

**Tanklager Bremen Farge
Verladebahnhof II
WE-Nr.: 147767**

**Hydraulische Betrachtungen und Prüfung der Funk-
tionalität der derzeitigen Abstromsicherung**

Auftraggeber : Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
Projektsteuerung : GESA Gesellschaft zur Entwicklung und Sanierung von Altstandorten mbH
Berichtsdatum : 25.05.2018
Projektleitung : Dr. Thomas Meyer-Uhlich, Dipl.-Geol. ☎ (0 51 31) – 70 99-30
Projektbearbeiter : Erhard Reutter, Dipl.-Geol. ☎ (0 51 31) – 70 99-47
Berichtsnummer : 05282
Seitenzahl : 24
Anlagen : 5
Mehrfertigungen : 2

INHALTSVERZEICHNIS

Anlagenverzeichnis.....	2
Abkürzungen und Symbole	2
1 Anlass und Aufgabenstellung	3
1.1 Auftraggeber und Auftragsdatum.....	3
1.2 Untersuchungsumfang	4
2 Kenntnisstand und Standortgegebenheiten	4
2.1 Örtliche Verhältnisse	4
2.1.1 Lage des Untersuchungsgebietes	5
2.1.2 Historische Nutzung	5
2.1.3 Geografische / Hydrografische Übersicht	6
2.1.4 Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse	6
2.2 Hydraulischer Sicherungs- / Sanierungsbetrieb.....	7
3 Beschreibung der Vorgehensweise	10
3.1 Grundlagenermittlung.....	10
3.2 Geologisch-hydrogeologische Bestandsaufnahme	11
3.3 Rechnerische Ansätze zu Ermittlung von hydrogeologischen Kenndaten.....	12
4 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse	13
4.1 Datengrundlagen.....	13
4.2 Geologisch-hydrogeologische Standortverhältnisse	15
4.3 Hydraulische Verhältnisse für ausgewählte Förderregime	17
5 Fazit und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageübersicht Untersuchungsgebiet.....	5
Abbildung 2: Entwicklung der Fördermengen im Anlagenbetrieb	9
Abbildung 3: Entwicklung der BTEX-Frachten in der Grundwasserförderung	9
Abbildung 4: Mengen geförderter Leichtphase	10
Abbildung 5: GW-Ganglinien vor Förderbeginn	16
Abbildung 6: Entwicklung der Förderraten in Brunnengruppe 1 und 2	18
Abbildung 7: Entwicklung der Förderraten in Brunnengruppe 3 und 4	19
Abbildung 8: Spannweiten der Förderraten über den bisherigen Überwachungszeitraum ..	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Anpassung Förderkonzept	8
Tabelle 2: Ausbaucharakteristika ausgewählter GWM.....	17

Anlagenverzeichnis

Anlage	1:	Übersichtskarte (M 1 : 50.000)
Anlage	2:	Detallageplan (M 1 : 1.000)
Anlage	3:	Geologisch-hydrogeologisches Profil
Anlage	4:	Lageplan Sielsysteme und Fundamente (M 1 : 1.000)
	4.1:	GW-Gleichenplan 16.12.2009
	4.2:	GW-Gleichenplan 20.10.2010
	4.3:	GW-Gleichenplan 29.11.2010
	4.4:	GW-Gleichenplan 12.03.2015
	4.5:	GW-Gleichenplan 17.12.2017
	4.6:	Lageübersicht neue Förderbrunnen und Beobachtungs-GWM
Anlage	5:	Tabellarische Übersicht hydrogeologische Kenndaten

Abkürzungen und Symbole

BTEX	- leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe
GOK	- Geländeoberkante
GW	- Grundwasser
GWM	- Grundwassermessstelle
ROK	- Rohroberkante
SRH	- Standrohrspiegelhöhe
UB	- Untersuchungsbereich

1 Anlass und Aufgabenstellung

In der Nutzungshistorie (vermutlich relevanter Zeitraum 1935 bis 1970-er Jahre) sind auf dem Standort „Tanklager Bremen Farge“ Boden- und Grundwasserverunreinigungen entstanden, die aus der Lagerung und Handhabung von Einzelkomponenten für Treibstoffe resultieren.

Den Schwerpunkt der Kontaminationen bildet der Verladeladebahnhof II.

Hier sind ab 2009 diverse Untersuchungskampagnen „Grundwasser“ durchgeführt worden, auf deren Grundlagen bereits 2010 eine aktive, hydraulische Maßnahme (Abstromsicherung) mit einer Leichtphasen-Entnahme in Betrieb genommen wurde. Aktuell wird hier von der berichterstattenden Gesellschaft eine Detailuntersuchung zur Erkundung der Belastung in der ungesättigten Zone und im Grundwasserschwankungsbereich durchgeführt, über die parallel berichtet wird.

Im Laufe des Anlagenbetriebes sind bereits verschiedene Modifikationen des Förderregimes vorgenommen worden, um sowohl die raum-zeitlichen Auswirkungen der Grundwasserabsenkung als auch die Erfassung und Entnahme der aufschwimmenden Leichtphasen zu optimieren.

Zur Überprüfung und Dokumentation der sachgerechten Ausführung des Anlagenbetriebes werden vom Anlagenbetreiber Kontrollmaßnahmen durchgeführt, denen ein standortspezifisches Überwachungskonzept zu Grunde liegt. Dieses berücksichtigt die zeitliche Entwicklung der hydraulischen und hydrochemischen Situation im Grundwasserleiter, die Wirksamkeit der Reinigungsleistung der GW-Behandlungsanlage sowie die Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte.

Basierend auf den Daten aus der durchgeführten Grundwasserüberwachung sowie weiteren Hintergrundinformationen wird in diesem Bericht eine Überprüfung und Bewertung der hydraulischen Wirksamkeit der Sicherungsmaßnahme vorgenommen und die Frage geprüft, ob die im Grundwasser ausgebildete Schadstofffahne durch die hydraulische Sicherungsmaßnahme vollständig gesichert wird.

1.1 Auftraggeber und Auftragsdatum

Die Bearbeitung der vorliegenden Aufgabenstellung erfolgt im Rahmen der Beauftragung zur Durchführung einer „Detailuntersuchung Boden im Bereich des Tanklagers II“. Grundlage hierfür bildet der Auftrag über freiberufliche Leistungen vom 10.04.2017 „BlmA Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge (WE147767) (GESA-Nr.

90103)“, Bestellnummer: 4501303305, der durch die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben, Berlin, vertreten durch die GESA mbH, Berlin, erteilt worden ist.

1.2 Untersuchungsumfang

Die Überprüfung und Bewertung des hydraulischen Wirkungsgrades der Sicherungsmaßnahme erfolgt auf Grundlage der aus der Anlagen- und Grundwasserüberwachung resultierenden Daten. Hierbei handelt es sich um

- Wasserstandsdaten aus Stichtagsmessungen,
- hydrochemische Laboruntersuchungen (Schadstoffparameter),
- Angaben zur Konfiguration der Förderbrunnen und
- Fördermengen.

Ergänzend werden die vorliegenden geologisch-hydrogeologischen Hintergrundinformationen berücksichtigt worden, um die hieraus resultierenden Systembedingungen bei der Auswertung und Interpretation der Daten berücksichtigen zu können.

Bei der Auswertung und Interpretation der vorliegenden Daten ergaben sich folgende Bearbeitungsschwerpunkte:

- Darstellung geologisch-hydrogeologisches Standortmodell,
- zeitliche Entwicklung des Förderbetriebs,
- Darstellung der raum-zeitlichen Auswirkungen des Förderbetriebs im Grundwasserleiter,
- Darstellung der Belastungssituation im Grundwasserleiter in Abhängigkeit vom Förderbetrieb,
- Prüfung des hydraulischen Wirkungsgrades der Abstromsicherung und
- Empfehlungen zur Optimierung der Abstromsicherung.

2 Kenntnisstand und Standortgegebenheiten

2.1 Örtliche Verhältnisse

Die Beschreibung der örtlichen Verhältnisse basiert im Wesentlichen auf Angaben des „11. Sachstandsberichtes zur Sanierung des Grundwassers im Bereich des Verladebahnhof 2 sowie Monitoringuntersuchungen im Bereich Verladebahnhof 2,

Verladebahnhof 1 und Hafen“ und wird durch die Ergebnisse der von unserem Unternehmen aktuell im Bereich des Tanklagers II durchgeführten Detailuntersuchung „Boden“ ergänzt.

2.1.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Tanklager Bremen Farge befindet sich im nordwestlichen Bereich des Landes Bremen im Stadtteil Bremen-Blumenthal. Westlich und südlich grenzen an das Betrachtungsgebiet Wohngebiete an, während nördlich und östlich Waldgebiete vorherrschen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Lageübersicht Untersuchungsgebiet

Das Tanklager umfasst heute 330 ha, wovon 2/3 auf bremischem und 1/3 auf niedersächsischem Gebiet liegen.

2.1.2 Historische Nutzung

Die historische Nutzung der Liegenschaft lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Errichtung zwischen 1935 und 1943
- Betrieb von 1945 bis ca. 1960 durch die US-Army
- Fortsetzung des Betriebs bis 2013 durch die Bundeswehr, technische Stilllegung bis Ende 2018.

Das Tanklager hatte eine unterirdische Lagerkapazität von rd. 320.000 m³. In seinem Endausbau verfügte das Tanklager über insgesamt 80 Erdtanks à 4.000 m³, die in

16 Behältergruppen zu je 5 Tanks zusammengefasst waren. Es diente dem Umschlag und der Lagerung von Kraftstoffen und Kraftstoffkomponenten, im 2. Weltkrieg ausschließlich für das Heer und die Luftwaffe. Neben verschiedenen Umschlagseinrichtungen waren auch Anlagen zur Herstellung unterschiedlicher Kraftstoffe aus angelieferten Einzelkomponenten vorhanden.

Der Verladebahnhof II wurde zwischen 1936 und 1941 errichtet. Es handelt sich um eine Gleisanlage zum Umschlag von Kraftstoffen. An 2 Gleisen, Verladegleis 1 und 2, erfolgte der Umschlag in Leitungen. Die Leitungen befinden sich in einem betonierten, begehbaren Rohrkanal zwischen den Gleisen. Bis 1966 wurden auch Kanister umgeschlagen.

Die Verladegleise sind seit 1989 auf einer Länge von ca. 225 m mit betonierten, offenen Auffangwannen von etwa 40 cm Tiefe gesichert.

2.1.3 Geografische / Hydrografische Übersicht

Das Tanklager befindet sich am Westrand der niedersächsischen Geest. Die Geländeoberfläche ist relativ eben und liegt im Norden auf einer Höhe von ca. 20 m ü. NN und fällt nach Süden auf ca. 16 bis 17 m ü. NN ab.

Im nahen Umfeld des Tanklagers ist auf der Geesthochfläche kein Netz an oberirdischen Gewässern ausgebildet. Vorflut für das Untersuchungsgebiet stellt die westlich, in ca. 1 km Entfernung in der Niederung verlaufende Weser dar. Die Unterweser ist tidebeeinflusst, wodurch der Abfluss zwischen rund 95 m³/s und 1.930 m³/s schwankt.

Östlich des Untersuchungsgebietes befindet sich in ca. 3 km Entfernung das Wasserwerk Blumenthal mit einer bewilligten Entnahmemenge von 7,3 Mio. m³/a. Das Tanklagergelände liegt zu großen Teilen innerhalb der Trinkwasserschutzzone III, der Bereich des Verladebahnhofs II innerhalb der Schutzzone III A.

2.1.4 Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

Der oberflächennahe Untergrund setzt sich im Betrachtungsgebiet aus pleistozänen Lockersedimenten zusammen, wobei im Bereich des Verladebahnhofs II überwiegend Feinsande verbreitet sind, die der sandigen Fazies der Lauenburger Schichten zugeordnet werden.

Wie in Anlage 3 veranschaulicht, wird der oberflächennahe Untergrund lokal von künstlichen Auffüllungen aufgebaut, deren Mächtigkeit zwischen wenigen Dezimetern (z. B. GWMS 03/13) und ca. 1 m schwankt (z. B. GWM 02/09).

An der Basis der künstlichen Auffüllungen wird die natürliche Schichtenfolge von Schmelzwassersanden eingeleitet, die Mächtigkeiten > 90 m erreichen. Es handelt sich überwiegend um dichtgelagerte Feinsande, die in den oberen 14 bis 16 m lokal Einschaltungen von geringmächtigen Schlufflagen und Geschiebemergel aufweisen. Gelegentlich sind bis zu ca. 4 m mächtige Mittelsande verbreitet, die allerdings keine weiträumige laterale Ausdehnung aufweisen. Unterhalb von einem Niveau von 4 m +NN sind in den feinsandigen Ablagerungen schluffige Anteile festzustellen.

Die Basis der eiszeitlichen Lockergesteinssedimente ist mit keiner der im Betrachtungsgebiet niedergebrachten Bohrungen erreicht worden.

In den Feinsanden ist ein Porengrundwasserleiter ausgebildet, der in Abhängigkeit des vorhandenen lithologischen Aufbaus als ± homogen zu charakterisieren ist und keine Grundwasser-Stockwerksgliederung aufweist.

Der Flurabstand liegt zwischen 14 m bis 16 m, wobei in der gesättigten Zone im Wesentlichen die Feinsande mit erhöhten Schluffanteilen verbreitet sind, deren Durchlässigkeitsbeiwert k_f im Vergleich zu den untergeordnet auftretenden (± reinen) Feinsanden ca. eine halbe 10er Potenz niedriger liegt. Der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert k_f wurde in einem durch HPC vorgenommenen Pumpversuch mit $k_f = 3,7 \times 10^{-5}$ m/s ermittelt. Die zugehörige Abstandsgeschwindigkeit wurde mit ca. 20 m/a bestimmt.

