390	144	272	197	259	162
pH-Wert (Probenahme)			5,9	6,9	5,7	5,8	5,6	6,4	5,7	6,7	5,7	7,5
Sauerstoff-Gehalt	mg/L		3,0	0,05	0,1	1,9	0,3	2,2	1	2,7	3,1	0,1
Redoxspannung (Probenahme)	mV		320	140	140	140	270	120	280	74	220	7
Färbung			schwach gelb	schwach gelb-grün	farblos	farblos	farblos	schwach gelb	farblos	schwach gelb	schwach gelb	schwach gelb
Trübung (sensorisch)			stark	mittel	ohne	ohne	ohne	mittel	ohne	stark	ohne	mittel
Geruch			schwach faulig	schwach faulig	schwach faulig	schwach faulig	ohne	schwach faulig	ohne	schwach modrig	schwach faulig	schwach faulig
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L		0,82	1,1	0,53	0,36	0,45	0,52	0,52	0,87	0,11	0,88
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/L		0,32	0,19	0,51	0,66	0,59	0,44	0,43	0,34	0,88	0,23
SAK 254 nm	1/m		5,3	6,7	2	1,8	2,4	3,5	0,62	4,3	4,4	1,8
SAK 436 nm	1/m		0,1	4,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,28	<0,1	0,26	<0,1	0,16
Gesamthärte	°dH		8,74	1,88	3,81	4,33	6,17	1,86	3,83	1,98	1,45	2,65
Gesamthärte	mmol/L		1,56	0,34	0,68	0,77	1,1	0,33	0,68	0,35	0,26	0,47
Calcium	mg/L		46	10	21	24	26	9,8	17	10	4,6	16
Magnesium	mg/L		10	2,1	3,8	4,2	11	2,1	6,3	2,5	3,5	1,8
Natrium	mg/L		26	17	24	24	17	8,7	16	15	16	5,6
Kalium	mg/L		8,4	2,3	4,8	3,3	3,5	1,5	3,5	2,2	2,4	1,7
Eisen, ges.	mg/L		2,3	8,5	3,2	13	4,5	4,5	1,4	8,6	14	4,6
Eisen, ges. (gelöst)	mg/L		2,3	8,5	3,2	13	4,5	4,5	1,4	8,6	14	4,6
Eisen (II)	mg/L		0,42	6,8	3	5,3	4,1	4,1	1,2	3,7	6,6	4,2
Mangan	mg/L		0,24	0,05	0,23	0,27	0,12	0,056	0,1	0,19	0,083	0,12
Aluminium	mg/L		0,72	1,2	0,084	0,03	0,26	0,28	0,15	0,72	0,22	0,54
Ammonium	mg/L		0,28	0,38	0,078	0,14	0,2	0,2	<0,025	0,066	0,54	0,26
Nitrit	mg/L		0,77	0,016	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,024	0,013
Nitrit-N	mg/L		0,23	0,0049	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0073	0,004
Nitrat	mg/L		63	<0,5	0,63	<0,5	15	<0,5	<0,5	<0,5	0,99	<0,5
Nitrat-N	mg/L		14	<0,11	0,14	<0,11	3,4	<0,11	<0,11	<0,11	0,22	<0,11
Chlorid	mg/L	250	37	7,6	35	52	41	16	50	9,6	26	14
Sulfat	mg/L	240	73	17	64	69	67	7,9	22	20	51	12
ortho-Phosphat	mg/L		0,39	0,64	<0,1	0,13	0,12	0,26	<0,1	0,81	<0,1	0,36
ortho-Phosphat-P	mg/L		0,13	0,21	<0,033	0,042	0,039	0,085	<0,033	0,26	<0,033	0,12
DOC	mg/L		8,2	4,6	2	1,5	1,3	1,7	<1	5,4	2	<1
AOX	mg/L		0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antimon	mg/L		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsen	mg/L	0,01	0,0024	0,014	0,0041	0,0014	0,0037	0,0083	0,0012	0,0076	0,00096	0,0072
Blei	mg/L	0,007	0,0034	0,0071	<0,001	<0,001	<0,001	0,0012	<0,001	0,0036	<0,001	0,0025
Barium	mg/L	0,34	0,077	0,016	0,06	0,081	0,041	0,023	0,026	0,035	0,046	0,022
Bor	mg/L	0,74	0,042	0,03	<0,01	<0,01	0,032	0,016	<0,01	0,029	0,015	0,012
Cadmium	mg/L	0,0005	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Chrom ges.	mg/L	0,007	0,0037	0,0094	<0,001	<0,001	0,0011	0,0019	<0,001	0,0035	0,0013	0,0035
Cyanid ges.	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fluorid	mg/L	0,75	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Kupfer	mg/L	0,014	0,0076	0,0046	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,0061	0,0019	0,0019
Nickel	mg/L	0,014	0,014	0,0073	0,0043	<0,001	0,02	0,0066	0,017	0,008	0,011	0,0025
Quecksilber	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Selen	mg/L	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadium	mg/L	0,004	0,011	0,022	<0,001	<0,001	0,0025	0,0045	0,0046	0,0075	0,0029	0,0078
Uran	mg/L		0,00064	0,001	<0,0001	<0,0001	0,00012	0,00011	<0,0001	0,00048	0,00027	0,00035
Zink	mg/L	0,058	0,073	0,026	0,031	0,013	0,045	0,021	0,037	0,025	0,032	0,015
Molybdän	mg/L	0,035	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalt	mg/L	0,008	0,0087	0,004	0,0021	<0,001	0,013	0,0043	0,0065	0,0048	0,0057	<0,001
Thallium	mg/L	0,0008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Summe BTEX	µg/L	20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Benzol	µg/L	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Toluol	µg/L		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ethylbenzol	µg/L		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
m-/p-Xylol	µg/L		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
o-Xylol	µg/L		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Summe LHKW	µg/L	20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Dichlormethan	µg/L		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Trichlormethan	µg/L	Σ10	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tetrachlormethan	µg/L		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,2-Dichlorethan	µg/L	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Trichlorethan	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tetrachlorethan	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichlorethan	µg/L		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,2-Dichlorpropan	µg/L		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
cis-1,3-Dichlorpropen	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
trans-1,3-Dichlorpropen	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bromdichlormethan	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dibromchlormethan	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tribrommethan	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen der Fa. ExxonMobil (2015)

Probenbezeichnung			B9 F1 (flach)	B9 F2 (tief)	B10 F1 (flach)	B10 F2 (tief)	B11 F1 (flach)	B11 F2 (tief)	B12 F1 (flach)	B12 F2 (tief)	B13 F1 (flach)	B13 F2 (tief)
Probemenge			ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l	ca. 3,85 l
Probeneingang			12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Parameter	Einheit	GFS										
Summe PAK (EPA)	µg/L	0,2	0,012	n.n.	n.n.	0,016	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	0,012	n.n.
Naphthalin	µg/L		0,012	<0,01	<0,01	0,016	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,012	<0,01
Acenaphthylen	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenaphthen	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoren	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Phenanthren	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Anthracen	µg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	µg/L	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pyren	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benz(a)anthracen	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Chrysen	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(b)fluoranthen	µg/L	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluoranthen	µg/L	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pyren	µg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g,h,i)perlylen	µg/L	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe PCB	µg/L	0,01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PCB 28	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 52	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 101	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 153	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 138	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 180	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Phenolindex	mg/L		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kohlenwasserstoffe	mg/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
AMPA	µg/L	0,1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.
Atrazin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bentazon	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bromacil	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bromoxynil	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Chloridazon	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Chlorpyrifos	µg/L	0,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Chlortoluron	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Desethylatrazin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Desethylerbuthylazin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Desisopropylatrazin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Dicamba	µg/L	0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
2,6-Dichlorbenzamid	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Dichlorprop (2,4-DP)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Diffufencan	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
N,N-Dimethylsulfamid	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Diuron	µg/L	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethidimuron	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethofumesat	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Glyphosat	µg/L	0,1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.
Isoproturon	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
MCPA	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
MCP (Mecoprop)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metamitron	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metaxyl	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metazachlor	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metazachlor OA (BH 479-4)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metazachlor ESA (BH 479-8)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Methabenzthiazuron	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metolachlor	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metolachlor OA (CGA 351916/51202)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metolachlor ESA (CGA 380168/354743)	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metoxuron	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metribuzin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pirimicarb	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Prothioconazol	µg/L	0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Simazin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Terbuthylazin	µg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trifluralin	µg/L	0,1	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Methan	µg/L		<10	104	<10	23	12	298	<10	26	<10	<10
Ethan	µg/L		<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Propan	µg/L		<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Gesamt-a-Aktivitätskonzentration	Bq/L		0,09	0,12	<0,030	<0,032	<0,026	0,038	<0,040	0,16	0,08	0,06
Gesamt-b-Aktivitätskonzentration	Bq/L		0,47	0,39	0,17	0,13	0,13	0,12	0,12	0,9	0,15	0,15

n.n. = nicht nachweisbar

n.b. = nicht bestimmbar

Anlage 10

**Analyseergebnisse von Grundwasserproben
aus Messstellen des NLWKN (2007 bis 2014)**

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	24.04.2007	1,1,1-Trichlorethan	< 1,00E-04	mg/l
218	24.04.2007	1,2-Dichlorpropan	< 0,005	mg/l
218	24.04.2007	Aluminium (Al), gelöst	< 0,05	mg/l
218	24.04.2007	Ammonium (NH ₄)	0,064	mg/l
218	24.04.2007	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	24.04.2007	Basekapazität bis pH 8,2	0,74	mmol/l
218	24.04.2007	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	24.04.2007	Cadmium (Cd)	3,70E-04	mg/l
218	24.04.2007	Calcium (Ca)	32,00	mg/l
218	24.04.2007	Chlorid (Cl)	34,00	mg/l
218	24.04.2007	Chrom (Cr), gesamt	0,004	mg/l
218	24.04.2007	cis-1,3-Dichlorpropen	< 2,00E-03	mg/l
218	24.04.2007	Dichlormethan	< 5,00E-03	mg/l
218	24.04.2007	DOC	< 1,00	mg/l
218	24.04.2007	Eisen (Fe), gesamt	0,20	mg/l
218	24.04.2007	Kalium (K)	6,00	mg/l
218	24.04.2007	Kupfer (Cu), gesamt	1,20E-03	mg/l
218	24.04.2007	Magnesium (Mg)	22,00	mg/l
218	24.04.2007	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	24.04.2007	Natrium (Na)	27,00	mg/l
218	24.04.2007	Nickel (Ni)	0,043	mg/l
218	24.04.2007	Nitrat (NO ₃)	92,97	mg/l
218	24.04.2007	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	24.04.2007	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	24.04.2007	pH-Wert	5,00	ohne
218	24.04.2007	Quecksilber (Hg), gesamt	< 3E-05	mg/l
218	24.04.2007	Sauerstoff, gelöst	7,00	mg/l
218	24.04.2007	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	24.04.2007	Sulfat (SO ₄)	80,00	mg/l
218	24.04.2007	Tetrachlorethen	< 2,00E-04	mg/l
218	24.04.2007	Tetrachlormethan	1,00E-04	mg/l
218	24.04.2007	trans-1,3-Dichlorpropen	< 5,00E-03	mg/l
218	24.04.2007	Trichlorethen	< 2,00E-04	mg/l
218	24.04.2007	Trichlormethan (Chloroform)	< 3,00E-04	mg/l
218	24.04.2007	Wassertemperatur	10,80	°C
218	24.04.2007	Zink (Zn)	0,064	mg/l
218	20.09.2007	Aluminium (Al), gelöst	< 0,05	mg/l
218	20.09.2007	Ammonium (NH ₄)	0,090	mg/l
218	20.09.2007	Basekapazität bis pH 8,2	0,36	mmol/l
218	20.09.2007	Calcium (Ca)	32,00	mg/l
218	20.09.2007	Chlorid (Cl)	33,00	mg/l
218	20.09.2007	DOC	1,10	mg/l
218	20.09.2007	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l
218	20.09.2007	Kalium (K)	3,30	mg/l
218	20.09.2007	Magnesium (Mg)	14,00	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	20.09.2007	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	20.09.2007	Natrium (Na)	21,00	mg/l
218	20.09.2007	Nitrat (NO3)	84,11	mg/l
218	20.09.2007	Nitrit (NO2)	< 0,033	mg/l
218	20.09.2007	Phosphat (PO4), ortho-	< 0,061	mg/l
218	20.09.2007	pH-Wert	5,80	ohne
218	20.09.2007	Sauerstoff, gelöst	8,50	mg/l
218	20.09.2007	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	20.09.2007	Sulfat (SO4)	76,00	mg/l
218	20.09.2007	Wassertemperatur	11,20	°C
218	03.03.2008	1,1,1-Trichlorethan	< 1,00E-04	mg/l
218	03.03.2008	1,2-Dichlorpropan	< 0,005	mg/l
218	03.03.2008	Aluminium (Al), gelöst	0,067	mg/l
218	03.03.2008	Ammonium (NH4)	< 0,064	mg/l
218	03.03.2008	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	Basekapazität bis pH 8,2	0,56	mmol/l
218	03.03.2008	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	Cadmium (Cd)	7,50E-04	mg/l
218	03.03.2008	Calcium (Ca)	37,00	mg/l
218	03.03.2008	Chlorid (Cl)	33,00	mg/l
218	03.03.2008	Chrom (Cr), gesamt	3,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	cis-1,3-Dichlorpropen	< 2,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	Dichlormethan	< 5,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	DOC	10,00	mg/l
218	03.03.2008	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l
218	03.03.2008	Kalium (K)	3,40	mg/l
218	03.03.2008	Kupfer (Cu), gesamt	< 1,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	Magnesium (Mg)	16,00	mg/l
218	03.03.2008	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	03.03.2008	Natrium (Na)	20,00	mg/l
218	03.03.2008	Nickel (Ni)	0,038	mg/l
218	03.03.2008	Nitrat (NO3)	92,97	mg/l
218	03.03.2008	Nitrit (NO2)	< 0,033	mg/l
218	03.03.2008	Phosphat (PO4), ortho-	< 0,061	mg/l
218	03.03.2008	pH-Wert	5,10	ohne
218	03.03.2008	Quecksilber (Hg), gesamt	< 3,00E-05	mg/l
218	03.03.2008	Sauerstoff, gelöst	5,40	mg/l
218	03.03.2008	Säurekapazität bis pH 4,3	0,09	mmol/l
218	03.03.2008	Sulfat (SO4)	79,00	mg/l
218	03.03.2008	Tetrachlorethen	< 2,00E-04	mg/l
218	03.03.2008	Tetrachlormethan	< 1,00E-04	mg/l
218	03.03.2008	trans-1,3-Dichlorpropen	< 5,00E-03	mg/l
218	03.03.2008	Trichlorethen	< 2,00E-04	mg/l
218	03.03.2008	Trichlormethan (Chloroform)	< 3,00E-04	mg/l
218	03.03.2008	Wassertemperatur	10,20	°C

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	03.03.2008	Zink (Zn)	0,065	mg/l
218	27.10.2008	2,4-DB	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	2,4-Dichlorphenoxyessigsäure	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	2,6-Dichlorbenzamid	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Alachlor	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Aldicarb-Sulfon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Aldrin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Aluminium (Al), gelöst	0,063	mg/l
218	27.10.2008	Amitrol	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Ammonium (NH ₄)	0,064	mg/l
218	27.10.2008	AMPA	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Atrazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Basekapazität bis pH 8,2	0,84	mmol/l
218	27.10.2008	Bentazon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	beta-HCH	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Bromacil	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Bromophos-ethyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Bromoxynil	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Calcium (Ca)	34,00	mg/l
218	27.10.2008	Carbofuran	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Carfentrazon-ethyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Chlorfenvinphos	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Chlorid (Cl)	30,00	mg/l
218	27.10.2008	Chloridazon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Chlorpyrifos-ethyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Chlorpyrifos-methyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Chlortoluron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	cis-Chlordan	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Clodinafop-propargylester	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Clomazone	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Clopyralid	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Demeton-S-methyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Desethylatrazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Desethylterbutylazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Desisopropylatrazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Diazinon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dicamba	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dichlobenil	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dichlorprop	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dichlorvos	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Diflufenican	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dimethachlor	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dimethenamid	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Dimethoat	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Disulfoton	< 7,00E-05	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	27.10.2008	Diuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	DOC	< 1,00	mg/l
218	27.10.2008	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l
218	27.10.2008	Epoxiconazol	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Ethidimuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Etrimphos	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Fenoxaprop-ethyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Fenpropidin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Fenpropimorph	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Fenthion	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Fenuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Flufenacet	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Flumioxazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Fluroxypyr	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Flurtamone	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Foramsulfuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Glyphosat	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Hexachlorbutadien	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Hexachlorcyclohexan (delta-)	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Hexazinon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Ioxynil	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Isodrin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Isoproturon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Isoxaflutole	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Kalium (K)	3,10	mg/l
218	27.10.2008	Magnesium (Mg)	14,00	mg/l
218	27.10.2008	Mangan (Mn), gesamt	0,05	mg/l
218	27.10.2008	MCPA	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Mecoprop (MCP)	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Mefenpyr-diethyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Mesosulfuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Mesotrione	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metamitron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metazachlor	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Methabenzthiazuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Methamidophos	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metobromuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metolachlor	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metoxuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metribuzin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Metsulfuron-methyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Mevinphos	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Natrium (Na)	20,00	mg/l
218	27.10.2008	Nicosulfuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Nitrat (NO3)	79,69	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	27.10.2008	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	27.10.2008	Pendimethalin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Pentachlorphenol	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Pethoxamid	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	27.10.2008	pH-Wert	5,20	ohne
218	27.10.2008	Picolinafen	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Pirimicarb	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Prometryn	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Propanil	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Propazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Propyzamid	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Prothioconazol	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Pyraclostrobin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Quinmerac	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Quinoxifen	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Rimsulfuron	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Sauerstoff, gelöst	6,10	mg/l
218	27.10.2008	Säurekapazität bis pH 4,3	0,11	mmol/l
218	27.10.2008	Sebutylazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Simazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Spiroxamine	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Sulcotrion	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Sulfat (SO ₄)	77,00	mg/l
218	27.10.2008	Tebuconazol	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Terbutylazin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Topramezone	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	trans-Chlordan	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Tribenuron-methyl	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Trichlorfon	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Triclopyr	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Trifluralin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Vinclozolin	< 7,00E-05	mg/l
218	27.10.2008	Wassertemperatur	10,80	°C
218	26.01.2009	Aluminium (Al), gelöst	< 0,05	mg/l
218	26.01.2009	Ammonium (NH ₄)	< 0,064	mg/l
218	26.01.2009	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	26.01.2009	Basekapazität bis pH 8,2	0,79	mmol/l
218	26.01.2009	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	26.01.2009	Cadmium (Cd)	5,90E-04	mg/l
218	26.01.2009	Calcium (Ca)	32,00	mg/l
218	26.01.2009	Chlorid (Cl)	29,00	mg/l
218	26.01.2009	Chrom (Cr), gesamt	3,40E-03	mg/l
218	26.01.2009	DOC	< 1,00	mg/l
218	26.01.2009	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	26.01.2009	Kalium (K)	3,10	mg/l
218	26.01.2009	Kupfer (Cu), gesamt	1,20E-03	mg/l
218	26.01.2009	Magnesium (Mg)	13,00	mg/l
218	26.01.2009	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	26.01.2009	Natrium (Na)	19,00	mg/l
218	26.01.2009	Nickel (Ni)	0,046	mg/l
218	26.01.2009	Nitrat (NO3)	84,11	mg/l
218	26.01.2009	Nitrit (NO2)	< 0,033	mg/l
218	26.01.2009	Phosphat (PO4), ortho-	< 0,061	mg/l
218	26.01.2009	pH-Wert	5,00	ohne
218	26.01.2009	Quecksilber (Hg), gesamt	< 3,00E-05	mg/l
218	26.01.2009	Sauerstoff, gelöst	5,10	mg/l
218	26.01.2009	Säurekapazität bis pH 4,3	0,08	mmol/l
218	26.01.2009	Sulfat (SO4)	72,00	mg/l
218	26.01.2009	Wassertemperatur	10,1	°C
218	26.01.2009	Zink (Zn)	0,06	mg/l
218	26.11.2009	Aluminium (Al), gelöst	< 0,05	mg/l
218	26.11.2009	Ammonium (NH4)	0,064	mg/l
218	26.11.2009	Basekapazität bis pH 8,2	0,58	mmol/l
218	26.11.2009	Calcium (Ca)	34,00	mg/l
218	26.11.2009	Chlorid (Cl)	39,00	mg/l
218	26.11.2009	DOC	< 1,00	mg/l
218	26.11.2009	Kalium (K)	3,30	mg/l
218	26.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	450	µS/cm
218	26.11.2009	Magnesium (Mg)	15,00	mg/l
218	26.11.2009	Mangan (Mn), gelöst	< 0,05	mg/l
218	26.11.2009	Natrium (Na)	19,00	mg/l
218	26.11.2009	Nitrat (NO3)	88,54	mg/l
218	26.11.2009	Nitrit (NO2)	< 0,033	mg/l
218	26.11.2009	Phosphat (PO4), ortho-	0,061	mg/l
218	26.11.2009	pH-Wert	5,10	ohne
218	26.11.2009	Sauerstoff, gelöst	5,80	mg/l
218	26.11.2009	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	26.11.2009	Sulfat (SO4)	85,00	mg/l
218	26.11.2009	Wassertemperatur	10,30	°C
218	18.05.2010	Aluminium (Al), gesamt	0,04	mg/l
218	18.05.2010	Ammonium (NH4)	< 0,026	mg/l
218	18.05.2010	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	18.05.2010	Basekapazität bis pH 8,2	0,64	mmol/l
218	18.05.2010	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	18.05.2010	Cadmium (Cd)	1,10E-03	mg/l
218	18.05.2010	Calcium (Ca)	37,00	mg/l
218	18.05.2010	Chlorid (Cl)	31,00	mg/l
218	18.05.2010	Chrom (Cr), gesamt	0,0031	mg/l
218	18.05.2010	DOC	< 1,00	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	18.05.2010	Eisen (Fe), gelöst	0,044	mg/l
218	18.05.2010	Kalium (K)	3,40	mg/l
218	18.05.2010	Kupfer (Cu), gesamt	< 1,00E-03	mg/l
218	18.05.2010	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	450	µS/cm
218	18.05.2010	Magnesium (Mg)	15,00	mg/l
218	18.05.2010	Mangan (Mn), gesamt	0,037	mg/l
218	18.05.2010	Natrium (Na)	17,00	mg/l
218	18.05.2010	Nickel (Ni)	0,042	mg/l
218	18.05.2010	Nitrat (NO3)	97,39	mg/l
218	18.05.2010	Nitrit (NO2)	< 9,86E-03	mg/l
218	18.05.2010	Phosphat (PO4), gesamt	0,10	mg/l
218	18.05.2010	pH-Wert	6,00	ohne
218	18.05.2010	Quecksilber (Hg), gesamt	< 2,00E-04	mg/l
218	18.05.2010	Sauerstoff, gelöst	6,10	mg/l
218	18.05.2010	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	18.05.2010	Sulfat (SO4)	64,00	mg/l
218	18.05.2010	Wassertemperatur	11,20	°C
218	18.05.2010	Zink (Zn)	0,20	mg/l
218	28.10.2010	Aluminium (Al), gelöst	0,047	mg/l
218	28.10.2010	Ammonium (NH4)	< 0,064	mg/l
218	28.10.2010	Basekapazität bis pH 8,2	0,67	mmol/l
218	28.10.2010	Calcium (Ca)	39,00	mg/l
218	28.10.2010	Chlorid (Cl)	33,00	mg/l
218	28.10.2010	DOC	< 1,00	mg/l
218	28.10.2010	Eisen (Fe), gelöst	< 0,20	mg/l
218	28.10.2010	Kalium (K)	3,40	mg/l
218	28.10.2010	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	450	µS/cm
218	28.10.2010	Magnesium (Mg), gelöst	15,00	mg/l
218	28.10.2010	Mangan (Mn), gelöst	< 0,05	mg/l
218	28.10.2010	Natrium (Na)	18,00	mg/l
218	28.10.2010	Nitrat (NO3)	97,39	mg/l
218	28.10.2010	Nitrit (NO2)	< 0,033	mg/l
218	28.10.2010	Phosphat (PO4), ortho-	0,092	mg/l
218	28.10.2010	pH-Wert	5,10	ohne
218	28.10.2010	Sauerstoff, gelöst	6,30	mg/l
218	28.10.2010	Säurekapazität bis pH 4,3	0,11	mmol/l
218	28.10.2010	Sulfat (SO4)	70,00	mg/l
218	28.10.2010	TOC	< 1,00	mg/l
218	28.10.2010	Wassertemperatur	10,40	°C
218	10.05.2011	Aluminium (Al), gelöst	0,038	mg/l
218	10.05.2011	Ammonium (NH4)	0,090	mg/l
218	10.05.2011	Basekapazität bis pH 8,2	0,82	mmol/l
218	10.05.2011	Calcium (Ca)	39,00	mg/l
218	10.05.2011	Chlorid (Cl)	31,00	mg/l
218	10.05.2011	DOC	< 1,00	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	10.05.2011	Eisen (Fe), gelöst	< 0,20	mg/l
218	10.05.2011	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	14,00	mg/l
218	10.05.2011	Kalium (K)	3,40	mg/l
218	10.05.2011	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	569	µS/cm
218	10.05.2011	Magnesium (Mg)	15,00	mg/l
218	10.05.2011	Mangan (Mn), gelöst	< 0,05	mg/l
218	10.05.2011	Natrium (Na)	18,00	mg/l
218	10.05.2011	Nitrat (NO ₃)	106,25	mg/l
218	10.05.2011	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	10.05.2011	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	10.05.2011	pH-Wert	5,20	ohne
218	10.05.2011	Sauerstoff, gelöst	5,50	mg/l
218	10.05.2011	Säurekapazität bis pH 4,3	0,23	mmol/l
218	10.05.2011	Sulfat (SO ₄)	62,00	mg/l
218	10.05.2011	Wassertemperatur	10,80	°C
218	06.09.2011	Aluminium (Al), gelöst	0,051	mg/l
218	06.09.2011	Ammonium (NH ₄)	0,077	mg/l
218	06.09.2011	AOX	< 0,01	mg/l
218	06.09.2011	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	06.09.2011	Basekapazität bis pH 8,2	0,63	mmol/l
218	06.09.2011	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	06.09.2011	Bor (B), gesamt	< 0,05	mg/l
218	06.09.2011	Cadmium (Cd)	7,80E-04	mg/l
218	06.09.2011	Calcium (Ca)	40,00	mg/l
218	06.09.2011	Chlorid (Cl)	33,00	mg/l
218	06.09.2011	Chrom (Cr), gelöst	2,50E-03	mg/l
218	06.09.2011	Cyanid, vereinfachte Methode	< 0,01	mg/l
218	06.09.2011	DOC	< 1,00	mg/l
218	06.09.2011	Eisen (Fe), gelöst	< 0,20	mg/l
218	06.09.2011	Fluorid (F), gesamt	< 0,10	mg/l
218	06.09.2011	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	6,10	mg/l
218	06.09.2011	Kalium (K)	3,30	mg/l
218	06.09.2011	Kupfer (Cu), gelöst	< 1,00E-03	mg/l
218	06.09.2011	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	472	µS/cm
218	06.09.2011	Magnesium (Mg)	16	mg/l
218	06.09.2011	Mangan (Mn), gelöst	< 0,05	mg/l
218	06.09.2011	Natrium (Na)	17	mg/l
218	06.09.2011	Nickel (Ni)	0,051	mg/l
218	06.09.2011	Nitrat (NO ₃)	101,38	mg/l
218	06.09.2011	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	06.09.2011	Phenol-Index	< 0,01	mg/l
218	06.09.2011	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	06.09.2011	pH-Wert	5,10	ohne
218	06.09.2011	SAK 254 nm, UV-Absorption	1,50	1/m
218	06.09.2011	SAK 436 nm, Färbung	< 0,10	1/m

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	06.09.2011	Sauerstoff, gelöst	7,50	mg/l
218	06.09.2011	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	06.09.2011	Silicium (Si), gesamt	0,47	mg/l
218	06.09.2011	Sulfat (SO ₄)	66,00	mg/l
218	06.09.2011	Wassertemperatur	10,60	°C
218	06.09.2011	Zink (Zn), gelöst	0,065	mg/l
218	12.03.2012	1,1,1-Trichlorethan	< 2,00E-05	mg/l
218	12.03.2012	1,2-Dichlorpropan	< 1,50E-03	mg/l
218	12.03.2012	Aluminium (Al), gelöst	0,034	mg/l
218	12.03.2012	Aluminium (Al), gesamt	0,034	mg/l
218	12.03.2012	Ammonium (NH ₄)	< 0,064	mg/l
218	12.03.2012	AOX	< 0,01	mg/l
218	12.03.2012	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	12.03.2012	Basekapazität bis pH 8,2	0,32	mmol/l
218	12.03.2012	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	12.03.2012	Bor (B), gesamt	< 0,05	mg/l
218	12.03.2012	Cadmium (Cd)	7,90E-04	mg/l
218	12.03.2012	Calcium (Ca)	41,00	mg/l
218	12.03.2012	Chlorid (Cl)	31,00	mg/l
218	12.03.2012	Chrom (Cr), gelöst	2,60E-03	mg/l
218	12.03.2012	Chrom (Cr), gesamt	2,60E-03	mg/l
218	12.03.2012	cis-1,3-Dichlorpropen	< 5,00E-04	mg/l
218	12.03.2012	Cyanid, vereinfachte Methode	< 0,01	mg/l
218	12.03.2012	Dichlormethan	< 5,00E-03	mg/l
218	12.03.2012	DOC	< 1,00	mg/l
218	12.03.2012	Eisen (Fe), gelöst	< 0,20	mg/l
218	12.03.2012	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l
218	12.03.2012	Fluorid (F), gelöst	< 0,10	mg/l
218	12.03.2012	Fluorid (F), gesamt	< 0,10	mg/l
218	12.03.2012	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	6,10	mg/l
218	12.03.2012	Kalium (K)	3,40	mg/l
218	12.03.2012	Kieselsäure (SiO ₂)	1,50	mg/l
218	12.03.2012	Kupfer (Cu), gelöst	< 1,00E-03	mg/l
218	12.03.2012	Kupfer (Cu), gesamt	< 1,00E-03	mg/l
218	12.03.2012	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	458	µS/cm
218	12.03.2012	Magnesium (Mg)	18,00	mg/l
218	12.03.2012	Mangan (Mn), gelöst	< 0,05	mg/l
218	12.03.2012	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	12.03.2012	Natrium (Na)	19,00	mg/l
218	12.03.2012	Nickel (Ni)	0,046	mg/l
218	12.03.2012	Nitrat (NO ₃)	100,49	mg/l
218	12.03.2012	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	12.03.2012	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	12.03.2012	pH-Wert	5,00	ohne
218	12.03.2012	Quecksilber (Hg), gesamt	< 3,00E-05	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	12.03.2012	SAK 254 nm, UV-Absorption	1,50	1/m
218	12.03.2012	SAK 436 nm, Färbung	< 0,10	1/m
218	12.03.2012	Sauerstoff, gelöst	7,00	mg/l
218	12.03.2012	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	12.03.2012	Silicium (Si), gesamt	0,70	mg/l
218	12.03.2012	Sulfat (SO ₄)	62,00	mg/l
218	12.03.2012	Tetrachlorethen	< 2,00E-05	mg/l
218	12.03.2012	Tetrachlormethan	< 1,00E-05	mg/l
218	12.03.2012	Thallium	< 1,00E-04	mg/l
218	12.03.2012	trans-1,3-Dichlorpropen	< 5,00E-04	mg/l
218	12.03.2012	Trichlorethen	< 2,00E-05	mg/l
218	12.03.2012	Trichlormethan (Chloroform)	< 5,00E-05	mg/l
218	12.03.2012	Uran (U), gelöst	< 5,00E-05	mg/l
218	12.03.2012	Wassertemperatur	10,5	°C
218	12.03.2012	Zink (Zn)	0,067	mg/l
218	12.03.2012	Zink (Zn), gelöst	0,067	mg/l
218	30.10.2012	2,4-DB	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	2,4-Dichlorphenoxyessigsäure	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	2,6-Dichlorbenzamid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Alachlor	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Aldicarb-Sulfon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Aldrin	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Aluminium (Al), gesamt	0,033	mg/l
218	30.10.2012	Amitrol	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Ammonium (NH ₄)	0,090	mg/l
218	30.10.2012	AMPA	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Atrazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Basekapazität bis pH 8,2	1,19	mmol/l
218	30.10.2012	Bentazon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	beta-HCH	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Bromacil	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Bromophos-ethyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Bromoxynil	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Calcium (Ca)	39,00	mg/l
218	30.10.2012	Carbofuran	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Carfentrazon-ethyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlorfenvinphos	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlorid (Cl)	32,00	mg/l
218	30.10.2012	Chloridazon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlorpyrifos-ethyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlorpyrifos-methyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlorthalonil	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlorthalonil (Met: R 417888/M12)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Chlortoluron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	cis-Chlordan	< 1,00E-05	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	30.10.2012	Clodinafop-propargylester	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Clomazone	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Clopyralid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Demeton-S-methyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Desethylatrazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Desethylterbutylazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Desisopropylatrazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Desphenylchloridazon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Diazinon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dicamba	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dichlobenil	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dichlorprop	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dichlorvos	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Diflufenican	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethachlor	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethachlor (Met: CGA 354742)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethachlor (Met: CGA 369873)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethachlor (Met: CGA 50266)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethenamid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethenamid-P (Met: M27)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dimethoat	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Dinoseb	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Disulfoton	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Diuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	DOC	< 1,00	mg/l
218	30.10.2012	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l
218	30.10.2012	Epoxiconazol	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Ethidimuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Etriphos	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Fenoxaprop-ethyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Fenpropidin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Fenpropimorph	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Fenthion	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Fenuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Flufenacet	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Flufenacet (Met: M2)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Flumioxazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Fluroxypyr	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Flurtamone	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Foramsulfuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Glyphosat	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Hexachlorbutadien	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Hexachlorcyclohexan (delta-)	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Hexazinon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	3,05	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	30.10.2012	Ioxynil	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Isodrin	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Isoproturon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Isoxaflutole	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Kalium (K)	3,30	mg/l
218	30.10.2012	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	462	µS/cm
218	30.10.2012	Magnesium (Mg)	16,00	mg/l
218	30.10.2012	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	30.10.2012	MCPA	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Mecoprop (MCP)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Mefenpyr-diethyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Mesosulfuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Mesotrione	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metalaxyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metalaxyl-M (Met: CGA 108906)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metalaxyl-M (Met: CGA 62826)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metamitron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metazachlor	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metazachlor-Carbonsäure (Met: BH)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metazachlorsäure-1-carbonsäure (M)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metazachlor-Sulfonsäure (Met: BH)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Methabenzthiazuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Methamidophos	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Methyl-desphenyl-Chloridazon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metobromuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metolachlor	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metoxuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metribuzin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Metsulfuron-methyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Mevinphos	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	N,N-Dimethylsulfamid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Napropamid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Natrium (Na)	16,00	mg/l
218	30.10.2012	Nicosulfuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Nitrat (NO ₃)	104,48	mg/l
218	30.10.2012	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	30.10.2012	Oxadixyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Pendimethalin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Pentachlorphenol	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Pethoxamid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	30.10.2012	pH-Wert	4,90	ohne
218	30.10.2012	Picolinafen	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Pirimicarb	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Prometryn	< 3,00E-05	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	30.10.2012	Propanil	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Propazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Propyzamid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Prothioconazol	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Pyraclostrobin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Quinmerac	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Quinoxifen	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Razemat aus PZ 416 und PZ 440	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Razemat aus PZ 417 und PZ 450	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Rimsulfuron	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Sauerstoff, gelöst	6,50	mg/l
218	30.10.2012	Säurekapazität bis pH 4,3	< 0,10	mmol/l
218	30.10.2012	Sebutylazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Simazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	S-Metolachlor (Met: CGA 357704)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	S-Metolachlor (Met: CGA 368208)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	S-Metolachlor (Met: NOA 413173)	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Spiroxamine	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Sulcotrion	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Sulfat (SO ₄)	68,00	mg/l
218	30.10.2012	Tebuconazol	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Terbutylazin	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Tolyfluanid	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Topramezone	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	trans-Chlordan	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Tribenuron-methyl	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Trichlorfon	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Triclopyr	< 3,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Trifluralin	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Vinclozolin	< 1,00E-05	mg/l
218	30.10.2012	Wassertemperatur	10,5	°C
218	11.03.2013	Aluminium (Al), gesamt	0,049	mg/l
218	11.03.2013	Ammonium (NH ₄)	< 0,064	mg/l
218	11.03.2013	AOX	0,019	mg/l
218	11.03.2013	Arsen (As)	< 1,00E-03	mg/l
218	11.03.2013	Basekapazität bis pH 8,2	1,19	mmol/l
218	11.03.2013	Blei (Pb)	< 1,00E-03	mg/l
218	11.03.2013	Bor (B), gesamt	< 0,05	mg/l
218	11.03.2013	Cadmium (Cd)	8,90E-04	mg/l
218	11.03.2013	Calcium (Ca)	40,00	mg/l
218	11.03.2013	Chlorid (Cl)	29,00	mg/l
218	11.03.2013	Chrom (Cr), gesamt	2,70E-03	mg/l
218	11.03.2013	Cyanid, vereinfachte Methode	< 0,01	mg/l
218	11.03.2013	DOC	5,20	mg/l
218	11.03.2013	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	11.03.2013	Fluorid (F), gesamt	< 0,10	mg/l
218	11.03.2013	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	6,71	mg/l
218	11.03.2013	Kalium (K)	3,40	mg/l
218	11.03.2013	Kupfer (Cu), gesamt	< 1,00E-03	mg/l
218	11.03.2013	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	453	µS/cm
218	11.03.2013	Magnesium (Mg)	16,00	mg/l
218	11.03.2013	Mangan (Mn), gesamt	< 0,05	mg/l
218	11.03.2013	Natrium (Na)	16,00	mg/l
218	11.03.2013	Nickel (Ni)	0,049	mg/l
218	11.03.2013	Nitrat (NO ₃)	102,26	mg/l
218	11.03.2013	Nitrit (NO ₂)	< 0,03285	mg/l
218	11.03.2013	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,06132	mg/l
218	11.03.2013	pH-Wert	5,00	ohne
218	11.03.2013	Quecksilber (Hg), gesamt	< 2,00E-05	mg/l
218	11.03.2013	SAK 254 nm, UV-Absorption	1,90	1/m
218	11.03.2013	SAK 436 nm, Färbung	< 0,10	1/m
218	11.03.2013	Sauerstoff, gelöst	6,90	mg/l
218	11.03.2013	Säurekapazität bis pH 4,3	0,11	mmol/l
218	11.03.2013	Silicium (Si), gesamt	0,51	mg/l
218	11.03.2013	Sulfat (SO ₄)	61,00	mg/l
218	11.03.2013	Wassertemperatur	10,40	°C
218	11.03.2013	Zink (Zn)	0,065	mg/l
218	12.11.2013	Aluminium (Al), gesamt	0,031	mg/l
218	12.11.2013	Ammonium (NH ₄)	0,077	mg/l
218	12.11.2013	Basekapazität bis pH 8,2	1,27	mmol/l
218	12.11.2013	Calcium (Ca)	39,00	mg/l
218	12.11.2013	Chlorid (Cl)	29,00	mg/l
218	12.11.2013	DOC	< 1,00	mg/l
218	12.11.2013	Eisen (Fe), gesamt	< 0,20	mg/l
218	12.11.2013	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	6,71	mg/l
218	12.11.2013	Kalium (K)	3,30	mg/l
218	12.11.2013	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	443	µS/cm
218	12.11.2013	Magnesium (Mg)	15,00	mg/l
218	12.11.2013	Mangan (Mn), gesamt	0,06	mg/l
218	12.11.2013	Natrium (Na)	15,00	mg/l
218	12.11.2013	Nitrat (NO ₃)	100,49	mg/l
218	12.11.2013	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	12.11.2013	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	12.11.2013	pH-Wert	4,90	ohne
218	12.11.2013	Sauerstoff, gelöst	6,40	mg/l
218	12.11.2013	Säurekapazität bis pH 4,3	0,11	mmol/l
218	12.11.2013	Sulfat (SO ₄)	66,00	mg/l
218	12.11.2013	Wassertemperatur	10,60	°C
218	11.03.2014	Aluminium (Al), gelöst	0,11	mg/l
218	11.03.2014	Ammonium (NH ₄)	0,064	mg/l

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
218	11.03.2014	Basekapazität bis pH 8,2	1,27	mmol/l
218	11.03.2014	Calcium (Ca)	39,00	mg/l
218	11.03.2014	Chlorid (Cl)	28,00	mg/l
218	11.03.2014	DOC	< 1,00	mg/l
218	11.03.2014	Eisen (Fe), gelöst	< 0,20	mg/l
218	11.03.2014	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	6,10	mg/l
218	11.03.2014	Kalium (K)	3,30	mg/l
218	11.03.2014	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	440	µS/cm
218	11.03.2014	Magnesium (Mg)	16,00	mg/l
218	11.03.2014	Mangan (Mn), gelöst	< 0,05	mg/l
218	11.03.2014	Natrium (Na)	16,00	mg/l
218	11.03.2014	Nitrat (NO ₃)	103,59	mg/l
218	11.03.2014	Nitrit (NO ₂)	< 0,033	mg/l
218	11.03.2014	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,061	mg/l
218	11.03.2014	pH-Wert	5,00	ohne
218	11.03.2014	Sauerstoff, gelöst	6,70	mg/l
218	11.03.2014	Säurekapazität bis pH 4,3	0,10	mmol/l
218	11.03.2014	Sulfat (SO ₄)	61,00	mg/l
218	11.03.2014	Wassertemperatur	10,40	°C

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
423	16.11.2009	Aluminium (Al), gelöst	0,08	mg/l
423	16.11.2009	Ammonium (NH ₄)	0,08	mg/l
423	16.11.2009	Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	0,06	mg/l
423	16.11.2009	Basekapazität bis pH 8,2	1,20	mmol/l
423	16.11.2009	Cadmium (Cd)	< 1,00E-04	mg/l
423	16.11.2009	Calcium (Ca)	9,30	mg/l
423	16.11.2009	Chlorid (Cl)	20,00	mg/l
423	16.11.2009	DOC	0,52	mg/l
423	16.11.2009	Eisen (Fe), gelöst	0,56	mg/l
423	16.11.2009	Kalium (K)	1,70	mg/l
423	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 20°C	126	µS/cm
423	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	141	µS/cm
423	16.11.2009	Magnesium (Mg)	2,00	mg/l
423	16.11.2009	Mangan (Mn), gesamt	0,09	mg/l
423	16.11.2009	Natrium (Na)	9,90	mg/l
423	16.11.2009	Nitrat (NO ₃)	< 0,20	mg/l
423	16.11.2009	Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	< 0,05	mg/l
423	16.11.2009	Nitrit (NO ₂)	< 0,02	mg/l
423	16.11.2009	Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	< 6,00E-03	mg/l
423	16.11.2009	Phosphat (PO ₄), ortho-	0,11	mg/l
423	16.11.2009	Phosphor (P), gesamt	0,04	mg/l
423	16.11.2009	pH-Wert	5,45	ohne
423	16.11.2009	Sauerstoff, gelöst	0,29	mg/l
423	16.11.2009	Säurekapazität bis pH 4,3	0,28	mmol/l
423	16.11.2009	Sulfat (SO ₄)	16,00	mg/l
423	16.11.2009	Wassertemperatur	10,5	°C

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
424	16.11.2009	Aluminium (Al), gelöst	0,09	mg/l
424	16.11.2009	Ammonium (NH ₄)	0,07	mg/l
424	16.11.2009	Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	0,05	mg/l
424	16.11.2009	Basekapazität bis pH 8,2	0,54	mmol/l
424	16.11.2009	Cadmium (Cd)	< 1,00E-04	mg/l
424	16.11.2009	Calcium (Ca)	3,10	mg/l
424	16.11.2009	Chlorid (Cl)	7,10	mg/l
424	16.11.2009	DOC	< 0,50	mg/l
424	16.11.2009	Eisen (Fe), gelöst	0,02	mg/l
424	16.11.2009	Kalium (K)	0,66	mg/l
424	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 20°C	66,00	µS/cm
424	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	74,00	µS/cm
424	16.11.2009	Magnesium (Mg)	< 0,50	mg/l
424	16.11.2009	Mangan (Mn), gesamt	0,03	mg/l
424	16.11.2009	Natrium (Na)	6,50	mg/l
424	16.11.2009	Nitrat (NO ₃)	< 0,20	mg/l
424	16.11.2009	Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	< 0,05	mg/l
424	16.11.2009	Nitrit (NO ₂)	< 0,02	mg/l
424	16.11.2009	Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	< 6,00E-03	mg/l
424	16.11.2009	Phosphat (PO ₄), ortho-	0,19	mg/l
424	16.11.2009	Phosphor (P), gesamt	0,06	mg/l
424	16.11.2009	pH-Wert	5,97	ohne
424	16.11.2009	Sauerstoff, gelöst	3,30	mg/l
424	16.11.2009	Säurekapazität bis pH 4,3	0,31	mmol/l
424	16.11.2009	Sulfat (SO ₄)	6,70	mg/l
424	16.11.2009	Wassertemperatur	10,5	°C

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
425	16.11.2009	Aluminium (Al), gelöst	< 0,04	mg/l
425	16.11.2009	Ammonium (NH ₄)	< 0,06	mg/l
425	16.11.2009	Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	< 0,05	mg/l
425	16.11.2009	Basekapazität bis pH 8,2	1,34	mmol/l
425	16.11.2009	Cadmium (Cd)	8,00E-04	mg/l
425	16.11.2009	Calcium (Ca)	27,00	mg/l
425	16.11.2009	Chlorid (Cl)	38,00	mg/l
425	16.11.2009	DOC	2,20	mg/l
425	16.11.2009	Eisen (Fe), gelöst	0,17	mg/l
425	16.11.2009	Kalium (K)	6,80	mg/l
425	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 20°C	388	µS/cm
425	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	433	µS/cm
425	16.11.2009	Magnesium (Mg)	18,00	mg/l
425	16.11.2009	Mangan (Mn), gesamt	0,11	mg/l
425	16.11.2009	Natrium (Na)	23,00	mg/l
425	16.11.2009	Nitrat (NO ₃)	32,00	mg/l
425	16.11.2009	Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	7,20	mg/l
425	16.11.2009	Nitrit (NO ₂)	< 0,02	mg/l
425	16.11.2009	Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	< 6,00E-03	mg/l
425	16.11.2009	Phosphat (PO ₄), ortho-	< 0,07	mg/l
425	16.11.2009	Phosphor (P), gesamt	< 0,02	mg/l
425	16.11.2009	pH-Wert	5,80	ohne
425	16.11.2009	Sauerstoff, gelöst	0,37	mg/l
425	16.11.2009	Säurekapazität bis pH 4,3	0,48	mmol/l
425	16.11.2009	Sulfat (SO ₄)	88,00	mg/l
425	16.11.2009	Wassertemperatur	10,20	°C

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Analyseergebnisse von Grundwasserproben aus Messstellen des NLWKN (2007 - 2014)

Messstelle	Datum	Parameter	Messwert	Einheit
426	16.11.2009	Aluminium (Al), gelöst	0,07	mg/l
426	16.11.2009	Ammonium (NH ₄)	< 0,06	mg/l
426	16.11.2009	Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	< 0,05	mg/l
426	16.11.2009	Basekapazität bis pH 8,2	0,64	mmol/l
426	16.11.2009	Cadmium (Cd)	< 1,00E-04	mg/l
426	16.11.2009	Calcium (Ca)	8,50	mg/l
426	16.11.2009	Chlorid (Cl)	13,00	mg/l
426	16.11.2009	DOC	0,59	mg/l
426	16.11.2009	Eisen (Fe), gelöst	0,23	mg/l
426	16.11.2009	Kalium (K)	0,94	mg/l
426	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 20°C	112	µS/cm
426	16.11.2009	Leitfähigkeit, elektr. bei 25°C	124	µS/cm
426	16.11.2009	Magnesium (Mg)	2,30	mg/l
426	16.11.2009	Mangan (Mn), gesamt	0,21	mg/l
426	16.11.2009	Natrium (Na)	8,60	mg/l
426	16.11.2009	Nitrat (NO ₃)	3,70	mg/l
426	16.11.2009	Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	0,84	mg/l
426	16.11.2009	Nitrit (NO ₂)	0,02	mg/l
426	16.11.2009	Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	6,00E-03	mg/l
426	16.11.2009	Phosphat (PO ₄), ortho-	0,22	mg/l
426	16.11.2009	Phosphor (P), gesamt	0,17	mg/l
426	16.11.2009	pH-Wert	5,20	ohne
426	16.11.2009	Sauerstoff, gelöst	0,35	mg/l
426	16.11.2009	Säurekapazität bis pH 4,3	0,24	mmol/l
426	16.11.2009	Sulfat (SO ₄)	19,00	mg/l
426	16.11.2009	Wassertemperatur	10,5	°C

Anlage 11

Technische Daten der Grundwassermessstellen

Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Technische Daten der Grundwassermessstellen

Bezeichnung	Synonym	Rechtswert (UTM)	Hochwert (UTM)	GOK [mNN]	Messpunkthöhe [mNN]	Oberkante Filter [m u. GOK]	Unterkante Filter [m u. GOK]	Baujahr
-------------	---------	---------------------	-------------------	--------------	------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------

Grundwassermessstellen der ExxonMobil

B9F1	Neubauern-B9F1	32392932	5844270		23,78	13,00	17,00	2015
B9F2	Neubauern-B9F2	32392936	5844268		23,70	34,00	38,00	2015
B10F1	Neubauern-B10F1	32392626	5843198		22,75	19,00	23,00	2015
B10F2	Neubauern-B10F2	32392627	5843194		22,79	31,00	35,00	2015
B11F1	Apeldorn-B11F1	32391504	5844599		22,99	22,00	26,00	2015
B11F2	Apeldorn-B11F2	32391509	5844603		22,97	32,00	36,00	2015
B12F1	Bokeloherfeld-B12F1	32390504	5843546		18,88	13,00	17,00	2015
B12F2	Bokeloherfeld-B12F2	32390507	5843544		18,92	53,00	57,00	2015
B13F1	Apeldorn-B13F1	32393440	5845271		25,81	50,00	54,00	2015
B13F2	Apeldorn-B13F2	32393445	5845275		25,82	18,00	24,00	2015

Grundwassermessstellen des NLWKN, Betriebsstelle Meppen

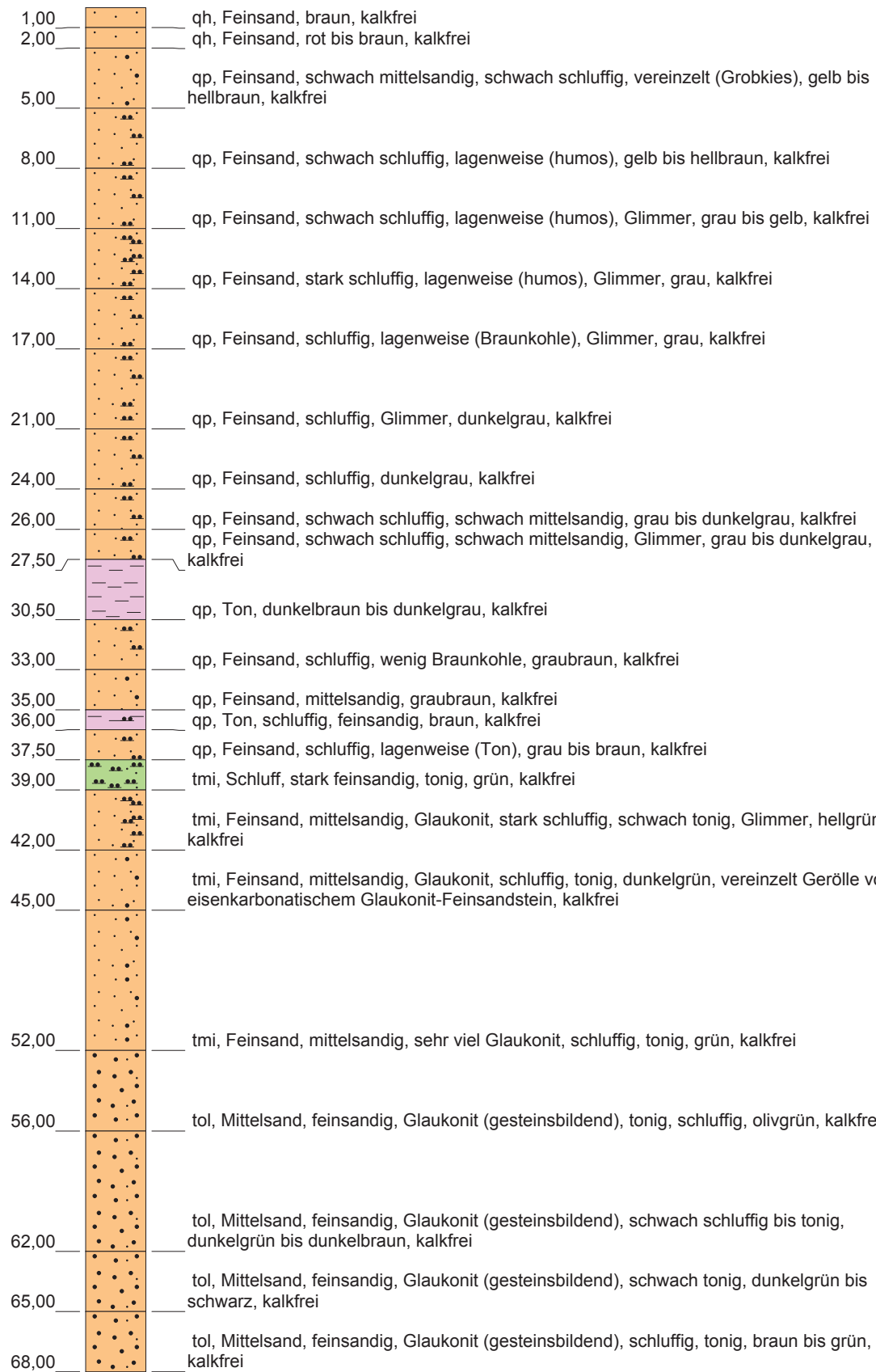
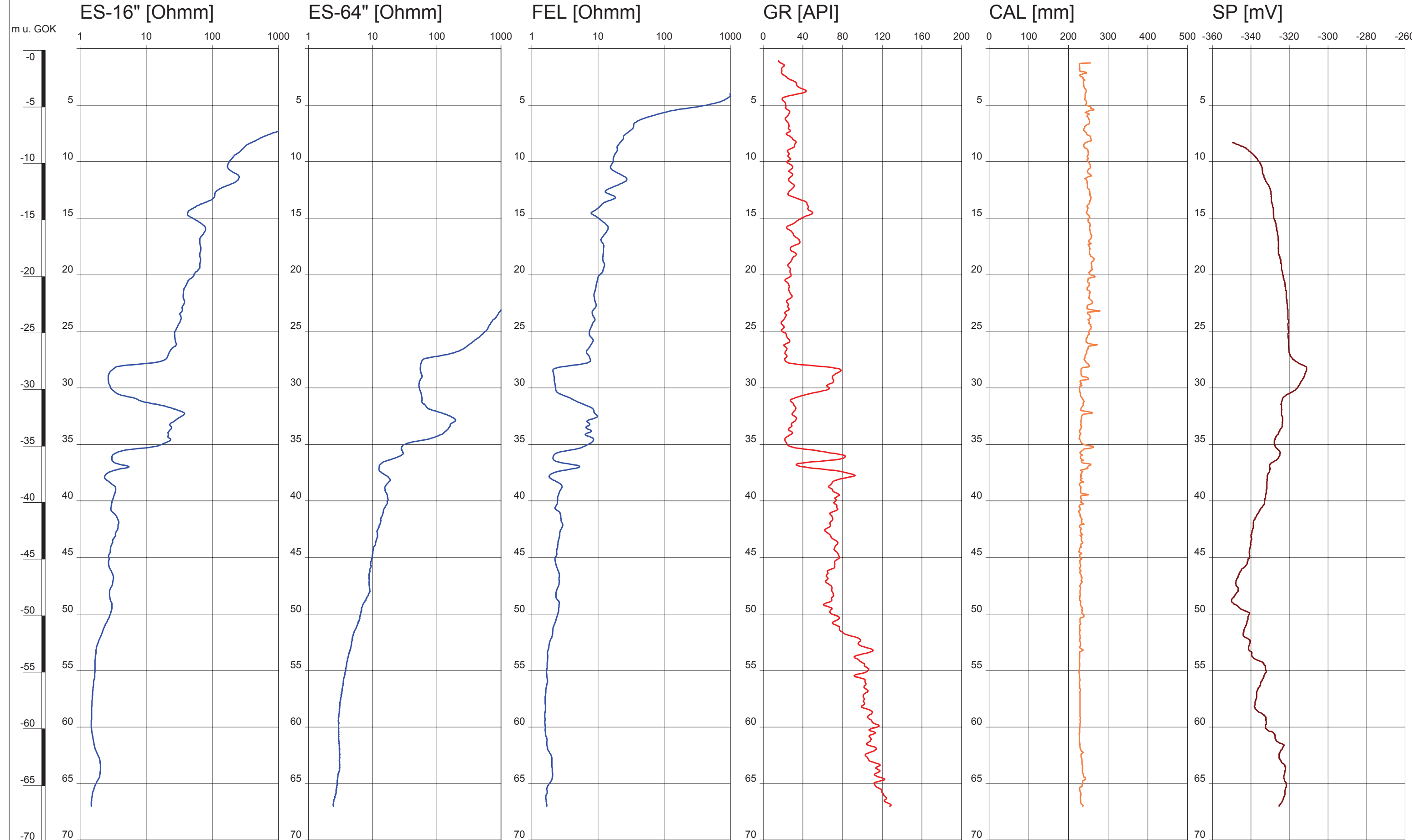
214	Klein Berßen I	32394633	5846924	25,60	25,57	21,29	23,29	1973
215	Klein Berßen II	32394634	5846925	25,60	25,54	56,29	57,29	1973
216	Klein Berßen-Südmoor I	32396965	5845969	23,94	24,73	24,46	26,46	1973
217	Klein Berßen-Südmoor II	32396967	5845972	23,93	24,74	50,42	51,42	1973
218	Klein Berßen-Loherfeld I	32395461	5843601	20,87	20,75	19,12	21,12	1973
219	Klein Berßen-Loherfeld II	32395462	5843602	20,87	20,74	44,08	45,08	1973
220	Panzerstraße I	32388419	5844407	17,00	17,89	21,08	22,08	1976
221	Panzerstraße II	32388418	5844405	16,94	17,89	46,10	47,10	1976
417	Vormeppen I	32386701	5841502	16,94	17,85	16,01	17,01	1976
418	Vormeppen II	32386702	5841503	16,94	17,84	45,95	46,95	1976
419	Gut Sandheim I	32391178	5845641	24,25	24,15	22,10	23,10	1973
420	Gut Sandheim II	32391179	5845642	24,25	24,19	48,06	49,06	1973
421	Hohes Feld I	32391032	5843001	22,10	22,00	24,10	25,10	1973
422	Hohes Feld II	32391033	5843002	22,10	22,04	64,06	65,06	1973
423	Karlswald I	32393268	5844421	25,16	25,06	26,10	28,10	1973
424	Karlswald II	32393269	5844422	25,16	25,06	41,10	42,10	1973
425	Lohe I	32393085	5841680	25,32	26,09	25,10	26,10	1973
426	Lohe II	32393086	5841681	25,32	26,07	67,09	68,09	1973
427	Hülsen Haidort I	32395914	5840892	21,40	21,39	27,11	28,11	1976
428	Hülsen Haidort II	32395913	5840893	21,40	21,45	54,09	55,09	1976
447	Helte I	32388411	5837927	14,29	15,10	9,05	10,05	1977
448	Helte II	32388411	5837928	14,29	14,23	40,00	41,00	1977

Anlage 12

Bohrungsdokumentation für die Grundwassermessstellen B9 bis B13

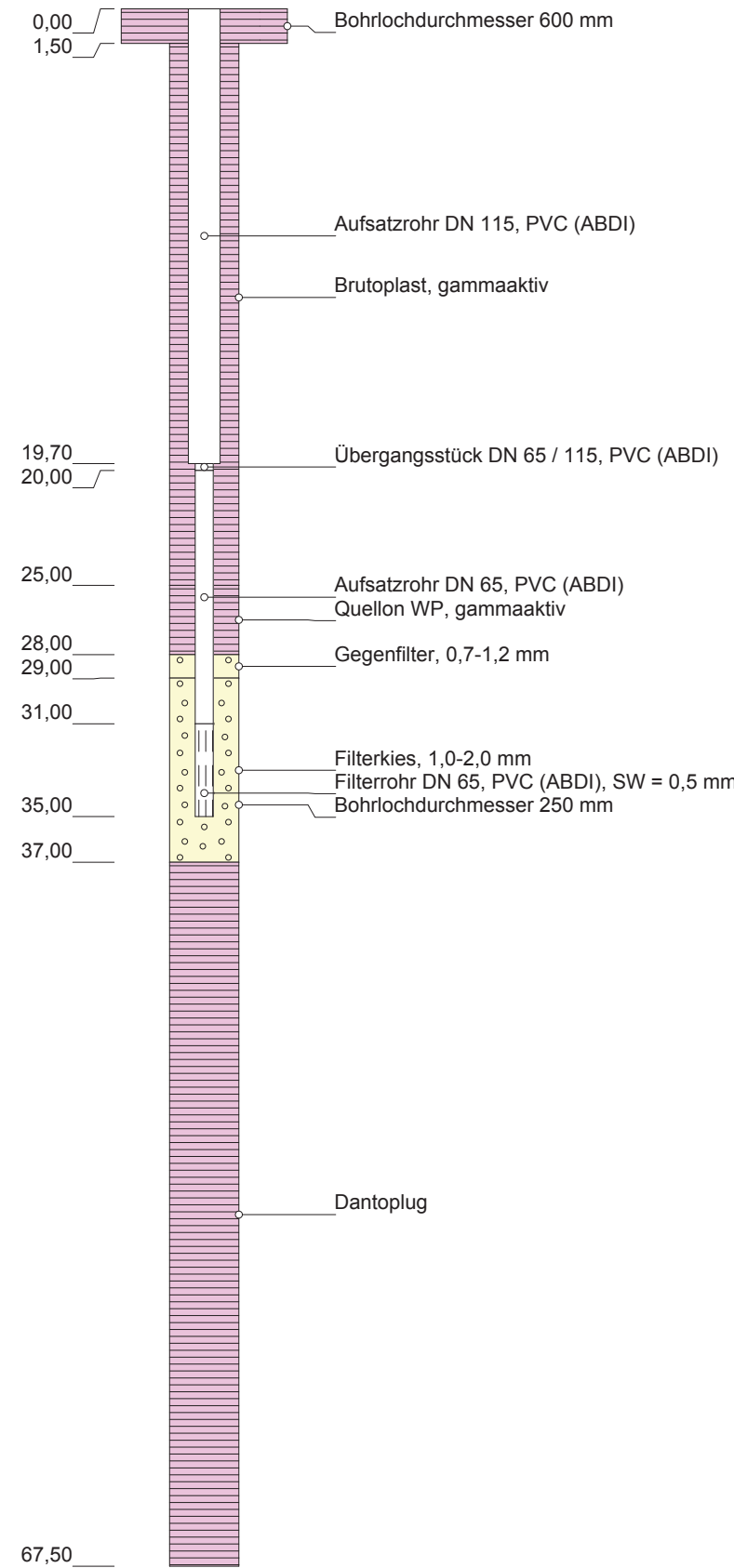
Neubauern-B10

Bohrprofil



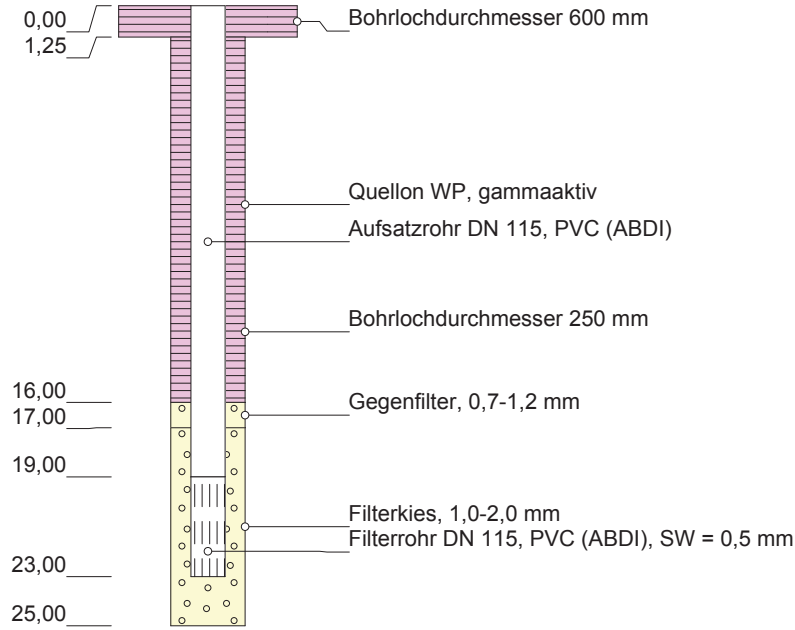
Ausbau B10F2

E 32392626,68 N 5843193,54
+ 22,79 mNN



Ausbau B10F1

E 32392626,32 N 5843198,40
+ 22,75 mNN



Legende:



Stratigraphie:

qh Quartär, Holozän
qp Quartär, Pleistozän
tmi Tertiär, Miozän
tol Tertiär, Oligozän

Endteufe erreicht am 07.07.2015

Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 14-23862.2 Verzeichnis: R:\2014_Proj\14-23862\CAD

Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

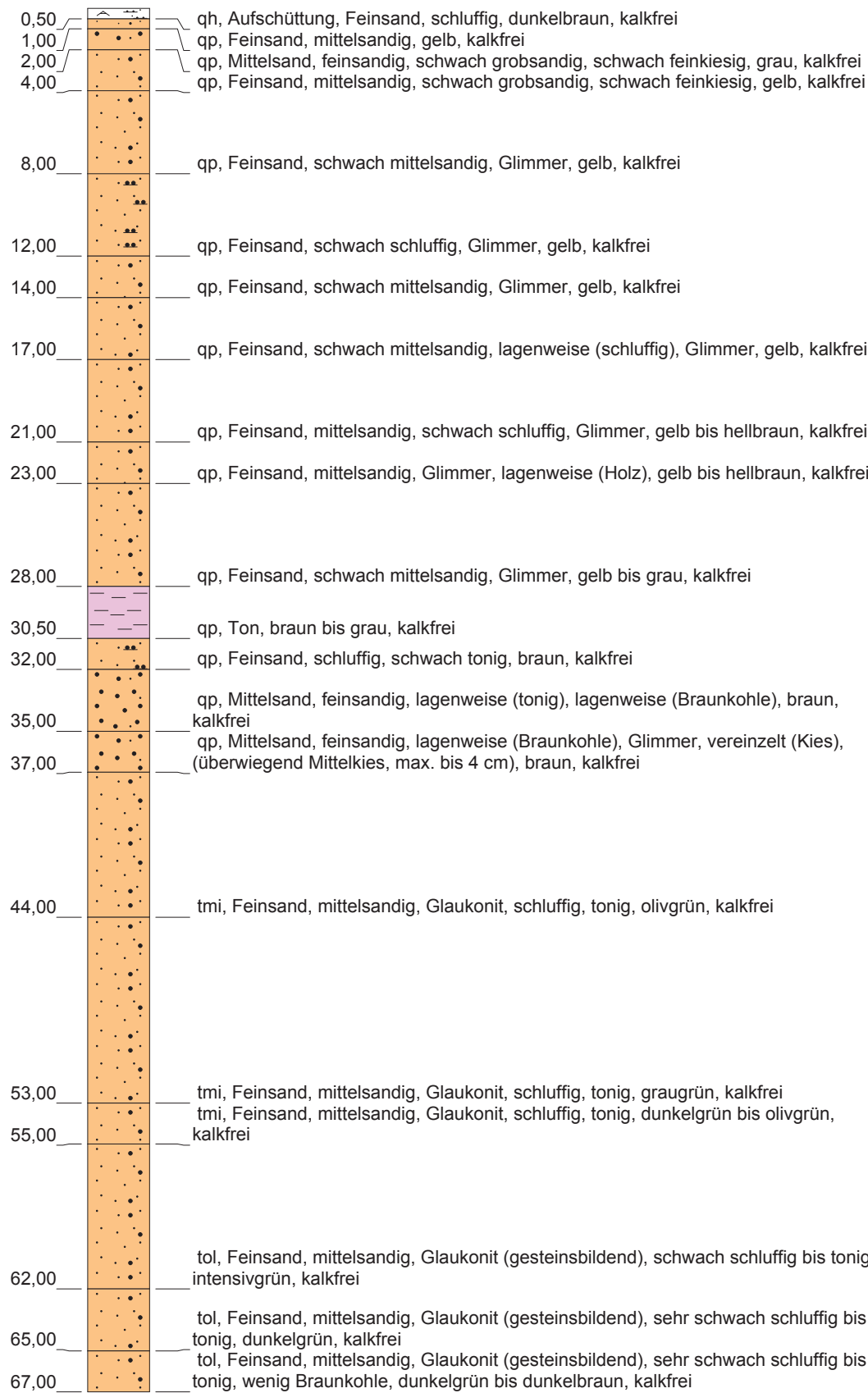
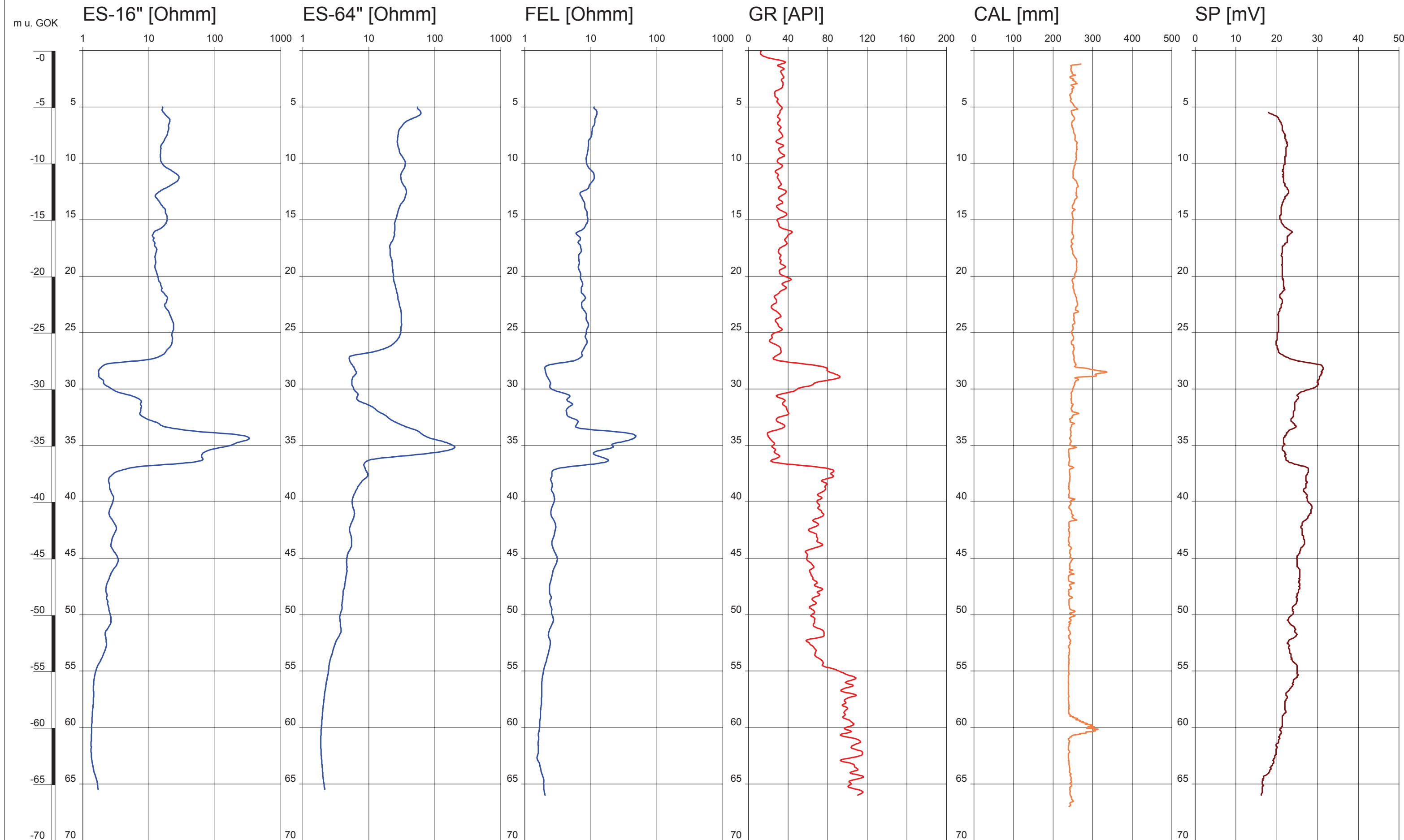
Projekt: Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn

Bearbeiter: CH
Zeichner: CH
Anlage: 12.2
Datum: 22.07.2015
Maßstab: 1 : 300

Darstellung: Bohrprofil, Bohrlochgeophysik und Ausbau der Messstellenbohrung Neubauern-B10

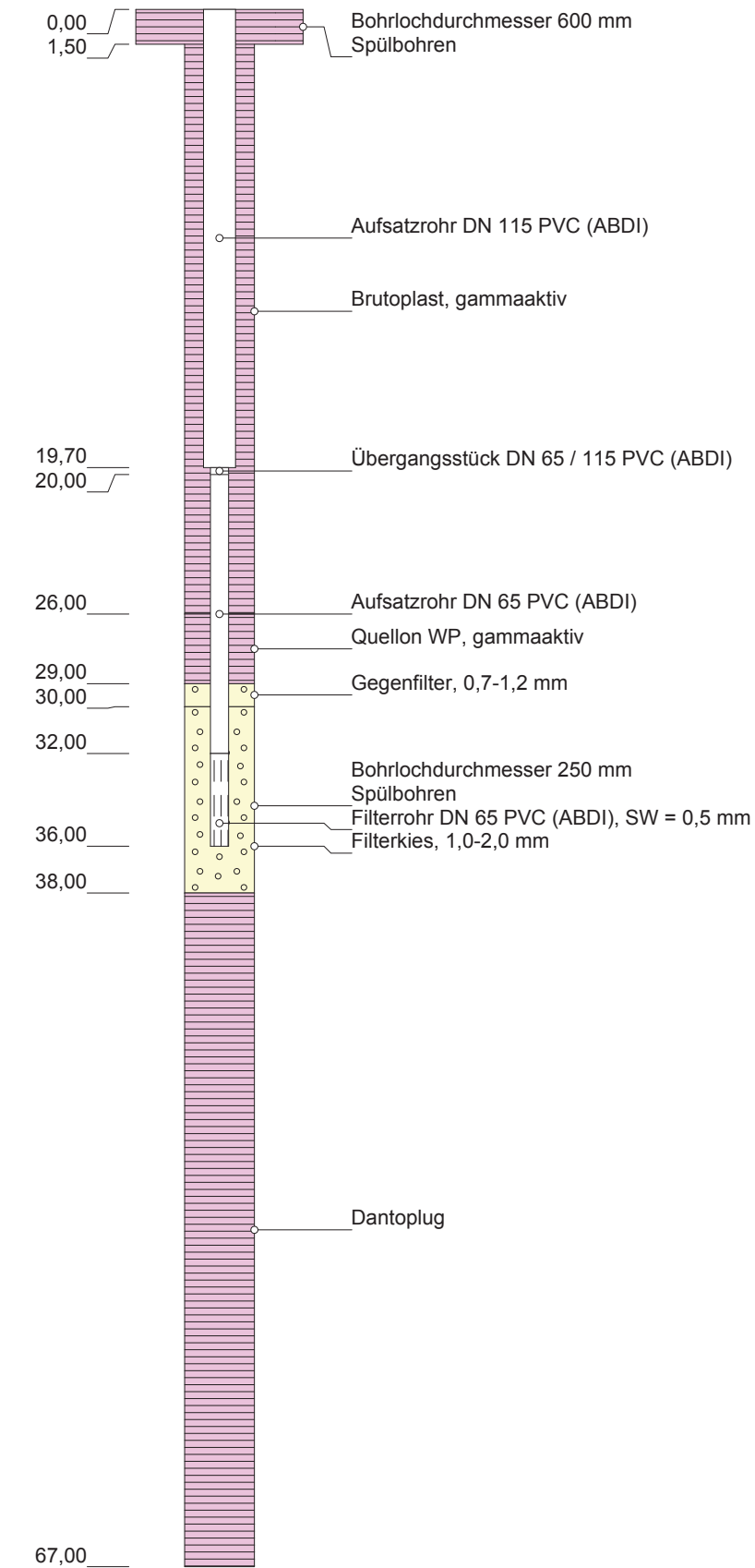
Apeldorn-B11

Bohrprofil



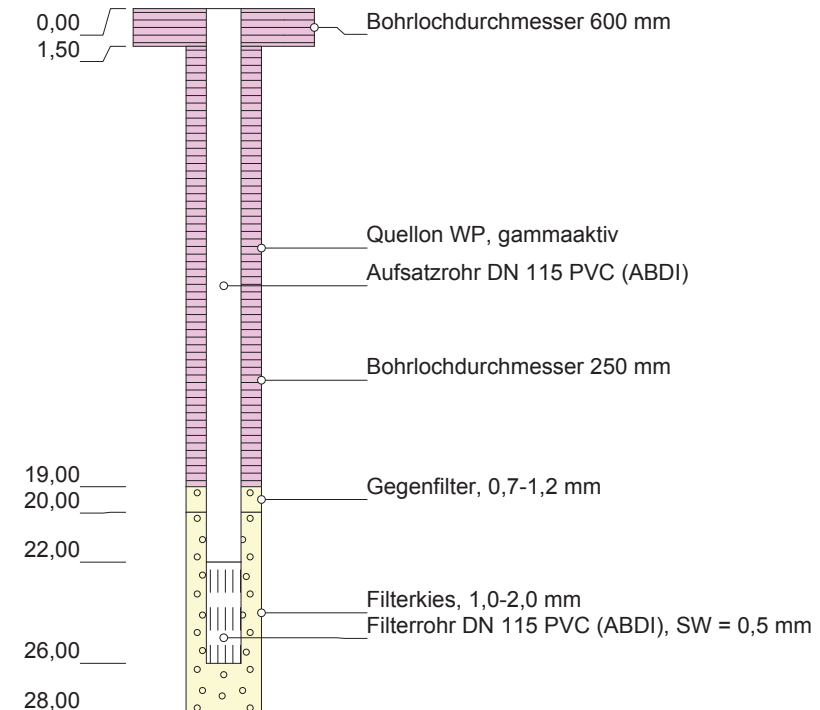
Ausbau B11F2

E 32391508,86 N 5844602,74
+ 22,97 mNN

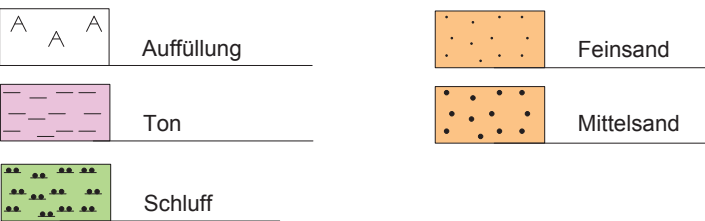


Ausbau B11F1

E 32391504,36 N 5844599,29
+ 22,99 mNN



Legende:



Stratigraphie:

qh Quartär, Holozän
qp Quartär, Pleistozän
tmi Tertiär, Miozän
tol Tertiär, Oligozän

Endteufe erreicht am 14.07.2015

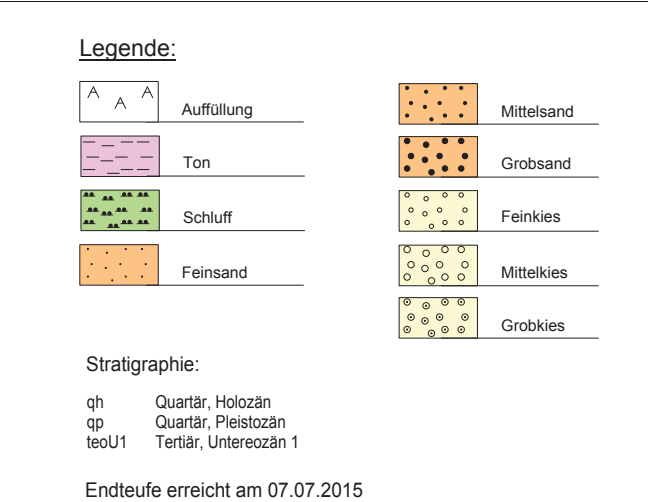
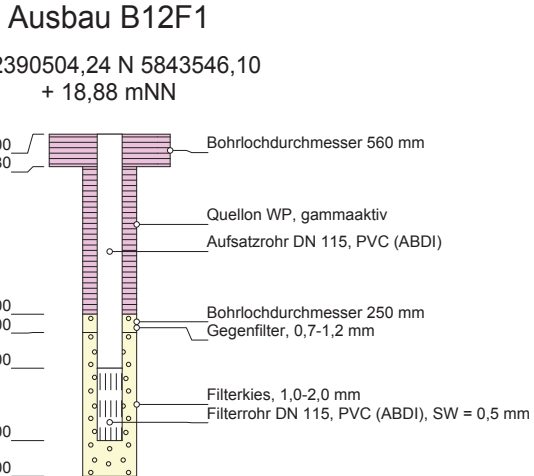
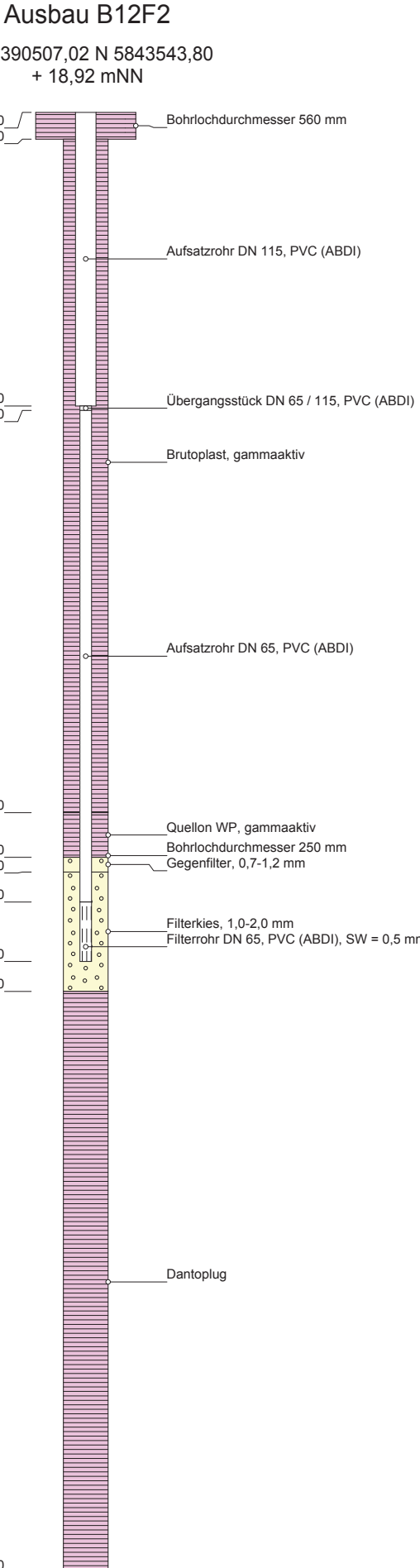
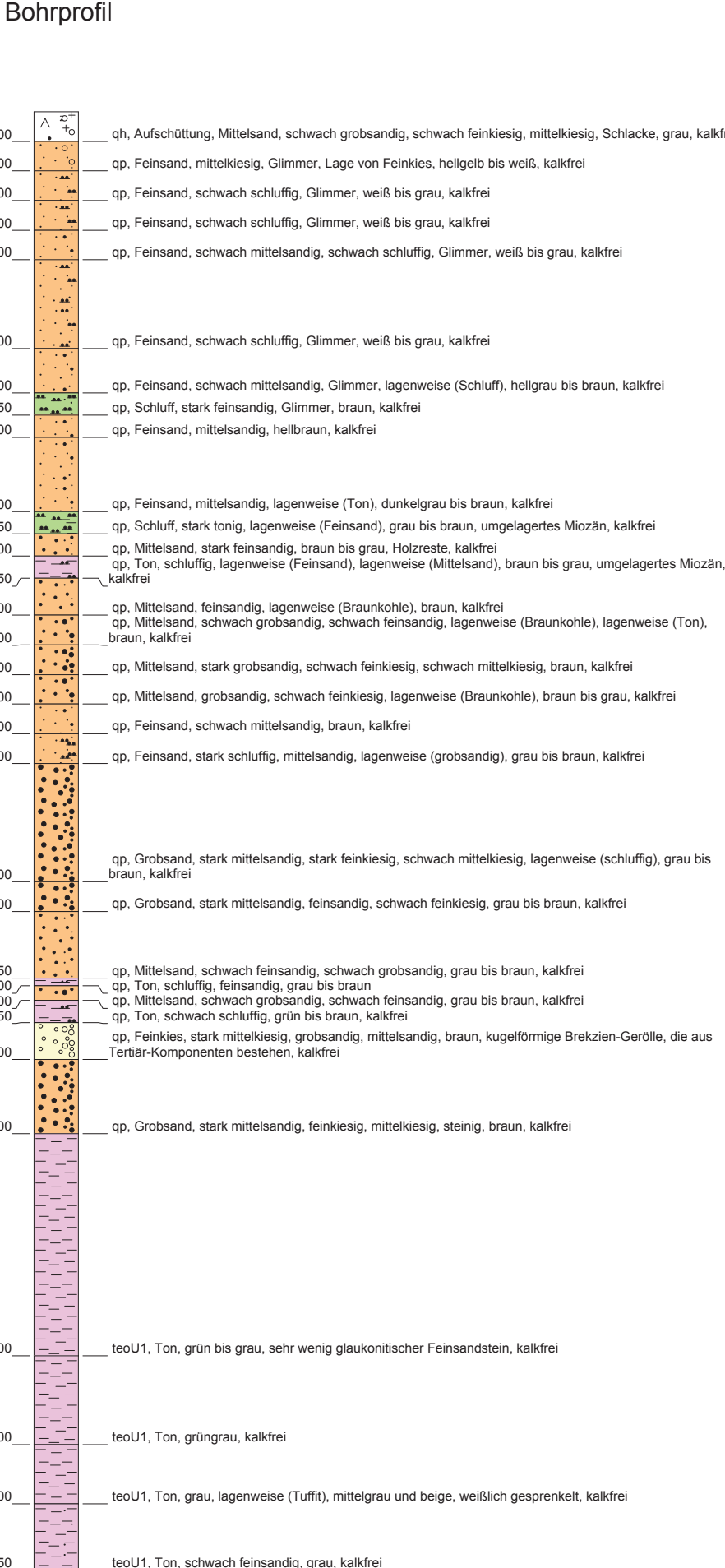
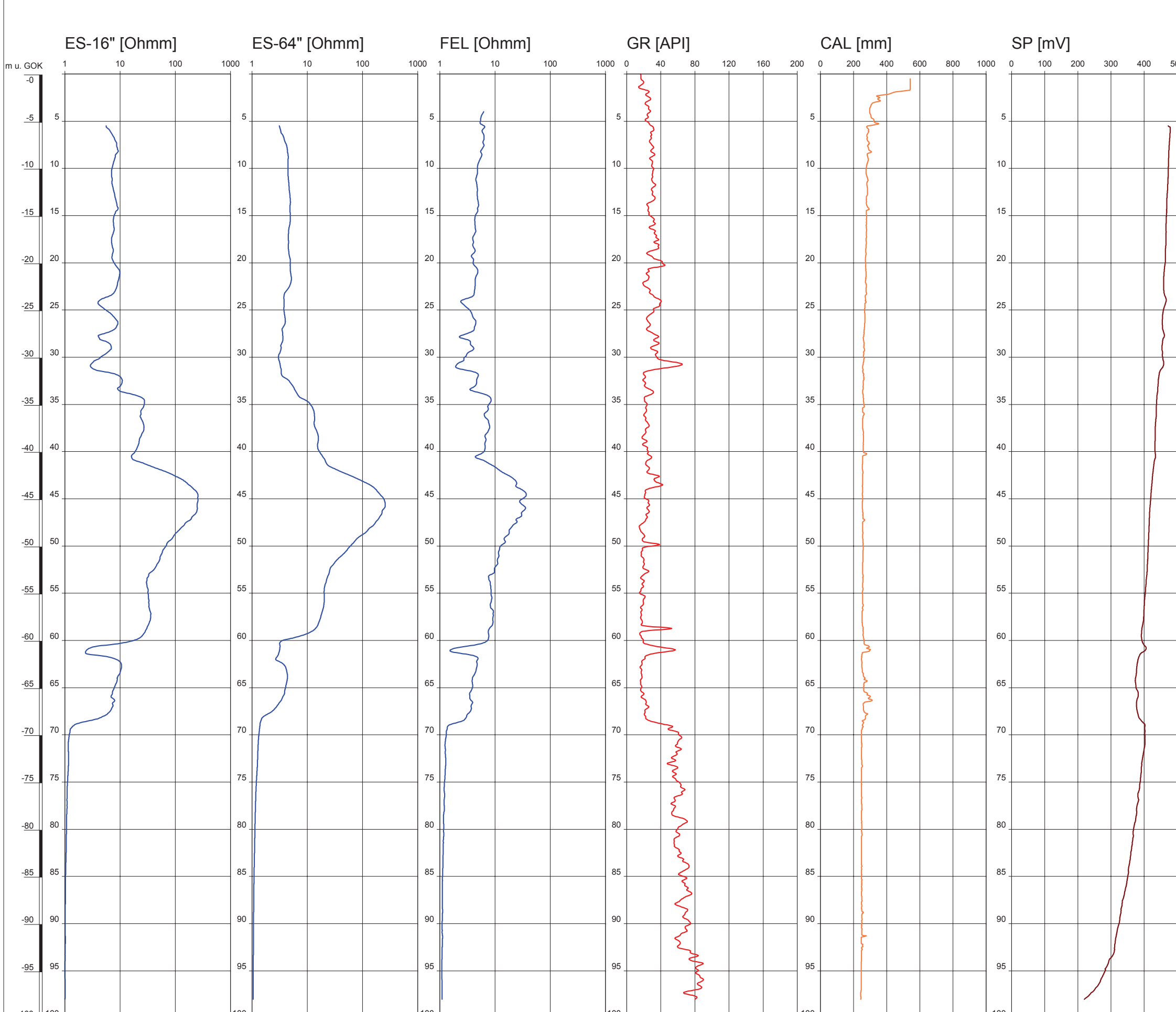


Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

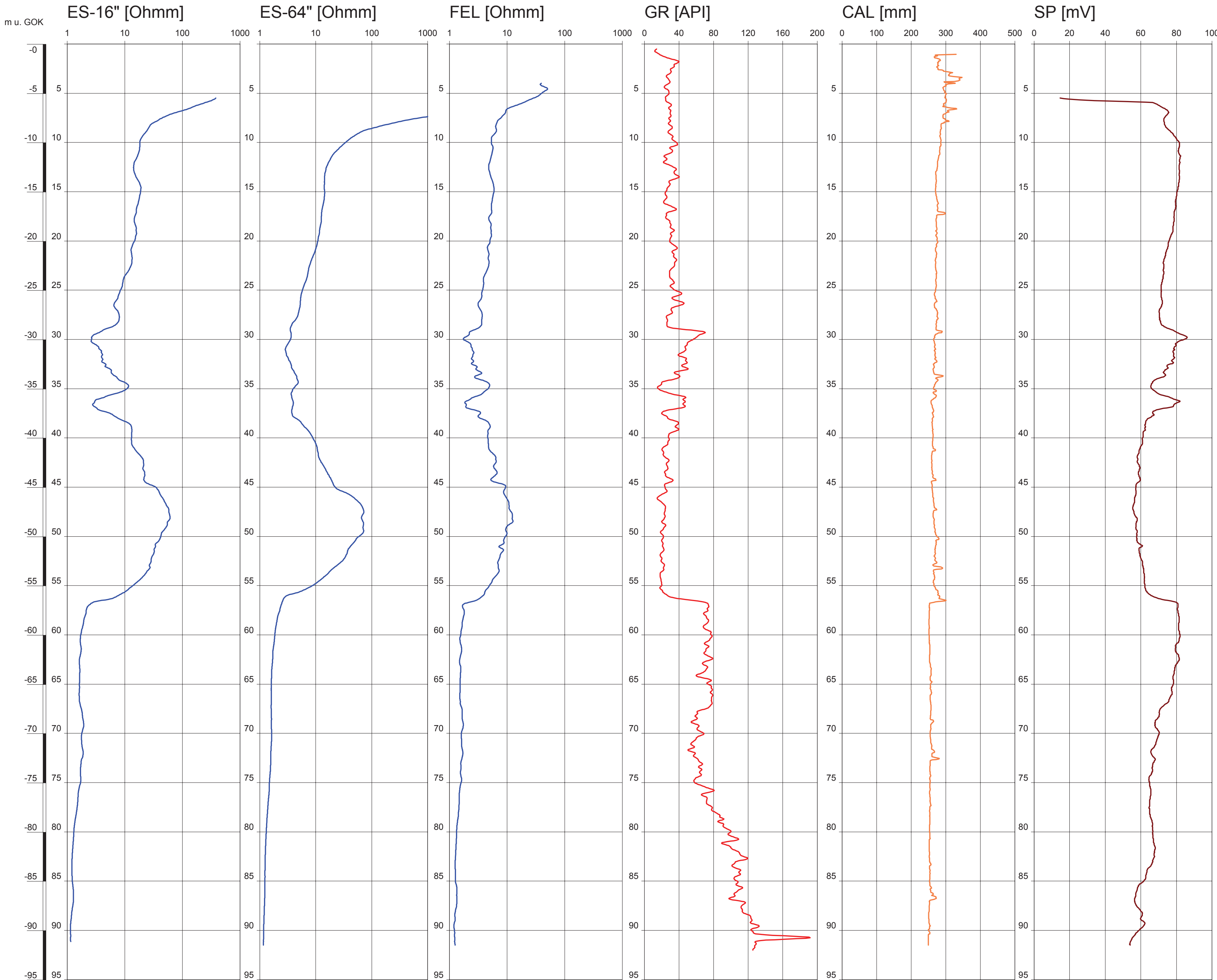
Projekt: 14-23862.2 Verzeichnis: R:\2014_Proj\14-23862\CAD

Auftraggeber:		
ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH		
Projekt: Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Untersuchungsraum Apeldorn	Bearbeiter: CH	Anlage: 12.3
	Zeichner: CH	Datum: 22.07.2015
	Maßstab: 1 : 300	
Darstellung: Bohrprofil, Bohrlochgeophysik und Ausbau der Messstellenbohrung Apeldorn-B11		

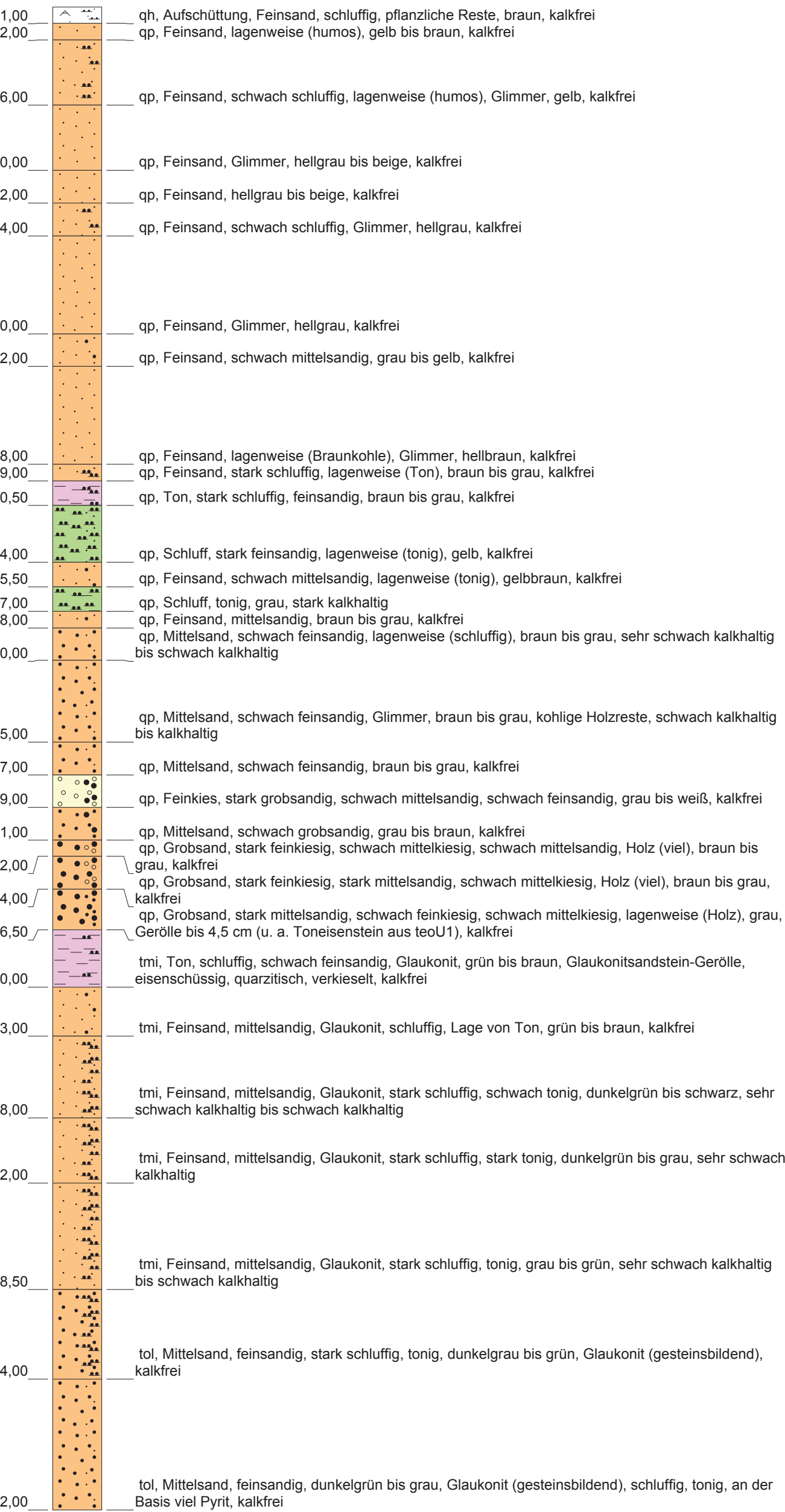
Bokeloherfeld-B12



Apeldorn-B13

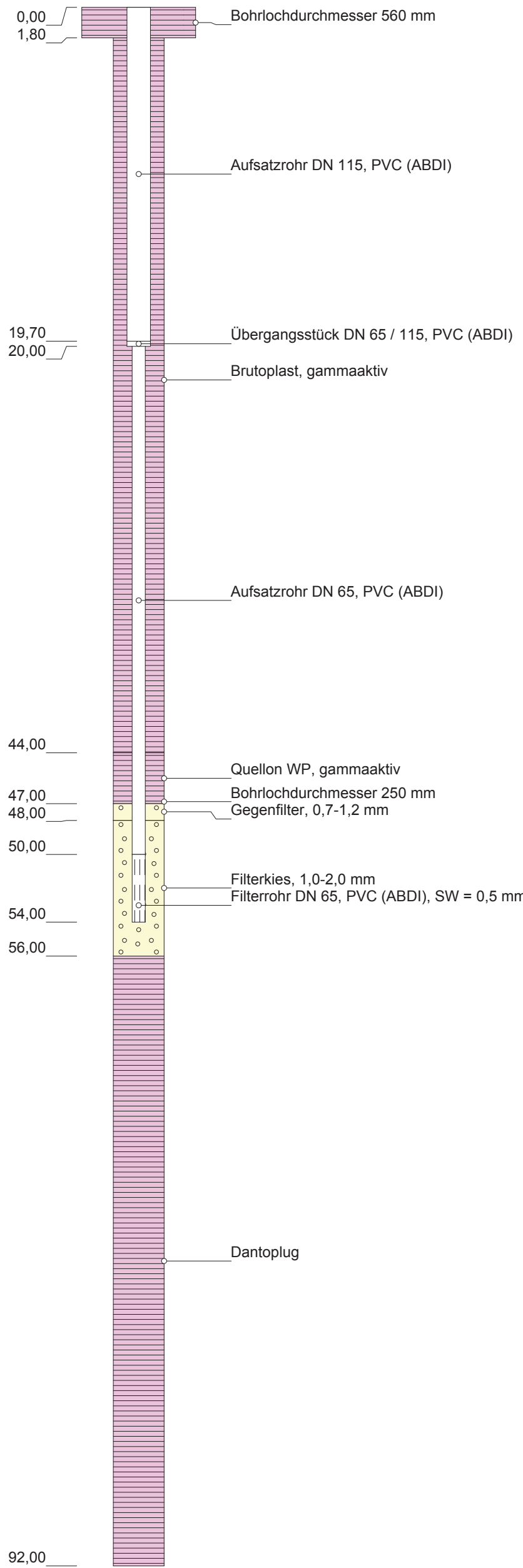


Bohrprofil

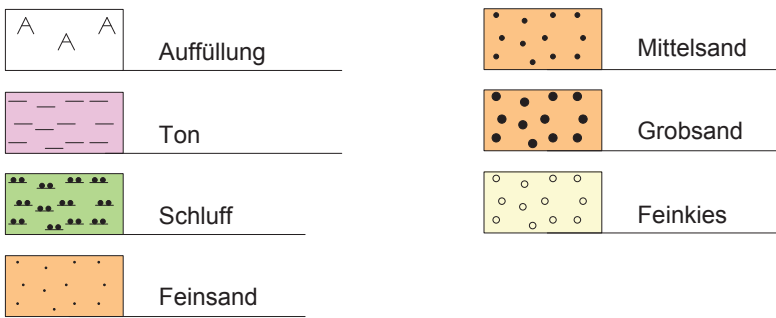


Ausbau B13F2

E 32393444,57 N 5845275,07
+ 25,82 mNN



Legende:



Stratigraphie:

qh Quartär, Holozän
qp Quartär, Pleistozän
tmi Tertiär, Miozän
tol Tertiär, Oligozän

Endteufe erreicht am 21.07.2015



Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: http://www.schmidt-geologen.de

Auftraggeber:
ExxonMobil
PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt:
Hydrogeologische Grundlagenermittlung
für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“
- Untersuchungsraum Apeldorn

Bearbeiter:
CH
Zeichner:
CH
Datum:
22.07.2015
Maßstab:
1 : 300

Darstellung:
Bohrprofil, Bohrlochgeophysik und Ausbau
der Messstellenbohrung Apeldorn-B13

Neubauern-B9

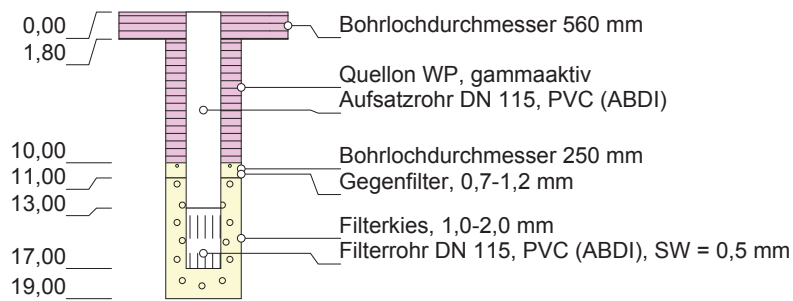
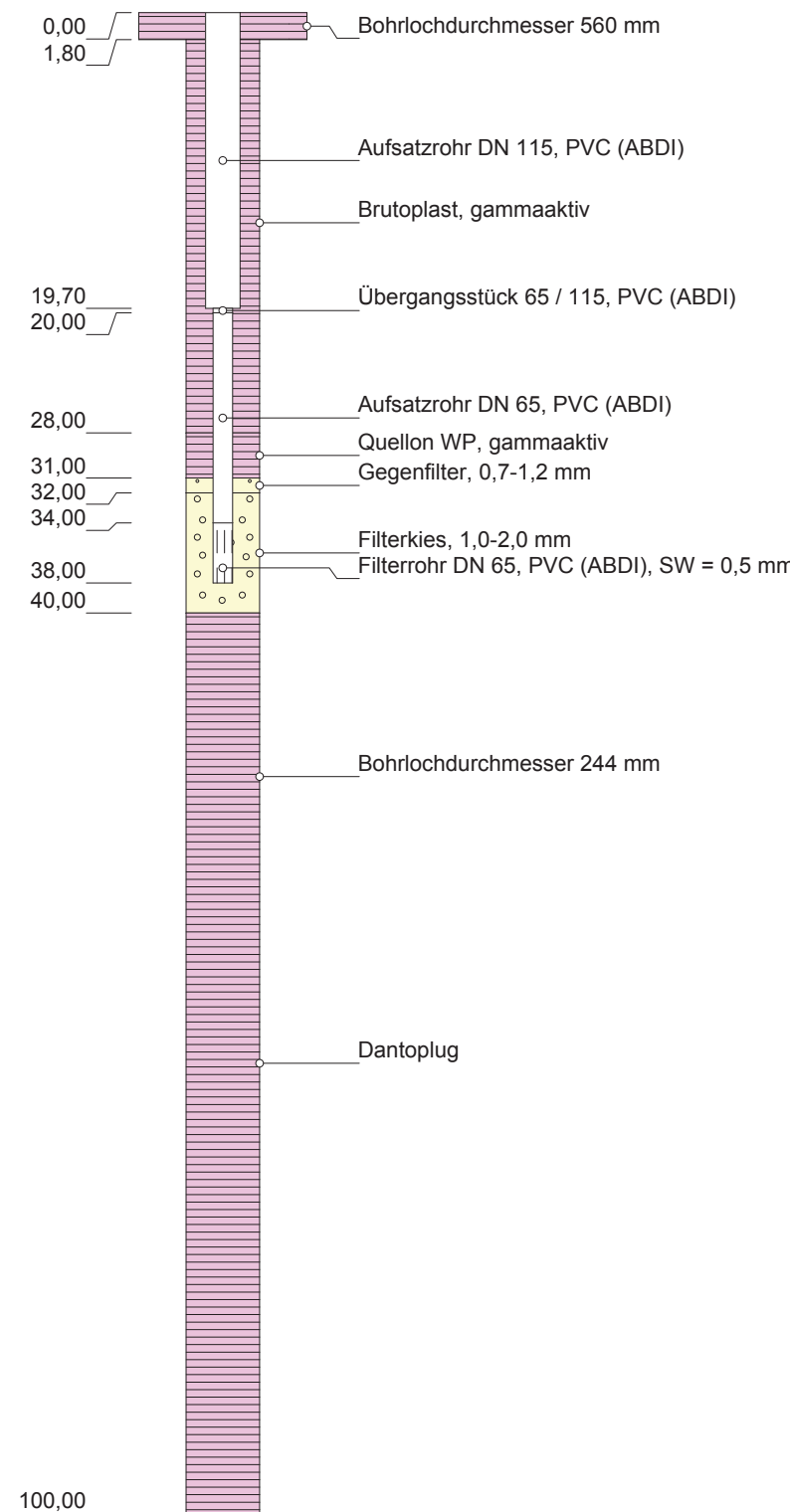
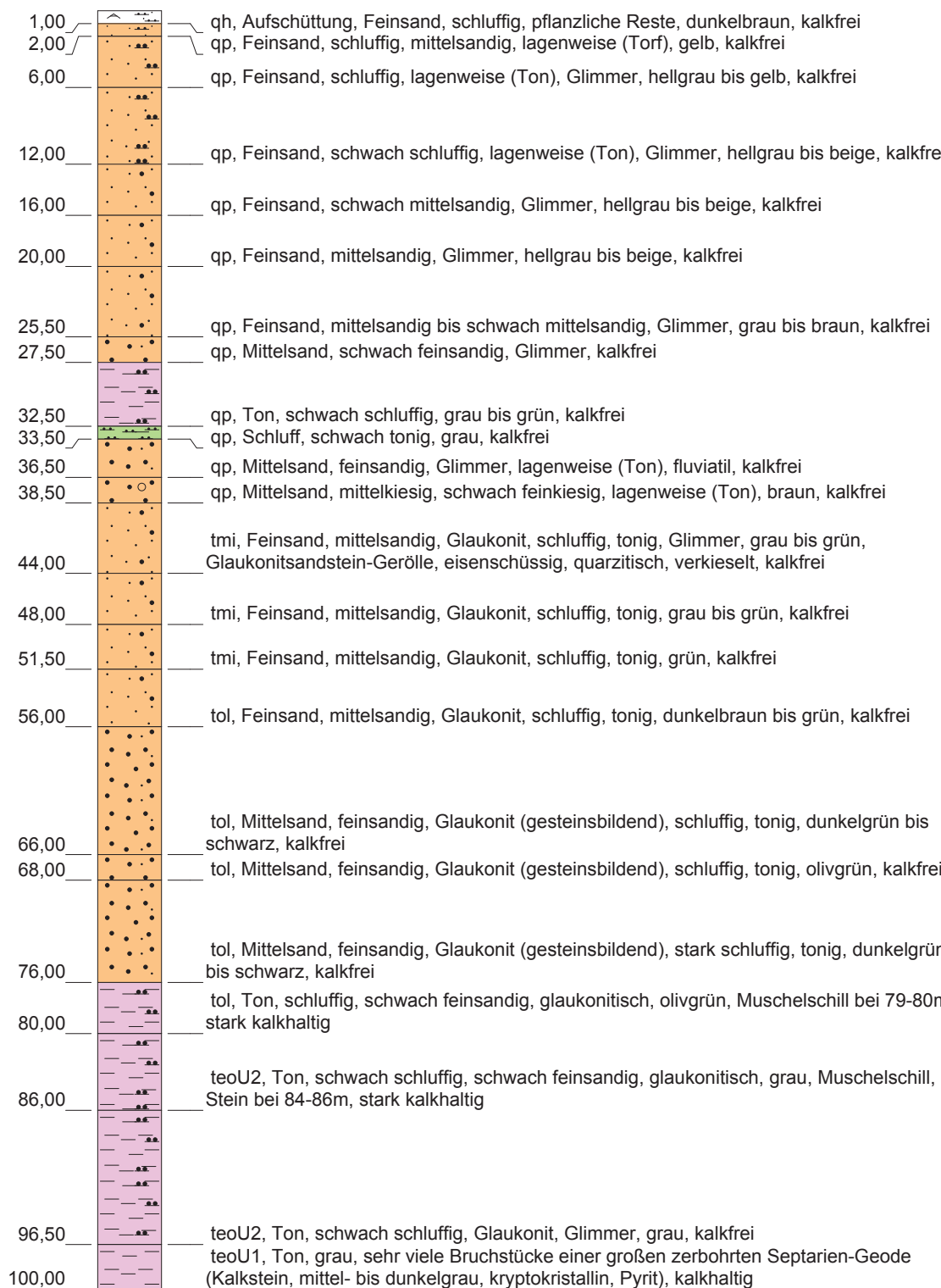
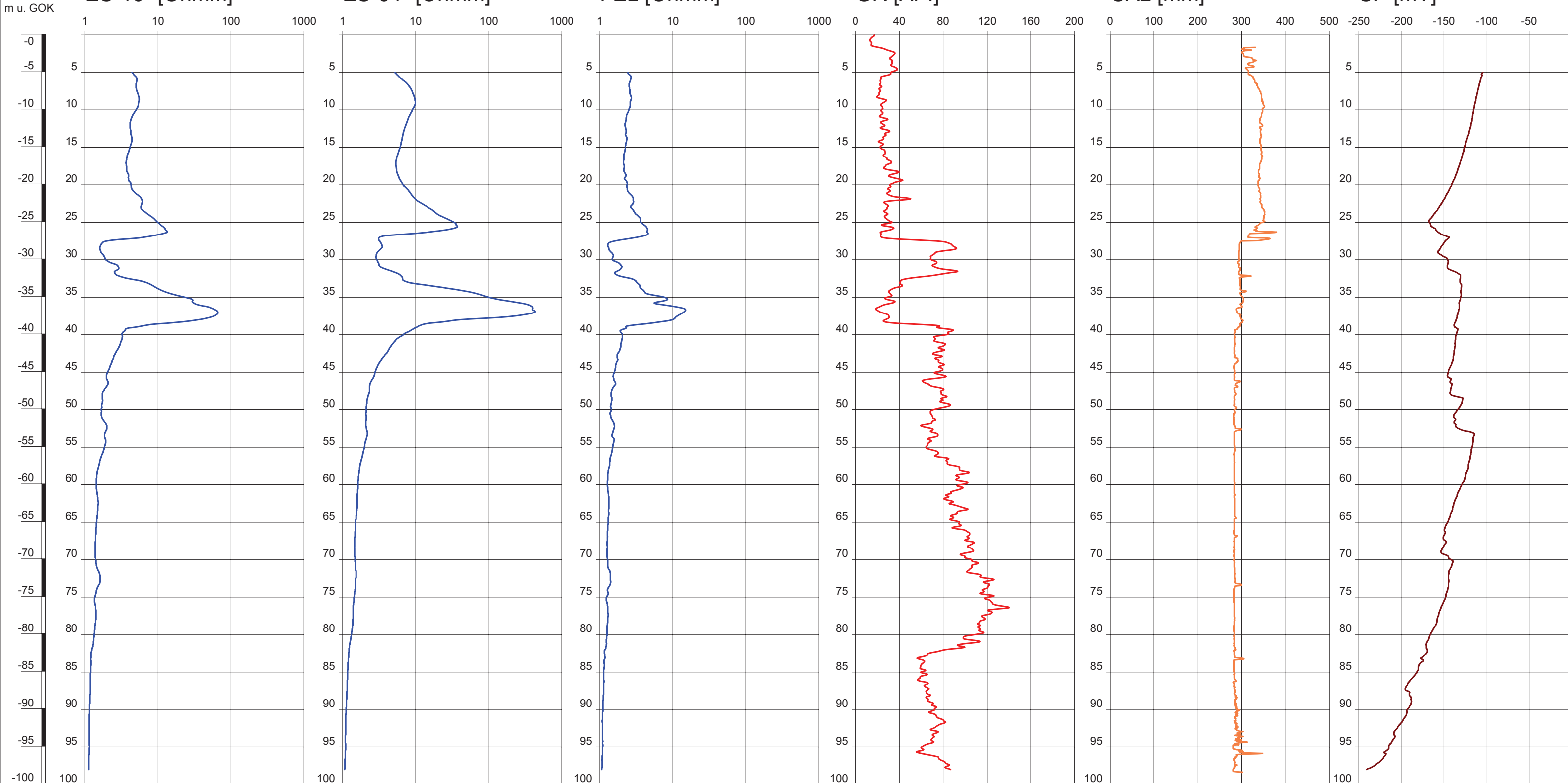
Bohrprofi

Ausbau B9F

E 32392935,89 N 5844267,98
+ 23,70 mNN

Ausbau B9F1

E 32392932,24 N 5844269,95
+ 23,78 mNN



Legende:

	Auffüllung
	Ton
	Schluff
	Feinsand

	Mittelsand
	Grobsand
	Feinkies
	Mittelkies

Stratigraphie:

qh	Quartär, Holozän
qp	Quartär, Pleistozän
qmi	Tertiär, Miozän
qol	Tertiär, Oligozän
teoU2	Tertiär, Untereozän 2
teoU1	Tertiär, Untereozän 1

Endteufe erreicht am 14.07.2015



Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Auftraggeber:

ExxonMobil
PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt:

Arbeiter: CH	Anlage: 12.1
-----------------	-----------------

für das

hner: CH	Datum: 22.07.2015
-------------	----------------------

- Unter

1 : 500

Darstellung: Bohrprofil, Bohrlochgeophysik und Ausbau

Projekt: 14-23862.2	Verzeichnis: R:\2014_Proj.\14-23862\CAD
---------------------	--

Anlage 13

Prüfbericht der Fa. GBA

ExxonMobil Prod. Deutschland GmbH
Herr Berndt

Riethorst 12

30659 Hannover



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14170-01-00

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

Auftraggeber	ExxonMobil Prod. Deutschland GmbH
Eingangsdatum	12.08.2015
Projekt	GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn
Material	Grundwasser
Kennzeichnung	siehe Tabelle
Auftrag	Bestell-Nr.: 4501137279
Verpackung	Glas-, PE-Flaschen, HS-Vials
Probenmenge	jeweils ca. 3,85 l
Auftragsnummer	15507463
Probenahme	GBA, Herr Stürmer
Probentransport	GBA
Labor	GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH
Analysenbeginn / -ende	12.08.2015 - 29.10.2015
Methoden	siehe letzte Seite
Unteraufträge	
Bemerkung	
Probenaufbewahrung	Wenn nicht anders vereinbart, werden Feststoffproben drei Monate und Wasserproben bis zwei Wochen nach Prüfberichtserstellung aufbewahrt.

Pinneberg, 29.10.2015



Ralf Murzen

(Geschäftsführer)

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die genannten Prüfgegenstände. Ohne schriftliche Genehmigung der GBA darf der Prüfbericht nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Seite 1 von 21 zu Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		024	025
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B9 F1 (flach)	B9 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Analysenergebnisse	Einheit		
Grundwasserprobenahme			
Temperatur (Probenahme)	°C	11	11
Leitfähigkeit (Probenahme, 25 °C)	µS/cm	526	194
pH-Wert (Probenahme)		5,9	6,9
Sauerstoff-Gehalt	mg/L	3,0	0,050
Redoxspannung (Probenahme)	mV	320	140
Färbung		schwach gelb	schwach gelb-grün
Trübung (sensorisch)		stark	mittel
Geruch		schwach faulig	schwach faulig
SAK 254 nm	1/m	5,3	6,7
MCPP (Mecoprop)	µg/L	<0,050	<0,050
SAK 436 nm	1/m	0,10	4,2
Gesamthärte	°dH	8,74	1,88
Gesamthärte	mmol/L	1,56	0,34
Calcium	mg/L	46	10
Magnesium	mg/L	10	2,1
Natrium	mg/L	26	17
Kalium	mg/L	8,4	2,3
Eisen, ges.	mg/L	2,3	8,5
Eisen, ges. (gelöst)	mg/L	2,3	8,5
Eisen (II)	mg/L	0,42	6,8
Mangan	mg/L	0,24	0,050
Aluminium	mg/L	0,72	1,2
Ammonium	mg/L	0,28	0,38
Nitrit	mg/L	0,77	0,016
Nitrit-N	mg/L	0,23	0,0049
Nitrat	mg/L	63	<0,50
Nitrat-N	mg/L	14	<0,11
Fluorid	mg/L	<0,15	<0,15
Chlorid	mg/L	37	7,6
Sulfat	mg/L	73	17
ortho-Phosphat	mg/L	0,39	0,64
ortho-Phosphat-P	mg/L	0,13	0,21
DOC	mg/L	8,2	4,6
AOX	mg/L	0,010	<0,010
Antimon	mg/L	<0,0010	<0,0010
Arsen	mg/L	0,0024	0,014
Blei	mg/L	0,0034	0,0071
Bor	mg/L	0,042	0,030
Cadmium	mg/L	<0,00030	<0,00030

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		024	025
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B9 F1 (flach)	B9 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Chrom ges.	mg/L	0,0037	0,0094
Cyanid ges.	mg/L	<0,0050	<0,0050
Kupfer	mg/L	0,0076	0,0046
Nickel	mg/L	0,014	0,0073
Quecksilber	mg/L	<0,00020	<0,00020
Selen	mg/L	<0,0010	<0,0010
Vanadium	mg/L	0,011	0,022
Uran	mg/L	0,00064	0,0010
Molybdän	mg/L	<0,0010	<0,0010
Barium	mg/L	0,077	0,016
Cobalt	mg/L	0,0087	0,0040
Thallium	mg/L	<0,0010	<0,0010
Zink	mg/L	0,073	0,026
Summe BTEX	µg/L	n.n.	n.n.
Benzol	µg/L	<1,0	<1,0
Toluol	µg/L	<1,0	<1,0
Ethylbenzol	µg/L	<1,0	<1,0
m-/p-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0
o-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0
Summe PAK (EPA)	µg/L	0,0120	n.n.
Naphthalin	µg/L	0,012	<0,010
Acenaphthylen	µg/L	<0,010	<0,010
Acenaphthen	µg/L	<0,010	<0,010
Fluoren	µg/L	<0,010	<0,010
Phenanthren	µg/L	<0,010	<0,010
Anthracen	µg/L	<0,010	<0,010
Fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010
Pyren	µg/L	<0,010	<0,010
Benz(a)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010
Chrysen	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(b)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(k)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,010	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	<0,010	<0,010
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	µg/L	<0,010	<0,010

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		024	025
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B9 F1 (flach)	B9 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Kohlenwasserstoffe	mg/L	<0,10	<0,10
Summe LCKW	µg/L	n.n.	n.n.
Dichlormethan	µg/L	<1,0	<1,0
Trichlormethan	µg/L	<0,20	<0,20
Tetrachlormethan	µg/L	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorethan	µg/L	<1,0	<1,0
Trichlorethen	µg/L	<0,10	<0,10
Tetrachlorethen	µg/L	<0,10	<0,10
1,1,1-Trichlorethan	µg/L	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorpropan	µg/L	<0,50	<0,50
cis-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10
trans-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10
Bromdichlormethan	µg/L	<0,10	<0,10
Dibromchlormethan	µg/L	<0,10	<0,10
Tribrommethan	µg/L	<0,10	<0,10
Summe PCB	µg/L	n.n.	n.n.
PCB 28	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 52	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 101	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 153	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 138	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 180	µg/L	<0,010	<0,010
Gesamt- $\bar{A}$ -Aktivitätskonzentration	Bq/L	0,090	0,12
Gesamt- $\bar{A}$ -Aktivitätskonzentration	Bq/L	0,47	0,39
Methan	µg/L	<10	104
Ethan	µg/L	<2,0	<2,0
Propan	µg/L	<2,0	<2,0
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L	0,82	1,1
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/L	0,32	0,19
Phenolindex	mg/L	<0,0050	<0,0050
Atrazin	µg/L	<0,050	<0,050
Bentazon	µg/L	<0,050	<0,050
Bromacil	µg/L	<0,050	<0,050
Bromoxynil	µg/L	<0,050	<0,050
Chloridazon	µg/L	<0,050	<0,050
Chlortoluron	µg/L	<0,050	<0,050
Desethylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050
Desethylterbuthylazin	µg/L	<0,050	<0,050
Desisopropylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050
2,6-Dichlorbenzamid	µg/L	<0,050	<0,050
Diuron	µg/L	<0,050	<0,050
2,4-DP (Dichlorprop)	µg/L	<0,050	<0,050

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		024	025
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B9 F1 (flach)	B9 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Ethidimuron	µg/L	<0,050	<0,050
Ethofumesat	µg/L	<0,050	<0,050
Isoproturon	µg/L	<0,050	<0,050
MCPA	µg/L	<0,050	<0,050
Metamitron	µg/L	<0,050	<0,050
Metazachlor	µg/L	<0,050	<0,050
Metolachlor	µg/L	<0,050	<0,050
Metribuzin	µg/L	<0,050	<0,050
Pirimicarb	µg/L	<0,050	<0,050
Simazin	µg/L	<0,050	<0,050
Terbuthylazin	µg/L	<0,050	<0,050
AMPA	µg/L	<0,20	<0,20
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	µg/L	<0,050	<0,050
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1)	µg/L	<0,050	<0,050
Dicamba	µg/L	<0,10	<0,10
Diflufenican	µg/L	<0,050	<0,050
Chlorpyrifos	µg/L	n.b.	n.b.
N,N-Dimethylsulfamid	µg/L	<0,050	<0,050
Glyphosat	µg/L	<0,20	<0,20
Metaxyl	µg/L	<0,050	<0,050
Metazachlor OA (BH 479-4)	µg/L	<0,050	<0,050
Metazachlor ESA (BH 479-8)	µg/L	<0,050	<0,050
Methabenzthiazuron	µg/L	<0,050	<0,050
Metolachlor OA (CGA 351916/51202)	µg/L	<0,050	<0,050
Metolachlor ESA (CGA 380168/354743)	µg/L	<0,050	<0,050
Metoxuron	µg/L	<0,050	<0,050
Trifluralin	µg/L	<0,050	<0,050
Prothioconazol	µg/L	<0,10	<0,10

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		026	027	028
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B10 F1 (flach)	B10 F2 (tief)	B11 F1 (flach)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Analyseergebnisse	Einheit			
Grundwasserprobenahme				
Temperatur (Probenahme)	°C	12	12	12
Leitfähigkeit (Probenahme, 25 °C)	µS/cm	340	407	144
pH-Wert (Probenahme)		5,7	5,8	6,4
Sauerstoff-Gehalt	mg/L	0,10	1,9	2,2
Redoxspannung (Probenahme)	mV	140	140	120
Färbung		farblos	farblos	schwach gelb
Trübung (sensorisch)		ohne	ohne	mittel
Geruch		schwach faulig	schwach faulig	schwach faulig
SAK 254 nm	1/m	2,0	1,8	3,5
MICPP (Mecoprop)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
SAK 436 nm	1/m	<0,10	<0,10	0,28
Gesamthärte	°dH	3,81	4,33	1,86
Gesamthärte	mmol/L	0,68	0,77	0,33
Calcium	mg/L	21	24	9,8
Magnesium	mg/L	3,8	4,2	2,1
Natrium	mg/L	24	24	8,7
Kalium	mg/L	4,8	3,3	1,5
Eisen, ges.	mg/L	3,2	13	4,5
Eisen, ges. (gelöst)	mg/L	3,2	13	4,5
Eisen (II)	mg/L	3,0	5,3	4,1
Mangan	mg/L	0,23	0,27	0,056
Aluminium	mg/L	0,084	0,030	0,28
Ammonium	mg/L	0,078	0,14	0,20
Nitrit	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Nitrit-N	mg/L	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Nitrat	mg/L	0,63	<0,50	<0,50
Nitrat-N	mg/L	0,14	<0,11	<0,11
Fluorid	mg/L	<0,15	<0,15	<0,15
Chlorid	mg/L	35	52	16
Sulfat	mg/L	64	69	7,9
ortho-Phosphat	mg/L	<0,10	0,13	0,26
ortho-Phosphat-P	mg/L	<0,033	0,042	0,085
DOC	mg/L	2,0	1,5	1,7
AOX	mg/L	<0,010	0,020	<0,010
Antimon	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsen	mg/L	0,0041	0,0014	0,0083
Blei	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,0012
Bor	mg/L	<0,010	<0,010	0,016
Cadmium	mg/L	<0,00030	<0,00030	<0,00030

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		026	027	028
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B10 F1 (flach)	B10 F2 (tief)	B11 F1 (flach)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Chrom ges.	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,0019
Cyanid ges.	mg/L	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Kupfer	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,0010
Nickel	mg/L	0,0043	<0,0010	0,0066
Quecksilber	mg/L	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Selen	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Vanadium	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,0045
Uran	mg/L	<0,00010	<0,00010	0,00011
Molybdän	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Barium	mg/L	0,060	0,081	0,023
Cobalt	mg/L	0,0021	<0,0010	0,0043
Thallium	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Zink	mg/L	0,031	0,013	0,021
Summe BTEX	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
Benzol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Toluol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Ethylbenzol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
m-/p-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
o-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Summe PAK (EPA)	µg/L	n.n.	0,0160	0,0100
Naphthalin	µg/L	<0,010	0,016	0,010
Acenaphthylen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Acenaphthen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Fluoren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Phenanthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benz(a)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Chrysen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(b)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(k)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		026	027	028
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B10 F1 (flach)	B10 F2 (tief)	B11 F1 (flach)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Kohlenwasserstoffe	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Summe LCKW	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
Dichlormethan	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Trichlormethan	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
Tetrachlormethan	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorethan	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Trichlorethen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Tetrachlorethen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
1,1,1-Trichlorethan	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorpropan	µg/L	<0,50	<0,50	<0,50
cis-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
trans-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Bromdichlormethan	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Dibromchlormethan	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Tribrommethan	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Summe PCB	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
PCB 28	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 52	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 101	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 153	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 138	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 180	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Gesamt- α -Aktivitätskonzentration	Bq/L	<0,030	<0,032	0,038
Gesamt- β -Aktivitätskonzentration	Bq/L	0,17	0,13	0,12
Methan	µg/L	<10	23	298
Ethan	µg/L	<2,0	<2,0	<2,0
Propan	µg/L	<2,0	<2,0	<2,0
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L	0,53	0,36	0,52
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/L	0,51	0,66	0,44
Phenolindex	mg/L	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Atrazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Bentazon	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Bromacil	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Bromoxynil	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Chloridazon	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Chlortoluron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Desethylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Desethylterbutylazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Desisopropylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
2,6-Dichlorbenzamid	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Diuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
2,4-DP (Dichlorprop)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		026	027	028
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B10 F1 (flach)	B10 F2 (tief)	B11 F1 (flach)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Ethidimuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Ethofumesat	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Isoproturon	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
MCPA	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metamitron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metazachlor	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metolachlor	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metribuzin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Pirimicarb	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Simazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Terbutylazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
AMPA	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Dicamba	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Diflufenican	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Chlorpyrifos	µg/L	n.b.	n.b.	n.b.
N,N-Dimethylsulfamid	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Glyphosat	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
Metaxyl	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metazachlor OA (BH 479-4)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metazachlor ESA (BH 479-8)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Methabenzthiazuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metolachlor OA (CGA 351916/51202)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metolachlor ESA (CGA 380168/354743)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metoxuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Trifluralin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Prothioconazol	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		029	030	031
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B11 F2 (tief)	B12 F1 (flach)	B12 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Analyseergebnisse	Einheit			
Grundwasserprobenahme				
Temperatur (Probenahme)	°C	12	13	12
Leitfähigkeit (Probenahme, 25 °C)	µS/cm	390	272	197
pH-Wert (Probenahme)		5,6	5,7	6,7
Sauerstoff-Gehalt	mg/L	0,30	1,0	2,7
Redoxspannung (Probenahme)	mV	270	280	74
Färbung		farblos	farblos	schwach gelb
Trübung (sensorisch)		ohne	ohne	stark
Geruch		ohne	ohne	schwach modrig
SAK 254 nm	1/m	2,4	0,62	4,3
MICPP (Mecoprop)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
SAK 436 nm	1/m	<0,10	<0,10	0,26
Gesamthärte	°dH	6,17	3,83	1,98
Gesamthärte	mmol/L	1,10	0,68	0,35
Calcium	mg/L	26	17	10
Magnesium	mg/L	11	6,3	2,5
Natrium	mg/L	17	16	15
Kalium	mg/L	3,5	3,5	2,2
Eisen, ges.	mg/L	4,5	1,4	8,6
Eisen, ges. (gelöst)	mg/L	4,5	1,4	8,6
Eisen (II)	mg/L	4,1	1,2	3,7
Mangan	mg/L	0,12	0,10	0,19
Aluminium	mg/L	0,26	0,15	0,72
Ammonium	mg/L	0,20	<0,025	0,066
Nitrit	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Nitrit-N	mg/L	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Nitrat	mg/L	15	<0,50	<0,50
Nitrat-N	mg/L	3,4	<0,11	<0,11
Fluorid	mg/L	<0,15	<0,15	<0,15
Chlorid	mg/L	41	50	9,6
Sulfat	mg/L	67	22	20
ortho-Phosphat	mg/L	0,12	<0,10	0,81
ortho-Phosphat-P	mg/L	0,039	<0,033	0,26
DOC	mg/L	1,3	<1,0	5,4
AOX	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Antimon	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsen	mg/L	0,0037	0,0012	0,0076
Blei	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,0036
Bor	mg/L	0,032	<0,010	0,029
Cadmium	mg/L	<0,00030	<0,00030	<0,00030

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		029	030	031
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B11 F2 (tief)	B12 F1 (flach)	B12 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Chrom ges.	mg/L	0,0011	<0,0010	0,0035
Cyanid ges.	mg/L	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Kupfer	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,0061
Nickel	mg/L	0,020	0,017	0,0080
Quecksilber	mg/L	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Selen	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Vanadium	mg/L	0,0025	0,0046	0,0075
Uran	mg/L	0,00012	<0,00010	0,00048
Molybdän	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Barium	mg/L	0,041	0,026	0,035
Cobalt	mg/L	0,013	0,0065	0,0048
Thallium	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Zink	mg/L	0,045	0,037	0,025
Summe BTEX	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
Benzol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Toluol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Ethylbenzol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
m-/p-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
o-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Summe PAK (EPA)	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
Naphthalin	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Acenaphthylen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Acenaphthen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Fluoren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Phenanthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benz(a)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Chrysen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(b)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(k)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		029	030	031
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B11 F2 (tief)	B12 F1 (flach)	B12 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Kohlenwasserstoffe	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Summe LCKW	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
Dichlormethan	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Trichlormethan	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
Tetrachlormethan	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorethan	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0
Trichlorethen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Tetrachlorethen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
1,1,1-Trichlorethan	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorpropan	µg/L	<0,50	<0,50	<0,50
cis-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
trans-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Bromdichlormethan	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Dibromchlormethan	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Tribrommethan	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Summe PCB	µg/L	n.n.	n.n.	n.n.
PCB 28	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 52	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 101	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 153	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 138	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
PCB 180	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010
Gesamt- α -Aktivitätskonzentration	Bq/L	<0,026	<0,040	0,16
Gesamt- β -Aktivitätskonzentration	Bq/L	0,13	0,12	0,90
Methan	µg/L	12	<10	26
Ethan	µg/L	<2,0	<2,0	<2,0
Propan	µg/L	<2,0	<2,0	<2,0
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L	0,45	0,52	0,87
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/L	0,59	0,43	0,34
Phenolindex	mg/L	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Atrazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Bentazon	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Bromacil	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Bromoxynil	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Chloridazon	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Chlortoluron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Desethylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Desethylterbutylazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Desisopropylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
2,6-Dichlorbenzamid	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Diuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
2,4-DP (Dichlorprop)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463	15507463
Probe-Nr.		029	030	031
Material		Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B11 F2 (tief)	B12 F1 (flach)	B12 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015	12.08.2015
Ethidimuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Ethofumesat	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Isoproturon	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
MCPA	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metamitron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metazachlor	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metolachlor	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metribuzin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Pirimicarb	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Simazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Terbuthylazin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
AMPA	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Dicamba	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10
Diflufenican	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Chlorpyrifos	µg/L	n.b.	n.b.	n.b.
N,N-Dimethylsulfamid	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Glyphosat	µg/L	<0,20	<0,20	<0,20
Metalaxyl	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metazachlor OA (BH 479-4)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metazachlor ESA (BH 479-8)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Methabenzthiazuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metolachlor OA (CGA 351916/51202)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metolachlor ESA (CGA 380168/354743)	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Metoxuron	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Trifluralin	µg/L	<0,050	<0,050	<0,050
Prothioconazol	µg/L	<0,10	<0,10	<0,10

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		032	033
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B13 F1 (flach)	B13 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Analyseergebnisse	Einheit		
Grundwasserprobenahme			
Temperatur (Probenahme)	°C	11	11
Leitfähigkeit (Probenahme, 25 °C)	µS/cm	259	162
pH-Wert (Probenahme)		5,7	7,5
Sauerstoff-Gehalt	mg/L	3,1	0,10
Redoxspannung (Probenahme)	mV	220	7,0
Färbung		schwach gelb	schwach gelb
Trübung (sensorisch)		ohne	mittel
Geruch		schwach faulig	schwach faulig
SAK 254 nm	1/m	4,4	1,8
MICPP (Mecoprop)	µg/L	<0,050	<0,050
SAK 436 nm	1/m	<0,10	0,16
Gesamthärte	°dH	1,45	2,65
Gesamthärte	mmol/L	0,26	0,47
Calcium	mg/L	4,6	16
Magnesium	mg/L	3,5	1,8
Natrium	mg/L	16	5,6
Kalium	mg/L	2,4	1,7
Eisen, ges.	mg/L	14	4,6
Eisen, ges. (gelöst)	mg/L	14	4,6
Eisen (II)	mg/L	6,6	4,2
Mangan	mg/L	0,083	0,12
Aluminium	mg/L	0,22	0,54
Ammonium	mg/L	0,54	0,26
Nitrit	mg/L	0,024	0,013
Nitrit-N	mg/L	0,0073	0,0040
Nitrat	mg/L	0,99	<0,50
Nitrat-N	mg/L	0,22	<0,11
Fluorid	mg/L	<0,15	<0,15
Chlorid	mg/L	26	14
Sulfat	mg/L	51	12
ortho-Phosphat	mg/L	<0,10	0,36
ortho-Phosphat-P	mg/L	<0,033	0,12
DOC	mg/L	2,0	<1,0
AOX	mg/L	<0,010	<0,010
Antimon	mg/L	<0,0010	<0,0010
Arsen	mg/L	0,00096	0,0072
Blei	mg/L	<0,0010	0,0025
Bor	mg/L	0,015	0,012
Cadmium	mg/L	<0,00030	<0,00030

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		032	033
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B13 F1 (flach)	B13 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Chrom ges.	mg/L	0,0013	0,0035
Cyanid ges.	mg/L	<0,0050	<0,0050
Kupfer	mg/L	0,0019	0,0019
Nickel	mg/L	0,011	0,0025
Quecksilber	mg/L	<0,00020	<0,00020
Selen	mg/L	<0,0010	<0,0010
Vanadium	mg/L	0,0029	0,0078
Uran	mg/L	0,00027	0,00035
Molybdän	mg/L	<0,0010	<0,0010
Barium	mg/L	0,046	0,022
Cobalt	mg/L	0,0057	<0,0010
Thallium	mg/L	<0,0010	<0,0010
Zink	mg/L	0,032	0,015
Summe BTEX	µg/L	n.n.	n.n.
Benzol	µg/L	<1,0	<1,0
Toluol	µg/L	<1,0	<1,0
Ethylbenzol	µg/L	<1,0	<1,0
m-/p-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0
o-Xylol	µg/L	<1,0	<1,0
Summe PAK (EPA)	µg/L	0,0120	n.n.
Naphthalin	µg/L	0,012	<0,010
Acenaphthylen	µg/L	<0,010	<0,010
Acenaphthen	µg/L	<0,010	<0,010
Fluoren	µg/L	<0,010	<0,010
Phenanthren	µg/L	<0,010	<0,010
Anthracen	µg/L	<0,010	<0,010
Fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010
Pyren	µg/L	<0,010	<0,010
Benz(a)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010
Chrysen	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(b)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(k)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,010	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	<0,010	<0,010
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	µg/L	<0,010	<0,010

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		032	033
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B13 F1 (flach)	B13 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Kohlenwasserstoffe	mg/L	<0,10	<0,10
Summe LCKW	µg/L	n.n.	n.n.
Dichlormethan	µg/L	<1,0	<1,0
Trichlormethan	µg/L	<0,20	<0,20
Tetrachlormethan	µg/L	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorethan	µg/L	<1,0	<1,0
Trichlorethen	µg/L	<0,10	<0,10
Tetrachlorethen	µg/L	<0,10	<0,10
1,1,1-Trichlorethan	µg/L	<0,20	<0,20
1,2-Dichlorpropan	µg/L	<0,50	<0,50
cis-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10
trans-1,3-Dichlorpropen	µg/L	<0,10	<0,10
Bromdichlormethan	µg/L	<0,10	<0,10
Dibromchlormethan	µg/L	<0,10	<0,10
Tribrommethan	µg/L	<0,10	<0,10
Summe PCB	µg/L	n.n.	n.n.
PCB 28	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 52	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 101	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 153	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 138	µg/L	<0,010	<0,010
PCB 180	µg/L	<0,010	<0,010
Gesamt- α -Aktivitätskonzentration	Bq/L	0,080	0,060
Gesamt- β -Aktivitätskonzentration	Bq/L	0,15	0,15
Methan	µg/L	<10	<10
Ethan	µg/L	<2,0	<2,0
Propan	µg/L	<2,0	<2,0
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L	0,11	0,88
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/L	0,88	0,23
Phenolindex	mg/L	<0,0050	<0,0050
Atrazin	µg/L	<0,050	<0,050
Bentazon	µg/L	<0,050	<0,050
Bromacil	µg/L	<0,050	<0,050
Bromoxynil	µg/L	<0,050	<0,050
Chloridazon	µg/L	<0,050	<0,050
Chlortoluron	µg/L	<0,050	<0,050
Desethylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050
Desethylterbutylazin	µg/L	<0,050	<0,050
Desisopropylatrazin	µg/L	<0,050	<0,050
2,6-Dichlorbenzamid	µg/L	<0,050	<0,050
Diuron	µg/L	<0,050	<0,050
2,4-DP (Dichlorprop)	µg/L	<0,050	<0,050

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Röhlermoor / Apeldorn

Auftrag		15507463	15507463
Probe-Nr.		032	033
Material		Grundwasser	Grundwasser
Probenbezeichnung		B13 F1 (flach)	B13 F2 (tief)
Probeneingang		12.08.2015	12.08.2015
Ethidimuron	µg/L	<0,050	<0,050
Ethofumesat	µg/L	<0,050	<0,050
Isoproturon	µg/L	<0,050	<0,050
MCPA	µg/L	<0,050	<0,050
Metamitron	µg/L	<0,050	<0,050
Metazachlor	µg/L	<0,050	<0,050
Metolachlor	µg/L	<0,050	<0,050
Metribuzin	µg/L	<0,050	<0,050
Pirimicarb	µg/L	<0,050	<0,050
Simazin	µg/L	<0,050	<0,050
Terbuthylazin	µg/L	<0,050	<0,050
AMPA	µg/L	<0,20	nicht analysierbar
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	µg/L	<0,050	<0,050
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1)	µg/L	<0,050	<0,050
Dicamba	µg/L	<0,10	<0,10
Diflufenican	µg/L	<0,050	<0,050
Chlorpyrifos	µg/L	n.b.	n.b.
N,N-Dimethylsulfamid	µg/L	<0,050	<0,050
Glyphosat	µg/L	<0,20	nicht analysierbar
Metaxyl	µg/L	<0,050	<0,050
Metazachlor OA (BH 479-4)	µg/L	<0,050	<0,050
Metazachlor ESA (BH 479-8)	µg/L	<0,050	<0,050
Methabenzthiazuron	µg/L	<0,050	<0,050
Metolachlor OA (CGA 351916/51202)	µg/L	<0,050	<0,050
Metolachlor ESA (CGA 380168/354743)	µg/L	<0,050	<0,050
Metoxuron	µg/L	<0,050	<0,050
Trifluralin	µg/L	<0,050	<0,050
Prothioconazol	µg/L	<0,10	<0,10

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Angewandte Verfahren und Bestimmungsgrenzen

Parameter	Bestimmungs- grenze	Einheit	Methode
Grundwasserprobenahme			DIN 38402-A13 ^a
Temperatur (Probenahme)		°C	DIN 38404-C4 ^a
Leitfähigkeit (Probenahme, 25 °C)		µS/cm	DIN EN 27888 (C8) ^a
pH-Wert (Probenahme)			DIN EN ISO 10523 ^a
Sauerstoff-Gehalt		mg/L	DIN EN 25814 (G22) ^a
Redoxspannung (Probenahme)		mV	DIN 38404-C6 ^a
Färbung			DIN EN ISO 7887 (C1) ^a
Trübung (sensorisch)			DIN EN ISO 7027 (C2) ^a
Geruch			DEV-B1/2 ^a
MCPP (Mecoprop)	0,050	µg/L	DIN 38407-35 ^a
SAK 254 nm	0,10	1/m	DIN 38404-3 (C3) ^a
SAK 436 nm	0,10	1/m	DIN EN ISO 7887-C1 ^a
Gesamthärte		°dH	DIN 38409-H6/ DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Gesamthärte		mmol/L	DIN 38409-H6/ DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Calcium		mg/L	DIN EN ISO 11885 (E22) ^a
Magnesium		mg/L	DIN EN ISO 11885 (E22) ^a
Natrium	0,10	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Kalium	0,10	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Eisen, ges.	0,0050	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Eisen, ges. (gelöst)	0,0050	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Eisen (II)	0,10	mg/L	DIN 38406-1 (E1) ^a
Mangan	0,010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Aluminium	0,010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Ammonium	0,025	mg/L	DIN EN ISO 11732 (E23) ^a
Nitrit	0,010	mg/L	DIN EN ISO 13395 (D28) ^a
Nitrit-N	0,0030	mg/L	DIN EN ISO 13395 (D28) ^a
Nitrat	0,50	mg/L	DIN EN ISO 10304-1/-2 (D19/20) ^a
Nitrat-N	0,10	mg/L	DIN EN ISO 10304-1/-2 (D19/20) ^a
Fluorid	0,15	mg/L	DIN EN ISO 10304-1/-2 (D19/20) ^a
Chlorid	0,60	mg/L	DIN EN ISO 10304-1/-2 (D19/20) ^a
Sulfat	0,50	mg/L	DIN EN ISO 10304-1/-2 (D19/20) ^a
ortho-Phosphat	0,10	mg/L	DIN EN ISO 15681-2 (D46) ^a
ortho-Phosphat-P		mg/L	DIN EN ISO 15681-2 (D46) ^a
DOC	1,0	mg/L	DIN EN 1484 (H3) ^a
AOX	0,010	mg/L	DIN EN ISO 9562 (H14) ^a Ç
Antimon	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Arsen	0,00050	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Blei	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Bor	0,010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Cadmium	0,00030	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Chrom ges.	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Cyanid ges.	0,0050	mg/L	DIN EN ISO 14403 (D6) ^a
Kupfer	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Nickel	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Quecksilber	0,00020	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Selen	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Vanadium	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Uran	0,00010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Molybdän	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Angewandte Verfahren und Bestimmungsgrenzen

Parameter	Bestimmungs- grenze	Einheit	Methode
Barium	0,00050	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Cobalt	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Thallium	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Zink	0,0050	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29) ^a
Summe BTEX		µg/L	berechnet
Benzol	1,0	µg/L	DIN 38407-F9-1 ^a
Toluol	1,0	µg/L	DIN 38407-F9-1 ^a
Ethylbenzol	1,0	µg/L	DIN 38407-F9-1 ^a
m-/p-Xylol	1,0	µg/L	DIN 38407-F9-1 ^a
o-Xylol	1,0	µg/L	DIN 38407-F9-1 ^a
Summe PAK (EPA)		µg/L	berechnet
Naphthalin	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Acenaphthylen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Acenaphthen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Fluoren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Phenanthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Anthracen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Fluoranthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Pyren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Benz(a)anthracen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Chrysen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Benzo(b)fluoranthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Benzo(k)fluoranthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Benzo(a)pyren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Dibenz(ah)anthracen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Benzo(g,h,i)perylene	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 ^a
Kohlenwasserstoffe	0,10	mg/L	DIN EN ISO 9377-2 (H53) ^a
Summe LCKW		µg/L	berechnet
Dichlormethan	1,0	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Trichlormethan	0,20	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Tetrachlormethan	0,20	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
1,2-Dichlorethan	1,0	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Trichlorethan	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Tetrachlorethan	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
1,1,1-Trichlorethan	0,20	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
1,2-Dichlorpropan	0,50	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
cis-1,3-Dichlorpropen	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
trans-1,3-Dichlorpropen	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Bromdichlormethan	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Dibromchlormethan	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Tribrommethan	0,10	µg/L	DIN EN ISO 10301 (F4) ^a
Summe PCB		µg/L	berechnet
PCB 28	0,010	µg/L	DIN EN ISO 6468-F1 ^a
PCB 52	0,010	µg/L	DIN EN ISO 6468-F1 ^a
PCB 101	0,010	µg/L	DIN EN ISO 6468-F1 ^a
PCB 153	0,010	µg/L	DIN EN ISO 6468-F1 ^a
PCB 138	0,010	µg/L	DIN EN ISO 6468-F1 ^a
PCB 180	0,010	µg/L	DIN EN ISO 6468-F1 ^a

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Angewandte Verfahren und Bestimmungsgrenzen

Parameter	Bestimmungs- grenze	Einheit	Methode
Gesamt- α -Aktivitätskonzentration		Bq/L	Gasdurchflussproportionalzählrohr f
Gesamt- β -Aktivitätskonzentration		Bq/L	Gasdurchflussproportionalzählrohr f
Methan	10	$\mu\text{g/L}$	Hausmethode HI- MA-M 3-19 2012-12 ^a f
Ethan	2,0	$\mu\text{g/L}$	Hausmethode HI- MA-M 3-19 2012-12 ^a f
Propan		$\mu\text{g/L}$	Hausmethode HI- MA-M 3-19 2012-12 ^a f
Säurekapazität bis pH 4,3	0,010	mmol/L	DIN 38409-H7-1-2 ^a
Basekapazität bis pH 8,2	0,010	mmol/L	DIN 38409-H7-2-2 ^a
Phenolindex	0,0050	mg/L	DIN EN ISO 14402 (H37) ^a
Atrazin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Bentazon	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Bromacil	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Bromoxynil	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Chloridazon	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Chlortoluron	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Desethylatrazin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Desethylterbuthylazin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Desisopropylatrazin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
2,6-Dichlorbenzamid	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Diuron	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
2,4-DP (Dichlorprop)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Ethidimuron	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Ethofumesat	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
MCPA	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metamitron	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metazachlor	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metolachlor	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metribuzin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Pirimicarb	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Simazin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Terbuthylazin	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
AMPA	0,050	$\mu\text{g/L}$	an. ISO 21458 ^a (abw.: LC-MS/MS) ^a
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Dicamba	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Chlorpyrifos	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Diflufenican	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
N,N-Dimethylsulfamid	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Glyphosat	0,050	$\mu\text{g/L}$	an. ISO 21458 ^a (abw.: LC-MS/MS) ^a
Metaxyl	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metazachlor OA (BH 479-4)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metazachlor ESA (BH 479-8)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Methabenzthiazuron	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metolachlor OA (CGA 351916/51202)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metolachlor ESA (CGA 380168/354743)	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Metoxuron	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a
Trifluralin	0,010	$\mu\text{g/L}$	DIN EN ISO 6468-F1 ^a
Prothioconazol	0,050	$\mu\text{g/L}$	DIN 38407-35 ^a

Prüfbericht-Nr.: 2015P512972/ 2

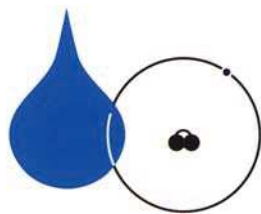
GW-Untersuchungen Rühlermoor / Apeldorn

Die mit ^a gekennzeichneten Verfahren sind akkreditierte Verfahren. Die Bestimmungsgrenzen können matrixbedingt variieren.

Untersuchungslabor: ☐GBA Gelsenkirchen ☐Fremdlabor ☐GBA Hildesheim

Anlage 14

Kurzbericht der Fa. Hydroisotop



HYDROISOTOP gmbh

Laboratorium zur Bestimmung von Isotopen in Umwelt und Hydrologie

Hydroisotop GmbH · Woelkestraße 9 · D-85301 Schweitenkirchen·

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025
akkreditiertes Prüflaboratorium

GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH
z.Hd. Herrn Ralf Murzen
Flensburger Straße 15

25421 Pinneberg

per Email: R.Murzen@gba-group.de



Beim Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit
und Verbraucherschutz (StMUGV) nach § 15 Abs. 4 TrinkwV
2013 zugelassene Trinkwasseruntersuchungsstelle.

Schweitenkirchen, den 25.09.2015
Dr. SH

Kurzbericht zu Prüfbericht Nr. 274142 - 274554

Projekt:	Exxon, 15507463
Auftraggeber:	GBA Gesellschaft für Bioanalytik Hamburg mbH

Die Hydroisotop GmbH wurde von der GBA Gesellschaft für Bioanalytik Hamburg mbH mit der Analyse von insgesamt sechs Wasserproben auf die Isotopie des im Wasser gelösten Methans beauftragt (siehe Prüfbericht Nr. 274142 – 274554 am Ende des Kurzberichtes). Die Analyse auf die Methangehalte und die Gehalte der höheren Kohlenwasserstoffe Ethan und Propan wurde durch den Auftraggeber durchgeführt. Die Ergebnisse der Konzentrationsmessungen wurden für die Beurteilung der Hydroisotop GmbH zur Verfügung gestellt (siehe Zusammenstellung aller Analyseergebnisse in Tabelle 1.) In den untersuchten Proben wurden zum Teil deutlich unterschiedlich hohe Methangehalte ermittelt. Die Probe 274554 (15507463-028) enthielt nur 298 µg/L (0,416 Nml/kg) Methan, die höchsten Methangehalte wurden mit 46.370 µg/L (64,744 Nml/kg) in der Probe 274142 (15507463-007) gemessen. Höhere Kohlenwasserstoffe wurden in keiner der Wasserproben detektiert.

E:\GBA Bioanalytik\Exxon-Projekt\Kurzbericht_Methanherkunft.doc

Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Die Prüfergebnisse beziehen sich nur auf die Prüfgegenstände.
Auch die nur ausschnittsweise Veröffentlichung der Ergebnisse bedarf der schriftlichen Zustimmung der HYDROISOTOP GmbH.
Elektronisch übermittelte Daten besitzen keine Rechtswirksamkeit. Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen der HYDROISOTOP GmbH.

Sparkasse Pfaffenhofen / Ilm
BLZ 721 516 50, Kto.-Nr. 8 112 328
IBAN: DE20 7215 1650 0008 1123 28, BIC: BYLADEM1PAF
Raiffeisenbank Schweitenkirchen
BLZ 721 608 18, Kto.-Nr. 1 369 300
IBAN: DE55 7216 0818 0001 3693 00, BIC: GENODEF1INP

Geschäftsführer Dr. Lorenz Eichinger
Dr. Florian Eichinger
Amtsgericht Ingolstadt HRB Nr. 190 354
Ust-ID-Nr. DE 128 953 441
St.-Nr. 124/128/90025
Zoll-Nr. DE 3063496

Telefon +49 (0)8444 928 90
0700 HYDROISO
Telefax +49 (0)8444 928 929
e-mail: info@Hydroisotop.de
Internet: www.Hydroisotop.de

Tabelle 1: Analysenergebnisse der untersuchten Proben. Konzentrationsbestimmung erfolgte durch den Auftraggeber.

Lab.-Nr.:		274142	274143	274150	274151
Bezeichnung		15507463-007	15507463-008	15507463-015	15507463-016
		B5 F1 flach	B5 F2 tief	B8b F1 flach	B8b F2 mittel
Kohlenstoff-13-CH ₄	‰	-87,5	-88,3	-93,3	-93,0
Deuterium-CH ₄	‰	-272	-272	-273	-254
Methan	Nml/kg	64,744	48,575	44,610	1,494
Ethan	Nml/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Propan	Nml/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Lab.-Nr.:		274152	274554
Bezeichnung		15507463-017	15507463-028
		B8b F3 tief	B11 F1 flach
Kohlenstoff-13-CH ₄	‰	-94,4	-81,2
Deuterium-CH ₄	‰	-279	-280
Methan	Nml/kg	47,221	0,416
Ethan	Nml/kg	<0,001	<0,001
Propan	Nml/kg	<0,001	<0,001

Die Isotopengehalte von Deuterium und Kohlenstoff-13 des im Wasser gelösten Methans liegen insgesamt in einem relativ engen Wertebereich. Dies weist darauf hin, dass das Methan in allen sechs untersuchten Proben eine vergleichbare Herkunft aufweist. Nach Whiticar 1999¹ lässt sich anhand der Isotopensignaturen des Methans und die Gehalte der Kohlenwasserstoffe auf die Herkunft des Methans schließen. Dem entsprechend weist die Lage der untersuchten Proben in Abbildung 1 (für die Darstellung der Gehalte der höheren Kohlenwasserstoffe wurden die Nachweisgrenzen von Ethan und Propan verwendet) eindeutig auf eine Herkunft des Methans aus dem mikrobiellen Abbau von organischem Kohlenstoff hin.

Auch in der Gegenüberstellung der Deuteriumisotopie zu der Kohlenstoffisotopie des untersuchten Methans bestätigt sich die bakterielle Herkunft des Methans in den untersuchten Proben. Allerdings liegen die Wertepaare der untersuchten Proben außerhalb der durch Whiticar 1999 definierten Bereiche (Abbildung 2). Ähnliche Methanisotopensignaturen wurden jedoch auch schon in anderen Proben mit Methan aus bakterieller Herkunft gemessen. Es kann spekuliert werden, dass das Methan sowohl aus der bakteriellen Karbonatreduktion als auch der bakteriellen Methylierfermentation entstanden ist und die ermittelte Methansignaturen der Proben nun

¹ Whiticar, M. J. (1999): Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. Chemical Geology 161: 291-314

eine Mischsignatur aus diesen verschiedenen Methangenesen abbildet. Für eine weitergehende detailliert Beurteilung der Herkunft des Methans wird die Bestimmung des Kohlenstoff-13 am Kohlenstoffdioxid empfohlen.

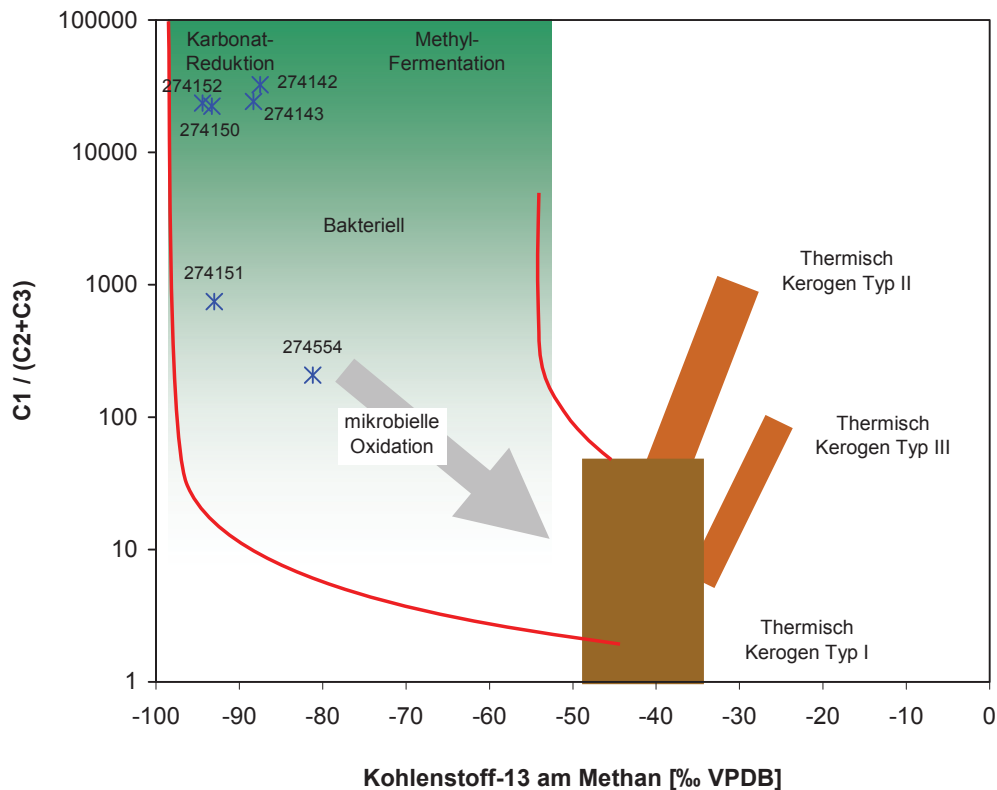


Abbildung 1: Einordnung der Methanherkunft anhand der Kohlenstoff-13-Isotopie des Methans und den Gehalten der Kohlenwasserstoffe Methan, Ethan und Propan nach Whiticar 1999. Für die nicht nachgewiesenen Gehalte an Ethan und Propan wurden für die Darstellung die Nachweisgrenzen verwendet.

In keinem Fall lässt sich aus den vorliegenden Analyseergebnisse des Methans in den untersuchten Proben auf eine Beteiligung von thermogen gebildeten Methan erkennen. Ein Zuströmen von Methan aus thermogener Herkunft kann daher ausgeschlossen werden.

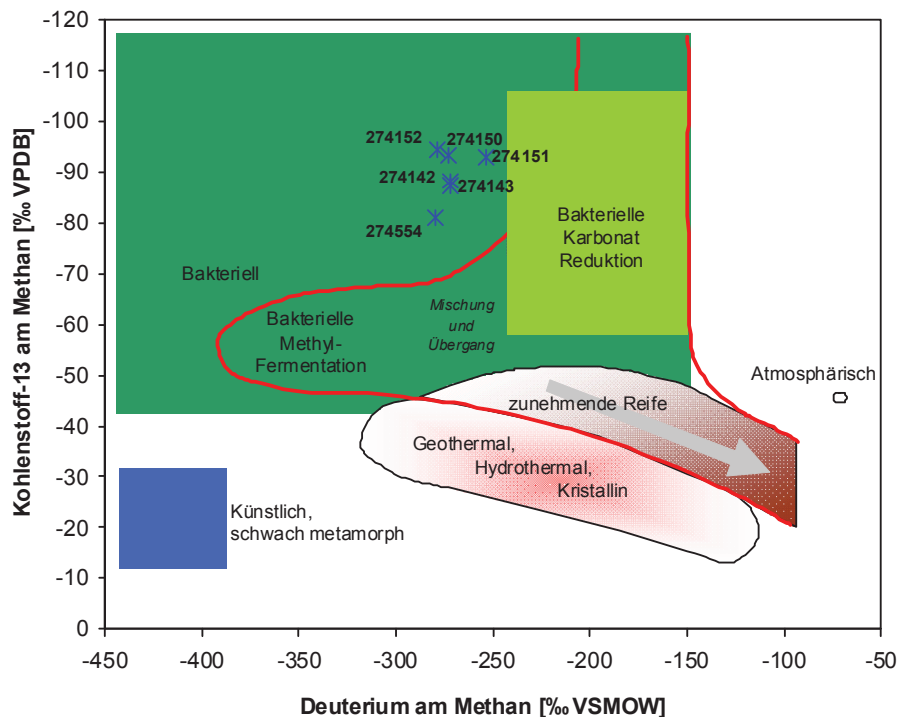


Abbildung 2: Einordnung der Proben anhand der Deuterium- und Kohlenstoff-13-Gehalte am Methan nach Whiticar 1999.

Fazit

Die Ergebnisse aus den Isotopenbestimmungen am Methan und den Konzentrationsbestimmungen von Methan, Ethan und Propan zeigen die bakterielle Herkunft des in den Proben 274142 – 274554 untersuchten Methans. Dabei sind die genauen mikrobiellen Prozesse nicht charakterisierbar. Es scheint wahrscheinlich, dass es sich hierbei um die Mischung aus verschiedenen bakteriellen Methangenesen handelt.

Ein Hinweis auf thermogen gebildetes Methan liegt in den der Untersuchung zu Grunde liegenden Daten nicht vor und wird daher ausgeschlossen.

Projekt: **Exxon, 15507463**
Auftraggeber: **GBA Gesellschaft für Bioanalytik Hamburg mbH**
Probenart: Wasserprobe Probenahme: Auftraggeber
Laboreingang: 05.08.2015 - 14.08.2015 Analytikbeginn: 05.08.2015
Analytikende: 18.09.2015

Lab.- Nr.	Probenbezeichnung	Kohlenstoff 13 ($\delta^{13}\text{C-CH}_4$) ‰	Deuterium ($\delta^2\text{H-CH}_4$) ‰
274142	15507463-007	-87,5	-272
274143	15507463-008	-88,3	-272
274150	15507463-015	-93,3	-273
274151	15507463-016	-93,0	-254
274152	15507463-017	-94,4	-279
274554	15507463-028	-81,2	-280

E:\GBA Bioanalytik\Exxon-Projekt\Kurzbericht_Methanherkunft.doc

Projekt: Exxon, 15507463
Auftraggeber: GBA Gesellschaft für Bioanalytik Hamburg mbH

Prüfparameter

Prüfverfahren

Deuterium ($\delta^2\text{H-CH}_4$)Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (IRMS); bezogen auf VSMOW-Std.: $\pm 10 \text{ ‰}$ Kohlenstoff 13 ($\delta^{13}\text{C-CH}_4$)Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (IRMS); bezogen auf VPDB-Std.: $1\sigma \pm 1,5 \text{ ‰}$

Legende

*	Analytik in Kooperation mit akkreditiertem bzw. qualifiziertem Prüflabor
n.b.	nicht bestimmt, Konzentration zu gering
<	für Messungen radioaktiver Parameter Angabe der Nachweisgrenze, für alle anderen Messungen Angabe der Bestimmungsgrenze
-	nicht beauftragt
x	qualifiziertes Verfahren mit ausstehender Akkreditierung

Anmerkungen

Die Prüfergebnisse beziehen sich nur auf die Prüfgegenstände.

Auch eine auszugsweise Veröffentlichung von Prüfergebnissen bedarf der ausdrücklichen schriftlichen Genehmigung der Hydroisotop GmbH.

Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen der Hydroisotop GmbH.

Die Hydroisotop GmbH übernimmt keine Verantwortung für die Korrektheit von Probenahmen durch Dritte.

Dr. Eichinger
(Geschäftsführer)
23.09.2015

Teil 4 Anhang

4. Gutachten

Thema:

4.4.8 Hydrogeologie

4.4.8c Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Gutachter: Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Stand: 20.11.2015

ExxonMobil Production Deutschland GmbH
Frau Claudia Seifert
Riethorst 12

30659 Hannover

Bericht Nr. 15 – 23971

**Hydrogeologische Stellungnahme
zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller
Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt
„Erdöl aus Rühlermoor“**

vom

20. November 2015

I Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2 Projektunterlagen	5
3 Beschreibung des Vorhabens	6
4 Wärmetransportmechanismen	7
5 Numerisches Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodell	9
5.1 Modellvorstellung und -annahmen	9
5.2 Beschreibung des verwendeten Modells	10
5.2.1 Diskretisierung	11
5.2.2 Parameter für die Grundwasserströmung	12
5.2.3 Parameter für den Wärmetransport	14
5.2.4 Sensitivitätsanalyse	15
6 Simulation von potentiellen Wärmefahnen	20
6.1 Status Quo-Szenario	20
6.2 Prognose-Szenario	21
6.3 Szenario zur Reversibilität	22
7 Zusammenfassung	24
8 Literaturverzeichnis	26

II Anlagenverzeichnis

- 1 Lage des Modellgebietes und horizontale Modelldiskretisierung (M 1 : 10.000)
- 2 Berechnete Grundwassergleichen, oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (o. M.)
- 3 Berechnete Grundwassergleichen, unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (o. M.)
- 4 Dokumentation der Modellparameter
- 5 Sensitivitätsanalyse
- 6 Berechnete Wärmefahren beim Status Quo-Szenario, Modellschichten 1 und 5 (o. M.)
- 7 Berechnete Wärmefahren beim Prognose-Szenario, Modellschichten 1 und 5 (o. M.)
- 8 Berechnete Wärmefahren beim Szenario zur Reversibilität, Modellschichten 1 und 5 (o. M.)

III Abkürzungsverzeichnis

DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
HGWL	Hauptgrundwasserleiter
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
mNN	Meter bezüglich Normalnull
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die ExxonMobil Production Deutschland GmbH (EMPG), Hannover, beabsichtigt die Fortführung der Erdölförderung im Erdölfeld Rühlermoor, Landkreis Emsland. Zur Verbesserung der Ausbeute der in ca. 700 m Teufe befindlichen Erdöl-Lagerstätte soll durch die Erhöhung der Dampf-Injektionen weiter Öl aus der Lagerstätte gefördert werden und die Förderrate erhöht werden. In diesem Zusammenhang sind u.a. diverse Um- und Ausbauarbeiten, der Bau einer KWK-Anlage, das Abteufen weiterer Bohrungen sowie die Verlegung neuer Transportleitungen geplant.

Für das Gesamtprojekt soll ein bergrechtliches Genehmigungsverfahren einschließlich UVP durchgeführt werden. Im Zusammenhang mit der Erstellung der entsprechenden Unterlagen für die UVP sollen für das Erdölfeld Rühlermoor u.a. thermische Betrachtungen für die hydrogeologischen Standortverhältnisse angefertigt werden. Für einen ausgewählten Bereich des Feldes soll ein numerisches Prinzipmodell erstellt werden, mit dem exemplarisch der Wärmetransport im Umfeld von Dampfinjektions- und Produktionsbohrungen abgeschätzt werden soll. Hiermit soll eine Grundlage für die Bewertung der thermischen Beeinflussung des Grundwassers und der hieraus resultierenden Effekte auf die Beschaffenheit des Grundwassers geschaffen werden.

Mit Datum vom 28.01.2015 erhielt die Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, von der ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover, den Auftrag zur Anfertigung einer hydrogeologischen Stellungnahme zur Frage der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Bereich des Erdölfelds Rühlermoor. Der entsprechende Bericht wird hiermit vorgelegt.

2 Projektunterlagen

- /1/ Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Rühlermoor (Bericht 14 - 23862).- Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, 13. November 2015
- /2/ Gemessene Grundwasserstände und Ergebnisse der Grundwasseranalytik Rühlermoor. Prüfbericht-Nr.: 2015P512522/3, Pinneberg, GBA vom 29. Oktober 2015
- /3/ Dokumentation der hydrogeologischen Erkundungsarbeiten im Raum Rühlermoor / Apeldorn, Landkreis Emsland (Bericht 15 - 23970).- Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, 29. Oktober 2015
- /4/ Jahresbericht 2014/1. Halbjahr 2015 zur Beweissicherung im Rahmen der wasserrechtlichen Erlaubnis für ExxonMobil, Betriebsplatz Rühlermoor, Fugro Consult GmbH, Berlin vom August 2015
- /5/ Beratungsvorlage zur Festlegung des Untersuchungsrahmens für die Umweltverträglichkeitsstudie im bergrechtlichen Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung gem. § 52 Abs. 2a BBergG/Rahmenbetriebsplan Fortführung der Erdölförderung Emsland, ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover vom April 2014
- /6/ Diverse Unterlagen und Daten der ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover

3 Beschreibung des Vorhabens

Zur Verbesserung der Fließeigenschaften des Rohöls in der Lagerstätte wird im Erdölfeld Rühlermoor seit Beginn der 1980er Jahre Wasserdampf injiziert (Thermalförderung). Das erforderliche Wasser zur Dampferzeugung wird zurzeit dem Grundwasser entnommen. Die Kesselanlagen zur Dampferzeugung werden im Wesentlichen mit dem anfallenden Erdölgas befeuert. Die Versorgung mit elektrischer Energie für die Anlagen erfolgt aus dem öffentlichen Netz. Die Trennung von Rohöl, Lagerstättenwasser und Gas erfolgt im Feld auf der Station H mittels drei Separatoren und auf dem zentralen Betriebsplatz. Zur Druckerhaltung wird das vom Erdöl abgetrennte Wasser (Lagerstättenwasser) wieder in die gleiche Lagerstätte injiziert. Das Rohöl wird vom zentralen Betriebsplatz zur weiteren Verarbeitung über eine bestehende Rohöl-Transportleitung zur Raffinerie in Lingen transportiert.