Auf Grund der Nähe zum Vorfluter ist der hydraulische Gradient gering und liegt bei 0,003. Obwohl in der Nähe zum Vorfluter ein aufwärts gerichteter hydraulischer Gradient zu erwarten wäre, herrscht im Untersuchungsgebiet ein zur Tiefe absteigender hydraulischer Gradient. Dieser wird auf die GW-Entnahme des Wasserwerks Blumenthal zurückgeführt.

Die Grundwasserfließrichtung ist nach Süd-Südwesten auf die Weser gerichtet.

2.2 Hydraulischer Sicherungs- / Sanierungsbetrieb

Maßnahmen zur hydraulischen Sicherung des mit Schadstoffen belasteten Grundwasserabstroms sind bereits 2010 ergriffen worden. Dabei sind ausgewählte

Grundwassermessstellen (GWM), die bis dahin im Rahmen der Detailuntersuchungen „Grundwasser“ erstellt worden waren, zu Förderbrunnen umgerüstet und in Betrieb genommen worden. Dabei wurde das Förderregime so ausgelegt, dass neben der Erfassung der gelösten Schadstoffanteile auch eine separate Leichtphasenentnahme realisiert werden konnte.

Zur Abreinigung des geförderten Grundwassers wurde eine zweistufige, horizontale Strippanlage mit nachgeschalteter zweistufiger Aktivkohlefilterung sowie für die Abluftreinigung eine dreistufige Aktivkohlefiltration installiert.

Die Entnahme der in den Förderbrunnen aufschwimmenden Leichtphase erfolgt mittels eines luftdruckgesteuerten Abschöpfsystems, wobei die Leichtphase in einem Vorlagebehälter aufgefangen und zur Beseitigung bereitgestellt wird.

Im Laufe des bisherigen Anlagenbetriebes ist die Konfiguration der Förderbrunnen in Etappen erweitert und das Förderregime optimiert worden (siehe Tab. 1):

Förderbrunnen	Zeitpunkt	Bemerkung
02/08, 01/09, 02/09, 03/09,04/09	08-2010	Startkonfiguration
02/08, 01/09, 02/09, 04/09	01-2014	03/09 verockert
02/08,02/09, 03/09, 04/09, 01/13 bis 06/13	01-2015	Erweiterung Brunnenkonfiguration, 03/09 nach Regeneration wieder in Betrieb

Tabelle 1: Übersicht Anpassung Förderkonzept

Die Entwicklung der über die Grundwasserbehandlungsanlage ausgetragenen Schadstofffrachten (Hauptkontaminant: BTEX), der abgeschöpften Mengen an Leichtphase sowie der Förderraten ist in den nachfolgenden Abbildungen 2-4 veranschaulicht:

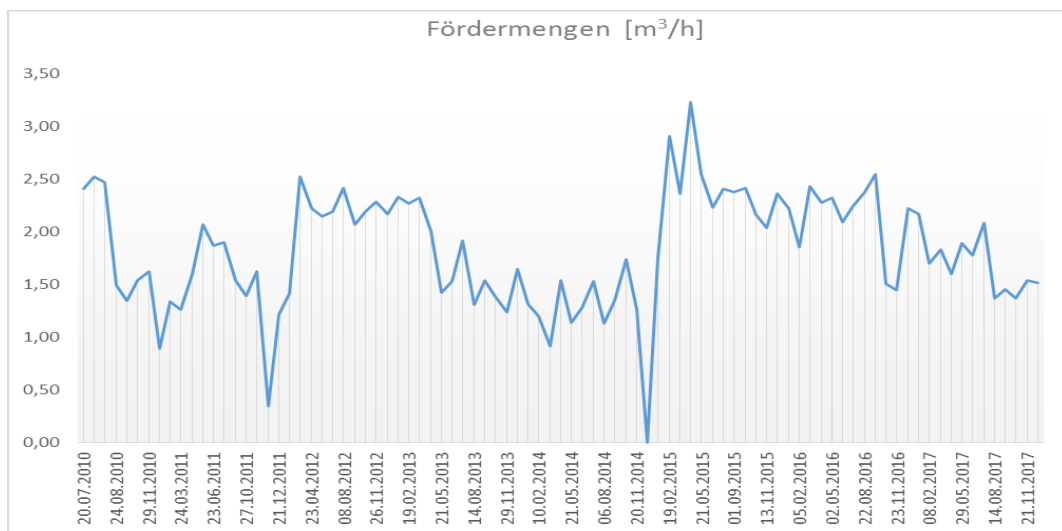


Abbildung 2: Entwicklung der Fördermengen im Anlagenbetrieb

Die im Zeitraum von 2010 bis Ende 2014 zu verzeichnenden Schwankungen in den Fördermengen sind vorwiegend auf Optimierungsmaßnahmen zurückzuführen, die der Mobilisierung von Leichtphase dienen sollten. Dabei sind unter Berücksichtigung der Grundwasserstandsentwicklung die Fördermengen so gewählt worden, dass möglichst keine Leichtphase in den Förderstrom -Grundwasser- und damit in die Grundwasserbehandlungsanlage gelangen konnte. Die ab Anfang 2015 festzustellende, deutliche Erhöhung der Fördermenge steht im Zusammenhang mit der zu diesem Zeitpunkt vorgenommenen Modifikation des Förderregimes, mit der weitere Förderbrunnen in den Anlagenbetrieb einbezogen wurden.

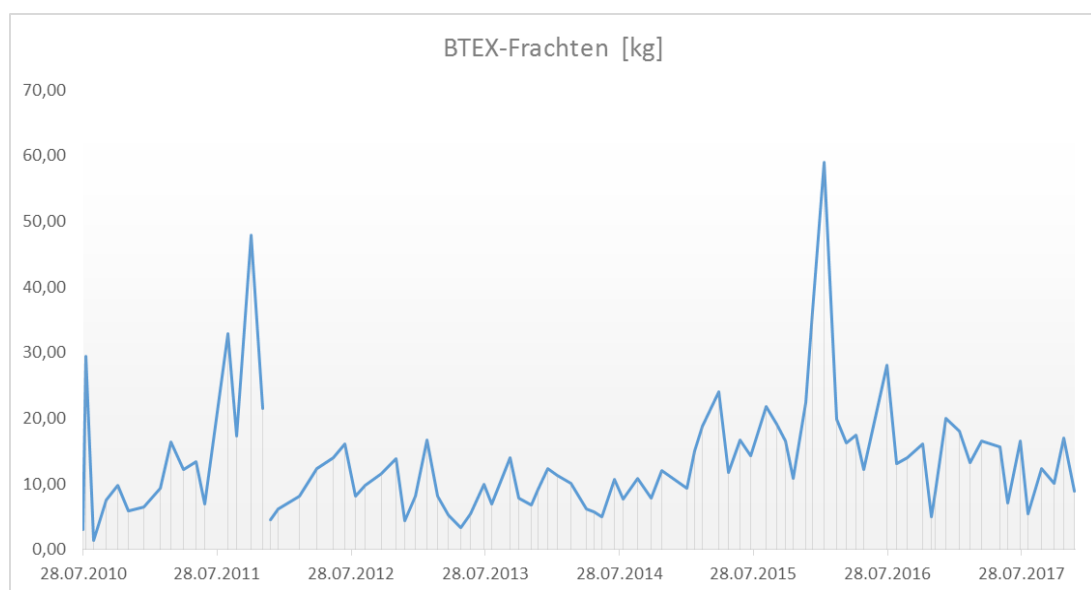


Abbildung 3: Entwicklung der BTEX-Frachten in der Grundwasserförderung

Die Entwicklung der BTEX-Frachten, die der Grundwasserbehandlungsanlage zugeführt wurden, spiegeln nur bedingt die Schwankungen in den Fördermengen wider. So bildet sich zum Beispiel die in 2012 im Vergleich zu den Vorjahren erhöhte Fördermenge nicht proportional in einer Erhöhung der Frachten ab.

Für den Zeitraum ab 2015, in dem eine merkliche Erhöhung der Fördermenge erfolgte, ist aber generell ein höheres Frachtniveau zu verzeichnen. Dieses nimmt auf Grund der seitdem tendenziell wieder abnehmenden Fördermengen ebenfalls wieder ab.

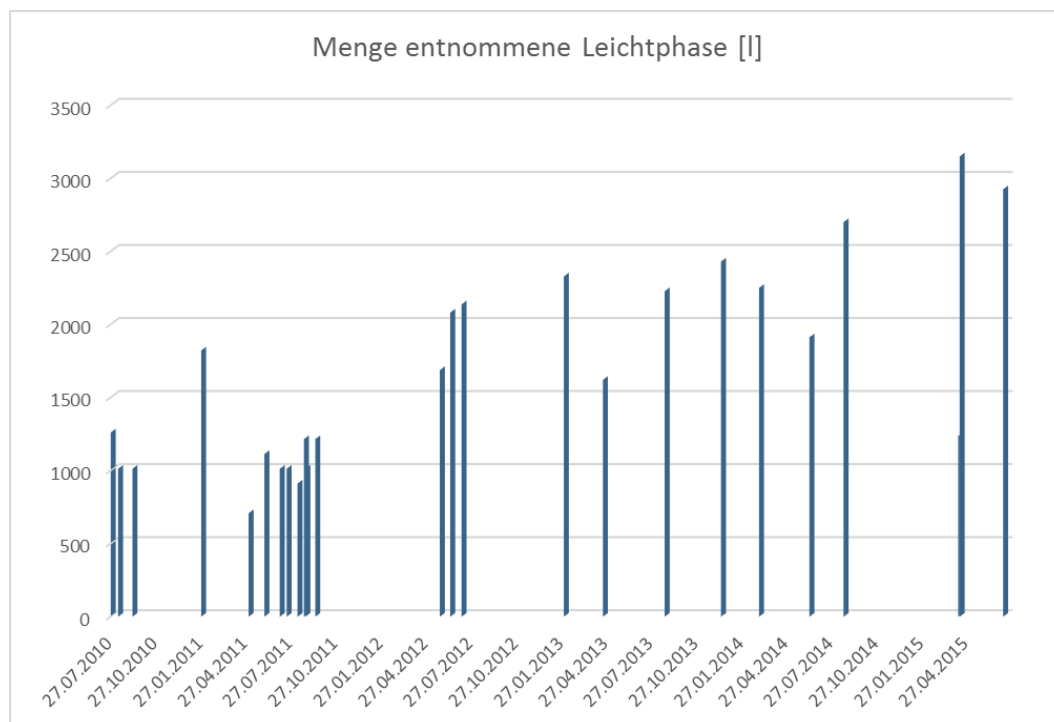


Abbildung 4: Mengen geförderter Leichtphase

Seit Betriebsbeginn konnten bis etwa Mitte 2015 rund 50 t an Leichtphase gewonnen werden. Auch hier sind die schwankenden Phasenzuflussraten auf die Wechselwirkungen zwischen den Förderraten der einzelnen Brunnen und den natürlich variierenden hydraulischen Systembedingungen zurückzuführen.

3 Beschreibung der Vorgehensweise

3.1 Grundlagenermittlung

Die im Zeitraum von 2009 bis 2013 durchgeführten Standortuntersuchungen als auch die Planung und fachtechnische Überwachung der hydraulischen Sicherung sind durch die Fa. HPC GmbH, Niederlassung Bremen, durchgeführt worden. Die aus diesen Projektphasen für die Bearbeitung der hier anstehenden Aufgaben-

stellungen relevanten Daten sind durch HPC zusammengestellt und der GEO-data zur Verfügung gestellt worden. Dabei handelt sich um folgende Daten:

- Stichtagsdaten Grundwasser
Zeitraum: 16.12.2009 bis 12.12.2017, monatliche Messintervalle für die Beobachtungs-GWM, Förderbrunnen sind teilweise mit Drucksonden/Datenloggersystem ausgerüstet
- Phasenmessungen
Zeitraum: 27.10.2010 bis 22.11.2017 (Beobachtungs-GWM), überwiegend monatliche Messintervalle, teilweise aber auch mit zeitlichen Abständen von bis zu 5 Monaten (2011/2012)
Zeitraum: 20.07.2010 bis 11.10.2017 (Förderbrunnen), unregelmäßige Messintervalle, zeitliche Abstände von bis zu 12 Monaten, Durchführung der Messungen teilweise durch die eingebauten Fördergerätschaften eingeschränkt
- Hydrochemische Überwachung Grundwasser
Zeitraum: 20.10.2009 bis 18.12.2017, Messintervalle in 2011: 3 x jährlich, 2012: 1 x jährlich (ausgewählte GWM 2 x), 2013 + 2014: 1 x jährlich, 2015 bis 2017: 1 x jährlich
- Bohrungen/GWM
Stammdaten, Schichtenverzeichnisse, Litho- und Ausbaulogs der Untersuchungslokationen im Bereich Tanklager II
- Grundwassermodell
Zusammenfassende Erläuterungen zu den modellhaften Betrachtungen in 2010 und 06.2016.

3.2 Geologisch-hydrogeologische Bestandsaufnahme

Die Auswertung der geologischen Hintergrundinformationen erfolgte im Hinblick auf die Darstellung und Bewertung des vorhandenen Schichtenaufbaus, dessen lithologischer Zusammensetzung und möglicher struktureller Inhomogenitäten, die insbesondere für das **hydrogeologische Standortmodell** von Bedeutung sind. Hierzu wurden die vorliegenden Schichtenverzeichnisse einer Auswertung unterzogen und zur Veranschaulichung der Standortverhältnisse ein geologisches Profil erstellt. Mit diesem Bearbeitungsschritt wurde die Grundlage für die Beurteilung der hydrogeologischen Eigenschaften und der vorherrschenden hydro-

lischen Randbedingungen (Barrieren, stockwerkstrennende Schichten, etc.) geschaffen.

Ziel und Gegenstand der hydrogeologischen Bestandsaufnahme war die

- Auswertung der vorliegenden Stichtagsdaten (GW-Stände) im Hinblick auf die Veranschaulichung der natürlichen GW-Strömungsverhältnisse sowie der hydraulischen Auswirkungen der Grundwasserentnahme im GWL
- Darstellung der Schadstoffentwicklung im Laufe der hydraulischen Sicherungsmaßnahme für ausgewählte Förderszenarien
- Prüfung, in welchem Umfang die abströmende Schadstofffahne durch die hydraulische Sicherung erfasst wird
- Bewertung der durch HPC vorgenommenen modellhaften Betrachtungen.

3.3 Rechnerische Ansätze zu Ermittlung von hydrogeologischen Kenndaten

Zur Veranschaulichung der hydraulischen Auswirkungen der aktiven Sicherungsmaßnahme sind die vorliegenden Informationen, wie Stichtagsdaten und Angaben aus dem Förderbetrieb, dazu herangezogen worden, um die Absenkungs- und Entnahmebereiche sowie die Einzugsgebiete für ausgewählte Förderszenarien ermitteln zu können. Die entsprechenden rechnerischen Ansätze werden nachfolgend aufgeführt:

- untere Kulmination: $x_u = \frac{B}{2\pi}$

für: x_u = untere Kulmination [m]

B = Entnahmebreite [m]

- Entnahmebreite: $B = \frac{Q}{k_f * M * I}$

für: B = Entnahmebreite [m]

Q = Entnahmemenge [l/s]

k_f = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

M = Mächtigkeit [m]

I = hydraulisches Gefälle [-]

- Zustrombreite (Brunnenhöhe): $\sim \frac{B}{2}$

für: B = Entnahmebreite [m]

- Beginn ungestörter Bereich: $D = \frac{x_u^2 * (\frac{B}{2})^2}{2 * x_{it}}$

für: D = Beginn ungestörter Bereich [m]

E = Entnahmebreite [m]

x_u = untere Kulmination [m]

M = Mächtigkeit [m]

I = hydraulisches Gefälle [-]

- Entnahmefläche: $F = \frac{\text{Entnahmemenge } Q}{\text{Grundwasserneubildung } GWN}$

für: F = Entnahmefläche [km²]

Q = [l/s]

GWN = [l/s * km²]

- Reichweite $r = \sqrt{\frac{2,25 \cdot T \cdot t}{S \cdot e^{\frac{4\pi \cdot T \cdot s}{Q}}}}$

für: r = Reichweite der Absenkung [m]

T = Transmissivität [m²/s]

Q = [m³/h]

t = Zeit nach Förderbeginn [s]

s = Absenkung im Abstand r [m]

S = Speicherkoeffizient [-]

Der für die rechnerische Abschätzung dieser hydrogeologischen Kennwerte herangezogene Durchlässigkeitsbeiwert k_f basiert auf einer durch HPC vorgenommenen Pumpversuchsauswertung und liegt bei $k_f = 3,7 \times 10^{-5}$ m/s. Zur Ermittlung des hydraulischen Gefälles wurde ein GW-Gleichenplan für den Stichtag 20.10.2009 herangezogen, um die im GWL vorherrschenden quasi-stationären, hydraulisch unbeeinflussten Verhältnisse zu erfassen. Danach ergibt sich ein hydraulisches Gefälle von $I = 0,003$.

4 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

4.1 Datengrundlagen

Die aus der Grundwasserüberwachung vorliegenden Daten sind vollständig, weisen unter Berücksichtigung der Überwachungsintervalle keine Datenlücken auf und zeigen ebenso keine signifikanten Abweichungen (Min./Max.-Verteilung, Extrem-

werte) in ihrer Werteverteilung. Die Zeitreihen der Messpunkte sind im Vergleich zueinander erwartungsgemäß inhomogen, da die Messpunkte (GWM) zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt und in die Grundwasserüberwachung integriert wurden. Es liegt aber eine ausreichende Datendichte vor, um die generellen Auswirkungen der hydraulischen Maßnahme (Grundwasserhydraulik, Entwicklung Belastungssituation) darstellen und Trends erkennen bzw. ableiten zu können.

Hinsichtlich der bisherigen Messintervalle ist anzumerken, dass diese teilweise zu große zeitliche Abstände aufweisen bzw. eine zumindest temporäre Anpassung der Überwachung im Fall von Änderungen im Förderregime nicht berücksichtigt worden ist. Dies betrifft insbesondere die hydrochemische Überwachung zu den in Tabelle 1 aufgeführten Zeitpunkten, bei denen Modifikationen im Förderregime vorgenommen worden sind. Insbesondere mit der Erweiterung des Förderregimes in 2015 war eine deutliche Modifikation im Anlagenbetrieb vorgenommen worden, die auf eine weiträumige Grundwasserabsenkung und Entnahme von Schadstoffen bzw. Leichtphase zielte. Eine zeitlich begrenzte, engere Überwachung des raumzeitlichen Absenkungsverhaltens, des Zustroms an gelösten Schadstoffen sowie dem Verhalten der Leichtphase (Veränderungen Mächtigkeit) hätte möglicherweise eine wirksamere Optimierung des Förderbetriebes ermöglicht.

Neben der hydraulischen Sicherung stellt die Entnahme der Leichtphase das wesentliche Element der Sicherungsmaßnahme dar, da damit eine deutliche Reduzierung des Schadstoffpotentials erreicht wird. Insofern wäre eine regelmäßige Erfassung der Phasenmächtigkeiten sinnvoll, um den Phasenzustrom in die Förderbrunnen optimieren zu können. Dazu reichen allerdings die bisherigen Überwachungsintervalle mit zeitlichen Abständen von bis zu einem Jahr nicht aus.

Zur Konfiguration der Förderbrunnen, des Förderregimes sowie der Abschätzung der damit verbundenen raum-zeitlichen Auswirkungen im Grundwasserleiter sind vom Anlagenbetreiber modellhafte Betrachtungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten liegen in Form einer zusammenfassenden Erläuterung (Modellansatz 2010) und einer PowerPoint-Präsentation (Modellansatz 2016) vor. Ein detaillierter Erläuterungsbericht mit Dokumentation der Ergebnisse und Modellansätze wurde nicht erstellt. Insofern lässt sich der Modellansatz nur eingeschränkt bewerten.

Nach den vorliegenden Informationen berücksichtigt der Modellaufbau einen feinsandigen Aufbau. Inwieweit hier bei der hydrogeologischen Charakterisierung k_f -Anisotropien (horizontal/vertikal) berücksichtigt worden sind, die auf Grund der schluffigen Anteile in der gesättigten Zone anzunehmen sind, ist nicht bekannt. Zur Kalibrierung des Modells wurde eine Stichtagsmessung herangezogen, Angaben

über die Korrelation von gemessenen zu berechneten Grundwasserständen liegen nicht vor. Zudem existieren keine Angaben zum Umfang der berücksichtigten GWM. Etliche der auf dem Standort vorhandenen GWM weisen eine Mehrfachverfilterung im Ausbaustrang vor, so dass die gemessenen Wasserstände ein Mischpotential aufweisen und somit nur eingeschränkt bei der Erstellung von GW-Gleichenplänen herangezogen werden sollten (Anmerkungen hierzu siehe Pkt. 5.2). Insofern ist ein Teil der Beobachtungslokalationen bzw. deren Ganglinien für einen Modellabgleich nicht geeignet.

Entsprechend der vorgenommenen Generalisierung der Standortverhältnisse sollte das Strömungsmodell vorrangig als Prinzipmodell betrachtet werden, anhand dessen die komplexen Strömungsverhältnisse, die aus dem Betrieb des Brunnen-systems resultieren, veranschaulicht und als eine Grundlage für weitere Optimierungsschritte genutzt werden kann.

4.2 Geologisch-hydrogeologische Standortverhältnisse

Wie bereits unter Pkt. 2.1.4 erläutert, stellt sich der geologische Aufbau des Untergrundes bis zur erreichten Aufschlusstiefe relativ einfach dar. Die eiszeitliche Lockergesteinsabfolge wird im Wesentlichen von einem Feinsand dominiert, der im unteren Abschnitt schluffige Anteile aufweist. Nach den vorliegenden Schichten-verzeichnissen sind in der Feinsandabfolge keine flächenhaft aushaltenden Schluff- oder Tonhorizonte zu verzeichnen. Geringmächtige, dicht gelagerte Schluffbänder wurden im Bereich des Tanklagers II nur in den Bohrungen GWMS 02/08, 01/09 bis 03/09 angetroffen.

Basierend auf der vorgenommenen Sichtung und Auswertung der vorliegenden Schichtenverzeichnisse ergeben sich keine Anhaltspunkte, das bisher von HPC beschriebene, geologische Standortmodell zu modifizieren.

Ausgehend von den regionalen geologisch-hydrogeologischen Verhältnissen ist der im Bereich des Verladebahnhofs II ausgebildete Porengrundwasserleiter Teil eines weiträumigen, überregional bedeutenden Grundwasservorkommens. Im Bereich der Liegenschaft herrscht ein geringes hydraulische Gefälle vor ($I = 0,003$), woraus unter Ansatz der unter 2.1.4 aufgeführten hydrogeologischen Kennwerte eine Abstandsgeschwindigkeit von rund 20 m/a unter unbeeinflussten Bedingungen resultiert. Basierend auf Stichtagsmessungen, die in 2010 vor Inbetriebnahme der hydraulischen Sicherungsmaßnahmen durchgeführt wurden, zeichnen sich nur geringe Grundwasserstandschwankungen in den Ganglinien ab (siehe Abbildung 5). Eine Ausnahme bildet die GWMS 02/08, die zu einzelnen Zeitpunkten ein deutliches

Absinken des GW-Spiegels zeigt. Da die Gangliniencharakteristik dieser GWMS keine auffälligen Max-Spitzen aufweist, muss davon ausgegangen werden, dass die negativen Spiegeländerungen durch technische Maßnahmen verursacht wurden.

Die in Abbildung 5 veranschaulichten Ganglinien zeigen des Weiteren die Abhängigkeit des Grundwasserstandes von der jeweiligen Filterlage (siehe Tabelle 2):

So zeigen die im tiefen Abschnitt des GWL verfilterten GWMS 05/09 und 03/07 t einen \pm gleichmäßigen Verlauf der Ganglinie bei etwa 2,2 m +NN, während die im oberen Abschnitt verfilterten GWMS 03/07 f einen ebenfalls gleichförmigen Verlauf bei 2,8 m +NN aufweist.

Der Ausbaustrang der GWMS 02/09 weist eine 3-fach Verfilterung auf, wobei der GW-Stand im Beobachtungszeitraum Schwankungen zwischen etwa 3,6 m +NN und 3,2 m +NN aufweist. Die im Untersuchungsgebiet vorherrschenden vertikal absteigenden Gradienten zeigen sich deutlich in den GWMS 01/06 f+t, 04/07 f+t und 03/07 f+t.

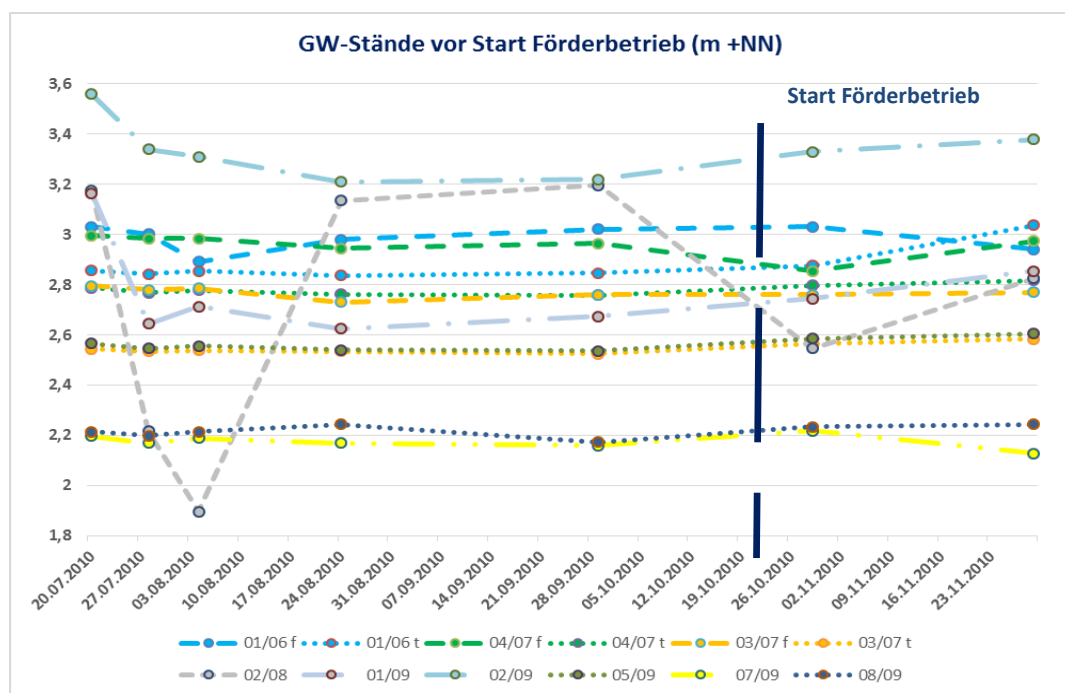


Abbildung 5: GW-Ganglinien vor Förderbeginn

Die Ausbaucharakteristika ausgewählter GWMS sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

GWMS	Bohr Φ [mm]	Ausbau Φ [mm]	Filterstrecke (m u. GOK)	Tonsperre (m u. GOK)	T/U-im Bohrprofil (m u. GOK)
02/08	320	125	15,00 – 25,00	GOK – 4,00	17,50 – 17,70
01/09	324	140	13,00 – 21,00 24,00 – 30,00	0,50 – 12,00 21,50 – 23,50	20,40 – 20,50 16,00 – 21,00 (Schluffbänder)
02/09	324	140	13,00 – 22,00 24,00 – 28,00 30,00 – 35,00	1,00 – 12,00 22,50 – 23,50 28,50 – 29,50	26,00 – 26,30
03/09	324	140	13,00 – 22,00 24,00 – 30,00	0,70 – 12,00 22,50 – 23,50	22,00 – 24,00
04/09	324	140	21,80 – 28,80	1,00 – 21,80	-
05/09	324	140	30,45 – 35,45	1,00 – 30,00	-
07/09	324	140	13,00 – 22,00 24,00 – 30,00	0,50 – 12,00 22,50 – 23,50	8,50 – 9,70
08/09	324	140	13,40 – 22,20 24,20 – 30,05	0,70 – 12,50 22,20 – 23,50	2,00 – 4,20 13,50 – 16,00
04/07 f	320	115	16,00 – 20,00	2,00 – 4,00	-
04/07 t	320	115	36,00 – 40,00	1,50 – 3,50	-
03/07 f	320	115	16,00 – 20,00	1,00 – 3,10	21,50 – 21,70
03/07 t	320	115	36,00 – 40,00	1,00 – 3,10	25,40 – 25,70

Tabelle 2: Ausbaucharakteristika ausgewählter GWM

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, herrschen in den GWMS mit Mehrfachfiltern in einem Ausbaustrang Mischpotentiale vor. Grundwasserstände aus derart ausgebauten GWMS sollten bei der Erstellung von GW-Gleichenplänen nicht berücksichtigt werden, da hierdurch nicht zutreffende hydraulische Verhältnisse vorgetäuscht werden können.