Das Ziel des Vorhabens „Fortführung Erdölförderung Emsland“ ist eine Steigerung der Lagerstättenausbeute von derzeit ca. 25-30 % auf ca. 50-60 % in einem Zeitraum bis ca. 2045. Zur Entwicklung des Erdölfeldes Rühlermoor sind Neubohrungen und Rekomplettierungen vorhandener Produktionsbohrungen geplant. Ein Teil der bestehenden Bohrungen wird nicht weiter betrieben, sodass die Gesamtzahl der betriebenen Bohrungen nahezu unverändert bleibt /5/.

4 Wärmetransportmechanismen

Der Wärmetransport in einem Grundwasserleiter wird i.W. durch die folgenden Mechanismen beeinflusst:

- Ausbreitung durch Konvektion
- Vermischung durch Dispersion
- Wärmeleitung und Wärmeausgleich zwischen Grundwasser und Korngerüst
- Vertikale Wärmeaustauschprozesse.

Die Ausbreitung des Grundwassers und der darin enthaltenen Wärmeenergie erfolgt primär durch konvektiven Transport mit der Grundwasserströmung (erzwungene Konvektion). Für den konvektiven Wärmetransport sind die hydraulische Leitfähigkeit (Durchlässigkeit, in m/s) und der durchflusswirksame Hohlraumanteil (in %) entscheidend.

Der konvektive Transport ist stets mit einer Vermischung verbunden. Die Ursache dieser Vermischung ist die hydrodynamische Dispersion, welche aus der kombinierten Wirkung von korngerüstbedingter Dispersion infolge der tatsächlichen Strömung in den Porenkanälen sowie der Makrodispersion infolge des geologisch inhomogenen Aufbaus eines Grundwasserleiters entsteht. Die Wirkung der Dispersion besteht darin, vorherrschende Temperaturgradienten im Laufe der Zeit abzubauen und eine Vermischung hauptsächlich in Strömungsrichtung, aber auch in Querrichtung, herbeizuführen.

Bei der Wärmeausbreitung liefert in der Regel die Wärmeleitung einen wesentlichen Beitrag zur dispersiven Vermischung, der zusätzlich zur korngerüstbedingten Dispersion und Makrodispersion mit berücksichtigt werden muss.

Die konvektive Transportgeschwindigkeit für Wärme ist wesentlich kleiner als die für die Grundwasserströmung maßgebliche Abstandsgeschwindigkeit. Dies hat die

Ursache im Wärmeaustausch zwischen Grundwasser und Korngerüst. Eine Veränderung der Grundwassertemperatur zieht eine entsprechende Aufwärmung oder Abkühlung des durchflossenen Korngerüsts nach sich, was ein entsprechend langsames Fortschreiten einer Wärmefront im Untergrund bewirkt.

Neben der vorwiegend horizontal ausgerichteten Wärmeausbreitung durch Konvektion, Dispersion und Wärmeleitung im Grundwasserleiter findet auch in vertikaler Richtung ein Wärmetransport statt, welcher primär durch den Wärmeaustausch zwischen dem Grundwasser und der Atmosphäre geprägt wird.

5 Numerisches Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodell

Zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Bereich Rühlermoor wird eine numerische Grundwassermodellierung durchgeführt. Das Grundwassermodell ist ein Prinzipmodell [3], das für eine erste Einschätzung geohydraulischer Systeme und Prozesse gedacht ist und exemplarisch für einen repräsentativen Ausschnitt des Erdölfeldes aufgebaut wird.

5.1 Modellvorstellung und -annahmen

Im Modell wird die Wärmeausbreitung im Grundwasserleiter ausgehend von Dampfinjektionsbohrungen und Produktionsbohrungen betrachtet. Die Wärme wird in diesem Modellbeispiel über die Verrohrung eingetragen und breitet sich im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters, d. h. in den feinsandig- bis mittelsandig und z.T. grobsandig bis feinkiesig ausgeprägten pleistozänen Sanden aus (süßwassererfülltes Quartär, siehe /1/). Es wird exemplarisch ein Teilraum des Erdölfeldes betrachtet, der durch die Messstellen B4 und B5 hydrogeologisch vorerkundet wurde (**Anlage 1**). Der obere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters ist im Bereich der Bohrungen B4 und B5 ca. 20 m mächtig und erstreckt sich bis in eine Tiefe von ca. -4 mNN. Im Hangenden befinden sich Hochmoortorfe mit einer Mächtigkeit von ca. 4 m. Im Liegenden des oberen Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters stehen tonige bis schluffige Beckenablagerungen mit einer Mächtigkeit von ca. 2 m an. Der untere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters reicht von ca. -6 mNN bis in eine Tiefe von ca. -29 mNN.

Der Grundwasserstand an der Grundwassermessstelle B5 lag im Juli 2015 im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters bei +16,20 mNN und im unteren Abschnitt bei +16,23 mNN; für die nahegelegene Grundwassermessstelle B4 wurden Grundwasserstände von +16,18 mNN (oberer Abschnitt des HGWL) bzw. +16,20 mNN (unterer Abschnitt des HGWL) gemessen /1/. Der Grundwasserabstrom in diesem Gebiet erfolgt in westsüdwestliche Richtung /1/.

Bei der Dampfinkjektion werden Rohraußentemperaturen von $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwartet /6/. Insofern wird angenommen, dass im Nahbereich der jeweiligen Rohrtour (Durchmesser maximal ca. 0,4 m) Wasserdampf entsteht und Grundwasser mit einer maximalen Temperatur von $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ in einer Entfernung von wenigen Zentimetern von der Rohrtour vorhanden ist. Die Zellgröße für die Simulation der Rohrtour wurde daher mit $0,5\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ angesetzt. Die Durchlässigkeit (k_f -Wert = $1,0 \cdot 10^{-13}\text{ m/s}$) der Zelle wurde sehr klein gewählt, da die Rohrtour für das Grundwasser eine hydraulische Barriere darstellt und umflossen wird; die Temperatur der Zelle wurde mit $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ angesetzt. Die anfängliche Grundwassertemperatur beträgt in allen Zellen des Modells $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.2 Beschreibung des verwendeten Modells

Die Simulation der Grundwasserströmungs- und Wärmetransportverhältnisse wurde mit der langjährig bewährten Finite-Differenzen Grundwasser-Modellierungssoftware PROCESSING MODFLOW (Version 8.0.43) durchgeführt. Für die Strömungsberechnung wird die Software MODFLOW [13] des U.S. Geological Survey, für die Transportsimulation die Software MT3DMS eingesetzt. PROCESSING MODFLOW verknüpft die Strömungsmodellierungssoftware MODFLOW, das 'Particle-tracking'-Programm PMPATH zur Bahnlinienberechnung, das Programm PEST zur automatisierten Modellkalibrierung sowie die Stofftransportsoftware MT3DMS mit verschiedenen Prä- und Postprozessoren. Die einzelnen genannten Programmteile sind unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche verbunden.

Bei MODFLOW handelt es sich um eine Software zur dreidimensionalen Modellierung, mit der die Grundwasserströmung unter Berücksichtigung von Oberflächengewässern, Grundwasserneubildung, Evapotranspiration, Entnahme- und/oder Infiltrationsbrunnen, Dichtwänden sowie Drainagen simuliert werden kann. Das Programm ist anwendbar für gespanntes und freies Grundwasser sowie für die Kombination beider Zustände. Es können stationäre und instationäre Strömungsmodellierungen bei homogener oder

inhomogener bzw. isotroper oder anisotroper Durchlässigkeit durchgeführt werden. Die räumliche Diskretisierung erfolgt durch quaderförmige Elemente mit beliebig definierbarer Größe.

Die Stofftransportsoftware MT3DMS bietet verschiedene Verfahren zur Simulation des Transports wassergelöster Stoffe unter Berücksichtigung der Transportmechanismen Advektion, Dispersion und Diffusion sowie chemischer Reaktionen. Mit dem Modell können lineare und nichtlineare Gleichgewichts-Sorptions-Desorptions-Prozesse sowie der irreversible Abbau 1. Ordnung und Biodegradation nachgebildet werden.

Unter Vernachlässigung von Dichteeffekten beim Wärmetransport (temperaturabhängige Dichte, Viskosität etc.) kann MT3DMS zur Simulation des Wärmetransports von Fluiden im porösen Medium verwendet werden [7], [8]. Die mathematische Struktur der Differentialgleichungen für die reine Wärmeleitung entspricht der der Volumenströmung im porösen Medium nach Darcy. Analog entsprechen die Gleichungen des Wärmetransports mit dem Fluid und der Wärmeleitung innerhalb und zwischen den Medien dem des Stofftransports und des Stoffaustauschs. Damit können die analytischen und numerischen Lösungsansätze von Grundwasserströmung und -transport analog für den Wärmetransport verwendet werden.

Nähere Einzelheiten zur Anwendung von PROCESSING MODFLOW sind in [16] aufgeführt.

5.2.1 Diskretisierung

Das vorliegende Modell besteht aus einem horizontalen Modellnetz von 415 x 354 Zellen und hat eine Größe von 600 m x 600 m. Die Fläche des aktiven Bereiches beträgt 0,36 km². Die Lage des Modellgebietes und die horizontale Modelldiskretisierung sind in **Anlage 1** dargestellt. Die Maschenweite des Modellgitters im äußeren Modellgebiet beträgt 4 m x 4 m. Im Bereich der simulierten Produktions- und Dampfinjektionsbohrungen beträgt die Maschenweite 0,5 m x 0,5 m, um eine

detailliertere Darstellung des Standrohrs (Durchmesser ca. 0,41 m /6/) sowie der potentiellen Wärmefahne zu gewährleisten. Aufgrund der Dimensionierung der Modellzelle ist die Außenfläche größer als bei der Rohrtour d. h. bei der Simulation erfolgt ein höherer Wärmeeintrag.

Um auch eine vertikale Ausbreitung der Wärmefahne simulieren zu können, erfolgte die Diskretisierung des Modellgebietes beim Modellaufbau dreidimensional (6-Schichten-Modell). Insgesamt resultiert aus der Diskretisierung des Berechnungsraumes ein Modellgitter aus 415 Spalten, 354 Zeilen und 6 Modellschichten (881.460 Zellen). Der Eintrag der Wärme erfolgt entlang der Bohrungsverrohrung d.h. modelltechnisch in einer Zelle und erstreckt sich vertikal von der obersten bis zur untersten Modellschicht (Modellschicht 1 bis 6).

5.2.2 Parameter für die Grundwasserströmung

Bei dem vorliegenden Strömungsmodell orientiert sich die Definition der Randbedingungen für das Betrachtungsgebiet, ähnlich wie die Wahl der horizontalen Modellberandungen, an dem Systemzustand, der durch die in /1/ ermittelten Grundwasserströmungsverhältnisse im Juli 2015 vorgegeben ist. Die Zuordnung der Modellschichten orientiert sich am Aufbau des Grundwasserleiters anhand der Ergebnisse der im Juni 2015 abgeteufte Bohrungen B4 und B5 /3/. Die Begrenzungen des Berechnungsgebietes sind in **Anlage 1** dargestellt.

In der ersten Modellschicht wird das Grundwasserströmungsmodell am ONO-Rand von der +16,243 mNN- Potentiallinie bzw. am WSW-Rand der +16,14 mNN- Potentiallinie des Grundwassergleichenplans /1/ begrenzt (**Anlage 2**). Hierbei handelt es sich um Festpotentialränder (Dirichlet-Randbedingung); über diese Teilstrecken werden während der Modellberechnungen konstante Wasserstände simuliert. Die Modellgrenzen zwischen diesen Festpotentialrändern wurden senkrecht zu den Isohypsen des Grundwassergleichenplans angelegt. Sie folgen somit einer Bahnlinie, so dass in diesen Bereichen kein Wasseraustausch über den Modellrand erfolgt

(undurchlässiger Rand, Neumann-Randbedingung). In der zweiten Modellschicht wurde allseitig eine undurchlässige Modellberandung gewählt, weil diese Schicht geringdurchlässige Sedimente repräsentiert, die i. W. nur vertikal durchströmt werden. Der Verlauf der Modellberandungen in den Modellschichten 3 bis 6 gleicht dem Verlauf in der Modellschicht 1. Das Grundwasserpotential am ONO-Rand beträgt +16,286 mNN und am WSW-Rand +16,145 mNN (**Anlage 3**).

Wie **Anlage 2** und **3** zeigen, ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Grundwasserständen (Messstellen B4 und B5).

Die Systemeigenschaften und ihre räumliche Verteilung beeinflussen das hydraulische Verhalten des Grundwassersystems. Nach dem Aufbau des Modellgitters wurden den einzelnen Zellen die Parameter zugeordnet, die zum Lösen der Strömungsgleichung notwendig sind. Folgende Daten gehen in das Strömungsmodell ein:

- Geologie in Form von Schichtobergrenzen und Schichtuntergrenzen
- Systemparameter der verschiedenen geologischen Schichten (k_f -Werte, effektive Porositäten)

Neben den Randbedingungen stellt der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) einen der wichtigsten Eingabeparameter bei der Grundwasserströmungsmodellierung dar. Er ist definiert als der Quotient aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Standrohrspiegelgefälle und übt somit erheblichen Einfluss auf das Fließregime aus. Der k_f -Wert ist eine tensorielle Größe. Infolge der Sedimentschichtung in grundwasserführenden Horizonten ist die vertikale Durchlässigkeit in der Regel kleiner als die horizontale. In Modellanwendungen sind Anisotropiefaktoren zwischen horizontalem und vertikalem k_f -Wert in einer Größenordnung zwischen 1 und 1.000 üblich. Den Sedimenten wurden aufgrund der im Betrachtungsgebiet vorliegenden Schichtenverzeichnisse von Bohrungen Durchlässigkeitsbeiwerte zugeordnet.

Neben dem Durchlässigkeitsbeiwert ist die effektive Porosität eine weitere bestimmende hydraulische Größe, die vor allem für die Berechnung der Fließzeiten des Grundwassers von Bedeutung ist. Die effektive Porosität definiert die Größe des zusammenhängenden Porenraumes, der an der Wasserbewegung beteiligt ist. Für das Grundwasserströmungsmodell wurden die effektiven Porositäten aus den petrographischen Angaben der niedergebrachten Bohrungen B4 und B5 abgeleitet. Bei den Werten handelt es sich um Annahmen, die sich auf Literaturangaben stützen [9], [15]. Eine tabellarische Zusammenfassung der zugewiesenen Parameter für die einzelnen Modellschichten findet sich in **Anlage 4**.

Die Grundwasserneubildung wurde aufgrund der flächenhaften Überdeckung durch Hochmoortorfe im Gebiet des Prinzipmodells vernachlässigt.

5.2.3 Parameter für den Wärmetransport

Nach dem Aufbau des Grundwasserströmungsmodells wurden die Randbedingungen und Parameter für den Wärmetransport definiert. Für den ONO-Rand (Grundwasseranstrom) wurde in den Modellschichten 1, 3, 4, 5 und 6 eine konstante Temperatur definiert (Dirichlet-Randbedingung). Die anfängliche Grundwassertemperatur (T_u) beträgt hier wie in allen Zellen des Modells 12 °C. In diesem vereinfachten, kleinräumigen Prinzipmodell wurden für alle Modellschichten identische Parameter für den Wärmetransport gewählt. Eine Zusammenfassung aller Modellparameter befindet sich in der **Anlage 4**.

Für die Simulation des Wärmetransports wurde basierend auf den Angaben der VDI Richtlinie 4640 [18] (wassergesättigter Sand) eine volumetrische Wärmekapazität (c_p) von $2,5 \cdot 10^6 \text{ J/(m}^3 \text{ K)}$ und eine Wärmeleitfähigkeit (λ) von $2,4 \text{ W/(m K)}$ verwendet. Der thermische Diffusionskoeffizient, die Temperaturleitfähigkeit (a), wurde mit $0,96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ angesetzt.

Im Gegensatz zur Diffusion ist die Dispersivität richtungsabhängig und liegt in Porengrundwasserleitern (Sande und Kiese) i.a. im Bereich von 0,1 m bis 100 m [5], [17]. In Richtung der Grundwasserfließrichtung (longitudinale Dispersivität, α_L) ist die Dispersion stärker ausgeprägt als senkrecht (transversale Dispersivität, α_{Th}) bzw. (vertikale Dispersivität, α_{Tv}) dazu. Beim vorliegenden Prinzipmodell wurde aufgrund der kleinräumigen Betrachtung und unter Berücksichtigung der Gitter-Peclet-Zahl, zur Vermeidung von numerischer Dispersion und Oszillationen, eine longitudinale Dispersivität (α_L) von 0,5 m verwendet. Über die Größe der transversalen und vertikalen Dispersivität ist weniger bekannt; Beobachtungen bei Tracerstudien weisen aber auf eine Größenordnung von 10 % bzw. 1 % der longitudinalen Dispersivität hin [4], [1]. Bei den Modellrechnungen wurden daher Werte von 0,05 m genutzt.

5.2.4 Sensitivitätsanalyse

Die aus der Simulation des Wärmetransports abgeleiteten Aussagen sind mit Unsicherheiten behaftet. Diese resultieren aus den z. T. schon mit Unsicherheiten belegten Modelleingangsdaten (z. B. Dispersion, Temperaturleitfähigkeit etc.). Um die Relevanz der Unsicherheiten einer Modellanwendung bewerten zu können, finden hauptsächlich drei Methoden Anwendung:

1. Sensitivitätsuntersuchungen
2. Szenarientechnik bzw. Parameterstudien (z. B. worst case - Studie)
3. Stochastische Modellierungen (z. B. Monte-Carlo-Methode)

Im vorliegenden Fall sollen die Unsicherheiten und Annahmen in den Modellaussagen unter Einsatz der ersten Methode bewertet werden. Grundlage für die vorliegende Sensitivitätsanalyse ist das kalibrierte Wärmetransportmodell.

Zur Erkundung der Sensitivität der Eingangsparameter der Wärmetransportmodellierung wird der Einfluss der Änderung einzelner, mit Unsicherheiten behafteter

Parameter auf das Modellergebnis systematisch untersucht. Zu diesem Zweck werden die betrachteten Modellparameter innerhalb plausibler Wertebereiche variiert.

Im vorliegenden Fall wurde eine Sensitivitätsuntersuchung für folgende vier Modellparameter durchgeführt:

1. Bodendichte (ρ_b)
2. Verteilungskoeffizient (K_d)
3. Temperaturleitfähigkeit (a)
4. Dispersivität (α_L)

Als Ausgangsszenario der Sensitivitätsuntersuchungen wurde in vereinfachender Weise eine Injektionsbohrung mit einer Temperatur im Grundwasserkontakt von 100 °C über einen Zeitraum von 30 Jahren simuliert. Die resultierende Flächengröße des Temperaturbereiches oberhalb von 20 °C ist der **Anlage 5** zu entnehmen. Die Fläche beträgt in der Modellschicht 1 ca. 862 m² und in der Modellschicht 5 ca. 106 m². Die Sensitivitätsanalyse stützt sich daher primär auf die Ergebnisse der Modellschicht 1, da hier die Auswirkungen der Änderung der Parameter aufgrund der geringeren Abstandsgeschwindigkeit und der größeren Fläche deutlich erkennbar sind.

Die Variation der einzelnen Parameter erfolgt i. W. auf Basis der in [18], Tabelle 1 dargestellten Berechnungsgrundlagen. Für die Bewertung der Sensitivität der einzelnen Modellparameter wurde die jeweilige ermittelte Fläche der Wärmefahne des Temperaturbereiches oberhalb von 20 °C ins Verhältnis zum variierten Parameter gesetzt. Ausgehend von dem o. g. Ausgangsszenario wurde jeder Parameter flächenhaft über das gesamte Modellgebiet in mehreren Schritten nach oben bzw. unten variiert und je ein Rechenlauf ausgeführt. Die Ergebnisse der Rechenläufe wurden durch die Gegenüberstellung der Flächengröße der Wärmefahne >20 °C in Abhängigkeit von der Änderung der Modellparameter ausgewertet. **Anlage 5** stellt die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen in graphischer und tabellarischer Form dar.

Entscheidend für den Einfluss eines Parameters auf die Modellaussage ist die Größe der Abweichung der Flächengröße der Wärmefahne von der des Ausgangsszenarios. Durch die oben beschriebene Methode lassen sich sensitive von wenig sensitiven Parametern unterscheiden. Ein Modellparameter erweist sich als besonders sensitiv für das Modellergebnis, wenn aus geringfügigen Änderungen des Modellparameters vergleichsweise große Abweichungen vom Ausgangszustand resultieren. Wenig sensitive Parameter können hingegen über große Wertebereiche variiert werden, ohne dass sich die Flächengröße der Wärmefahne merklich verändert.

Bodendichte

Die Bodendichte berechnet sich aus der Dichte von Quarzsand und der Dichte von Wasser unter Berücksichtigung der Porosität und wurde mit 2.314 kg/m^3 angesetzt. Durch Variation der Porosität ergibt sich die in **Anlage 5** dargestellte Bandbreite der Bodendichte. **Anlage 5** zeigt, dass sich bei einer Verringerung der Bodendichte auf 2.150 kg/m^3 bzw. ca. 93 % des Ausgangswertes die Flächengröße der Wärmefahne in der Modellschicht 1 um ca. 39 m^2 bzw. 4,6 % erhöht. Bei einer Erhöhung der Bodendichte auf 2.479 kg/m^3 bzw. ca. 107 % des Ausgangswertes verringert sich die Flächengröße der Wärmefahne oberhalb von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ um ca. 37 m^2 bzw. 4,3 %. Für die Modellschicht 5 ergibt sich bei einer Verringerung bzw. Erhöhung in der gleichen Größenordnung eine maximale Abweichung der Flächengrößen von ca. 1 m^2 bzw. weniger als 1 %. Das Gesamtsystem reagiert somit sensitiv auf Änderungen der Modellwerte für die Bodendichte. Die Bodendichte ist durch Literaturwerte gut belegt.

Verteilungskoeffizient

Der Verteilungskoeffizient berechnet sich aus der spezifischen Wärmekapazität von Sand und der spezifischen Wärmekapazität und Dichte von Wasser. Die Variation des Verteilungskoeffizienten ergibt sich aus der Variation der spezifischen Wärmekapazität von Sand. **Anlage 5** zeigt, dass sich bei einer Verringerung des Verteilungskoeffizienten auf minimal $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ bzw. 85 % des Ausgangswertes die

Flächengröße der Wärmefahne in der Modellschicht 1 um ca. 81 m² bzw. ca. 9,4 % verringert. Bei einer Erhöhung des Verteilungskoeffizienten auf maximal $2,7 \cdot 10^{-4}$ m³/kg bzw. 135 % des Ausgangswertes verringert sich die Fläche der Wärmefahne >20 °C um ca. 147 m² bzw. ca. 17,1 %. In der Modellschicht 5 liegen die Abweichungen in der Flächengröße bei maximal ca. 1 m² bzw. unterhalb von 1 % und sind als gering einzustufen. Das Gesamtsystem reagiert insofern sensitiv auf Änderungen der Modellwerte für den Verteilungskoeffizienten. Der Verteilungskoeffizient bzw. die zugrunde liegenden Werte sind durch Literaturangaben gut belegt.

Temperaturleitfähigkeit

Die Temperaturleitfähigkeit ist der Quotient aus der Wärmeleitfähigkeit und der volumenbezogenen spezifischen Wärmekapazität (Tabelle 1, [18]). Durch Modifikation der volumenbezogenen spezifischen Wärmekapazität ergibt sich die in **Anlage 5** dargestellte Bandbreite der Temperaturleitfähigkeit. **Anlage 5** zeigt, dass sich bei einer Verringerung der Temperaturleitfähigkeit auf minimal $0,7 \cdot 10^{-6}$ m²/s bzw. ca. 73 % des Ausgangswertes die Flächengröße der Wärmefahne in der Modellschicht 1 um ca. 182 m² bzw. ca. 21,1 % verringert. Erhöht man die Temperaturleitfähigkeit auf maximal $1,3 \cdot 10^{-6}$ m²/s bzw. auf ca. 135 % des Ausgangswertes, erhöht sich die Fläche der Wärmefahne >20 °C um ca. 266 m² bzw. ca. 30,9 %. In der Modellschicht 5 liegen die Abweichungen der Flächengröße bei einer Verringerung der Temperaturleitfähigkeit ca. 73 % des Ausgangswertes bei ca. 30 m² bzw. 28,4 %. Bei einer Erhöhung der Temperaturleitfähigkeit auf ca. 135 % des Ausgangswertes erhöht sich die Fläche der um ca. 53 m² bzw. 50 %. Das Gesamtsystem reagiert somit sensitiv auf Änderungen der Modellwerte für die Temperaturleitfähigkeit. Die Temperaturleitfähigkeit ist durch Literaturwerte gut belegt.

Dispersivität

Die Dispersion ist skalenabhängig und weist in der Literatur eine große Bandbreite an Werten auf [5], [17]. Die longitudinale Dispersivität stützt sich im vorliegenden Fall auf [11], [7], [8] und beträgt 0,5 m. **Anlage 5** zeigt, dass sich bei einer Verringerung der longitudinalen Dispersivität auf minimal 0,05 m bzw. 10 % des Ausgangswertes in der Modellschicht 1 die Flächengröße der Wärmefahne um ca. 5 m² bzw. ca. 0,6 % verringert. Erhöht man die longitudinale Dispersivität auf 5 m bzw. 1.000 % des Ausgangswertes, vergrößert sich die Fläche der Wärmefahne >20°C um 58 m², bzw. 6,8 %. In der Modellschicht 5 führt eine Verringerung der longitudinalen Dispersivität zu keinen nennenswerten Änderungen der Flächengröße der Wärmefahne. Bei einer Erhöhung der longitudinalen Dispersivität auf 5 m bzw. 1.000% des Ausgangswertes vergrößert sich die Fläche der Wärmefahne um ca. 27 m² bzw. 25,0 %.

Im Fazit ergeben sich somit hohe Sensitivitäten für die Parameter, die durch Literaturangaben gut belegt sind. Unsicherheiten bei der durch Literaturdaten weniger gut belegten Dispersivität führen zu deutlich geringeren Einflüssen auf das Modellergebnis.

6 Simulation von potentiellen Wärmefahnen

Basierend auf den Angaben der ExxonMobil Production Deutschland GmbH wurden mehrere Simulationsrechnungen mit dem numerischen Prinzipmodell durchgeführt.

6.1 Status Quo-Szenario

In einer ersten Berechnung soll die Wärmeausbreitung ausgehend von drei Dampfinkjektionsbohrungen sowie von fünf Produktionsbohrungen über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet werden. Hierbei wird für die Dampfinkjektionsbohrungen von einer Temperatur im Grundwasserkontakt von 100 °C ausgegangen; für die Produktionsbohrungen wird eine Temperatur von 20 °C berücksichtigt. Die Rohrtour wird jeweils in den Modellschichten 1 bis 6 simuliert. Dies Szenario entspricht etwa dem Status Quo der Thermalförderung im Bereich Rühlermoor.

Wie in **Anlage 6** dargestellt, entwickeln sich in der Modellschicht 1 deutliche Wärmefahnen im Umfeld der drei simulierten Dampfinkjektionsbohrungen. Nach einer Laufzeit von 30 Jahren zeigen die 15°C-Isothermen eine Ausdehnung der Wärmefahnen von ca. 60 m in Fließrichtung und von ca. 50 m in der Breite. Aufgrund der relativ geringen Abstandsgeschwindigkeit im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zeigt die Wärmefahne keine ausgeprägte Erstreckung in der Grundwasserfließrichtung. Der Hauptteil der Wärmefahne zeigt Wassertemperaturen kleiner als 30 °C und lediglich ein sehr kleiner Anteil im Nahbereich der Rohrtour zeigt Temperaturen über 40 °C. Die Wärmefahnen an den fünf simulierten Produktionsbohrungen sind wesentlich kleiner und die 15°C-Isothermen zeigen eine maximale Ausdehnung von ca. 5 m in der Breite sowie in der Länge (Modellschicht 1).

Im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Modellschicht 5) zeigen die simulierten Wärmefahnen eine andere Form (**Anlage 6**). Aufgrund der höheren Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ist eine deutliche Auslängung der Wärmefahnen zu erkennen. An den Dampfinkjektionsbohrungen zeigen die

15°C-Isothermen nach einer Laufzeit von 30 Jahren eine Ausdehnung der Wärmefahnen von ca. 155 m in Längsrichtung und von ca. 15 m in der Breite. Die Wassertemperaturen in den Wärmefahnen sind kleiner als im oberen Abschnitt und nur ein kleinräumiger Bereich zeigt Temperaturen über 20 °C. Die Wärmefahnen im Umfeld der Produktionsbohrungen sind klein und die 15°C-Isothermen zeigen einen Durchmesser von ca. 2 m.

6.2 Prognose-Szenario

In einer zweiten Berechnung soll die Ausbreitung der Wärmefahnen bei der geplanten Intensivierung der Thermalförderung im Bereich des Erdölfeldes Rühlermoor simuliert werden. Es wird angenommen, dass sich die Rohrtouren der Produktionsbohrungen aufgrund der erhöhten Dampfinjektion ebenfalls erwärmen; d.h. für die Produktionsbohrungen wurde wie bei den Dampfinjektoren eine Temperatur im Grundwasserkontakt von 100 °C simuliert. Zusätzlich wurde an einer Dampfinjektionsbohrung (RLMR50) eine thermische Vorbelastung angenommen. Hier wurde zum Simulationsstart eine Wärmefahne vorgegeben wie sie sich nach einer Laufzeit von 10 Jahren einstellen würde (siehe Status Quo-Szenario, **Anlage 6**).

Um kumulative Effekte durch die Überlagerung von Wärmefahnen zu simulieren wurden Wärmefahnen, die über den WSW-Rand herauslaufen wieder als Wärme-Input am ONO-Rand in das Prinzipmodell eingetragen.

Die Darstellung der Simulationsergebnisse in der Modellschicht 1 (**Anlage 7**) zeigen nach einer Laufzeit von 10 Jahren die Entwicklung von Wärmefahnen an allen Dampfinjektions- bzw. Produktionsbohrungen. Aufgrund der thermischen Vorbelastung im Bereich der Dampfinjektionsbohrung RLMR50 ist die berechnete Wärmefahne größer als bei den anderen Rohrtouren. Im weiteren Verlauf der Simulation kommt es aufgrund der Nähe der Bohrungen RLMR50 und RLMR801 zu einer Überlagerung der Wärmefahnen und die 15°C-Isotherme umschließt beide Rohrtouren. Nach einer

Laufzeit von 30 Jahren zeigen die 15°C-Isothermen der anderen Bohrungen eine Ausdehnung der Wärmefahnen von ca. 60 m in Fließrichtung und von ca. 50 m in der Breite. Die Wärmefahnen zeigen hauptsächlich Wassertemperaturen kleiner als 30 °C und lediglich ein sehr kleiner Anteil im Nahbereich der Rohrtouren zeigt Temperaturen über 40 °C.

Die Simulationsergebnisse der Modellschicht 5 (**Anlage 7**) zeigen eine vergleichbare Entwicklung wie beim Status Quo-Szenario. Die berechneten Wärmefahnen zeigen eine deutliche Auslängung in der Fließrichtung und es kommt zu Überlagerungen der Wärmefahnen. Wie bereits im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zeigt sich die Überlagerung zuerst im Bereich der Bohrungen RLMR50 und RLMR801 und die 15°C-Isotherme umschließt nach 30 Jahren mehrere Rohrtouren zu einer gemeinsamen Wärmefahne. Bei den 20°C-Isothermen der Wärmefahnen kommt es zu keiner Überlagerung zwischen den Rohrtouren. Aufgrund von kleinen Temperaturüberlagerungen (<3 °C) zeigen die Wärmefahnen der Bohrungen RLMR414 und RLMRH25 eine etwas größere Ausdehnung (Fahnenlänge ca. 175 m) als beim Status Quo-Szenario.

6.3 Szenario zur Reversibilität

Mit dem vorliegenden Szenario wurde simuliert, wie sich die Wärmefahnen entwickeln, wenn über die Verrohrung kein weiterer Wärmeeintrag in den Grundwasserleiter erfolgt. Als Ausgangssituation der Wärmeverteilung wurde das Simulationsergebnis aus dem Prognose Szenario nach einer Laufzeit von 30 Jahren (**Anlage 7**) angesetzt. In vereinfachender Weise wurde in diesem Szenario ein Grundwasserzufluss mit einer Temperatur von 12 °C zugrunde gelegt.

Wie in **Anlage 8** für die Modellschicht 1 dargestellt, zeigen die von den 15°C-Isothermen begrenzten Wärmefahnen nach einer Laufzeit von 10 Jahren eine Ausbreitung der Fahnenfläche, aber aufgrund des fehlenden Wärmeeintrags über die

Rohrtour sind die maximalen Grundwassertemperaturen kleiner als 30 °C. Es ist ebenfalls zu erkennen, dass sich die berechneten Wärmefahnen in Fließrichtung des Grundwassers verlagern. In den nachfolgenden Darstellungen zeigt sich die weitere Verlagerung der Wärmefahnen und nach einer Laufzeit von 30 Jahren sind die maximalen Grundwassertemperaturen kleiner als 20 °C.

Im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Modellschicht 5) zeigt die 15°C-Isotherme nach einer Laufzeit von 10 Jahren eine Abnahme der Flächenausdehnung der simulierten Wärmefahnen (**Anlage 8**). Ohne den Wärmeeintrag über die Rohrtour haben sich die kleineren Wärmefahnen soweit abgekühlt, dass die Grundwassertemperaturen weniger als 15 °C betragen. Lediglich im Bereich der früheren Überlagerung von Wärmefahnen zeigt die 15°C-Isotherme eine bestehende Wärmefahne. Aufgrund der höheren Fließgeschwindigkeit im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zeigt sich nach 10 Jahren bereits eine deutliche Verlagerung der Wärmefahne. Nach einer Laufzeit von 20 Jahren hat sich die Wärmefahne soweit verschoben, dass nur noch ein kleiner Teil im Bereich des Prinzipmodells liegt. Nach 30 Jahren liegt die Wärmefahne außerhalb des Modellgebietes.

7 Zusammenfassung

Für einen ausgewählten Bereich des Erdölfeldes Rühlermoor wurde ein numerisches Prinzipmodell aufgebaut, um die Ausdehnung von potentiellen Wärmefahnen ausgehend von Dampfunktions- und Produktionsbohrungen zu simulieren. Für die Darstellung wurden numerische Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodellierungen durchgeführt und drei verschiedene Szenarien betrachtet:

- Status Quo-Szenario
- Prognose-Szenario
- Szenario zur Reversibilität

Mit dem Status Quo-Szenario wurden die Wärmeausbreitung ausgehend von Dampfunktionsbohrungen und Produktionsbohrungen simuliert. Es zeigt sich ein thermischer Einfluss auf das Grundwasser und nach einer Laufzeit von 30 Jahren beträgt die Ausdehnung der Wärmefahnen im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Modellschicht 1) ca. 60 m in der Fließrichtung und ca. 50 m in der Breite. Im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Modellschicht 5) zeigen die 15°C-Isotherme der Wärmefahnen eine Ausdehnung von ca. 155 m in der Länge und ca. 15 m in der Breite.

Im Prognose-Szenario wurde eine Intensivierung der Thermalförderung simuliert und es zeigen sich an allen Dampfunktions- bzw. Produktionsbohrungen Wärmefahnen. Nach einer Laufzeit von 30 Jahren zeigen die Wärmefahnen hauptsächlich Grundwassertemperaturen kleiner als 30 °C und lediglich ein sehr kleiner Anteil im jeweiligen Nahbereich der Rohrtour zeigt Temperaturen über 40 °C. Im Zuge der Intensivierung der Thermalförderung mit Dampfunktionsen wird der thermisch beeinflusste Grundwasserraum im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters größer und es zeigen sich Überlagerungen der Wärmefahnen; die 15°C-Isotherme umschließt mehrere Bohrungen. Bei den 20°C-Isothermen der Wärmefahnen kommt es zu keiner Überlagerung zwischen den Rohrtouren. Basierend auf den Ergebnissen

des Prognose-Szenarios kann eine Abschätzung der thermisch beeinflussten Flächen erfolgen.

Beim dritten Szenario wurde die Reversibilität bei der Einstellung des Wärmeintrags über die Rohrtour simuliert. Die Simulationsergebnisse zeigen eine Größenabnahme der Wärmefahnen über die Zeit sowie eine Verlagerung mit der Grundwasserfließrichtung. Nach einer Laufzeit von 30 Jahren sind die maximalen Grundwassertemperaturen kleiner als 20 °C. Die Grundwassererwärmung ist grundsätzlich reversibel.

Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Dr. Udo Schmidt

Dipl.-Geol. Olaf Scholze

8 Literaturverzeichnis

- [1] Appelo, C. A. J, Postma, D (2010) Geochemistry, groundwater and pollution, 2nd edition, A. A. Balkema Publishers, 649 S.
- [2] Boudreau, B. P. (1997) Diagenetic Models and Their Implementation. Springer-Verlag.
- [3] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) (2004) Arbeitsblatt W 107, Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten (Technische Regel)
- [4] Gelhar, L. W. (1997) Perspectives on field-scale application of stochastic subsurface hydrology. In Dagan, G. und Neuman, S.P. (eds): Subsurface flow and transport: a stochastic approach, S. 157-176, Cambridge Univ. Press.
- [5] Gelhar, L. W., Mantoglou, A., Welty, C., Rehfeldt, K.R. (1985) Review of field-scale physical solute transport processes in saturated an unsaturated porous media. Research project 2485-5, EPRI EA-4190, Electric Power Research Institute Palo Alto Cal., 116 S.
- [6] Griebler, C., Kellerman, C., Stumpp C., Hegler, F. (2015) Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung . Umweltbundesamt. 156 S.
- [7] Hecht-Méndez, J., Molina-Giraldo, N., Blum, P., Bayer, P., (2010) Evaluating MT3DMS for heat transport simulation of closed geothermal systems. Ground Water 48(5), 741-756.
- [8] Hecht-Méndez, J., Molina-Giraldo, N., Blum, P., Bayer, P. (2010) Use of MT3DMS for heat transport simulation of shallow geothermal systems. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia
- [9] Hölting, B. & Coldewey, W. G. (2009) Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- Springer, Heidelberg, 7. Aufl., 383 S.

- [10] Kinzelbach W. & Rausch R. (1995) Grundwassermodellierung – Eine Einführung mit Übungen. 283 S., Gebrüder Bornträger.
- [11] Kobus, H. & Mehlhorn, H. (1980) Beeinflussung von Grundwassertemperaturen durch Wärmepumpen. gwf-wasser / abwasser 121 (6), 261-268.
- [12] Langguth, H.-R. & Voigt, R. (2004) Hydrogeologische Methoden, 2. Auflage. 1005 S., Springer Verlag.
- [13] McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W. (1988) MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875.
- [14] Neuß, M. & Dörhöfer, G. (2009) GeoFakten 8: Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen. LBEG, Hannover, 9 S.
- [15] Prinz, H. (1997) Abriß der Ingenieurgeologie mit Grundlagen der Boden- und Felsmechanik, des Erd-, Grund- und Tunnelbaus sowie der Abfalldeponien.- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 3. neu bearb. u. erw. Auflage, 546 S.
- [16] Simcore Software (2012) Processing Modflow - An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and Reactive Processes, 419 S. Online im Internet: <http://www.simcore.com/download>
- [17] Spitz, K. & Moreno, J. (1996) A practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling.- J. Wiley & Sons, Inc., New York, 1996, 461 S.
- [18] Verein Deutscher Ingenieure (2010) VDI Richtlinie 4640, Blatt 1, Thermische Nutzung des Untergrunds – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 33 S.
- [19] Zheng, C. (2010) MT3DMS v5.3 Supplemental User's Guide, Technical Report to the U.S. Army Engineer Research and Development Center, Department of Geological Sciences, University of Alabama, 51 S.



LEGENDE:

- Projektbestandteil A
- Grundwassermessstellengruppe
- Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- Festpotentialrand (Dirichlet-Rand)
- Modellzellen
- undurchlässiger Rand

RLMR_Facility

Temperatur

- SI
- kalt
- warm

Ingenieurgesellschaft
Dr. SCHMIDT
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 15 - 23971 Verzeichnis: R:2015_Proj15-23971CAD

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt:	Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt "Erdöl aus Rührlermoor"	Bearbeiter:	OS	Anlage:	1
		Zeichner:	SW	Datum:	17.11.2015
		Maßstab:	1 : 10 000		

Darstellung:

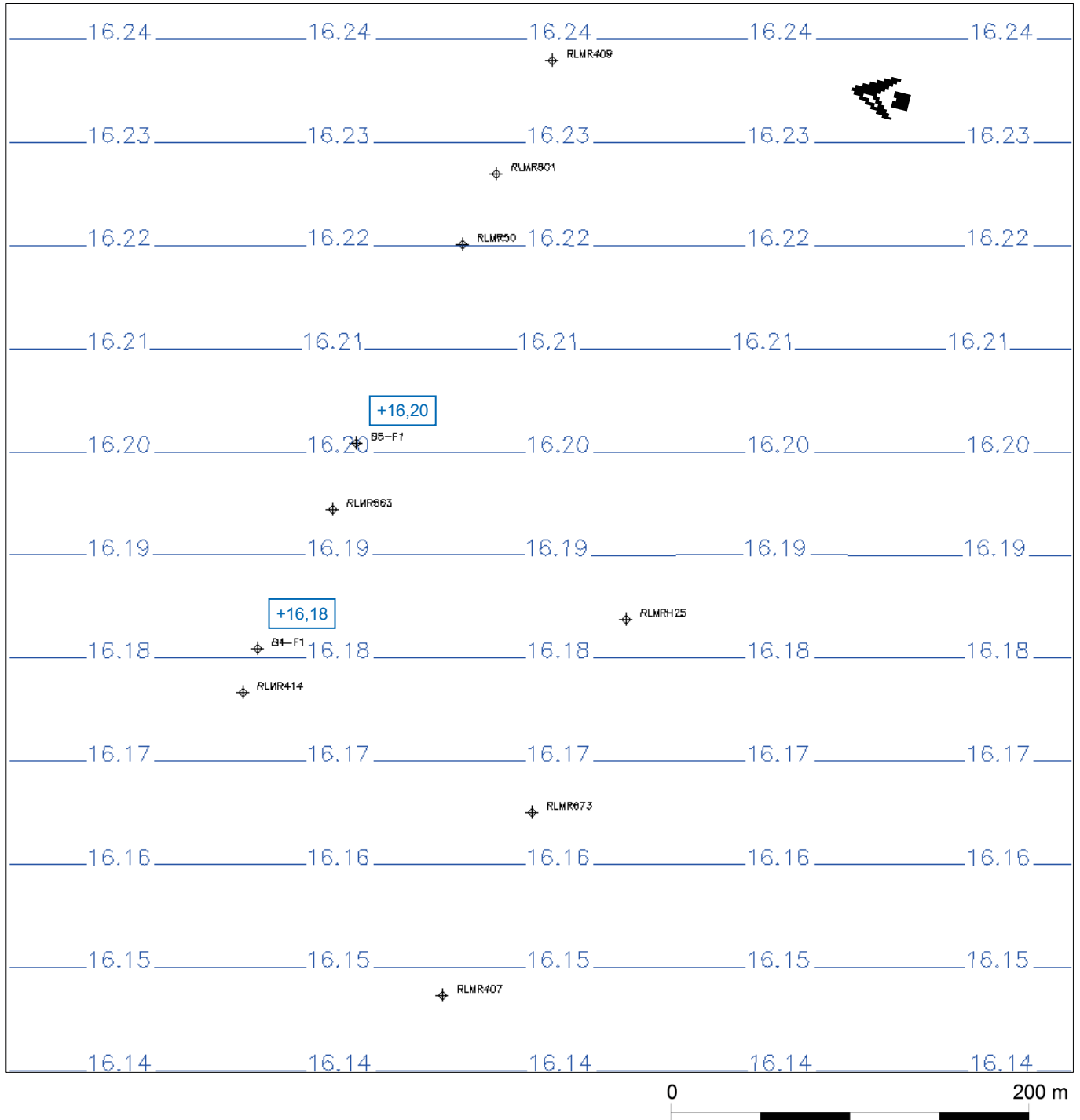
Lage des Modellgebietes und horizontale Modelldiskretisierung

Anlage 2

**Berechnete Grundwassergleichen,
oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (o. M.)**

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Grundwassergleichen, oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters



Grundwassergleichen [mNN]; Modellschicht 1

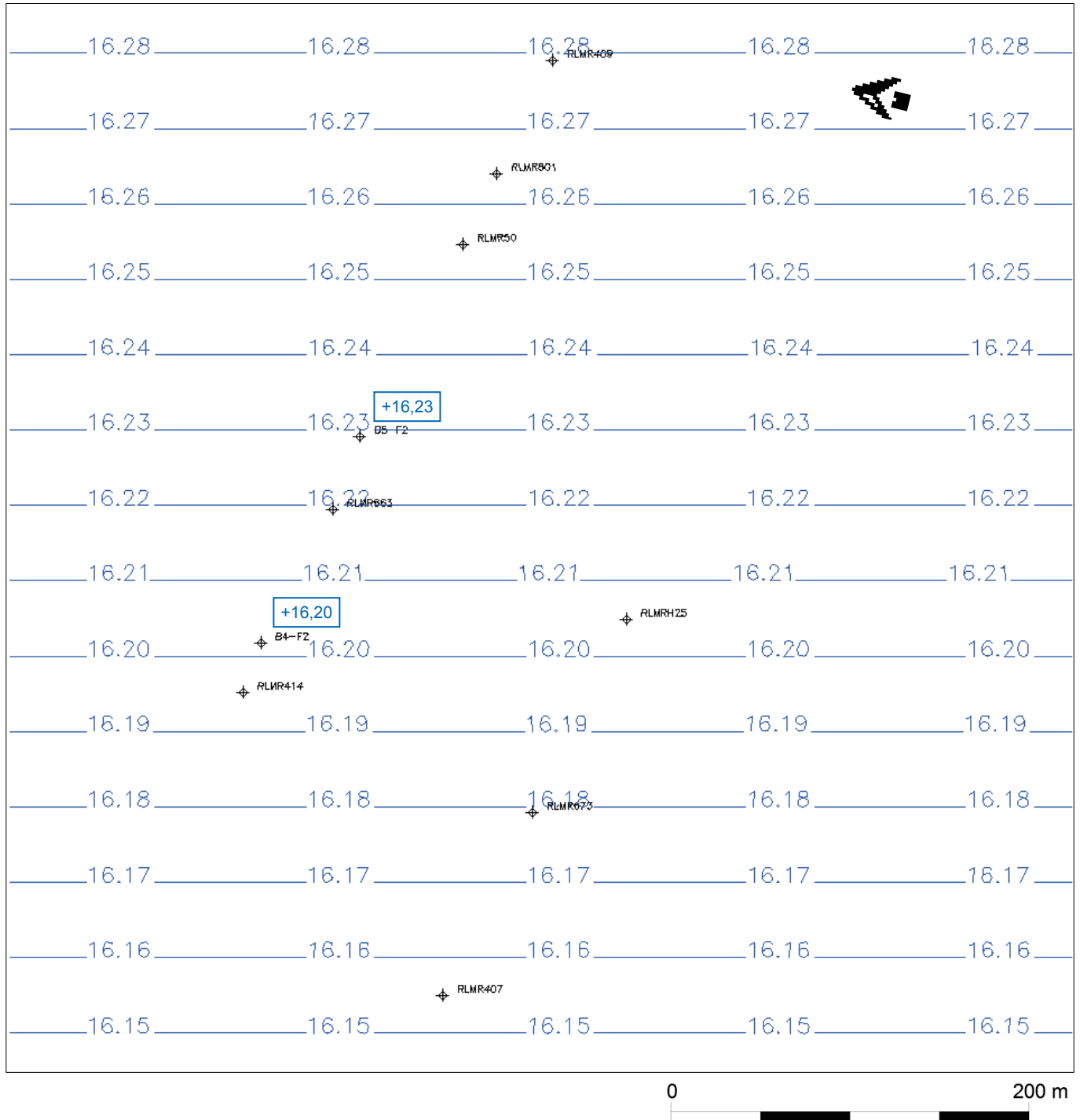
+16,20 gemessener Grundwasserstand [mNN], Juli 2015

Anlage 3

**Berechnete Grundwassergleichen,
unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (o. M.)**

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Grundwassergleichen, unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters



Grundwassergleichen [mNN]; Modellschicht 1

+16,20 gemessener Grundwasserstand [mNN], Juli 2015

Anlage 4

Dokumentation der Modellparameter

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“

Dokumentation der Modellparameter

Parameter für die Grundwasserströmungsmodellierung (PMWIN, stationär)

Modell-schicht	Schicht-Typ	Oberfläche [mNN]	Basis [mNN]	Hydrogeologische Einheit	Petrografie (vereinfacht)
1	ungespannt/ gespannt	16	-4	Oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Feinsand bis Mittelsand
2	gespannt	-4	-6	Grundwassergeringleiter	Schluff bis Ton
3	gespannt	-6	-20	Unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Mittelsand, feinsandig bis grobsandig
4	gespannt	-20	-22	Unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Mittelsand, feinsandig bis grobsandig
5	gespannt	-22	-25	Unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Feinsand, mittelsandig
6	gespannt	-25	-29	Unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Grobsand bis Feinkies

Modellschicht	k_f -Wert (horizontal)	k_f -Wert (vertikal)	effektive Porosität
1	$1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s	$1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	0,15
2	$1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s	$1,0 \cdot 10^{-10}$ m/s	0,05
3	$5,0 \cdot 10^{-4}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	0,15
4	$5,0 \cdot 10^{-4}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	0,15
5	$1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s	$1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	0,15
6	$5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-4}$ m/s	0,25

Parameter für die Wärmetransportmodellierung (MT3DMS, instationär, 30 Jahre)

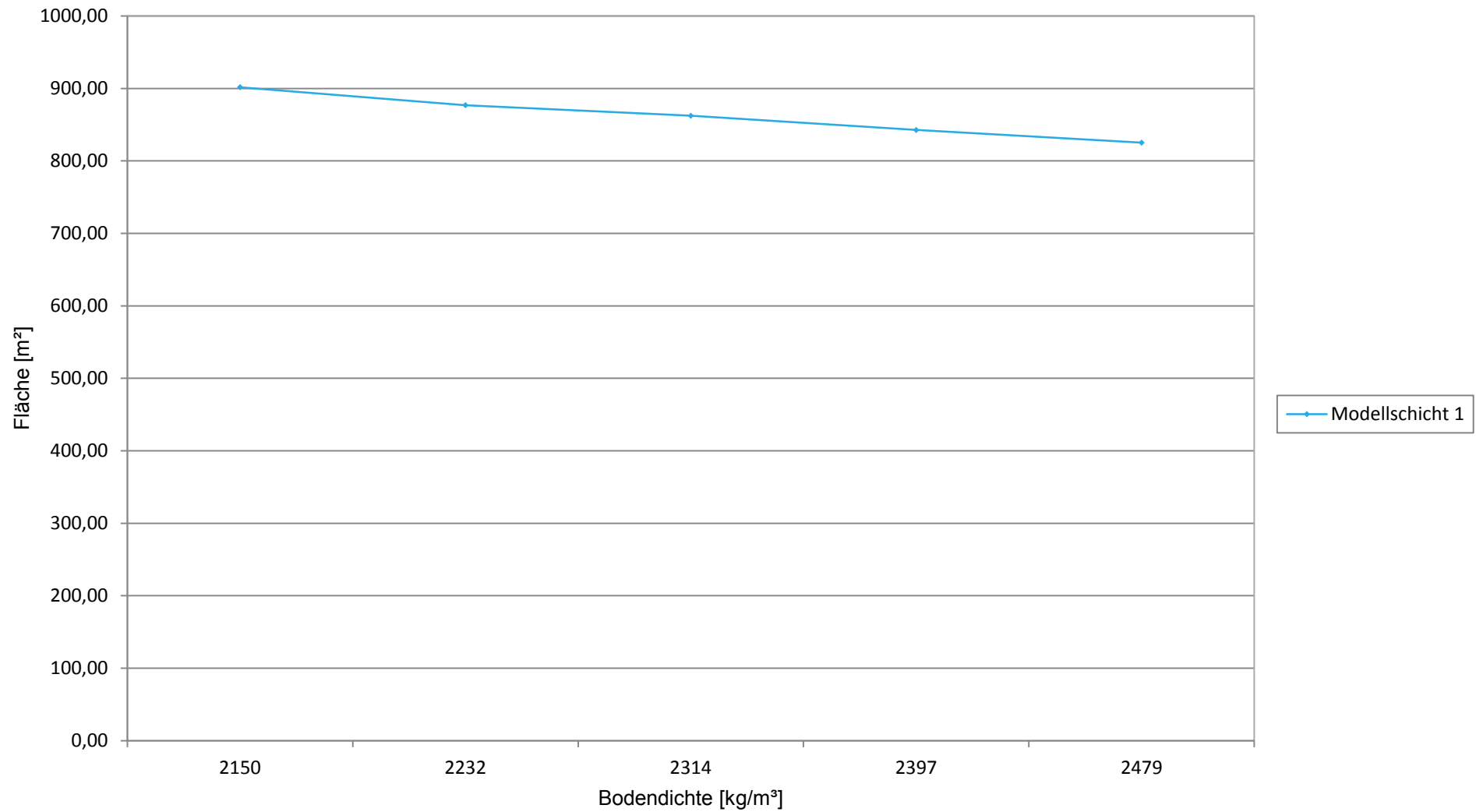
Parameter	Wert
Volumetr. Wärmekapazität (c_p)	$2,5 \cdot 10^6$ J / (m ³ K)
Wärmeleitfähigkeit (λ)	2,4 W / (m K)
longitudinale Dispersivität (α_L)	0,5 m
transversale Dispersivität (α_{Th})	0,05 m
vertikale Dispersivität (α_{Tv})	0,05 m
Temperaturleitfähigkeit (a)	$0,96 \cdot 10^{-6}$ m ² / s
Bodendichte (ρ_b)	2314 kg/m ³
Verteilungskoeffizient (K_d)	$2 \cdot 10^{-4}$ m ³ / kg
Temperatur (Grundwasser) (T_u)	12 °C

Quelle u.a. VDI-Richtlinie 4640. Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 1, 2010

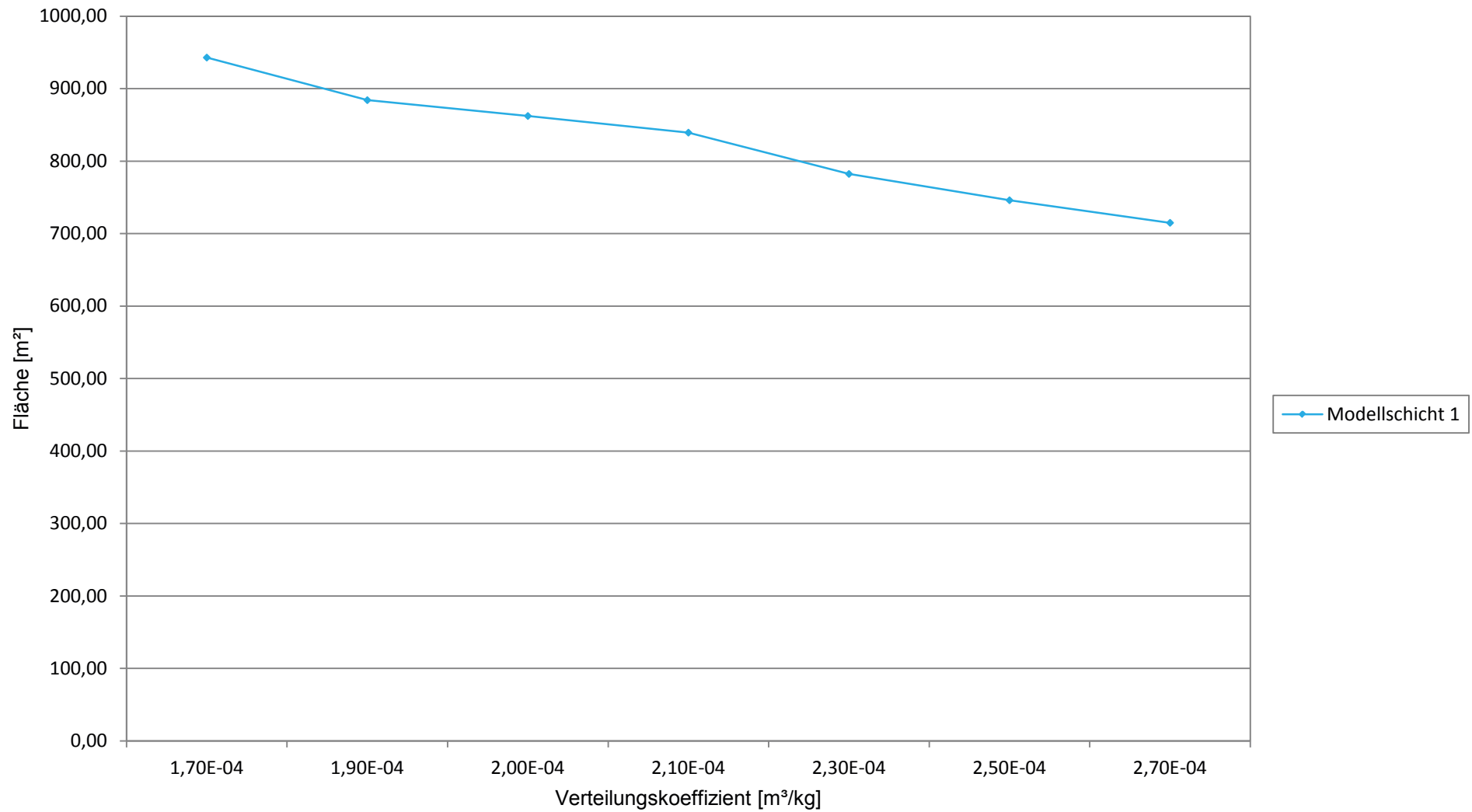
Anlage 5

Sensitivitätsanalyse

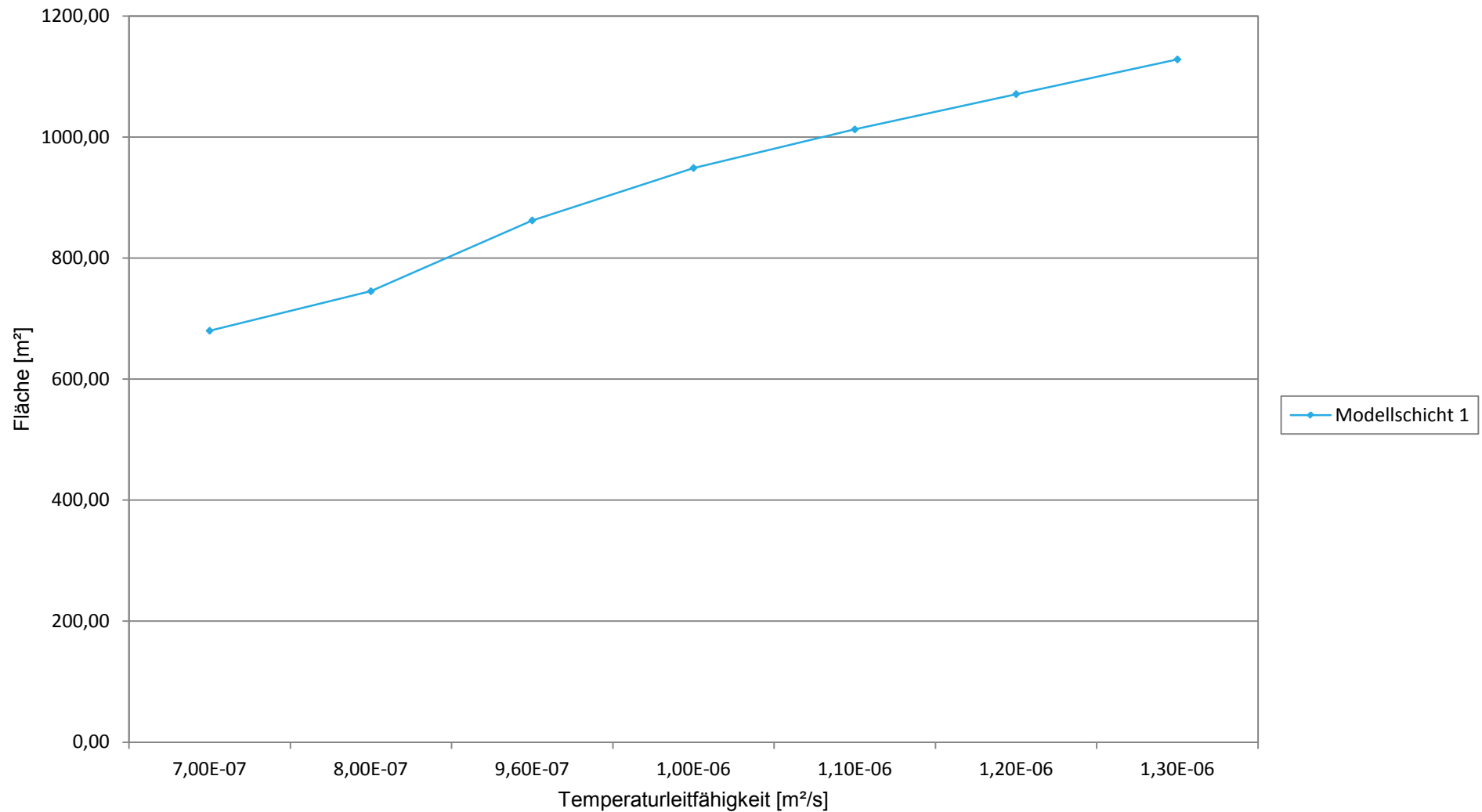
Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“
Sensitivitätsanalyse



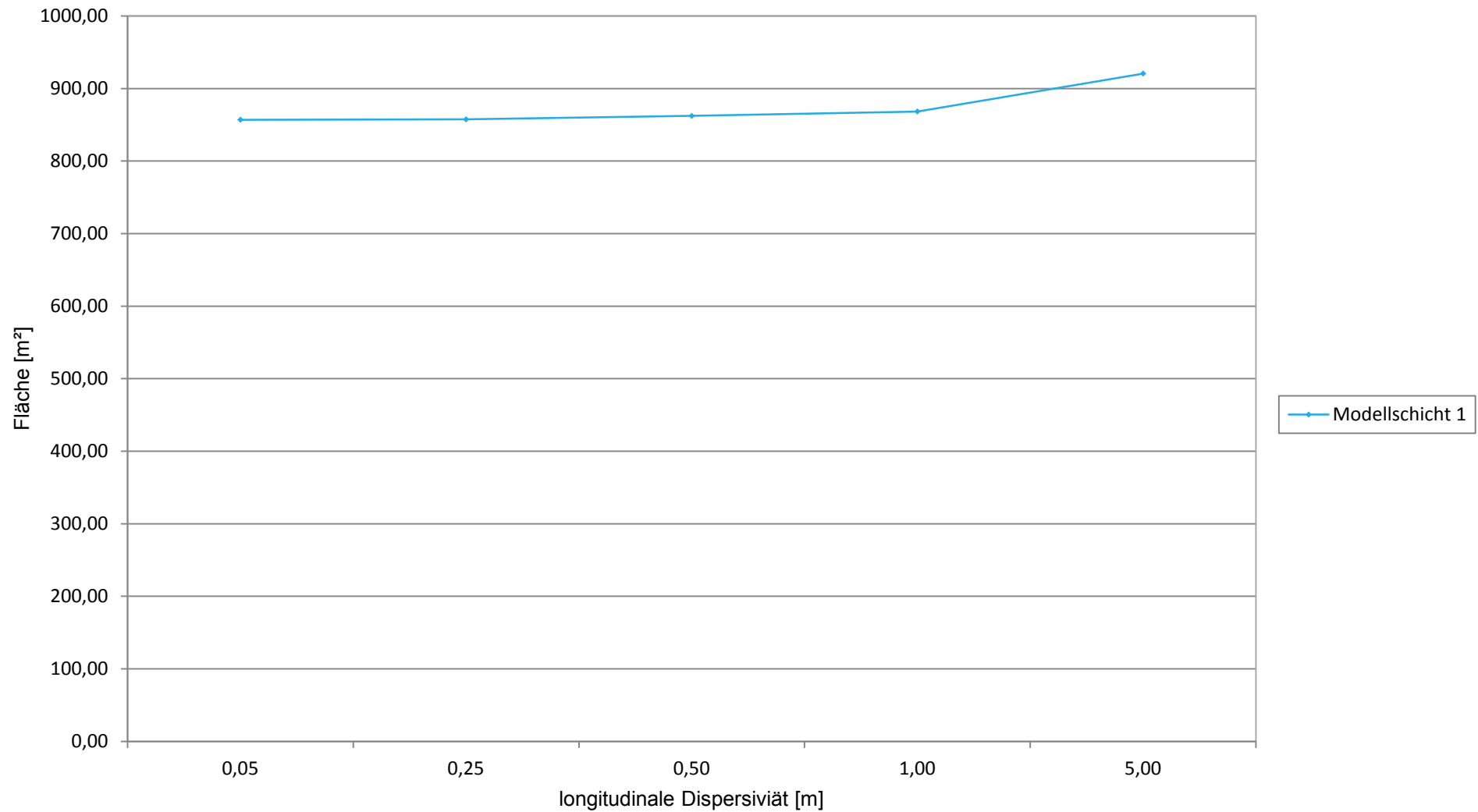
Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“
Sensitivitätsanalyse



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“
Sensitivitätsanalyse

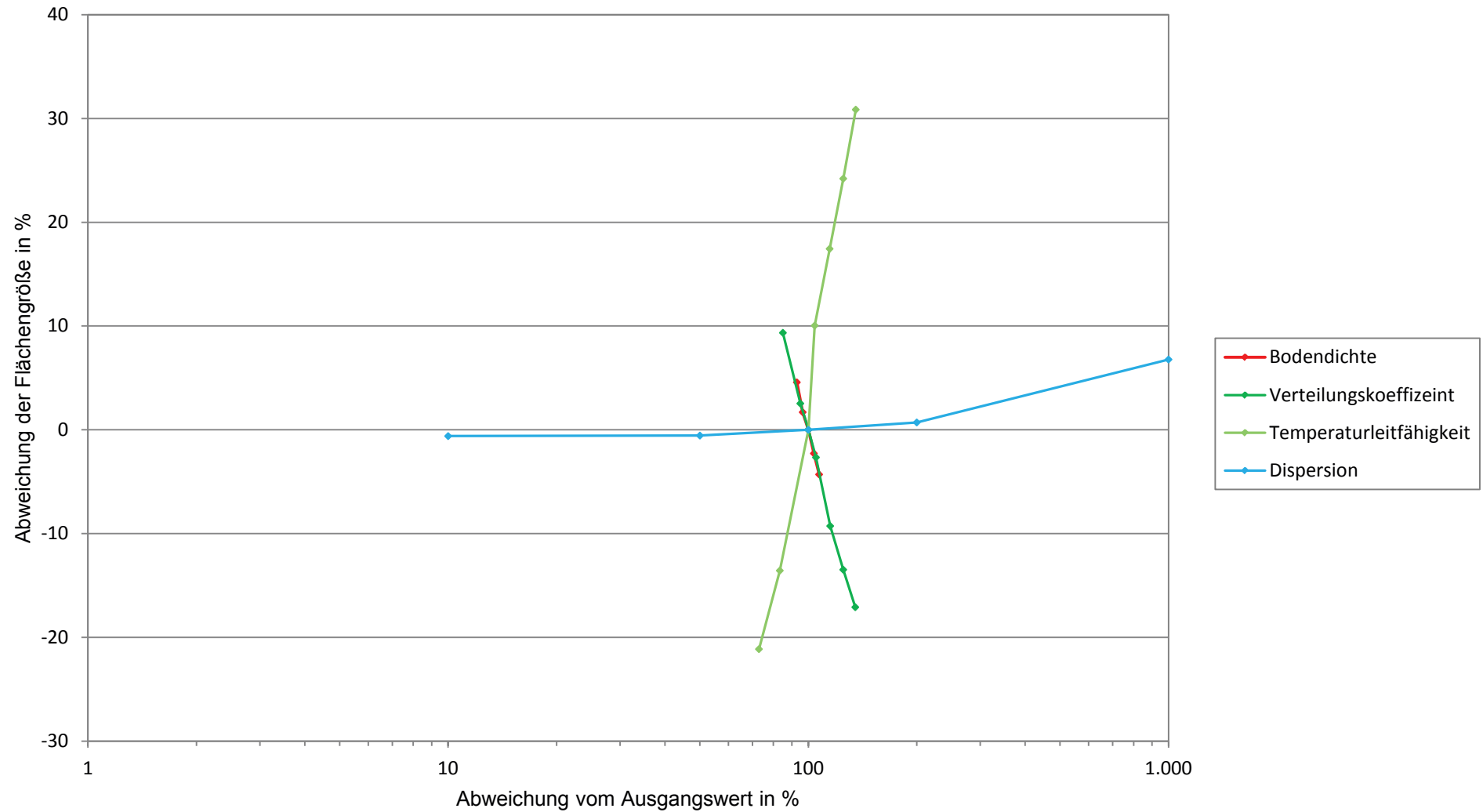


Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“
Sensitivitätsanalyse



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahren im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Sensitivitätsanalyse



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“
Sensitivitätsanalyse

Bodendichte, Modellschicht 1

Bodendichte	Bodendichte relativ ¹⁾	Flächengröße der Wärmefahne (>20°C)	Abweichung der Flächengröße absolut	Abweichung der Flächengröße relativ
[kg/m³]	[%]	[m²]	[m²]	[%]
2150	92,91	901,70	39,45	4,58
2232	96,46	876,90	14,65	1,70
2314	100,00	862,25	0,00	0,00
2397	103,59	842,60	-19,65	-2,28
2479	107,13	825,15	-37,10	-4,30

Verteilungskoeffizient, Modellschicht 1

Verteilungs-koeffizient	Verteilungskoeffizient relativ ¹⁾	Flächengröße der Wärmefahne (>20°C)	Abweichung der Flächengröße absolut	Abweichung der Flächengröße relativ
[m³/kg]	[%]	[m²]	[m²]	[%]
1,7 * 10 ⁻⁴	85,00	942,85	80,60	9,35
1,9 * 10 ⁻⁴	95,00	884,10	21,85	2,53
2,0 * 10⁻⁴	100,00	862,25	0,00	0,00
2,1 * 10 ⁻⁴	105,00	839,30	-22,95	-2,66
2,3 * 10 ⁻⁴	115,00	782,30	-79,95	-9,27
2,5 * 10 ⁻⁴	125,00	746,00	-116,25	-13,48
2,7 * 10 ⁻⁴	135,00	714,85	-147,40	-17,09

Temperaturleitfähigkeit, Modellschicht 1

Temperaturleit-fähigkeit	Temperaturleitfähigkeit relativ ¹⁾	Flächengröße der Wärmefahne (>20°C)	Abweichung der Flächengröße absolut	Abweichung der Flächengröße relativ
[m²/s]	[%]	[m²]	[m²]	[%]
0,70 * 10 ⁻⁶	72,92	680,00	-182,25	-21,14
0,80 * 10 ⁻⁶	83,33	745,25	-117,00	-13,57
0,96 * 10⁻⁶	100,00	862,25	0,00	0,00
1,0 * 10 ⁻⁶	104,17	948,85	86,60	10,04
1,10 * 10 ⁻⁶	114,58	1012,65	150,40	17,44
1,20 * 10 ⁻⁶	125,00	1070,95	208,70	24,20
1,30 * 10 ⁻⁶	135,42	1128,30	266,05	30,86

¹⁾ Ausgangswert: 100 %

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“
Sensitivitätsanalyse

Dispersivität, Modellschicht 1

Longitudinale Dispersivität	Longitudinale Dispersivität relativ ¹⁾	Flächengröße der Wärmefahne (>20°C)	Abweichung der Flächengröße absolut	Abweichung der Flächengröße relativ
[m]	[%]	[m ²]	[m ²]	[%]
0,05	10,00	857,00	-5,25	-0,61
0,25	50,00	857,45	-4,80	-0,56
0,50	100,00	862,25	0,00	0,00
1,00	200,00	868,35	6,10	0,71
5,00	1000,00	920,65	58,40	6,77

¹⁾ Ausgangswert: 100 %

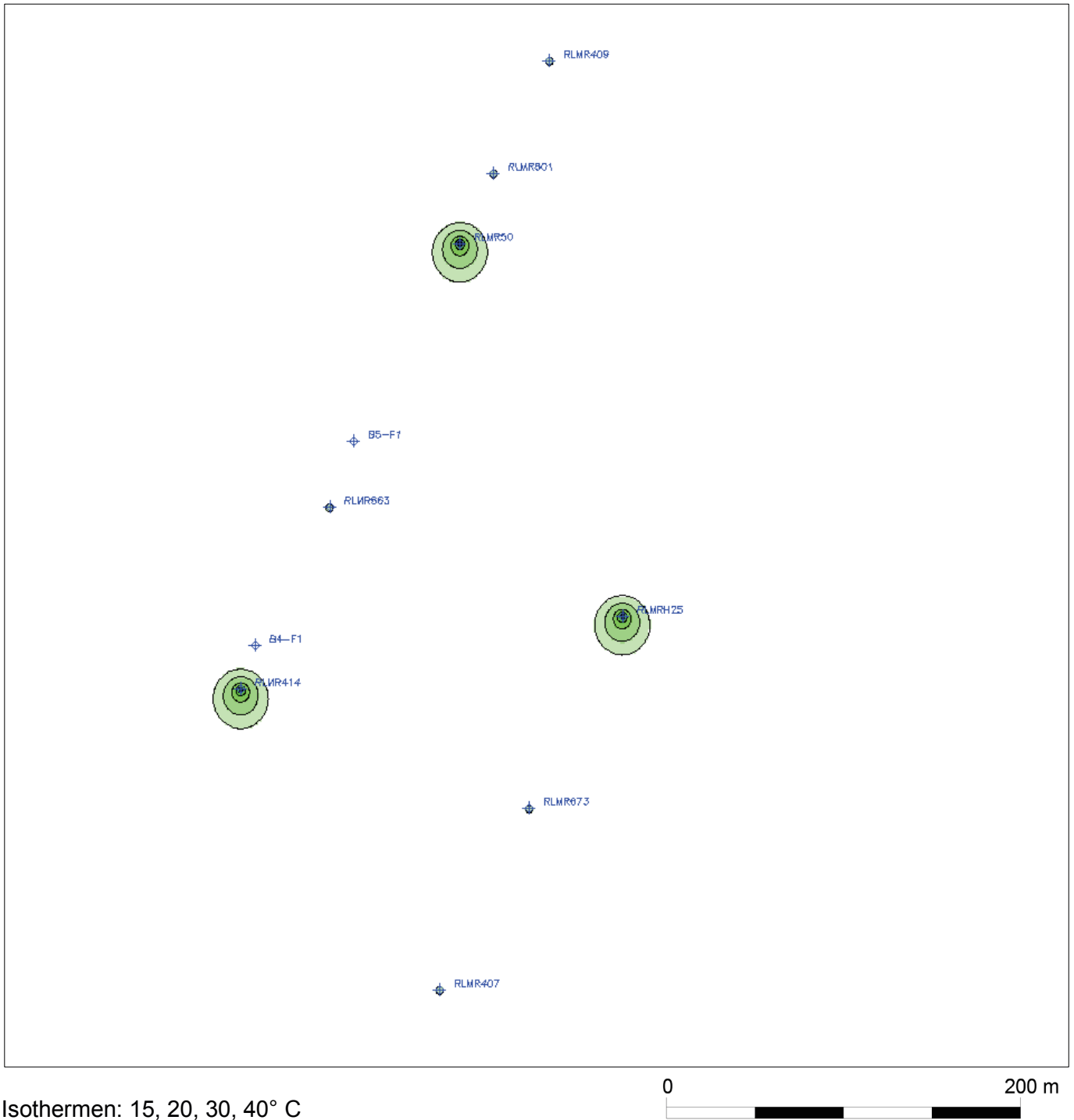
Anlage 6

**Berechnete Wärmefahren beim Status Quo-Szenario,
Modellschichten 1 und 5 (o. M.)**

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Status Quo-Szenario

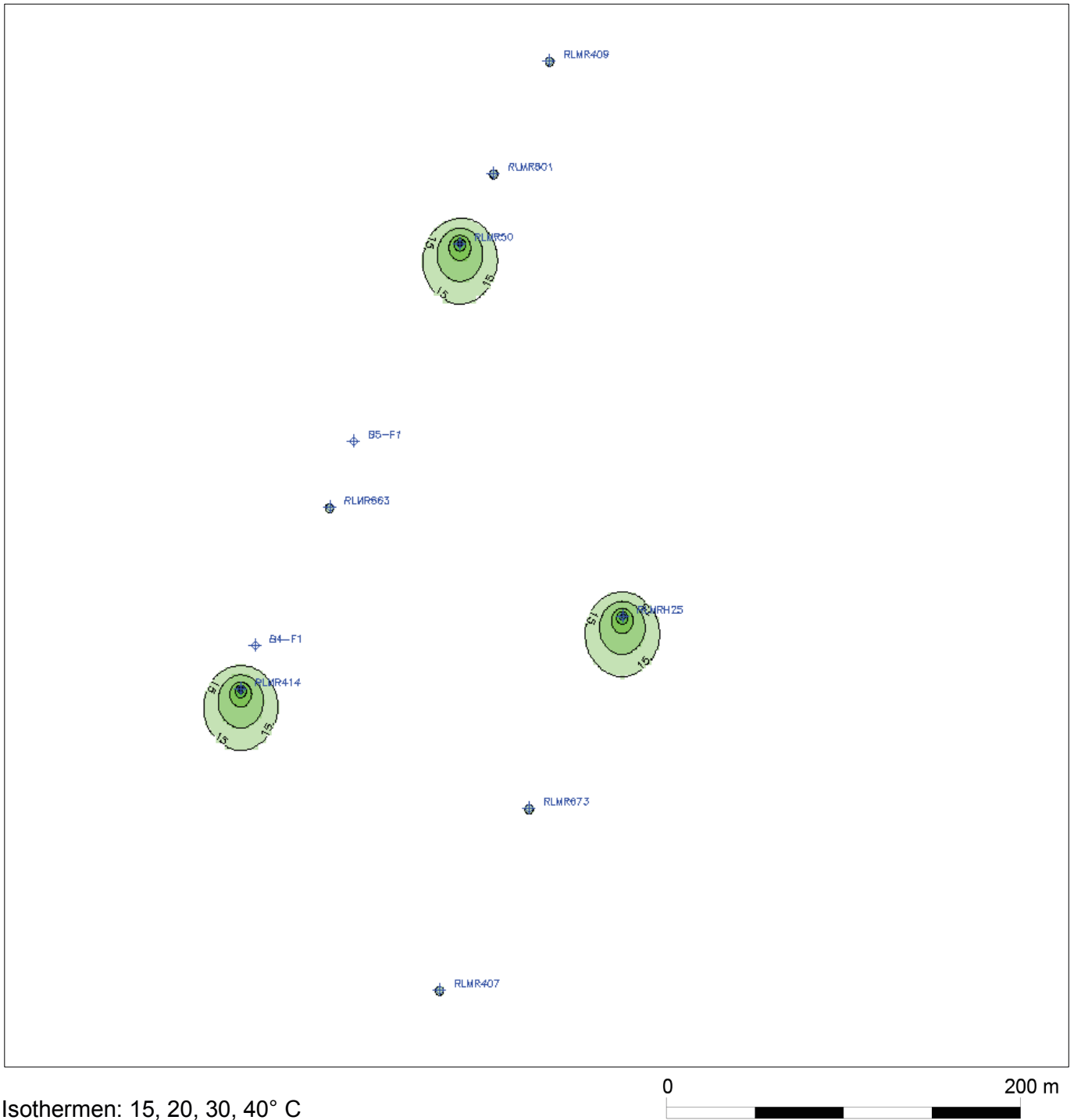
nach 10 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Status Quo-Szenario

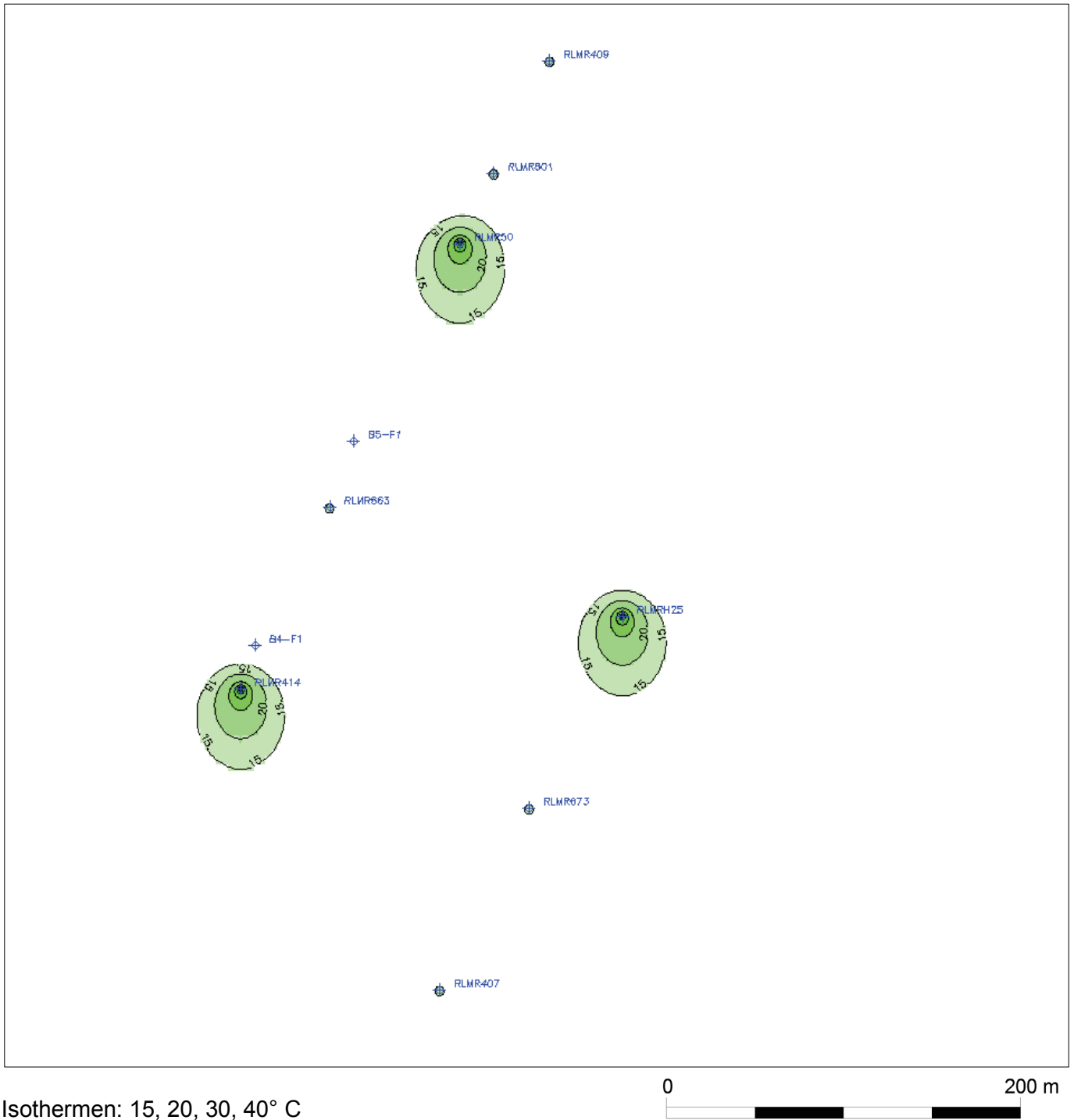
nach 20 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Status Quo-Szenario

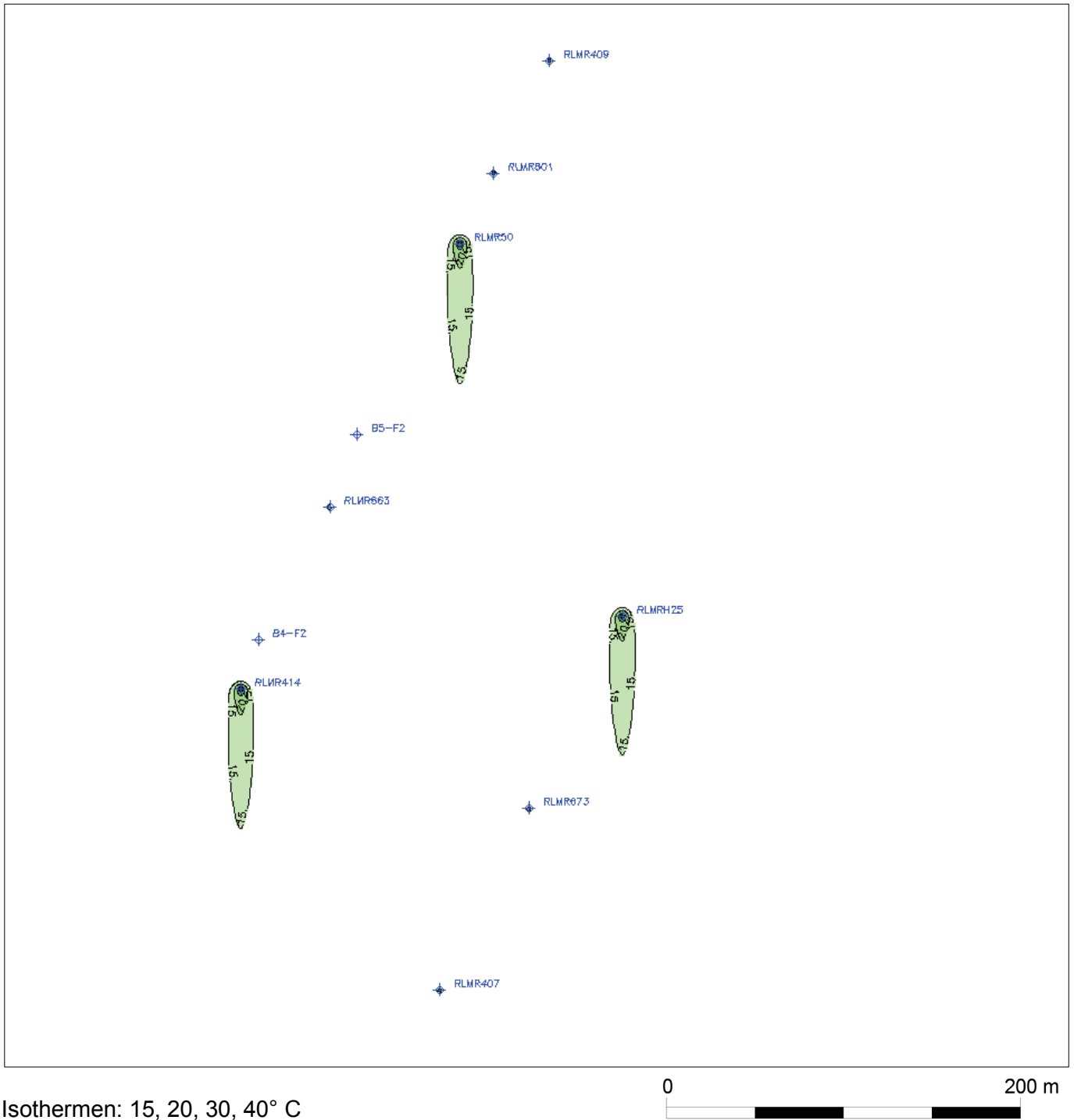
nach 30 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Status Quo-Szenario