4.3 Hydraulische Verhältnisse für ausgewählte Förderregime

Für die Darstellung der hydraulischen Verhältnisse für ausgewählte Zeitpunkte bzw. Förderregime sind in Abhängigkeit der räumlichen Lage und der raum-zeitlichen Auswirkungen auf den Grundwasserleiter einzelne Förderbrunnen zu Brunnengruppen zusammengefasst worden. Die hieraus resultierenden Charakteristiken der

Fördermengen über den Betriebszeitraum sind in den Abbildungen 6 + 7 veranschaulicht. Die Auswahl der Zeitpunkte orientiert sich an den in Tabelle 1 aufgeführten Modifikationen im Anlagenbetrieb und berücksichtigt des Weiteren den Stichtag 17.12.2017, um die hydraulischen Verhältnisse am Ende des hier betrachteten Beobachtungszeitraums und deren Auswirkungen auf das Belastungsbild im GWL mit in die Bewertung einbeziehen zu können. Folgende Einzelbrunnen wurden zu 4 Brunnengruppen zusammengefasst:

- Brunnengruppe 1: 06/09 + 04/09
- Brunnengruppe 2: 01/13 + 02/08
- Brunnengruppe 3: 02/13 + 05/13 + 1/09 + 03/13
- Brunnengruppe 4: 02/09 + 06/13.

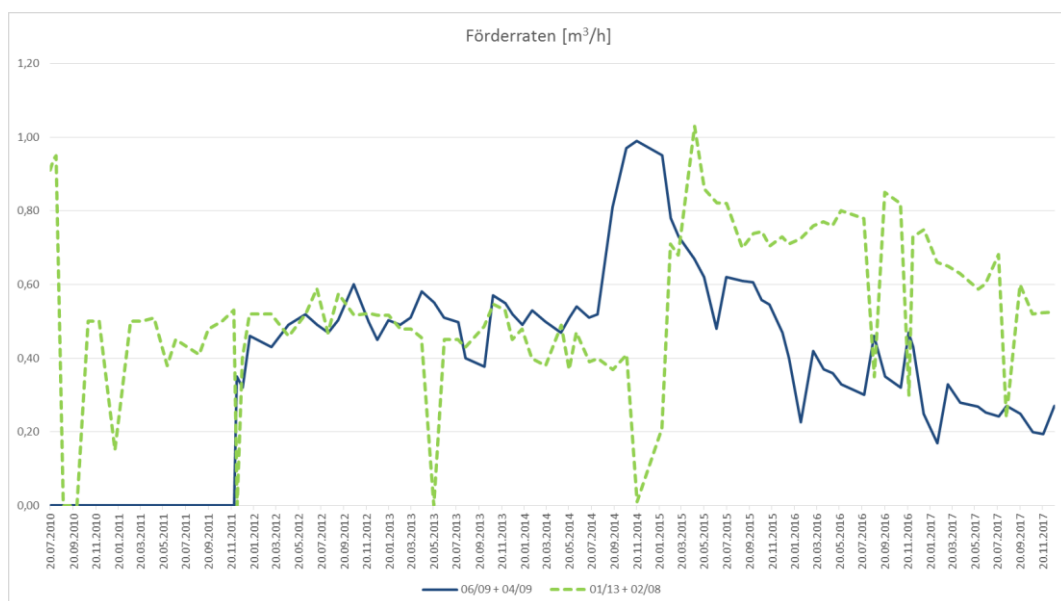


Abbildung 6: Entwicklung der Förderraten in Brunnengruppe 1 und 2

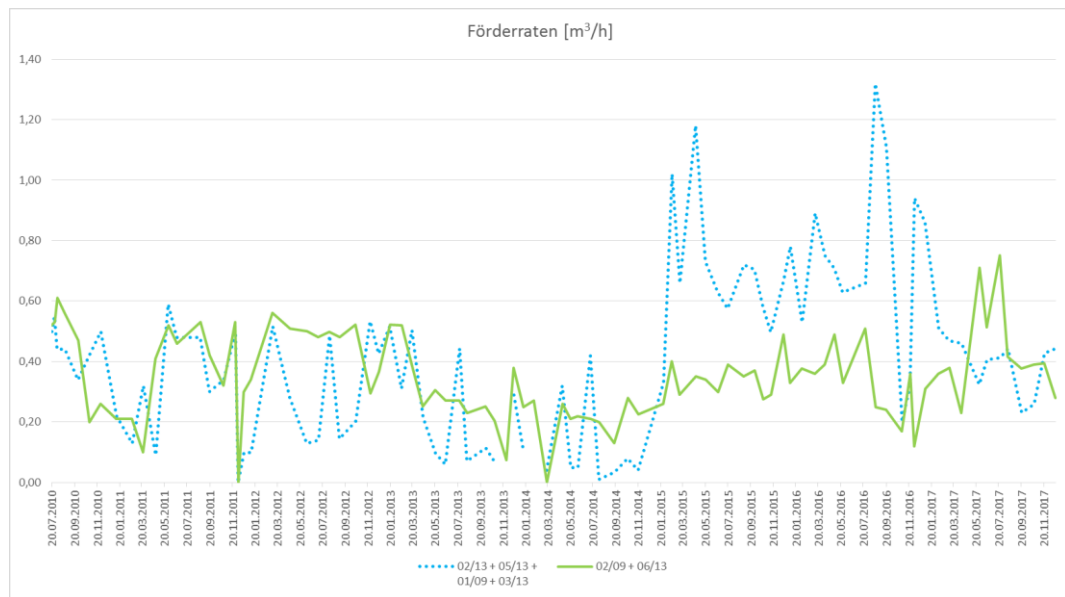


Abbildung 7: Entwicklung der Förderraten in Brunnengruppe 3 und 4

Die Förderraten weisen innerhalb der jeweiligen Brunnengruppen keine signifikanten Schwankungsbreiten auf und bewegen sich zwischen 0,6 m³/h und etwa 1,3 m³/h (siehe Abbildung 8).

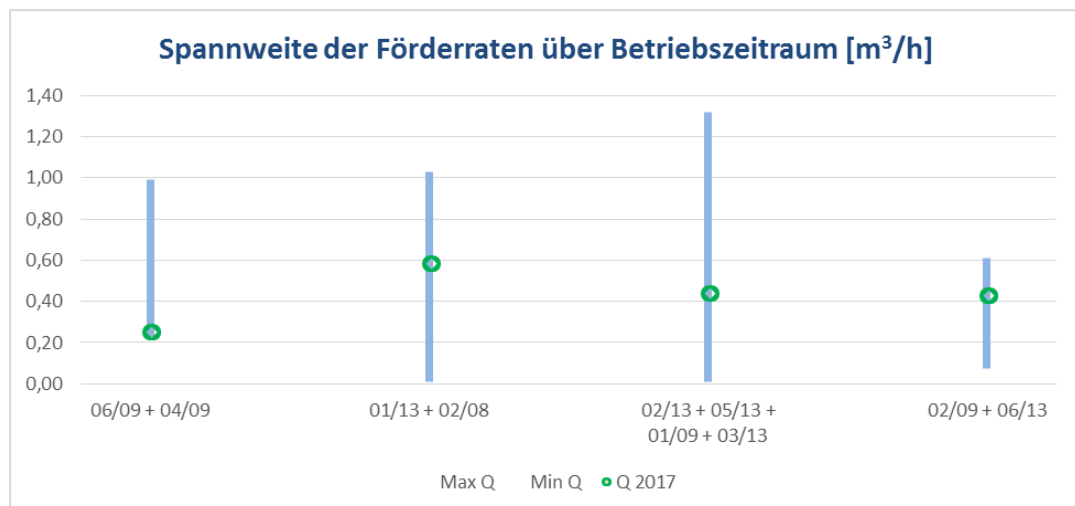


Abbildung 8: Spannweiten der Förderraten über den bisherigen Überwachungszeitraum

Für die Darstellung der hydraulischen Verhältnisse im Grundwasserleiter zu verschiedenen Zeitpunkten des Anlagenbetriebes sind nach den unter Pkt. 3.3 aufgeführten rechnerischen Ansätzen die hydrogeologischen Kenndaten ermittelt worden (siehe Anlage 6). Basierend auf diesen Ergebnissen sind die jeweiligen Einzugs-, Absenkungs-, und Entnahmbereiche für die Brunnengruppen dargestellt

worden, um die Reichweite der hydraulischen Maßnahmen visualisieren zu können. Dabei ist anzumerken, dass die dargestellten hydraulischen Regime nur als Näherung an die tatsächlichen Verhältnisse betrachtet werden können, da mit den zu Grunde gelegten rechnerischen Ansätzen die hydraulischen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Absenkungsregimen (Superposition) nicht berücksichtigt werden können.

Auf Grund der geringen räumlichen Distanzen zwischen den einzelnen Brunnengruppen kann davon ausgegangen werden, dass sich die Absenkungstrichter überlappen, sich in deren Schnittpunkten die Absenkung erhöht und hierdurch eine größere Reichweite resultiert.

Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, ist in den jeweiligen Darstellungen (Anlagen 4.1 bis 4.5) der angenommene, integrale Entnahmbereich gekennzeichnet worden. Trotz der hiermit verbundenen Unsicherheiten hinsichtlich der genauen Ausdehnung des Entnahmbereiches, stellen die visualisierten hydraulischen Verhältnisse eine ausreichende Grundlage für die Klärung der Fragestellung dar, ob ein ausreichender hydraulischer Wirkungsgrad zur Erfassung der Schadstofffahne mit der Abstromsicherung erzielt wird.

In Anlage 4.1 werden die unbeeinflussten hydraulischen Verhältnisse im Grundwasser veranschaulicht. Es zeigt sich die vorherrschende, nach Süd-Südwest gerichtete GW-Fließrichtung. Die räumliche Verteilung der GW-Isolinien und deren räumliche Verteilung lassen das geringe hydraulische Gefälle und die „homogenen“ Verhältnisse im GWL (keine merklichen Veränderungen im hydraulischen Gefälle) erkennen.

Der Stichtag 16.12.2009 wurde herangezogen, da keine zeitnahe Stichtagsmessung vor Inbetriebnahme des Anlagenbetriebes vorliegt. Ergänzend zur Veranschaulichung der GW-Gleichen ist die Verteilung der BTEX-Belastung für den 20.10.2009 dargestellt. Ausgehend von dem Kontaminationsschwerpunkt im Bereich der GWMS 01/06 zeigt sich ein nach Süden gerichteter Schadstofftransport, der auf einer Breite von ca. 150 m die südliche Grundstücksgrenze der Liegenschaft verlässt. Die zu diesem Zeitpunkt zu verzeichnenden BTEX-Konzentrationen wiesen eine Schwankungsbreite von ca. 400 µg/l bis 2.000 µg/l auf. In der GWMS 04/09 liegt ein Extremwert von rund 16.000 µg/l vor.

In Anlage 4.2 wird für den Stichtag 20.10.2010, relativ kurz nach Inbetriebnahme des Anlagenbetriebs, die hydraulische Situation veranschaulicht. Danach kann davon ausgegangen werden, dass es im Bereich der Förderbrunnen GWMS 02/08, 01/09 und 03/09 zu einer Überlappung der Absenkungstrichter und damit zu einer weiteren

Ausdehnung derselben gekommen ist. Auf Grund der geringen Fördermenge in GWMS 02/09 und der damit verbundenen kleinräumigen Auswirkungen im GWL ist eine Überlappung mit dem vorgenannten Absenkungstrichter eher unwahrscheinlich. Ausgehend von dem sich ergebenden hydraulischen Bild wird durch das Förderregime vorrangig der westliche Teil des hier ausgebildeten Abschnitts der Schadstofffahne erfasst. Der Förderbrunnen GWMS 04/09 zur Abstromsicherung an der südlichen Liegenschaftsgrenze ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Betrieb.

Betrachtungen zum Einfluss der hydraulischen Maßnahme auf die Belastungssituation bzw. die Konzentrationsverteilung im GWL können nicht angestellt werden, da für den Stichtag keine zeitnahen Messdaten vorliegen. Die hydrochemische Überwachung beschränkte sich zu diesem Zeitpunkt auf die vier Förderbrunnen. Deshalb dient als Referenzniveau wiederum die BTEX-Verteilung für den 20.10.2009, wobei für die vorgenannten Förderbrunnen zu diesem Zeitpunkt keine Messwerte vorliegen.

Entsprechend der kurzen Betriebsdauer der Abstromsicherung ist davon auszugehen, dass sich der Anlagenbetrieb zum Zeitpunkt des hier betrachteten Stichtags noch im Probetrieb befand und von daher keine repräsentativen Ergebnisse im Hinblick auf die Beurteilung des hydraulischen Wirkungsgrades ableitbar sind.