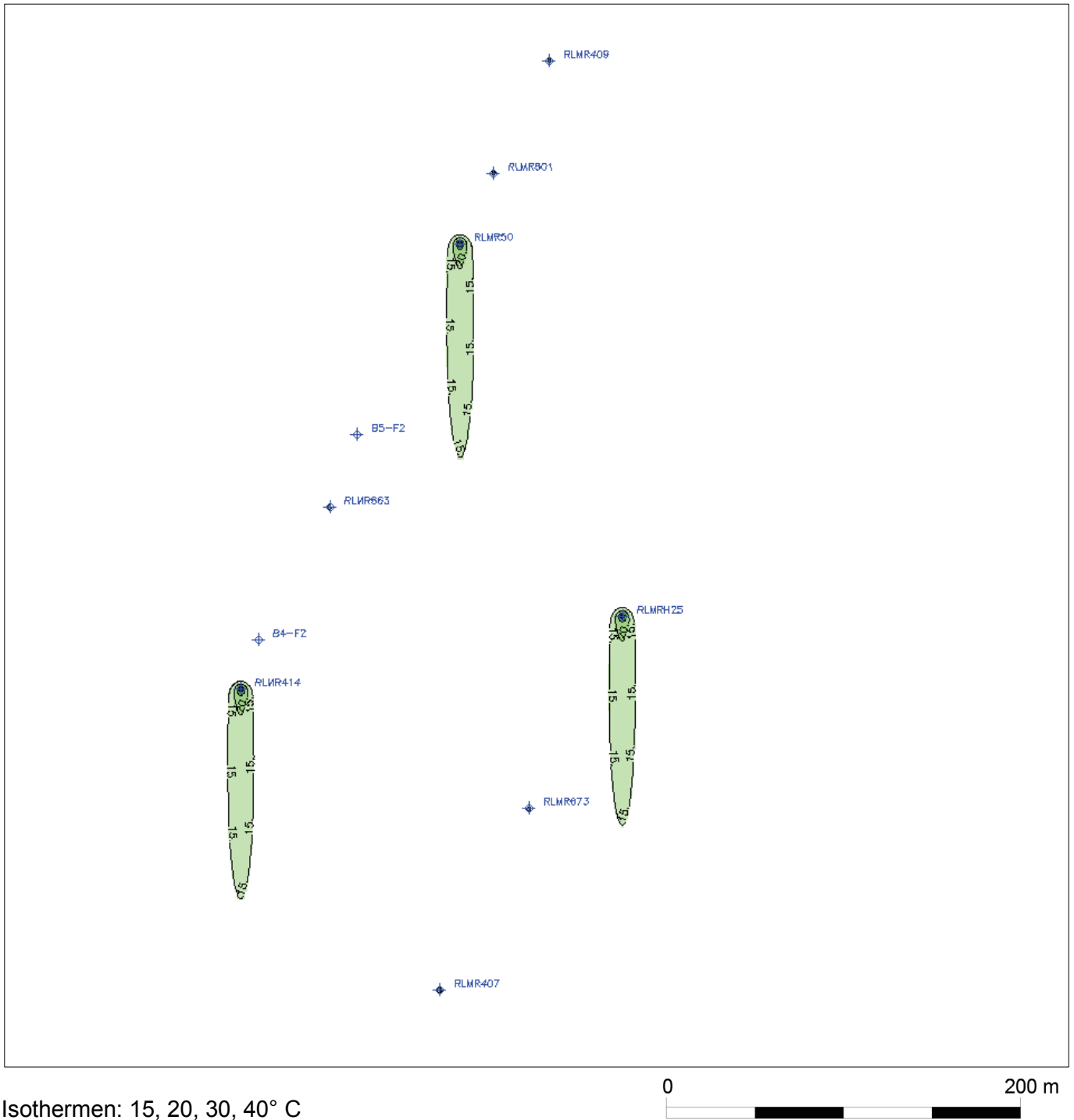
nach 10 Jahren, Modellschicht 5



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Status Quo-Szenario

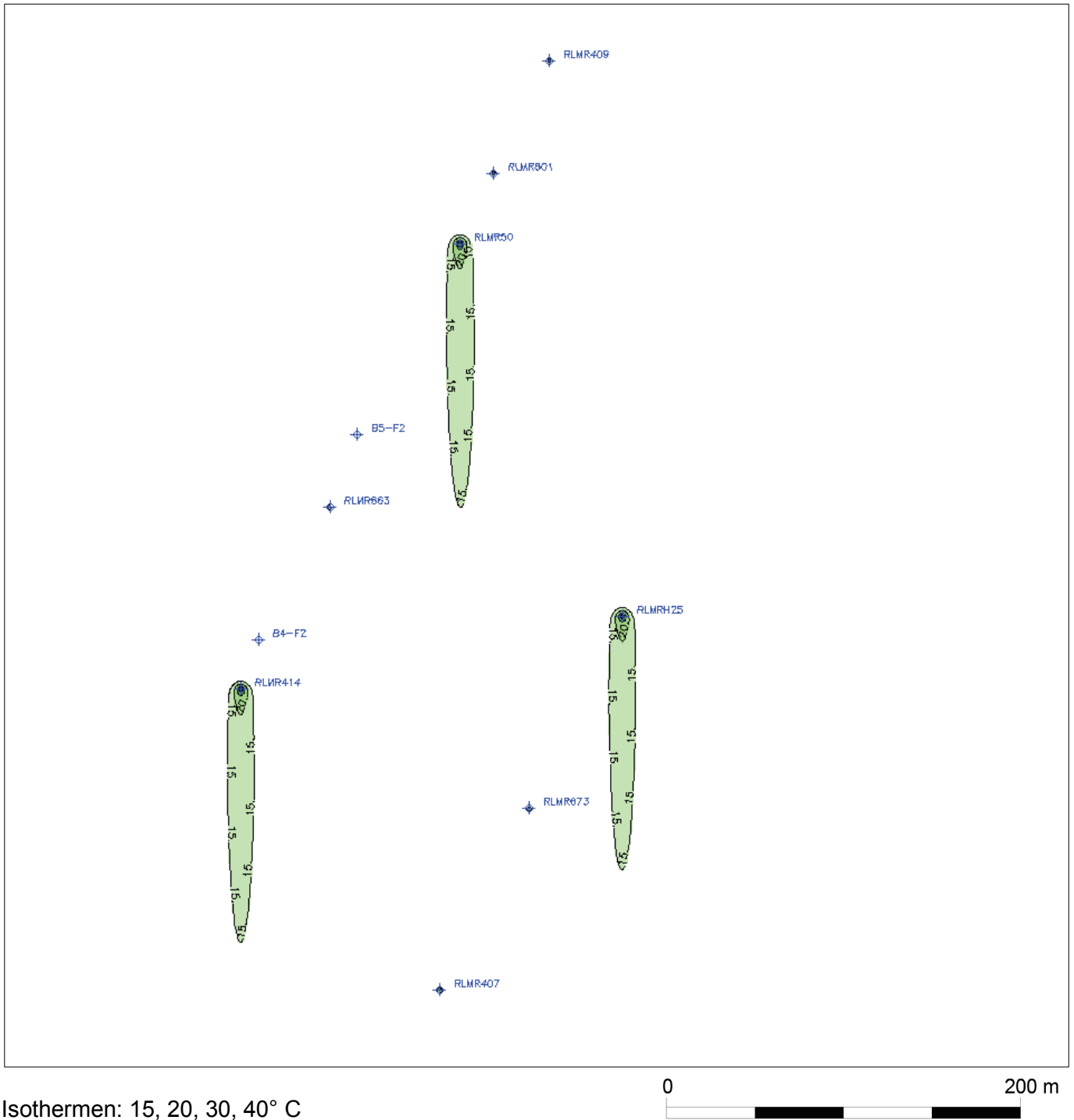
nach 20 Jahren, Modellschicht 5



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Status Quo-Szenario

nach 30 Jahren, Modellschicht 5



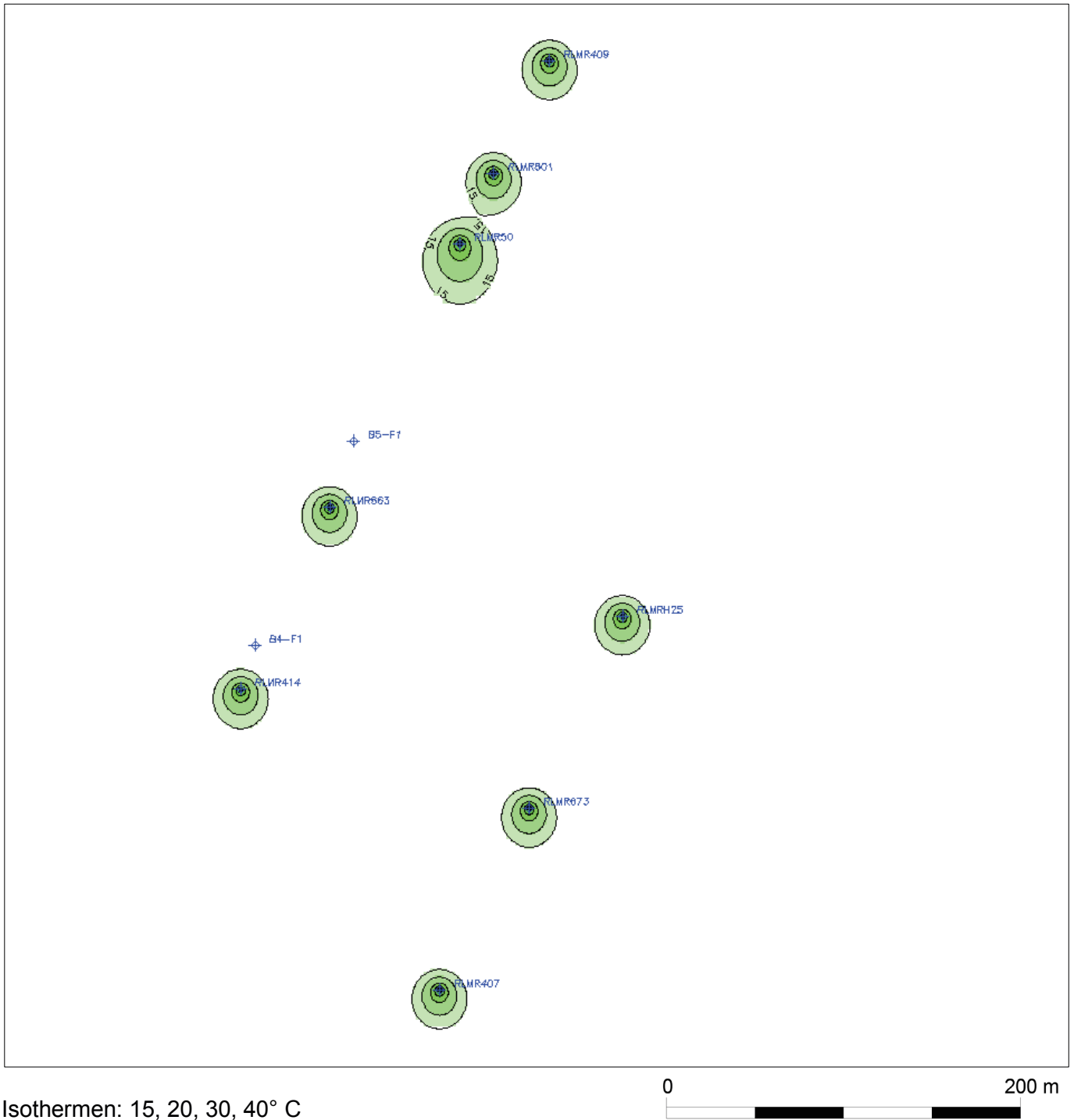
Anlage 7

**Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario,
Modellschichten 1 und 5 (o. M.)**

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario

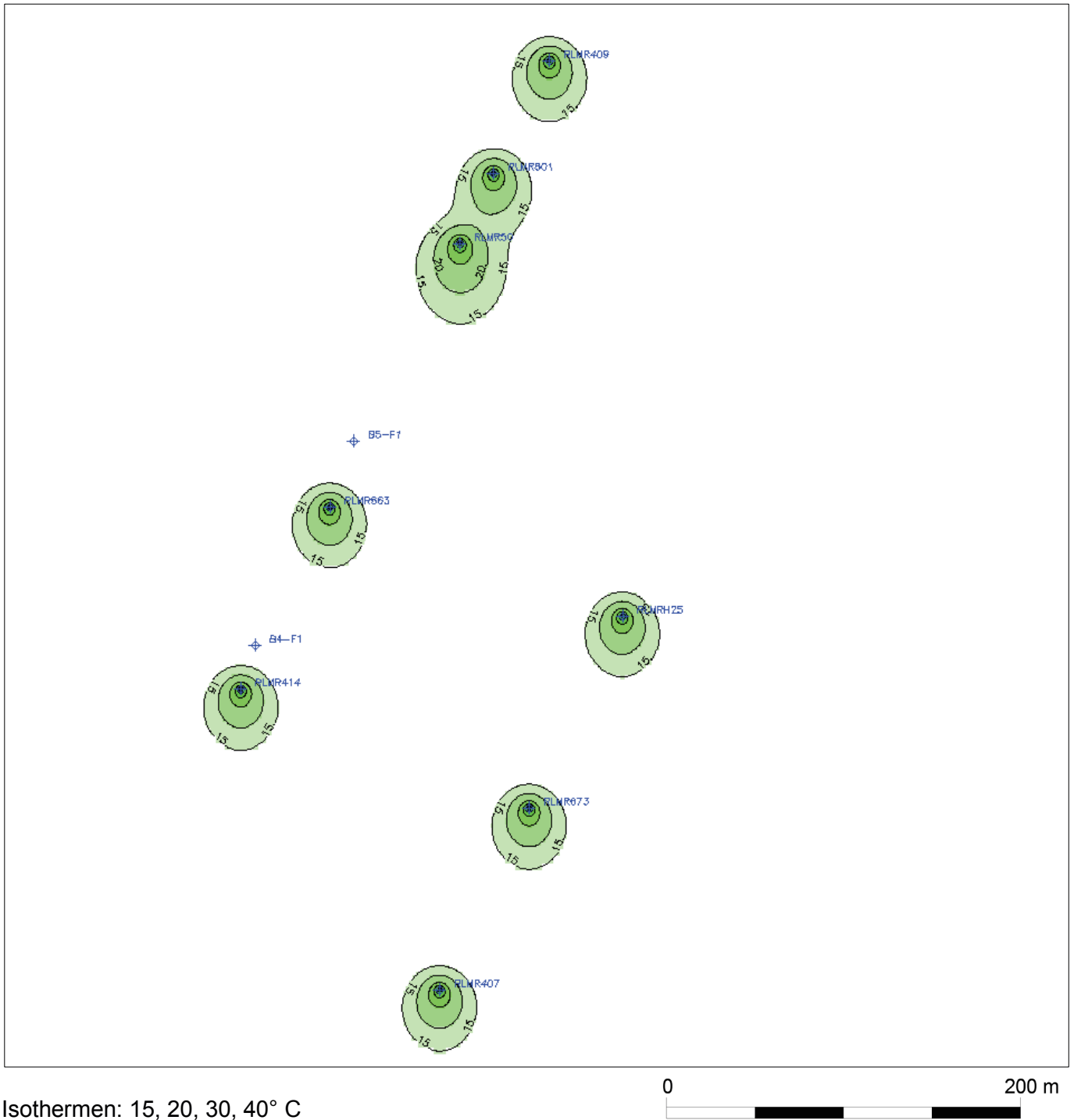
nach 10 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario

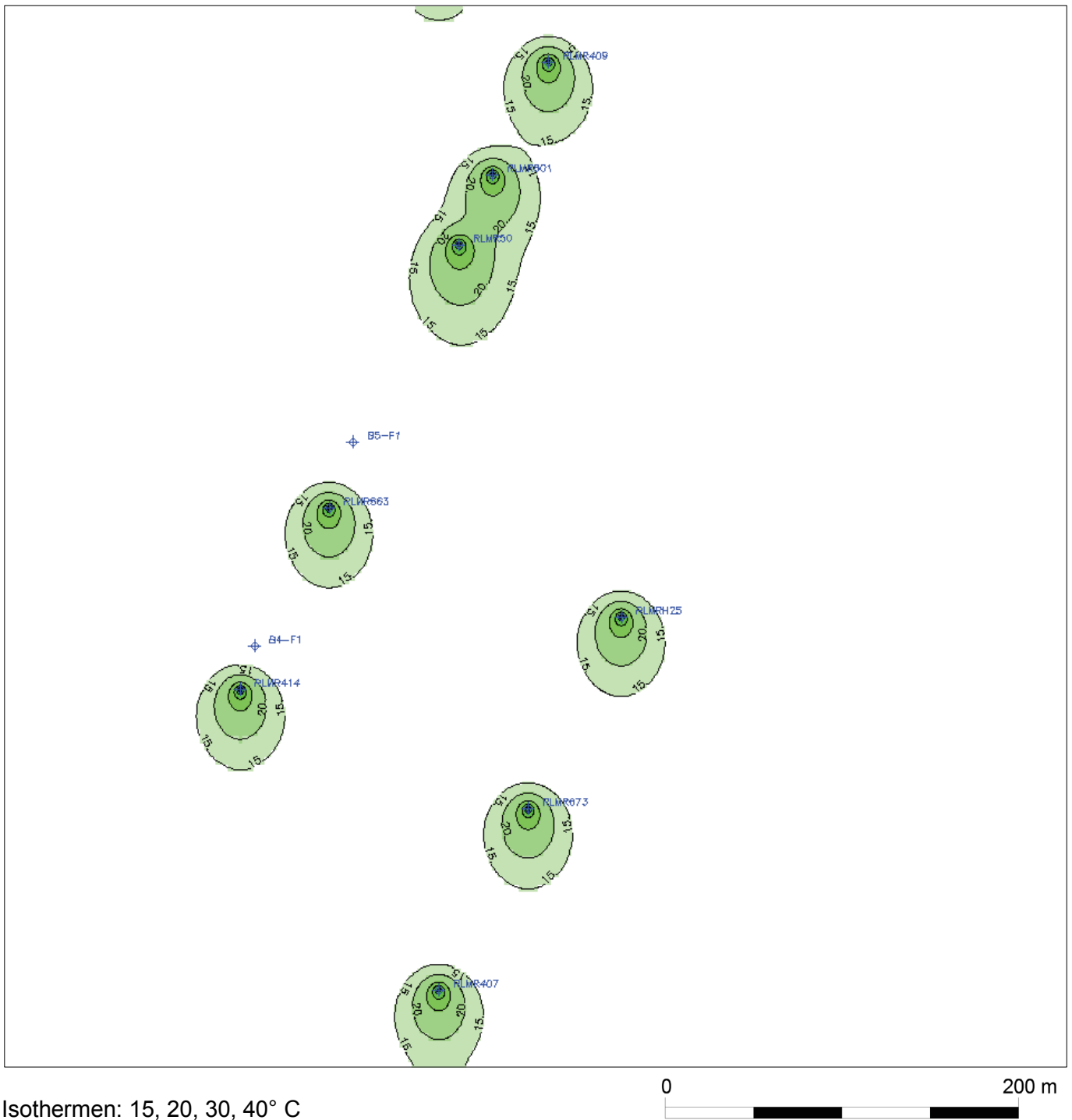
nach 20 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario

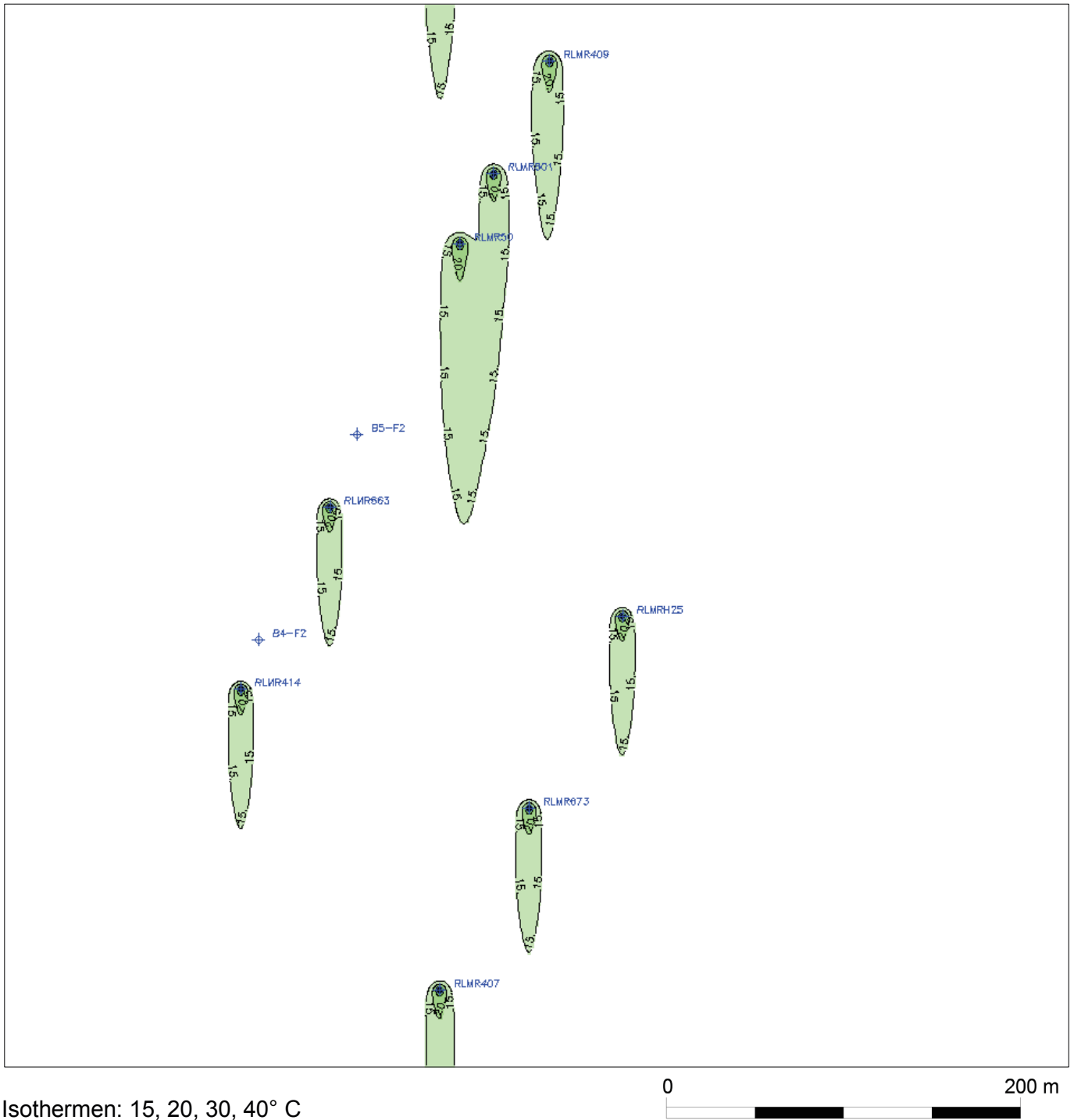
nach 30 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario

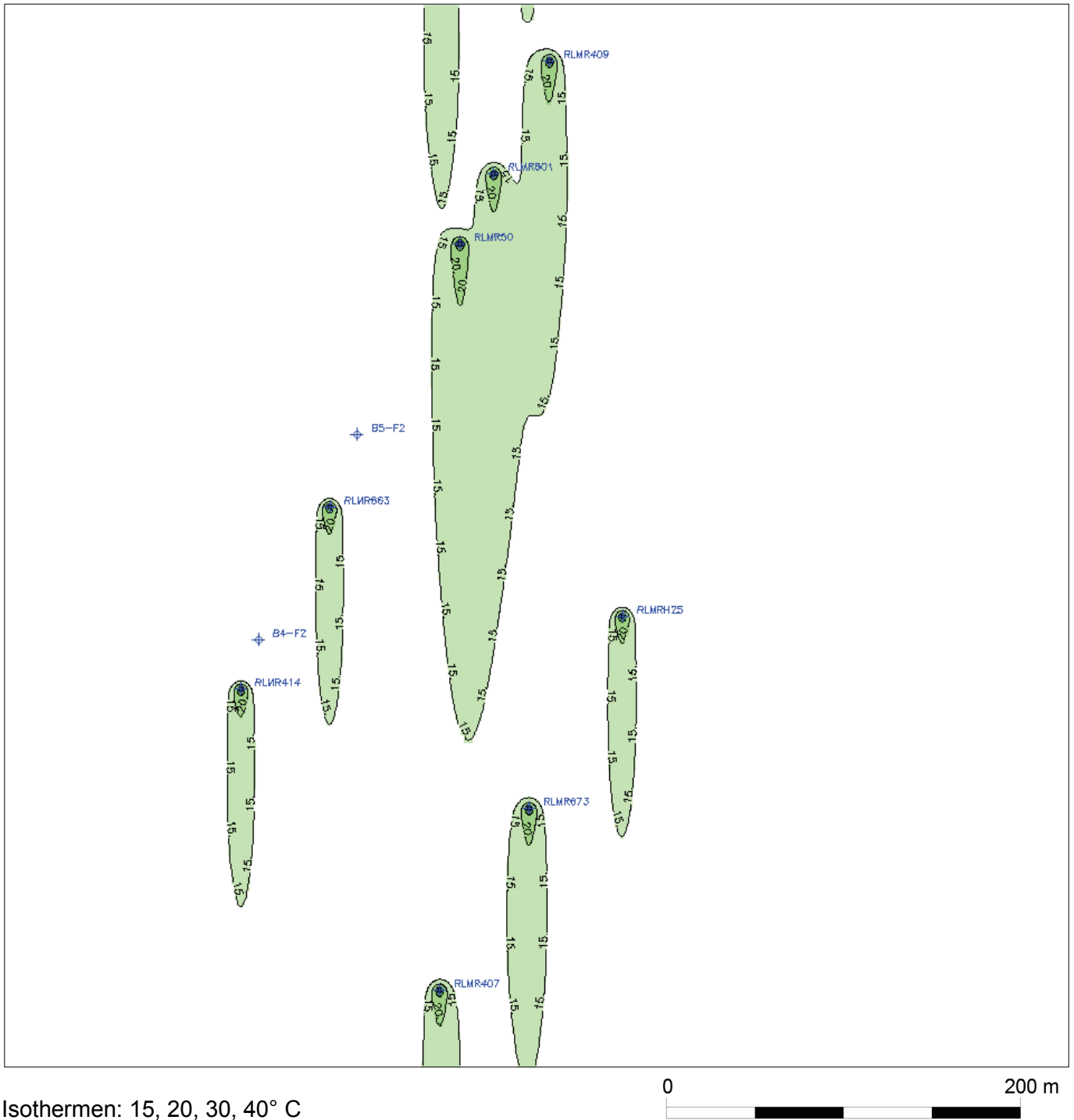
nach 10 Jahren, Modellschicht 5



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario

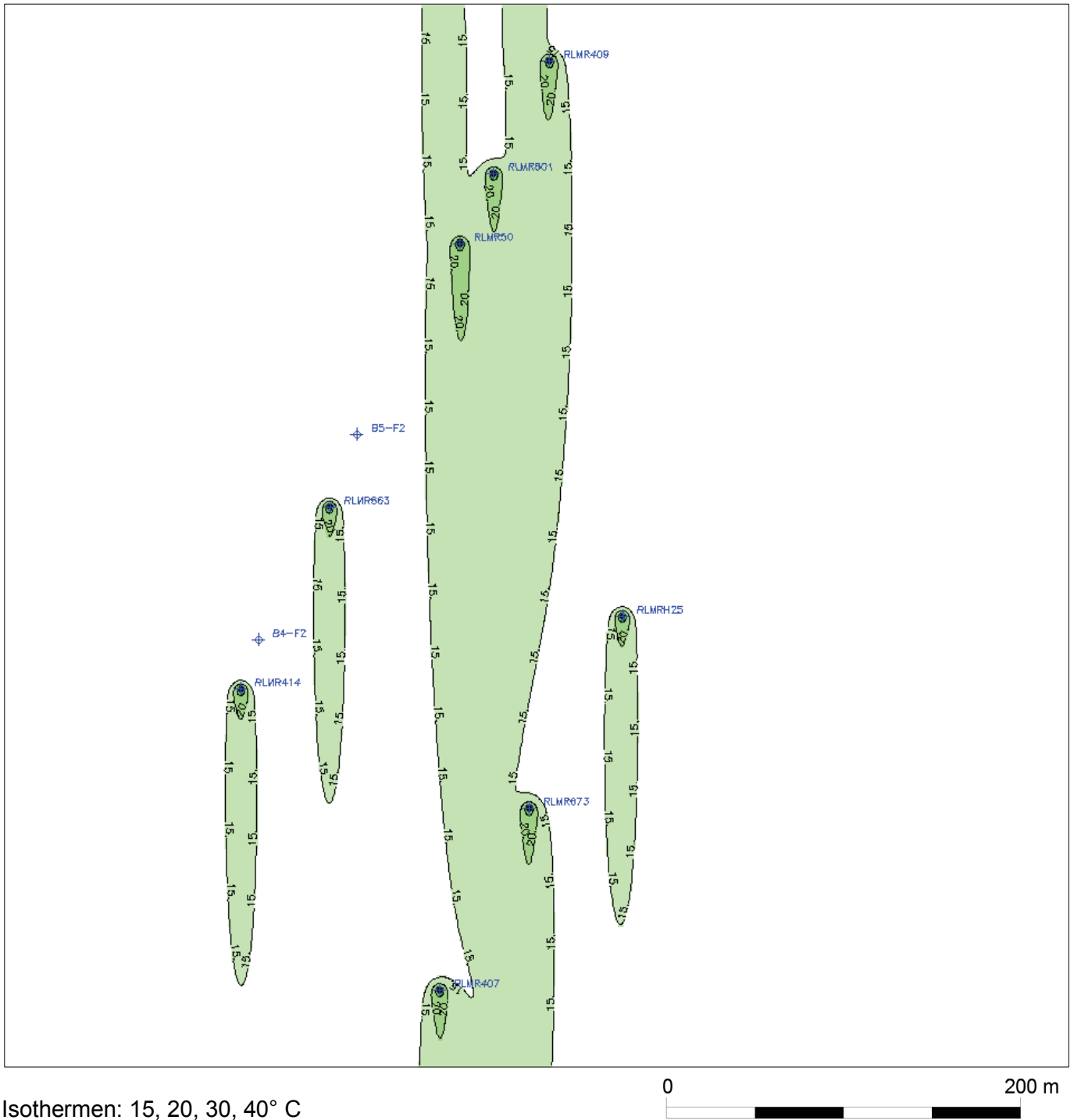
nach 20 Jahren, Modellschicht 5



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Prognose-Szenario

nach 30 Jahren, Modellschicht 5



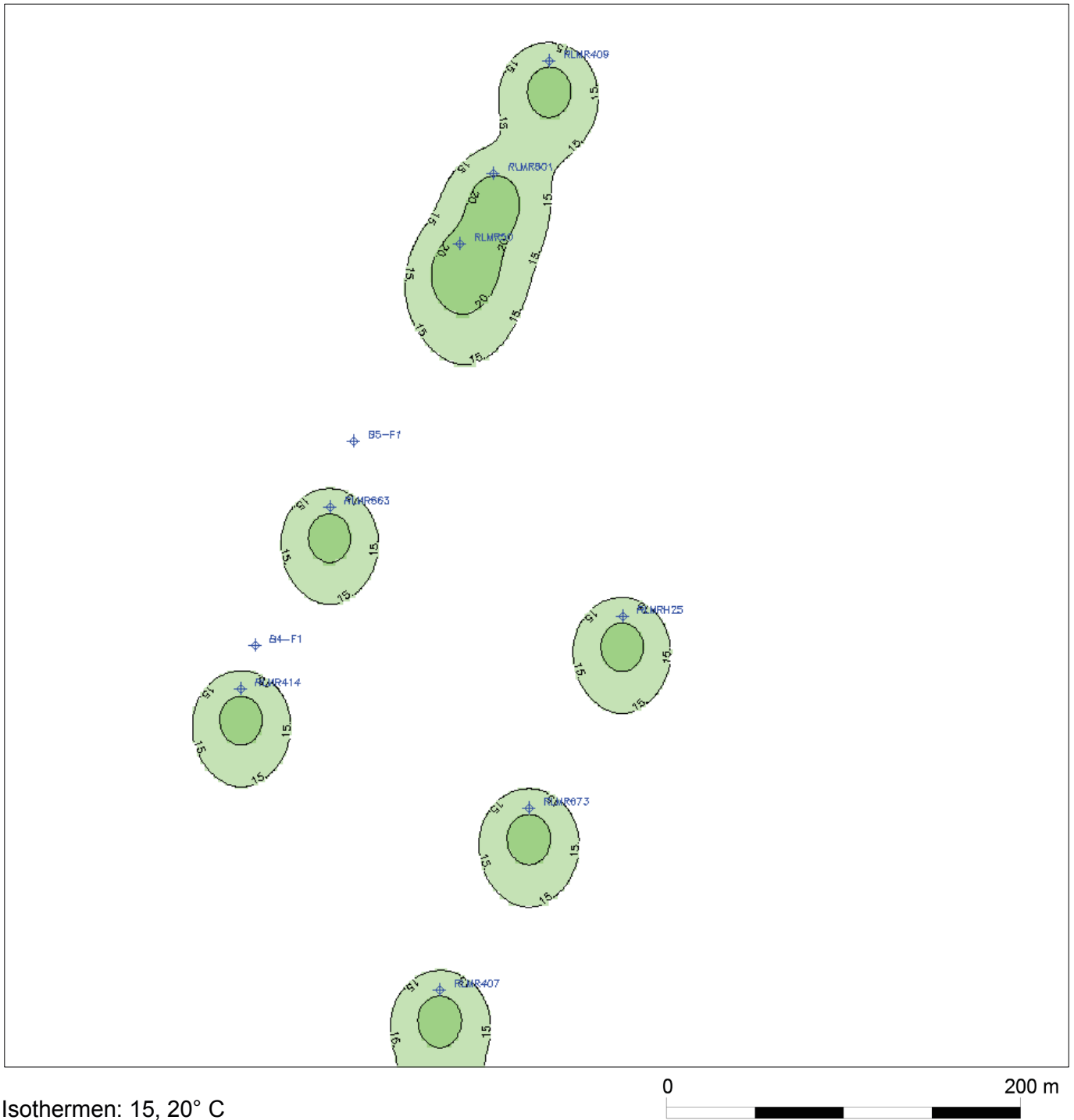
Anlage 8

**Berechnete Wärmefahren beim Szenario zur Reversibilität,
Modellschichten 1 und 5 (o. M.)**

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Szenario zur Reversibilität

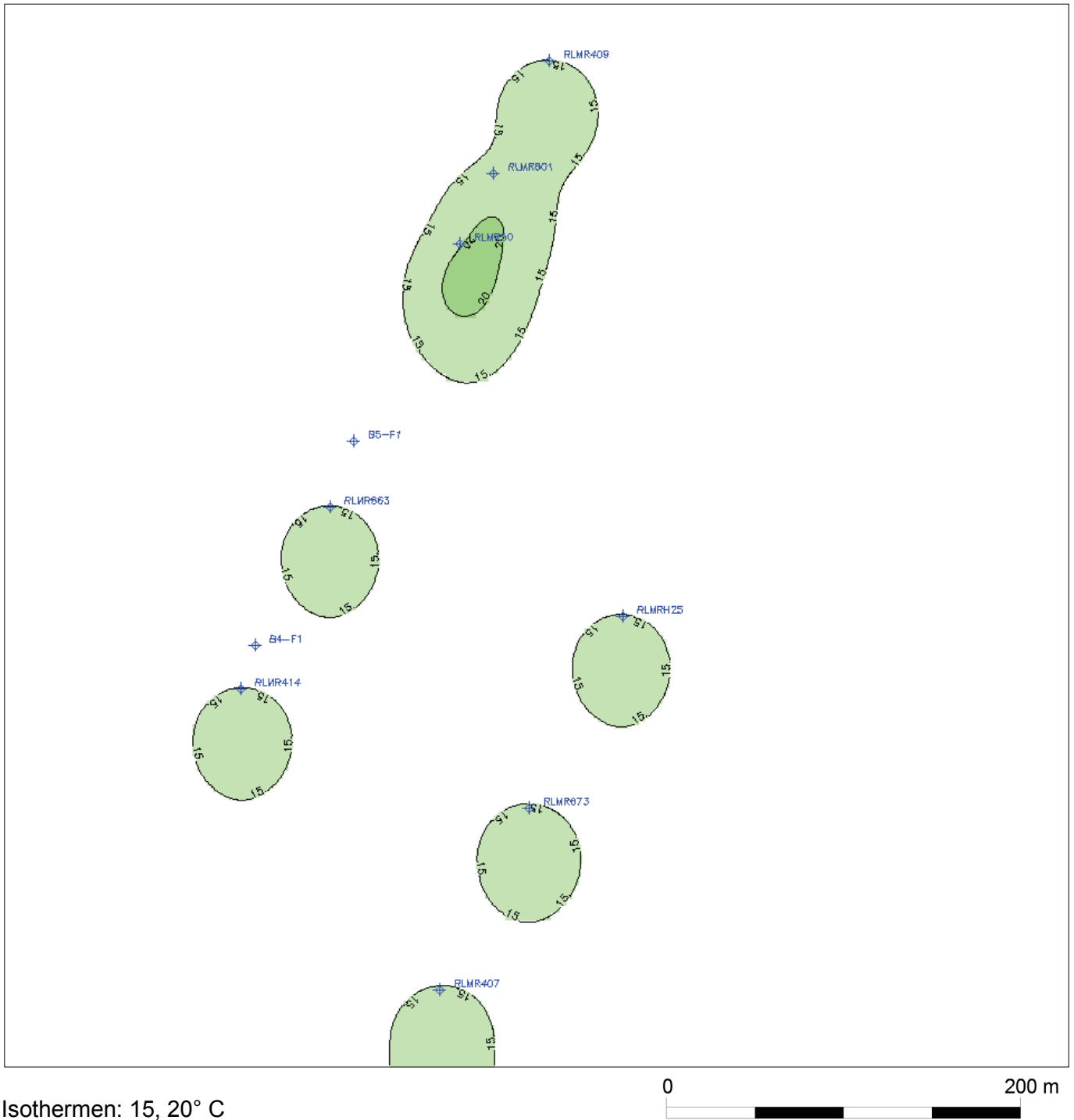
nach 10 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Szenario zur Reversibilität

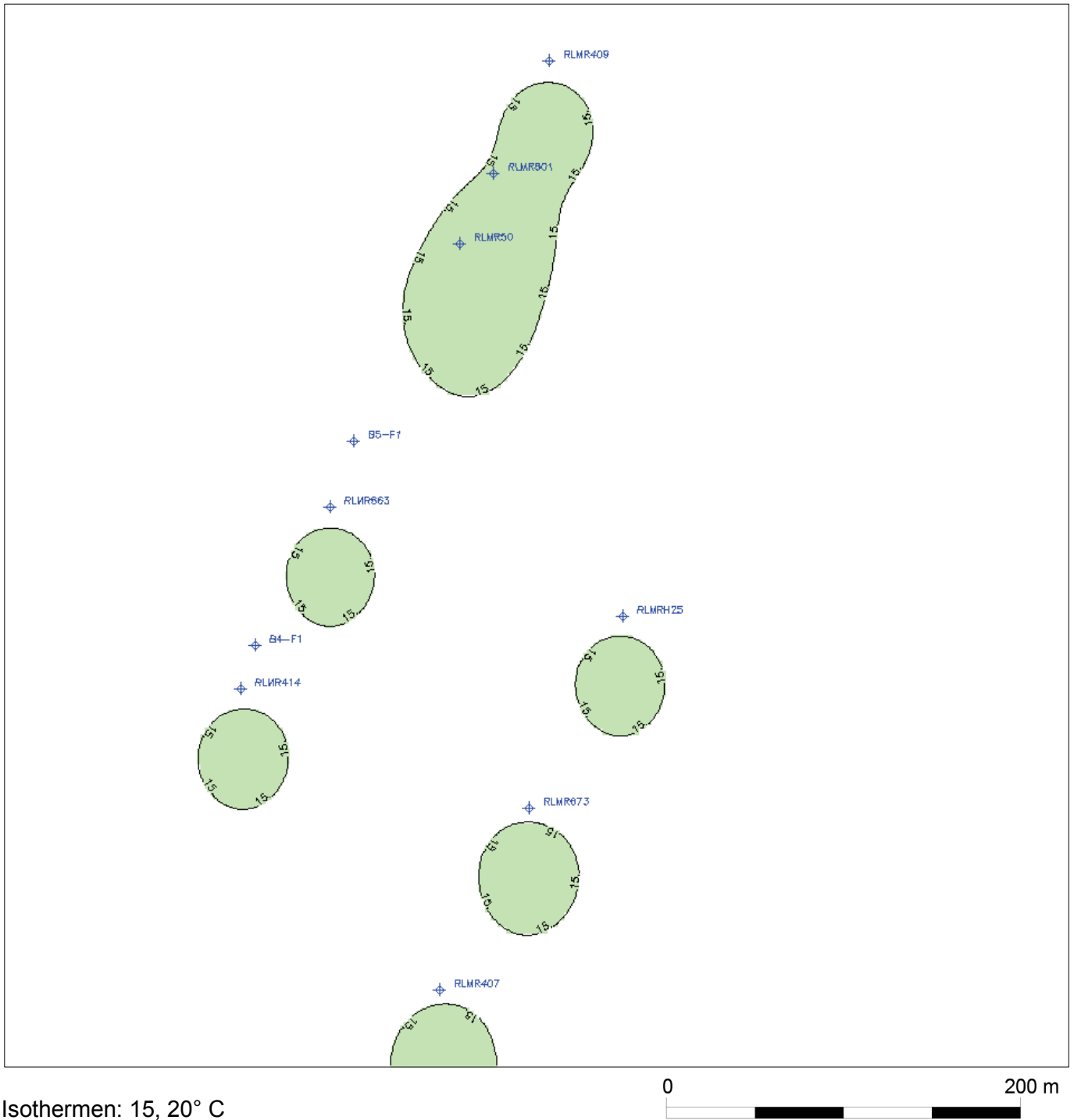
nach 20 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Szenario zur Reversibilität

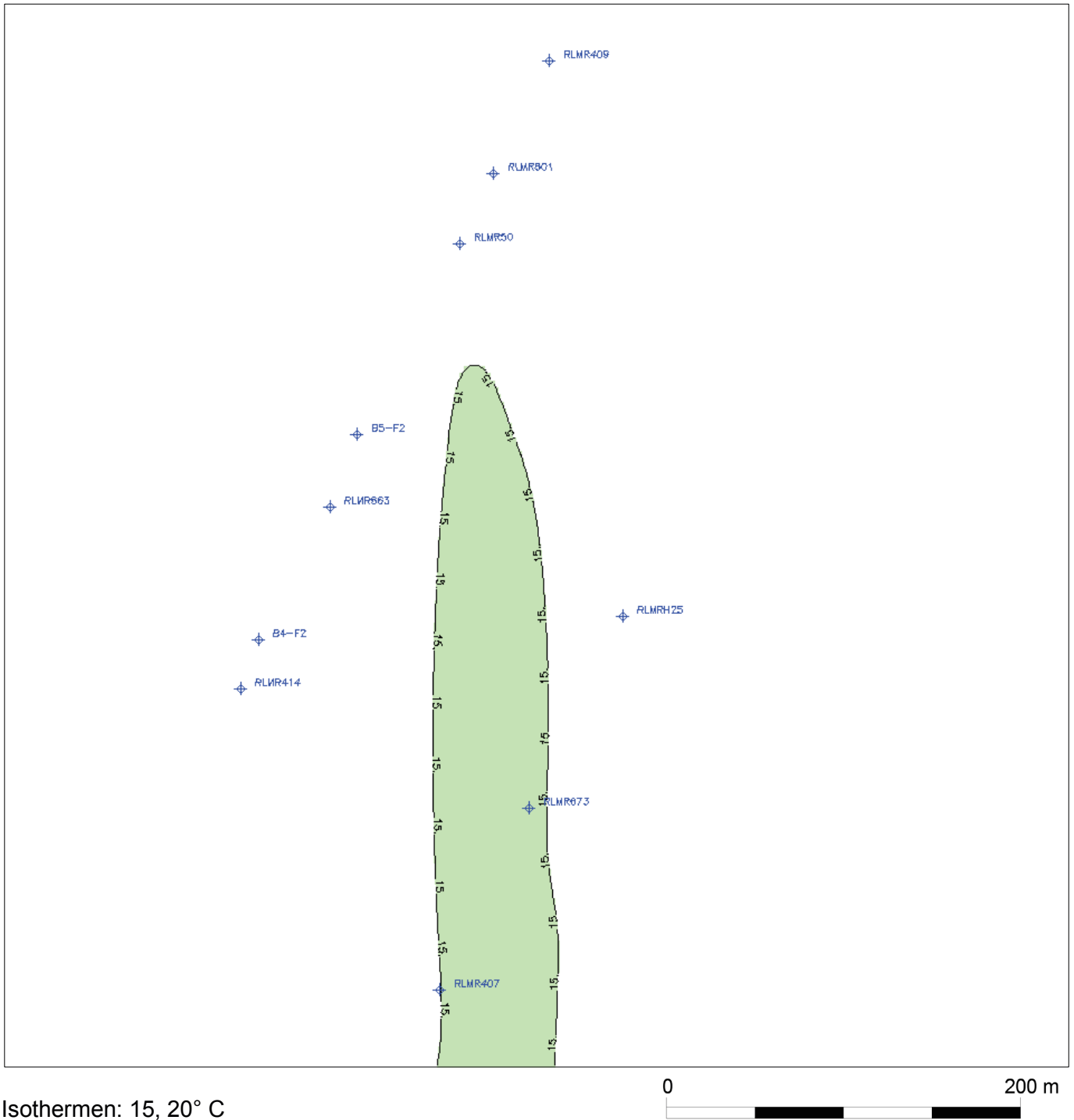
nach 30 Jahren, Modellschicht 1



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Szenario zur Reversibilität

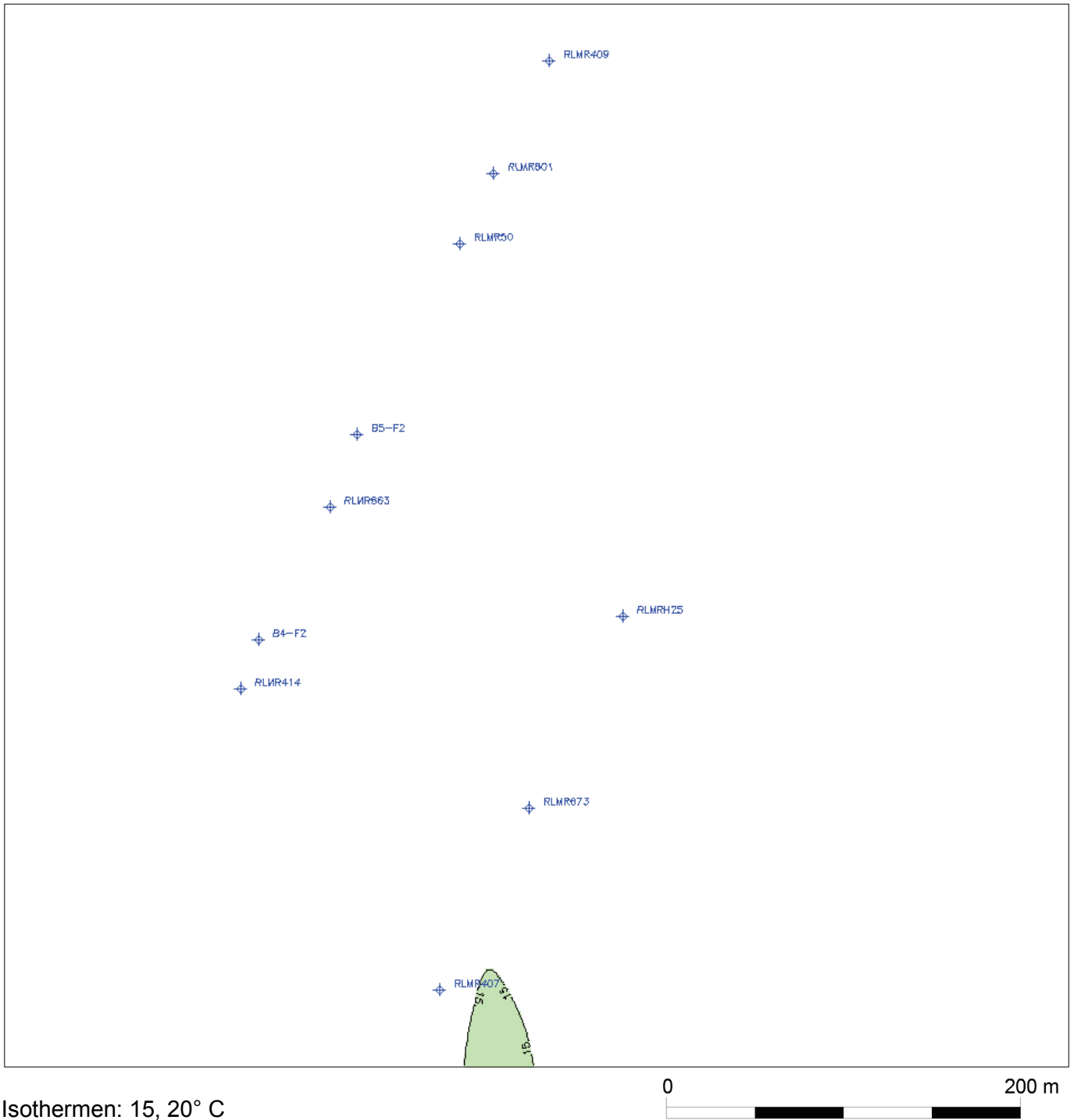
nach 10 Jahren, Modellschicht 5



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Szenario zur Reversibilität

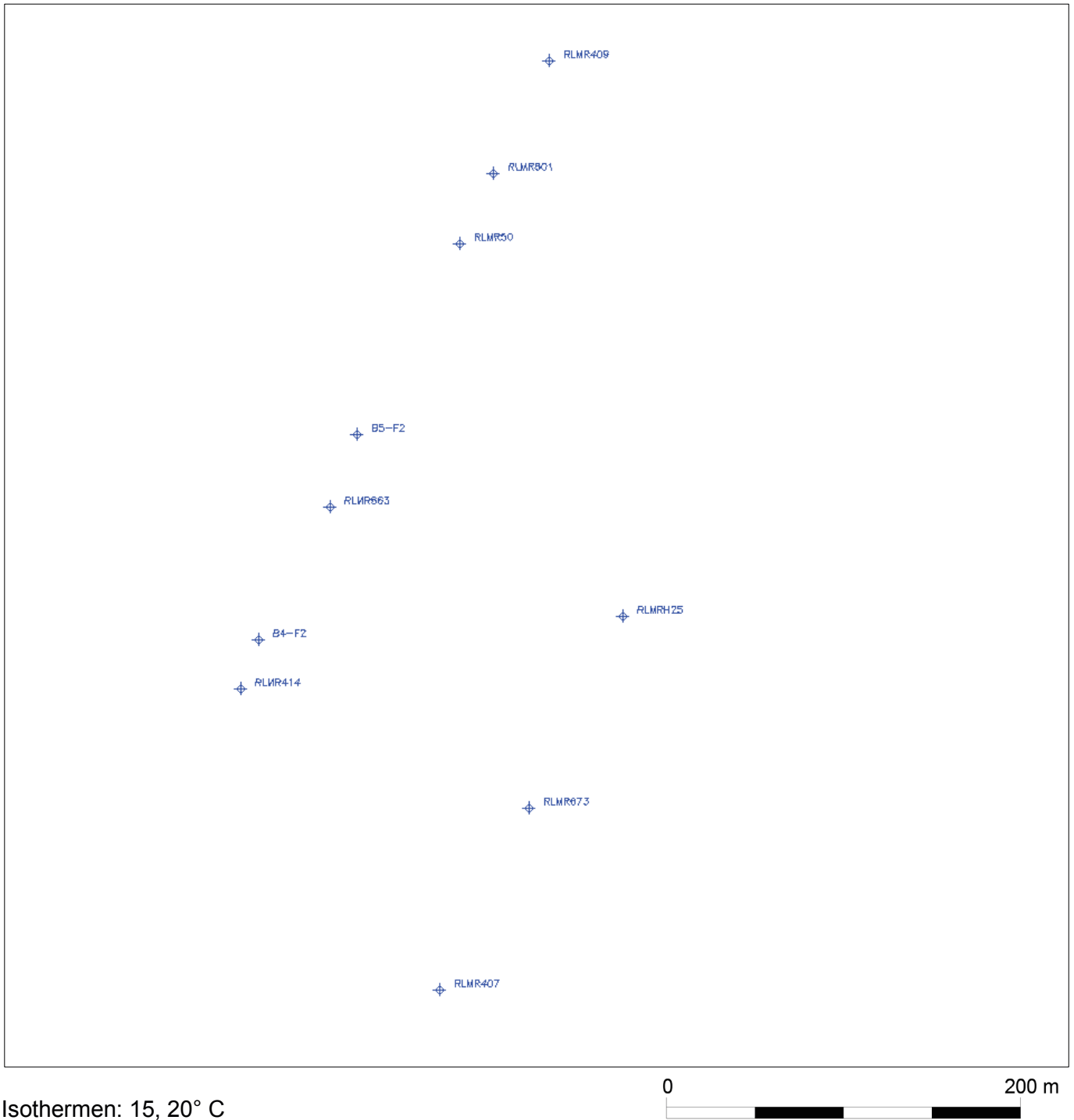
nach 20 Jahren, Modellschicht 5



Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Ausdehnung potentieller Wärmefahnen im Grundwasser für das Projekt „Erdöl aus Röhlermoor“

Berechnete Wärmefahnen beim Szenario zur Reversibilität

nach 30 Jahren, Modellschicht 5



Teil 4 Anhang

4. Gutachten

Thema:

4.4.8 Hydrogeologie

4.4.8d Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage

Gutachter: Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Stand: 11.12.2015

ExxonMobil Production Deutschland GmbH
Frau Claudia Seifert
Riethorst 12

30659 Hannover

Bericht Nr. 15 – 23971.2

**Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ –
Hydrogeologische Stellungnahme
zur Abschätzung der Reichweite
einer potentiellen Schadstofffahne
ausgehend von einer Leitungsleckage**

**vom
11. Dezember 2015**

I Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2 Projektunterlagen	5
3 Beschreibung des Vorhabens	6
4 Transportmechanismen	7
5 Numerisches Grundwasserströmungs- und Transportmodell	9
5.1 Modellvorstellung und -annahmen	9
5.2 Schadensszenario	10
5.2.1 Szenario 1: „Begrenztes Auslaufvolumen“	11
5.2.2 Szenario 2: „Maximaler Schadstoffeintrag“	13
5.3 Beschreibung des verwendeten Modells	14
5.3.1 Diskretisierung und Randbedingungen	15
5.3.2 Systemeigenschaften und Eingangsdaten	16
5.3.3 Parameter für den Schadstofftransport	17
6 Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne	19
6.1 Reichweite nach Ende des Schadstoffeintrags	19
6.1.1 Szenario 1	19
6.1.2 Szenario 2	20
6.2 Reichweite bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen	20
6.2.1 Szenario 1	21
6.2.2 Szenario 2	22
7 Zusammenfassung	24
8 Literaturverzeichnis	26

II Anlagenverzeichnis

- 1 Lage des Modellgebietes und horizontale Modelldiskretisierung (M 1 : 10.000)
- 2 Vergleich berechneter und konstruierter Grundwassergleichen (oberer Abschnitt des HGWL) (M 1 : 10.000)
- 3 Szenario 1: Schadstofffahne nach Ende des Schadstoffeintrags (nach ca. 2 Stunden, Modellschicht 1) (M 1 : 1.000)
- 4 Szenario 1: Schadstofffahne bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen (nach 30 Tagen, Modellschicht 1) (M 1 : 1.000)
- 5 Szenario 2: Schadstofffahne nach Ende des Schadstoffeintrags (nach ca. 1 Sekunde, Modellschicht 1) (M 1 : 1.000)
- 6 Szenario 2: Schadstofffahne bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen (nach 30 Tagen, Modellschicht 1) (M 1 : 1.000)
- 7 Dokumentation der Modellparameter
- 8 Szenario Lagerstättenwasser Leitungsleckage (ExxonMobil)

IV Abkürzungsverzeichnis

DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
mNN	Meter bezüglich Normalnull

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die ExxonMobil Production Deutschland GmbH (EMPG), Hannover, beabsichtigt die Fortführung der Erdölförderung im Erdölfeld Rühlermoor, Landkreis Emsland. Zur Verbesserung der Ausbeute der in ca. 700 m Teufe befindlichen Erdöl-Lagerstätte soll durch die Erhöhung der Dampf-Injektionen weiter Öl aus der Lagerstätte gefördert werden und die Förderrate erhöht werden. In diesem Zusammenhang sind u.a. diverse Um- und Ausbauarbeiten, der Bau einer KWK-Anlage, das Abteufen weiterer Bohrungen sowie die Verlegung neuer Transportleitungen geplant.

Für das Gesamtprojekt soll ein bergrechtliches Genehmigungsverfahren einschließlich UVP durchgeführt werden. Im Zusammenhang mit der Erstellung der entsprechenden Unterlagen für die UVP sollen u.a. die möglichen Folgen von oberflächigen Schadstoffeinträgen betrachtet werden. Für einen ausgewählten Bereich soll ein numerisches Prinzipmodell erstellt werden, mit dem exemplarisch die Ausbreitung einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage an einer unterirdisch verlegten Lagerstättenwasserleitung in den süßwassererfüllten Raum abgeschätzt werden soll. Hiermit soll eine Grundlage für die Bewertung von Beeinträchtigungen des Teilschutzgutes Grundwasser durch oberflächige Schadstoffeinträge geschaffen werden.

Mit Datum vom 28.01.2015 erhielt die Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, von der ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover, den Auftrag zur Anfertigung einer hydrogeologischen Stellungnahme zur Frage der Ausbreitung einer potentiellen Schadstofffahne im Untersuchungsraum Rühlermoor. Der entsprechende Bericht wird hiermit vorgelegt.

2 Projektunterlagen

- /1/ Hydrogeologische Grundlagenermittlung für das Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Untersuchungsraum Rühlermoor (Bericht 14 - 23862).- Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, 13. November 2015
- /2/ Gemessene Grundwasserstände und Ergebnisse der Grundwasseranalytik Rühlermoor. Prüfbericht-Nr.: 2015P512522/3, Pinneberg, GBA vom 29. Oktober 2015
- /3/ Dokumentation der hydrogeologischen Erkundungsarbeiten im Raum Rühlermoor / Apeldorn, Landkreis Emsland (Bericht 15 - 23970).- Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, 29. Oktober 2015
- /4/ Beratungsvorlage zur Festlegung des Untersuchungsrahmens für die Umweltverträglichkeitsstudie im bergrechtlichen Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung gem. § 52 Abs. 2a BBergG/Rahmenbetriebsplan Fortführung der Erdölförderung Emsland, ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover vom April 2014
- /5/ Diverse Unterlagen und Daten der ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover

3 Beschreibung des Vorhabens

Zur Verbesserung der Fließeigenschaften des Rohöls in der Lagerstätte wird im Erdölfeld Rühlermoor seit Beginn der 1980er Jahre Wasserdampf injiziert (Thermalförderung). Das erforderliche Wasser zur Dampferzeugung wird zurzeit dem Grundwasser entnommen. Die Kesselanlagen zur Dampferzeugung werden im Wesentlichen mit dem anfallenden Erdölgas befeuert. Die Versorgung mit elektrischer Energie für die Anlagen erfolgt aus dem öffentlichen Netz. Die Trennung von Rohöl, Lagerstättenwasser und Gas erfolgt im Feld auf der Station H mittels drei Separatoren und auf dem zentralen Betriebsplatz. Zur Druckerhaltung wird das vom Erdöl abgetrennte Wasser (Lagerstättenwasser) wieder in die gleiche Lagerstätte injiziert. Das Rohöl wird vom zentralen Betriebsplatz zur weiteren Verarbeitung über eine bestehende Rohöl-Transportleitung zur Raffinerie in Lingen transportiert.

Das Ziel des Vorhabens „Fortführung Erdölförderung Emsland“ ist eine Steigerung der Lagerstättenausbeute von derzeit ca. 25-30 % auf ca. 50-60 % in einem Zeitraum bis ca. 2045. Zur Entwicklung des Erdölfeldes Rühlermoor sind u.a. Neubohrungen und Rekomplettierungen vorhandener Produktionsbohrungen geplant. Ein Teil der bestehenden Bohrungen wird nicht weiter betrieben, sodass die Gesamtzahl der betriebenen Bohrungen nahezu unverändert bleibt /4/.

4 Transportmechanismen

Für den Transport gelöster Schadstoffe in einem Grundwasserleiter sind i.W. die Prozesse

- Advektion
- molekulare Diffusion
- Dispersion
- Adsorption und
- Reaktion (chemisch, biologisch)

verantwortlich. Im Falle von radioaktiven Substanzen kommt noch der radioaktive Zerfall hinzu.

Advektion ist der Transport eines gelösten Stoffes mit der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers. Bei idealem advektivem Transport verlagert sich die ursprüngliche Konzentrationsverteilung ohne Formveränderung. Die molekulare Diffusion führt – basierend auf der Brown'schen Molekularbewegung – zu einem Ausgleich von Konzentrationsunterschieden unabhängig von Richtung und Geschwindigkeit der Strömung [7]. Infolge der molekularen Diffusion breitet sich ein Schadstoff in alle Richtungen aus und vermischt sich mit dem nicht kontaminierten Grundwasser. Im Gegensatz zur Diffusion ist die Dispersion ein mechanischer Vorgang, der vom Korngerüst in einem Grundwasserleiter abhängig ist. Es ist ein Mischungsvorgang, der sich durch das Umströmen des Korngerüsts bzw. die Umleitung der Strömung durch das Korngerüst ergibt. Zusammen führen molekulare Diffusion und mechanische Dispersion zu der Entstehung von Übergangszonen zwischen reinem und kontaminierten Wasser [8]. Genau wie die Diffusion wird auch die Dispersion durch Konzentrationsunterschiede beeinflusst und kann über den Fick'schen Ansatz beschrieben werden [8] [7]. Welcher Mischungsprozess – Diffusion oder Dispersion – im Einzelfall dominiert, ist skalenabhängig. Während Diffusion bei Abständen im Millimeter- bis Zentimeterbereich entscheidend ist, hat die korngerüstbedingte Dispersion im Meterbereich mehr Einfluss [7].

Eine Bindung (chemisch oder physikalisch) eines im Wasser gelösten Stoffes an die Gesteins- bzw. Sedimentmatrix wird Adsorption genannt, die Lösung dieser Bindung Desorption. Das Sorptionsvermögen wird durch den Anteil an Ton- und Schluffbestandteilen und den Anteil an sorptionsfähigen mineralischen Komponenten bestimmt [8]. Sorbierende Stoffe im Sediment sind vor allem Tonminerale, Zeolithe (kristalline Alumosilikate), Metall-Hydroxide, Metalloxihydrate sowie organische Substanzen [8]. Sorptionseffekte führen i.A. zu einer Retardierung, d.h. zu einer Verzögerung, der Schadstoffausbreitung.

Bei den o.g. Prozessen Advektion, Diffusion, Dispersion und Adsorption bleibt die Masse eines (Schad-)Stoffes unverändert. Chemische und biologische Reaktionen können hingegen z.B. zu einem Abbau von Schadstoffen führen. Gelöste Stoffe, die während des Transports im Grundwasser keinen Veränderungen durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse unterliegen, nennt man auch konservative Stoffe (z.B. das Chlorid-Ion) [8].

5 Numerisches Grundwasserströmungs- und Transportmodell

Zur Abschätzung der Ausbreitung einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage wird eine numerische Grundwassermodellierung durchgeführt. Das Grundwassermodell ist ein Prinzipmodell [3], das für eine Einschätzung geohydraulischer Systeme und Prozesse gedacht ist.

5.1 Modellvorstellung und -annahmen

Im Modell wird die Ausbreitung eines Schadstoffes ausgehend von einer Leckage an einer Lagerstättenwasserleitung betrachtet. Der Schadstoff wird in diesem Modellbeispiel an der Grundwasseroberfläche eingetragen und breitet sich im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters, d.h. in den zumeist fein- bis mittelsandigen fluviatilen Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit (siehe /1/) aus. Der obere Teil des Hauptgrundwasserleiters ist im Modellgebiet ca. 21 m mächtig und erstreckt sich oberhalb von tonigen bis schluffigen Beckenablagerungen bis in eine Tiefe von ca. - 5 mNN. Der Grundwasserstand im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters liegt hier bei ca. +15,0 bis +15,5 mNN /1/. Der Grundwasserabstrom erfolgt in nordöstliche Richtung (**Anlage 2**).

Es wird die horizontale (x- und y-Richtung) und vertikale (z-Richtung) Ausbreitung der Schadstofffahne im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters simuliert. In dem austretenden Lagerstättenwasser sind u.a. hohe Konzentrationen an Chlorid zu erwarten (siehe Abschnitt 5.2). Chlorid dient bei der Simulation der Schadstofffahne als Tracer, weil es sich konservativ verhält, d.h. sein Transport nicht durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse beeinflusst wird. Da somit bei der Ausbreitung von Chlorid keine Retardierungseffekte wirksam sind, kann die mittels des Tracers Chlorid berechnete Schadstofffahne als eine maximal ausgedehnte Schadstofffahne bei den im Modell angesetzten Strömungsverhältnissen angesehen werden.

Die anfängliche Chloridkonzentration beträgt in allen Zellen des Modells 0 mg/l. Für die Simulation einer Schadstofffahne tritt Schadstoff ins Grundwasser ein. Dieser Schadstoff ist im Modell durch eine Chloridkonzentration von 60.000 mg/l gekennzeichnet, was in der Größenordnung der Chloridgehalte des in der Leitung vom Betriebsplatz zur Pumpstation Nordost geförderten Lagerstättenwassers liegt /5/.

5.2 Schadensszenario

Das Schadensszenario wurde von ExxonMobil erarbeitet und soll das Ereignis mit dem größten potentiellen Schadensausmaß, das sich nicht vernünftigerweise ausschließen lässt, repräsentieren (**Anlage 8**). Die hier betrachtete Leckage tritt an der 16“ Lagerstättenwasserleitung vom Betriebsplatz Rühlermoor zur Pumpstation Nordost auf (**Anlage 1**), an der das Lagerstättenwasser reinjiziert werden soll. Die Leitung ist unterirdisch verlegt und verläuft am Rande einer landwirtschaftlich genutzten Fläche (**Anlage 8**). Eine Beschädigung, z.B. durch Tiefpflügen, ist sehr unwahrscheinlich, kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden und wird daher als Ursache der Leckage unterstellt (**Anlage 8**).

Basierend auf einer Ereignisanalyse wird davon ausgegangen, dass die Leckage innerhalb von zwei Minuten durch die Drucküberwachung der Leitung erkannt wird und die einspeisenden Pumpen gestoppt werden (**Anlage 8**). Der Betriebsdruck der Leitung liegt bei 16 bar. Bei einem Volumenstrom von 960 m³/h und einer Reaktionszeit von zwei Minuten ergibt sich somit ein unter Druck freigesetztes Volumen von 32 m³ (**Anlage 8**).

Das Leckagevolumen wird jedoch primär durch die Nachlaufmenge bestimmt, welche durch das Leitungsvolumen zwischen zwei Schiebern begrenzt ist. Da die Leckage spätestens nach zwei Stunden entweder abgedichtet ist oder das nachlaufende Volumen abgefangen wird, ergibt sich eine Reaktionszeit von max. zwei Stunden (**Anlage 8**). Der Nachlaufvolumenstrom ohne Berücksichtigung von Gegendrücken durch Erdreich oder Stauwasser beträgt 213,9 m³/h (**Anlage 8**). Bei einer

Reaktionszeit von max. 2 Stunden und einem Volumenstrom von 213,9 m³/h wird das gesamte Volumen des Leitungsabschnittes von 233 m³ vollständig entleert. Die treibende Kraft für das Nachlaufen des Lagerstättenwassers stellt die sich aus der Höhendifferenz des Leitungsmittelpunktes und dem Leitungsdurchmesser ergebende Flüssigkeitssäule dar (**Anlage 8**). Das gesamte Leckagevolumen beläuft sich somit auf 265 m³ (**Anlage 8**).

Die im o.g. Szenario beschriebenen Volumenströme wurden ohne Berücksichtigung von Gegendrücken durch Erdreich oder Stauwasser berechnet; in der Realität werden solche Werte jedoch nicht erreicht. Die Freisetzung eines Volumens von 32 m³ innerhalb von zwei Minuten und unter einem Initialdruck von 16 bar führt aller Wahrscheinlichkeit nach zur Ausspülung eines Bodentrichters und zu einer horizontalen und vertikalen Ausbreitung des ausgetretenen Lagerstättenwassers in der wasserungesättigten Zone des Bodens. Das Nachlaufvolumen würde voraussichtlich ebenfalls nicht mit dem o.g. Volumenstrom von 213,9 m³/h, sondern mit einer durch den Gegendruck verringerten Rate eingetragen. Da die genauen Volumenströme, mit denen das Lagerstättenwasser in den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (z.B. durch Zusickerung) eingetragen wird, nicht bestimmt werden können, wird im Prinzipmodell ein anderer (konservativer) Ansatz gewählt. Dabei werden zwei unterschiedliche Simulationen betrachtet, die im Folgenden beschrieben werden.

5.2.1 Szenario 1: „Begrenztes Auslaufvolumen“

Für dieses Szenario wird angenommen, dass die Schadstoffmenge, die sich in dem unter Druck freigesetzten Volumen von 32 m³ befindet, augenblicklich (innerhalb von 1 Sekunde) in den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters eingetragen wird. Die Menge Chlorid, die in den 32 m³ enthalten ist, beläuft sich bei einer Chloridkonzentration von 60.000 mg/l auf 1.920 kg. Es wird angenommen, dass die Masse Chlorid in die erste Modellschicht eingetragen wird. Die initiale Chlorid-Konzentration in der ersten Modellschicht soll dabei der Lagerstättenwasser-Konzentration von 60.000 mg/l entsprechen. Daher wird ausgehend von der Modellgeometrie eine ca. 43 m² große Eintragsfläche zugrunde gelegt. Die Eintragsfläche wird radial um die

Leckagestelle angeordnet. Die Lokation der Leitungsleckage wird etwa auf halber Strecke zwischen dem Betriebsplatz Rühlermoor und der Pumpstation Nordost gewählt.

Die Oberkante der Lagerstättenwasserleitung steht an dieser Lokation etwa 1,2 m unter Gelände an, die Unterkante ca. 1,6 m unter Gelände. Bei einer Geländehöhe von ca. +17,5 mNN und einem Grundwasserstand im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters von ca. +15,4 mNN (**Anlage 2**), ergibt sich für den Bereich der Leckage ein zu erwartender Flurabstand von ca. 2,1 m. Die wasserungesättigte Bodenzone unterhalb der Leitung beträgt somit etwa 0,5 m. Bei der Entstehung der Leckage kommt es wahrscheinlich zu einer Ausspülung eines Bodentrichters, die die Mächtigkeit dieser wasserungesättigten Bodenzone und damit Verzögerungen durch Versickerungseffekte verringern würden. Auf dieser Grundlage ist es schlüssig anzunehmen, dass das sich noch in der Leitung befindende Lagerstättenwasser direkt in den Hauptgrundwasserleiter eingetragen wird. Der Schadstoffeintrag während des Nachlaufens von Lagerstättenwasser aus der Leitung wird über den Eintrag eines Volumenstroms mit einer Chloridkonzentration von 60.000 mg/l simuliert.

Die Dauer der Nachlaufphase beträgt laut den Ergebnissen der Ereignisanalyse von ExxonMobil maximal zwei Stunden, wobei hier konservativ von 2 Stunden ausgegangen wird. Der Volumenstrom, mit dem das im Leitungsabschnitt vorhandene Lagerstättenwasser in den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters nachlaufen kann, wird aufgrund von Gegendrücken durch Erdreich oder die Wassersäule reduziert. Diese Gegendrücke werden im Modell durch die Berücksichtigung von Porositäten und k_f -Werten repräsentiert. Damit kann der Volumenstrom des nachlaufenden Lagerstättenwassers mithilfe des Modells abgeschätzt werden. Im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters kann sich durch das Nachlaufen von Lagerstättenwasser kein Wasserstand einstellen, der oberhalb des Wasserstandes am höchsten wassergefüllten Punkt in der Leitung liegt. Da dieser Wasserstand nicht bekannt ist, wird konservativ die Leitungsoberkante als Referenzhöhe angenommen, die den Volumenstrom auf ca. 7,20 m³/h begrenzt. Diese Rate wird auf die o.g.

Eintragsfläche von ca. 43 m² verteilt. Durch den eingetragenen Volumenstrom kommt es im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zu einer Aufhöhung der Wasserstände um ca. 0,9 m auf ca. +16,3 mNN. Die über den Nachlauf eingetragene Chloridmenge beträgt ca. 863,8 kg; die Gesamtmenge eingetragenen Chlorids in diesem Szenario beträgt somit ca. 2.783,8 kg.

Der hier gewählte Ansatz kann als ein konservatives, realistisches Szenario betrachtet werden, da eine zeitliche Verzögerung des Schadstoffeintrags – z.B. durch Versickerung durch die wasserungesättigte Zone – bei dem initialen Schadstoffeintrag während der Entstehung der Leckage nicht berücksichtigt wird. Das Volumen des nachlaufenden Lagerstättenwassers (und damit auch die eingetragene Schadstoffmenge) wurde so angepasst, dass es von realer Relevanz ist (Begrenzung des nachlaufenden Volumenstroms durch Gegendrucke von Erdreich oder Wassersäule) und die über das Ergebnis einer Ereignisanalyse festgelegte Reaktionszeit bis zur Abdichtung der Leitung oder Abfangen des Lagerstättenwassers (max. 2 Stunden) berücksichtigt.

5.2.2 Szenario 2: „Maximaler Schadstoffeintrag“

In diesem Szenario wird angenommen, dass die gesamte Schadstoffmenge, die sich in dem unter Druck freigesetzten Volumen von 32 m³ und dem Nachlaufvolumen von 233 m³ befindet, augenblicklich (innerhalb von 1 Sekunde) in den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters eingetragen wird. Die Menge Chlorid, die in den 265 m³ enthalten ist, beläuft sich bei einer Chloridkonzentration von 60.000 mg/l auf 15.900 kg. Es wird angenommen, dass die Masse Chlorid in die erste Modellschicht eingetragen wird. Die initiale Chlorid-Konzentration in der ersten Modellschicht soll dabei wie im Szenario 1 der Lagerstättenwasser-Konzentration von 60.000 mg/l entsprechen. Daher wird hier ausgehend von der Modellgeometrie eine ca. 358 m² große Eintragsfläche zugrunde gelegt.

Der hier gewählte Ansatz kann als ein „worst-case“-Szenario betrachtet werden, da die gesamte Schadstoffmenge des unter Druck freigesetzten Volumens und des sich in

dem Leitungsabschnitt befindlichen Lagerstättenwassers in den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters eingetragen wird. Es wird keine zeitliche Verzögerung berücksichtigt, die eine Ausbreitung des Schadstoffs verlangsamen könnte. Eine schnelle Abdichtung bzw. ein Abfangen des nachlaufenden Lagerstättenwassers würde zudem die Eintragsmenge verringern.

5.3 Beschreibung des verwendeten Modells

Die Simulation der Strömungs- und Stofftransportverhältnisse wurde mit der langjährig bewährten Finite-Differenzen Grundwasser-Modellierungssoftware PROCESSING MODFLOW (Version 8.0.42) durchgeführt. Für die Strömungsberechnung wird die Software MODFLOW [9] des U.S. Geological Survey, für die Transportsimulation die Software MT3DMS eingesetzt. PROCESSING MODFLOW verknüpft die Strömungsmodellierungssoftware MODFLOW, das 'Particle-tracking'-Programm PMPATH zur Bahnlinienberechnung, das Programm PEST zur automatisierten Modellkalibrierung sowie die Stofftransportsoftware MT3DMS mit verschiedenen Prä- und Postprozessoren. Die einzelnen genannten Programmteile sind unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche verbunden.

Bei MODFLOW handelt es sich um eine Software zur dreidimensionalen Modellierung, mit der die Grundwasserströmung unter Berücksichtigung von Oberflächengewässern, Grundwasserneubildung, Evapotranspiration, Entnahme- und/oder Infiltrationsbrunnen, Dichtwänden sowie Drainagen simuliert werden kann. Das Programm ist anwendbar für gespanntes und freies Grundwasser sowie für die Kombination beider Zustände. Es können stationäre und instationäre Strömungsmodellierungen bei homogener oder inhomogener bzw. isotroper oder anisotroper Durchlässigkeit durchgeführt werden. Die räumliche Diskretisierung erfolgt durch quaderförmige Elemente mit beliebig definierbarer Größe.

Die Stofftransportsoftware MT3DMS bietet verschiedene Verfahren zur Simulation des Transports wassergelöster Stoffe unter Berücksichtigung der Transportmechanismen

Advektion, Dispersion und Diffusion sowie chemischer Reaktionen. Mit dem Modell können lineare und nichtlineare Gleichgewichts-Sorptions-Desorptions-Prozesse sowie der irreversible Abbau 1. Ordnung und Biodegradation nachgebildet werden.

Nähere Einzelheiten zur Anwendung von PROCESSING MODFLOW sind in [12] aufgeführt.

5.3.1 Diskretisierung und Randbedingungen

Das vorliegende Modell besteht aus einem horizontalen Modellnetz von 690 x 600 Zellen und hat eine Größe von 690 m x 600 m. Die Fläche des aktiven Bereiches beträgt ca. 0,3 km². Die Lage des Modellgebietes und die horizontale Modelldiskretisierung sind in **Anlage 1** dargestellt. Die Maschenweite des Modellgitters beträgt durchgängig 1 m x 1 m.

Um auch eine vertikale Ausbreitung der Schadstoffahne simulieren zu können, erfolgte die Diskretisierung des Modellgebietes beim Modellaufbau dreidimensional (4-Schichten-Modell). Insgesamt resultiert aus der Diskretisierung des Berechnungsraumes ein Modellgitter aus 600 Spalten, 690 Zeilen und 4 Modellschichten (1.656.000 Zellen). Der Aufbau der Modellschichten ist in **Anlage 7** dargestellt. Der Eintrag des Schadstoffs erfolgt modelltechnisch in der ersten Modellschicht.

Bei dem vorliegenden Strömungsmodell orientiert sich die Definition der Randbedingungen für das Betrachtungsgebiet, ähnlich wie die Wahl der horizontalen Modellberandungen, an dem Systemzustand, der durch die in /1/ ermittelten Grundwasserströmungsverhältnisse im Juli 2015 vorgegeben ist. Die Begrenzungen des Berechnungsgebietes sind in **Anlage 1** dargestellt.

Im Norden und Süden wird das Grundwasserströmungsmodell von der +15,5 mNN- bzw. der +15 mNN-Potentiallinie des Grundwassergleichenplans für den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters /1/ begrenzt. Hierbei handelt es sich um

Festpotentialränder (Dirichlet-Randbedingung); über diese Teilstrecken werden während der Modellberechnungen konstante Wasserstände simuliert. Die Abschnitte zwischen diesen Festpotentialrändern wurden senkrecht zu den Isohypsen des Grundwassergleichenplans angelegt. Sie folgen somit einer Bahnlinie, so dass in diesen Bereichen kein Wasseraustausch über den Modellrand erfolgt (undurchlässiger Rand, Neumann-Randbedingung). Die Modellbegrenzungen wurden in allen vier Modellschichten gleich gewählt.

5.3.2 Systemeigenschaften und Eingangsdaten

Die Systemeigenschaften und ihre räumliche Verteilung beeinflussen das hydraulische Verhalten des Grundwassersystems. Nach dem Aufbau des Modellgitters wurden den einzelnen Zellen die Parameter zugeordnet, die zum Lösen der Strömungsgleichung notwendig sind. Folgende Daten gehen in das Strömungsmodell ein:

- Geologie in Form von Schichtobergrenzen und Schichtuntergrenzen
- Systemparameter der verschiedenen geologischen Schichten (k_f -Werte, effektive Porositäten)

Neben den Randbedingungen stellt der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) einen der wichtigsten Eingabeparameter bei der Grundwasserströmungsmodellierung dar. Er ist definiert als der Quotient aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Standrohrspiegelgefälle und übt somit erheblichen Einfluss auf das Fließregime aus. Der k_f -Wert ist eine tensorielle Größe. Infolge der Sedimentschichtung in grundwasserführenden Horizonten ist die vertikale Durchlässigkeit in der Regel kleiner als die horizontale. In Modellanwendungen sind Anisotropiefaktoren zwischen horizontalem und vertikalem k_f -Wert in einer Größenordnung zwischen 1 und 1.000 üblich. Den Sedimenten wurden aufgrund der im Betrachtungsgebiet vorliegenden Schichtenverzeichnisse von Bohrungen (i.W. B8a) Durchlässigkeitsbeiwerte zugeordnet.

Neben dem Durchlässigkeitsbeiwert ist die effektive Porosität eine weitere bestimmende hydraulische Größe, die vor allem für die Berechnung der Fließzeiten des Grundwassers von Bedeutung ist. Die effektive Porosität definiert die Größe des zusammenhängenden Porenraumes, der an der Wasserbewegung beteiligt ist. Für das Grundwasserströmungsmodell wurden die effektiven Porositäten aus den petrographischen Angaben der niedergebrachten Bohrung zur Errichtung der Grundwassermessstelle B8a (**Anlage 2**) abgeleitet. Bei den Werten handelt es sich um Annahmen, die sich auf Literaturangaben stützen [6], [11]. Eine tabellarische Zusammenfassung der zugewiesenen Parameter für die einzelnen Modellschichten findet sich in **Anlage 7**.

In diesem kleinräumigen Prinzipmodell, das nur einen kurzen Zeitraum (30 Tage) simuliert und zur Beschreibung der Grundwasserfließverhältnisse dient, wurde die Grundwasserneubildung vernachlässigt. Gleiches gilt für die Einbindung von Vorflutern.

5.3.3 Parameter für den Schadstofftransport

Für die Simulation der molekularen Diffusion von Chlorid wurde ein molekularer Diffusionskoeffizient von $1,49 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ verwendet. Der Wert berechnet sich als temperaturabhängiger molekularer Diffusionskoeffizient nach [2], basierend auf einer Temperatur von 12°C.

Im Gegensatz zur Diffusion ist die Dispersivität richtungsabhängig und liegt in Porengrundwasserleitern (Sande und Kiese) i.a. im Bereich von 0,1 m bis 100 m [5] [13]. In Richtung der Grundwasserfließrichtung (longitudinale Dispersivität, α_L) ist die Dispersion stärker ausgeprägt als senkrecht (transversale Dispersivität, α_{Th}) bzw. vertikal (vertikale Dispersivität, α_{Tv}) dazu. Beim vorliegenden Prinzipmodell wurde aufgrund der kleinräumigen Betrachtung und unter Berücksichtigung der Gitter-Peclet-Zahl, zur Vermeidung von numerischer Dispersion und Oszillationen, eine longitudinale Dispersivität (α_L) von 1 m verwendet. Über die Größe der transversalen und vertikalen

Dispersivität ist weniger bekannt, Beobachtungen bei Tracerstudien weisen aber auf eine Größenordnung von 10 % bzw. 1 % der longitudinalen Dispersivität hin [4] [1]. Diese Werte wurden auch für die Modellrechnungen genutzt.

Bei Chlorid handelt es sich um einen konservativen Stoff, der während des Transports im Grundwasser weder durch physikalische noch durch chemische oder biologische Prozesse verändert wird. Daher können Effekte von Adsorption, chemischer und biologischer Reaktion vernachlässigt werden.

In diesem einfachen und kleinräumigen Prinzipmodell wurden die Parameter für den Schadstofftransport für alle Modellschichten gleich gewählt. Eine Zusammenfassung aller Modellparameter befindet sich in der **Anlage 7**.

6 Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne

Das Modell simuliert vier zeitliche Abschnitte (Perioden):

- 1) stationäre (zeitunabhängige) Strömungssituation
- 2) Auftreten der Leitungsleckage
- 3) Nachlaufphase
- 4) Schadstofftransport ohne weiteren Schadstoffeintrag

6.1 Reichweite nach Ende des Schadstoffeintrags

Mit einer ersten Berechnung wird die Schadstoffausbreitung unmittelbar nach Eintrag des Schadstoffs dargestellt.

6.1.1 Szenario 1

Der Schadstoffeintrag im Szenario 1 ist nach der Leckage und einem 2 Stunden andauernden Zufluss von Lagerstättenwasser aus dem Leitungsabschnitt beendet.

Es wurde eine Modellrechnung mit zwei Abschnitten durchgeführt. Im ersten Abschnitt wird das Grundwasserströmungsmodell mittels einer stationären (zeitunabhängigen) Modellrechnung in einen Gleichgewichtszustand gebracht (Periode 1). Es findet kein Volumen- bzw. Schadstoffaustritt statt. Im zweiten Abschnitt wird mittels einer instationären Modellrechnung die Schadstoffausbreitung während der Leckage (Periode 2, Dauer: 1 Sekunde) und des Nachlaufs (Periode 3, Dauer: 2 Stunden) berechnet. Während der Periode 2 wird die Chloridmenge von 1.920 kg über eine Fläche von ca. 43 m² in die Modellschicht 1 eingetragen. Der Eintrag erfolgt im Modell über die Zugabe der Masse des Chlorids, d.h. ein Volumenzutritt wird nicht betrachtet (siehe Abschnitt 5.2). In der Periode 3 wird ein anhaltender, konstanter Eintrag von Lagerstättenwasser mit einem Volumenstrom von 7,20 m³/h und 60.000 mg/l Chlorid über einen Zeitraum von 2 Stunden betrachtet.

Das Ergebnis der Simulation zeigt **Anlage 3**. Nach Ende des Schadstoffeintrags hat die Schadstofffahne in der Modellschicht 1 eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 20,6 m und eine Breite von maximal ca. 20 m. Dabei beträgt die Reichweite der Schadstofffahne ausgehend von der Leckage in Strömungsrichtung ca. 11 m. Die Abgrenzung der Schadstofffahne wird entlang der 1 mg/l Chlorid-Isolinie gewählt.

6.1.2 Szenario 2

Der Schadstoffeintrag im Szenario 2 ist nach dem augenblicklichen Eintrag der gesamten Schadstoffmenge von 15.900 kg Chlorid beendet. Periode 2 (Auftreten der Leitungsleckage) und Periode 3 (Nachlaufphase) sind in diesem Szenario zusammengefasst und dauern zusammen ca. 1 Sekunde.

Das Ergebnis zeigt **Anlage 5**. Nach Ende des Schadstoffeintrags hat die Schadstofffahne in der Modellschicht 1 eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 25 m und eine Breite von ebenfalls maximal ca. 25 m. Dabei beträgt die Reichweite der Schadstofffahne ausgehend von der Leckage in Strömungsrichtung ca. 13 m. Die Abgrenzung der Schadstofffahne wird erneut entlang der 1 mg/l Chlorid-Isolinie gewählt. In der Fläche liegen jedoch v.a. höhere Konzentrationen vor, da die Schadstofffahne direkt nach dem Eintrag der Schadstoffmenge szenariobedingt (siehe Abschnitt 5.2.2) eine Konzentration von ca. 60.000 mg/l hat und während der Eintragsdauer von ca. 1 Sekunde kaum Schadstofftransport stattgefunden hat.

6.2 Reichweite bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen

In einer zweiten Berechnung soll die Ausbreitung der Schadstofffahne bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen (z.B. Abpumpen des kontaminierten Grundwassers durch Sanierungsbrunnen) ermittelt werden. Der Zeitraum von der

Feststellung der Kontamination bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen wird mit ca. 30 Tagen angesetzt.

Die Modellrechnung erfolgt analog zur Berechnung der Schadstofffahne nach Ende des Schadstoffeintrags (Abschnitt 6.1), die Ausbreitung der Schadstofffahne wird jedoch weiter verfolgt, ohne zusätzlichen Schadstoff einzutragen. Die Ausbreitung und Reichweite der Schadstofffahne wird zu einem Zeitpunkt von 30 Tagen nach Auftreten der Leckage dargestellt. Die Abgrenzung der Schadstofffahne wird erneut entlang der 1 mg/l Chlorid-Isolinie gewählt.

6.2.1 Szenario 1

Das Ergebnis der Simulation für das Szenario 1 „Begrenztes Auslaufvolumen“ zeigt **Anlage 4**. Bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen erreicht die Schadstofffahne in der Modellschicht 1 eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 26,5 m und eine Breite von maximal ca. 20,9 m. Dabei beträgt die Reichweite der Schadstofffahne ausgehend von der Leckage in Strömungsrichtung ca. 15 m. In den Modellschichten 3 und 4 (Basis des oberen Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters) sind die Schadstoffkonzentrationen kleiner als 1 mg/l.

Während der ca. 29 Tage und 22 Stunden zwischen dem Eintrag des gesamten Schadstoffs und der Initiierung von Sanierungsmaßnahmen breitet sich die Schadstofffahne den Simulationsergebnissen zufolge in Strömungsrichtung weiter um ca. 5,9 m aus, senkrecht zur Strömungsrichtung um ca. 0,9 m.

Wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, wird für den Schadstoffeintrag in Szenario 1 ein konservatives, realistisches Szenario angenommen, bei dem der Schadstoffeintrag während der Leckage ohne zeitliche Verzögerung durch z.B. Zusickerung geschieht. Es wird jedoch nicht das gesamte in der Lagerstättenwasserleitung befindliche Volumen von 265 m³, und damit nicht die gesamte Schadstoffmenge von max. 15.900 kg Chlorid, in den oberen Abschnitt des Grundwasserleiters eingetragen. Stattdessen wird das Volumen des nachlaufenden Lagerstättenwassers durch die

Reaktionszeit bis zur Abdichtung der Leitung bzw. das Abfangen des Lagerstättenwassers (max. 2 Stunden) und durch einen von Gegendrücken durch Erdreich oder Wassersäule limitierten Volumenstrom begrenzt. Die sich entwickelnde Schadstofffahne hätte bei der Berücksichtigung einer zeitlichen Verzögerung eine geringere Reichweite und Ausdehnung, bei einem maximal möglichen Schadstoffeintrag jedoch eine größere Reichweite und Ausdehnung (siehe Abschnitt 6.2.2).

Das Szenario 1 „Begrenztes Auslaufvolumen“ geht davon aus, dass das gesamte während der Leckage freigesetzte Lagerstättenwasservolumen in den Grundwasserleiter eingetragen wird. Das nachlaufende Volumen wird durch Abdichtung der Leitung/Abfangen des Lagerstättenwassers (Reaktionszeit max. 2 Stunden) und durch einen infolge von Gegendruck (Erdreich/Wassersäule) limitierten Volumenstrom begrenzt.

6.2.2 Szenario 2

Das Ergebnis der Simulation für das Szenario 2 zeigt **Anlage 6**. Bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen erreicht die Schadstofffahne in der Modellschicht 1 eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 38 m und eine Breite von maximal ca. 30 m. Dabei beträgt die Reichweite der Schadstofffahne ausgehend von der Leckage in Strömungsrichtung ca. 21 m.

Während der ca. 30 Tage zwischen dem Eintrag des gesamten Schadstoffs und der Initiierung von Sanierungsmaßnahmen breitet sich die Schadstofffahne den Simulationsergebnissen zufolge in Strömungsrichtung weiter um ca. 13 m aus, senkrecht zur Strömungsrichtung um ca. 5 m. In den Modellschichten 3 und 4 (Basis des oberen Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters) sind die Schadstoffkonzentrationen erneut kleiner als 1 mg/l.

Wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, wird für den Schadstoffeintrag in Szenario 2 ein „worst-case“-Szenario angenommen, bei dem der Schadstoffeintrag während der

Leckage ohne zeitliche Verzögerung durch z.B. Zusickerung geschieht. Weiterhin wird angenommen, dass die gesamte Schadstoffmenge eingetragen wird, d.h. eine Verringerung der Eintragsmenge durch schnelle Abdichtung bzw. ein Abfangen des nachlaufenden Lagerstättenwassers wird nicht berücksichtigt. Die sich entwickelnde Schadstofffahne hätte bei der Berücksichtigung einer zeitlichen Verzögerung oder einer Verringerung der Eintragsmenge eine geringere Reichweite und Ausdehnung.

7 Zusammenfassung

Die Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne im Grundwasser ausgehend von einer Leckage an der Lagerstättenwasserleitung vom Betriebsplatz Rühlermoor zur Pumpstation Nordost wird nach dem Eintrag des gesamten Schadstoffs und bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen ermittelt. Hierzu wurde eine numerische Grundwassermodellierung durchgeführt.

Die mittels des Tracers Chlorid berechnete Schadstofffahne kann als eine maximal ausgedehnte Schadstofffahne bei gegebenen Strömungsverhältnissen angesehen werden.

Der Eintrag des Schadstoffs während der Leckage und dem Nachlaufen des sich in dem Leitungsabschnitt befindlichen Lagerstättenwassers in den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters wird anhand von zwei Szenarien betrachtet und die Ausbreitung des Schadstoffs über einen Zeitraum von ca. 30 Tagen verfolgt. Das Szenario 1 „Begrenztes Auslaufvolumen“ geht davon aus, dass das gesamte während der Leckage freigesetzte Lagerstättenwasservolumen in den Grundwasserleiter eingetragen wird, das nachlaufende Volumen jedoch durch die Reaktionszeit bis zur Abdichtung der Leitung oder Abfangen des Lagerstättenwassers (max. 2 Stunden) und durch einen von Gegendrücken durch Erdreich oder Wassersäule limitierten Volumenstrom begrenzt wird. Im Szenario 2 „Maximaler Schadstoffeintrag“ wird der gesamte Schadstoff, der im während der Leckage freiwerdenden Volumen und dem Nachlaufvolumen vorhanden ist, augenblicklich in den Grundwasserleiter eingetragen.

Nach dem Eintrag des Schadstoffs im Szenario 1 (nach ca. 2 Stunden) hat die Schadstofffahne eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 20,6 m und eine Breite von maximal ca. 20 m; im Szenario 2 (nach ca. 1 Sekunde) eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 25 m und eine Breite von ebenfalls maximal ca. 25 m.

Bis zur Initiierung von Sanierungsmaßnahmen (30 Tage nach der Leckage) erreicht die Schadstofffahne im Szenario 1 eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 26,5 m und eine Breite von maximal ca. 20,9 m; im Szenario 2 eine Ausdehnung in Richtung der Grundwasserfließrichtung von maximal ca. 38 m und eine Breite von maximal ca. 30 m. In der Vertikalen reichen die Schadstofffahnen nicht bis an die Basis des oberen Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters. Ein Schadstoffeintrag in den unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters ist somit nicht zu erwarten.

Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Dr. Udo Schmidt

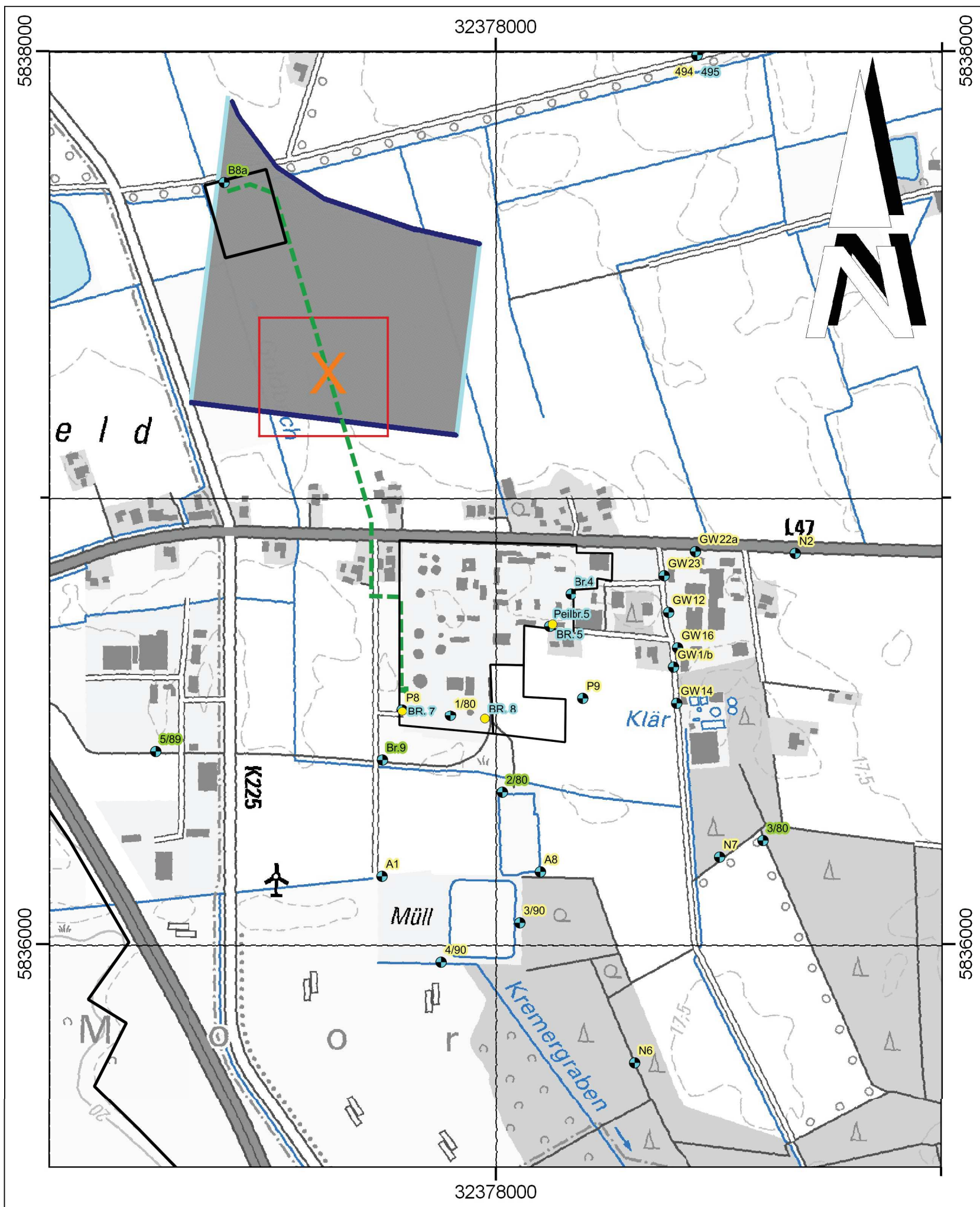
Dr. Lisa Grün

(n.D.v.)

8 Literaturverzeichnis

- [1] Appelo, C.A.J, Postma, D (2010) Geochemistry, groundwater and pollution, 2nd edition, A.A. Balkema Publishers, 649 S.
- [2] Boudreau B. P. (1997) Diagenetic Models and Their Implementation. Springer-Verlag.
- [3] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) (2004) Arbeitsblatt W 107, Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten (Technische Regel)
- [4] Gelhar, L.W. (1997) Perspectives on field-scale application of stochastic subsurface hydrology. In Dagan, G. und Neuman, S.P. (eds): Subsurface flow and transport: a stochastic approach, S. 157-176, Cambridge Univ. Press.
- [5] Gelhar, L.W., Mantoglou, A., Welty, C., Rehfeldt, K.R. (1985) Review of field-scale physical solute transport processes in saturated an unsaturated porous media. Research project 2485-5, EPRI EA-4190, Electric Power Research Institute Palo Alto Cal., 116 S.
- [6] Hölting, B. & Coldewey, W. G. (2009) Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- Springer, Heidelberg, 7. Aufl., 383 S.
- [7] Kinzelbach W. & Rausch R. (1995) Grundwassermodellierung – Eine Einführung mit Übungen. 283 S., Gebrüder Bornträger.
- [8] Langguth H.-R. & Voigt R. (2004) Hydrogeologische Methoden, 2. Auflage. 1005 S., Springer Verlag.
- [9] McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W. (1988) MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875.
- [10] Neuß, M. & Dörhöfer, G. (2009) GeoFakten 8: Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen. LBEG, Hannover, 9 S.

- [11] Prinz, H. (1997) Abriß der Ingenieurgeologie mit Grundlagen der Boden- und Felsmechanik, des Erd-, Grund- und Tunnelbaus sowie der AbfalldPONien.- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 3. neu bearb. u. erw. Auflage, 546 S.
- [12] Simcore Software (2012) Processing Modflow - An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and Reactive Processes, 419 S. Online im Internet: <http://www.simcore.com/download>
- [13] Spitz, K. & Moreno, J. (1996) A practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling.- J. Wiley & Sons, Inc., New York, 1996, 461 S.



LEGENDE:

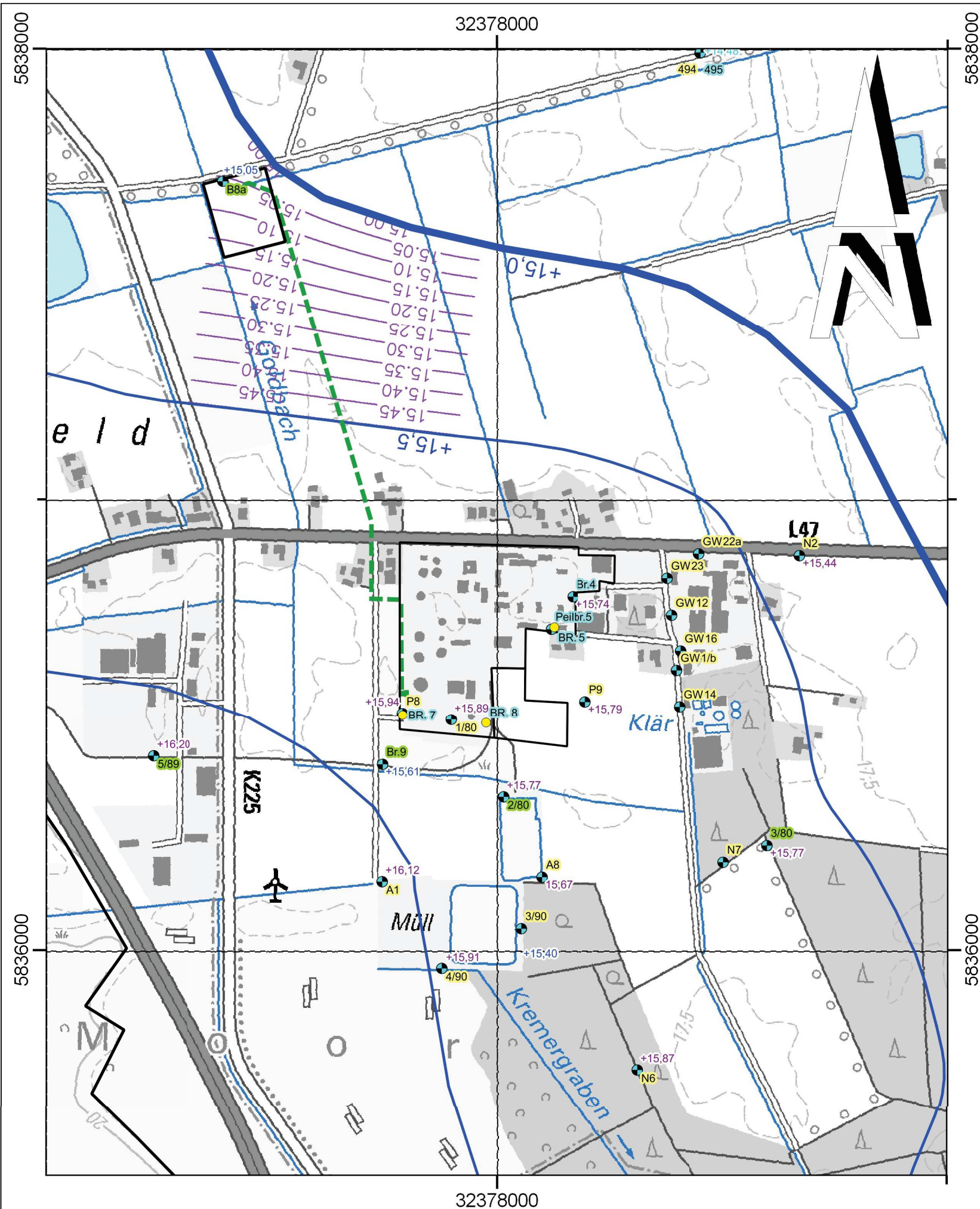
- Brunnen
- Grundwassermessstelle bzw. Messstellengruppe
- Feuerlöschbrunnen
- Bohrung
- Lagerstättenwasserleitung (unterirdisch)
- 494 Filter im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- 495 Filter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- B6 Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- 493 Bezeichnung gem. NLWKN Meppen
- 2/80, N2, Peilbr. 5 Bezeichnung gem. Gutachten zum Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis für ExxonMobil, Betriebsstätte Rühlermoor (Fugro, 2013)
- B3, FB 2 Bezeichnung gem. Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH
- BR 5 Bezeichnung gem. Betreiber (EMPG)
- Festpotentialrand (Dirichlet-Rand)
- Modellzellen
- undurchlässiger Rand
- X Leckage
- Darstellungsbereich Anlagen 3 und 4

Quelle der topografischen Kartengrundlage:

Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung

© 2015 **LGLN**
(www.lgln.niedersachsen.de)

 Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988 URL: http://www.schmidt-geologen.de		Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH	
		Projekt: Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ - Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage	Bearbeiter: LG Zeichner: JT Maßstab: 1 : 10 000
Projekt: 15 - 23971.2 Verzeichnis: R:\2015_Proj\15-23791\CAD		Darstellung: Lage des Modellgebietes und horizontale Modelldiskretisierung	



LEGENDE:

- Brunnen
- Grundwassermessstelle bzw. Messstellengruppe
- Feuerlöschbrunnen
- Bohrung
- Lagerstättenwasserleitung (unterirdisch)
- 494 Filter im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- 495 Filter im unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters
- B6 Filter im oberen und unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Messstellengruppe)
- 493 Bezeichnung gem. NLWKN Meppen
- 2/80, N2, Peilbr. 5 Bezeichnung gem. Gutachten zum Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis für ExxonMobil, Betriebsstätte Rührlermoor (Fugro, 2013)
- B3, FB 2 Bezeichnung gem. Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH
- BR 5 Bezeichnung gem. Betreiber (EMPG)
- +13,85 Grundwasserstand [mNN], 22./23. Juli 2015
- +14,48 Grundwasserstand [mNN], 25. Juni 2015
- +15,87 Grundwasserstand [mNN], 1. - 4. Juni 2015
- +15,0 } Grundwassergleiche [mNN]
- +15,5 }
- 15,40 berechnete Grundwassergleiche [mNN]

Quelle der topografischen Kartengrundlage:

Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung

© 2015 **LGLN**
(www.lgln.niedersachsen.de)

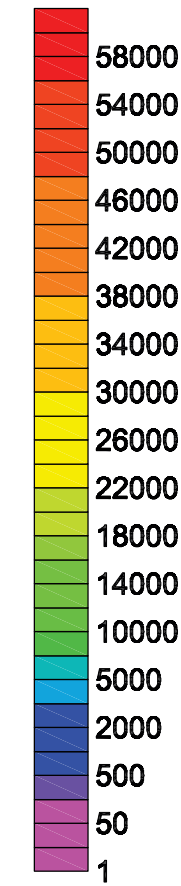
 Ingenieurgesellschaft Dr. SCHMIDT mbH	Auftraggeber: ExxonMobil PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH	
	Projekt: Projekt „Erdöl aus Rührlermoor“ - Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage	Bearbeiter: LG Zeichner: JT Datum: 20.11.2015 Maßstab: 1 : 10 000
Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988 URL: http://www.schmidt-geologen.de	Darstellung: Vergleich berechneter und konstruierter Grundwassergleichen (oberer Abschnitt des HGWL)	
Projekt: 15 - 23971.2 Verzeichnis: R:\2015_Proj\15-23791\CAD		



LEGENDE:

--- Lagerstättenwasserleitung (unterirdisch)

berechnete Chloridkonzentration [mg/l]





Ingenieurgesellschaft
Dr. SCHMIDT
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 15 - 23971.2 Verzeichnis: R:\2015_Proj.\15-23971\CAD

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt: Projekt "Erdöl aus Rühlermoor" - Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage	Bearbeiter: LG	Anlage: 3
	Zeichner: SW	Datum: 10.12.2015
	Maßstab:	1: 1 000

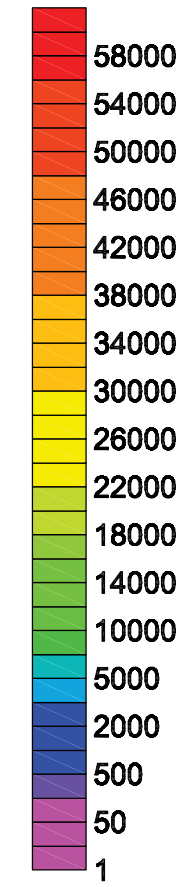
Darstellung: **Szenario 1: Schadstofffahne nach Ende
des Schadstoffeintrags (nach ca. 2 Stunden, Modellschicht 1)**



LEGENDE:

--- Lagerstättenwasserleitung (unterirdisch)

berechnete Chloridkonzentration [mg/l]





Ingenieurgesellschaft
Dr. SCHMIDT
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 15 - 23971.2 Verzeichnis: R:\2015_Proj.\15-23971\CAD

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt: Projekt "Erdöl aus Rühlermoor" - Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage	Bearbeiter: LG	Anlage: 4
	Zeichner: SW	Datum: 10.12.2015
	Maßstab:	1: 1 000

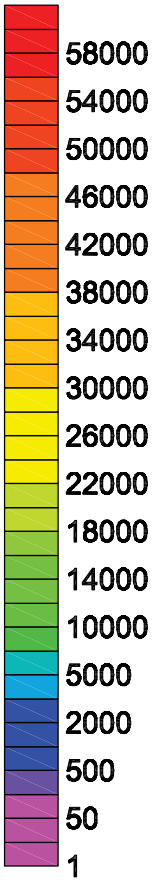
Darstellung: Szenario 1: Schadstofffahne bis zur Initiierung
von Abwehrmaßnahmen (nach 30 Tagen, Modellschicht 1)



LEGENDE:

--- Lagerstättenwasserleitung (unterirdisch)

berechnete Chloridkonzentration [mg/l]





Ingenieurgesellschaft
Dr. SCHMIDT
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 15 - 23971.2 Verzeichnis: R:\2015_Proj\15-23971\CAD

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt: Projekt "Erdöl aus Rühlermoor" - Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage	Bearbeiter: LG	Anlage: 5
	Zeichner: SW	Datum: 10.12.2015
	Maßstab: 1: 1 000	

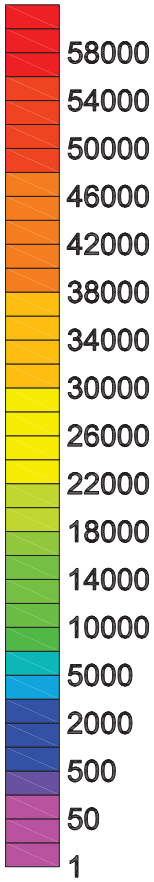
Darstellung: Szenario 2: Schadstofffahne nach Ende
des Schadstoffeintrags (nach ca. 1 Sekunde, Modellschicht 1)



LEGENDE:

--- Lagerstättenwasserleitung (unterirdisch)

berechnete Chloridkonzentration [mg/l]



Ingenieurgesellschaft
Dr. SCHMIDT
mbH

Bei St. Wilhadi 5 21682 Stade
Tel.: 04141 - 779980 Fax.: 04141 - 779988
URL: <http://www.schmidt-geologen.de>

Projekt: 15 - 23971.2 Verzeichnis: R:\2015_Proj\15-23971\CAD

Auftraggeber:

ExxonMobil

PRODUCTION DEUTSCHLAND GMBH

Projekt: Projekt "Erdöl aus Rühlermoor" - Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage	Bearbeiter: LG	Anlage: 6
	Zeichner: SW	Datum: 10.12.2015
	Maßstab:	1: 1 000

Darstellung: **Szenario 2: Schadstofffahne bis zur Initiierung
von Abwehrmaßnahmen (nach 30 Tagen, Modellschicht 1)**

Anlage 7

Dokumentation der Modellparameter

Projekt „Erdöl aus Rühlermoor“ –

Hydrogeologische Stellungnahme zur Abschätzung der Reichweite einer potentiellen Schadstofffahne ausgehend von einer Leitungsleckage

Dokumentation der Modellparameter

Modell-schicht	Schicht-Typ	Oberfläche [mNN]	Basis [mNN]	Hydrogeologische Einheit	Petrografie (vereinfacht)
1	ungespannt/gespannt	+16	+8	Oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Feinsand, schluffig
2	gespannt	+8	+2	Oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Feinsand
3	gespannt	+2	-4	Oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Mittelsand bis Grobsand
4	gespannt	-4	-5	Oberer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters	Feinsand, schluffig

Parameter für die Grundwasserströmungsmodellierung

Modell-schicht	k_f -Wert (horizontal)	k_f -Wert (vertikal)	spezifischer Speicherkoeffizient	effektive Porosität
1	$5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s	$1 \cdot 10^{-4}$ 1/m	0,10
2	$7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s	$7,5 \cdot 10^{-6}$ m/s	$1 \cdot 10^{-4}$ 1/m	0,12
3	$7,5 \cdot 10^{-4}$ m/s	$7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s	$1 \cdot 10^{-4}$ 1/m	0,15
4	$5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s	$5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s	$1 \cdot 10^{-4}$ 1/m	0,10

Parameter für den Schadstofftransport

Parameter	Wert
molekularer Diffusionskoeffizient	$1,49 \cdot 10^{-9}$ m ² /s
longitudinale Dispersivität	1 m
transversale Dispersivität	0,1 m
vertikale Dispersivität	0,01 m

Anlage 8

Szenario Lagerstättenwasser Leitungsleckage (ExxonMobil)

Szenario LaWa Leitungsleckage als Grundlage für die Modellierung einer Schadstofffahne im Grundwasser

Prinzipielles Vorgehen:

Vorgehen:

- I. Auswahl des Medienbezogenen Szenarios
- II. Abschätzung des Leckagevolumens

Für die Abschätzung des Leckagevolumens werden jeweils die ungünstigsten Parameter angenommen (konservativer Ansatz)

Allgemeines Vorgehen zur Bestimmung des Leckagevolumens:

1. Annahme einer Schadensursache
2. Annahme einer Leckgröße
3. Bestimmung der unter Druck freigesetzten Menge in Abhängigkeit von
 - a. Initialer Leckagevolumenstrom (Betriebsparameter der Leitung)
 - b. Zeitdauer bis Leckage erkannt und Leitung Abgeschiebert ist (Reaktionszeit)
4. Bestimmung der Nachlaufmenge in Abhängigkeit von
 - a. Nachlaufvolumenstrom (Flüssigkeitssäule / Höhenprofil der Leitung)
 - b. Zeitdauer bis Leckage gefunden und abgedichtet / aufgefangen (Eingreifzeit)
5. Bestimmung des Gesamtvolumens

Szenario LaWa Leitungsleckage als Grundlage für die Modellierung einer Schadstofffahne im Grundwasser

I. Auswahl des Medienbezogenen Szenarios

Lagerstättenwasser wird sowohl zwischen Station H und CTF als auch zwischen CTF und Versenkbohrungen transportiert. Die Zusammensetzung und damit das chemische Gefahrenpotential variiert in diesen Abschnitten kaum. Die für das Lagerstättenwasser angegebene Zusammensetzung basiert auf den größtmöglichen Schadstoffgehalten.

Im folgenden Szenario wird deshalb die **Leckage von Lagerstättenwasser** angenommen.

Das Leckagevolumen wird hauptsächlich durch die Nachlaufmenge, welche wiederum in erster Linie durch das Leitungsvolumen zwischen 2 Schiebern begrenzt wird, beeinflusst.

Leitung	Verlegung	Innen-durchmesser [" / mm]	Betriebsdruck [bar]	Länge [m]	Leitungs-volumen [m³]
C1 -> C2	UT	10 / 254	65	3500	177
CTF -> PNW	UT	12 / 305	16	8000	585
CTF -> PNO	UT	16 / 406	16	1800	233
H -> CTF	UT	20 / 508	5	2200	446

Das größte Leitungsvolumen weist die 12" 16 bar Lagerstättenwasserleitung zwischen CTF und Pumpstation NW auf. Die Leitung ist unterirdisch verlegt und führt durch Naturschutz- / Vernässungsgebiet in dem keine Erdarbeiten oder Landwirtschaftliche Tätigkeiten erwartet werden. Eine Beschädigung von außen kann somit ausgeschlossen werden.

Das zweitgrößte Leitungsvolumen weist die 20" 5 bar Lagerstättenwasserleitung zwischen Station H und CTF auf. Die Leitung ist unterirdisch verlegt und verläuft parallel zu der obertägigen Dampfleitung, eine Beschädigung durch z.B. Tiefpflügen ist somit vernünftigerweise auszuschließen

Das drittgrößte Leitungsvolumen weist die 16" 16 bar Lagerstättenwasserleitung zwischen CTF und Pumpstation NO auf. Die Leitung ist unterirdisch verlegt und verläuft am Rande einer landwirtschaftlich genutzten Fläche, eine Beschädigung durch z.B. Tiefpflügen ist sehr unwahrscheinlich aber nicht 100 % auszuschließen.

Im folgenden Szenario wird deshalb die **Leckage der 16" Lagerstättenwasserleitung zwischen CTF und Pumpstation NO** angenommen.

Szenario LaWa Leitungsleckage als Grundlage für die Modellierung einer Schadstofffahne im Grundwasser

II. Abschätzung des Leckagevolumens

1. Annahme einer Schadensursache

Als Schadensursachen für Leitungsleckagen kommen grundsätzlich 5 Hauptgruppen in Frage (Ursachen)

Hauptgruppe	Untergruppen	Prozentualer Anteil an Schadensereignissen
Technische Fehler	Anlagenfehler, Konstruktions- und Materialfehler	25
Betriebsstörungen	Technische Fehlfunktion, Personalfehler	6,9
Korrosion	Außenkorrosion, Innenkorrosion, Spannungsrisskorrosion	28,3
Naturereignisse	Erdrutsch, Setzungen, Überschwemmungen, Blitzschlag, Erdbeben	3,3
Third Party	Unabsichtlich, Vorsätzlich	36,3

Die drei häufigsten Ursachen sind historisch gesehen Technische Fehler, Korrosion und Third Party, zusammengefasst sind diese ursächlich für ca. 90 % der Leckagen.

Die Fehlerursachen Korrosion und Technische Fehler werden durch folgende Maßnahmen ausgeschlossen bzw. in ihrer Wahrscheinlichkeit so weit reduziert, dass sie vernünftigerweise ausgeschlossen werden können:

- Die Leitungen werden nach Stand der Technik gebaut
- Durch Materialauswahl wird Korrosionsbeständigkeit sichergestellt (außen/**innen**)
- Rohrleitungen werden regelmäßig von innen auf Schwachstellen überprüft (intelligente Molchung)
- Vor Inbetriebnahme erfolgt eine Dichtigkeits- und Druckprüfung
- Es wird ein lückenloser kathodischer Korrosionsschutz installiert
- Betriebszustände außerhalb der Auslegungsgrenzen (Druck / Temperatur / chemische Eigenschaften) werden durch genaueste Planung und Überwachung der Anlage im Betrieb ausgeschlossen

Als einzige realistische Ursache wird eine durch Third Party von außen hervorgerufene Leitungsleckage angesehen. Aufgrund der unterirdischen Verlegung wird im Folgenden eine Beschädigung durch Tiefpflügen unterstellt.

2. Annahme einer Leckgröße

Szenario LaWa Leitungsleckage als Grundlage für die Modellierung einer Schadstofffahne im Grundwasser

Zur Festlegung einer hypothetischen Leckage an Rohrleitungen wird ein „Leck-vor-Bruch-Verhalten“ durch den Einsatz von zähen Werkstoffen angenommen. Die Leckgrößen werden grundsätzlich mit der Formel $A = 0,01 d^2$ (d in mm) bestimmt, für Leitungsdurchmesser > DN100 wird eine Leckfläche von 100 mm² / 1 cm² angegeben (Leitfaden TAA-GS-03).

Da diese Annahmen auch die Fehlerursache Korrosion einschließt, bei der üblicherweise zunächst nur kleine Leckageflächen entstehen, ist davon auszugehen dass ein durch „Anpflügen“ verursachte Leckage eine größere Leckagefläche aufweist. In Forschungsbericht #285 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) werden für historische Pipelineleckagen bei externer Krafteinwirkung Leckageflächen zwischen 0,8 cm² und 133 cm² angegeben. Für die folgenden Berechnungen wird konservativ eine Leckgröße von 100 cm² angenommen.

3. Bestimmung des unter Druck freigesetzten Volumens in Abhängigkeit von
 - a. Initialer Leckagevolumenstrom (Betriebsparameter der Leitung)

Parameter	Wert
Länge des Leitungsabschnittes	1800 m
Innendurchmesser	406 mm
Volumen des Leitungsabschnittes	233 m ³
Auslegungsvolumenstrom	960 m ³ /h
Höhendifferenz im Leitungsverlauf (gefällebedingt)	< 3,5 m
Initialer Leckagevolumenstrom (Annahmen aus A.II.2 / Berechnung nach Bernoulli)	960,0 m ³ /h

Szenario LaWa Leitungsleckage als Grundlage für die Modellierung einer Schadstofffahne im Grundwasser

- b. Zeitdauer bis Leckage erkannt und Leitung Abgeschiebert ist (Reaktionszeit)

Im Betrachteten Szenario kommen vier Möglichkeiten zur schnellen Erkennung der Leckage in Betracht:

Meldung durch Verursacher

Würde innerhalb weniger Minuten erfolgen, ist sehr wahrscheinlich aber nicht sicher

Lecküberwachung (direkte Feststellung der Leckageflüssigkeit)

Die Lecküberwachung erkennt austretende Flüssigkeit innerhalb der Isolierung der Rohrleitung, eine Meldung würde innerhalb weniger Minuten in der Messwarte auflaufen, im Anschluss durch den Operator Maßnahmen eingeleitet. Eine wesentliche Rolle spielt die Lecküberwachung auch beim Auffinden des Leckageortes.

Volumenstromvergleichsmessung (ausgangsseitiger Volumenstrom 3 – 5 % geringer als eingangsseitig)

Die Volumenstromvergleichsmessung würde die Leckage innerhalb weniger Sekunden erkennen, eine entsprechende Meldung in der Messwarte auflaufen, im Anschluss würden durch den Operator Maßnahmen eingeleitet.

Durch Drucküberwachung (Druckabfall)

Da der initiale Leckagevolumenstrom größer als der Auslegungsvolumenstrom ist, würde sofort ein Druckabfall auftreten durch den automatisch alle einspeisenden Pumpen gestoppt und der Leitungsabschnitt abgeschiebert werden. Der gesamte Vorgang nimmt 2 Minuten in Anspruch, ist in diesem Fall die schnellste Möglichkeit und wird zur Berechnung der unter Druck freigesetzten Menge herangezogen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich ein unter Druck freigesetztes Volumen von 32 m³ (2 min * 960,0 m³/h * 1/60 h/min).

Szenario LaWa Leitungsleckage als Grundlage für die Modellierung einer Schadstofffahne im Grundwasser

4. Bestimmung der Nachlaufmenge in Abhängigkeit von

a. Nachlaufvolumenstrom (Flüssigkeitssäule / Höhenprofil der Leitung)

Parameter	Wert
Innendurchmesser	406 mm
Volumen des Leitungsabschnittes	233 m ³
Höhendifferenz im Leitungsverlauf (gefällebedingt)	< 3,5 m
Nachlaufvolumenstrom	213,9 m ³ /h (vgl. Volumen Leitungsabschnitt)

Aus der Höhendifferenz des Leitungsmittelpunktes und dem Leitungsdurchmesser ergibt sich eine Flüssigkeitssäule innerhalb der Leitung die die treibende Kraft für die Nachlaufmenge darstellt.

Der Nachlaufvolumenstrom ergibt sich durch Berechnung mittels Bernoulli.

Möglicherweise auftretende Gegendrücke durch Erdreich oder Stauwasser im Erdreich bleiben unberücksichtigt (konservativ).

b. Zeitdauer bis Leckage gefunden und abgedichtet / aufgefangen (Eingreifzeit)

Die Leckage wird sicher innerhalb von Minuten detektiert, Betriebspersonal ist innerhalb von 30 min vor Ort. Da die Leitung eine Lecküberwachung hat kann der genaue Schadensort schnell bestimmt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Leckage nach zwei Stunden entweder abgedichtet ist oder nachlaufende Flüssigkeit aufgefangen wird und kein weiterer Eintrag in die Umwelt stattfindet (Gefahrenabwehrmaßnahmen greifen).

Das Volumen der nachlaufenden Flüssigkeit ergibt sich so zu 233 m³ (Volumen des Leitungsabschnittes < 2 h * 213,9 m³/h).

5. Bestimmung des Gesamtvolumens

Das gesamte Leckagevolumen ergibt sich zu 265 m³ (32 m³ + 233 m³).

Teil 4 Anhang

4. Gutachten

Thema:

4.4.9 Geomechanische Bewertung der Auswirkung von
Druckänderungen auf das Deckgebirge des Feldesbereiches
Rühlermoor und des angeschlossenen Aquifers

Gutachter: Dr. Ing. Thomas Röckel, Piewak & Partner GmbH

Stand: 27.07.2016



**P I E W A K &
P A R T N E R G m b H**
I N G E N I E U R B Ü R O F Ü R
H Y D R O G E O L O G I E
U N D U M W E L T S C H U T Z

Piewak & Partner GmbH • Jean-Paul-Straße 30 • 95444 Bayreuth

Jean - Paul - Straße 30
95444 Bayreuth
Telefon (0921) 50 70 36 - 0
Telefax (0921) 50 70 36 - 10
E-Mail: info@piewak.de
<http://www.piewak.de>

Geschäftsführer
Dipl.-Geologe Manfred Piewak
Dipl.-Geologe Ralf Wiegand
HRB Bayreuth 1792

Bankverbindung
Sparkasse Bayreuth
BLZ 773 501 10
Kto.-Nr. 9 035 270

Geomechanische Bewertung der Auswirkung von Druckänderungen auf das Deckgebirge des Feldesbereiches Rühlermoor und des angeschlossenen Aquifers

Auftraggeber:
ExxonMobil Production Deutschland GmbH,
Hannover



Projekt: Geomechanische Bewertung der Auswirkung von Druckänderungen auf das Deckgebirge des Feldesbereiches Rühlermoor und des angeschlossenen Aquifers

Auftraggeber: ExxonMobil Production Deutschland GmbH,
Hannover

Projektnummer: 15297

Bearbeiter: Dr. Ing. Thomas Röckel, Diplom-Geologe

Ort/Datum: Bayreuth, 27.07.2016



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Kurzfassung	2
3	Vorgehensweise bei der geomechanischen Bewertung	3
4	Allgemeines zur Bestimmung des Spannungszustandes	5
5	Bestimmung der Spannungsrichtungen	6
5.1	Allgemeines zur Bestimmung der Spannungsrichtungen	6
5.1.1	Spannungsrichtungen im Feld Rühlermoor aus Bohrlochrandausbrüchen im Suprasalinar	10
5.1.2	Spannungsrichtungen im Feld Rühlermoor aus Dipole Shear Imager Messungen	25
5.2	Vergleich mit Literaturdaten im Deckgebirge	28
5.2.1	Spannungsrichtungen im Feld Rühlermoor im Subsalinar	30
5.3	Diskussion der ermittelten Spannungsrichtungen	35
6	Spannungsbeträge	36
6.1	Vertikalspannung	36
6.2	Bestimmung der Spannungsbeträge der minimalen Horizontalspannung	39
6.2.1	Berechnung der minimalen Horizontalspannung aus elastischen Parametern	39
6.2.2	Bestimmung der minimalen Horizontalspannung aus Bohrungsakten	41
6.2.3	Bestimmung der minimalen Horizontalspannung aus „Brechdruck-Gradiententest“ ..	42
6.2.4	Abschätzung des Betrages der minimalen Horizontalspannung aus Zementationen ...	43
6.2.5	Schoonebeek	52
6.2.5.1	Änderung der minimalen Horizontalspannung durch die Depletierung im Ölfeld Schoonebeek	55
6.2.5.2	Änderung der Scherspannung durch die Depletierung im Ölfeld Schoonebeek	55
6.3	Porendruck	58
7	Auswirkungen der Änderung des Porendruckes auf die Stabilität des Reservoirs .	63
7.1	Auswirkungen der Verringerung des Porendruckes im Reservoir	63
7.2	Auswirkung der Druckerhöhung im Bereich der Injektoren und im Bereich des Deckgebirges	65
7.3	Auswirkungen der Änderung des Porendruckes der tertiären Tonsteine für eine Bezugsteufe von 150 m unter GOK	70
8	Festigkeiten des Bentheimer Sandsteins	72
9	Regionale Strukturen/Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland	73
10	Mikroseismische Untersuchungen	78
11	Folgerungen	82
12	Ausblick	83
13	Verzeichnisse	84
13.1	Abkürzungsverzeichnis	84
13.2	Tabellenverzeichnis	85
13.3	Abbildungsverzeichnis	86
14	Literatur	89

1 Veranlassung und Aufgabenstellung



ExxonMobil fördert seit den 1950er Jahren im Emsland Erdöl. Zur Verbesserung der Fließeigenschaften des Rohöls in den Lagerstätten wird seit den 1980er Jahren das Thermalförderverfahren angewandt. ExxonMobil plant die langfristige Fortführung der Ölförderung im Erdölfeld Rühlermoor und sieht Potenzial für die Erschließung weiterer Reserven durch eine Erweiterung der Thermalförderung. Im Rahmen dieses Projektes soll das Erdölfeld Rühlermoor mit ca. 140 Neubohrungen und 30 Aufarbeitungen entwickelt werden. Zusätzlich ist die Errichtung von Stationen zur Wasserverpressung vorgesehen. Hier soll das nicht zur Dampf-injektion genutzte Lagerstättenwasser zurück in die Lagerstätte verpresst werden (http://www.exxonmobil.com/Germany-German/PA/energy_ruehlermoor_projekt.aspx).

In diesem Gutachten soll die Auswirkung von Druckänderungen auf das Deckgebirge des Feldesbereiches Rühlermoor und des angeschlossenen Aquifers in Form einer geomechanischen Bewertung erfolgen.

Mit Schreiben vom 16.12.2016 beauftragte die ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Hannover, die Piewak & Partner GmbH mit der Erstellung dieses Gutachtens. Die Untersuchung wurde auf Grundlage vorhandener Akten aus dem Bereich des Feldes Rühlermoor durchgeführt.

2 **Kurzfassung**

Die Untersuchung und Interpretation der Bohrlochgeometrie von Bohrungen im Bereich Rühlermoor haben ergeben, dass im Deckgebirge oberhalb des Zechsteinsalzes nur schwache Indizien für ein gerichtetes Spannungsfeld vorhanden sind. Die Auswertung von Kaliberdaten der Bohrung Rühlermoor H 25 deutet auf eine Richtung der maximalen Horizontalspannung von etwa N118° hin, während sich in der Bohrung Rühlermoor 801 eine Richtung von etwa N86° ergibt. Der Betrag der Vertikalspannung im Bereich Rühlermoor kann aus Dichtelogs abgeleitet werden. Daraus ergeben sich Gradienten der Vertikalspannung zu etwa 21,94 MPa/km. Der initiale Porendruckgradient lag in der Lagerstätte bei etwa 10,5 MPa/km. Im Bereich Apeldorn liegt der Porendruck für eine Bezugsteufe von 250 m bei knapp 26 bar (2,6 MPa).

Der Gradient der minimalen Horizontalspannung wurde insbesondere aus einer großen Anzahl von Zementationen bestimmt und liegt im Reservoir wie auch im Deckgebirge bei etwa 16,8 MPa/km oder darüber.



Im tonigen Tertiär der Abdeckung liegen die Querdehnungszahlen relativ hoch. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung erreicht den Berechnungen der Querdehnungen zufolge 19,0 MPa/km. Verglichen mit dem Vertikalspannungsgradient von 20 MPa/km für das flache Deckgebirge im Bereich Apeldorn ergeben sich hier nur geringe

Spannungsanisotropien.

Für die nächsten Jahre ist mit einem Druckabfall im Bereich der Bohrung Apeldorn H 1 von 5 bis max. 8 bar zu rechnen. Durch die Depletierung ist mit einem Anstieg der Scherspannung zu rechnen. Selbst unter der Voraussetzung, dass in der tonigen Abdeckung im Bereich Apeldorn der Porendruck um 8 bar fällt (deutlich unterhydrostatisch) und für das Deckgebirge ein Reibungswinkel von nur 17,5° angenommen wird, wird das Bruchkriterium nach Mohr-Coulomb auch bei Vernachlässigung der Kohäsion nicht verletzt.

Bei der Injektion unterhalb des Fracdrucks erfolgt kein Bruch der Formation durch einen Frac. In einem Umkreis von etwa 5 m um den Injektor kommt es zu einer lokalen Verletzung des Mohr-Coulomb Kriteriums. Dies hat aber keine spürbaren Auswirkungen im Reservoir. Die Integrität des Deckgebirges wird selbst bei einem Injektionsdruck von 168 bar in einer Bezugsteufe von 1000 m nicht verletzt.

Nanoseismische Untersuchungen vor und während der Aufnahme der Dampf-Injektion haben keinerlei seismische Ereignisse registriert. Da die Detektionsschwelle bei $M_L -0,5$ bzw. bei $M_L -1,2$ lag ergibt sich, dass keine Herdflächen aktiviert wurden, die größer als wenige m^2 bzw. wenige 100 m^2 waren. Auch die Versatzbeträge von (nicht registrierten) Ereignisse mit einer Magnitude von $M_L < -1,2$ könnten maximal im Millimeterbereich liegen. Selbst unter konservativen Annahmen ist die Integrität des Deckgebirges im besonders kritischen Bereich mit einem sehr flach liegenden Aquifer gewährleistet.

3 Vorgehensweise bei der geomechanischen Bewertung

Der gegenwärtige Spannungszustand ist ein wichtiger Parameter, um beispielsweise das Reaktivierungspotential von tektonischen Störungen (Moeck et al. 2009, Morris et al. 1996) und somit auch die künftige tektonische Entwicklung einer Region über längere Zeiträume zu prognostizieren. Auch für die Beurteilung der Stabilität von Untertagebauwerken und Bohrungen ist der Spannungszustand von großer Bedeutung (Fuchs and Müller 2001, Moeck and Backers 2011, Tingay et al. 2005, Zang et al. 2012, Zoback 2010). Für geomechanisch-numerische Modelle sind die punktwisen



Informationen des in situ Spannungszustandes essentiell für die Kalibration (Henk et al., 2010, Hergert and Heidbach, 2011). Außerdem kann man aus der Gleichförmigkeit bzw. der Variation der Orientierung der Spannungen allenfalls Rückschlüsse auf die Spannungsquellen ziehen (Heidbach et al. 2007, Müller et al. 2003, Sonder 1990, Zoback 1992).

Für den sicheren Betrieb des Ölfeldes sind die mechanischen Eigenschaften der Reservoirgesteine und des Deckgebirges sowie das lokale tektonische Spannungsfeld entscheidende Parameter. Insbesondere ist eine potentielle Reaktivierung von Störungen als Migrationswege für Fluide zu vermeiden. Bei der geomechanischen Bewertung ist die Kenntnis der Spannungen und des Porendrucks von maßgeblicher Bedeutung.

Gesteine verformen sich unter der Wirkung von Spannungen meist sehr langsam. In großer Tiefe und unter hohen Temperaturen verformt sich das Gestein duktil, in geringer Tiefe und bei geringen Temperaturen verhält es sich bis zu einem gewissen Grad elastisch.

Allerdings sind der Elastizität Grenzen gesetzt. Wird das Gestein über seine Festigkeit hinaus belastet, reagiert es bruchhaft, was im Bereich von Untertagebauwerken zu einer Auflockerungszone um den Tunnel, das Bergwerk oder die Bohrung führt. Bei Erdbeben handelt es sich meist nicht um neue Brüche im Gestein sondern es kommt zu einem Versatz an bereits existierenden Störungszonen (Faults). Sowohl das Gesteinsversagen als auch die Störungs-Reaktivierung werden durch Versagenskriterien beschrieben. Davon gibt es mehrere Detailformen, die jedoch alle im Wesentlichen die maximale im Gestein zulässige Scherspannung (τ_{crit}) als Funktion der Normalspannungen im Gestein (σ_n) beschreiben, z.B.

$$\tau_{crit} = C + \mu * \sigma_n$$

Dabei ist C die Kohäsion und μ eine Reibungskonstante (für Neubrüche handelt es sich um den Koeffizienten der inneren Reibung, für Fault Reaktivierung um den Reibungskoeffizienten).

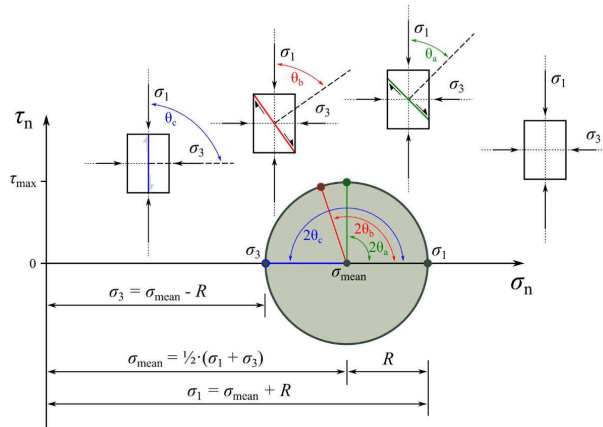


Abbildung 1: σ_3 ist die Hauptspannung (Normalspannung), die auf eine Fläche senkrecht zu S_1 wirkt. Ist die Fläche anders orientiert, können mit dem Mohrkreis die Normal- und Scherspannungen in Abhängigkeit von der Orientierung der Fläche berechnet werden. Häufig ist $\sigma_1 = S_v$ und $\sigma_3 = S_{hmin}$.

Das sogenannte Mohr-Coulombsche Versagenskriterium kann mit Hilfe der Mohrkreise anschaulich dargestellt werden (Abb. 1). Die Mohrkreise sind dabei eine Methode, um die Spannungszustände auf unterschiedlich orientierten Störungen darzustellen. Die Scherspannung stellt dabei den y-Achsenabschnitt dar, die größte und kleinste Normalspannung (σ_1 und σ_3) spannen den Mohrkreis auf. Jede Position auf dem Mohrkreis stellt dabei eine potentielle Störungsorientierung dar.

Der Spannungszustand in der Erdkruste kann dann, wie oben beschrieben, über die vertikale (S_v) und die beiden horizontalen Spannungen (S_h , S_H) sowie den sogenannten Mohrkreis beschrieben werden. Entscheidend sind dabei die Magnituden der größten (σ_1) und kleinsten Hauptspannung (σ_3). Ob es im Gestein zu spannungsbedingtem Versagen (z.B. Erdbeben) kommt wird über ein Bruchkriterium beschrieben. Wenn die Scherspannungen die Festigkeitsgrenze überschreiten kommt es dabei zum Gesteinsversagen.

4 Allgemeines zur Bestimmung des Spannungszustandes

Zur Beurteilung des Spannungszustandes im Bereich des Ölfeldes Rühlermoor ist es notwendig möglichst genaue Daten zu den Spannungsrichtungen, den Spannungsbeträgen, dem Porendruck und dem Reibungsverhalten der Gesteine zu erhalten.

Phänomene von Bohrloch- und Bohrkerninstabilitäten sind ausgezeichnete Indikatoren, die eine Aussage über vorherrschende Spannungszustände in der Erdkruste einer bestimmten Region ermöglichen. Selbst wenn die Bohrung nicht mehr zugänglich ist,



sind auch nach Beendigung der Bohrarbeiten entsprechende Untersuchungen durch Auswertung der Bohrkerne, der Bohrlochlogs und der bohrtechnischen Daten möglich. Vergleiche auf Datenbasis der KTB (Kontinentale Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland) haben die bruchmechanischen Phänomene im Bohrloch und am Bohrkern zu einem Instrument für eine zumindest halb-quantitative Spannungsabschätzung gemacht (Röckel 1996, Lempp & Röckel 1999).

Röckel & Lempp (2003) haben die Phänomene von Bohrloch- und Bohrkerninstabilitäten aus einer Reihe tiefer Bohrungen des Norddeutschen Beckens auf ihre Indikatorfunktion für den Spannungszustand hin ausgewertet. Die Ergebnisse zu den Spannungsrichtungen beruhen auf rezenten, aktuellen Brucherscheinungen in den Bohrungen oder an den Bohrkernen. Diese Brucherscheinungen werden, soweit möglich, unter gleichzeitiger Einbeziehung von bohrtechnischen Daten interpretiert. Spannungsrichtungen und Spannungsbeträge reflektieren insoweit einen aktuotektonischen Zustand in den Regionen.

5 Bestimmung der Spannungsrichtungen

In Bereichen, in denen Erdbeben auftreten, können Spannungsrichtungen mit Hilfe von Herdflächenlösungen bestimmt werden. Im Bereich des Norddeutschen Beckens treten Erdbeben nur sehr selten auf, weshalb hier auch nur sehr wenige Herdflächenlösungen vorhanden sind.

Für das Norddeutsche Becken liegt eine Reihe von Bestimmungen von Spannungsrichtungen vor. Häufig werden diese aus Brucherscheinungen in Bohrungen und seltener an Bohrkernen bestimmt. Dazu zählt unter anderem eine Reihe von Methoden, die im Folgenden kurz erklärt werden. In Kombination mit bohrtechnischen Daten bilden diese Spannungsindikatoren die Grundlage für eine Abschätzung des Spannungszustandes in Bohrungen des Norddeutschen Beckens.

5.1 Allgemeines zur Bestimmung der Spannungsrichtungen

Breakouts

Die in Tiefbohrungen auftretenden Bohrloch- und Bohrkerninstabilitäten wurden bislang nur ansatzweise als Indikatoren für den Spannungszustand untersucht. Eine Ausnahme bilden hiervon die Bohrlochrandausbrüche oder Breakouts. Cox (1970) und Babcock (1978) stellten fest, dass die Ausbrüche eine Vorzugsorientierung haben. Seit einigen



Jahren sind die Ausbrüche als Indikator für die Richtung der minimalen Horizontalspannungen bekannt (Bell & Gough 1979, Blümling 1986). In tieferen Bohrungen bricht die Bohrlochwand häufig in zwei einander gegenüberliegenden Bereichen aus. Bei isotropem Gesteinsverhalten treten die Ausbrüche in Richtung der minimalen Horizontalspannung auf (Abbildung 2). Die Erweiterung des Kalibers kann entweder mit einem 4-Arm- oder 6-Arm-Kaliber-Messgerät oder mit einem akustischen Borehole-Televiwer (BHTV) erfasst werden. Die Methode der Breakouts wird in zahlreichen Öl- und Gasbohrungen häufig angewendet und liefert gute Ergebnisse für die Orientierung der minimalen Horizontalspannung.

Bohrtechnisch induzierte Risse

Vor der Durchführung der KTB-Bohrungen waren die bohrtechnisch induzierten Risse als Spannungsindikatoren praktisch ohne Bedeutung, wenn nicht gänzlich unbekannt. In den KTB-Bohrungen treten zahlreiche bohrtechnisch induzierte Risse auf, welche als ausgezeichnete Spannungsindikatoren erkannt wurden (Borm et al. 1989, Natau et al. 1990, Roeckel et al. 1992). Bei den bohrtechnisch induzierten Rissen handelt es sich um Zugrisse, welche die Bohrlochwand in zwei etwa gleich große Hälften teilen (Abbildung 2).

Deren Entstehung in Vertikalbohrungen wird begünstigt durch stark anisotrope Horizontalspannungen, durch hohe Spülungsdrücke, starke Auskühlung der Bohrlochwand beim Bohren, hohe Porendrücke sowie durch starke Druckstöße beim Gestängeeinbau. Die bohrtechnisch induzierten Risse streichen in Richtung der maximalen Horizontalspannung. Sie treten nicht nur in den KTB-Bohrungen auf, sondern sind auch in tiefen Kristallinbohrungen wie beispielsweise Urach und Soultz sowie in anderen Tiefbohrungen im sedimentären Deckgebirge weit verbreitet.

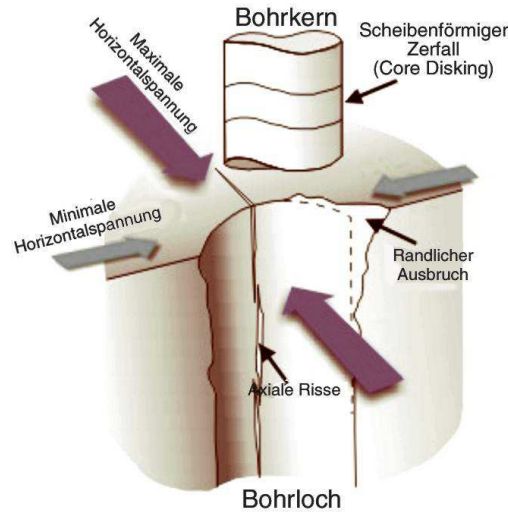


Abbildung 2: Spannungsindikatoren in Bohrkernen und im Bohrloch (aus Röckel & Lempp 2003)

Centerline Fractures

Bei den "Centerline Fractures" handelt es sich um bohrtechnisch induzierte Bruchstrukturen in den Bohrkernen. Der "Centerline Fracture" ist eine nahezu vertikale Struktur und teilt den Bohrkern in zwei mehr oder minder gleich große Hälften. Ein "Centerline Fracture" beginnt als flach in den Bohrkern einfallender "Petal Fracture", der sich zum Kerninneren immer stärker versteilt (Abbildung 3). Diese Strukturen wurden in den MWX (Multiwell-Experiment) Bohrungen von Lorentz et al. (1990) beschrieben und treten auch in den Bohrungen Urach auf, die hier von Neth & Dietrich (1983) beschrieben sind. In der KTB-VB (KTB-Vorbohrung) kommen "Centerline Fractures" in den Bohrkernen nur vor, wenn gleichzeitig auch bohrtechnisch induzierte Risse in der Bohrlochwand vorhanden sind. Dieser Zusammenhang kann bei anderen Bohrungen ebenfalls bestehen, ist aber nicht zwingend. Die "Centerline Fractures", die in den Bohrungen Urach und Soultz auftreten, geben ebenfalls Hinweise auf eine starke Horizontalspannungsanisotropie.

**schematische Darstellung
eines Petal Fractures
nach EVANS (1980)**

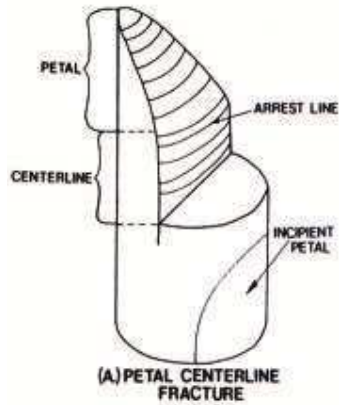


Abbildung 3: Schemazeichnung eines Petal-Centerline-Fractures nach Evans (1980) und Beispiel einer Bohrung aus einem Ölfeld in Norddeutschland aus einer Tiefe von 492 m.

Die Spannungsrichtung von S_H ergibt sich aus der Orientierung der Umbiegepunkte der Petal Fractures. Centerline Fractures sind in den Bohrungen im Norddeutschen Becken weit verbreitet und treten zum Beispiel in den Bohrungen Loissin, Pudagla, Salzwedel, Roxförde, Rügen und Eldena 1/74 auf.

Core Disking

Core Disking ist aus einer Reihe von Kristallinbohrungen beschrieben und gilt im Bergbau als Indikator für hohe Gebirgsspannungen. Beim Core Disking fällt auf, dass die Core Disking Scheiben zum Teil außerordentlich regelmäßig ausgebildet sind. Die Höhe der Core Disking Scheiben beträgt häufig ein Drittel bis ein Viertel des Durchmessers der Scheiben (Abbildung 2). Charakteristisch für Core Disking Scheiben ist, dass sie eine konkave Oberseite und eine konvexe Unterseite zeigen. Die Oberseite besitzt zwei morphologische Hochpunkte, die in Richtung der minimalen Horizontalspannung (S_h) orientiert sind und eine Tiefachse, die in Richtung der maximalen Horizontalspannung (S_H) gerichtet ist. Core Disking ist auch in spröden Sedimentgesteinsfolgen ein häufig zu beobachtendes Phänomen. Weiche und wenig spröde Sedimente zeigen kein Core Disking.

Der Zusammenhang zwischen Spannungsrichtungen und der Geometrie dieser Bruchstrukturen ist in Abbildung 2 zu sehen.



5.1.1 Spannungsrichtungen im Feld Rühlermoor aus Bohrlochrandausbrüchen im Suprasalinar

Bruchstrukturen in der Bohrlochwand geben wichtige Hinweise auf die Orientierung der Spannungsrichtungen. Bohrlochrandausbrüche sind in Vertikalbohrungen entsprechend der kleinsten Horizontalspannung (S_h) gerichtet, wenn die Gesteine sich hinreichend isotrop verhalten. Bohrtechnisch induzierte Zugrisse in der Bohrlochwand öffnen sich normal zur kleinsten Hauptnormalspannung und streichen in Richtung der maximalen Horizontalspannung (S_H). Diese Risse können mit einem Borehole-Televiwer (BHTV), mit einem Formation-MicroScanner (FMS) oder einem Formation-MicroImager (FMI) festgestellt werden. Diese Logs wurden im Feld Rühlermoor nur sporadisch eingesetzt. Von den Bohrungen Rühlermoor 801 liegen für die Teufenabschnitte 15 bis 454 m sowie 371 bis 636 m und in der Bohrung Rühlermoor H 25 für die Teufenabschnitte 30 bis 285 m, 240 bis 490 m sowie 419 bis 613 m orientierte Kalibermessungen vor.

Spannungsinduzierte Bohrlochrandausbrüche treten in Richtung der kleinsten Horizontalspannung auf. Diese Bohrlochrandausbrüche können mit dem 4-Arm- oder 6-Arm-Kaliber-Messgerät bestimmt werden. Für die Bohrungen Rühlermoor 801 und Rühlermoor H25 liegen Auswertungen von 6-Arm-Kalibermessungen vor.

Rühlermoor 801 (Schlumberger Daten)

Im Teufenbereich bis etwa 450 m sind die Kaliber in der Regel in alle Richtungen schwach erweitert.

In einem zweiten Datenpaket sind Daten für den Bereich von 479,75 bis 619,66 m vorhanden. In der Auswertung von Schlumberger sind Schnitte durch die Bohrlochwand einzusehen. Der Abstand der Horizontalschnitte, auf Basis der 6-Arm Kalibermessungen beträgt 20 m. Die Schnitte zeigen, dass die Bohrlochwand im unteren Abschnitt sehr rund ist. Im Bereich von 560 m ist die maximale Erweiterung zu beobachten. Eine eindeutige Vorzugsrichtung der Kalibererweiterungen ist hier aber nicht festzustellen.

In Abbildung 4 sind die Konturen der Bohrlochwand im Teufenbereich von etwa 50 bis 425 m und von 480 bis 620 m dargestellt. Der Abstand der einzelnen Beispiele beträgt etwa 20 m.

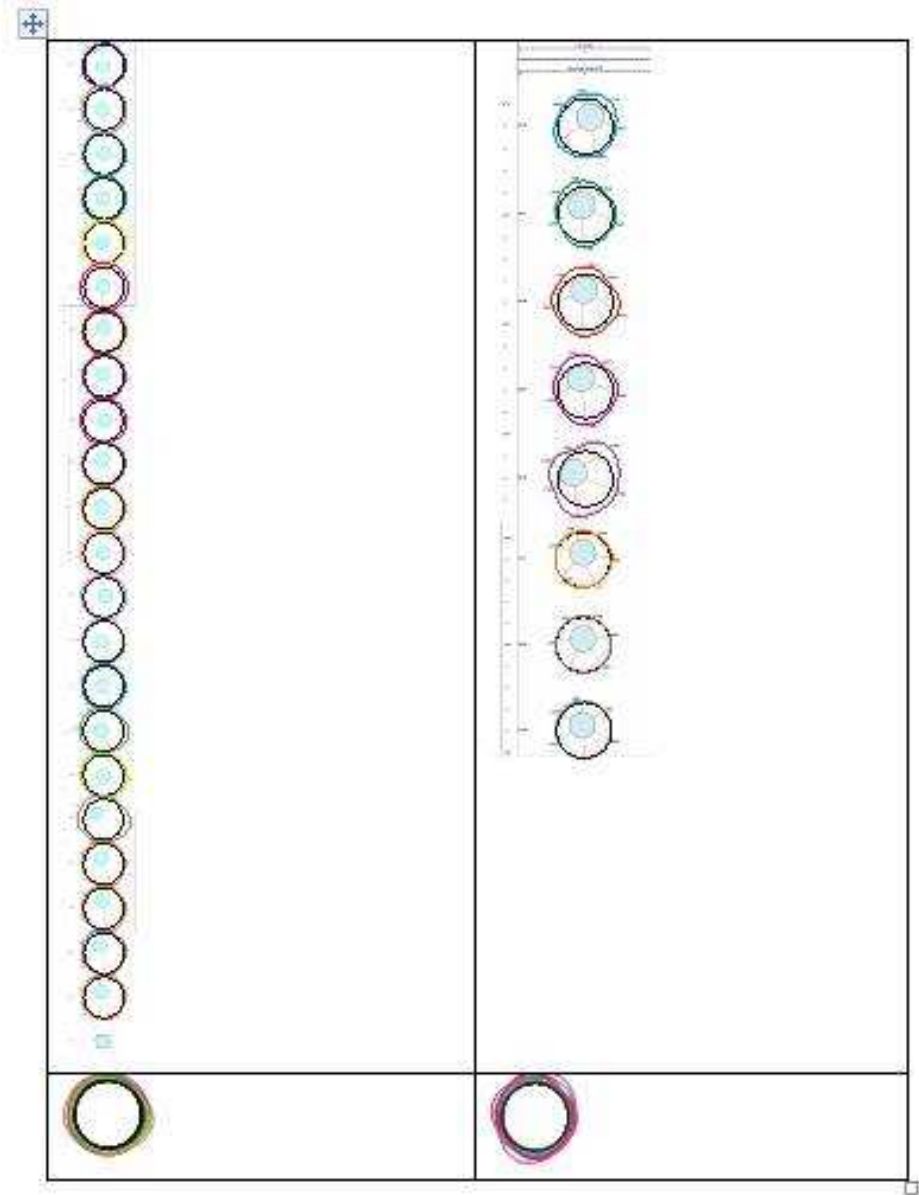


Abbildung 4: Beispiel der Auswertung der 6 Arm-Kalibermessung von Schlumberger in der Bohrung Rühlermoor 801. Hierbei handelt es sich um Messungen im Teufenbereich von etwa 50 bis 425 m und von 480 bis 620 m. Der Abstand der einzelnen Beispiele beträgt etwa 20 m. Unten sind die Konturen übereinander geplottet.

Rühlermoor H25 (Schlumberger Auswertung)

In Abbildung 6 sind die Konturen der 20 m Abstände der Schlumberger 6-Arm Kalibermessungen übereinander geplottet. Insgesamt handelt es sich um etwa 40 Konturplots. Es sind lediglich zwei Kalibererweiterungen mit einer Richtung von etwa 100-110° und eine Konturerweiterung mit einer Richtung von etwa 20° auffällig. Ein deutlicher Hinweis auf eine bevorzugte Richtung der Horizontalspannung lässt sich aus diesen Daten nicht sicher ableiten. Insgesamt kann dies als Hinweis darauf interpretiert werden, dass keine große Spannungsanisotropie vorhanden ist.

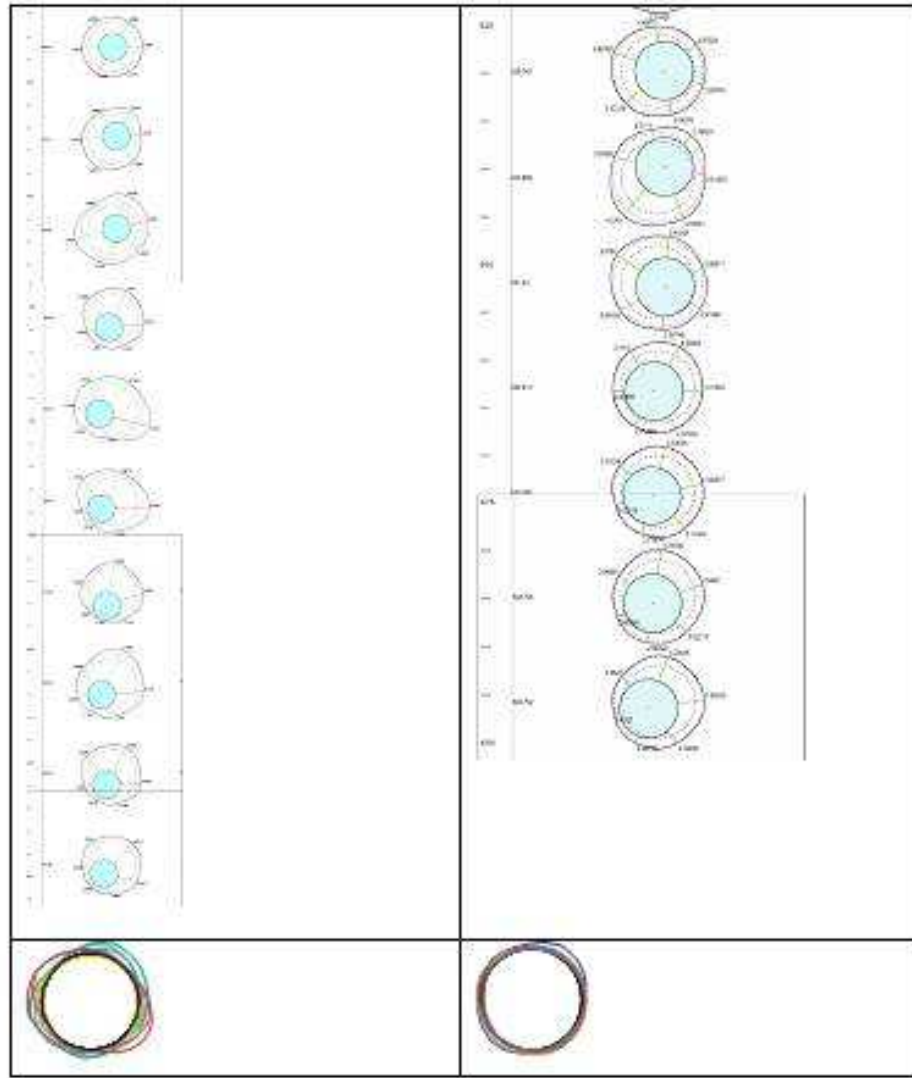


Abbildung 5: Beispiel der Auswertung der 6 Arm-Kalibermessung von Schlumberger in der Bohrung Rühlermoor H25. Hierbei handelt es sich um Messungen im Teufenbereich von etwa 292 bis 472 m und von 529 bis 596 m. Der Abstand der einzelnen Beispiele beträgt etwa 20 m.

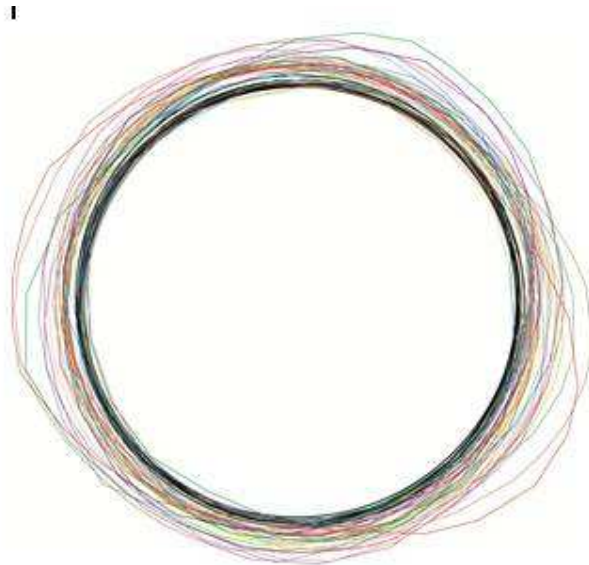
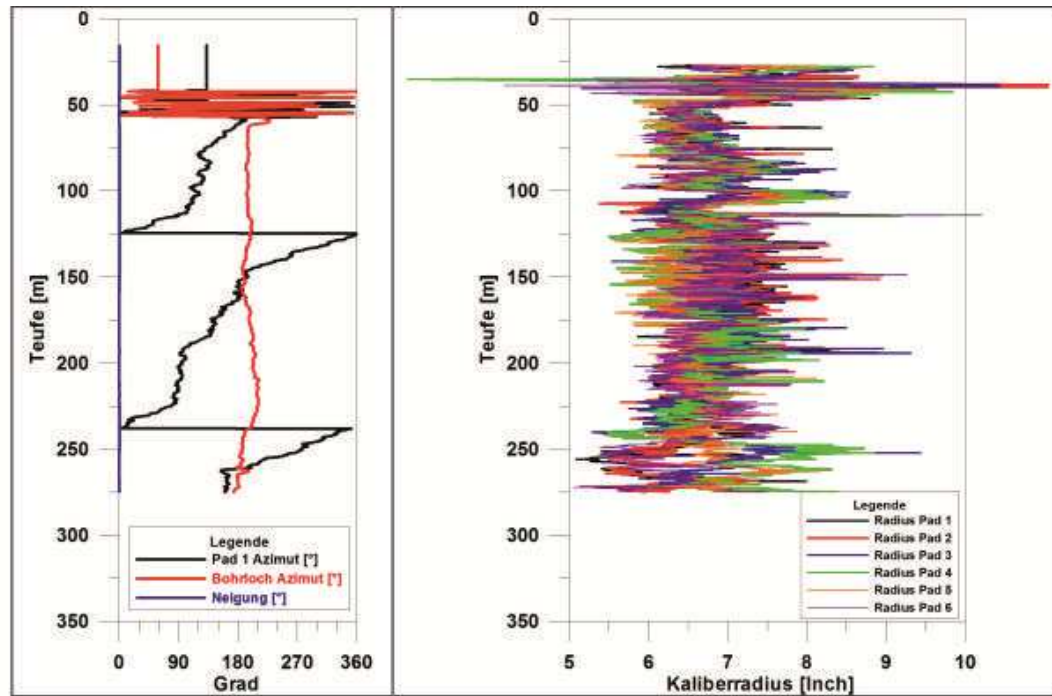


Abbildung 6: Zusammenstellung der Konturplots für 20 m Abstände in den Bohrungen Rühlermoor 801 und Rühlermoor H25. In schwarz ist der normierte Durchmesser der Verrohrung zu sehen. Ein sicherer Hinweis auf eine bevorzugte Spannungsrichtung kann nicht erkannt werden.

Zusätzlich zur Routineauswertung durch die Fa. Schlumberger wurden die Daten der Bohrungen Rühlermoor 801 und Rühlermoor H 25 durch Fr. Dr. Müller vom KIT mit einer speziellen Software ausgewertet.

Rühlermoor 801 (KIT Auswertung)

Ausgewertet wurden die Datensätze Raw01489 und RM-1499 Run 1.1. Im Teufenintervall von 15,39 bis 454,91 m (Raw01489) befinden sich 2885 Datenzeilen. In diesem Teufenbereich wurde die Bohrung mit einem Durchmesser von 12^{1/4}“ gebohrt. Die Bohrung wird für zwei Teufenbereiche betrachtet. Im oberen Bereich ist die Bohrung gekennzeichnet durch einen fast vertikalen Teil bis in eine Teufe von 275 m (Abb. 7a). Im Teufenintervall bis 275 m liegen die Kaliberwerte überwiegend zwischen 5,5 und 9,0 Inch.



a) b)
Abbildung 7: Logplot für den Bereich (275 m) der Bohrung mit geringer Bohrlochneigung. a) Pad 1 Azimut, Bohrlochazimut und Neigung (nahezu vertikal). b) Radius der 6 Kaliberarme im oberen Teil der Bohrung Röhlermoor 801.

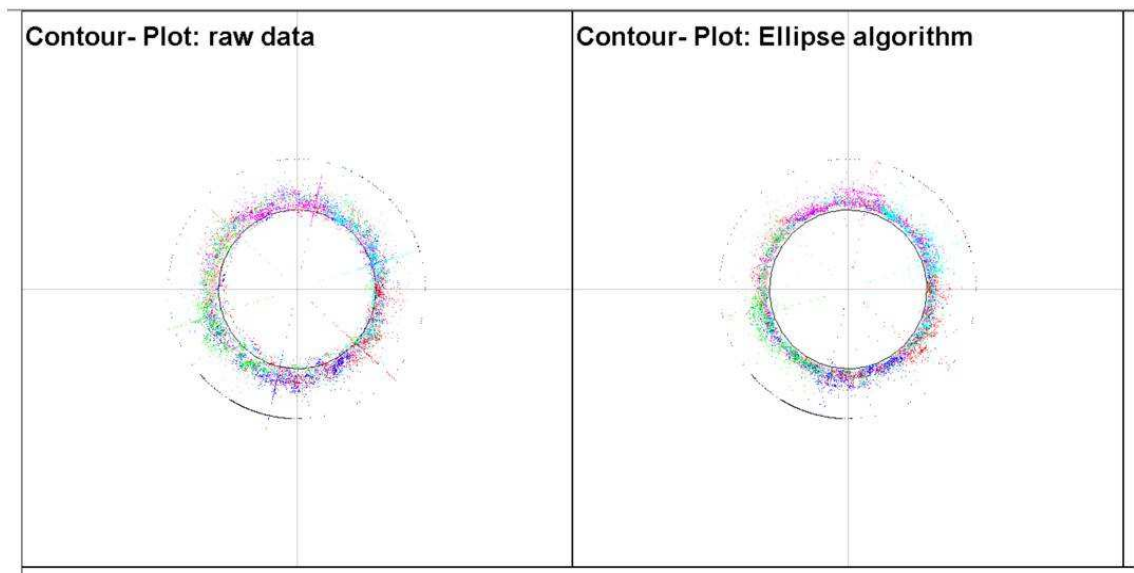
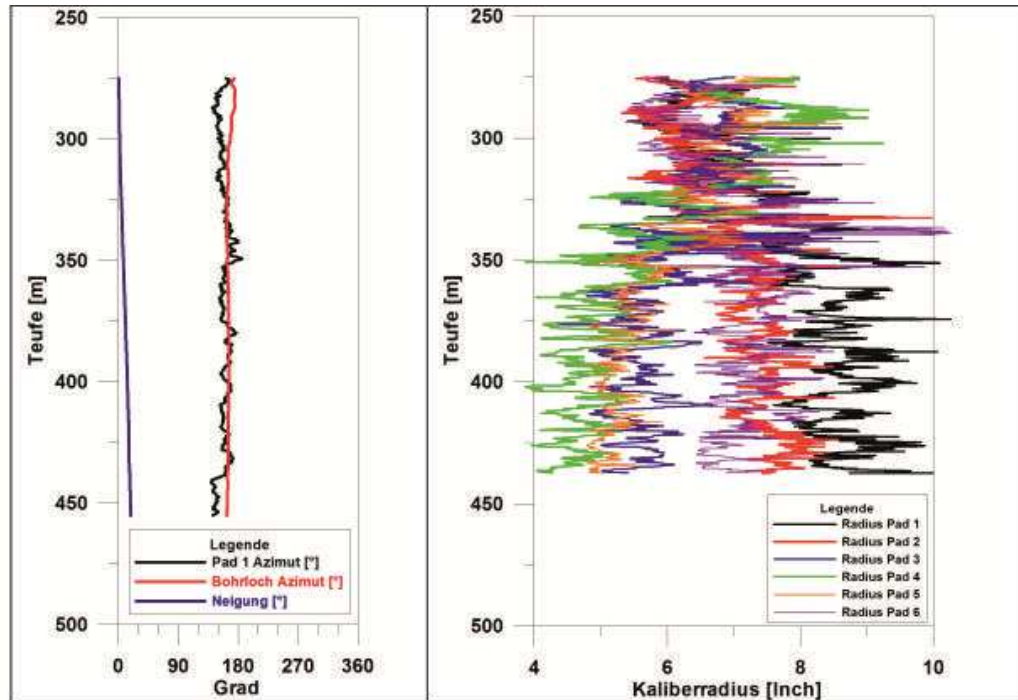


Abbildung 8 : links: Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von Abbildung 7. Rechts: Plot der korrigierten Daten.

In dem Bereich unterhalb von 275 m steigt die Bohrlochneigung kontinuierlich mit der Tiefe auf ca. 18° an (Abb. 9b). Der Bohrungsazimut und der Pad1 Azimut nähern sich einander an (Abb. 9a).



a)

b)

Abbildung 9: Logplot für den Bereich (275 m) der Bohrung mit geringer Bohrlochneigung. a) Pad 1 Azimut, Bohrlochazimut und Neigung (nahezu vertikal). b) Radius der 6 Kaliberarme im oberen Teil der Bohrung Röhlermoor 801.

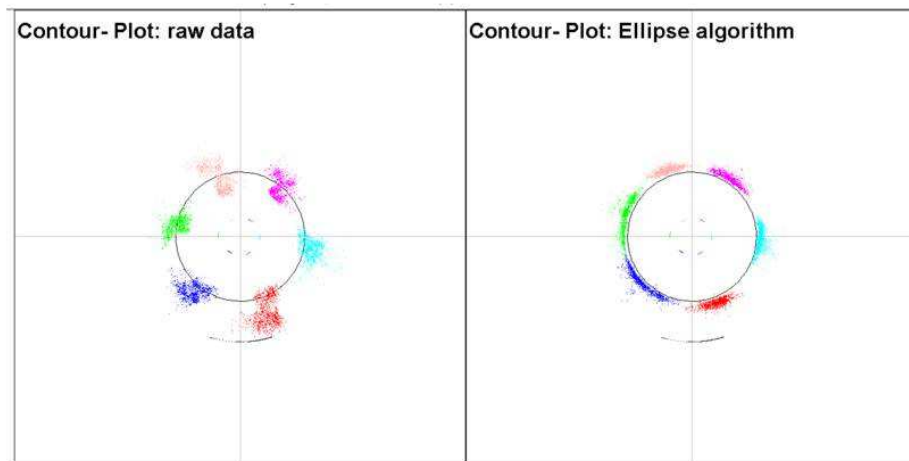


Abbildung 10: links: Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von Abbildung 3. Rechts: Plot der korrigierten Daten.