In Anlage 4.3 werden für den Stichtag 29.11.2010 die hydraulischen Auswirkungen des Förderbetriebes im GWL unter der Annahme dargestellt, dass zu diesem Zeitpunkt der geregelte Betrieb erreicht worden ist. Ebenso wie zum Stichtag 20.10.2010 entwickeln sich im Bereich der beiden Förderbrunnen GWMS 01/09 und 03/09 zwei sich überlappende Absenkungstrichter. Diese Absenkung reicht allerdings nicht bis in den Einflussbereich der beiden weiteren Förderbrunnen. In den GWMS 02/08 und 02/09 stellen sich lokale Absenkungstrichter ein, die nicht mit der Absenkung bei GWMS 01/09 und GWMS 03/09 in Verbindung stehen. Folglich kann dieses Förderregime noch keine hydraulischen Verhältnisse gewährleisten, die zur vollständigen Unterbindung des Schadstoffabstroms erforderlich sind.

Auch für diesen Zeitpunkt sind keine Betrachtungen zum Einfluss der hydraulischen Maßnahme auf die Belastungssituation bzw. die Konzentrationsverteilung im GWL möglich, da für diesen Stichtag keine zeitnahen Messdaten vorliegen. Die hydrochemische Überwachung beschränkte sich zu diesem Zeitpunkt ebenfalls auf die vier Förderbrunnen. Deshalb dient als Referenzniveau wiederum die BTEX-Verteilung für den 20.10.2009, wobei für die vorgenannten Förderbrunnen für diesen Zeitpunkt keine Messwerte vorliegen.

Mit Anlage 4.4 wird das hydraulische Regime im Grundwasserleiter für den Stichtag 12.03.2015 und damit die Auswirkungen der Anfang 2015 vorgenommenen Modifikation des Förderbetriebes, bei der diverse in 2013 erstellte GWMS in den Anlagenbetrieb integriert wurden, veranschaulicht.

Die räumliche Ausweitung der Brunnenkonfiguration und auch die Erhöhung der Gesamtfördermenge machen sich erwartungsgemäß in einer Ausdehnung der Absenkungstrichter und Entnahmebereiche bemerkbar. Auf Grund der räumlichen Nähe der Förderbrunnen GWMS 02/13, 05/13, 03/13 und 01/09 herrscht hier ein vergleichsweise großer Entnahmebereich vor, der sich aller Wahrscheinlichkeit auch nach Südwesten ausgedehnt hat, so dass von einer Überlappung mit dem Absenkungsregime der GWMS 02/08 und 01/13 ausgegangen werden kann. Die in der GWMS 04/09 zu diesem Zeitpunkt gegebene Förderrate führt nur zu kleinräumigen hydraulischen Auswirkungen, so dass die Abstomsicherung entlang der südlichen Liegenschaftsgrenze zu diesem Zeitpunkt nur bedingt wirksam ist. Dennoch zeigt die räumliche Verteilung der BTEX-Isokonz. dass mit dem nördlich gelegenen Förderregime die Belastungsschwerpunkte hinreichend erfasst und der Großteil der Schadstofffracht dem GW-Abstrom entnommen werden kann.

Basierend auf den Frachtbetrachtungen von HPC sind in dem Zeitraum 12.02. bis 12.03.2015 ca. 20 kg BTEX dem GWL entnommen worden. Für den an der südlichen Liegenschaftsgrenze vorhandenen, hydraulisch unbeeinflussten Abstromquerschnitt ergibt sich bei einer angenommenen Breite von 100 m, einer Aquifermächtigkeit von 20 m und einer durchschnittlichen BTEX-Konzentration von 2.000 µg/l (Mittelwert Befunde GWMS 04/07 + 03/07) im gleichen Zeitraum eine Frachtverlagerung von etwa 1 kg (= rund 5 % der Gesamtfracht).

Für den Stichtag 17.12.2017 (Anlage 4.5) zeigt sich eine vergleichbare hydraulische Situation wie für den zuvor aufgeführten Zeitpunkt. Auch hier dominiert die Brunnengruppe 02/13, 05/13, 03/13 und 01/09 die Strömungsverhältnisse im GWL.

Der Absenkungstrichter dehnt sich bis in den Bereich der Brunnen GWMS 01/13 und 02/08 aus, so dass es zur Überlappung der beiden Absenkungsregime kommt. Die hiervon nördlich (GWMS 02/09) und südlich (04/09 + 06/09) gelegenen Entnahmebereiche wirken sich nur lokal aus, so dass keine auf die gesamte Brunnenkonfiguration übergreifende Absenkung gegeben ist. Die hydraulischen Auswirkungen reichen aber auch in diesem Fall aus, um einen Großteil der vorhandenen Schadstofffracht zu erfassen und die hierin gelösten Schadstoffanteile der Behandlungsanlage zuleiten.

Die Reichweite der hydraulischen Auswirkungen des Brunnenbetriebes erstreckt sich in östlicher Richtung bis kurz vor die GWMS 04/07. Eine sichere Abgrenzung der Strömungspfade südlich dieser GWMS ist mit dem vorhandenen Aufschlussniveau nicht möglich.

Auch hier zeigt die räumliche Verteilung der BTEX-Isokonzentrationen, dass mit dem nördlich gelegenen Förderregime die Belastungsschwerpunkte hinreichend erfasst und der Großteil der Schadstofffracht dem GW-Abstrom entnommen werden kann. Basierend auf den Frachtbetrachtungen von HPC sind in dem Zeitraum 20.11. bis 17.12.2017 ca. 9 kg gelöste BTEX dem GWL entnommen worden.

Für den an der südlichen Liegenschaftsgrenze vorhandenen, hydraulisch unbeeinflussten Abstromquerschnitt ergibt sich bei einer angenommenen Breite von 100 m, einer Aquifermächtigkeit von 20 m und einer durchschnittlichen BTEX-Konzentration von 2.000 µg/l (Mittelwert Befunde GWMS 04/07 + 03/07) im gleichen Zeitraum eine Frachtverlagerung von etwa 1 kg. Die im Vergleich zum Stichtag 12.03.2015 geringere Fracht ist auf das zwischenzeitlich erreichte, niedrigere Konzentrationsniveau zurückzuführen, in dem im Schadenszentrum allerdings noch immer BTEX-Höchstkonzentrationen in einer Spannweite von 10.000 µg/l bis 15.000 µg/l vorherrschen.

5 Fazit und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise

Basierend auf den vorangegangenen Betrachtungen zu den hydraulischen Auswirkungen des Förderbetriebes im Grundwasserleiter erstrecken sich die damit erzeugten Entnahmebereiche auf weite Teile der Schadstofffahne. Bis Ende 2017 sind durch die hydraulische Maßnahme ca. 1,2 t gelöste Schadstofffracht (BTEX) dem GWL entnommen worden. Die im Sanierungsgebiet verbreitete Leichtphase führt allerdings zu Einschränkungen in den fördertechnischen Optimierungsmöglichkeiten (Erhöhung der Fördermengen), da beim Anlagenbetrieb darauf zu achten ist, dass Leichtphase nicht in die Grundwasserbehandlungsanlage gelangt. Dieses Risiko ist bei einer Erhöhung der Fördermengen, die zu einer Ausdehnung des Entnahmebereiches führen würde, gegeben. Deshalb ist eine regelmäßige Überwachung und Bewertung der hydraulischen Verhältnisse im GWL notwendig, um das Förderregime den Änderungen im Wasserhaushalt (Schwankungen Grundwasserspiegel infolge Neubildung) anzupassen.

Mit der Abstomsicherung wird bisher keine vollständige Erfassung des Abstromquerschnitts GWMS 04/09 bis 03/07 erreicht, so dass hier im östlichen Abschnitt noch ein Schadstoffabstrom gegeben sein kann (siehe Anlage 4.5).

Wir schlagen deshalb die Einrichtung von zwei neuen Förderbrunnen auf diesem Profil vor und empfehlen, die GWMS 03/07 ergänzend als Förderbrunnen in die hydraulische Maßnahme zu integrieren. Die genaue Lage der in Anlage 4.6 dargestellten, neuen Förderbrunnen sollte unter Berücksichtigung der erforderlichen Logistik (Leitungsverlegung etc.) noch einmal überdacht werden.

Da die GWMS 03/07t zeigt, dass die Kontamination bis ca. 40 m Tiefe reicht, muss der Ausbau der neuen Förderbrunnen bis in diese Tiefe erfolgen. Bohrdurchmesser und Ausbau der Förderbrunnen sollte sich an den zuletzt eingerichteten Förderbrunnen orientieren (Bohrdurchmesser 324 mm/Ausbau DN 140).

Die erforderlichen Fördermengen zur hydraulischen Sicherung des bisher nicht ausreichend gesicherten, östlichen Abschnittes dürften im Bereich von ca. 0,5 m³/h für die individuellen neuen Brunnen liegen. Diese Mengen können in einem Testbetrieb zu Beginn ihrer Inbetriebnahme genau ermittelt und aufeinander abgestimmt werden.

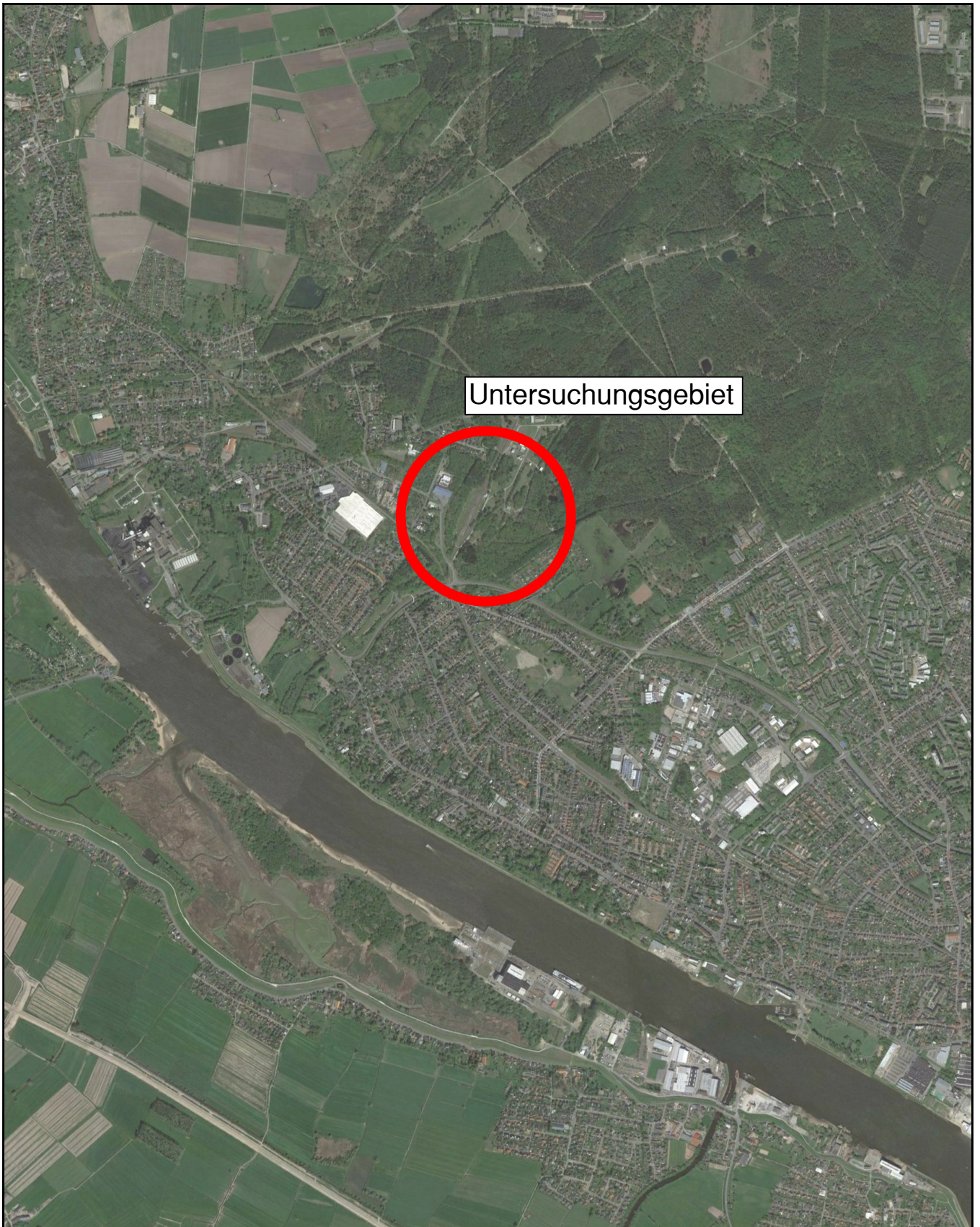
Zur Erfassung des raum-zeitlichen Absenkungsverhaltens in nordwestliche Richtung (Kernbereich Sanierung) sowie zur Kontrolle der Mobilität der Leichtphase sehen wir drei ergänzende Beobachtungs-GWM im Anstrom zur Brunnengalerie vor.

Die neu installierten Förderbrunnen sollen unabhängig vom Anlagenbetrieb im Kernbereich der Sanierung betrieben werden, da es hier vorrangig um die Erzeugung eines hydraulischen Riegels geht. Da es hierbei ausschließlich um das Abfangen gelöster Schadstoffe geht, sind hier keine limitierenden Randbedingungen durch aufschwimmende Leichtphase zu berücksichtigen.