Aufgrund der starken Bohrlochneigung im Teufenbereich unter 275 m ist das Caliper-Tool im Bohrloch nicht zentriert. Dadurch können Bohrlocherweiterungen falsch bzw. unter falschen Winkeln dargestellt werden. Mit der „6-arm caliper software“ des KIT wurde dies korrigiert (Abb. 10).

Die Einzelergebnisse ergeben eine Vorzugsorientierung von 160 bis 170° für die Bohrlocherweiterungen (Abb. 11). Formal ergibt sich die Richtung der maximalen Horizontalspannung zu etwa 78°.

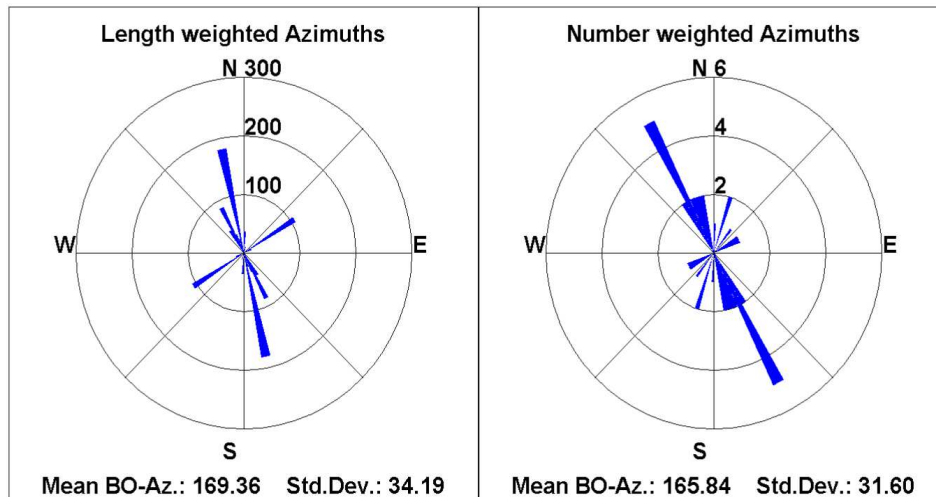


Abbildung 11: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche in der Bohrung Rühlermoor 801. Die Ausbruchsrichtung ergibt sich zu etwa N168°. Hieraus ergibt sich die Richtung der maximalen Horizontalspannung zu etwa N78°.

Rühlermoor 801 Run 2 (KIT Auswertung)

Ausgewertet wurden die Datensätze RM-1499 Run 2.1 (RAW01499 Run 2.1_DSI). In diesem Teufenbereich wurde die Bohrung mit einem Durchmesser von 8^{1/2}“ gebohrt. Die Messstrecke mit Kaliberdaten reicht von 458,72 bis 636,42 m.

Im Bereich des 8^{1/2}“-Meißeldurchmessers rotiert das Kalibertool ab einer Tiefe von ca. 495 m nicht mehr stark. Die Bohrlochabweichung beträgt hier über 20°. Die Bohrung ist bis ca. 565 m nach N bis NNE ausgerichtet und verändert ihre Orientierung dann auf etwa N 60°E, um dann in größerer Tiefe wieder fast N-S gerichtet zu sein (Abb. 12a). Die Kaliberwerte liegen überwiegend zwischen 3,5 und 8,0“ (Abb. 12 b).

In Abbildung 13a sind die Rohdaten der Kaliberarme und der Durchmesser dargestellt. In Abbildung 13b finden sich die mit der „6-arm caliper software“ des KIT korrigierten Daten. Abbildung 14 zeigt zum Vergleich die Schlumberger Daten. In Abbildung 15 sind die Bohrlocherweiterungen für die ausgebrochene Sektion von 458 bis 497 m Tiefe der Bohrung Rühlermoor 801 zu sehen.

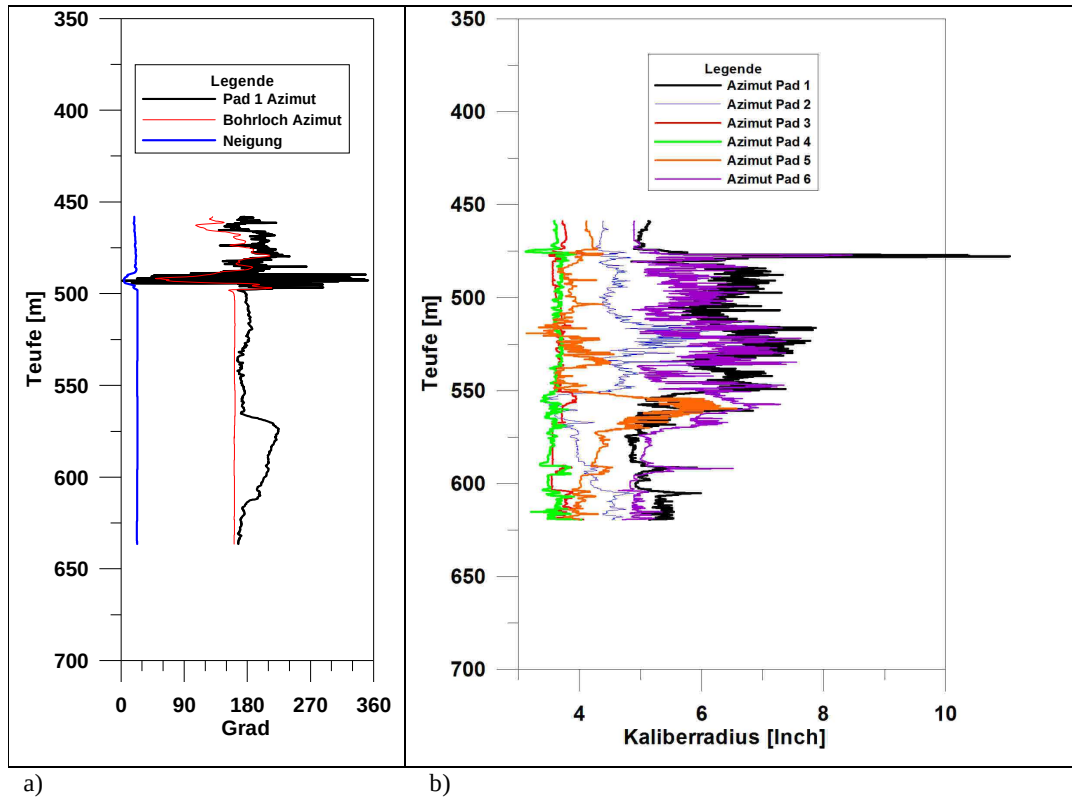


Abbildung 12: Logplot für den Bereich von etwa 458 bis 637 m. a) Pad 1 Azimut, Bohrlochazimut und Neigung (nahezu vertikal). b) Radius der 6 Kaliberarme im 8^{1/2}“ Bohrloch der Bohrung Rühlermoor 801.

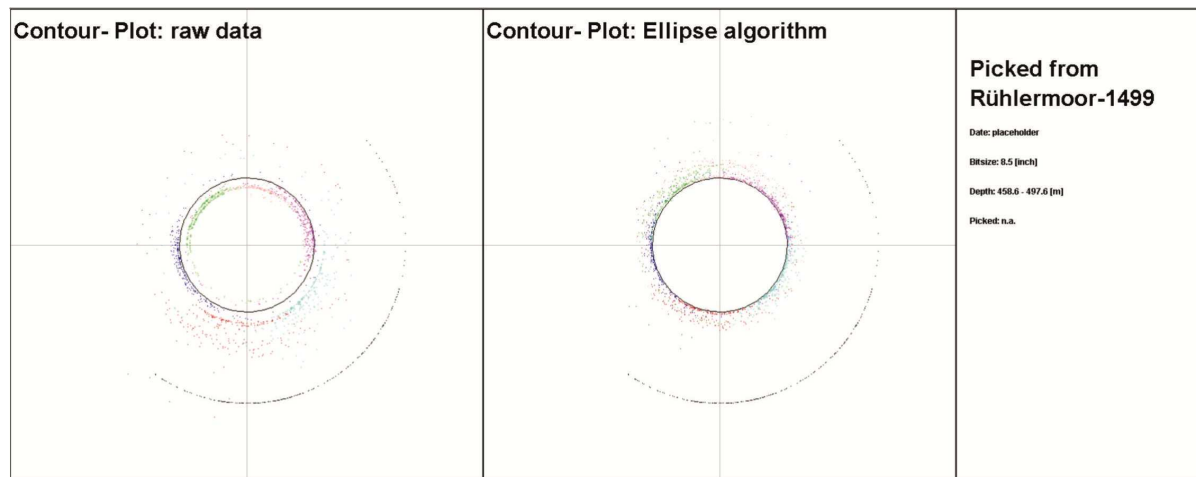


Abbildung 13: Stack der Rohdaten (links) und der Daten, bei der die Toolposition für den Teufenbereich von 475 bis 500 m korrigiert wurde.

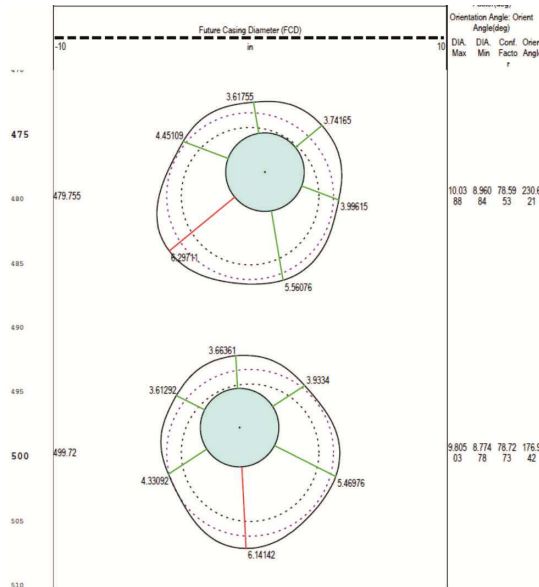


Abbildung 14: Querschnitte, die sich aus der Schlumberger-Auswertung für diesen Tiefenbereich ergeben.

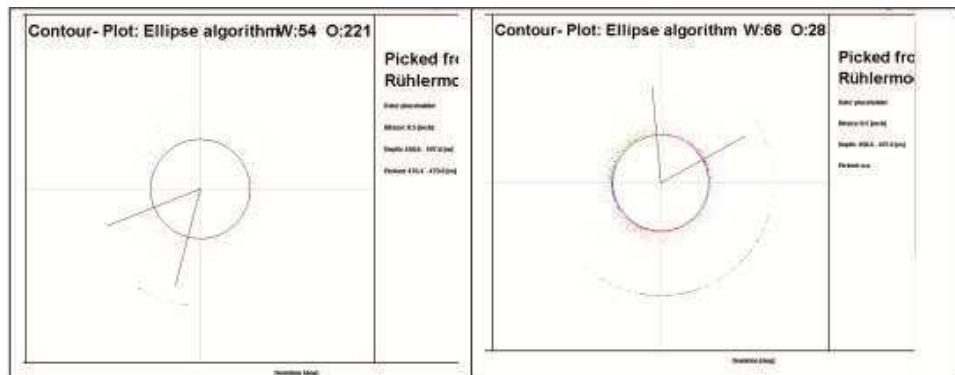


Abbildung 15: Bohrlocherweiterung für die ausgebrochene Sektion von 458 bis 497 m Tiefe.

Abbildung 16 zeigt den Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von 497,5 bis 618,9 m und rechts den Plot der korrigierten Daten.

In Abbildung 17 ist die Orientierung der gewichteten Längen der Bohrlochrandausbrüche im 2. Run der Bohrung Rührermo 801 dargestellt. Es ergibt sich eine Orientierung der Bohrlochrandausbrüche von N5,5°E. Die Orientierung der gewichteten Azimute beträgt N17,5°E. Die Richtung von S_{Hmax} kann mit etwa 102° angenommen werden.

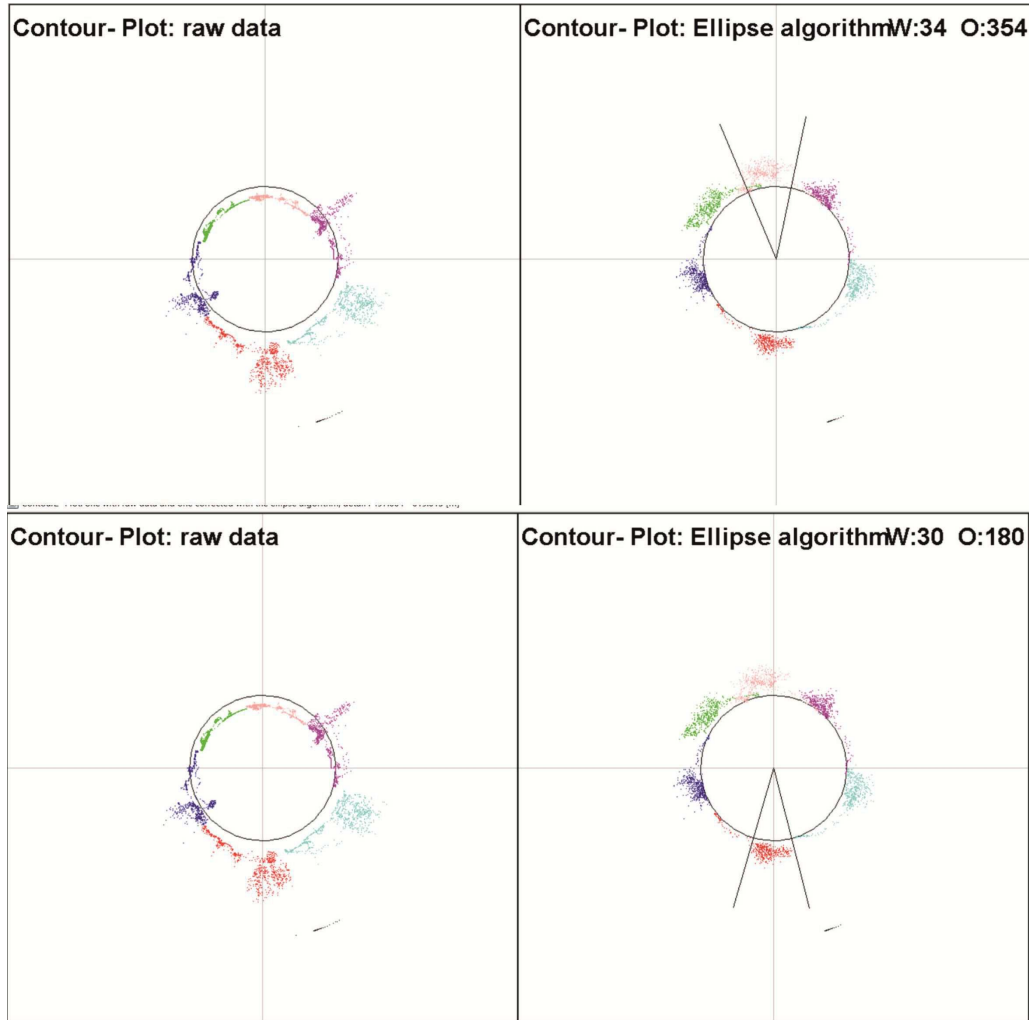


Abbildung 16 : links: Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von 497,5 bis 618,9 m. Rechts: Plot der korrigierten Daten.

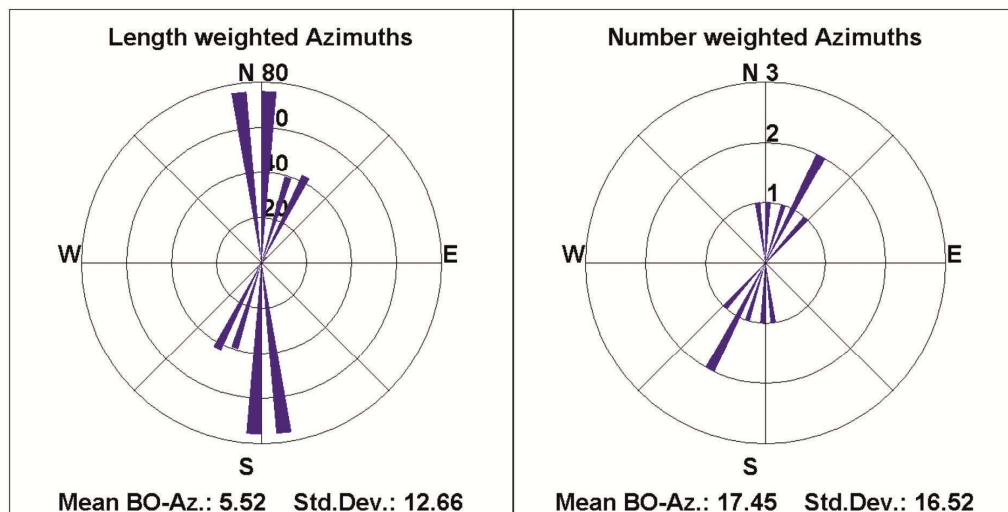


Abbildung 17: Orientierung der gewichteten Längen der Bohrlochrandausbrüche im 2. Run der Bohrung Rühlermoor 801 mit einer Richtung von N5,5°O, die der gewichteten Azimute mit einer Richtung von N17,5°O. Die Richtung von S_{Hmax} beträgt etwa N102°.

Kombiniert man die Ergebnisse von Run 1.1 und Run 2.1 so erhält man folgende Breakoutverteilung (Tabelle 1):

Tabelle 1: Orientierung der Bohrlochrandausbrüche in der Bohrung Rühlermoor 801 (1. und 2. Run).

Rühlermoor	Run 1.1			
Ausbruchs- weite [°]	Orientierung der Ausbrüche [°]	minimale Teufe [m]	maximale Teufe [m]	Länge
42	1	79.0	115.0	36.0
21	64	146.0	161.0	15.0
28	245	146.0	161.0	15.0
22	330	169.3	182.9	13.6
18	340	192.4	200.9	8.5
15	152	192.4	200.9	8.5
17	331	202.4	221.8	19.4
21	146	202.4	221.8	19.4
19	195	232.3	237.7	5.4
18	15	232.3	237.7	5.4
16	160	262.4	279.1	16.7
Rühlermoor	Run 2.1			
Ausbruchs- weite [°]	Orientierung der Ausbrüche [°]	minimale Teufe [m]	maximale Teufe [m]	Länge
66	28	476.4	479.8	3.4
54	41	476.4	479.8	3.4
34	354	498.6	574.7	76.1
30	180	498.6	574.7	76.1
18	16	577.7	617.0	39.3
31	205	577.7	617.0	39.3

Somit ergibt sich folgendes Bild für die bevorzugte Ausbruchsrichtung der Bohrung Rühlermoor 801 (Abb. 18):

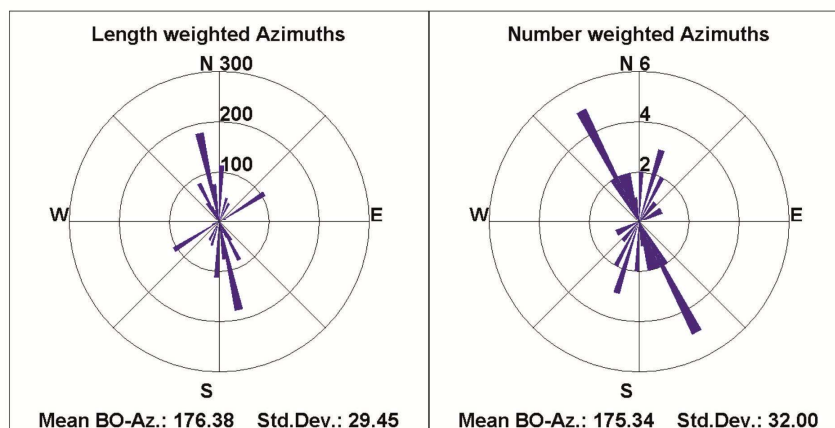


Abbildung 18: Zusammenstellung der Breakoutdaten für die Bohrung Rühlermoor 801 nach KIT Daten. Die Ausbrüche sind bevorzugt in Richtung N176° orientiert.

Nimmt man alle Ausbruchsrichtungen für die Bohrung Rühlermoor 801 zusammen, so kann die Orientierung von S_{Hmax} auf N86° festgelegt werden.

Rühlermoor RM-H25-1497-Run2.1

Es handelt sich um Daten von 6-Kaliberarmen aus drei verschiedenen Tiefenbereichen. Die Messdaten zwischen 30 und 285 m sind im Datenfile RAW196 abgelegt. Im Datenfile RAW1497 finden sich die Daten für den Messbereich 240 bis 490m. Die Daten aus dem Teufenbereich 419 bis 613 m sind im Datenfile RAW 1498 einzusehen. Im Tiefenbereich bis 332 m erkennt man zunächst relativ starke allseitige Ausbrüche, die aber eine leichte Vorzugsorientierung aufweisen. Dabei schwanken Relative Bearing und Pad1 Azimuth relativ stark (Abb. 19).

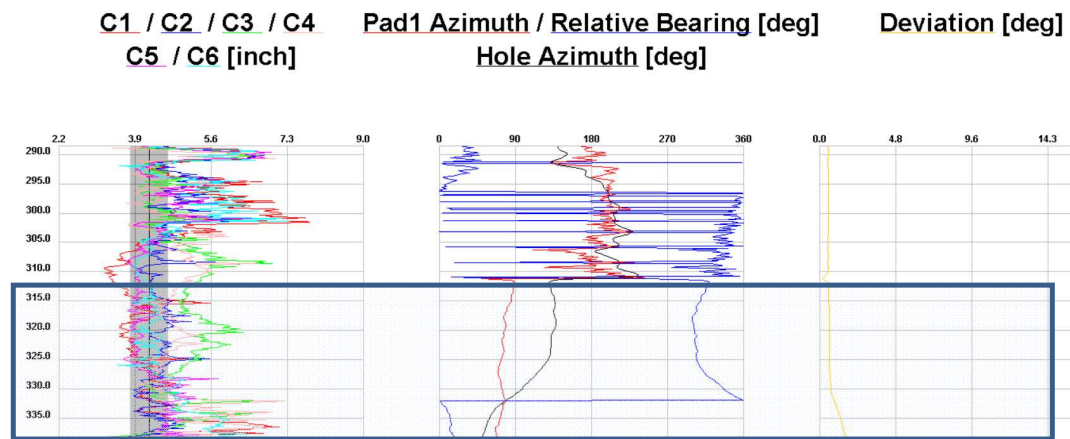


Abbildung 19: Darstellung des Tiefenbereichs bis 332 m mit relativ starken allseitigen Ausbrüchen. Relative Bearing und Pad1 Azimuth schwanken relativ stark.

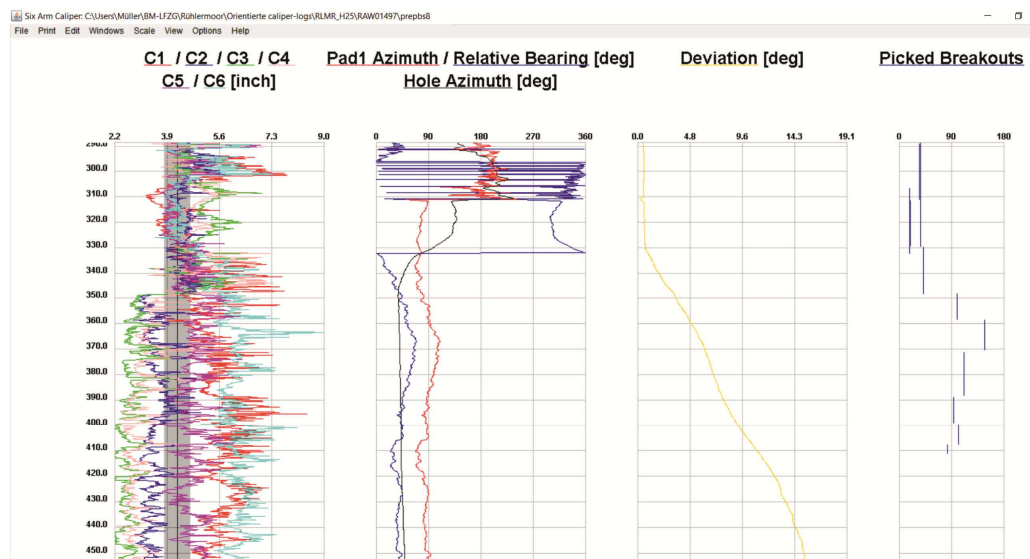


Abbildung 20: Übersicht über gepickte Breakouts in der Bohrung Rühlermoor H25.

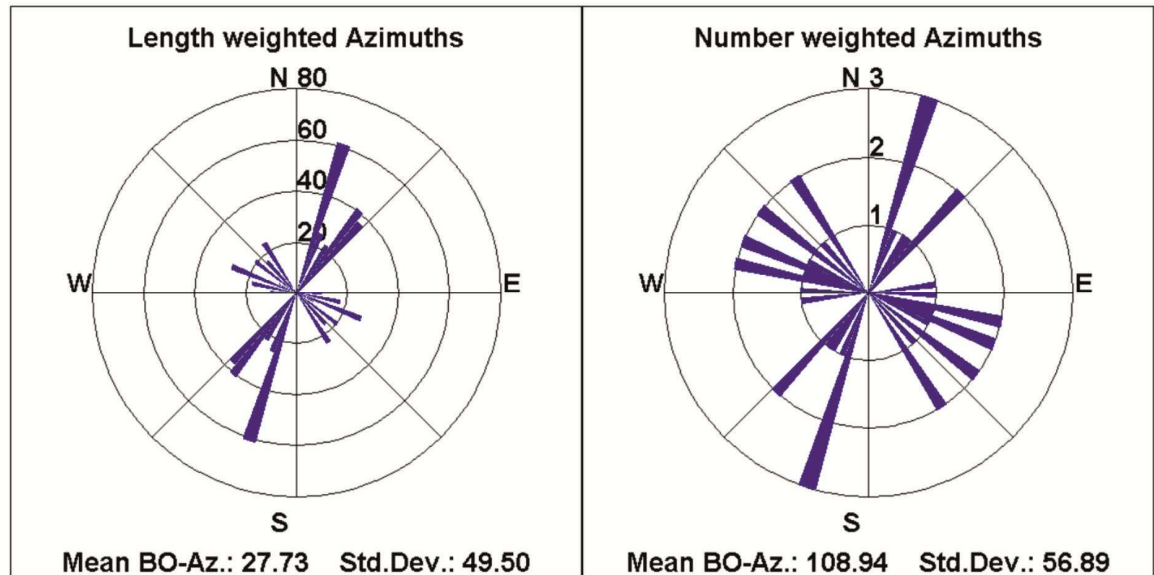


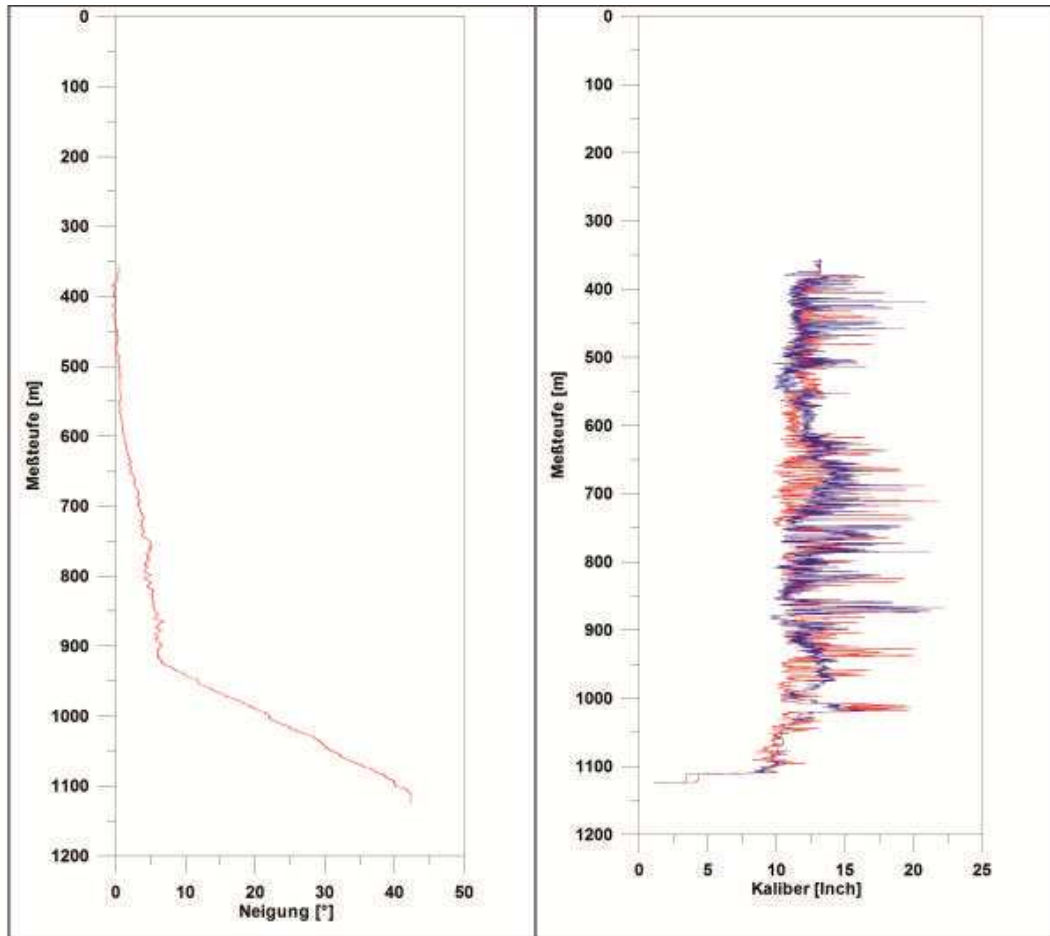
Abbildung 21: Zusammenstellung der Breakoutdaten für die Bohrung Rühlermoor H 25 nach KIT Daten. Demnach sind die Ausbrüche bevorzugt in Richtung N28° orientiert.

Die Orientierung der gewichteten Längen der Bohrlochrandausbrüche in der Bohrung Rühlermoor H25 ergibt eine Orientierung von N27,7°E. Die gewichteten Azimute zeigen eine Richtung von N108,9°E, bei allerdings sehr hohen Standardabweichungen (Abb. 21). Die Ausbruchsrichtung von N27,7° scheint hierbei insgesamt aber etwas besser belegt zu sein. Die Richtung der maximalen Horizontalspannung, abgeleitet aus den Bohrlochrandausbrüchen der Bohrung Rühlermoor H 25, wird mit etwa N118° angenommen.

Im April 2016 wurden noch Kaliberdaten der Bohrungen Rühlermoor Z1, Meppen 22, Meppen 24 und Hebelermoor-Ost Z1 nachgeliefert.

Meppen 22

Die Horizontalbohrung Meppen 22 wurde in einer Teufe von 800 m abgelenkt. Die Gesamtabweichung bei 1988 m (MD) betrug 949,56 m, mit einem Azimut von 142,61°. Unterhalb von 967 m erreicht die Neigung der Bohrung mehr als 15° (Abb. 22a). In Abb. 22b sind die beiden Kaliberachsen dargestellt. Der Meißeldurchmesser betrug 9^{7/8}“. Es ist zu erkennen, dass zwischen 500 m und etwa 1000 m zum Teil eine der Kaliberachsen maßhaltig ist und die andere erweitert. Da die Neigung der Bohrung dort unter 15° liegt, können die Kalibererweiterungen als spannungsinduziert angenommen werden.



a)

b)

Abbildung 22: Neigung (a) und minimales und maximales Kaliber (b) gegen die Teufe in der Bohrung Meppen 22.

Horizontaler Abschnitt der Bohrung Meppen 22

Bei der Auswertung der Bohrung Meppen 22 unterhalb von 1100 m MD zeigt sich, dass das Kaliber in der Horizontalen erweitert ist, während es in der Vertikalen maßhaltig ist (Abb. 23). Die Auswertung der Daten ist auch für die Bohrung Meppen 22 im Horizontalbereich nicht trivial. Durch verschiedene Operationen lässt sich aber insgesamt ableiten, dass die lange Kaliberachse eine Orientierung von 85 bis 275° besitzt. In der Horizontalbohrung wird die Oberseite der Bohrung mit 0° angenommen. Dies bedeutet, dass die Ausbrüche nahezu horizontal liegen. Da die Bohrlochrandausbrüche normal zur maximalen Spannungskomponente liegen, bedeutet dies, dass die maximale Spannungskomponente nahezu vertikal steht. Unabhängig davon, ob die maximale und die minimale Horizontalspannung orientiert sind, ergibt sich für die Bohrung Meppen 22 der Befund, dass bei einer tektonischen Interpretation formal ein Abschiebungsregime

vorliegt.

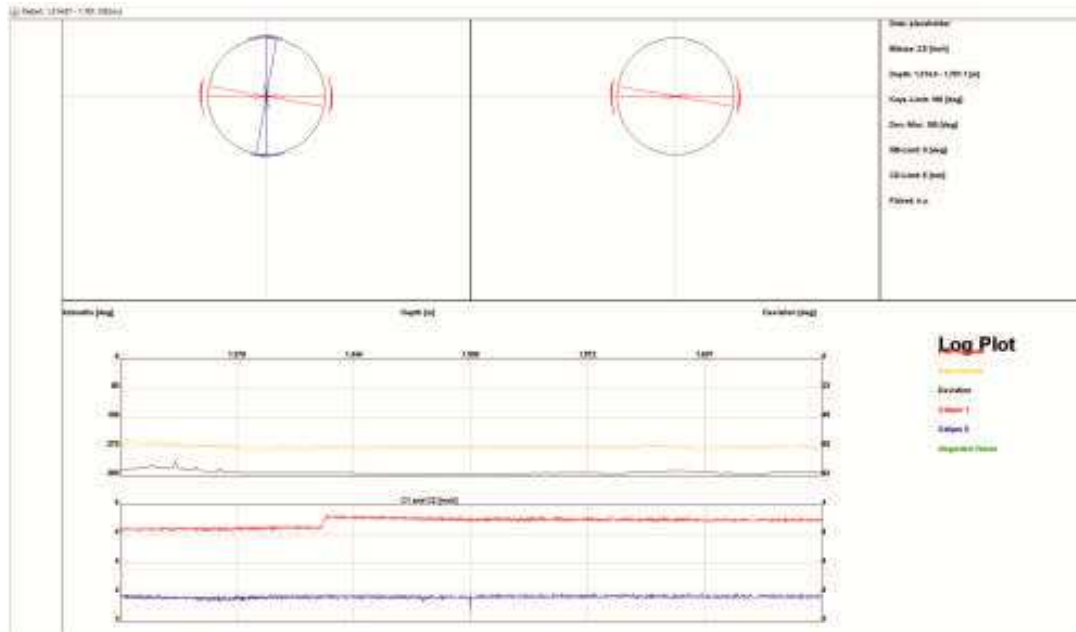


Abbildung 23: Zusammenstellung der Breakoutdaten für die Bohrung Meppen 22 nach KIT Daten. Demnach sind die Ausbrüche bevorzugt in Horizontalrichtung orientiert.

Meppen 24

Die Horizontalbohrung Meppen 24 sollte den strukturmäßigsten Teil der Antiklinalstruktur des Ölfeldes Meppen-Schwefingen im Flasersand erschließen. Die Bohrung Meppen 24 wurde in einer Teufe von etwa 700 m abgelenkt. Die Horizontalstrecke sollte 400 bis 500 m betragen.

Der Azimut im 1. Loch liegt bei 162,71° und im 3. Loch bei 154,04°. Unterhalb von 874 m erreicht die Neigung der Bohrung über 15° (Abb. 24a). In Abb. 24b sind die beiden Kaliberachsen dargestellt. Der Meißeldurchmesser betrug 8^{1/2}“. Es ist zu erkennen, dass zwischen ca. 400 und 700 m zum Teil eine der Kaliberachsen maßhaltig ist und die andere erweitert. Da die Neigung der Bohrung unter 15° liegt können die Kalibererweiterungen als spannungsinduziert angenommen werden. In den tieferen Abschnitten bis 1.200 m sind meist beide Kaliberachsen deutlich erweitert.

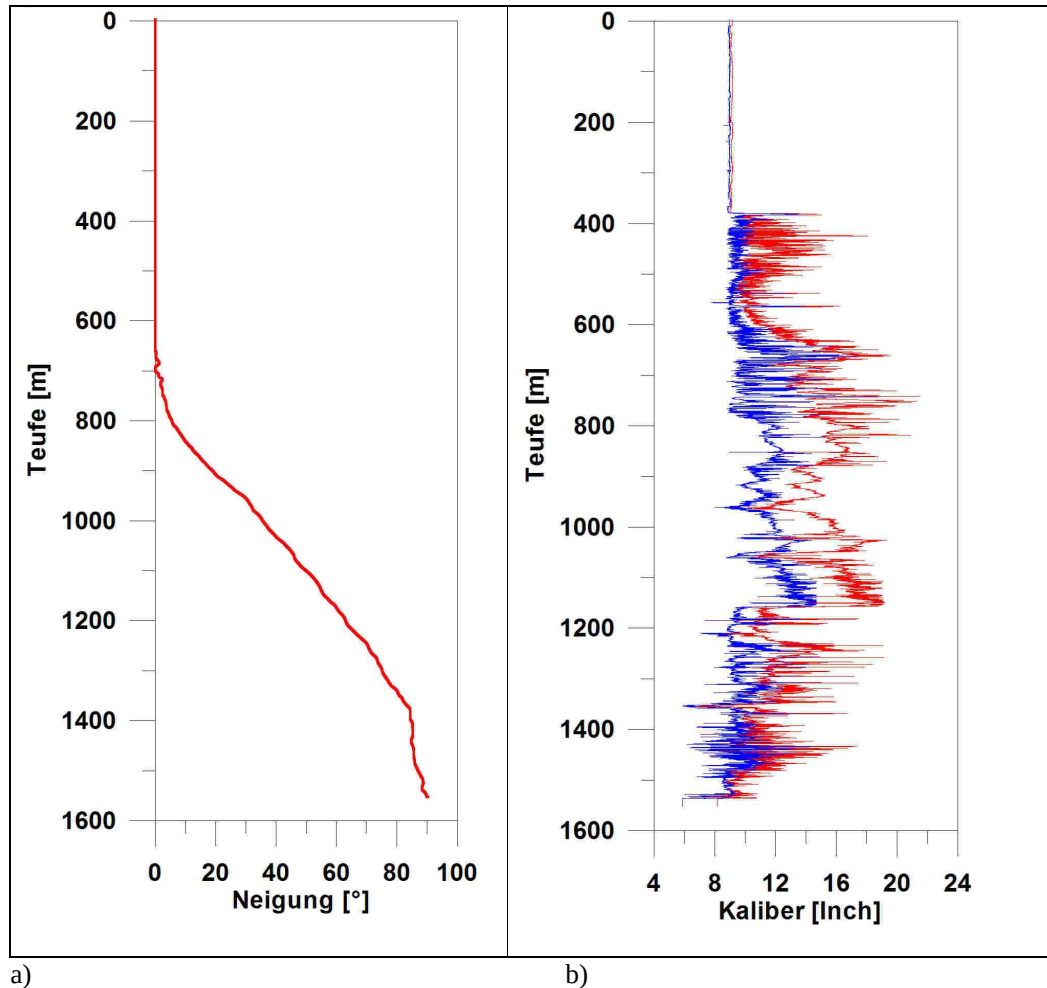


Abbildung 24: Neigung (a) und minimales und maximales Kaliber (b) gegen die Teufe in der Bohrung Meppen 24.

5.1.2 Spannungsrichtungen im Feld Rühlermoor aus Dipole Shear Imager Messungen

Zusätzlich zu den Kaliberdaten sind Dipole Shear Image (DSI) Daten für die Bohrungen Rühlermoor H25 und Rühlermoor 801 vorhanden. Die Daten der Bohrung Rühlermoor 801 enthalten auch Daten mit Angaben zur Orientierung der schnellen s-Welle. Das Messintervall lag hier zwischen 475 und 625 m.

Brie et al. (1995) beschreiben, dass die Richtung der maximalen horizontalen Hauptspannung mit der Richtung der schnellen s-Welle übereinstimmt. Auch Bruno & Winterstein (1992) zeigen den Zusammenhang zwischen der Orientierung von hydraulischen Fracs und der Orientierung der schnellen s-Welle. Das ergibt sich auch aus Abbildung 25, die der Internetseite von Szabo entnommen ist (<http://www.unimiskolc.hu/~geofiz/Well-logging-methods.pdf>). Der Azimut der schnellen s-Welle entspricht der Richtung der maximalen Horizontalspannung.

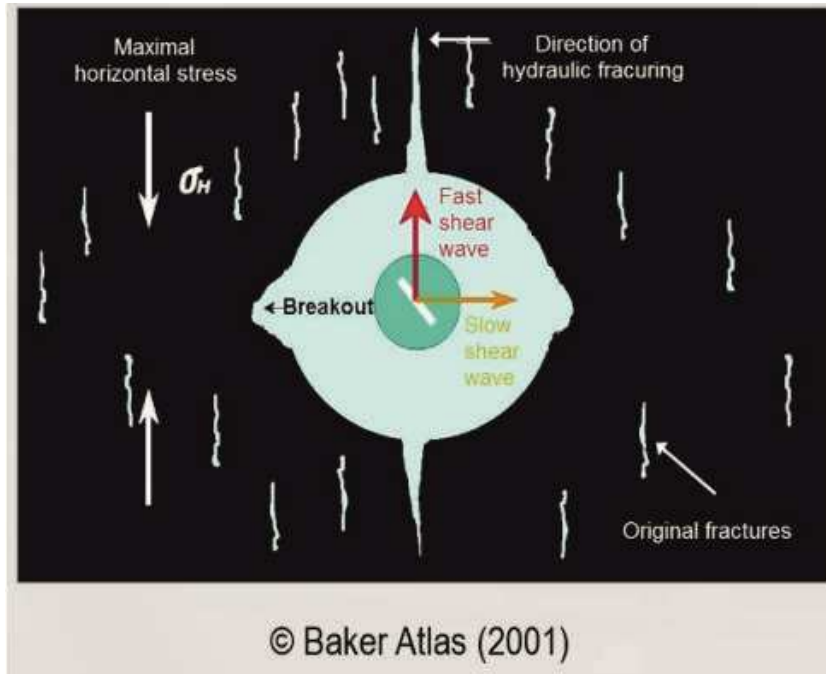


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Spannungsindikatoren und der Richtung der schnellen s-Welle.

In Abbildung 26 ist die Richtung der schnellen s-Welle gegen die Tiefe in der Bohrung Rühlermoor 801 zusammen mit dem Gamma Ray dargestellt. Im Tiefenintervall zwischen 515 und 585 m besitzt die schnelle s-Welle eine Orientierung von etwa -20° bis -40° bzw. $N140^\circ$ bis $N160^\circ$. Aus der Darstellung der Gamma Ray-Kurve ist ersichtlich, dass in diesem Intervall sowohl hohe Gamma Ray-Werte (Tonsteine) als auch niedrige Gamma Ray-Werte (Sandsteine) vorkommen. Ober- und unterhalb dieses Intervalls schwanken die Orientierungen auf wenigen Metern deutlich stärker.

Zusätzlich wurde von den insgesamt 985 Werten ein Rosendiagramm erstellt, um die Orientierung der schnellen s-Welle (S_{Hmax}) besser interpretieren zu können (Abb. 27). Demnach ist die Orientierung der schnellen s-Welle bevorzugt etwa in Richtung $N155^\circ$. Dies stimmt gut mit der Orientierung der Störungssysteme im Intratertiär zusammen (Abb. 1.1.2-53 in Teil 4 Rahmenbetriebsplan, Kapitel 1.1.2).

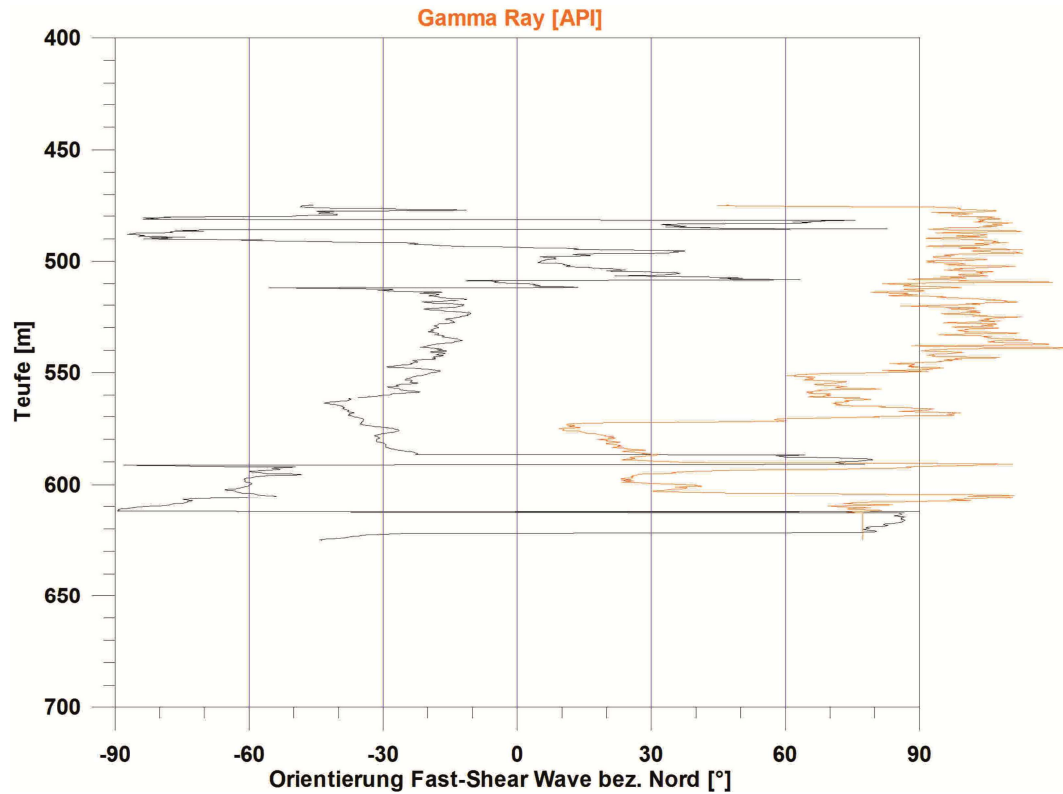


Abbildung 26: Orientierung der schnellen s-Welle in der Bohrung Rühlermoor 801 gegen die Teufe. Zusätzlich ist in brauner Farbe die Gamma Ray-Kurve dargestellt.

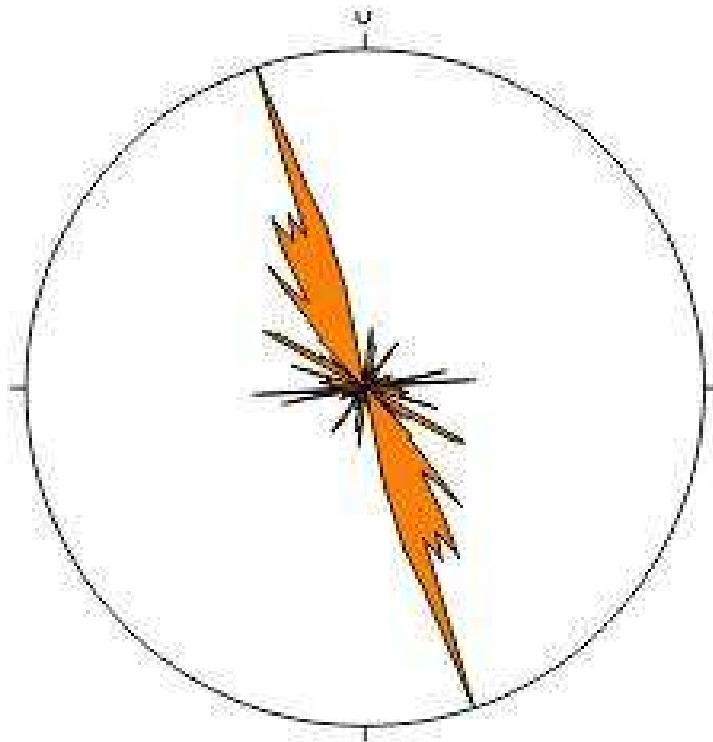


Abbildung 27: Orientierung der schnellen s-Welle in der Bohrung Rühlermoor 801.

5.2 Vergleich mit Literaturdaten im Deckgebirge

Im Suprasalinar sind die Richtungen und Beträge der Spannungen oft sehr uneinheitlich entwickelt. Auf engem Raum kommt es hier zu starken Änderungen in den Spannungsrichtungen (Röckel & Lempp 2003).

Die Spannungsdaten aus dem Suprasalinar sind häufig aus seichten Teufen, wobei der Buntsandstein aber auch in einigen 1000 m Tiefe aufgeschlossen wurde. Während die meisten Spannungsdaten aus dem Subsalinar tiefer Bohrungen stammen, sind nur relativ wenige Daten zu Spannungsrichtungen aus dem Suprasalinar von oberflächennahen Bohrungen, Bergwerken und Tunneln verfügbar.

Tabelle 2: Richtung der maximalen Horizontalspannung im Suprasalinar

Ort	Richtung S_H	Literaturstelle
Kaltenohmfeld	N040°	BANKWITZ et al. 1993
Kehmstedt	N130°	BANKWITZ et al. 1993
Wallhausen	N085°	BANKWITZ et al. 1993
Niederröblingen	N055°	BANKWITZ et al. 1993
Oberheldrungen	N035°	BANKWITZ et al. 1993
Reinsdorf	N105°	BANKWITZ et al. 1993
Escherberg	N166° $\pm$ 43°	RUMMEL & BAUMGÄRTNER (1982)
Eichenberg	N108° $\pm$ 5°	RUMMEL & BAUMGÄRTNER (1982)
Eldagsen	N135° $\pm$ 12°	BAUMANN (1982)
Adlersberg	N101° $\pm$ 18°	RUMMEL & BAUMGÄRTNER (1982)
Peckensen	N109°	ROTH et. al. 1998
Mellin	N090°	ROTH et. al. 1998
MAH	N090°	ROTH et. al. 1998
Mittelplate	N95	WOLTER & BERNERS (2000)

Einige Daten sind aus einer Zusammenfassung älterer Daten bei Becker & Paladine (1990) entnommen. Hier werden Daten von Rummel & Baumgärtner (1982), Baumann (1982) und Knoll (1979) aufgeführt. Neuere Daten sind Roth et al. (1998) zu entnehmen. Einige Daten südlich bzw. südwestlich des Harzes sind in Bankwitz et al. (1993) enthalten. Nicht alle diese Daten sind in der WORLD STRESS MAP verzeichnet. Eine Zusammenfassung zu den Spannungsrichtungen ist in der Tabelle 2 gegeben.

Insgesamt ergibt sich aus diesen Daten, dass die Spannungsrichtungen im Suprasalinar nicht sehr stabil sind. Am ehesten lassen sich die Streichrichtungen für S_H als flachherzynisch (WNW-ESE) mit Abweichungen nach Norden und Süden beschreiben. In Abb. 28 sind die Ergebnisse der Spannungsrichtungen im Suprasalinar dargestellt. Der Mittelwert der betrachteten Lokationen ergibt eine Streichrichtung für S_H von etwa 100° (ESE-WNW). „Flachherzynische Richtungen“ und E-W Richtungen überwiegen.

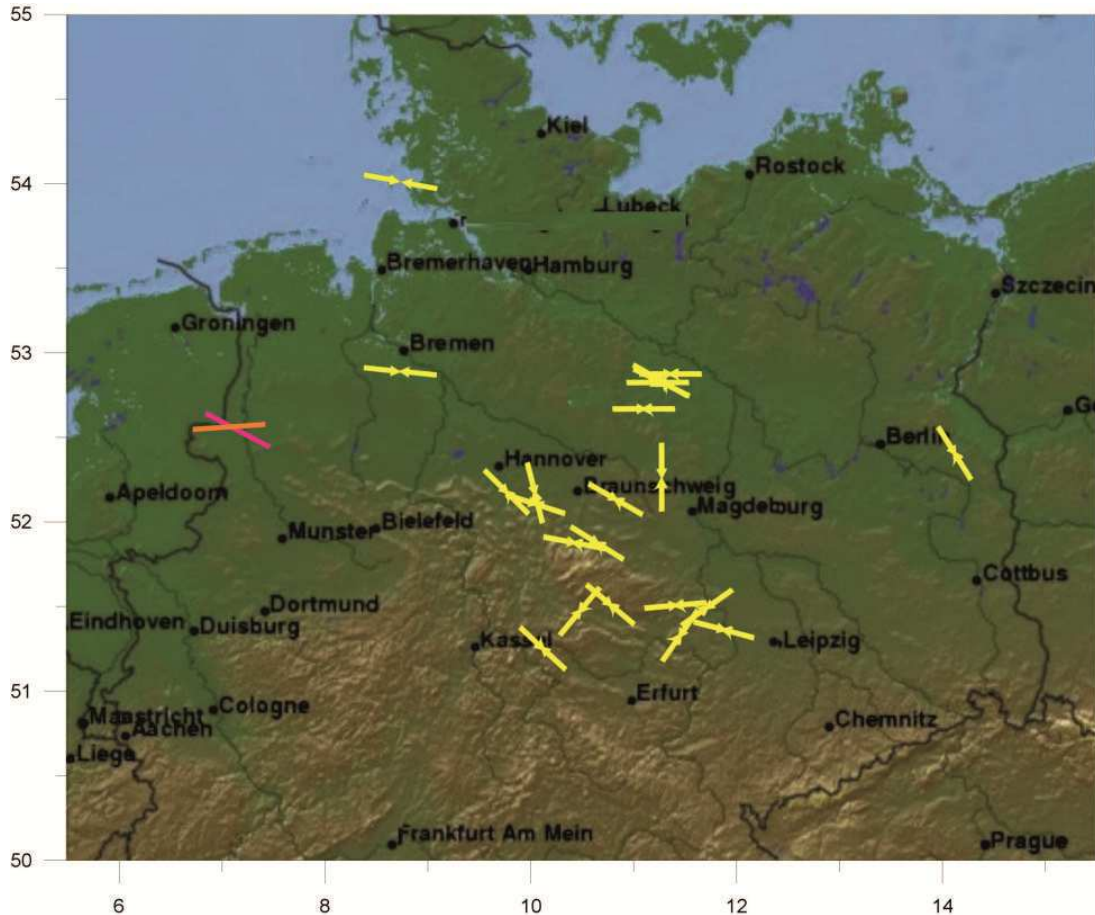


Abbildung 28: Spannungsrichtungen im Deckgebirge im Norddeutschen Becken (nach Röckel & Lempp 2003). Zusätzlich wurden jüngere Daten in die Abbildung mit einbezogen. Die Richtung der maximalen Horizontalspannungen, abgeleitet aus der Bohrung Rühlermoor 801, ist in orange und die der Bohrung Rühlermoor H25 ist in pink dargestellt.

Aufgrund der Datenlage ergibt sich, dass zumindest bereichsweise eine gewisse Anisotropie in den Horizontalspannungen vorhanden ist.

Die Spannungsrichtungen im Deckgebirge variieren relativ stark und sind vermutlich stark durch Salzstrukturen beeinflusst. Wenn die Spannungsrichtung nicht eindeutig nachgewiesen werden kann, sollte bei Standsicherheitsbetrachtungen von Störungszonen davon ausgegangen werden, dass nur die minimale Horizontalspannungskomponente auf die Störungsfläche wirkt. Wenn eine größere Horizontalspannungskomponente auf die Störung wirken würde, ergeben sich zusätzlich Standsicherheitsreserven.

5.2.1 Spannungsrichtungen im Feld Rühlermoor im Subsalinar

Hebelermeer-Ost Z1

Für die Bohrung Hebelermeer Ost Z 1 liegen aus dem Bereich des Oberkarbons nur orientierte Daten für die Teufenbereiche von 4200,45 bis 4313,00 m (Datensatz Hebelermeer O-Z1_hdt_2) und von 4332,15 bis 4499,34 m (Datensatz Hebelermeer O-Z1_hdt_1) vor. Orientierte Kaliberdaten aus dem Deckgebirge sind nicht vorhanden.

Auswertung Hebelermeer O-Z1_hdt_1 (4332,15 m bis 4499,34 m)

In Abb. 29 ist eine Übersicht für den Messbereich von 4332,15 bis 4499,34 m dargestellt. Meist ist die Kaliberdifferenz zu gering, um konventionell als Breakout zu gelten. Die Daten zeigen auch einige merkwürdige Auffälligkeiten. Trotzdem konnte eine Kaliberauswertung durchgeführt werden, allerdings wurde die minimale Kaliberdifferenz heruntergesetzt.

Insgesamt ergaben sich für diese Messung eine mittlere Breakout Orientierung von N59 ° bzw. N56 ° und damit eine Hauptspannungsrichtung von N146°-149°E. Die Gesamtbreakoutlänge der 10 gemessenen Ausbrüche beträgt 36 m. Die Daten sind tabellarisch in Tabelle 3 und in Abbildung 30 als Richtungsrose dargestellt.

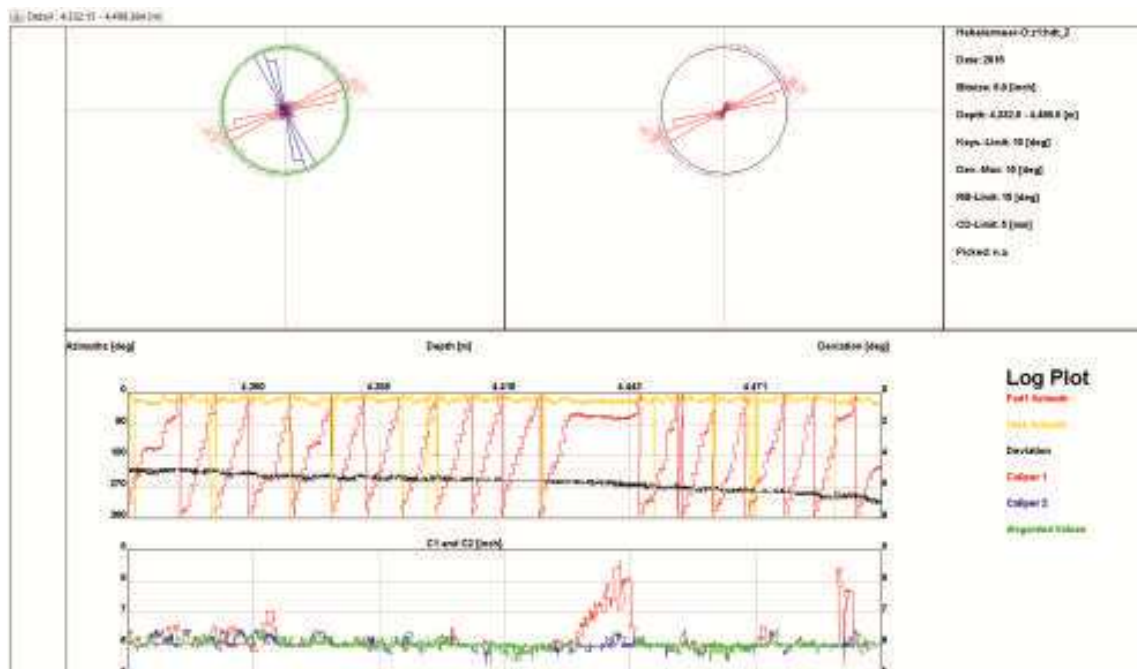


Abbildung 29: Überblick über die Auswertung Hebelermeer O-Z1_hdt_1.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Breakoutdaten für den Datensatz Hebelermeer O-Z1_hdt_1 (4332,15 bis 4499,34 m).

Orientierung	Teufe (min) m	Teufe (max) m	Länge (m)	Öffnungsweite (°)
64	4361,951	4365,131	3,180	35
53	4373,214	4375,930	2,716	17
33	4393,288	4394,944	1,656	35
49	4403,092	4405,279	2,186	43
26	4426,259	4428,445	2,186	28
69	4429,611	4444,402	14,792	26
68	4454,166	4455,477	1,312	22
64	4471,435	4473,256	1,822	31
63	4473,912	4475,661	1,749	33
70	4488,995	4493,804	4,809	46
			Kumulativ 36,408	

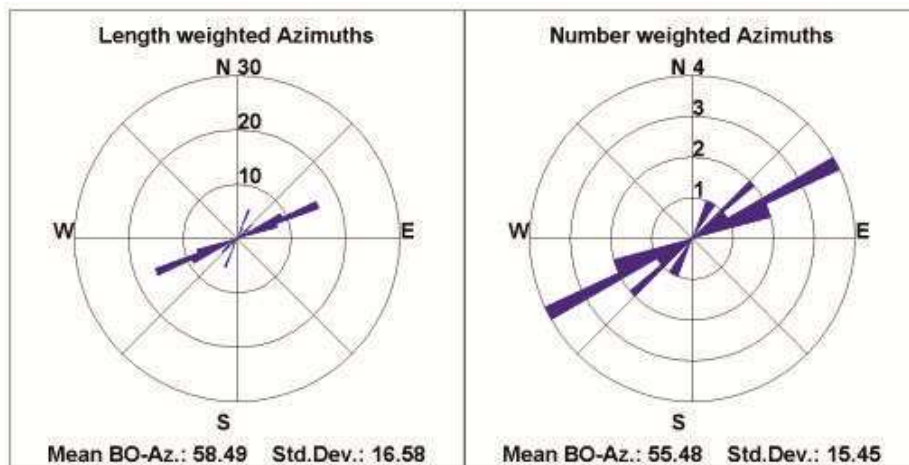


Abbildung 30: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche im Subsalinar der Bohrung Hebelermeer Ost Z1 (Teufenbereich von 4332,15 bis 4499,34 m). Die Richtung der maximalen Horizontalspannung beträgt N146° bis N149°.

Auswertung Hebelermeer O-Z1_hdt_2 (4200,45 m bis 4313,00)

In Abb. 31 ist eine Übersicht für den Messbereich von 4200,45 bis 4313,00 m dargestellt.

Meist ist die Kaliberdifferenz zu gering, um konventionell als Breakout zu gelten.

Insgesamt ergaben sich für diese Messung eine mittlere Breakout-Orientierung von N55 °bzw. N63 ° und damit eine Hauptspannungsrichtung von N145-153°E. Die Gesamtbreakoutlänge der sieben Breakoutbereiche beträgt 40,35 m. Die Daten sind tabellarisch in Tabelle 4 und in Abbildung 32 als Richtungsrose dargestellt.

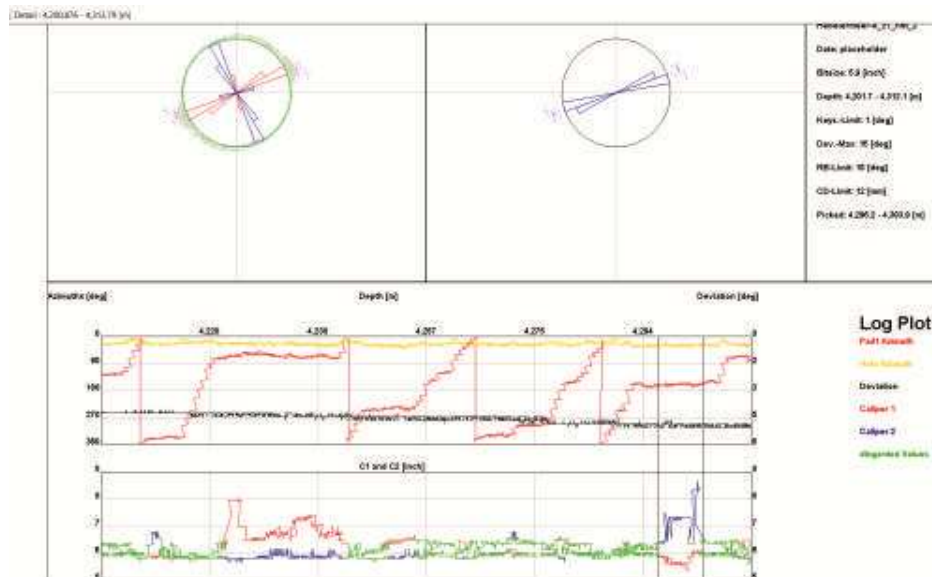


Abbildung 31: Überblick über die Auswertung Hebelmeer O-Z1_hdt_2 (4200,45 bis 4313,00 m).

Tabelle 4: Zusammenstellung der Breakoutdaten für den Datensatz Hebelmeer O-Z1_hdt_2 (4200,45 m bis 4313,00 m).

Orientierung	Teufe (min) m	Teufe (max) m	Länge (m)	Öffnungsweite (°)
69	4209,529	4212,308	2,779	23
64	4222,276	4242,499	20,223	32
56	4249,879	4255,821	5,942	15
45	4262,434	4263,776	1,342	8
49	4271,443	4272,306	0,863	28
349	4279,206	4280,644	1,438	20
70	4296,17	4303,933	7,763	19

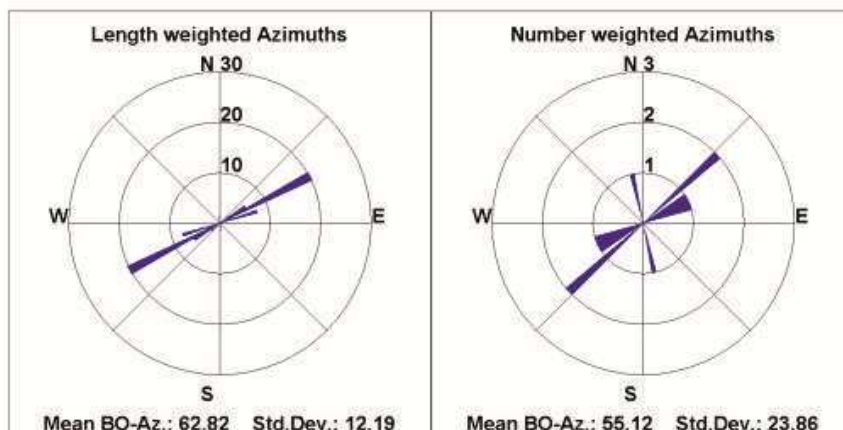


Abbildung 32: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche im Subsalinar der Bohrung Hebelmeer Ost Z1 (Teufenbereich von 4200,45 bis 4313,00 m). Die Richtung der maximalen Horizontalspannung beträgt N145° bis N153°.

In der Bohrung Hebelmeer Ost Z1 wurden unterhalb von 4200 m insgesamt 17 Bereiche mit Bohrlochrandausbrüchen gemessen. Dies besitzen kumulativ eine Länge von 76,76 m mit einer mittleren Orientierung von N 63°E und damit einer Hauptspannungsrichtung von N153°E (Abb. 33 links).

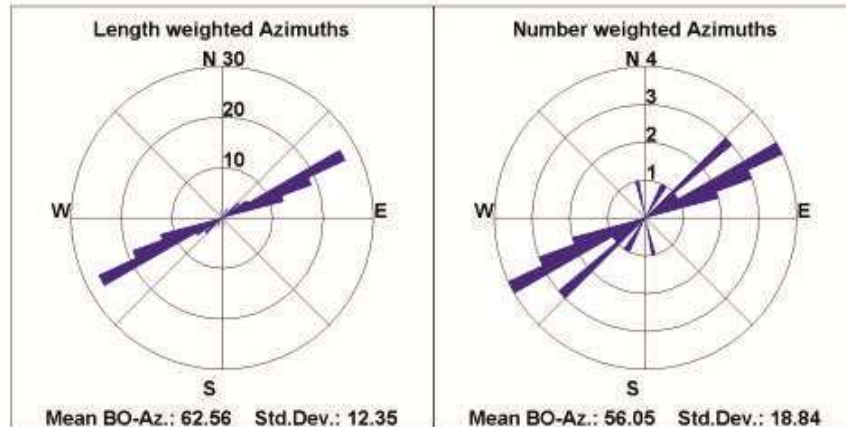


Abbildung 33: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche im Subsalinar der Bohrung Hebelmeer Ost Z1 (Teufenbereich von 4200 bis 4450 m). Die Richtung der maximalen Horizontalspannung beträgt N153°.

In der Ausgabe der Deutschen Spannungskarte (Abb. 34) ist die Richtung der maximalen Horizontalspannung im Subsalinar der Bohrung Hebelmeer Ost Z1 als dunkelgrüner Doppelpfeil dargestellt. Die Richtung der maximalen Horizontalspannung stimmt mit dem regionalen Spannungsfeld (im subsalinaren Untergrund) gut überein.

Rühlermoor Z1

Für die Bohrung Rühlermoor Z 1 liegen aus dem Bereich des Oberkarbons nur orientierte Daten für Teufen von 3152 bis 3364 m vor. Orientierte Kaliberdaten aus dem Deckgebirge sind auch hier nicht vorhanden.

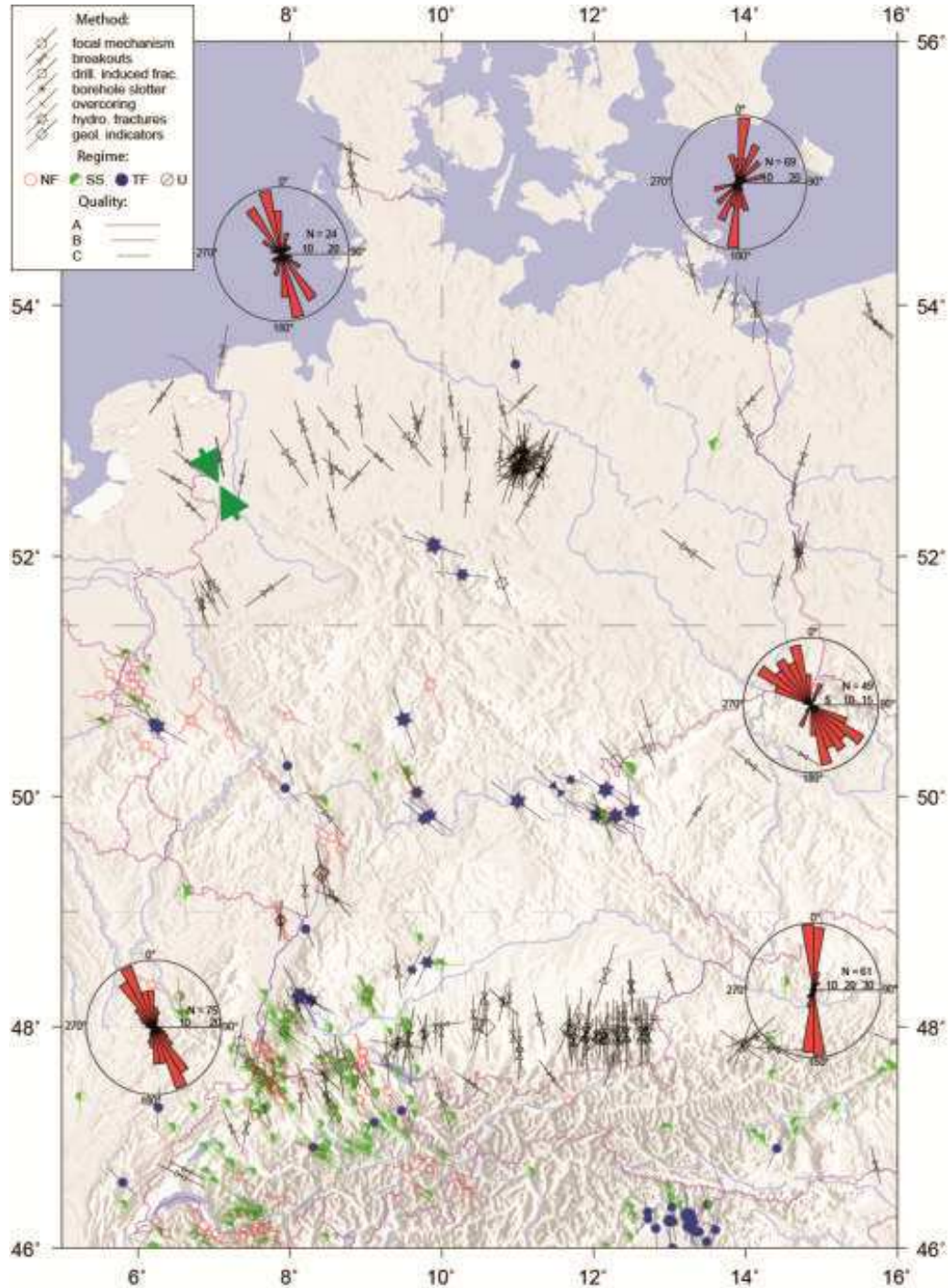


Abbildung 34: Spannungskarte Deutschland und angrenzende Gebiete (Reiter et al., 2015). Dargestellt sind Datensätze mit A-C Qualität der World Stress Map Datenbank 2016. Linien zeigen die Orientierung der größten horizontalen Spannung S_{Hmax} . Die Länge der Linien entspricht der Qualität des Datensatzes. Die Farben entsprechen dem tektonischen Regime (rot = Abschiebung (NF), grün = Blattverschiebung (SS), blau = Aufschiebung (TF), schwarz = unbekannt (U)). Symbole entsprechen den verschiedenen Spannungsindikatoren (aus Reiter et al. 2015).

5.3 Diskussion der ermittelten Spannungsrichtungen

Die Bestimmung der Spannungsrichtungen im Deckgebirge hat sich als schwierig herausgestellt. Unter Berücksichtigung aller Tatsachen kann aber davon ausgegangen werden, dass die Richtung der maximalen Horizontalspannung im Deckgebirge des Ölfeldes Rühlermoor in etwa O-W gerichtet ist. Dies ist widerspruchsfrei mit den wenigen Literaturdaten des Deckgebirges des Norddeutschen Beckens. Die Ursache für das Fehlen einer dominanten Spannungsrichtung ist neben den geringen Teufen in erster Linie in einer geringen Anisotropie der Horizontalspannungsbeträge zu suchen.

Die Spannungsrichtungen unterhalb des Zechsteinsalzes sind NW-SO gerichtet und entsprechen damit klar dem regionalen Trend von Nordwestdeutschland und den benachbarten Bereichen der Niederlande.

Die Befunde der unterschiedlichen Spannungsrichtungen im Suprasalinar und im Subsalinar im Bereich Rühlermoor sprechen für eine Abkopplung des fernfeldwirksamen Spannungsfeldes im Untergrund vom Spannungsfeld des postsalinen Deckgebirges. In Abb. 35 ist der strukturelle Bau im Bereich der Lagerstätte dargestellt (Kockel 2002). Es ist zu sehen, dass im Bereich der Emlichheim-Rühle Scholle das Zechsteinsalinar das tiefere Stockwerk von den mesozoischen und känozoischen Schichten trennt.

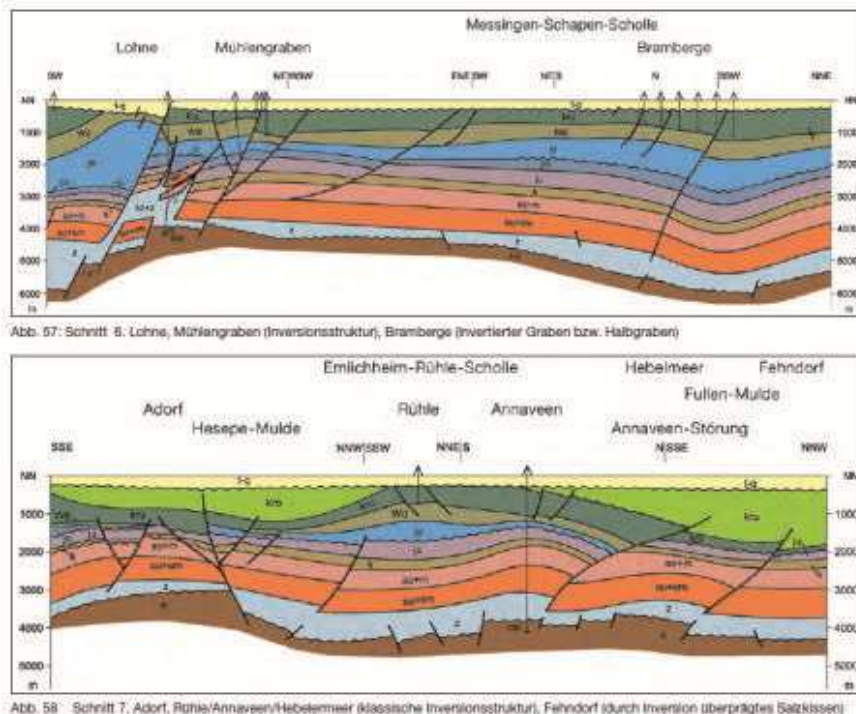


Abbildung 35: SSO-NNW Schnitt im Bereich der Emlichheim-Rühle Scholle (Kockel in Franke et al. 2002).



Die Spannungsrichtungen im Deckgebirge dürften in erster Linie von Salinarstrukturen und strukturellen Effekten beeinflusst werden.

Am widerspruchsfähigsten lassen sich die gemachten Beobachtungen erklären, wenn man zum einen von niedrigen Horizontalspannungsdifferenzen (insbesondere in flachen Teufen) ausgeht und wenn man zum anderen annimmt, dass in den Störungssystemen anisotrope Festigkeiten vorliegen.

6 Spannungsbeträge

Prinzipiell ist es wünschenswert alle Beträge der Hauptspannungen zu bestimmen. Hierfür stehen verschiedene Messmethoden zur Verfügung. In Tiefbohrungen sind diese Methoden in der Regel kaum noch einsetzbar. In größeren Tiefen können nur die Beträge der Vertikalspannung und der minimalen Horizontalspannung relativ zuverlässig bestimmt werden.

6.1 Vertikalspannung

Die Vertikalspannung wird aus dem Gewicht des überlagernden Gebirges berechnet. Die mittlere Dichte der Gesteine im Bereich der Bohrung Rühlermoor 801 kann aus Bohrlochmessungen bestimmt werden. Für die direkt benachbarte Bohrung Rühlermoor 409 ist ein Schichtenverzeichnis vorhanden. Diesem Schichtenverzeichnis sind die Mächtigkeiten entnommen. Die mittlere Dichte im Quartär liegt bei $2,046 \text{ g/cm}^3$, das Miozän ist mit $2,051 \text{ g/cm}^3$ angegeben und das Untereozän liegt bei $2,021 \text{ g/cm}^3$. In der Schichtenfolge der Kreide liegen die Dichten zwischen dem Hauterive und den Platlenticeras-Schichten zwischen $2,195$ und $2,377 \text{ g/cm}^3$. Die Mächtigkeiten und die Dichten der Schichten sowie die berechneten Vertikalspannungen können den Tabellen 5 bis 7 entnommen werden.

In der vertikalen Tiefe von $617,0 \text{ m}$ beträgt die Vertikalspannung $13,125 \text{ MPa}$, was einem mittleren Vertikalspannungsgradient von $21,27 \text{ MPa/km}$ entspricht.

In der vertikalen Tiefe von $603,4 \text{ m}$ beträgt die Vertikalspannung $12,926 \text{ MPa}$. Dies entspricht einem mittleren Vertikalspannungsgradient von $21,42 \text{ MPa/km}$. In der Oberkreide liegt der Vertikalspannungsgradient bei etwa $22,5 \text{ MPa/km}$.

Von der EMPG wurde der Überlagerungsdruck für verschieden Bohrungen im Bereich Rühlermoor/Apeldorn mitgeteilt.



Tabelle 5: Vertikalspannungen berechnet aus Schichtmächtigkeiten und Dichtedaten der Bohrung Rühlermoor 801.

Bohr-teufe (m)	TVD [m]	Mächtigkeit [m]	Dichte [g/cm ³]	Mittlere Dichte [g/cm ³]	Vertikal-spannung [MPa]	Vertikal-spannung an Basis [MPa]	Strati-graphie
43,0	[43,0]	43,0	2,046	2,046	0,863	0,863	Quartär
255	[255,0]	212,0	2,021-2,051	2,036	4,234	5,097	Tertiär
470	[464,3]	215,0	2,253	2,253	4,752	9,849	Hauterive
550,0	[537,8]	73,5	2,307-2,362	2,341	1,688	11,537	Ober-valangin
569,5	[566,3]	19,5	2,369	2,369	0,453	11,990	Flasersandstein
604,0	[587,4]	21,1	2,150	2,150	0,445	12,435	Bentheim Sandstein
636,0	[617,0]	29,6	2,377	2,377	0,690	13,125	Platylenticeras-Schichten

Tabelle 6: Vertikalspannungen aus Schichtmächtigkeiten und Dichtedaten der Bohrung Rühlermoor H25.

Bohr-teufe (m)	TVD [m]	Mächtigkeit [m]	Dichte [g/cm ³]	Mittlere Dichte [g/cm ³]	Vertikal-spannung [MPa]	Vertikal-spannung an Basis [MPa]	Stratigraphie (Basis)
49	[49,0]	49,0	-	2,046*	0,983	0,983	Quartär
260,0	[260]	211,0	-	2,036*	4,214	5,917	Tertiär
453,0	[450,4]	190,4	2,290	2,290	4,268	9,465	Hauterive
530,0	[522,7]	72,3	2,306-2,363	2,339	1,659	11,124	Obervalangin
550,2	[542,1]	19,4	2,310	2,310	0,440	11,564	Flasersandstein
567,3	[558,3]	16,2	2,175	2,175	0,346	11,910	Bentheim Sandstein OB
570,2	[561,0]	2,7	2,344	2,344	0,062	11,972	Bentheim Sandstein TM
584,3	[574,4]	13,4	2,167	2,167	0,285	12,257	Bentheim Sandstein UB
614,7	[603,44]	29,0	2,346	2,346	0,667	12,924	Platylenticeras-Schichten

* mittl. Dichte RLMR 801



Tabelle 7: Zusammenstellung der Vertikalspannungen und Vertikalspannungsgradienten für einige Bohrungen aus dem Bereich Rührlermoor.

Teufe [m]	[bar]	SV [bar]	Lokation/Bohrung	Porendruckgradient [bar/m]	Vertikalspannungsgradient [bar/m]
0	0	0			
531	55.7	114.9	RLMR 680	0.1049	0.2164
900	94.4	197.1	RLMR 152	0.1049	0.2190
904	94.8	198.1	RLMR H9	0.1049	0.2190
1100	115.4	241.8	Hebelermeere	0.1049	0.2198
190	19.8	39.7	Strukturhoch Apeldorn	0.1043	0.2089
513	53.8	110.6	RLMR 680	0.1048	0.2156
885	92.8	193.6	RLMR 152	0.1050	0.2188
882	92.5	192.9	RLMR H9	0.1049	0.2187
1080	113.3	237	Hebelermeere	0.1049	0.2194
534	56	117.9	APLD H1	0.1049	0.2208
175	18.3	36.6	Strukturhoch Apeldorn	0.1046	0.2091
532	55.8	115.9	RLMR 680	0.1049	0.2179
901	94.5	197.3	RLMR 152	0.1049	0.2190
905	94.9	198.3	RLMR H9	0.1049	0.2191
1101	115.5	242	Hebelermeere	0.1049	0.2198
535	56.1	118.1	APLD H1	0.1049	0.2207
191	20	40	Strukturhoch Apeldorn	0.1047	0.2094

Die Vertikalspannungsgradienten liegen demnach zwischen 0,209 bar/m im strukturhohen Teil von Apeldorn und etwa 0,221 bar/m im strukturtiefen Teil im geplanten Injektionscluster nördlich des Rührlermoor - Betriebsplatzes. In einer Tiefe von 1100 m beträgt die Vertikalspannung hier 241,8 bar. Für eine Bezugsteufe von 1000 m kann mit einem Vertikalspannungsgradienten von etwa 22,0 MPa/km gerechnet werden. Die Werte mit den größten Teufen kommen von den Bohrungen RLMR 152, RLMR H9 und Hebelermeer. In 900 m liegt der Vertikalspannungsgradient bei 21,9 MPa/km (0,219 bar/m) und in 1100 m bei 21,98 MPa/km (0,2198 bar/m). Für die Bezugsteufe von 1000 m wird mit dem Mittelwert der Vertikalspannung von 21,94 MPa gerechnet.



6.2 Bestimmung der Spannungsbeträge der minimalen Horizontalspannung

Zur Bestimmung bzw. Abschätzung des Betrages der minimalen horizontalen Hauptspannung gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. Da im Bereich Rühlermoor keine Versuche durchgeführt wurden, bei denen der Betrag der minimalen Horizontalspannung bestimmt wurde, soll der Betrag der minimalen Horizontalspannung zusätzlich aus den vorhandenen Bohrunterlagen abgeschätzt werden.

6.2.1 Berechnung der minimalen Horizontalspannung aus elastischen Parametern

Verschiedentlich wird der Betrag der minimalen Horizontalspannung aus elastischen Parametern aus der Elastizitätstheorie abgeleitet. Bei dieser Lösung wird davon ausgegangen, dass die Horizontalspannung aus der Überlagerung der Gesteinssäule über die Querdehnung resultiert. Von Leshchyshyn et al. (2004) wurde diese Lösung auf effektive Spannungen erweitert. Bei einem Biotfaktor von 1,0 und unter den Annahmen, dass keine tektonischen Spannungen auftreten und dass die vertikalen und horizontalen elastischen Konstanten gleich groß sind, reduziert sich die in Leshchyshyn et al. (2004) angegebene Gleichung auf folgende Formel:

$$P_{\text{Riss}} = \nu / (1 - \nu) (P_{\text{Litho}} - P_{\text{Hydro}}) + P_{\text{Hydro}}$$

Dabei bedeuten:

$$P_{\text{Riss}} = \text{Rissschließungsdruck}$$

$$P_{\text{Hydro}} = \text{Hydrostatischer Druck (Porendruck)}$$

$$P_{\text{Litho}} = \text{Überlagerungsdruck (Vertikalspannung)}$$

$$\nu = \text{Poissonzahl}$$

Der Porendruck für eine Referenztiefe von 1000 m liegt bei 10,49 MPa. Für eine Referenztiefe von 1000 m ergibt sich ein lithostatischer Druck von etwa 22,0 MPa. Für den Bentheimer Sandstein wurde von EMPG (siehe Rahmenbetriebsplan, Berechnungsmethodik minimale Hauptspannung) eine Querdehnungszahl von 0,25 benutzt, für das tonige Tertiär Querdehnungszahlen zwischen 0,35 und 0,43.

Für den Bentheimer Sandstein ergibt sich bei einer Poissonzahl von $\nu = 0,25$ (Literaturwert) ein Rissschließungsdruck (S_{hmin}) von 14,33 MPa (in 1000 m Teufe).

Für eine Querdehnungszahl von 0,35 bzw. 0,43 berechnet sich für das tonige Tertiär ein Rissschließungsdruck (S_{hmin}) von 16,69 MPa bzw. 19,17 MPa. Rechnet man mit Biotfaktoren unter 1,0, dann ergeben sich rechnerisch niedrigere Spannungen.



In den beiden Bohrungen Rühlermoor 801 und Rühlermoor H25 wurden Dipole Sonic Imager Tools (DSI) gefahren. Bei diesen Messungen wurden die p- und s-Wellengeschwindigkeiten des Gebirges gemessen. Aus diesen Daten wurden die Poissonzahlen (Querdehnungszahlen) ermittelt. Hierzu liegen die Berichte von Schlumberger vor. Für die Bohrung Rühlermoor H25 liegen Messungen im Intervall von 534 bis 607 m für das 6^{1/8}“ Bohrloch vor. Für die Bohrung Rühlermoor 801 sind im 8^{1/2}“ Bohrloch Werte für das Intervall von 475 bis 625 m vorhanden.

Für die Bohrung Rühlermoor 801 sind in Abb. 36 die Poissonzahlen gegen die Teufe dargestellt. Zusätzlich ist in Abbildung 26 das Gamma-Ray verzeichnet. Die Sandsteine der beiden Sandsteinhorizonte im Teufenbereich von 569,5 m bis 604,0 m fallen durch ihre niedrigen Gamma-Werte auf. Im Teufenintervall von 575 bis 585 m sind keine Einschaltungen mit Tonsteinen im Sandsteinintervall zu erkennen. Die Poissonzahlen für die Sandsteine liegen hier zwischen 0,332 und 0,390 und im Mittel bei 0,360. Diese sind somit deutlich höher als die typischen Werte, die in der Literatur genannt werden.

Im Teufenbereich von 480 bis 510 liegen nach dem Gamma-Ray Tonsteine vor. Hier sind keine Sandsteineinschaltungen zu erkennen. Die Poissonzahlen für die Tonsteine liegen hier zwischen 0,378 und 0,459 und im Mittel bei 0,425.

Mit der Formel nach Leshchyshyn et al. (2004) wurden die minimale Horizontalspannungen (Riss-schließungsdruck) für die Bereiche ermittelt, in denen die Wellengeschwindigkeiten gemessen wurden.

Im Teufenintervall von 480 bis 510 m sind Tonsteine vorhanden. Hier berechnen sich die Gradienten der minimalen Horizontalspannung zwischen minimal 0.1749 bar/m und 0.2027 bar/m und im Mittel 0.1899 bar/m.

Im Teufenintervall von 575 bis 585 m sind keine Einschaltungen mit Tonsteinen im Sandsteinintervall zu erkennen. Die Gradienten der minimalen Horizontalspannung betragen 0,1621 bar/m bis 0.1785 bar/m und im Mittel 0.1697 bar/m.

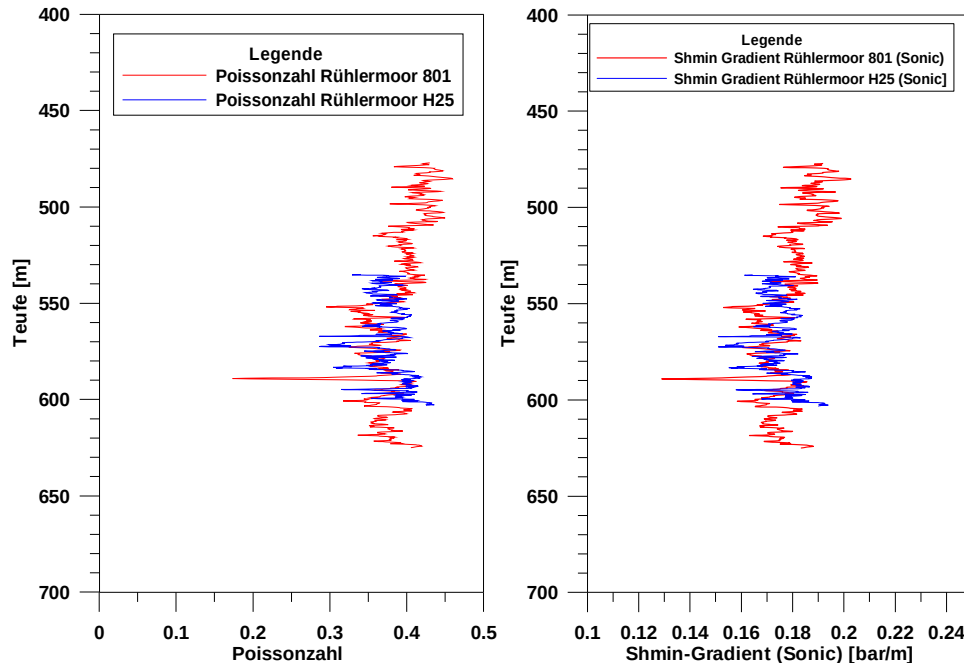


Abbildung 36: Poissonzahlen und S_{hmin} -Gradienten nach Sonic-Log in den Bohrungen Rührlermoor 801 und Rührlermoor H25.

6.2.2 Bestimmung der minimalen Horizontalspannung aus Bohrungsakten

Überschreitet in einer Bohrung der Flüssigkeitsdruck die minimale Tangentialspannung an der Bohrlochwand und den Betrag der kleinsten Gebirgsspannung (sowie die Zugfestigkeit des Gesteins), dann kommt es zu einem hydraulischen Bruch der Formation und die Flüssigkeit (z.B. Bohrspülung) geht verloren. Die Analyse von Spülungs- und Zementverlusten in Bohrungen kann deshalb zur Abschätzung des Betrags der kleinsten Hauptspannung verwendet werden, egal ob der Flüssigkeitsverlust gewollt (Leak-off-Test, Formation-Integrity-Test oder Frac-Versuch) oder ungewollt (Spülungs- und Zementationsverlust) stattfindet.

In einer primär stark durchlässigen Formation wie dem Bentheimer Sandstein kann dieser Ansatz nicht von vornherein angenommen werden, weil durch den Überdruck beim Bohren Spülung in die durchlässige Formation verloren geht.

Erst wenn die Formation soweit abgedichtet ist, dass die natürliche Durchlässigkeit weitgehend stark zurückgegangen ist, können die Verluste durch den Bruch der Formation ausgewertet werden.

In der Regel wird vor der Zementation der Verrohrung, durch Zugabe von Verstopfungsmitteln, die Formation tatsächlich ausreichend abgedichtet.

6.2.3 Bestimmung der minimalen Horizontalspannung aus „Brechdruck-Gradiententest“

In der Bohrung Apeldorn H1 wurde am 25.01.1983 eine sogenannter „Brechdruck-Gradiententest“ ausgeführt. Dieser ist in Abbildung 37 dargestellt. Diese Art des Tests ist im Großen und Ganzen vergleichbar mit einem Mini-Frac, der zur Bestimmung der Magnitude der minimalen Horizontalspannung verwendet wird. Bei dem ausgeführten Brechdruck-Gradiententest sind auf der X-Achse die Zeit und auf der y-Achse die Einpressdrücke am Kopf sowie die Einpressraten dargestellt. Demnach lagen die Einpressraten bei ca. 2400 l/min (40 l/s) und erreichten am Ende 3000 l/min (50 l/s). Der Bruch der Formation erfolgte bei einem Kopfdruck von 140 bar nach etwa 4 Minuten. Danach ist die Druckkurve sehr unruhig und nicht auswertbar. Zwischen 10 und 14 Minuten wurden etwa 2400 l/min verpresst. Hierbei fiel der Druck allmählich ab. Nach 13 Minuten deutet sich ein Knick in der Kurve bei etwa 126 bar an. Danach wurde das Einpressen unterbrochen und der Druck fiel von 100 bar auf etwa 26 bar ab. Dies deutet auf einen Rohreibungsverlust von etwa 94 bar hin. Zwischen 23 Minuten und 27 Minuten wurden wieder etwa 2400 l/min verpresst. Der Druck fiel von etwa 136 bar Kopfdruck auf etwa 124 bis 127 bar ab. Da der Druck bei einer konstanten Einpressrate abfiel, zeigt sich, dass hier die Bohrlochwand aufgebrochen war und sich ein Riss ausbreitet. Bei etwa 124 bis 127 bar Kopfdruck war bei einer Fließrate von etwa 2400 l/min ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Druck im Riss und der Injektionsrate vorhanden. Als die Pumpe abgestellt wurde, fiel der Druck schlagartig von 127 auf 30 bar. Der Reibungsverlust kann hier mit etwa 97 bar abgeschätzt werden. Nach etwa 29 Minuten wurde für wenige Minuten mit Raten zwischen 200 und 3000 l/min eingepresst. Am Ende der Injektion fiel der Druck von etwa 120 auf 90 bar. Der Druckverlust in den Rohren betrug am Ende des Versuches etwa 90 bar.

Aus den Druckdaten lassen sich die Gleichgewichtsbedingungen zwischen dem Flüssigkeitsdruck im Riss und der Bohrung wie folgt abschätzen: Bei einer konstanten Injektionsrate von etwa 2400 l/min stellte sich nach 13 Minuten ein Gleichgewicht zwischen dem hydraulischen Riss und der Bohrung bei etwa 126 bar ein. Hier verflacht die Kurve. Der Reibungsverlust im Gestänge kann auf 94 bar geschätzt werden. Der Kopfdruck im Riss beträgt etwa 32 bar. Die Perforationsteufe beim Test lag bei 539 m und das Wasser KCl-Gemisch hatte eine Dichte von $1,014 \text{ g/cm}^3$. Somit ergibt sich ein Druck der hydrostatischen Säule von 53,6 bar. Zusammen mit dem Kopfdruck von ca. 32 bar kann der Gleichgewichtsdruck im Riss auf etwa 85,6 bar geschätzt werden. Der

Gradient berechnet sich zu 15,88 bar/m.

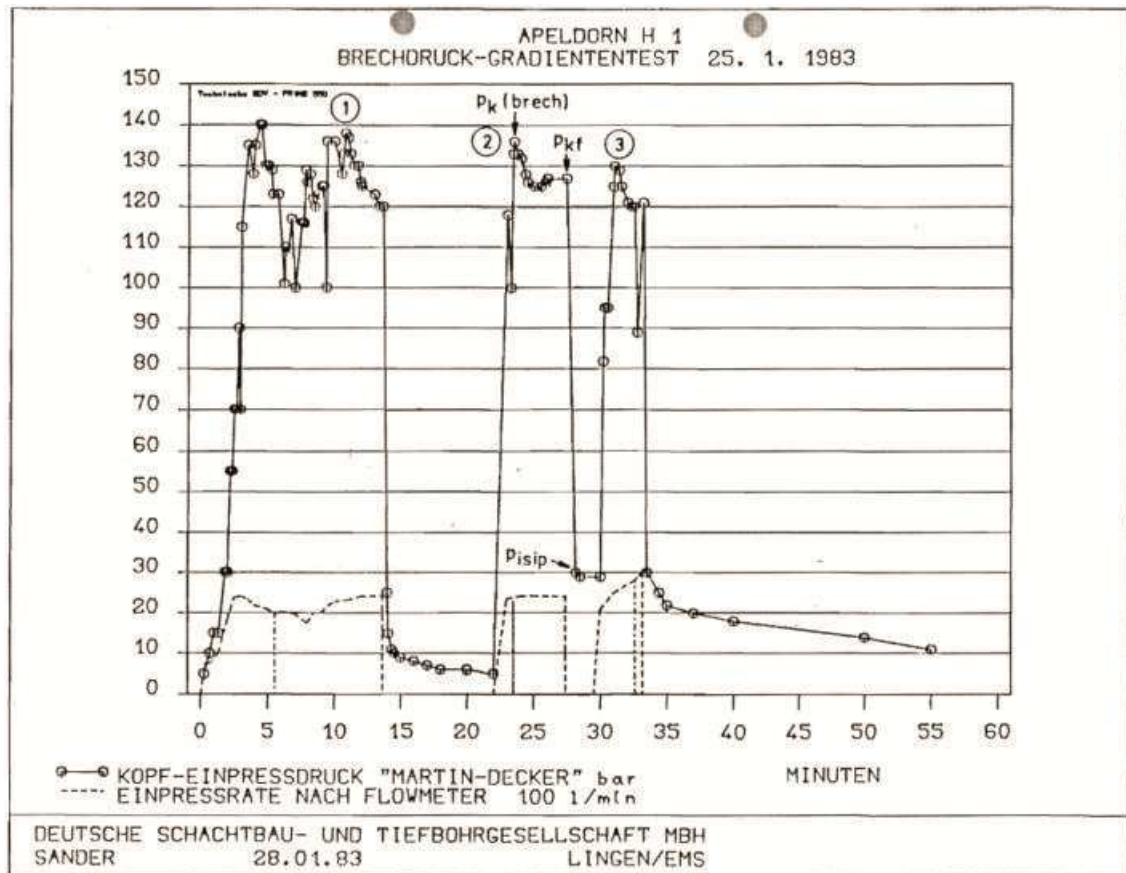


Abbildung 37: Druckgradiententest in der Bohrung Apeldorn H1.

Beim zweiten Einpressintervall stellt sich ein Gleichgewichtsdruck bei etwa 124 bis 127 bar ein. Der Reibungsverlust beträgt etwa 97 bar. Somit ergibt sich ein dynamischer Druck im Riss von etwa 28 bar. Zusammen mit einem hydrostatischen Druck von 53,6 bar ergibt sich ein Gleichgewichtsdruck von 81,6 bar. Der Gradient berechnet sich zu 0,1514 bar/m.

Der dritte Versuch ist nicht mehr ohne Weiteres auswertbar. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung bei 539 m in der Bohrung Apeldorn H1 kann auf mindestens 15 bis 16 MPa/km (0,15 bis 0,16 bar/m) geschätzt werden.

6.2.4 Abschätzung des Betrages der minimalen Horizontalspannung aus Zementationen

Aus den Bohrungsberichten lassen sich nur für einige Bohrungen die Abläufe der Zementationen nachvollziehen.

Bei einigen Bohrungen ist vermerkt, dass die Verrohrung zementiert wurde, zum Teil bis über Tage. Bei einigen Bohrungen sind die verwendete Zementrezeptur und das Zementgewicht beschrieben. Zum Teil ist nur die Planung der Zementmischung bekannt,



jedoch nicht, ob sie tatsächlich so ausgeführt wurden. Aus diesen Gründen ist die Abschätzung der minimalen Horizontalspannungsgradienten nicht immer eindeutig. Aus der gesamten Datenmenge zeichnet sich dennoch ein Bild ab, das hilft, die Spannungssituation zu interpretieren. Im Folgenden werden einige Bohrungen exemplarisch betrachtet.

Rühlermoor 402

Im Schichtenverzeichnis vom 13.11.2003 ist vermerkt, dass die 7“-Verrohrung bis zu einer Tiefe von 443,0 m eingebaut, mit 21 m³ Leadzement (Zementdichte von 1,65 kg/l) und mit 4 m³ Tailzement (Zementdichte von 2,02 kg/l) zementiert wurde.

Unbekannt ist wieviel Zement über Tage austrat. Aus diesem Grund wird einfach davon ausgegangen, dass etwa 84% des Bohrloches mit Leadzement und 16% des Bohrloches mit Tailzement zementiert wurden.

Am Rohrschuh bei 443,0 m wirkte am Ende der Zementation ein Druck von etwa 7,42 MPa auf die Bohrlochwand. Dies entspricht einem Gradienten von knapp 16,5 MPa/km. Dies ist die Untergrenze der minimalen Horizontalspannung im offenen Intervall zwischen dem 16“ Rohrschuh des Standrohres bei 36,16 und 443 m. Bis 285 m wurden Tertiär und Quartär zementiert, zwischen 285 und 472 m Oberes Hautrive.

Rühlermoor 404

Im Schichtenverzeichnis vom 07.11.2005 ist vermerkt, dass der Einbau der 16“-Verrohrung bis zu einer Tiefe von 37,5 m erfolgte. Der 7“-Casing wurde bis 451 m eingebaut. Der Leadzement (Thermal 5) hatte eine Dichte von 1,65 kg/l und der Tailzement von 2,03 kg/l. Beim Zementieren gingen 5 m³ von insgesamt 29,5 m³ Zement verloren. Nachträglich wurde noch mit 450 kg Class PZ-Normal im Ringraum nachzementiert. Die Menge des Lead- und Tailzementes wurde nicht separat aufgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass das Mengenverhältnis von Lead- und Tailzement ähnlich wie bei der Bohrung Rühlermoor 402 war.

Für eine Teufe von 451 m am Rohrschuh ergibt sich ein Druck der Zementsäule von 7,65 MPa. Der Gradient, der sich aus dem Zementverlust ergibt, kann auf 16,96 MPa/km abgeschätzt werden.

Rühlermoor 674A

Die 10^{3/4}“-Verrohrung wurde bis zu einer Tiefe von 298,3 m eingebaut und mit einer Dichte von 1,75 kg/l zementiert. Der Zement kam zu Tage. Für eine Teufe von 298,1 m am Rohrschuh ergibt sich ein Druck der Zementsäule von 5,12 MPa. Der Gradient



beträgt mindestens 17,2 MPa/km. Die 7“-Verrohrung wurde bei 547,5 m eingebaut und mit einem Leadzement (Dichte von 1,75 kg/l) und einem Tailzement (Dichte von 2,03 kg/l) zementiert. Das Verhältnis der Menge von Lead- und Tailzement ist nicht bekannt. Es wird von gleichen Verhältnissen wie bei den H-Bohrungen (Rühlermoor) ausgegangen. Dort liegt das Verhältnis von Lead- zu Tailzement bei 4/1. Der gesamte Druck am 7“ Rohrschuh in 547,5 m lag bei 9,70 MPa, der Druckgradient bei mindestens 17,72 MPa/km.

Rühlermoor H19

Die 10^{3/4}“-Verrohrung wurde bis zu einer Tiefe von 311,9 m eingebaut und mit einer Dichte von 1,77 kg/l zementiert. Der Zement kam zu Tage. Für eine Teufe von 311,9 m am Rohrschuh ergibt sich ein Druck der Zementsäule von 5,42 MPa, der Gradient beträgt mindestens 17,3 MPa/km. Die 7“-Verrohrung wurde bei 557,1 m eingebaut und mit einem Leadzement mit einer Dichte von 1,65 kg/l und einem Tailzement mit einer Dichte von 2,03 kg/l zementiert. Bei den H-Bohrungen (Rühlermoor) wurden in der Regel 20 m³ Lead- und 5 m³ Tailzement verwendet. Das Verhältnis von Lead- zu Tailzement liegt bei 4/1. Der gesamte Druck am 7“ Rohrschuh bei 557,1 m lag bei 9,42 MPa und der Druckgradient bei mindestens 16,92 MPa/km.

Rühlermoor H20

Die 10^{3/4}“-Verrohrung wurde bis zu einer Tiefe von 317,0 m eingebaut und mit einer Dichte von 1,77 kg/l zementiert. Der Zement kam zu Tage. Für eine Teufe von 317,0 m am Rohrschuh ergibt sich ein Druck der Zementsäule von 5,50 MPa, der Gradient beträgt mindestens 17,3 MPa/km.

Die 7“-Verrohrung wurde bei 603,0 m eingebaut und mit einem Leadzement (Dichte von 1,61 kg/l) und einem Tailzement (Dichte von 2,03 kg/l) zementiert.

Bei den H-Bohrungen (Rühlermoor) wurden in der Regel 20 m³ Lead- und 5 m³ Tailzement verwendet. Das Verhältnis von Lead- und Tailzement liegt bei 4/1. Der gesamte Druck am 7“ Rohrschuh in 603,0 m lag bei 10,0 MPa, der Druckgradient bei mindestens 16,58 MPa/km.

Rühlermoor H21

Die 10^{3/4}“-Verrohrung wurde bis zu einer Tiefe von 323,3 m eingebaut und mit einer Dichte von 1,77 kg/l zementiert. Der Zement kam hier zu Tage. Für eine Teufe von 323,3 m am Rohrschuh ergibt sich ein Druck der Zementsäule von 5,61 MPa, der Gradient



beträgt mindestens 17,3 MPa/km.

Die 7“-Verrohrung wurde bei 633,5 m eingebaut und mit einem Leadzement (Dichte von 1,63 kg/l) und einem Tailzement (Dichte von 2,03 kg/l) zementiert.

Die Bohrung Rühlermoor H21 wurde mit 20 m³ Lead- und 5 m³ Tailzement zementiert. Das Verhältnis von Lead- zu Tailzement liegt hier somit bei 4/1. Der gesamte Druck am 7“ Rohrschuh in 633,5 m lag bei 10,62 MPa, der Druckgradient bei mindestens 16,76 MPa/km.

Rühlermoor Z1

Die 24^{1/2}“-Verrohrung wurde bis zu einer Tiefe von 306,3 m eingebaut und mit einer Dichte von 1,61 kg/l bzw. 1,86 zementiert. Der Zement kam zu Tage. Für eine Teufe von 306,3 m am Rohrschuh kann der Druck der Zementsäule (unter der Annahme, dass das Verhältnis von Lead- zu Tailzement ebenfalls bei etwa 4/1 liegt) mit 4,98 MPa und ein Gradient von mindestens 16,2 MPa/km abgeschätzt werden.

Die 18^{5/8}“-Verrohrung wurde bei 908,7 m eingebaut und mit einem Leadzement (Dichte von 1,60 kg/l) und einem Tailzement (Dichte von 1,92 kg/l) zementiert.

Das Verhältnis der Menge vom Lead- zu Tailzement ist nicht bekannt. Es wird von gleichen Verhältnissen wie bei den H-Bohrungen (Rühlermoor) ausgegangen. Dort liegt das Verhältnis von Lead- zu Tailzement bei 4/1. Es wird von einer etwa 200 m hohen Zementsäule mit Tailzement und 709,7 m Leadzement ausgegangen

Der gesamte Druck am 18^{5/8}“- Rohrschuh in 909,7 m Tiefe lag bei 15,01 MPa, der Druckgradient bei mindestens 16,50 MPa/km.

Emlichheim 519

Im Schichtenverzeichnis vom 31.12.2004 ist vermerkt, dass die 9^{5/8}“-Verrohrung bis zu einer Tiefe von 817 m (ca. 780 m TVD) eingebaut wurde.

Die 38,0 m³ Leadzement hatten eine Dichte von 1,61 kg/l und die 7,0 m³ Tailzement hatten eine Dichte von 1,91 kg/l.

Aus der Geometrie der Bohrung und den Zementmengen sowie Zementgewichten für die Rohrschuhteufe, kann der Druck der Zementsäule am Rohrschuh (780 TVD) mit 12,82 MPa und ein Gradient von 16,43 MPa/km berechnet werden.

Es ist anzunehmen, dass der Gradient der minimalen Horizontalspannung in der Bohrung Emlichheim 519 zwischen der Oberfläche und 780 m (TVD) bei über 16,43 MPa liegt.



Adorf 54a

Im Schichtenverzeichnis vom 24.10.2002 ist vermerkt, dass die 7“-Produktionsrohrtour von 0,00 m bis 1460 m (ca. 1414 TVD) eingebaut wurde.

Die 30 t Leadzement hatten eine Dichte von 1,61 kg/l und die 10,0 t Tailzement eine Dichte von 1,92 kg/l. Der Zement kam zu Tage. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung liegt bei über 16,99 MPa/km. Für die Vertikalteufe von 1414 m berechnet sich ein Druck der Zementsäule auf die Bohrlochwand von 24,02 MPa.

Annaveen T2

Die 13^{3/8}“-Verrohrung wurde bis zu einer Tiefe von 388,3 m eingebaut und mit einer Dichte von 1,75 kg/l zementiert. Der Zement kam zu Tage. Für eine Teufe von 388,3 m am Rohrschuh betrug der Druck der Zementsäule 6,66 MPa. Der Gradient beträgt mindestens 17,1 MPa/km. Die 9^{5/8}“-Verrohrung wurde bei 1643 m eingebaut und mit einer Zementdichte von 1,80 kg/l zementiert. Der Zement kam zu Tage. Für eine Teufe von 1643 m am Rohrschuh betrug der Druck der Zementsäule 29,01 MPa. Der Gradient berechnet sich zu mindestens 17,65 MPa/km.

Emlichheim 208

In der Bohrung Emlichheim 208 wurde die 9^{5/8}“-Rohrtour bis 360,7 m eingebaut und mit 41 t Zement mit einer Dichte von 1,77 kg/l bis zu Tage zementiert. Der Gradient lag somit bei über 17,3 MPa/km. Der Druck am Rohrschuh in 360,7 m Tiefe betrug mindestens 6,26 MPa. Die 7“-Verrohrung wurde bei 1089,5 m (1010 m TVD) eingebaut und mit 33 t Lead und 6 t Tailzement bis zu Tage zementiert. Die Zementdichte lag bei 1,75 kg/l bzw. 2,03 kg/l. Der Druck am Rohrschuh (1010 m TVD) lag bei mindestens 17,78 MPa, der Druckgradient auf die Bohrlochwand lag bei über 17,6 MPa/km.

Haren Z2

In der Bohrung Haren Z2 wurde die 13^{3/8}“-Rohrtour bis 1007,4 m eingebaut und mit 107,37 t Zementbrühe mit einer Dichte von 1,70 kg/l bis zu Tage zementiert. Der Druckgradient lag bei mindestens 16,67 MPa/km. Am Rohrschuh betrug der Druck der Zementsäule auf die Bohrlochwand 16,80 MPa.



Meppen 22

In der Bohrung Meppen 22 wurde die 13^{3/8}“-Rohrtour bis 380 m eingebaut und mit 44 m³ Zementbrühe (PZ 55) mit einer Dichte von 1,58 kg/l bis zu Tage zementiert. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung liegt im Tertiär bei $\geq 15,5$ MPa/km. Am Rohrschuh betrug der Druck der Zementsäule auf die Bohrlochwand 5,89 MPa.

Die 7“-Verrohrung wurde bei 1397 m [ca. 1165 m TVD] eingebaut und mit 75m³ Zementbrühe mit einer Dichte von 1,60 kg/l zementiert. Der Zementkopf wurde bei 265 m festgestellt. Es ist jedoch nicht beschrieben, ob Zementverluste stattfanden. Falls Zementverluste auftraten und keine Spülung über dem Zementkopf stand, wirkte am Rohrschuh der Druck einer Zementsäule von 900 m bzw. ein Zementdruck von 14,13 MPa auf die Bohrlochwand. Dies entspricht einem Gradienten von 12,13 MPa/km. Stand noch Spülung (angenommen Gamma = 1,1) über dem Zement, dann lag der Gradient der minimalen Horizontalspannung bei mindestens 14,58 MPa/km.

Varloh 5

In der Bohrung Varloh 5 wurde die 13^{3/8}“-Rohrtour bis 300,37 m eingebaut und mit 44,5 t Zement mit einer Dichte von 1,78 kg/l bis zu Tage zementiert. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung lag somit bei über 17,4 MPa/km und der Druck am Rohrschuh bei 300,37 m lag bei mindestens 5,24 MPa.

Die 9^{5/8}“-Verrohrung wurde bei 974,22 m eingebaut und mit 54 t Pozmix A Zement (Zementdichte lag bei 1,65 kg/l) bis zu Tage zementiert. Der Druck am Rohrschuh lag bei mindestens 15,77 MPa, der Druckgradient auf die Bohrlochwand lag bei über 15,7 MPa/km.

Varloh 6

In der Bohrung Varloh 6 wurde die 9^{5/8}“-Rohrtour bis 417,47 m eingebaut und mit 32 t PZ 35F und 48 t Class G Zement mit einer Dichte von 1,78 kg/l bis zu Tage zementiert. Der Gradient lag somit bei über 17,4 MPa/km, der Druck am Rohrschuh bei 417,47 m bei mindestens 5,24 MPa.

Die 7“-Verrohrung wurde bei 1355,0 m eingebaut und mit 25 t PZ 80 und 4t Class G Zement bis zu Tage zementiert. Die Zementdichte lag bei 1,50 kg/l. Der Druck am Rohrschuh lag bei mindestens 15,93 MPa, der Druckgradient auf die Bohrlochwand bei über 14,7 MPa/km.



Westerloh 1

In der Bohrung Westerloh 1 wurde die 9^{5/8}“ Rohrtour bis 250,66 m eingebaut und mit 28 m³ Pozmix A Zement mit einer Dichte von 1,70 kg/l bis zu Tage zementiert. Der Gradient der lag somit bei über 16,67 MPa/km, der Druck am Rohrschuh bei 417,47 m bei mindestens 6,96 MPa.

Die Daten zur Abschätzung der minimalen Horizontalspannung sind in Tab. 8 aufgelistet und in Abb. 39 zusammen mit den hydraulischen und dynamischen Werten dargestellt. In den Bohrprotokollen ist eine Anzahl von Störungen vermerkt. In diesen ist die Zugfestigkeit sehr gering. Aus diesem Grunde kann angenommen werden, dass bei der Menge der Zementationen und der Länge die Zugfestigkeit vernachlässigt werden kann. In diesem Fall ist der Druck der Zementsäule die untere Grenze der minimalen Horizontalspannung.

Rühlermoor 414 nach Planungsunterlagen

In den Planungsannahmen der Bohrung Rühlermoor 414 der GdF ist der Frac-Gradient oberhalb der Lagerstätte mit 0,167 bar/m angegeben. Die Bohrung Rühlermoor 413 wurde etwa 250 m nordwestlich der Bohrung Rühlermoor 414 abgeteuft. Der Rohrschuh lag bei einer Teufe von 482,5 m und der Zement kam über Tage Am Rohrschuh am Ende der Zementation ergab sich ein statischer Druck von 8,14 MPa (81,4 bar) auf die Bohrlochwand, ohne dass die Formation gebrochen ist. Dies entspricht nahezu genau dem angenommen Fracdruck von 82,4 bar in einer Teufe von 492,3 m in der Bohrung Rühlermoor 414. Bis zu einer Teufe von 520,4 m wird in den Planungsunterlagen der GdF ein Porendruckgradient von 0,107 bar/m angesetzt. In der Lagerstätte selbst wird für die Bohrung Rühlermoor 414 mit 0,074 bar/ m gerechnet. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung wird in der Lagerstätte mit 0,151 bar/m angenommen. Da der Porendruck in der Lagerstätte deutlich höher ist, ist auch mit einer höheren minimalen horizontalen Hauptspannung zu rechnen.

Aus Abbildung 38 ist zu ersehen, dass die große Anzahl der Bohrungen Gradienten von über 16,0 MPa/km bzw. 17,0 MPa/km aufweist. Bei den Daten die unterhalb von 16 MPa/km liegen trat aber kein Zementverlust auf. In der Bohrung Rühlermoor 404 wurde ein Zementverlust festgestellt. Der abgeleitete Gradient der minimalen Horizontalspannung liegt bei 16,9 MPa/km. Bei den Bohrungen, in denen höhere Zementgewichte beim Tailzement verwendet wurden liegen die Gradienten bei über 16,7 MPa/km bzw. 16,9

MPa/km (RLMR 409 - 413, RLMR 674, RLMR H19 –H21). Für die weiteren Berechnungen wird ein Gradient der minimalen Horizontalspannung von 16,8 MPa/km verwendet.

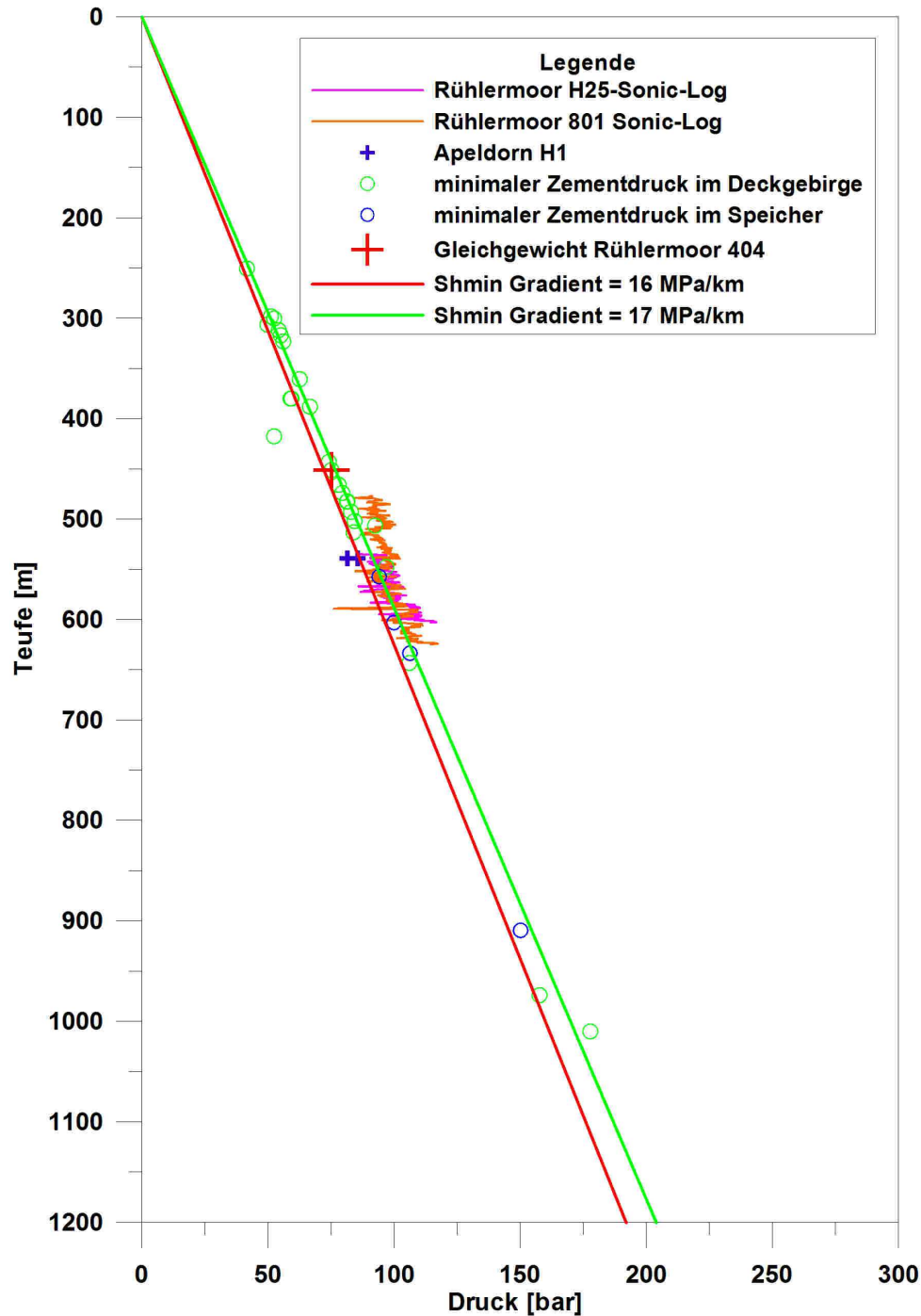


Abbildung 38: Minimale Horizontalspannungen, die im Bereich Rühlermoor aus hydraulischen-Tests, Sonic-Messungen und Zementationen ermittelt wurden. Als grüne Kreise sind Drücke der Zementationen am Rohrschuh oberhalb des Speichers dargestellt. Als blaue Kreise sind die Drücke am Rohrschuh der Zementationen im Speicher angegeben.



Tabelle 8: Minimale Druckgradienten am Rohrschuh im Bereich Rührlermoor, die aus Zementationen ermittelten wurden.

Bohrung	Rohr-tour	Teufenbereich [m]	Zementart/ -menge	Zementgewicht [g/cm³]	Zementkopf	Gradient [MPa/km]	Zementdruck (RS) [MPa]	Bemerkungen
Rührlermoor 376	9 ^{5/8} “	- 306,5			zu Tage			Quartär-Barreme
Rührlermoor 376	7“	ca. 643 m TVD		1	zu Tage	>16,5	10,61	Barreme-Top Flasersandstein
Rührlermoor 402	7“	- 443,0	21 m³ Lead, 4 m³ Tail	1,65/2,20	zu Tage	>16,5	7,42	Quartär-Ober Hauterive
Rührlermoor 404	7“	- 451,0	29 m³	1,65/2,03	5 m³ Verlust zu Tage	=16,9	7,65	Quartär-Ober Hauterive
Rührlermoor 405	7“	- 506,4	6,17 m³ Lead, 6 m³ Tail	1,67/1,98	zu Tage	>16,4	9,25	Q-Obervalangin
Rührlermoor 406	7“	- 513,2	24 m³ Lead, 4 m³ Tail	1,61/2,03	zu Tage	>16,3	8,40	Q-Obervalangin
Rührlermoor 407	7“	- 466,0	19,1 m³ Lead, 6 m³ Tail	1,65/2,03	zu Tage	>16,5	7,81	Q-Obervalangin
Rührlermoor 409	7“	- 493,0	18,5 m³ Lead, 4 m³ Tail	1,65/2,02	zu Tage	>16,8	8,30	Q-Obervalangin
Rührlermoor 410	7“	- 474,0	22,5 m³ Lead, 4 m³ Tail	1,65/2,02	zu Tage	>16,7	7,94	Q- Hauterive
Rührlermoor 411	7“	- 502,1	20,5 m³ Lead, 4 m³ Tail	1,65/2,02	zu Tage	>16,7	8,43	Q-Obervalangin
Rührlermoor 412	7“	- 482,2	18,2 m³ Lead, 5 m³ Tail	1,65/2,03	zu Tage	>16,9	8,16	Q-Obervalangin
Rührlermoor 413	7“	- 482,5	21,9 m³ Lead, 4 m³ Tail	1,65/2,02	zu Tage	>16,8	8,14	Q-Obervalangin
Rührlermoor 674A	10 ^{3/4} “	-298,3		1,75	zu Tage	>17,2	5,12	Q-Ober Hauterive
Rührlermoor 674A	7“	547,5		1,75/2,03	zu Tage	>17,7	9,70	Ober Hauterive-Obervalangin
Rührlermoor H19	10 ^{3/4} “	-311,9	33,6 to BEB3	1,77	zu Tage	>17,3	5,42	Q-Ober Hauterive
Rührlermoor H19	7“	-557,1	19 to BEB 5, 5 to BEB3	1,65/2,03	zu Tage	>16,9	9,42	Ober Hauterive-Tonmittel
Rührlermoor H20	10 ^{3/4} “	-317,0	30,0 to BEB3	1,77	zu Tage	>17,3	5,50	Q-Ober Hauterive
Rührlermoor H20	7“	-603,0	19 to BEB5, 5 to BEB1	1,61/2,03	zu Tage	>16,5	10,0	Ober Hauterive-Top Flasersandstein
Rührlermoor H21	10 ^{3/4} “	-323,3	30,0 to BEB3	1,77	zu Tage	>17,3	5,61	Q-Ober Hauterive
Rührlermoor H21	7“	-633,5	20 to BEB5, 5 to BEB1	1,63/2,03	zu Tage	>16,7	10,62	Ober Hauterive-Top Flasersandstein
Rührlermoor Z1	24 ^{1/2}	-306,3	56,0 m³ PZ 35F	1,61/1,86	zu Tage	>16,2	4,98	Q-Alp
Rührlermoor Z1	18 ^{5/8}	-909,7	114 to Glass G +PZ35F	1,60/1,92	Zu Tage	>15,0	15,01	Alp-Wealden 6
Adorf 54a	7“	1414tvd	30to,10to	1,67/1,92	Zu Tage	>16,9	24,02	-Basis Bentheim
Annaveen T2	13 ^{5/8} “	- 388,3	47,4 to	1,75	zu Tage	>17,1	6,66	Q-Oberkreide
Annaveen T2	9 ^{5/8} “	-1643,0	27,1 to	1,80	zu Tage	>17,6	29,01	Oberkreide-Mittl. Keuper
Emlichheim 208	9 ^{5/8} “	- 360,7	41,0 to	1,77	zu Tage	>17,3	6,26	Q-Oberkreide
Emlichheim 208	7“	-1089,5	33to + 6to	1,75/2,03	zu Tage	>17,6	17,78	Q-Oberkreide-Unter Hauterive
Haren Z2	13 ^{3/8} “	-1007,4	170,37 to	1,70	zu Tage	>16,8	16,8	Q-Oberkreide
Meppen 22	13 ^{5/8} “	- 380,0	44 m³	1,58	zu Tage	≥15,5	5,89	Q-Oberkreide
Meppen 24	9 ^{5/8} “	- 380,2	31,2 m³	1,59	zu Tage	≥15,6	5,93	Q-Oberkreide
Varloh 5	13 ^{5/8} “	-300,37	44,5 to PZ35F	1,78	zu Tage	>17,4	5,24	Q-Oberkreide
Varloh 5	9 ^{5/8} “	-974,22	54 to Pozmix A	1,65	Zu Tage	>16,2	15,77	Oberkreide-Apt
Varloh 6	9 ^{5/8} “	-417,47	32 to PZ35F	1,78	Zu Tage	>17,4	5,24	Q-Turon
Varloh 6	7“	1355,0	25 to PZ80	1,50	Zu Tage	>14,7	19,93	Turon-Dogger (Träger fehlt)
Westerloh 1	9 ^{5/8} “	250,66	28 m³ Pozmix A	1,70	Zu Tage	>16,6	6,96	Q-Wealden (Träger fehlt)
Westerloh 1	7“	984,50	26to Poznix A	1,72	Zu Tage	>16,8	16,54	Wealden-Lias (-)



6.2.5 Schoonebeek

Ab 2008 wurden im Ölfeld Schoonebeek (NL) im Rahmen des Redevelopment-Projekts 73 Bohrungen niedergebracht. Das Hangende des Bentheim Sandsteins in Schoonebeek ist weitgehend vergleichbar mit den Deckschichten in Rühlermoor. Auch hier ist der Porendruck mit 10,6 MPa/km hydrostatisch. Der Bentheim Sandstein ist hingegen im Redevelopment-Gebiet Schoonebeek mit 7,3 MPa/km unterhydrostatisch (depletiert). Das Schoonebeek Redevelopment ist dynamisch vom Schoonebeek-Rühle-Bramberge Aquifer mit seinem überinitialen Lagerstättendruck getrennt.

Ankerrohrtour ca. 450 m

Foster (2011) beschreibt, dass in den Niederlanden viele Zementationen (surface casing cement jobs) mit einer Dichte von 1,67 kg/l ausgeführt wurden. Für die 10^{3/4}“ - Ankerrohrtour wurde ein Frac-Gradient von 1,50 bis 1,70 g/cm³ angenommen. Zuvor waren vom Ölfeld Schoonebeek nur bei einer Bohrung Zementverluste in einer Tiefe von 50 bis 60 m unter GOK beschrieben worden. Für die 73 Bohrungen in Schoonebeek wurde für die Ankerrohrtour eine Zementdichte von 1,55 kg/l gewählt.

Am Top der Kreide wurden die 10^{3/4}“ - Verrohrungen abgesetzt und mit einer Zementdichte von 1,55 kg/l zementiert (Foster 2011). Bei der Zementation der 73 Bohrungen wurden nur bei 5 Bohrungen minimale Zementverluste festgestellt. Für den Bereich Schoonebeek kann angenommen werden, dass im Tertiär ein Gradient der minimalen Horizontalspannung von etwa 15 MPa/km oder etwas größer vorhanden ist.

Produktionsrohrtour ca. 883 m

Die 7^{5/8}“ - Produktionsrohrtouren (für die Injektion und die Förderung) sollten im Bentheim Sandstein abgesetzt werden. Die Kombination von permeablen Sandsteinen und sub-hydrostatischen Porendrücken ließen Zementverluste erwarten (Foster 2011). Aus diesem Grunde wurde ein Schaumzement mit einer Dichte von 1,29 g/cm³ für die Zementationen vorgesehen. Um eine bessere Zementqualität zu erreichen, wurde bei einem Gegendruck von 3 MPa (435 psi) zementiert. Allerdings wurde der Gegendruck durch Zementverluste nicht in allen Bohrungen erreicht. Durch den Zusatz von 40 m³ Überschusszement konnte selbst bei Verlustraten von 25 m³/h vor der Zementation sichergestellt werden, dass alle Bohrungen bis zur Oberfläche zementiert wurden. Die Menge des verbrauchten Zements und des zurückgeflossenen Zements sind in Abbildung 39 dargestellt.

Bei der Zementation von Schaumzement mit einer Dichte von 1,29 kg/l und bei 8 bis 38 bar Gegendruck kam Zement über Tage (Abbildung 40), so dass sich ein Gleichgewicht zwischen dem Druck der Zementsäule und einem zementgefüllten Riss (Frac) an der Bohrlochwand einstellen konnte. Die höchsten Drücke wirkten dabei direkt am Rohrschuh, so dass die Druckgradienten auf die Rohrschuhteufe bezogen sind.

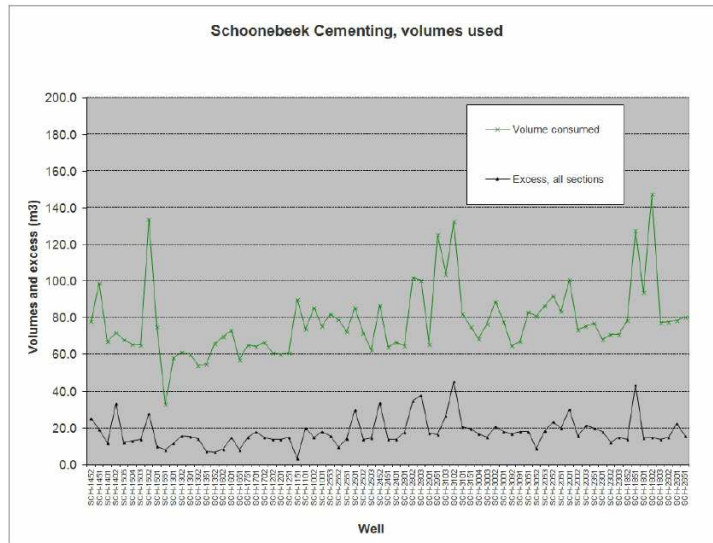


Abbildung 39: Verpumpte und zurückgeflossene Zementvolumen im Feld Schoonebeek (aus Foster et al. 2011)

Die Druckgradienten und die Teufen geben Foster et al. (2011) an dieser Stelle nicht an. Sie beschreiben aber, dass „Casing pressure-Tests“ in einer Teufe von 883 m (TVD) ausgeführt werden sollen. Der Rohrschuh liegt im Bentheimer Sandstein. Aus diesem Grunde werden die Gradienten auf diese Teufe bezogen.

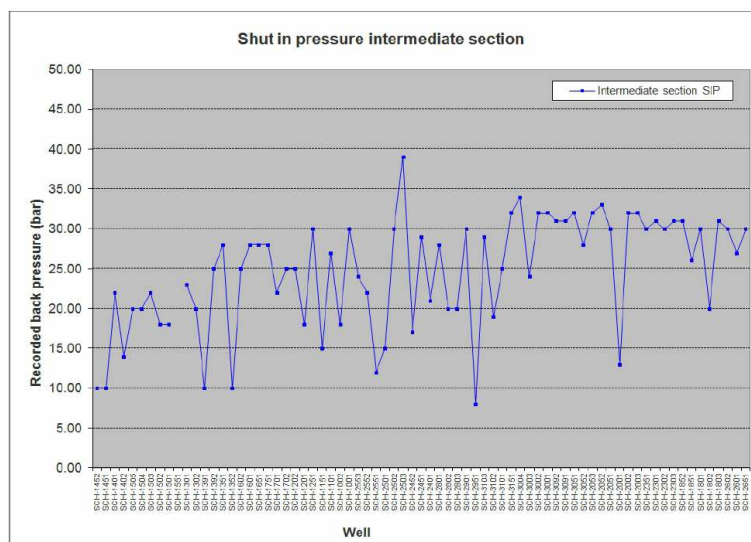


Abbildung 40: Gegendruck der beim Zementieren der Bohrungen in Schoonebeek gehalten werden konnte (aus Foster et al. 2011).

Bei 26 der 73 Bohrungen wurde ein Gegendruck von mindestens 30 bar gehalten, wodurch am Rohrschuh in 883 m etwa 14,17 MPa (141,7 bar) wirkten. Der Druckgradient liegt demnach bei mindestens 16,05 MPa/km.

Bei 41 der 73 Bohrungen wurde ein Gegendruck von mindestens 25 bar gehalten. Am Rohrschuh in etwa 883 m wirkten in diesem Fall 13,67 MPa (136,7 bar). Der Druckgradient liegt demnach bei mindestens 15,58 MPa/km.

Nur bei einer Bohrung (SCH 2951) lag der Gegendruck bei nur 8 bar. Für eine Bezugsteufe von 883 m wirkten hier 11,67 bar auf die Bohrlochwand. Der Druckgradient liegt demnach bei nur 13,21 MPa/km. Foster et al. (2011) schätzen den Frac-Gradienten des Gildehaussandstein auf 0,1380 MPa/10 m (13,8 MPa/km).

Den Porendruckgradient oberhalb des Bentheimer Sandsteins geben Foster et al. (2011) mit 10,6 MPa/km an. Nach Abb. 4 geht bei Foster (2011) der Porendruckgradient durch die Depletierung im Bentheimer Sandstein auf etwa 7,3 MPa/km zurück (Abb. 41). Dies könnte den niedrigen Gradienten der abgeschätzten minimalen Horizontalspannung von etwa 13,21 MPa/km erklären (im Bentheimer Sandstein).

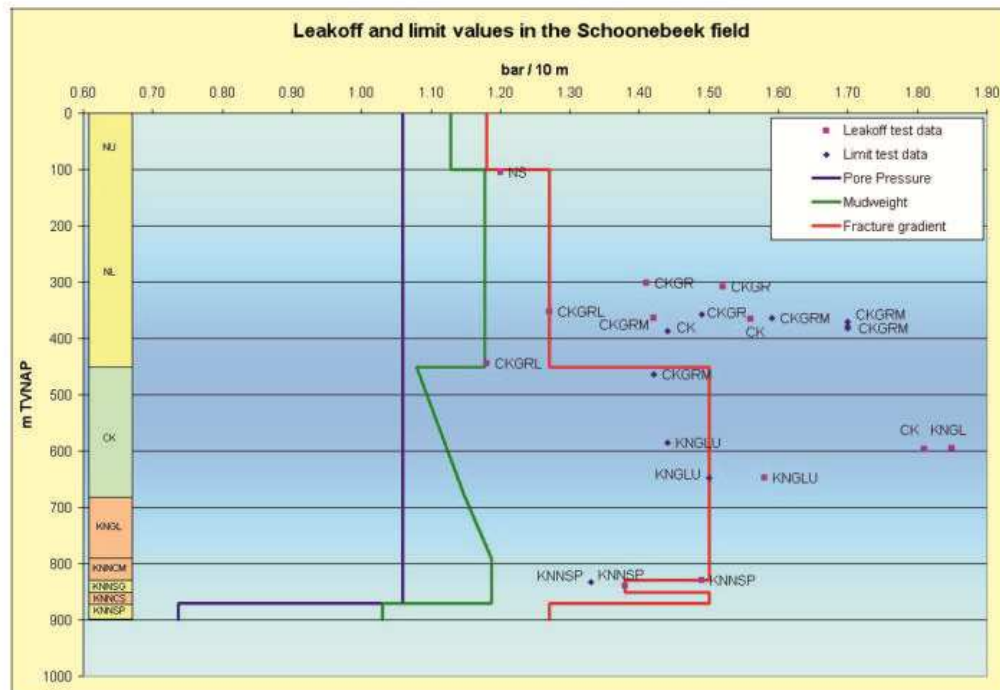


Fig. 4—Pore pressure, mud weight, and fracture gradient in the Schoonebeek field (The fracture gradient is based on offset data)

Abbildung 41: Porendruck, Spülgewichte und Fracture-Gradient im benachbarten Ölfeld Schoonebeek (Foster et al 2011).

6.2.5.1 Änderung der minimalen Horizontalspannung durch die Depletierung im Ölfeld Schoonebeek

Bei einem poroelastischen Ansatz nach Biot sind der Porendruck und die Spannungen gekoppelt. Die Änderung der minimalen Horizontalspannung mit der Änderung des Porendrucks wird in der Regel als linearer Zusammenhang beschrieben. Nach Literaturdaten liegt das Verhältnis von $\Delta S_h / \Delta P$ meist zwischen 0,4 und 0,8. Für eine Bezugsteufe von 1000 m liegt der Porendruck im ungestörten Fall bei 105,0 bar und im depletierten Fall bei 73,0 bar. Im Reservoir ist in depletierten Fall der Porendruck um 32,0 bar abgesenkt.

Für einen Gradienten der minimalen horizontalen Hauptspannung (Frac-Gradient bei Vernachlässigung der Zugfestigkeit) von 0,165 bar/m ergibt sich eine minimale Horizontalspannung in 1000 m Tiefe von 165,0 bar. Bei einer Druckabsenkung von 32 bar (Schoonebeek) und einem Spannungskopplungskoeffizienten von 0,4 verringert sich die minimale horizontale Hauptspannung um 12,8 bar auf 152,2 bar. Bei einem Spannungskopplungskoeffizient von 0,8 sinkt die minimale horizontale Hauptspannung um 25,6 bar auf 139,4 bar. Dies entspricht einem Gradienten der minimalen horizontalen Hauptspannung von 0,1396 bar/m, was erklären könnte, warum im depletierten Ölfeld Schoonebeek Zementverluste beim Zementieren auftraten. Im Gegensatz hierzu liegt die Magnitude der minimalen horizontalen Hauptspannung in Röhlermoor höher.

6.2.5.2 Änderung der Scherspannung durch die Depletierung im Ölfeld Schoonebeek

Durch die Depletierung kommt es zu einer Zunahme der Scherspannung im Reservoir und die Spannungen im Reservoir werden verändert. Eine Verschiebung entlang einer Trennfläche wird eintreten, wenn die Scherspannungen gleich oder größer als die Scherfestigkeit werden. Die Gleichungen für die Normal- und Scherspannung bei Anwendung des Mohr-Coulomb'schen Bruchkriteriums lauten für absolute Spannungen:

$$\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \cos(2\theta) \quad (\text{Gleichung 1})$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \sin(2\theta) \quad (\text{Gleichung 2})$$

und für effektive Spannungen:

$$\sigma_n' = (\sigma_1' + \sigma_3')/2 + (\sigma_1' - \sigma_3')/2 \cos(2\theta) \quad (\text{Gleichung 3})$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3')/2 \sin(2\theta) \quad (\text{Gleichung 4})$$

Der Winkel θ beschreibt den Winkel zwischen der größten Hauptnormalspannung σ_1 und der Normalen zur Bruchfläche. Gleichung 5 beschreibt die Beziehung zwischen θ und dem Reibungswinkel ϕ (Abb. 16):

$$\theta = (90^\circ + \varphi)/2$$

(Gleichung 5)

Daraus folgt, dass die neu angelegte Bruchfläche unter einem Bruchwinkel $\alpha = 45^\circ - \varphi/2$ zu σ_1 geneigt ist (Abbildung 42).

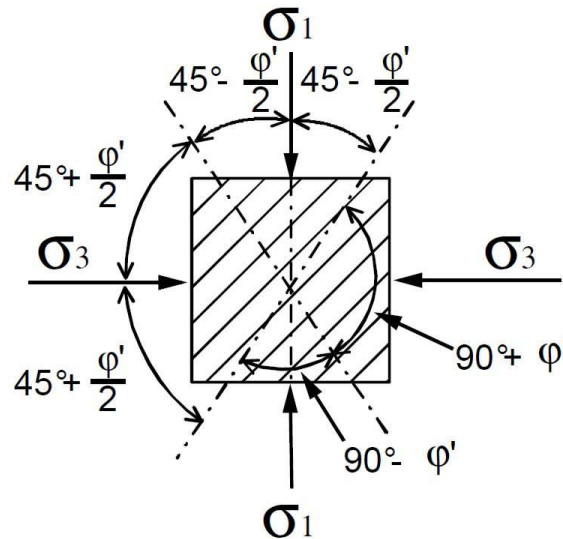


Abbildung 42: Zusammenhang zwischen Bruchwinkel und Reibungswinkel.

Bei Abschiebungen ist die Vertikalspannung die maximale Hauptspannung. Entsprechend ist für ein Gestein mit einem hohen Reibungswinkel ($\varphi = 45^\circ$) ein Bruchwinkel von $22,5^\circ$ zu erwarten, während für ein Gestein mit einem niedrigen Reibungswinkel ($\varphi = 30^\circ$) mit einem Bruchwinkel von 30° zu rechnen ist. Dies entspricht bei den Abschiebungen den häufig beobachteten Einfallswinkeln von 60° bis $67,5^\circ$. Aus den Triaxialversuchen am Bentheimer Sandstein kann für niedrige Normalspannungen ein Reibungswinkel von 45° angesetzt werden.

Für einen Vertikalspannungsgradient von $22,0 \text{ MPa/km}$ ergibt sich eine Vertikalspannung in 1000 m Tiefe von $22,0 \text{ MPa}$ bzw. $220,0 \text{ bar}$. Vor der Depletierung lag die minimale Horizontalspannung bei 165 bar und nach der Depletierung um 32 bar niedriger bei minimal $139,4 \text{ bar}$ (Tab. 9). Nach der Depletierung (mit einem hohen Kopplungskoeffizienten von $0,8$) steigt die effektive Vertikalspannung von $115,0 \text{ bar}$ auf $147,0 \text{ bar}$ während die effektive minimale horizontale Hauptspannung von $60,0 \text{ bar}$ auf $66,4 \text{ bar}$ steigt (Tab. 10). Die Differenzspannungen zwischen effektiver Vertikalspannung und effektiver minimaler Horizontalspannung steigen durch die Depletierung von 55 bar auf $80,6 \text{ bar}$.

Tabelle 9: Absolute Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir Schoonebeek.

	Ausgangsbedingung	Druckabsenkung um 8 bar, Kopplungskoeffizient von 0,8
Vertikalspannung [bar]	220,0	220,0
Minimale Horizontalspannung [bar]	165,0	139,4
Porendruck [bar]	105,0	105,0

Tabelle 10: Effektive Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir Schoonebeek vor und nach Depletierung.

	Ausgangsbedingung	Druckabsenkung um 32 bar, Kopplungskoeffizient von 0,8
Effektive Vertikalspannung [bar]	115,0	147,0
Effektive minimale Horizontalspannung [bar]	60,0	66,4
Porendruck [bar]	105,0	73,0

Die effektive Vertikalspannung besitzt den größten Spannungsbetrag (σ_1') und die effektive minimale Horizontalspannung besitzt den kleinsten Spannungsbetrag (σ_3').

In Abbildung 43 ist aus der Darstellung nach Mohr-Coulomb zu erkennen, dass mit der Depletierung die Scherspannung gestiegen ist. Es ist aber auch zu erkennen, dass selbst bei Vernachlässigung einer Kohäsion und eines Reibungswinkels des Gesteins von 30° die Bruchbedingungen nach Mohr-Coulomb noch nicht verletzt sind.

Für den Bereich Rühlermoor, in dem der Porendruck höher liegt und in Zukunft abgesenkt werden soll, ist im Ölfeld Schoonebeek die Situation praktisch vorweggenommen worden.

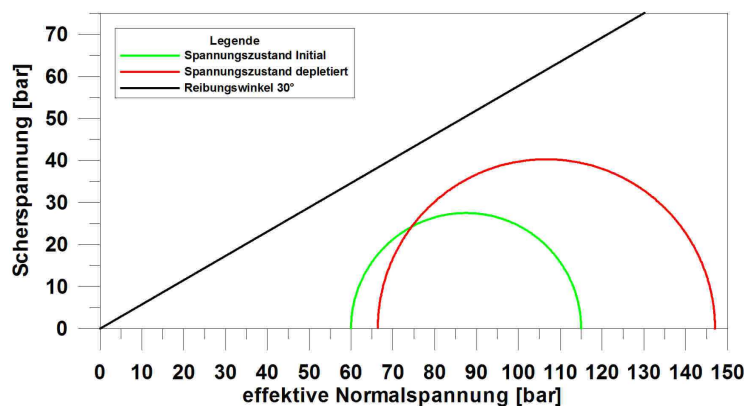


Abbildung 43: Mohr-Coulomb'sche Darstellung des Bentheimer Sandsteins im Ölfeld Schoonebeek. Durch die Depletierung kommt es zu einem Anstieg der Scherspannungen im Reservoir.

6.3 Porendruck

In den Anlagen zum Rahmenbetriebsplan ist beschrieben, dass Dampf-injektion seit den 80er Jahren zu einem Anstieg der Porendrücke führte. Das gesamte Feld Rühlermoor ist hydraulisch mit dem Aquifer (Schoonebeek-Rühle-Bramberge Aquifer) verbunden, dessen aktueller Porendruck derzeit höher ist, als der initiale Lagerstättendruck des Feldes. In Tabelle 11 sind verschiedene Porendruckgradienten im Bereich Rühlermoor angegeben. Hierbei handelt es sich aber nicht um die initialen Porendrücke, sondern um Drücke, die erst Jahre nach Beginn der ersten Förderungen im Feld gemessen wurden.

Tabelle 11: Porendruckgradienten für verschiedene Bohrungen im Bereich Rühlermoor.

Teufe [m]	[bar]	SV [bar]	Lokation/Bohrung	Porendruckgradient [bar/m]	Vertikalspannungsgradient [bar/m]
0	0	0			
531	55.7	114.9	RLMR 680	0.1049	0.2164
900	94.4	197.1	RLMR 152	0.1049	0.2190
904	94.8	198.1	RLMR H9	0.1049	0.2190
1100	115.4	241.8	Hebelermeere	0.1049	0.2198
190	19.8	39.7	Strukturhoch Apeldorn	0.1043	0.2089
513	53.8	110.6	RLMR 680	0.1048	0.2156
885	92.8	193.6	RLMR 152	0.1050	0.2188
882	92.5	192.9	RLMR H9	0.1049	0.2187
1080	113.3	237	Hebelermeere	0.1049	0.2194
534	56	117.9	APLD H1	0.1049	0.2208
175	18.3	36.6	Strukturhoch Apeldorn	0.1046	0.2091
532	55.8	115.9	RLMR 680	0.1049	0.2179
901	94.5	197.3	RLMR 152	0.1049	0.2190
905	94.9	198.3	RLMR H9	0.1049	0.2191
1101	115.5	242	Hebelermeere	0.1049	0.2198
535	56.1	118.1	APLD H1	0.1049	0.2207
191	20	40	Strukturhoch Apeldorn	0.1047	0.2094

Wichtig ist die Feststellung, dass auch bei Überschreitung des initialen Lagerstättendrucks im Bereich Rühlermoor kein Druckanstieg in der Tertiär-Druckbeobachtungsbohrung RLMR 1001 beobachtet wird.



In den Anlagen zum Rahmenbetriebsplan Rühlermoor (EMPG) ist beschrieben, dass der initiale Porendruck in 1000 m Bezugsteufe bei 107 bar lag und um 6 bar angestiegen ist. Für das Reservoir ergibt sich in 1000 m Tiefe ein Porendruckgradient von 0,107 bar/m bzw. 10,7 MPa/km.

Apeldorn H1

Laut Bohrrakte der Bohrung Apeldorn H1 wurden am 8.10.1982 drei RFT Tests ausgeführt. Der „Final Shut-in Pressure“ ist für die Teufenbereiche von 541 m, 558 m und 575 m mit 59,78 bar, 61,46 bar und 63,24 bar angegeben. Dies entspricht einem Porendruckgradient von 0,111 bar/m, 0,110 und 0,110 bar/m. Dies ist geringfügig höher, als der Gradient von 0,1049, der in Tabelle 12 für die Bohrung Apeldorn H1 angegeben ist. Möglicherweise war bei den RFT Tests vom Oktober 1982 noch kein vollständiger Druckausgleich mit dem Spülungsdruck erreicht, oder zu dem damaligen Zeitpunkt lag der Druckgradient etwas höher.

Meppen 22

Die Bohrung Meppen 22 wurde getestet, wobei am 22.07.93 eine Schließdruckmessung erfolgte. Um 13.00 Uhr fiel das Druckmessgerät aus. Zu diesem Zeitpunkt war der Schießdruck laut Bohrrakte nahezu stabilisiert und betrug in einer Teufe von 857,5 m 104,8 bar. Der Druck im Träger in 1170 m Tiefe kann auf etwa 132,5 bar abgeschätzt werden, wenn man eine Dichte des geförderten Öls von etwa 0,9 g/cm³ zu Grunde legt. Hieraus ergibt sich ein Porendruckgradient von 0,1132 bar/m.

Rühlermoor H1

In der Bohrung Rühlermoor H1 wurde das Bohrloch mehrere Tage mit Salzwasser ausgespült und mit Salzsäure eine Schaukelsäuerung durchgeführt. Danach wurden 21,4 m³ Wasser gefördert. Das spezifische Gewicht des Wassers stellte sich bei 1,06 g/cm³ ein, der Wasserspiegel bei 7,4 m. Hieraus berechnet sich für eine Teufe von 850 m der Druck der hydrostatischen Säule von 87,6 bar. Am 07.07.1952 beträgt der Porendruckgradient 0,1031 bar/m. In einer Tiefe von 750 bzw. 850 m wurde ein Druck von 71,3 bzw. 81,2 atü gemessen. Diese Werte liegen tiefer als der berechnete Wert.



Schoonebeek

Der Porendruckgradient oberhalb des Bentheimer Sandsteins geben Foster et al. (2011) mit 0,106 MPa/10 m an. Nach Abb. 4 bei Foster (2011) geht der Porendruckgradient auf etwa 0,073 MPa/10 m zurück.

Den Porendruck (zum Zeitpunkt der Bohrungen, Redevelopment) gibt er für den Träger mit 6,5 bis 7,0 MPa an. Die Druckgradienten und die Teufen sind an dieser Stelle jedoch nicht aufgeführt. Sie beschreiben aber, dass „Casing pressure-Tests“ in einer Teufe von 883 m (TVD) ausgeführt werden sollen. Der Rohrschuh liegt im Bentheimer Sandstein. Für eine Teufe von 883 m und einen Porendruck von 6,5 bzw. 7,0 MPa ergeben sich Porendruckgradienten von 0,073 bar/m bzw. 0,079 bar/m. Dies entspricht etwa den Planungsannahmen der GdF für die Bohrung Rühlermoor 414. Hier wurde von einem Porendruckgradienten von 0,074 bar/m ausgegangen.

Wasseranalysen

Die chemischen Daten und die Dichte der Formationswässer im Bereich Rühlermoor zeigen eine zunehmende Mineralisierung mit der Tiefe (Tabelle 12). Die oberflächennahen Bohrungen wie Rühlermoor 1001 besitzen in einer Teufe von 250 m eine Dichte von 1,018 g/cm³ während mit zunehmender Tiefe die Dichte der Wässer bis auf 1,121 g/cm³ (Hebelermeer 15 in 1175 m) zunimmt. Ohne die zugehörigen Wasserspiegellagen lassen sich die Porendruckgradienten aber nicht eindeutig aus den Wasserdaten bestimmen. Für die Bohrung Apeldorn H1 mit einer Teufe von 539 m liegt die Dichte bei 1,063 g/cm³.

Tabelle 12: Wasseranalysen mit Angabe der Dichte des geförderten Wassers.

Bohrung	APLD H1	HEBM 5	HEBM 9	HEBM 11	HEBM 15	HEBM 19	MEPP 7	RLMR 1001
Formation	Bentheim-Sandst.							UE-1-Sand
Probenteufe (m)	539	1283.5		1169	1175	1144.5	1250	250
Datum	01.12.1982	10.04.1956	19.02.1964	23.01.1967	23.01.1967	26.01.1967	11.09.64	26.03.58
Temp (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20
Dichte g/cm ³	1.063	1.094	1.097	1.095	1.121	1.091	1.097	1.018
ph	6.4	6.8	5.7	6.1	6.0	5.8	5.6	8.4
Leitf. (µs)	88700		136100	136100	161600	134600	139700	
spez. Widerst. (Ohmm)		0.0731	0.0735	0.0735	0.0619	0.0743	0.0716	
°d.H	529		1883	1784	1747	1796	2070	
Natrium (gm/l)	30000		38769	38100	55000	37100	39291	8163
Calcium (mg/l)	5840	9100	9962	9820	9100	9400	10844	792
Magnesium (mg/l)	2200	550	1921	1516	1730	1830	2107	623.6
Kalium (mg/l)	388		310	260	314	260	381	194.2
Eisen (mg/l)	70		31	75	91	63	76	0.2
Strontium (mg/l)			758	983	1210	951	1095	
Amonium (mg/l)	400		201	100	96	94	102	30
Chlorid (mg/l)	55700	80900	83653	81400	106900	79900	86863	14720
Sulfat (mg/l)	<5		39	36	142	57	33	20.4
Bikarbonat (mg/l)	396		63	124	334	57	82	65.9
Brom (mg/l)			153	425	420	427	52	75.7
Jod (mg/l)			12	15	10	13	19	

Unterlagen Rahmenbetriebsplan

In den Unterlagen des Rahmenbetriebsplans Rühlermoor (RBP Teil 4, Kapitel 1.1.5 Lagerstättentechnische Beurteilung, Anlage 11) ist der initiale Aquiferdruck eingezeichnet. Dieser liegt bei 106 bar bezogen auf eine Referenzteufe von 1000 m TVDss (Abbildung 44). Für eine 1000 m mächtige Wassersäule entspricht dies einem Gradienten von 0,106 bar/m. Liegt der Wasserspiegel auf Geländehöhe (im Mittel bei etwa +19 m), dann ergibt sich ein Porendruckgradient von 0,104 bar/m.

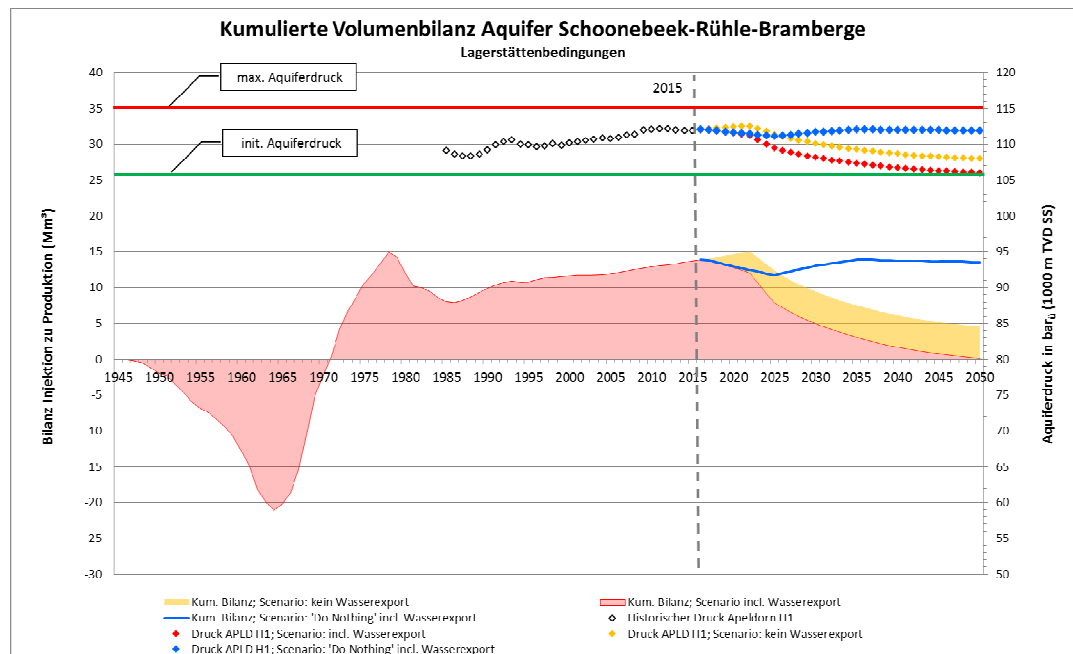


Abbildung 44: Fördervorhersage und Druckentwicklung des Aquifers (aus: RBP Teil 4, Kapitel 1.1.5 Lagerstättentechnische Beurteilung, Anlage 11, ExxonMobil). Für die späteren Berechnungen wird von einem initialen Porendruckgradienten von 0,105 bar/m ausgegangen (10,5 MPa/km).

Porendruck in der Abdeckung (U-Eozän-1-Basisand)

In der Bohrung Rühlermoor 1001 werden seit Anfang 1962 Druckmessungen im Untereozän-1-Basisand ausgeführt (Abb. 45). Der Druckverlauf in den letzten 50 Jahren zeigt nur sehr geringe Veränderungen. Für die letzten 53 Jahre lag der Druck für eine Referenzteufe von 250 m im Mittel bei 25,59 bar bei einer Standardabweichung von 0,19 bar. Dies entspricht einer Wasserspiegelschwankung von etwa 2 m. Aus diesen Daten kann abgeleitet werden, dass keine hydraulische Beeinflussung des Tertiärsandes durch den Betrieb im Aquifer stattfindet.

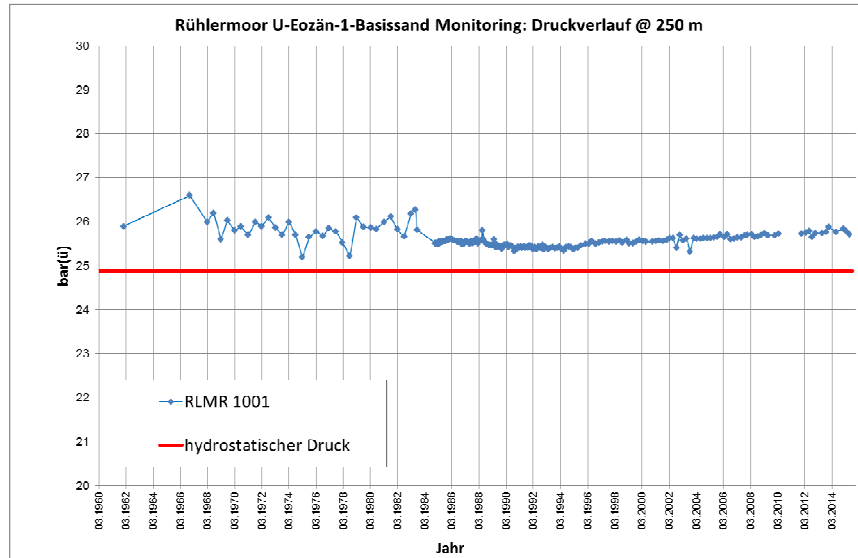


Abbildung 45: Hydraulischer Druck im Untereozän 1-Basisand für eine Referenztiefe von 250 m (ExxonMobil).

In Abbildung 46 ist der Druck in der Bohrung Rühlermoor H11 im Einflussbereich von Wasserinjektoren dargestellt. Der minimale Druck im Jahre 1980 lag bei etwa 103 bar und der maximale Druck im Jahre 1983 lag bei etwa 119 bar, bezogen auf eine Referenzteufe von 1000 m TVDss. Die Druckänderungen im Bereich des Injektors betrugen bis zu 16 bar in diesem Zeitraum. Eine Beeinflussung z.B. durch den Injektor im Bereich der Rühlermoor H11 (Abb. 47) ist nicht zu erkennen.

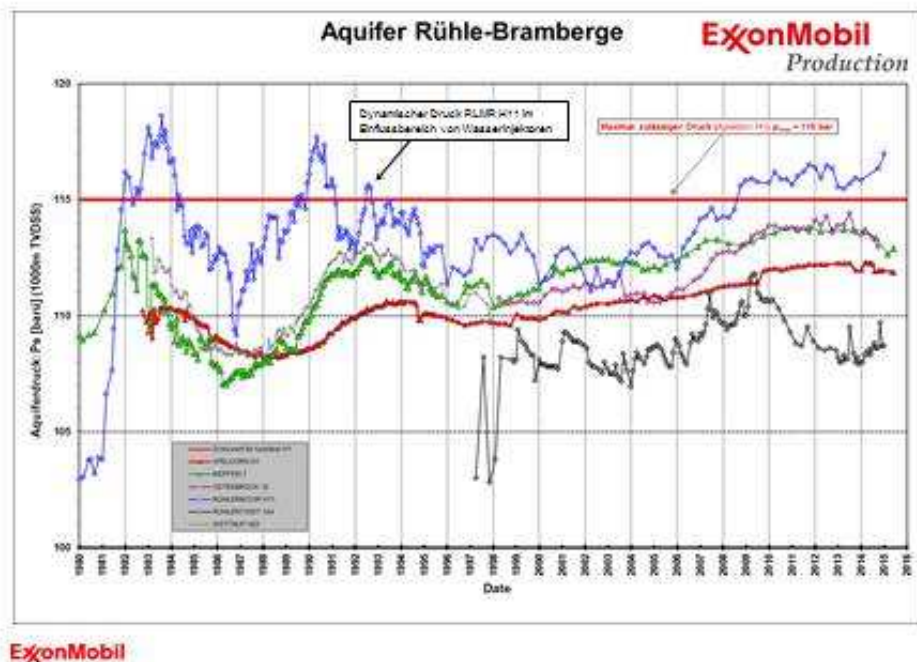


Abbildung 46: Druckverlauf im Bereich des Injektors Rühlermoor H 11 (aus RBP Teil 4, Kapitel 1.1.5 Lagerstättentechnische Beurteilung, Anlage 6, ExxonMobil).

7 Auswirkungen der Änderung des Porendruckes auf die Stabilität des Reservoirs

Der Aquifer befindet sich im Bereich Apeldorn in einer geringen Tiefenlage und wird nur noch durch vergleichsweise geringmächtige Tonlagen abgedeckt. Hier sind Druckänderungen im Aquifer am kritischsten zu betrachten.

Da der Bereich Apeldorn sehr weit von den Injektoren entfernt ist, wirkt sich der Injektionsdruck der Injektoren nicht unmittelbar auf die Stabilität in Apeldorn aus. Hier ist die langfristige Druckentwicklung im Aquifer maßgeblich.

Im Bereich Apeldorn wirken sich die Veränderungen der Förderung und Druckentwicklung des gesamten Aquifers aus. Aus Abbildung 44 ist zu erkennen, dass sich für eine Bezugsteufe von 1000 m TVDss der Aquiferdruck von etwa 113 bar (aktuell) in den nächsten 20 Jahren dem initialen Reservoirdruck von 106 bar annähert und eventuell den initialen Aquiferdruck geringfügig unterschreitet. Für eine Referenzteufe von 1000 m TVDss kommt es nach Fördervorhersage somit um einen Druckabfall im Bereich Apeldorn H1 um 5 bis 8 bar.

7.1 Auswirkungen der Verringerung des Porendruckes im Reservoir

Insbesondere aus den Zementationen ergibt sich, dass der Gradient der minimalen Horizontalspannung im Reservoir bei mindestens 16,8 MPa/km (168 bar/km) liegt. Der Vertikalspannungsgradient liegt bei 21,94 MPa/km (219,4 bar/km) und der Porendruckgradient verringert sich von 11,3 MPa/km (113,0 bar/km) auf 10,5 MPa/km (105,0 bar/km).

Für die Sandsteine im Reservoir werden durch die Druckabsenkung die effektiven Spannungen erhöht. Berücksichtigt man eine Porendruck-Spannungskopplung, dann verändern sich auch die Scherspannungen. Die Spannungsverhältnisse für die einzelnen Situationen (absolute Spannungen) sind in den Tab.13 (absolute Spannungen) und Tab. 14 (effektive Spannungen) zusammengestellt.

Tabelle 13: Absolute Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir

	Ausgangs- bedingung 2016	Druckabsenkung um 8 bar ohne Koppl.	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,5	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,8
S_v' [bar]	219,4	219,4	219,4	219,4
S_{hmin}' [bar]	168,0	168,0	164,0	161,6
P_p [bar]	113,0	105,0	105,0	105,0

Für die Bezugsteufe von 1000 m TVDss ergibt sich für das Reservoir, dass sich durch die Druckabsenkung die effektiven Spannungen erhöhen. Berücksichtigt man eine

Porendruck-Spannungskopplung, dann verändern sich auch die Scherspannungen.

Die Darstellung der effektiven Spannungsdaten nach Mohr-Coulomb zeigt, dass im Deckgebirge nur geringe Scherspannungen vorhanden sind. Für eine Bezugsteufe von 1000 m TVDss zeigt sich, dass für den Fall einer Porendruckabsenkung mit einem hohen Spannungskopplungskoeffizient (Fall 4) die Scherspannungen am stärksten ansteigen. Eine kritische Beanspruchung des Gebirges ist aber nicht zu erkennen (Abb. 47).

Tabelle 14: Effektive Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir

	Ausgangs- bedingung 2016	Druckabsenkung um 8 bar ohne Koppl.	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,5	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,8
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
S_v' [bar]	106,4	114,4	114,4	114,4
S_{hmin}' [bar]	55,0	63,0	59,0	56,6
P_p [bar]	113,0	105,0	105,0	105,0

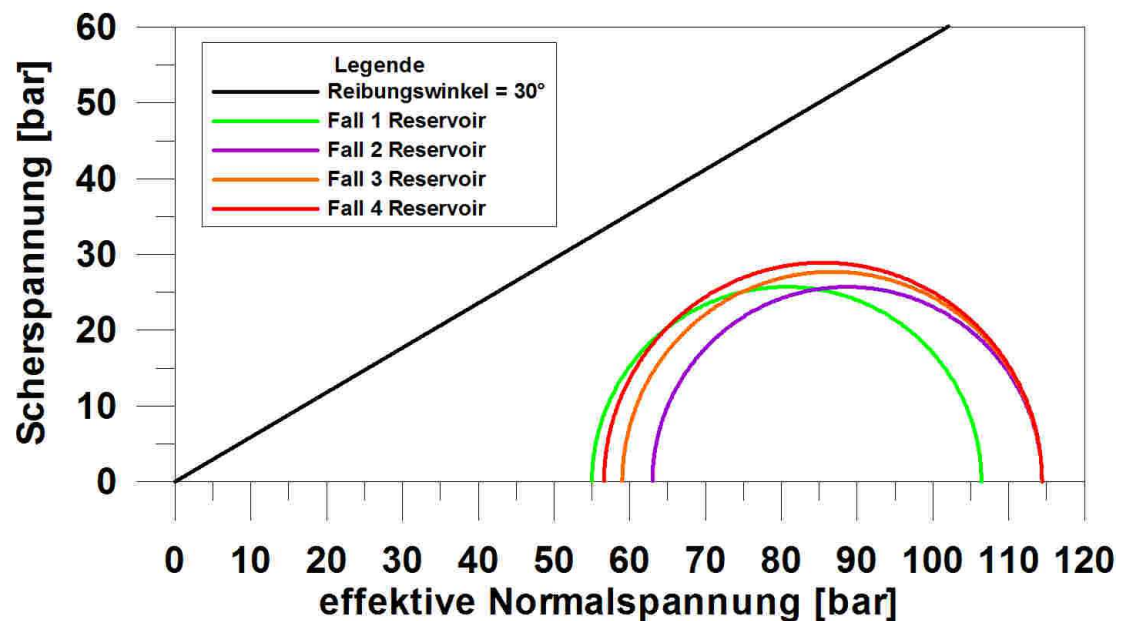


Abbildung 47: Darstellung nach Mohr Coulomb für das Reservoir in einer Bezugsteufe von 1000 m. Eine Porendruckabsenkung von 8 bar führt nur zu vergleichsweise geringen Änderungen der Scherspannungen.

7.2 Auswirkung der Druckerhöhung im Bereich der Injektoren und im Bereich des Deckgebirges

Im Gutachten von Joswig (2016) wird beschrieben, dass in den Injektionsbohrungen RLMR H25, RLMR 50, RLMR 414 und RLMR 651 Dampf mit 270°C eingepresst wurde. Bei Verpressraten von 3 bis 6 t/h (0,83 kg/s bis 1,66 kg/s) wurden Kopfdrucke von 55 bis 60 bar gemessen (siehe „Stresstest“ Kap. 10).

Die Berechnungen von ExxonMobil zeigen, dass sich die Druckänderungen durch die Injektoren nach einigen 10 m nicht mehr auswirken (Abbildung 48).