Garbsen, 25.05.2018



Dr. T. Meyer-Uhlich



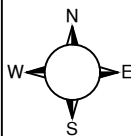
Untersuchungsgebiet

Übersichtskarte

Kartengrundlage:
Google Earth Pro, 2016

	Datum	Name
erstellt:	17.05.2018	E. Reutter
geändert:	28.05.2018	B. Kliem

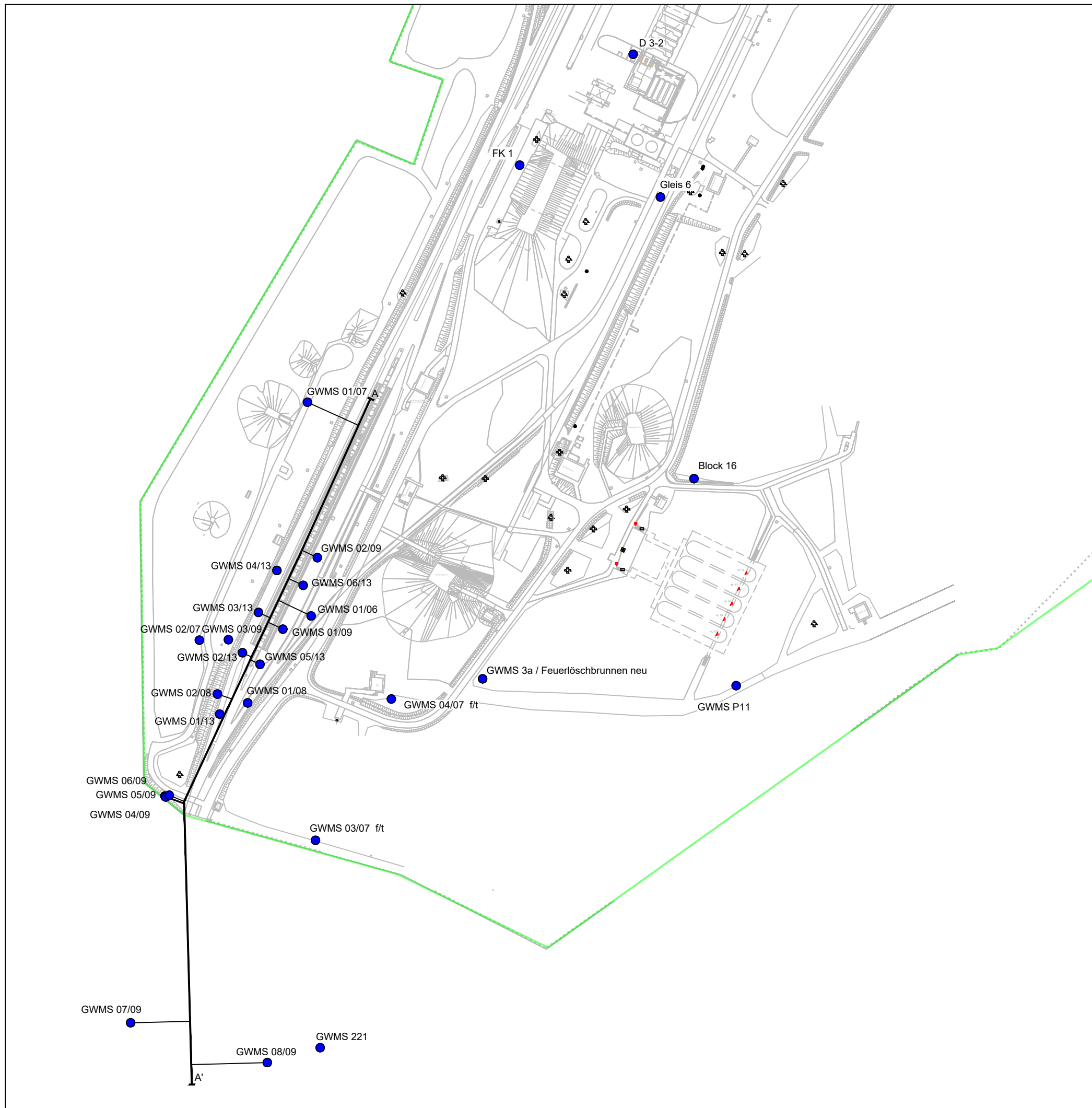
BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767



GEO data

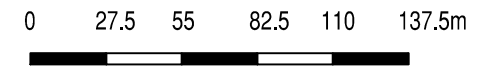
GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Straße 2
D-30827 Garbsen
Telefon: (05131) 7099-12
Telefax: (05131) 7099-60

Datei: Lageplan-2018-01-25-UTM	
Layout: Übersichtskarte	
Layermanagement: Übersichtskarte-2018-03-27	
Plotmaßstab: 1: 1(0.04xpl)	Blattgr.: 278x225
Maßstab:	1 : 25000
Auftragsnr.:	05282
Anlage 1	



Zeichenerklärung


- Grenze Tanklager
- Grundwassermessstelle
- Profilinie

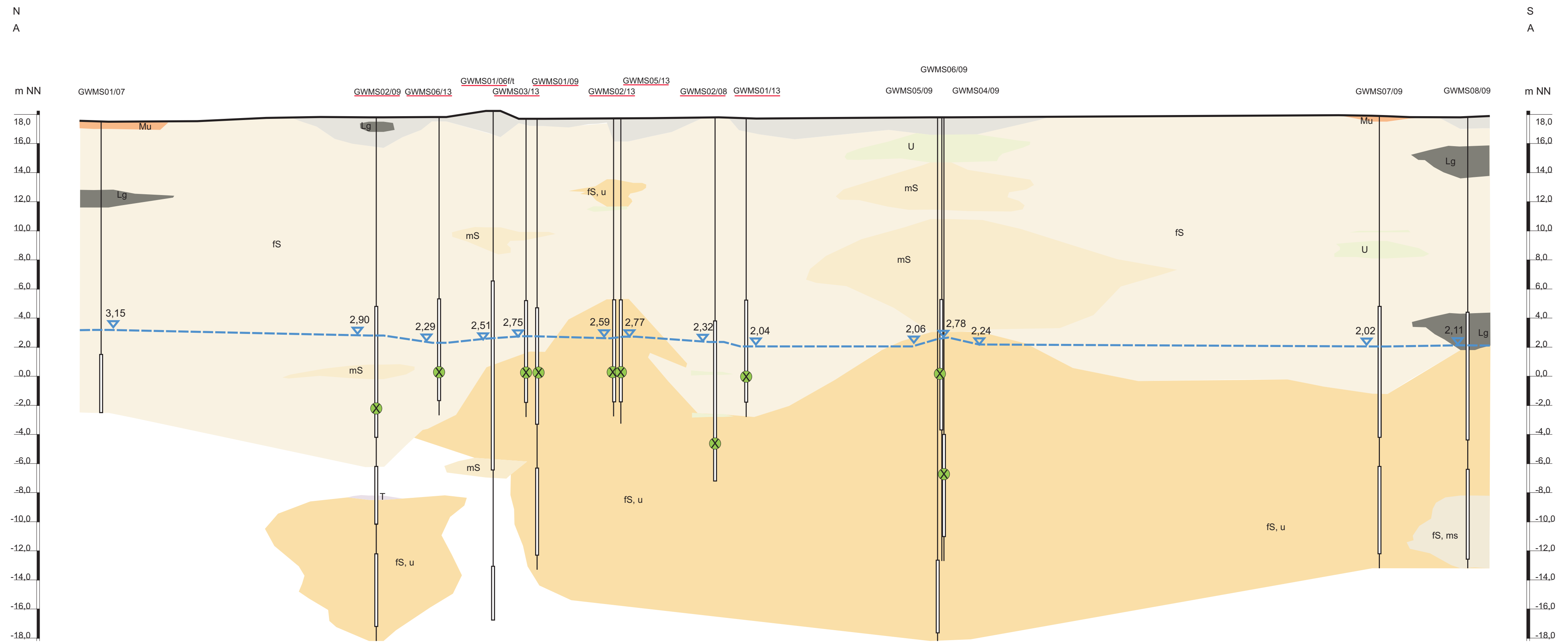


BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

Lageplan mit GWMS und Profilinie

Kartengrundlage: B41 Bundesbau Teamleitung Bauausführung Bundesbau bei Immobilien Bremen, Anstalt des öffentlichen Rechts Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen		<i>Datum</i>	<i>Name</i>
	<i>erstellt:</i>	17.05.2018	A. Kretschmer
	<i>geändert:</i>	28.05.2018	B. Kliem

 GEO-data Dienstleistungsgesellschaft für Geologie, Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH Carl-Zeiss-Straße 2 D-30827 Garbsen Telefon: (05131) 7099-12 Telefax: (05131) 7099-60	<i>Datei:</i>	Lageplan-2018-01-25-UTM
	<i>Layout:</i>	Anlage2-Lageplan-Profil-A-A-A3-2018
	<i>Layermanagement:</i>	Anlage2_Lageplan-2018-A3
	<i>Plotmaßstab:</i>	1 : 1(0.3636xp) Blattgr.: 380x280
	<i>Maßstab:</i>	1 : 2750
	<i>Auftragsnr.:</i>	05282
		Anlage 2



Zeichenerklärung

- k. A. Auffüllung
- Mu Mutterboden
- fs Feinsand
- mS Mittelsand
- fs, u Feinsand, schluffig (z.T mit Schluffbändern)
- fs, ms Feinsand, mittelsandig
- Lg Geschiebemergel
- U Schluff
- T Ton
- Bohrungen
- Leichtphase
- Grundwasserstand [m NN] (Stichtag: 17.02.2017)
- Filterstrecke
- Förderpumpe

Auftraggeber/Projekt:
BlmA
 Verladebahnhof II
 Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
 WE-Nr.: 147767

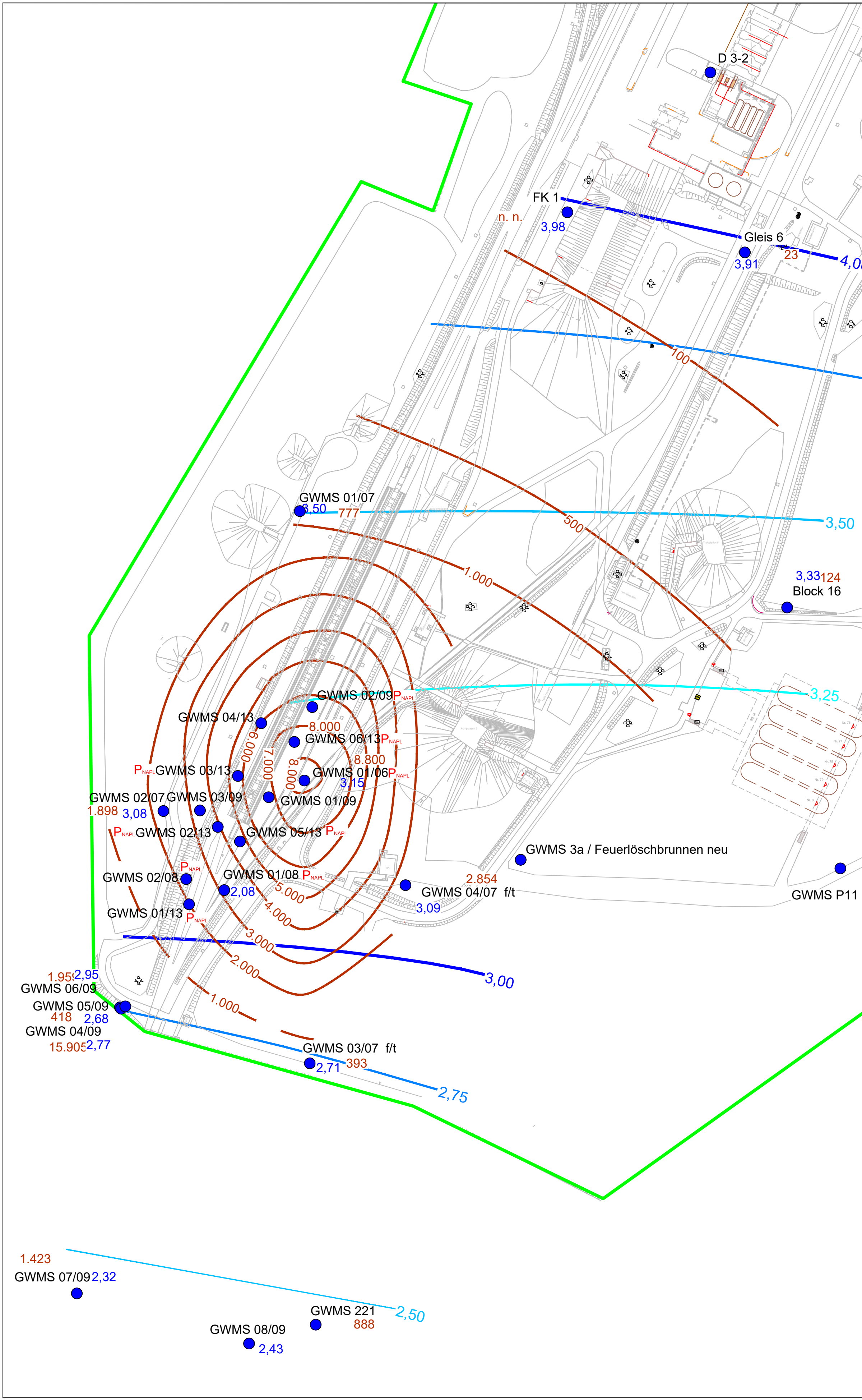
Zeichnungstitel:
Profilschnitt A-A'
 1:1000, 5-fach überhöht

Bemerkungen:	Datum	Name
bearb.	26.03.2018	E. Reutter
gez.	26.03.2018	M. Koch

Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
 Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
 Carl-Zeiss-Straße 2
 30827 Garbsen
 Telefon (05131) 7099-40
 Telefax (05131) 7099-60

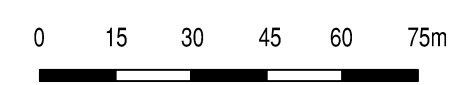
Datei:
 E:\Projekt\00005282\GESA\Profilschnitt
 Profilschnitt-A-A-2018-03-26.cd

Projektnummer: **05282**



Zeichenerklärung

- Grenze Tanklager
- Grundwassermessstelle
- Grundwasserhöhengleichen [m NN] (Stichtag 16.12.2009)
- 2,71 Standrohrspiegelhöhe [m NN]
- P_{NAPL} Phasenbefund
- Isokonten BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- 393 BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l] (Stichtag 20.10.2009)
- n. n. nicht nachweisbar

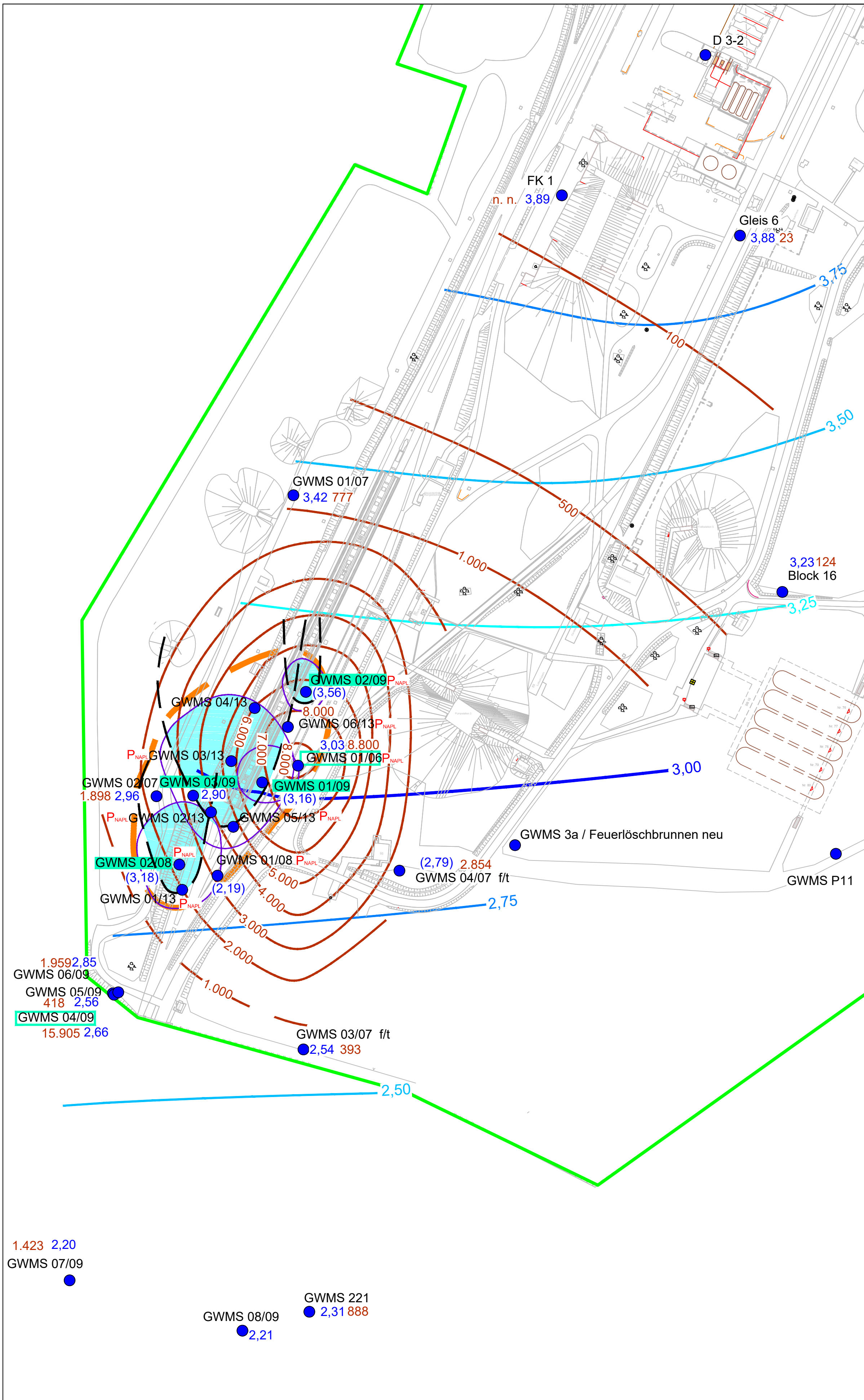


BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

Grundwassergleichenplan
Stichtag: 16.12.2009
Konzentrationsentwicklung BTEX im Grundwasser
Stichtag: 20.10.2009

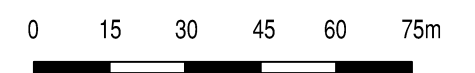
Kartengrundlage:	Datum	Name
B41 Bundesbau Teamleitung Bauausführung Bundesbau bei Immobilien Bremen, Anstalt des öffentlichen Rechts Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen	erstellt: 17.05.2018 geändert: 28.05.2018	E. Reutter M. Koch
Datei: Lageplan-2018-01-25-UTM		
Layout: Anlage4-1-Lageplan-GWGL-2009-12-16		
Layermanagement: Anlage4-1-GWGL-BTEX-2009-12-16		
Plotmaßstab: 1:110.6667xp Blattgr.: 418x514		
Maßstab: 1 : 1500		
Auftragsnr.: 05282		
Anlage 4.1		

GEO data
GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft für Geologie, Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Straße 2
D-30827 Garbsen
Telefon: (05131) 7099-12
Telefax: (05131) 7099-60



Zeichenerklärung

- Grenze Tanklager
- Grundwassermessstelle
- Grundwassergleichen [m NN] (Stichtag 20.10.2010)
- 2,54 Standrohrspiegelhöhe [m NN]
- Förderbrunnen
- Förderbrunnen nicht im Betrieb
- P_{NAPL} Phasenbefund
- Isokonten BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- 393 BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- n. n. nicht nachweisbar
- Absenkungsbereich
- Entnahmebereich
- - - Einzugsgebiet
- angenommener integraler Entnahmebereich durch Überlappung der Einzeltrichter



BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

Grundwassergleichenplan,
hydraulische Verhältnisse, Förderbetrieb 20.10.2010,
Konzentrationsentwicklung BTEX im Grundwasser
(20.10.2009)

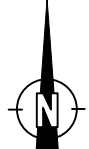
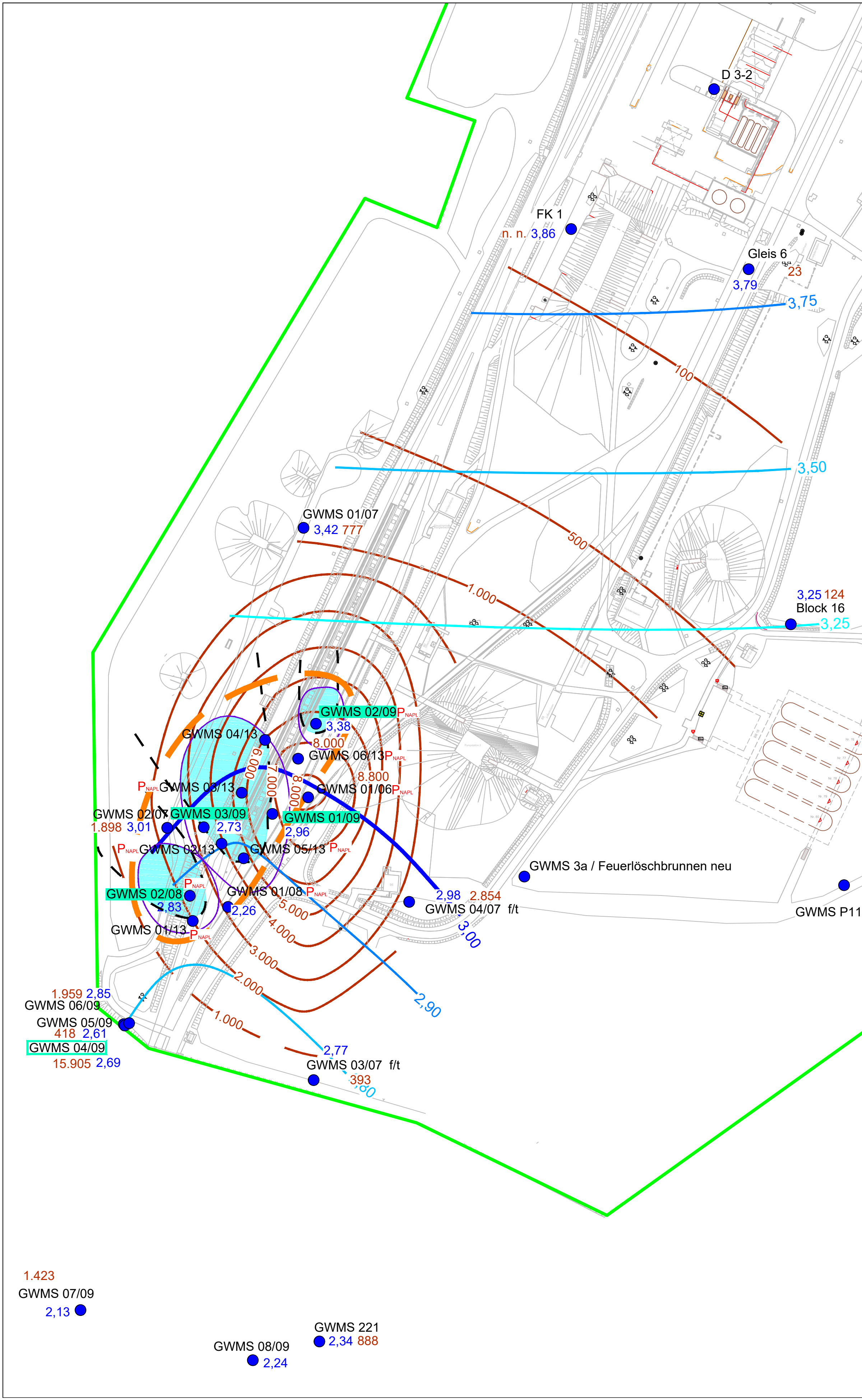
Kartengrundlage: B41 Bundesbau Teamleitung Bauausführung Bundesbau bei Immobilien Bremen, Anstalt des öffentlichen Rechts Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen	Datum	Name	
	erstellt:	17.05.2018	E. Reutter
	geändert:	28.05.2018	M. Koch
Datei: Lageplan-2018-01-25-UTM			
Layout: Anlage4-2-Lageplan-GWGL-2010-10-20 (2)			
Layermanagement: Anlage4-2-GWGL-BTEX-2010-10-20			
Platmaßstab: 1:10.6667xp Blattgr.: 418x514			
Maßstab: 1 : 1500			
Auftragsnr.: 05282			
Anlage 4.2			

GEO data
GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Straße 2
D-30827 Garbsen
Telefon: (05131) 7099-12
Telefax: (05131) 7099-60

1.423 2,20
GWMS 07/09

GWMS 08/09
● 2,21

GWMS 221
● 2,31 888



Zeichenerklärung

- Grenze Tanklager
- Grundwassermessstelle
- Grundwassergleichen [m NN] (Stichtag 29.11.2010)
- 2,77 Standrohrspiegelhöhe [m NN]
- Förderbrunnen
- Förderbrunnen nicht im Betrieb
- P_{NAPL} Phasenbefund
- Isokonten BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- 393 n. n. BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l] nicht nachweisbar
- Absenkungsbereich
- Entnahmbereich
- - - Einzugsgebiet
- angenommener integraler Entnahmbereich durch Überlappung der Einzeltrichter



BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

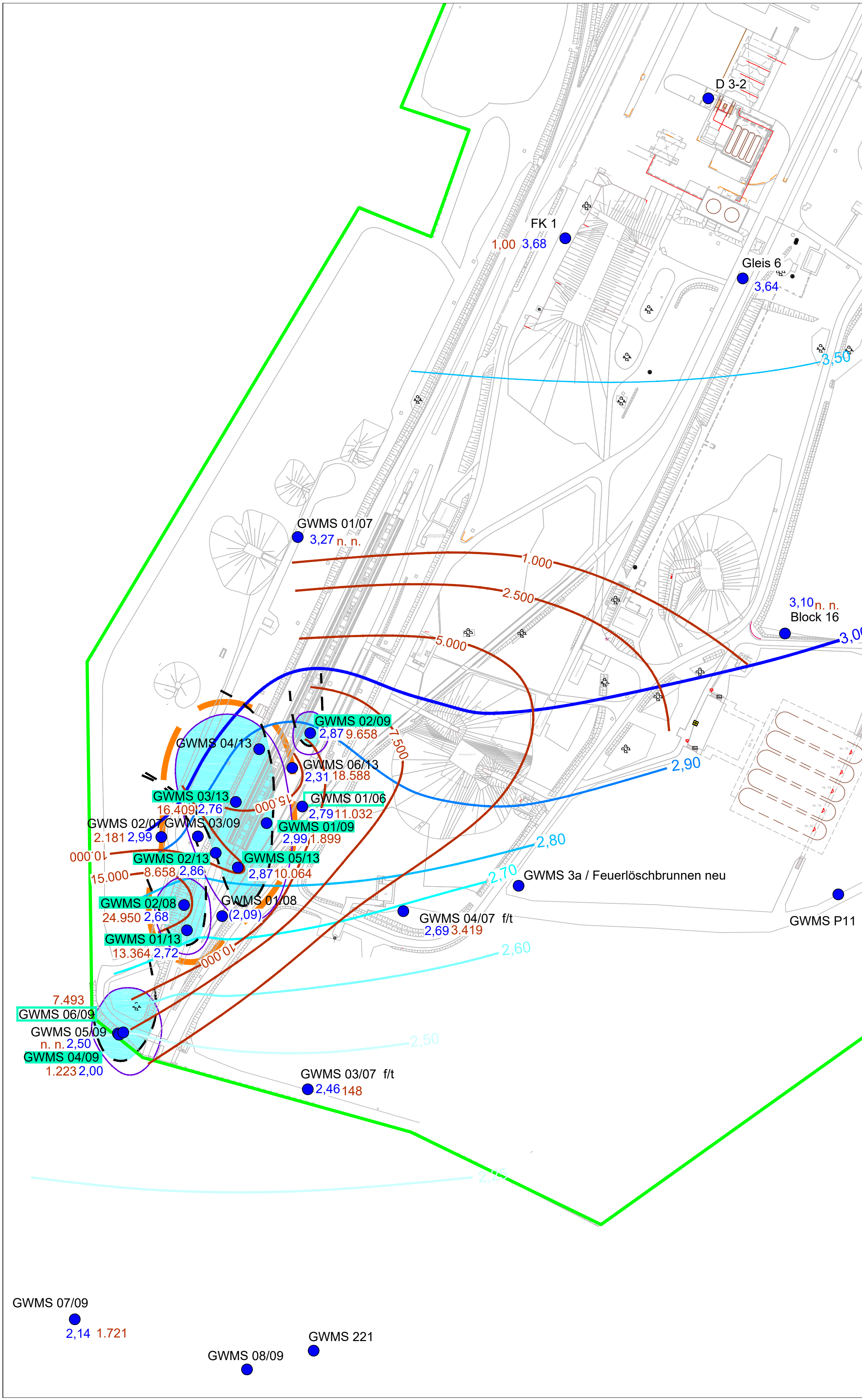
Grundwassergleichenplan,
hydraulische Verhältnisse, Förderbetrieb 29.11.2010,
Konzentrationsentwicklung BTEX im Grundwasser
(20.10.2009)