Druckabfall um Einpressbohrungen nach Darcy

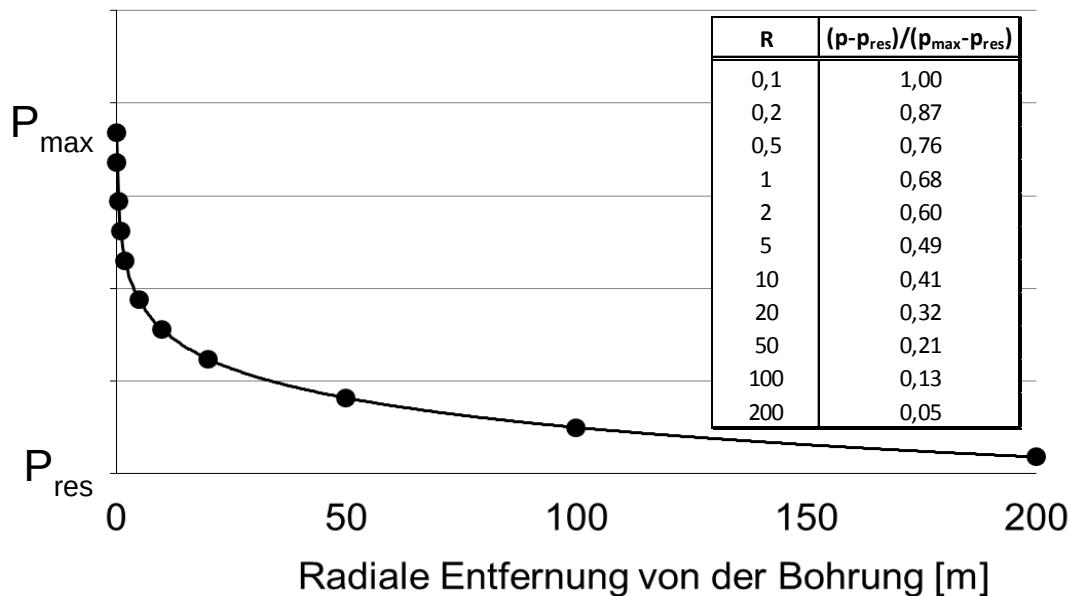


Abbildung 48: Berechnung des Druckabfalls in Abhängigkeit von der Entfernung (Berechnung ExxonMobil).

Beim Injektor wird mit einem Injektionsdruck eingepresst, der unterhalb der minimalen Horizontalspannung bleibt. In diesem Fall wird ein Frac der Formation verhindert. Zusätzlich wird aber noch der Fall betrachtet, bei der es zu einem Scherversagen der Formation kommen kann.

Ausgegangen wird von der Situation im Jahre 2016. Hier liegt im Einflussbereich der Injektoren die Beobachtungsbohrung RLMR H11. Der Porendruck ist hier vergleichsweise hoch und liegt bei 117 bar (Abb. 46). Im Folgenden wird der Fall betrachtet, bei welchem es zu einer Verletzung der Bruchbedingung nach Mohr-Coulomb kommt, wenn ein Reibungswinkel von 30° ohne Kohäsion angesetzt wird. Für eine



Bezugsteufe von 1000 m wird von einer Vertikalspannung von 21,94 MPa und einer minimalen Horizontalspannung von 16,80 MPa ausgegangen. Für die momentane Situation zeigt sich, dass die Bruchbedingung nach Mohr-Coulomb nicht verletzt wird. Wird der Porendruck auf 143 bar im (gesamten) Reservoir erhöht, dann bleibt das System gerade noch stabil. Bei einer Erhöhung des Porendrucks auf über 143 bar wird das Bruchkriterium nach Mohr Coulomb verletzt.

Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die Reservoirdrücke in Zukunft eher abgesenkt werden und eine stabile Situation vorliegen wird.

Das betrachtete Szenarium ist lediglich für den unmittelbaren Bereich um einen Injektor von Bedeutung. Wird hier mit Drücken von weniger als 168 bar (Bezugsteufe 1000 m) injiziert, wird die Formation nicht gefract, da die minimale Horizontalspannung mit 168 bar über dem Injektionsdruck liegt.

Die effektiven Spannungen für diesen Fall sind der Tabelle 15 und der Abbildung 49 zu entnehmen. Bei dieser Druckerhöhung ist der Bereich mit den Druckerhöhungen im Reservoir noch stabil.

Tabelle 15: Effektive Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir

	Ausgangsbedingung 2016	Injektion mit Erhöhung um 16 bar
	Fall 1	Fall 2
S_v' [bar]	102,4	76,4
S_{hmin}' [bar]	51,0	25
P_p [bar]	117,0	143,0

In einer Entfernung von 5 m vom Bohrloch sind bereits über 50 % des Überdrucks abgebaut. Der Porendruck liegt in dieser Entfernung bereits unterhalb von 143 bar und nimmt mit zunehmender Entfernung vom Bohrloch weiter ab. Im gesamten übrigen Reservoir sind stabile Verhältnisse vorhanden. Lediglich direkt am Bohrloch (5 m Radius) kommt es zu einer Verletzung des Bruchkriteriums nach Mohr Coulomb. Dieser Bereich ist zu einem guten Teil durch die Bohrung beeinflusst.

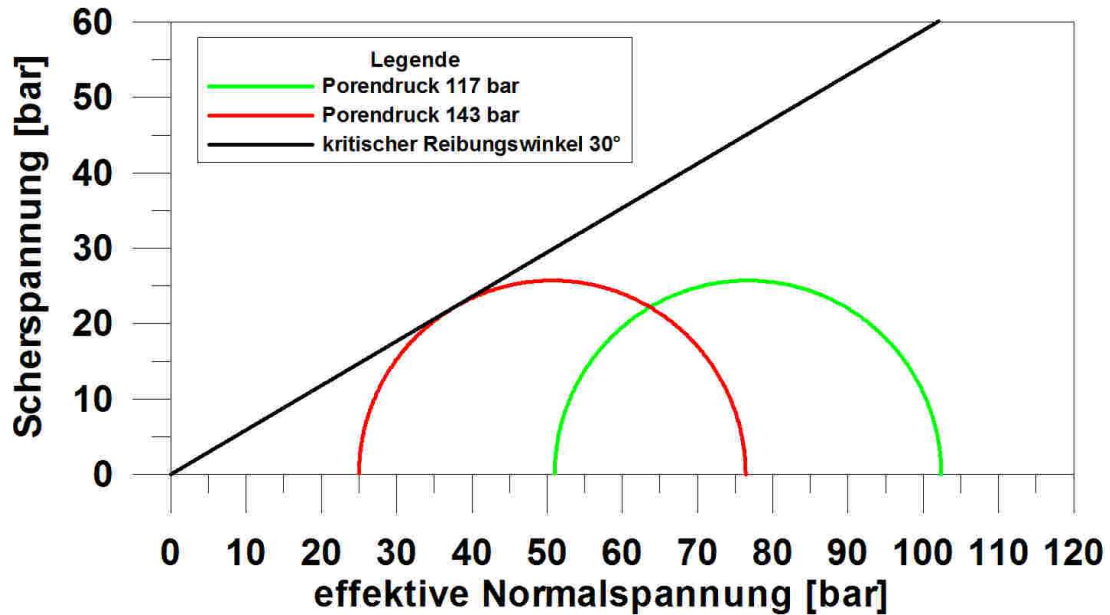


Abbildung 49: Darstellung nach Mohr-Coulomb für das Reservoir in einer Bezugssteufe von 1000 m. Eine Porendruckerhöhung auf 143 bar führt zu einer deutlichen Verschiebung des Mohrkreises. Das Bruchkriterium wird aber noch nicht verletzt. Bei einem Porendruck von über 143 bar wird das Bruchkriterium verletzt.

Trotz der Beeinflussung der unmittelbaren Umgebung um die Bohrung wird das Bruchkriterium nach Mohr-Coulomb im Bereich des Deckgebirges nicht verletzt.

Den Tonsteinen kommt bei der Beurteilung der Integrität des Deckgebirges eine wichtige Rolle zu.

Die mittlere Dichte des tonigen Tertiärs liegt im Mittel bei $2,036 \text{ g/cm}^3$ [20 kN/m^3]. Entsprechend der DIN 1055 kann für einen mittelpplastischen Ton von steifer Konsistenz eine Wichte von $19,5 \text{ kN/m}^3$ und für eine halbfeste Konsistenz eine Wichte von $20,5 \text{ kN/m}^3$ angesetzt werden. Dementsprechend ist damit zu rechnen, dass das Gestein bei einer mittleren Wichte von 20 kN/m^3 noch plastische Anteile besitzt.

Im Teufenbereich von 480 bis 510 m (Hautrive und Obervalangin) liegen in der Bohrung Rühlermoor 801 nach dem Gamma-Ray Tonsteine vor. Hier sind keine Sandsteineinschaltungen zu erkennen. Die Dichte der Gesteine liegt im etwa 212 m mächtigen Hautrive im Mittel bei $2,253 \text{ g/cm}^3$ und reicht bis 470 m im Obervalangin, das zwischen 470 m und 550 m liegt, eine etwas höhere Dichte von $2,307$ bis $2,362 \text{ g/cm}^3$. Die Poissonzahlen für die Tone bzw. Tonsteine des Obervalangins im Teufenbereich von 480 bis 510 m der Bohrung Rühlermoor 801 liegen hier zwischen $0,378$ und $0,459$ und im Mittel bei $0,425$.



Mit der Formel nach Leshchyshyn et al. (2004) wurden die minimale Horizontalspannungen (Risssschließungsdruck) für die Bereiche ermittelt, in denen die Wellengeschwindigkeiten gemessen wurden.

Im Teufenintervall von 480 bis 510 m sind Tonsteine vorhanden. Hier berechnen sich die Gradienten der minimalen Horizontalspannung zwischen minimal 0,1749 bar/m und 0,2027 bar/m und im Mittel zu 0,1899 bar/m [19,0 MPa/km]. Für die weniger konsolidierten Tone des Tertiärs (mit einer geringeren Dichte) kann mit einer höheren Plastizität als für die Obervalangis Tone gerechnet werden. Dies ist aber durch Messungen nicht belegt. In diesem Fall sind die Poissonzahlen des tertiären Tones höher und die Tone neigen bereits zu nahezu lithostatischen Drücken. Der Gradient von 19 MPa/km dürfte die Untergrenze der minimalen horizontalen Hauptspannung im (tonigen) Tertiär sein. In diesem Fall wird die Differenz zum Vertikalspannungsgradient von 20 MPa/km sehr gering bzw. verschwindet nahezu. Für diesen Fall sind die Differenzspannungen sehr gering.

Für die Bezugsteufe von 1000 m TVDss ergibt sich für das Deckgebirge im Tertiär, dass sich durch die Druckabsenkung die effektiven Spannungen erhöhen. Berücksichtigt man eine Porendruck-Spannungskopplung, dann verändern sich auch die Scherspannungen. In Tabelle 16 sind die Spannungsverhältnisse der absoluten Spannungen für die einzelnen Situationen für eine Bezugsteufe von 1000 m TVDss zusammengestellt.

Tabelle 16: Absolute Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss

	Ausgangsbe- dingung 2016	Druckabsenkung um 8 bar ohne Koppl.	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,5	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,8
S_v' [bar]	203,6	203,6	203,6	203,6
S_{hmin}' [bar]	190,0	190,0	183,6	186,0
P_p [bar]	113,0	105,0	105,0	105,0

Für die Standsicherheit im Bereich des Deckgebirges sind die effektiven Spannungen am Kontakt des Aquifers mit seinen Druckänderungen zum Tertiären Deckgebirge maßgeblich. Diese Daten sind in der Tabelle 17 zusammengestellt.

Tabelle 17: Effektive Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss

	Ausgangsbe- dingung 2016	Volle Druckerhö- hung bis 168 bar	Druckabsen- kung um 8 bar ohne Koppl.	Druckabsenkun- g um 8 bar, Koppl.koeff. 0,5	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,8
	Fall 1	Fall 1b	Fall 2	Fall 3	Fall 4
S_v' [bar]	90,6	35,6	98,6	98,6	98,6
S_{hmin}' [bar]	77,0	22,0	85,0	81,0	78,6
P_p [bar]	113,0	168,0	105,0	105,0	105,0

Die Darstellung der effektiven Spannungsdaten nach Mohr-Coulomb zeigt, dass im Deckgebirge nur geringe Scherspannungen vorhanden sind. Für eine Bezugsteufe von 1000 m TVDss ergibt sich, dass im Fall einer Porendruckabsenkung mit einem hohen Spannungskopplungskoeffizient (Fall 4) die Scherspannungen am stärksten ansteigen. Eine kritische Beanspruchung des Gebirges ist aber nicht zu erkennen (Abb. 50).

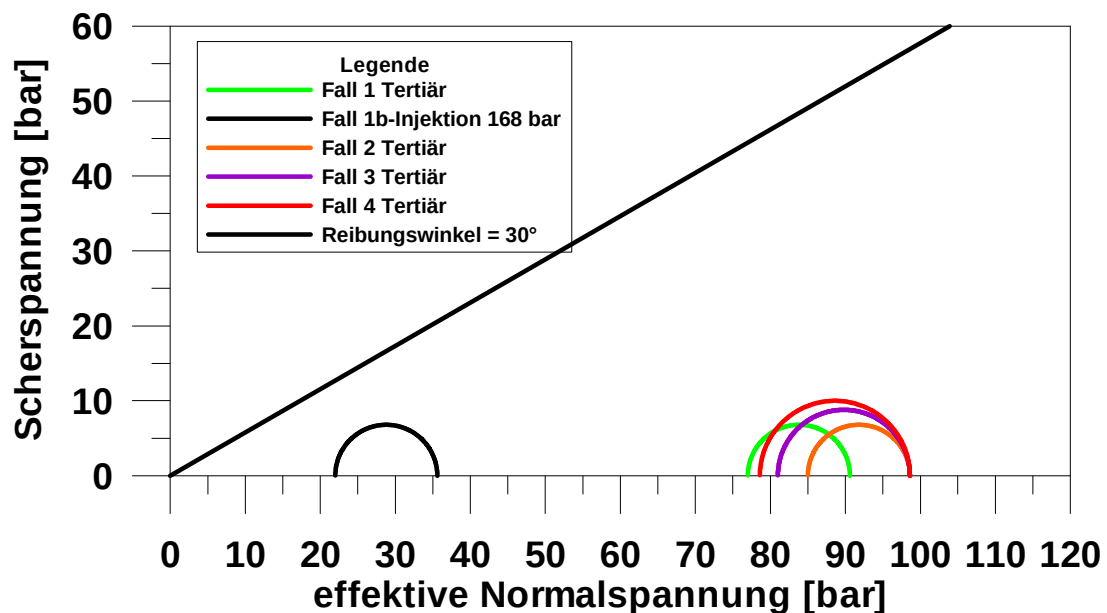


Abbildung 50: Darstellung nach Mohr-Coulomb für das Tertiär für eine Bezugsteufe von 1000 m. Eine Porendruckabsenkung von 8 bar führt nur zu vergleichsweise geringen Änderungen der Scherspannungen.

7.3 Auswirkungen der Änderung des Porendruckes der tertiären Tonsteine für eine Bezugsteufe von 150 m unter GOK

Im Bereich Apeldorn reicht der Bentheimer Sandstein bis in eine geringe Tiefe. Die Ausbisskarte des Bentheimer Sandsteins zeigt, dass der Bentheimer Sandstein an der Basis Tertiär bis zu einer Tiefe von etwa 150 m unter GOK ansteigt. Für diesen Fall soll die Veränderung des Spannungszustandes in dieser flachen Teufe an der Basis des Tertiärs betrachtet werden. Auch für diesen Fall wird angenommen, dass in geringer Tiefe (150 m) an der Grenzfläche des Bentheimer Sandsteins zum tonigen Tertiär der Porendruck um den gesamten Betrag von 8 bar abgesenkt wird. Dies entspricht einer Druckspielverringern von 80 m Wassersäule. Damit wären im Aquifer hier deutlich unterhydrostatische Bedingungen vorhanden. Dies ist möglicherweise nicht realistisch. Es wird aber als „Worst Case Szenario“ betrachtet.

Für die Bezugsteufe von 150 m unter GOK ergibt sich für das Deckgebirge im Tertiär, dass sich auch in diesem Fall durch die Druckabsenkung die effektiven Spannungen erhöhen. Berücksichtigt man eine Porendruck-Spannungskopplung, dann verändern sich auch für diesen Fall wieder die Scherspannungen. In Tabelle 18 sind die Spannungsverhältnisse der absoluten Spannungen für die einzelnen Situationen für eine Bezugsteufe von 150 m zusammengestellt.

Für diese flachen Teufen beträgt der Vertikalspannungsgradient 20 MPa/km. Der Gradient der minimalen Horizontalspannung wird für das tonige Tertiär mit 19 MPa beibehalten.

Der Porendruck in der Ausgangssituation (2016) wird wegen der geringen Teufen als hydrostatisch angenommen (215 bar). Somit ergeben sich für die absoluten Spannungen die Werte aus Tabelle 18.

Für die Standsicherheit im Bereich des Deckgebirges sind die effektiven Spannungen am Kontakt des Aquifers mit seinen Druckänderungen zum Tertiären Deckgebirge maßgeblich. Diese Daten sind in der Tabelle 19 zusammengestellt.

Tabelle 18: Absolute Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss

	Ausgangsbe- dingung 2016	Druckabsenkung um 8 bar ohne Koppl.	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,5	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,8
S_v' [bar]	30,0	30,0	30,0	30,0
S_{hmin}' [bar]	28,5	28,5	24,5	22,1
P_p [bar]	15,0	7,0	7,0	7,0

Tabelle 19: Effektive Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss

	Ausgangsbe- dingung 2016	Druckabsenkung um 8 bar ohne Koppl.	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,5	Druckabsenkung um 8 bar, Koppl.koeff. 0,8
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
S_v' [bar]	15,0	23,0	23,0	23,0
S_{hmin}' [bar]	13,5	21,5	17,5	14,1
P_p [bar]	15,0	7,0	7,0	7,0

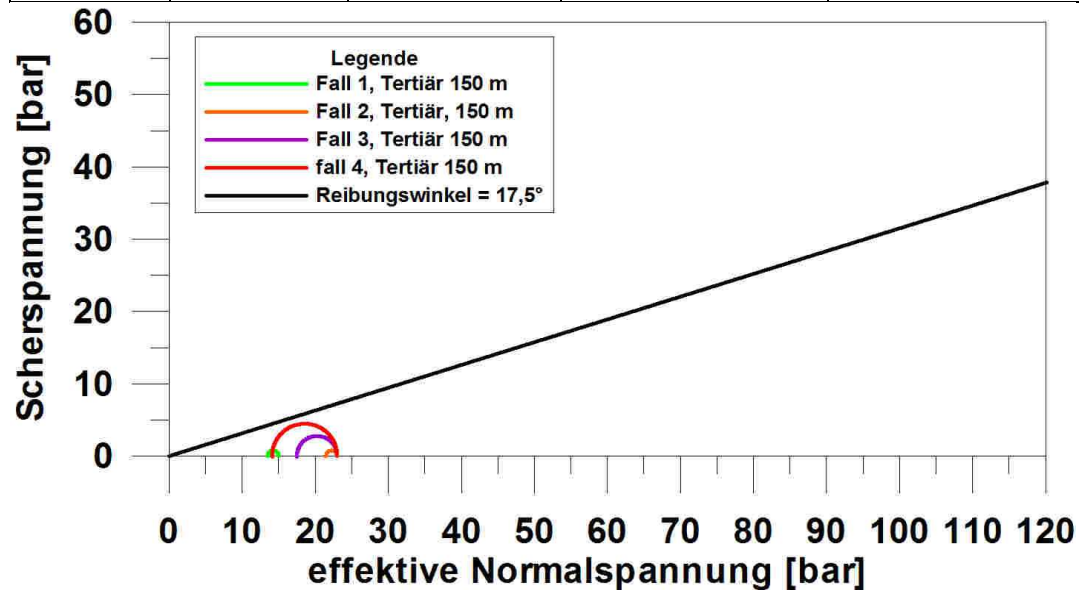


Abbildung 51: Darstellung nach Mohr-Coulomb für das Tertiär für eine Bezugsteufe von 150 m unter GOK. Selbst bei einer Porendruckabsenkung von 8 bar und einem Bruchkriterium von 17,5° Reibungswinkel ohne Kohäsion bleibt die Situation stabil.

Die Darstellung der effektiven Spannungsdaten nach Mohr-Coulomb für eine Teufe von 150 m unter GOK zeigt, dass im Deckgebirge nur geringe Scherspannungen vorhanden sind (Abb. 51). Fall 1 zeigt, dass im gegenwärtigen Zustand das Deckgebirge nicht kritisch beansprucht ist. Für eine Bezugsteufe von 150 m unter GOK ergibt sich, dass im Fall einer Porendruckabsenkung mit einem hohen Spannungskopplungskoeffizient (Fall 4) die Scherspannungen am stärksten ansteigen. Für die Gesteine des Tertiärs, die eventuell noch nicht voll konsolidiert sein, ist es möglich, dass diese sich noch ähnlich wie Tone verhalten. Besonders kritisch verhalten sich weiche und ausgeprägt plastische Tone. Nach DIN 1054 kann für diese ein Reibungswinkel von 17,5° angesetzt werden. Für weiche Tone wird hierbei die Kohäsion vollständig vernachlässigt. Diese Annahmen sind für den vorliegenden Fall sehr konservativ. Diese Linie mit einem Reibungswinkel von 17,5° ohne Kohäsion ist in Abbildung 51 als Bruchkriterium eingezeichnet. Wie sich aus der Abbildung ergibt, wird selbst unter diesen vorsichtigen Annahmen das

Bruchkriterium nicht verletzt.

8 Festigkeiten des Bentheimer Sandsteins

In Laborversuchen wurden einaxiale und triaxiale Druckfestigkeitsversuche an Bentheimer Sandsteinen ausgeführt (Klein & Reuschle 2003). Die Proben stammen aus dem Steinbruch Gildehausen nahe Bentheim. Klein und Reuschle (2003) beschreiben, dass es sich um das gleiche Material wie bei den Reservoirgesteinen des einige 10er Kilometer nördlich gelegenen Ölfeldes Schoonebeek handelt. Der Manteldruck (σ_3) und die maximale Festigkeit bei den triaxialen Druckversuchen sowie bei einem einaxialen Druckfestigkeitsversuch ($\sigma_3 = 0$) sowie die maximale Festigkeit (σ_1) sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Aus den Druckversuchen lassen sich die Scherparameter des Bentheimer Sandsteins ermitteln. Bei der Darstellung nach Mohr-Coulomb zeigt sich, dass der Bentheimer Sandstein über einen hohen Reibungswinkel und eine hohe Kohäsion verfügt. Insbesondere bei niedrigeren Spannungen ($\sigma_3 < 20$ MPa) kann der Reibungswinkel mit 45° angenommen werden. Die Kohäsion liegt dann bei 13 MPa (Abb. 52).

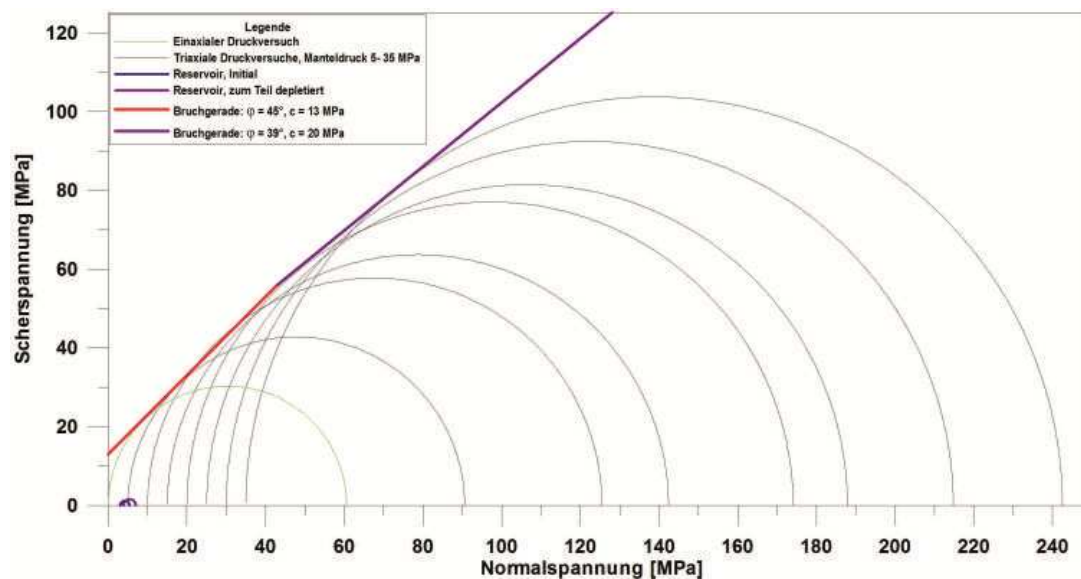


Abbildung 52: Mohr-Coulom'sche Darstellung des Bentheimer Sandstein im Labor im Vergleich mit den Reservoirdaten.

Die Spannungen, die im Reservoir bestimmt wurden, sind sehr viel geringer als die Festigkeiten, die im Labor an Sandsteinproben ermittelt wurden. Allerdings sollte man nicht die Folgerung ziehen, dass die Festigkeitsreserven im Reservoir entsprechend groß sind.

In den Bohrprotokollen ist beschrieben, dass Bereiche des Bentheimer Sandsteins sehr

mürbe sind und beim Bohren zerfallen. Auch eine Sandbildung bei der Produktion spricht gegen sehr hohe Festigkeiten der Sandsteine im Reservoir. Aus diesen Gründen sollten die Festigkeiten aus den Laborversuchen nicht überbewertet werden.

Tabelle 20: Zusammenstellung der Spannungsdaten der Druckversuche mit Bentheim Sandstein.

Manteldruck [MPa] = σ_3	Druckfestigkeit [MPa] = σ_1
0	60,6
5	90,6
10	125,5
10	129,6
15	142,4
20	174,1
25	187,9
30	214,8
30	215,6
35	242,5

9 Regionale Strukturen/Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland

Bei der Beurteilung der Standsicherheit und der Beurteilung der Störungszone im Ölfeld Rühlermoor, ist der Zusammenhang von Störungssystemen und der Gebirgsspannung von Interesse. Für steile Abschiebungen ist insbesondere die Orientierung der minimalen Horizontalspannung in Bezug auf die Störungsfläche sowie die Differenzspannung zwischen der Vertikalspannung und der minimalen Horizontalspannung von Bedeutung. Eine Bewegung auf der Abschiebungsfläche wird im Wesentlichen von folgenden Faktoren begünstigt:

1. niedriger Reibungswinkel der Störungsfläche
2. niedrige minimale horizontale Hauptspannung
3. minimale horizontale Hauptspannung normal zum Streichen der Störung

In den Anlagen des Rahmenbetriebsplans für Rühlermoor sind in Abbildung 1.1.2-17 die Störungszonen für drei Zeitintervalle mit den Versatzbeträgen dargestellt.

In der Anlage zum Rahmenbetriebsplan ist in Abschnitt 1.2.1.7 (Seismisch abgeleitete Störungssysteme Bentheim Reservoir und Tertiär) erläutert, dass sich der Vergleich der Störungssysteme im Reservoir mit dem Oberbau auf die Horizonte Basis Bentheim, Basis Tertiär und einen Horizont Intratertiär stützt. Der Intratertiär-Horizont korreliert mit Tuffitlagen im Unteren Eozän und liegt im Mittel ca. 65 m oberhalb der Tertiärbasis. Im Ölfeld Rühlermoor ist die Oberkreide im Feldesbereich überwiegend erodiert.

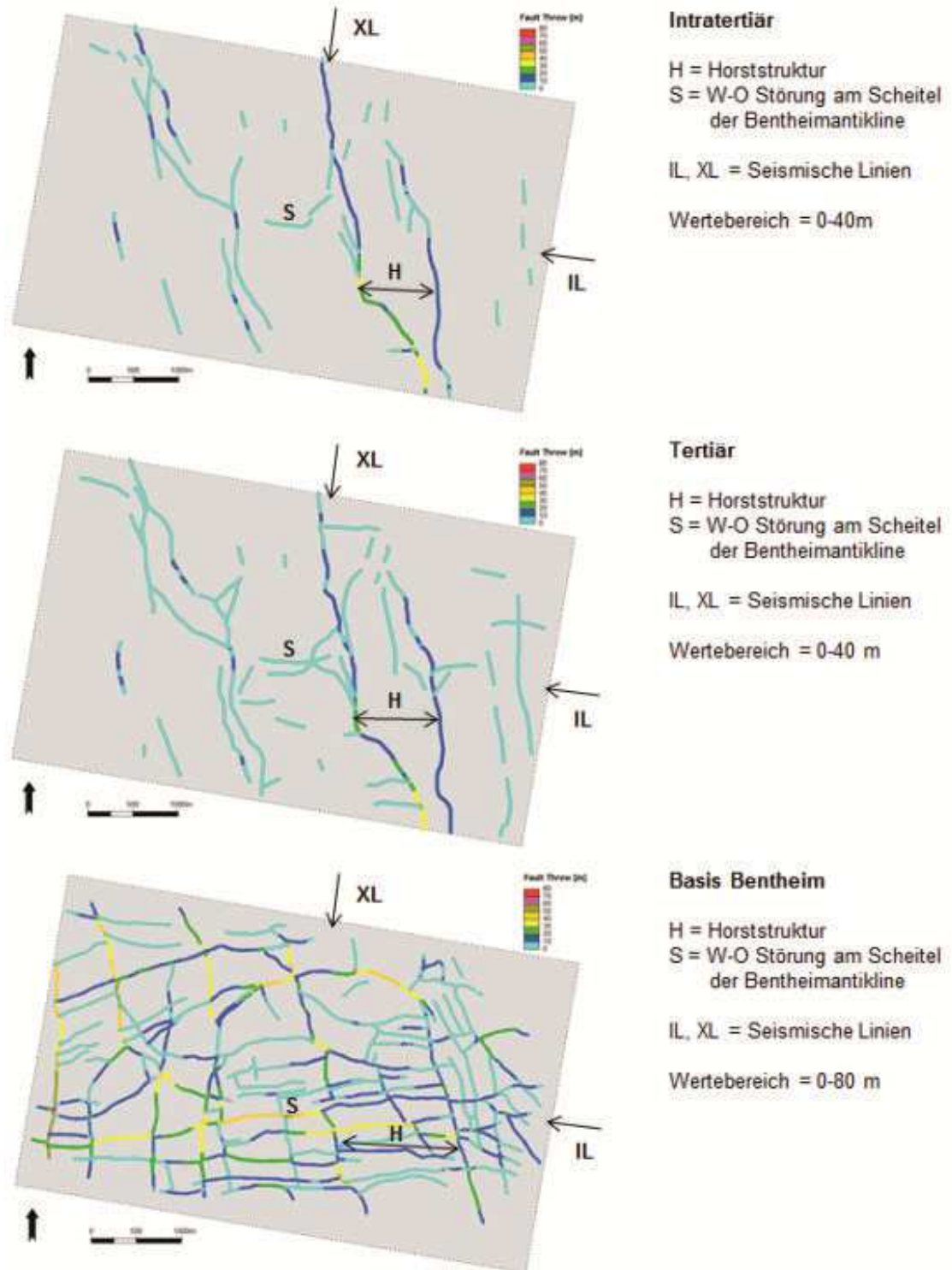
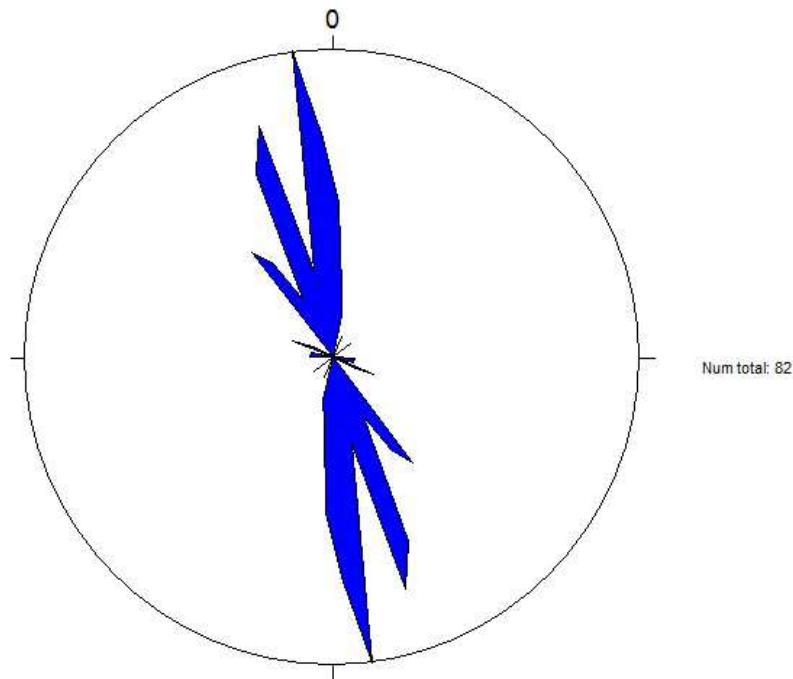


Abbildung 53: Streichrichtung der Störungen in der Erdöllagerstätte Rühlermoor. Dargestellt sind die Störungen im Intratertiär an der Basis des Tertiärs und an der Basis des Bentheim Sandsteins. (Quelle EMPG).

An der Basis des Bentheimer Sandsteins ist ein intensives Störungsmuster entwickelt. Man erkennt für das Bentheim Reservoir deutlich ein Aufbrechen in viele Blöcke und zwei Hauptrichtungen, ca. W-O und NNW-SSO. Die Basis Tertiär ist weniger gestört und die W-O Richtung ist kaum noch vorhanden. Dieses Bild wird noch klarer am Horizont Intratertiär. Es zeigt sich, dass für einige der an der Tertiärbasis erkennbaren W-O Lineamente im Tertiär kein Versatz erkennbar ist, jedoch in der Unterkreide unmittelbar unterhalb der Transgression. Wesentliche Ausnahme ist im Zentrum ein nach oben ausklingender Restversatz. Dieser hängt mit der Hauptstörung am Scheitel der Bentheimantikline zusammen. Ansonsten wird das Tertiär durch die NNW-SSO Richtung dominiert.

In Abbildung 53 (oben) sind die Richtungen der Störungen im Intratertiär dargestellt. Für jeweils 250 m Störungen wurde ein Richtungswert für das Intratertiär ermittelt und als Rosendiagramm dargestellt (Abbildung 54). Die bevorzugte Streichrichtung der im Intratertiär aktiven Störungen streicht NNW-SSO (ca. 150° bis 170°).



Streichrichtung der Störungen im Intratertiär: 10 ° Klassen

Abbildung 54: Richtungsrose der Störungen im Intratertiär. Ein großer Teil der im Intratertiär aktiven Störungen streichen NNW-SSO.

Die Horststruktur im O-W- Schnitt findet sich auch in Abbildung 55. Ein großer Teil der im Intratertiär aktiven Störungen streichen NNW-SSE und die Horststruktur wird von zwei Abschiebungen gebildet. Für das Intratertiär deutet dies auf eine Abschiebungstektonik nach der Ablagerung der eozänen Tuffe hin. Bei einer

Abschiebung streichen die Abschiebungen parallel zur maximalen Horizontalspannung. Eine vergleichbare tektonische Situation ist bei der Bildung des Oberrheingrabens vorhanden.

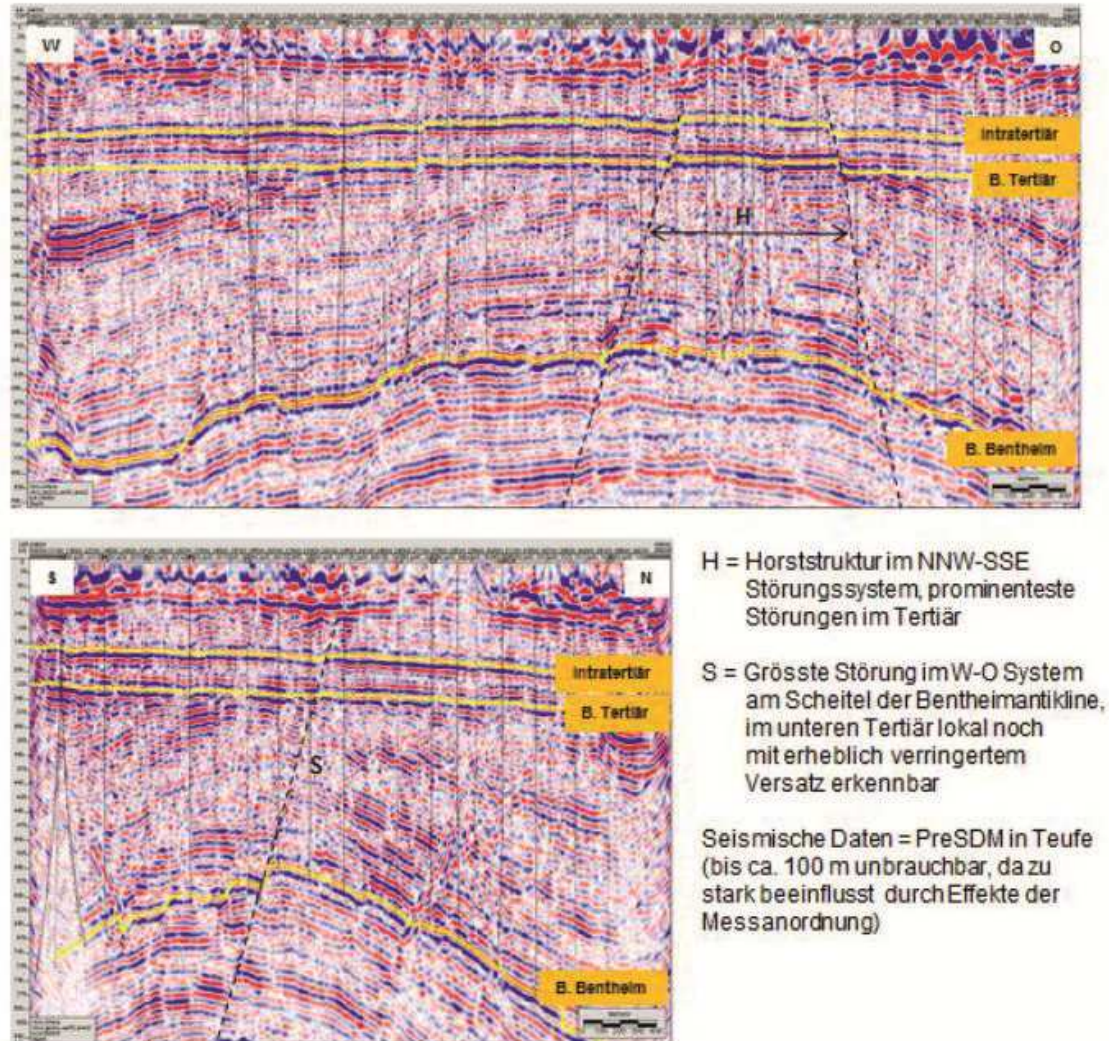


Abbildung 55: Störungen im Bereich Rührmoor im Schnitt. Die Störungen versetzen Benthheimer Sandstein, die Tertiärbasis sowie das Intratertiär mit abnehmenden Sprungbeträgen.

Die Richtung der maximalen rezenten horizontalen Hauptspannung im Subsalinar ist etwa vergleichbar mit der im Intratertiär. Hierbei ist aber zu beachten, dass die bekannten Spannungsdaten im norddeutschen Becken meist für Daten von subsalinen Gesteinen gut bekannt sind. Bei postsalinen Folgen ist das Bild, das sich für das Postsalinar ergibt, sehr uneinheitlich.

In Abbildung 56 wird die Streichrichtung der Störungen im Intratertiär mit der Richtung der schnellen Scherwelle verglichen.

Der Vergleich der Spannungsrichtung im Intratertiär (Orientierung der Störungsflächen)

mit der Orientierung der schnellen Scherwellen im Feld Rühlermoor zeigt eine relativ gute Übereinstimmung.

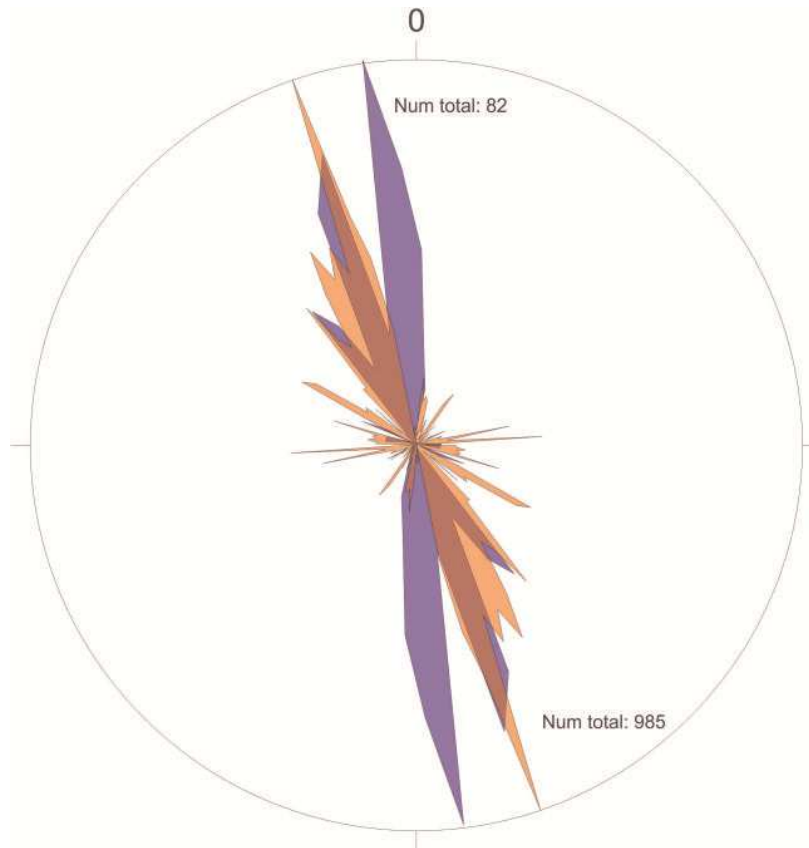


Abbildung 56: Streichrichtung der Störungen in der Erdöllagerstätte Rühlermoor (Blau). Dargestellt sind die Störungen im Intratertiär (Quelle EMPG) und die Richtung der maximalen Horizontalspannung abgeleitet aus der Richtung der schnellen Scherwelle (Orange).

Der Vergleich der Spannungsrichtung im Intratertiär (Orientierung der Störungsflächen) mit der Orientierung der bevorzugten Bohrlochrandausbrüche zeigt, dass die Richtung der rezenten maximalen Horizontalspannung im Deckgebirge von Rühlermoor deutlich voneinander abweichen.

Hieraus lässt sich folgern, dass sich die intratertiären Abschiebungen im rezenten Spannungsfeld beim Vorhandensein einer Abschiebungstektonik nicht gut reaktivieren lassen.

10 Mikroseismische Untersuchungen

Für die Beurteilung der Integrität des Deckgebirges sind neben den Änderungen der Gebirgsspannungen durch den Betrieb des Ölfeldes in erster Linie auch Störungen im Gebirge von Bedeutung.

Joswig (2016) weist darauf hin, dass die Lagerstätte und die Deckschichten durch eine Vielzahl ursprünglich W-O, dann NNW-SSO überprägter Störungen mit Versätzen im Zehnermeterbereich durchzogen werden. Prominent sind eine Horststruktur und die W-O Störung am Scheitel der Bentheimantiklinale sowie eine NNW-SSO streichende Streifenbildung. Er weist weiter darauf hin, dass im Bereich Rühlermoor bisher kein einziges Erdbeben registriert wurde. Eine Beurteilung der seismischen Gefährdung kann nur auf allgemeine, für ganz Norddeutschland gültige Einschätzungen zurückgreifen. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die Spannungsänderungen durch die Ölförderung und durch die Gasförderung nicht miteinander zu vergleichen sind. Im Bereich Rühlermoor liegen die Porendruckänderungen bei ca. 6 bar während in den Gasfeldern die Porendruckänderungen bei einigen 100 bar liegen. Durch die Kopplung der Spannungen und des Porendrucks sind die Änderungen der Scherspannungen in den Gasfeldern erheblich größer als in den Ölfeldern.

Um den Nachweis zu führen, ob durch die Dampfinktionen der Zustand geändert wird, wurde versucht, mittels hochempfindlicher Messungen noch kleinste seismische Ereignisse zu erfassen. Durch die nanoseismischen Untersuchungen sollten der Ist-Zustand der laufenden, durch Dampfinktion unterstützen Ölproduktion erfasst werden. In einem sogenannten „Stresstest“ sollte die Wirkung einer lokalen Dampfinktion, der Zustand erhöhter Spannungsbelastung, charakterisiert werden.

Für die Hintergrundmessung vor Beginn der Injektion sowie für den „Stresstest“ wurde eine Dauer von je 14 Tagen festgelegt, in der eine um zwei Magnituden, d.h. hundertfach bessere Empfindlichkeit erreicht werden sollte als das regionale Monitoring mit ML 1,5 (Joswig 2016). Diese Empfindlichkeit sollte durch registrierte Erdbeben nachgewiesen werden.

Für das „Nanoseismic Monitoring“ wurden vier Kleinarrays SNS1-SNS4 an der Oberfläche installiert (Abbildung 57). Die Arrays wurden im Abstand von 0,5 bis 2 km um den Injektor H25 platziert, der für den Stresstest mit Dampfinktion in 800 m Tiefe vorgesehen war. Die Hintergrundmessung wurde vom 20.01. bis 03.02.2014 durchgeführt.

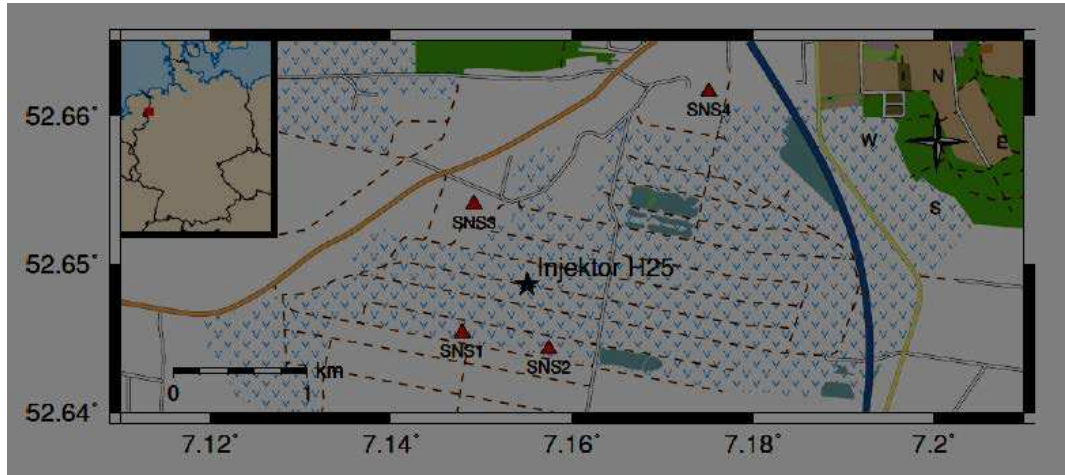


Abbildung 57: Auslage der Kleinarrays während der Hintergrundmessung [Walter, 2015]

Unter konstanten Produktionsbedingungen wurde vor und während der Messung im Bereich bei Injektor 651 (350 m nördlich von H25) Heißdampf mit 5,5 t/h und 50 bar Kopfdruk eingeleitet.

Die Auswertung der seismischen Überwachung ergab eine zweiwöchige Hintergrundmessung kein registriertes Beben im Erdölfeld Rühlermoor (Walter, 2015). Die Empfindlichkeit für die Überwachung des Gebiets konnte anhand des registrierten ML 2,4 Dinslaken Bebens aus 120 km Entfernung am 22.01.2014 kalibriert werden. Unter Berücksichtigung von lokalen Besonderheiten wird die Detektionsschwelle auf ML -1,2 angegeben.

Die Messung der Seismizität während erhöhter Injektion, dem sogenannten Stresstest erfolgte vom 27.01. bis 10.02.2015. Während dieser Zeit wurde nicht nur im Injektor H25 sondern auch in die vier Bohrungen H25, H50, RLMR 414 und RLMR 651 Dampf bei 270°C eingepresst. Für RLMR 651 blieb die Einpressrate bei 5 t/h und 55 bar Kopfdruk, bei den anderen drei Bohrungen wurden zwischen 3 t/h und 6 t/h mit ca. 60 bar verpresst. Während des Stresstests konnte im Messzeitraum kein einziges Beben oberhalb der Detektionsschwelle (ML -1,2) gemessen werden (Walter, 2015). Das Reservoir war auch bei der thermischen Beanspruchung seismisch nicht aktiv.

Joswig (2016) kommt zu dem Ergebnis, dass trotz konzentrierter Dampfinjektion mit kurzzeitiger, extrem erhöhter Empfindlichkeit der seismischen Überwachung zeigt keinerlei Hinweise auf aktivierte Schwächezonen für den Bereich der Dampfinjektion vorliegen. Der „Stresstest“ erhärtet demnach den Befund einer nicht absehbaren seismischen Gefährdung durch die Fortführung der Erdölproduktion in Rühlermoor.

Nach Kanamori & Brodsky (2001) ist das seismische Moment (M_0) mit der Größe der Herdfläche (D), dem Versatzbetrag (S) und dem Schermodul (G) über die Beziehung

$$M_0 = GDS$$

verknüpft.

Weiterhin gilt, dass die Magnitude M mit dem seismischen Moment über die Beziehung

$$M = (\log M_0 - 9,1)/1,5$$

verknüpft ist.

Nach Abercrombie & Leary (1993) hängen die Größe der Herdfläche und das seismische Moment zusammen. Der Spannungsabfall ist für kleine Erdbeben kleiner als bei einem großen Erdbeben (Abb. 58).

Für eine Magnitude (M) von -0,5 berechnet sich das seismische Moment zu $1,8 \times 10^8$ Nm und für eine Magnitude (M) von -1,2 ergibt sich ein seismisches Moment von 2×10^7 Nm. Abbildung 57 zeigt, dass die Größe der Herdfläche für einen geringen Spannungsabfall im Meterbereich bis 10er Meterbereich liegt.

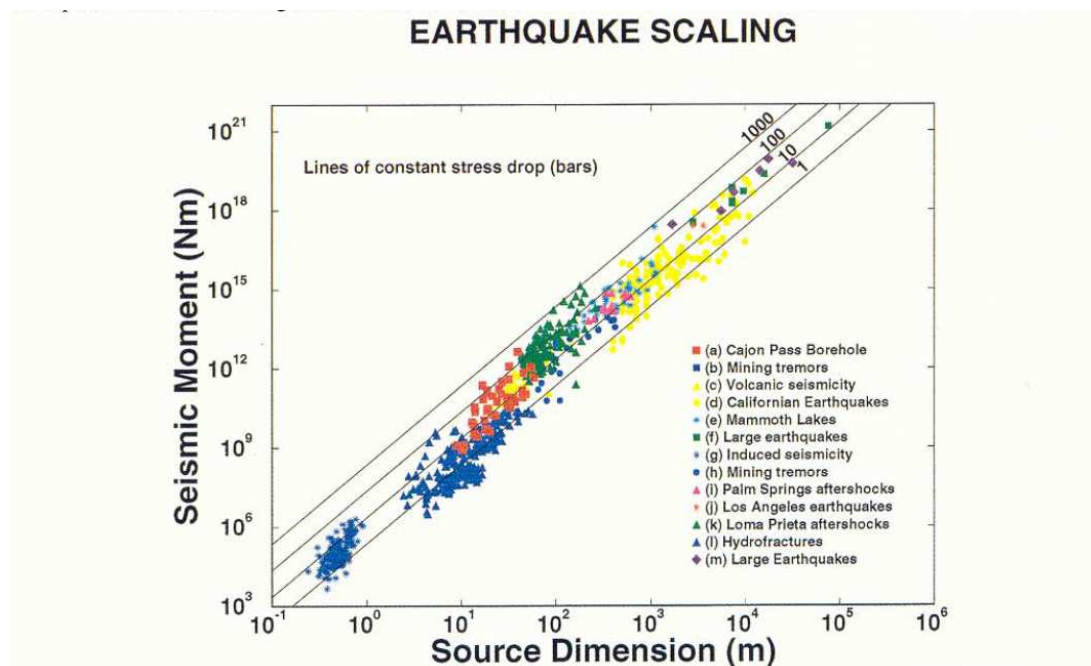


Abbildung 58: Seismisches Moment gegen die Größe der Herdfläche in Abhängigkeit vom Spannungsabfall. Für kleine Erdbeben ist der Spannungsabfall gering (Abercrombie & Leary, 1993)

Zur Abschätzung der Größe der Herdfläche bzw. des Versatzbetrages ist die Kenntnis des Schubmoduls von Wichtigkeit. Dieses kann aus felsmechanischen Versuchen bzw. aus den Sonic-Messungen abgeschätzt werden.

Der Elastizitätsmodul des Bentheimer Sandsteins liegt bei 2,3 GPa. Für die Bohrung Rühlermoor 801 sind in Abb. 35 die Poissonzahlen gegen die Teufe dargestellt. Im Teufenintervall von 575 bis 585 m sind keine Einschaltungen mit Tonsteinen im Sandsteinhorizont zu erkennen. Die Poissonzahlen für die Sandsteine liegen hier zwischen 0,332 und 0,390 und im Mittel bei 0,360 und sind somit deutlich höher als die typischen Werte, die in der Literatur genannt werden. Damit berechnet sich das statische Schubmodul zu etwa 0,845 GPa.

Aus den elastischen Wellen kann ebenfalls das Schubmodul ermittelt werden. Hierbei gilt die Formel:

$$G = v_s^2 \rho.$$

Für den Sandsteinhorizont der Bohrung Rühlermoor 801 zwischen 575 und 585 m betragen die mittlere Kompressionswellengeschwindigkeit (V_p) 2743,5 m/s und die mittlere Scherwellengeschwindigkeit 1280,4 m/s. Die mittlere Dichte des Bentheimer Sandsteins in der Bohrung Rühlermoor 801 liegt in diesem Intervall bei 2,15 g/cm³. Das dynamische Schubmodul beträgt 3,459 GPa.

Für die Abschätzung des möglichen Versatzes wird im Mittel ein Schubmodul von 2 GPa verwendet.

Für eine Detektionsschwelle der Magnitude von $M = -1,2$ (seismisches Moment von $2 \cdot 10^7$ Nm) wird von einer Herdfläche von minimal 10 m² ausgegangen (Abb. 57). Für diesen Fall ergibt sich ein Versatzbetrag an einer Herdfläche von $1 \cdot 10^{-3}$ m bzw. 1,0 Millimeter. Für eine größere Herdfläche wäre der Versatzbetrag noch kleiner.

Für eine Detektionsschwelle der Magnitude von $M = -0,5$ (seismisches Moment von $1,8 \cdot 10^8$ Nm) wird von einer Herdfläche von minimal 100 m² ausgegangen (Abbildung 57). Für diesen Fall berechnet sich der Versatzbetrag an einer Herdfläche zu $0,9 \cdot 10^{-3}$ m bzw. 0,9 Millimeter. Für eine größere Herdfläche wäre der Versatzbetrag ebenfalls noch kleiner. Die wesentlichen Angaben für die verschiedenen Szenarien sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Joswig (2016) beschreibt in seinem Gutachten, dass wegen der unmittelbaren Grenznähe der Produktionsfelder Rühlermoor die für den Norden der Niederlande mindestens gültige Schwelle $M_L 1,5$ (Moment = $2,3 \cdot 10^{11}$ Nm) ebenfalls angenommen werden kann. Trotz dieser hohen Empfindlichkeit wurde seit Beginn der Messungen im Jahr 1995 im Bereich Rühlermoor/Twist/Meppen kein einziges Erdbeben registriert. Entsprechend Abbildung 58 kann eine Herdfläche von etwa 10000 m² (100 m * 100m) angesetzt werden. Für diese Fläche berechnet sich der maximale Versatz zu 0,015 m (1,5 cm) für ein Beben der Magnitude 1,5.



Da dieses in den letzten 20 Jahren nicht aufgetreten ist, kann gefolgert werden, dass bei einer maximalen Herdflächengröße von etwa 10000 m kein Versatz stattgefunden hat, der größer ist als 1,5 cm. Bei diesen geringen Herdgrößen und den geringen Versätzen kann nicht davon ausgegangen werden, dass hierdurch eine Schädigung eines über 100 m mächtigen Deckgebirges mit sehr geringer Durchlässigkeit erfolgen könnte.

Tabelle 21: Zusammenstellung der Magnituden, seismischen Momente und Herdflächengrößen.

Magnitude [M]	seismisches Moment [Nm]	Schubmodul [GPa, MN/m ²]	Herdfläche [m ²]	Versatz [m]
-1,2	$2,0 \cdot 10^7$	2/2000	10	0,001
-0,5	$1,8 \cdot 10^8$	2/2000	100	0,0009
1,5	$2,3 \cdot 10^{11}$	2/2000	10000	0,015

11 Folgerungen

Als Bezugsstufe für das Erdölfeld Rühlermoor wird von einer Teufe von 1000 m ausgegangen. Bei der Beurteilung der Stabilität des Reservoirs und des Deckgebirges kommt es bei der Injektion von Verpresswasser und bei der Depletierung des Reservoirs auf eine möglichst genaue Bestimmung des Gradienten der minimalen Horizontalspannung an.

Je geringer die Differenzspannungen im Verpresshorizont und im Deckgebirge sind, umso unempfindlicher reagiert das System auf Porendruckänderungen.

Unter der Annahme, dass die minimale Horizontalspannung die kleinste Hauptspannung (σ_3) und die Vertikalspannung die größte Hauptspannung (σ_1) darstellen, ist das System auch bei einem Reibungswinkel von 17,5° und einer Porendruckerniedrigung von 8 bar stabil, wenn der Gradient der minimalen Horizontalspannung bei etwa 16,5 MPa/km im Reservoir und im Deckgebirge der Kreide liegt. Im Bereich des tonigen Tertiärs nähert sich der Gradient der minimalen Horizontalspannungen der Vertikalspannung an, so dass hier kaum noch Scherspannungen vorhanden sind.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Differenz zwischen der Vertikalspannung und der minimalen Horizontalspannung recht gering ist.

In einem anisotropen Horizontalspannungsfeld ist die Orientierung der minimalen Horizontalspannung auf der Störungsfläche von Bedeutung. Aus diesem Grund ist die Kenntnis der Orientierung der minimalen Horizontalspannung für die Stabilitätsbetrachtungen auf den vorhandenen Störungsflächen von Bedeutung.



Für den Bereich Rühlermoor ergibt sich, dass die Störungen im Intratertiär (nahe an der kritischen Stelle bei Apeldorn) annähernd orthogonal zur Richtung der maximalen horizontalen Hauptspannung orientiert sind. Die horizontale Normalspannungskomponente, die auf die Störungsflächen wirkt, dürfte vom Betrag zwischen der minimalen Horizontalspannung und der maximalen Horizontalspannung liegen und dazu führen, dass die Störungen vergleichsweise schlecht aktiviert werden können.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Durchlässigkeit der Störungsbahnen bzw. des Deckgebirges. Die Durchlässigkeit des Reservoirs ist relativ hoch, während die des Deckgebirges und der Störungen vermutlich sehr niedrig sind.

Die Durchlässigkeit von Störungszonen dürfte deutlich niedriger sein als die des Reservoirs. Der Druckaufbau in der Störungszone kann deshalb nur stark verzögert erfolgen. Nach Ende der Injektionen sinkt dann der Reservoirdruck im Verpresshorizont wegen der großen Durchlässigkeit aber bereits wieder ab, so dass sich das System wieder stabilisiert. Wirksam werden im Reservoir die Änderungen, die durch die Volumenbilanz erfolgen.

Der Primärspannungszustand zeigt, dass die Störungszonen nicht kritisch beansprucht sind. Nicht beanspruchte Störungszonen gelten im Allgemeinen als undurchlässig, während kritisch beanspruchte Störungszonen durchlässig sind (WIPRUT & ZOBACK 2000).

Die Störungsintegrität und Dichtigkeit des Deckgebirges im Bereich des Feldes Rühlermoor und des angeschlossenen Aquifers ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt gegeben. Eine Beeinträchtigung durch die geplanten Druckänderungen im Rahmen des Projektes „Erdöl aus Rühlermoor“ ist nicht zu erwarten.

12 Ausblick

Die vorgefundenen Fakten zeigen, dass der Spannungszustand im Deckgebirge, wegen der relativ niedrigen Differenzspannungen günstig ist.



13 Verzeichnisse

13.1 Abkürzungsverzeichnis

α	Biot-Koeffizient bei Poroelastischen Betrachtungen, Bruchwinkel in der Felsmechanik
μ	Reibungskoeffizient
$\Delta S_h / \Delta P$	Änderung der minimalen Horizontalspannung zur Änderung des Porendrucks
ν	Poissonzahl (Querdehnungszahl)
φ	Reibungswinkel
σ_1	(Betrag) maximale Hauptspannung
σ_2	(Betrag) mittlere Hauptspannung
σ_3	(Betrag) minimale Hauptspannung
σ_1'	effektive maximale Hauptspannung
σ_2'	effektive mittlere Hauptspannung
σ_3'	effektive minimale Hauptspannung
σ_f	Normalspannung auf Schwächefläche
σ_n	(absolute) Normalspannung
σ_n'	effektive Normalspannung
τ	Scherspannung
τ_f	Scherspannung an Schwächeflächen
BHTV	Borehole-Televiwer
FMS	Formation-MicroScanner
FMI	Formation-MicroImager
LBEG	Landesamt für Bergbau Energie und Geologie
MPa	Megapascal
MD	Measurement Depth (Messteufe)
M_L	Lokalmagnitude
MN/m^2	Meganewton pro Quadratmeter
NN	Normal Null
P_p	Porendruck
P_{Sp}	Spülungsdruck
S_{eff}	effektive Spannung
S_h	Richtung der kleinsten Horizontalspannung
S_H	Richtung der größten Horizontalspannung
S_t	Zugfestigkeit
S_v	Vertikalspannung
TVD	True Vertical Depth
TVDss	True Vertical Depth, subsea



13.2 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Orientierung der Bohrlochrandausbrüche in der Bohrung Rühlermoor 801, 1. und 2. Run.
- Tabelle 2: Richtung der maximalen Horizontalspannung im Suprasalinar
- Tabelle 3: Zusammenstellung der Breakoutdaten für den Datensatz Hebelermeer O-Z1_hdt_1 (4332,15 m bis 4499,34 m).
- Tabelle 4: Zusammenstellung der Breakoutdaten für den Datensatz Hebelermeer O-Z1_hdt_2 (4200,45 m bis 4313,00 m).
- Tabelle 5: Vertikalspannungen berechnet aus Schichtmächtigkeiten und Dichtedaten der Bohrung Rühlermoor 801.
- Tabelle 6: Vertikalspannungen aus Schichtmächtigkeiten und Dichtedaten der Bohrung Rühlermoor H25.
- Tabelle 7: Zusammenstellung der Vertikalspannungen und Vertikalspannungsgradienten für einige Bohrungen aus dem Bereich Rühlermoor.
- Tabelle 8: Minimale Druckgradienten am Rohrschuh im Bereich Rühlermoor die aus Zementationen ermittelten wurden.
- Tabelle 9: Absolute Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir Schoonebeek
- Tabelle 10: Effektive Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir Schoonebeek vor und nach Depletierung
- Tabelle 11: Porendruckgradienten für verschiedene Bohrungen im Bereich Rühlermoor.
- Tabelle 12: Wasseranalysen mit Angabe der Dichte des geförderten Wassers.
- Tabelle 13: Absolute Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir
- Tabelle 14: Effektive Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir
- Tabelle 15: Effektive Spannungen in den Sandsteinen im Reservoir
- Tabelle 16: Absolute Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss
- Tabelle 17: Effektive Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss
- Tabelle 18: Absolute Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss
- Tabelle 19: Effektive Spannungen für das Deckgebirge in einer Bezugsteufe von 1000 m TVDss
- Tabelle 20: Zusammenstellung der Spannungsdaten der Druckversuche mit Bentheim Sandstein.
- Tabelle 21: Zusammenstellung der Magnituden, seismischen Momente und Herdflächengrößen.

13.3 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: σ_3 ist die Hauptspannung (Normalspannung), die auf eine Fläche senkrecht zu S_1 wirkt. Ist die Fläche anders orientiert, können mit dem Mohrkreis die Normal- und Scherspannungen in Abhängigkeit von der Orientierung der Fläche berechnet werden. Häufig ist $\sigma_1 = S_v$ und $\sigma_3 = S_{\min}$.
- Abbildung 2: Spannungsindikatoren in Bohrkernen und im Bohrloch (aus Röckel & Lempp 2003).
- Abbildung 3: Schemazeichnung eines Petal-Centerline-Fractures nach Evans (1980) und Beispiel aus einer Bohrung aus einem Ölfeld in Norddeutschland aus einer Tiefe von 492 m.
- Abbildung 4: Beispiel der Auswertung der 6 Arm-Kalibermessung von Schlumberger in der Bohrung Rühlermoor 801. Hierbei handelt es sich um Messungen im Teufenbereich von etwa 50 bis 425 m und von 480 bis 620 m. Der Abstand der einzelnen Beispiele beträgt etwa 20 m. Unten sind die Konturen übereinander geplottet.
- Abbildung 5: Beispiel der Auswertung der 6 Arm-Kalibermessung von Schlumberger in der Bohrung Rühlermoor 25. Hierbei handelt es sich um Messungen im Teufenbereich von etwa 292 bis 472 m und von 529 m bis 596 m. Der Abstand der einzelnen Beispiele beträgt etwa 20 m.
- Abbildung 6: Zusammenstellung der Konturplots für 20 m Abstände in den Bohrungen Rühlermoor 801 und Rühlermoor H25. In schwarz ist der normierte Durchmesser der Verrohrung zu sehen. Ein sicherer Hinweis auf eine bevorzugte Spannungsrichtung kann nicht erkannt werden.
- Abbildung 7: Logplot für den Bereich (275 m) der Bohrung mit geringer Bohrlochneigung. a) Pad 1 Azimut, Bohrlochazimut und Neigung (nahezu vertikal). b) Radius der 6 Kaliberarme im oberen Teil der Bohrung Rühlermoor 801.
- Abbildung 8 : links: Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von Abbildung 7. Rechts: Plot der korrigierten Daten.
- Abbildung 9: Logplot für den Bereich (275 m) der Bohrung mit geringer Bohrlochneigung. a) Pad 1 Azimut, Bohrlochazimut und Neigung (nahezu vertikal). b) Radius der 6 Kaliberarme im oberen Teil der Bohrung Rühlermoor 801.
- Abbildung 10: links: Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von Abbildung 3. Rechts: Plot der korrigierten Daten.
- Abbildung 11: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche in der Bohrung Rühlermoor 801. Die Ausbruchsrichtung ergibt sich zu etwa $N168^\circ$. Hieraus ergibt sich die Richtung der maximalen Horizontalspannung zu etwa $N78^\circ$.
- Abbildung 12: Logplot für den Bereich von etwa 458 m bis 637 m. a) Pad 1 Azimut, Bohrlochazimut und Neigung (nahezu vertikal). b) Radius der 6 Kaliberarme im 81/2“ Bohrloch der Bohrung Rühlermoor 801.
- Abbildung 13: Stack der Rohdaten (links) und der Daten, bei der die Toolposition korrigiert wurde für den Teufenbereich von 475 m-500 m.
- Abbildung 14: Querschnitte, die sich aus der Schlumberger-Auswertung für diesen Tiefenbereich ergeben.
- Abbildung 15: Bohrlocherweiterung für die ausgebrochene Sektion von 458-497 m Tiefe.
- Abbildung 16 : links: Plot der Rohdaten aus dem Teufenintervall von 497,5 bis 618,9 m. Rechts: Plot der korrigierten Daten.
- Abbildung 17: Die Orientierung der gewichteten Längen der Bohrlochrandausbrüche im 2. Run der Bohrung Rühlermoor 801 ergibt eine Orientierung von $N5,5^\circ O$ und die der gewichteten Azimute ergibt eine Richtung von $N17,5^\circ O$. Die Richtung von $S_{H\max}$ kann mit etwa 102° angenommen werden.
- Abbildung 18: Zusammenstellung der Breakoutdaten für die Bohrung Rühlermoor 801 nach KIT Daten. Demnach sind die Ausbrüche bevorzugt in Richtung $N176^\circ$ orientiert.

- Abbildung 19: Im Tiefenbereich bis 332 m sind relativ starke allseitige Ausbrüche vorhanden. Relative Bearing und Pad1 Azimuth schwanken relativ stark.
- Abbildung 20: Übersicht über gepickte Breakouts in der Bohrung Rühlermoor H25.
- Abbildung 21: Zusammenstellung der Breakoutdaten für die Bohrung Rühlermoor H 25 nach KIT Daten. Demnach sind die Ausbrüche bevorzugt in Richtung N28° orientiert.
- Abbildung 22: a) Neigung in der Bohrung Meppen 22 gegen die Teufe. b) minimales und maximales Kaliber in der Bohrung Meppen 22 gegen die Teufe.
- Abbildung 23: Zusammenstellung der Breakoutdaten für die Bohrung Meppen 22 nach KIT Daten. Demnach sind die Ausbrüche bevorzugt in Horizontalrichtung orientiert.
- Abbildung 24: a) Neigung in der Bohrung Meppen 24 gegen die Teufe. b) minimales und maximales Kaliber in der Bohrung Meppen 24 gegen die Teufe.
- Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Spannungsindikatoren und der Richtung der schnellen s-Welle
- Abbildung 26: Orientierung der schnellen s-Welle in der Bohrung Rühlermoor 801 gegen die Teufe. Zusätzlich ist in brauner Farbe das Gamma-Ray dargestellt.
- Abbildung 27: Orientierung der schnellen s-Welle in der Bohrung Rühlermoor 801.
- Abbildung 28: Spannungsrichtungen im Deckgebirge im Norddeutschen Becken (nach Röckel & Lempp 2003). Zusätzlich wurden jüngere Daten in die Abbildung mit einbezogen. Die Richtung der maximalen Horizontalspannungen, abgeleitet aus der Bohrung Rühlermoor 801 ist in Orange und die der Bohrung Rühlermoor H25 ist in Pink dargestellt.
- Abbildung 29: Überblick über die Auswertung Hebelermeer O-Z1_hdt_2.
- Abbildung 30: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche im Subsalinar der Bohrung Hebelermeer Ost Z1 für den Teufenbereich von 4332,15 m bis 4499,34 m. Die Richtung der maximalen Horizontalspannung ergibt sich zu N146° bis N149°.
- Abbildung 31: Überblick über die Auswertung Hebelermeer O-Z1_hdt_1 (4200,45 m bis 4313,00 m).
- Abbildung 32: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche im Subsalinar der Bohrung Hebelermeer Ost Z1 für den Teufenbereich von 4200,45 m bis 4313,00 m. Die Richtung der maximalen Horizontalspannung ergibt sich zu N145° bis N153°.
- Abbildung 33: Richtungsrose der Bohrlochrandausbrüche im Subsalinar der Bohrung Hebelermeer Ost Z1 für den Teufenbereich von 4200 m bis 4450 m. Die Richtung der maximalen Horizontalspannung ergibt sich zu N153°.
- Abbildung 34: Spannungskarte Deutschland und angrenzende Gebiete (Reiter et al., 2016). Dargestellt sind Datensätze mit A-C Qualität der World Stress Map Datenbank 2016..
- Abbildung 35: SSO-NNW Schnitt im Bereich der Emlichheim-Rühle Scholle (Baldschuhn oder aus Franke et al. 2002).
- Abbildung 36: Shmin-Gradienten nach Sonic-Log in den Bohrungen Rühlermoor 801 und Rühlermoor H25.
- Abbildung 37: Druckgradiententest in der Bohrung Apeldorn H1.
- Abbildung 38: Minimale Horizontalspannungen die im Bereich Rühlermoor die aus hydraulischen-Tests, Sonic-Messungen und Zementationen ermittelten wurden.
- Abbildung 39: Verpumpte und zurückgeflossene Zementvolumen im Feld Schoonebeek (aus Foster et al. 2011)
- Abbildung 40: Gegendruck der beim Zementieren der Bohrungen in Schonnebeck gehalten werden konnte (aus Foster et al. 2011).
- Abbildung 41: Porendruck, Spülgewichte und Fracture-Gradient im benachbarten Ölfeld Schoonebeek (Foster et al 2011).



- Abbildung 42: Zusammenhang zwischen Bruchwinkel und Reibungswinkel.
- Abbildung 43: Mohr-Coulomb'sche Darstellung des Bentheimer Sandstein im Ölfeld Schoonebeek. Durch die Depletierung kommt es zu einem Anstieg der Scherspannungen im Reservoir.
- Abbildung 44: Fördervorhersage und Druckentwicklung des Aquifers (aus: RBP Teil 4, Kapitel 1.1.5 Lagerstättentechnische Beurteilung, Anlage 11 ExxonMobil)
- Abbildung 45: Hydraulischer Druck im Untereozän 1-Basisand für eine Referenztiefe von 250 m (ExxonMobil).
- Abbildung 46: Druckverlauf im Bereich des Injektors Rühlermoor H 11 (aus RBP Teil 4, Kapitel 1.1.5 Lagerstättentechnische Beurteilung, Anlage 6, ExxonMobil).
- Abbildung 47: Darstellung nach Mohr Coulomb für das Reservoir in einer Bezugsteufe von 1000 m. Eine Porendruckabsenkung von 8 bar führt nur zu vergleichsweise geringen Änderungen der Scherspannungen.
- Abbildung 48: Berechnung des Druckabfalls in Abhängigkeit von der Entfernung (Berechnung ExxonMobil).
- Abbildung 49: Darstellung nach Mohr Coulomb für das Reservoir in einer Bezugsteufe von 1000 m. Eine Porendruckerhöhung von 16 bar führt nur zu einer deutlichen Verschiebung des Mohrkreises. Das Bruchkriterium wird aber noch nicht verletzt.
- Abbildung 50: Darstellung nach Mohr Coulomb für das Tertiär für eine Bezugsteufe von 1000 m. Eine Porendruckabsenkung von 8 bar führt nur zu vergleichsweise geringen Änderungen der Scherspannungen.
- Abbildung 51: Darstellung nach Mohr-Coulomb für das Tertiär für eine Bezugsteufe von 150 m unter GOK. Selbst bei einer Porendruckabsenkung von 8 bar und einem Bruchkriterium von $17,5^\circ$ Reibungswinkel ohne Kohäsion bleibt die Situation stabil.
- Abbildung 52: Mohr-Coulomb'sche Darstellung des Bentheimer Sandstein im Labor im Vergleich mit den Reservoirdaten.
- Abbildung 53: Streichrichtung der Störungen in der Erdöllagerstätte Rühlermoor. Dargestellt sind die Störungen im Intratertiär an der Basis des Tertiärs und an der Basis des Bentheimer Sandsteins. (Quelle EMPG).
- Abbildung 54: Richtungsrose der Störungen im Intratertiär. Ein großer Teil der im Intratertiär aktiven Störungen streichen NNW-SSO.
- Abbildung 55: Störungen im Bereich Rühlermoor im Schnitt. Die Störungen versetzen Bentheimer Sandstein, die Tertiärbasis sowie das Intratertiär mit abnehmenden Sprungbeträgen.
- Abbildung 56: Streichrichtung der Störungen in der Erdöllagerstätte Rühlermoor (Blau). Dargestellt sind die Störungen im Intratertiär (Quelle EMPG) und die Richtung der maximalen Horizontalspannung abgeleitet aus der Richtung der schnellen Scherwelle (Orange).
- Abbildung 57: Auslage der Kleinarrays während der Hintergrundmessung [Walter, 2015]
- Abbildung 58: Seismisches Moment gegen die Größe der Herdfläche in Abhängigkeit vom Spannungsabfall. Für kleine Erdbeben ist der Spannungsabfall gering (Abercrombie & Leary, 1993)

14 Literatur

Abercrombie & Leary (1993): Source parameters of small earthquakes recorded at 2.5 km depth, Cajon Pass, southern California: Implications for earthquake scaling.- Geoph. Res. Lett. Volume 20, Issue 14, pp 1511-1514.

Babcock, E.A. (1978): Measurement of subsurface fracture from dipmeter logs, Am. Assoc. Petrol. Geologist Bull., 62: 1111-1126.

Bankwitz, P., Gross, U. & Bankwitz, E. (1993): Krustendeformation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jachimov-Zone.- Z. geol. Wiss., 21 (1/2), Berlin.

Baumann (1982): Spannung und Spannungsumwandlung im Rheinischen Schiefergebirge.- 232 S.- Koblenz (Numismat. Verlag).

Becker, A. & Paladini, S. (1990): In situ-Spannungen in Nord- und Mitteleuropa, Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, 10, 1-63

Bell, J.S. & Gough, D.I. (1979): Northeast-southwest compressive stress in Alberta: evidence from oilwells.-Earth Planet. Sci. Lett., 45: 475 - 482.

Blümling, P. (1986): In-Situ Spannungsmessungen in Tiefbohrungen mit Hilfe von Bohrloch-randausbrüchen und die Spannungsverteilung in der Kruste Mitteleuropas und Australiens, Dissertation, Universität Karlsruhe, 135 S.

Borm, G., Lempp, Ch., Natau O. & Röckel Th. (1989): Instabilities of borehole and drillcores in crystalline rocks, with examples from the KTB pilot hole.- Scientific Drilling, 1: 105-114, Springer.

Brie, A., F. Pampuri, A. F. Marsala, and O. Meazza (1995): Shear sonic interpretation in gas bearing sands, paper presented at 70th Annual Technical Conference and Exhibition, Soc. of Pet. Eng., San Antonio, Texas

Bruno, M.S. and Winterstein, D.F. 1992. Some Influences of Stratigraphy and Structure on Reservoir Stress Orientation, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 4-7 October. 24746-MS.

Cox, J.W. (1970): The high resolution dipmeter reveals dip-related borehole and formation characteristics.- 11th Ann. Logging Symp., Soc. Prof. Well Log Analysis.

Evans, M.A. (1980): "Fractures in oriented Devonian Shale cores from the Appalachian Basin", West Virginia University Department of Geology and Geography, Master Thesis, Morgantown, 277 S.

ExxonMobil Production: Rahmenbetriebsplan Rühlermoor – Lagerstättentechnik.

Foster, A., Pollema, A., Petitt, I., Heathman, J. F. Johnson, C. R. & Schlepers, R. (2011): Contemporary Approach Coupled With Traditional Techniques Tackles Extreme Wellbore Environment in Schoonebeek Heavy Oil Field 150022-MS SPE Conference Paper.

Fuchs, K., and B. Müller (2001), World Stress Map of the Earth: a key to tectonic processes and technological applications, Naturwissenschaften, 88, 357-371.

Heidbach, O., J. Reinecker, M. Tingay, B. Müller, B. Sperner, K. Fuchs, and F. Wenzel (2007), Plate boundary forces are not enough: Second- and third-order stress patterns highlighted in the World Stress Map database, Tectonics, 26, TC6014, doi:10.1029/2007TC002133.

Henk, A., A. Frischbutter, and K. S. Tawengi (2010), Geomechanical Reservoir Models - A Case Study from the Sirte Basin/Libya, Oil Gas European Magazin(1), 18-22.



- Hergert, T., and O. Heidbach (2011), Geomechanical model of the Marmara Sea region - II. 3-D contemporary background stress field, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-1246X.2011.04992.x, 01090-01102.
- Joswig, M. (2016): Gutachten zur seismischen Gefährdung für das Rühlermoor Redevelopment Projekt. Interner Bericht.
- Kanamori, H., and E. E. Brodsky (2004): The Physics of earthquakes, *Reports on Progress in Physics*, 67, 1429- 1496.
- Klein & Reuschle 2003: A Model for the Mechanical Behaviour of Bentheim Sandstone in the Brittle Regime.- pure and applied geophysics, Volume 160, Issue 5, pp 833-849.
- Kockel, F. (2002): Geologie des tieferen Untergrundes.- in: Der Landkreis Emsland, Geographie, Geschichte, Gegenwart, Herausgegeben von Werner Franke, Josef Grave, Heiner Schüpp und Gerd Steinwascher, Meppen 2002
- Knoll, P. (1979): Analyse der Gebirgsspannungen in Bergbaurevieren der DDR, *Freiberger Forschungshefte C*, 349, 61-73
- Lempp, Ch. & Röckel, Th. (1999): Bohrloch- und Bohrkern-Instabilitäten als Indikatoren des regionalen Spannungszustandes. Ber. 12. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie, 12.-16.4. 1999, Halle/S., 94-104, Fachsektion Ing.- Geol. DGG/DGGT.
- Leshchyshyn, T.H., Beadall, K.K., Meier, P.E., Hagel, M.W. & Meyer, B.R (2004): Using empirically developed rock tables to predict and history match fracture stimulations. –SPE 86989
- Lorenz, J.C., Finley, S.J. & Warpinski, N.R. (1990): Significance of coring-induced fractures in Mesaverde core, northwestern Colorado.- *AAPG Bulletin*, 74: No 7, 1017 - 1029.
- Moeck, I., G. Kwiatek, and G. Zimmermann (2009), Slip tendency analysis, fault reactivation potential and induced seismicity in a deep geothermal reservoir, *J. Struct. Geol.*, 31, 10.1016/j.jsg.2009.1006.1012.
- Morris, A., D. A. Ferrill, and D. B. Henderson (1996), Slip tendency analysis and fault reactivation, *Geology*, 24, 275-278.
- Moeck, I., and T. Backers (2011), Fault reactivation potential as a critical factor during reservoir stimulation, *First Break*, 29(doi: 10.3997/1365-2397.2011014), 73-80.
- Müller, B., Wehrle, V., Hettel, S., Sperner, B., Fuchs, F., 2003. A new method for smoothing oriented data and its application to stress data, in: Ameen, M. (Ed.), *Fracture and In-situ Stress Characterization of Hydrocarbon Reservoirs*. Geological Society, London, pp. 107-126.
- Natau, O., Borm, G. & Roeckel Th. (1990): Influence of Lithology and Geological Structure on the Stability of the KTB Pilot Hole.- In MAURY, V. & FORMAINTRAUX, D. (eds). *Rock at Great Depth*, Proc. Int. Symp. ISRM, 3, 1487 -1490, Pau, France.
- Neth, G. & Dietrich H.G. (1983): Entlastungsklüfte in Kristallin-Bohrkernen der Erdwärme-Forschungsbohrung Urach 3, S. 184-199 in: Unveröffentl. Endbericht der Stadtwerke Bad Urach über " Untersuchung der geothermischen Anomalie Urach auf eine mögliche wirtschaftliche Nutzung einschließlich Frac Studien in der erweiterten Forschungsbohrung Urach". Forschungsarbeiten im Rahmen der BMFT-Projekte 03-E-4023 A/BC sowie der EG-Projekte 176-77 EGD und 176-77 EGD Nachtrag NR. 1 vom 30.10.83.



Reiter, K., O. Heidbach, J. Reinecker, B. Müller, und Th. Röckel (2015), Spannungskarte Deutschland 2015 - Stress Map Germany 2015 -, ERDÖL ERDGAS KOHLE 131. Jg. Heft 11.

Roeckel, Th., Natau, O., Dietrich, H.G. (1992): Core reorientation by comparison of core instabilities and borehole instabilities.- In Emmermann, R., Dietrich, H.G., Lauterjung, J., und Wöhr, Th., (eds.), KTB Hauptbohrung, Results of the Geoscientific Investigation in the KTB Field Laboratory, 0-6000m, KTB Report 92-2: F1 - F17.

Röckel, Th. (1996): Der Spannungszustand in der Erdkruste am Beispiel der Tiefbohrungen des KTB-Programms, Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana, Karlsruhe.

Röckel, Th. & Lempp Ch. (2003) Der Spannungszustand im Norddeutschen Becken. ERDÖL ERDGAS KOHLE, 119, 2, 73-80.

Reiter, K., O. Heidbach, J. Reinecker, B. Müller, und Th. Röckel (2015), Spannungskarte Deutschland 2015 - Stress Map Germany 2015 -, ERDÖL ERDGAS KOHLE 131. Jg. Heft 11.

Roth, F., Bäsler, H., Weigold, G., Fuchs, K., Palmer, J. & Fleckenstein, P. (1998): Spannungsmessungen in Osteuropa- Orientierungsdaten aus Nordost-Deutschland, Weißrussland und der Ukraine.- ICDP/KTB-Kolloquium, Wissenschaftliches Programm und Abstracts, Bochum

Rummel, F. & Baumgärtner, J. (1982): Spannungsmessungen im östlichen Bereich der Süddeutschen Scholle.- Bericht an die BGR 145 S.

Sonder, L. J. (1990), Effects of density contrasts on the orientation of stresses in the lithosphere: Relation to principal stress directions in the transverse ranges, California, Tectonics, 9(4), 761-771.

Tingay, M., B. Müller, J. Reinecker, O. Heidbach, F. Wenzel, and P. Fleckenstein (2005), Understanding tectonic stress in the oil patch: The World Stress Map Project, The Leading Edge, 1276-1282.

Walter, M. (2015). Seismische Überwachung der Wasserdampfinjektion im Rühlermoor, Abschlussbericht vom 16.07.2015 zu Projekt-ID 14105 (im Auftrag von EMPG Deutschland), Seismic Solutions GbR, Esslingen.- in Joswig 2016.

Wiprut, D. & Zoback M.D. (2000), Fault reactivation and fluid flow along a previously dormant normal fault in the Norwegian North Sea, in press, Geology, v.28 #7 pp. 595-598.

Zang, A., O. Stephansson, O. Heidbach, and S. Janouschkowetz (2012), World Stress Map Database as a Resource of Rock Mechanics and Rock Engineering, Geotech. Geol. Eng., doi 10.1007/s10706-10012-19505-10706.

Zoback, M. L. (1992), First and second order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project, J. Geophys. Res., 97, 11703-11728.

Zoback, M. (2010), Reservoir Geomechanics, 2nd edition, 449 pp., Cambridge, Cambridge.



Internetliteratur

http://www.exxonmobil.com/Germany-German/PA/energy_ruehlermoor_projekt.aspx

<http://www.uni-miskolc.hu/~geofiz/Well-logging-methods.pdf>

https://www.emsland.de/pdf_files/das_emsland/kreisbuch_emsland.pdf

Piewak & Partner GmbH
Ingenieurbüro für Hydrogeologie und Umweltschutz
Bayreuth, 27.06.2016

Bearbeiter

Dr.-Ing. Thomas Röckel
Dipl.-Geologe

Geschäftsführer

Manfred Piewak
Dipl.-Geologe
Sachverständiger nach § 18 BBodSchG