Kartengrundlage: B41 Bundesbau Teamleitung Bauausführung Bundesbau bei Immobilien Bremen, Anstalt des öffentlichen Rechts Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen	<i>Datum</i>	<i>Name</i>
	erstellt:	17.05.2018 E. Reutter
	geändert:	28.05.2018 M. Koch
Datei: Lageplan-2018-01-25-UTM		
Layer: Anlage4-3-Lageplan-GWGL-2010-11-29		
Layermanagement: Anlage4-3-GWGL-BTEX-2010-11-29		
Plotmaßstab: 1:10.6667xp Blattgr.: 418x514		
Maßstab: 1 : 1500		
Auftragsnr.: 05282		
Anlage 4.3		

GEO data
GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Straße 2
D-30827 Garbsen
Telefon: (05131) 7099-12
Telefax: (05131) 7099-60

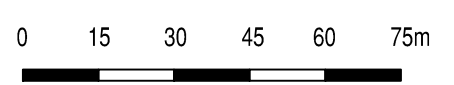
1.423
GWMS 07/09
2,13 ●

GWMS 221 ● 2,34 888
GWMS 08/09 ● 2,24



Zeichenerklärung

- Grenze Tanklager
- Grundwassermessstelle
- Grundwassergleichen [m NN] (Stichtag 12.03.2015)
- 2,77 Standrohrspiegelhöhe [m NN]
- Förderbrunnen
- Förderbrunnen nicht im Betrieb
- Isokonten BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- 393 BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l] (15.06.2015)
- n. n. nicht nachweisbar
- Absenkungsbereich
- Entnahmebereich
- - - Einzugsgebiet
- angenommener integraler Entnahmebereich durch Überlappung der Einzeltrichter



BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

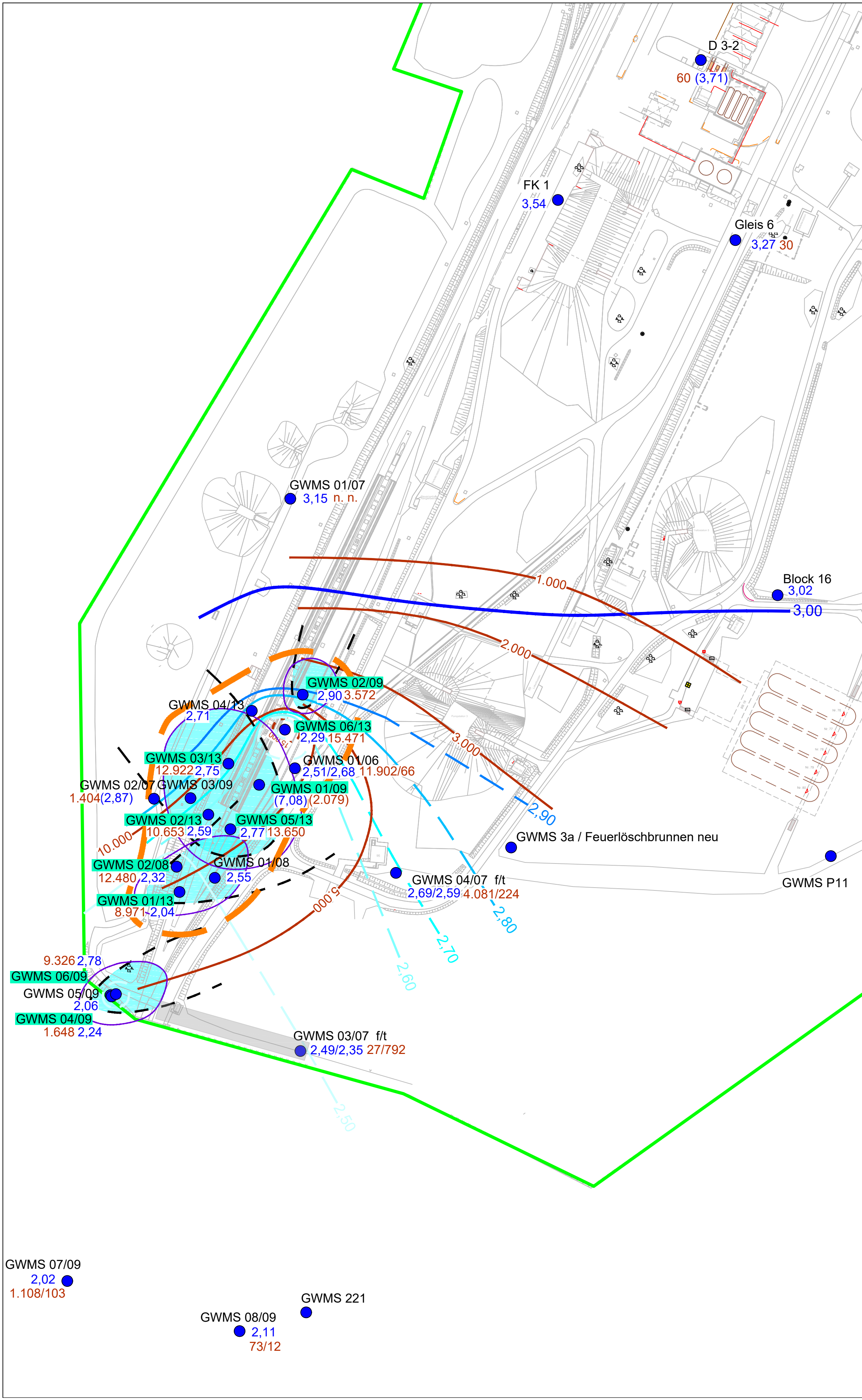
Grundwassergleichenplan,
hydraulische Verhältnisse, Förderbetrieb 12.03.2015,
Konzentrationsentwicklung BTEX im Grundwasser
(15.06.2015)

Kartengrundlage: 841 Bundesbau Teamleitung Bauausführung Bundesbau bei Immobilien Bremen, Anstalt des öffentlichen Rechts Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen	Datum	Name	
	erstellt:	17.05.2018	E. Reutter
	geändert:	28.05.2018	M. Koch
Datei: Lageplan-2018-01-25-UTM			
Layout: Anlage4-4-Lageplan-GWGL-2015-03-12			
Layermanagement: Anlage4-4-GWGL-BTEX-2015-03-12			
Plotmaßstab: 1: 110.6667xp Blattgr.: 418x513			
Maßstab: 1 : 1500			
Auftragsnr.: 05282			
Anlage 4.4			

GEO data
GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Straße 2
D-30827 Garbsen
Telefon: (05131) 7099-12
Telefax: (05131) 7099-60

GWMS 07/09
●
2,14 1.721

GWMS 08/09 ●
GWMS 221 ●



Zeichenerklärung

- Grenze Tanklager
- Grundwassermessstelle
- Grundwassergleichen [m NN] (Stichtag 17.12.2017)
- 2,55 Standrohrspiegelhöhe [m NN]
- Förderbrunnen
- Förderbrunnen nicht im Betrieb
- Isokonten BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- 60 BTEX-Befund im Grundwasser [µg/l]
- n. n. nicht nachweisbar
- Absenkungsbereich
- Entnahmebereich
- - - Einzugsgebiet
- angenommener integraler Entnahmebereich durch Überlappung der Einzeltrichter
- nicht ausreichend gesicherter Abstrombereich



BImA
Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

Grundwassergleichenplan,
hydraulische Verhältnisse, Förderbetrieb 17.12.2017,
Konzentrationsentwicklung BTEX im Grundwasser

Kartengrundlage: BImA Bundesbau Teamleitung Bauausführung Bundesbau bei Immobilien Bremen, Anstalt des öffentlichen Rechts Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen	Datum	Name
	erstellt: 17.05.2018 geändert: 28.05.2018	E. Reutter M. Koch
GEO data Dienstleistungsgesellschaft für Geologie, Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH Carl-Zeiss-Straße 2 D-30827 Garbsen Telefon: (05131) 7099-12 Telefax: (05131) 7099-60	Datensatz: Lageplan-2018-01-25-UTM	
	Layout: Anlage4-5-Lageplan-GWGL-2017-12-17	
	Layermanagement: Anlage4-5-GWGL-BTEX-2017-12-17	
	Platmaßstab: 1:10.6667xp Blattgröße: 418x514	
Maßstab: 1:1500		
Auftragsnr.: 05282		
		Anlage 4.5





GWMS 07/09
2,02
1.108/103

GWMS 08/09
2,11
73/12

GWMS 221



Zeichenerklärung

- Grenze Tanklager
-  Grundwassermessstelle
-  geplanter Förderbrunnen
-  geplante Beobachtungs-GWM
-  nicht ausreichend gesicherter Abstrombereich

0 27.5 55 82.5 110 137.5m



BImA

Verladebahnhof II
Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge
WE-Nr.: 147767

Vorschlag neue Förderbrunnen zur Abstromsicherung und Beobachtungs-GWM

Kartengrundlage:
B41 Bundesbau Teamleitung Bauausführung
Bundesbau bei Immobilien Bremen,
Anstalt des öffentlichen Rechts
Theodor Heuss Allee 14, 28215 Bremen

	Datum	Name
erstellt:	17.05.2018	A. Kretschmer
geändert:	28.05.2018	B. Kliem



GEO-data
Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Straße 2
D-30827 Garbsen
Telefon: (05131) 7099-12
Telefax: (05131) 7099-60

Datei:	Lageplan-2018-01-25-UTM
Layout:	Anlage4-6-Lageplan-Vorschlag
Layermanagement:	Anlage4-6-Lageplan-Vorschlag
Plotmaßstab:	1 : 10.3636xp Blattgr.: 380x280
Maßstab:	1 : 2750
Auftragsnr.:	05282
	Anlage 4.6



Berechnung Entnahmebreite		B = Q/(kf x M x I)							
Stichtag	Förderbrunnen	Fördermenge	Durchlässigkeit	Mächtigkeit	Gefälle (nat.)	Entnahmebreite	Umrechnung m3/h in l/s		
		[l/s]	[m/s]	[m]		[m]	Q m3/h	Q l/s	
20.10.2010	04/09	0	0,000037	30	0,003		0	0	
	02/08	0,000138889	0,000037	30	0,003	41,71	0,5	0,00013889	
	01-06/03-09/01-09	0,000233333	0,000037	30	0,003	70,07	0,84	0,00023333	
	02/09	5,55556E-05	0,000037	30	0,003	16,68	0,2	5,5556E-05	
28.11.2010	04/09	0	0,000037	30	0,003		0	0	
	02/08	0,000138889	0,000037	30	0,003	41,71	0,5	0,00013889	
	03-09/01-09	0,000238889	0,000037	30	0,003	71,74	0,86	0,00023889	
	02/09	7,22222E-05	0,000037	30	0,003	21,69	0,26	7,2222E-05	
12.03.2015	04/09	0,000108333	0,000037	30	0,003	32,53	0,39	0,00010833	
	06/09	9,44444E-05					0,34	9,4444E-05	
	01-13/02-08	8,05556E-05	0,000037	30	0,003	24,19	0,29	8,0556E-05	
	02-13/05-13/01-09/03-13	0,000213889	0,000037	30	0,003	64,23	0,77	0,00021389	
	02/09	0,00005	0,000037	30	0,003	15,02	0,18	0,00005	
17.12.2015	04-09/06-09	0,000130556	0,000037	30	0,003	39,21	0,47	0,00013056	
	01-13/02-08	0,000202778	0,000037	30	0,003	60,89	0,73	0,00020278	
	02-13/05-13/01-09/03-13/06-13	0,000230556	0,000037	30	0,003	69,24	0,83	0,00023056	
	02/09	9,16667E-05	0,000037	30	0,003	27,53	0,33	9,1667E-05	

Berechnung untere Kulmination		xu = B/2Pi							
Stichtag	Förderbrunnen	Entnahmebreite				untere Kulmination [m]			
20.10.2010	04/09	0							
	02/08	41,71				13,28			
	01-06/03-09/01-09	70,07				22,30			
	02/09	16,68				5,31			
28.11.2010	04/09								
	02/08	41,71				13,28			
	03-09/01-09	71,74				22,84			
	02/09	21,69				6,90			
12.03.2015	04/09	32,53				10,36			
	06/09								
	01-13/02-08	24,19				7,70			
	02-13/05-13/01-09/03-13	64,23				20,45			
17.12.2015	04-09/06-09	39,21				12,48			
	01-13/02-08	60,89				19,38			
	02-13/05-13/01-09/03-13/06-13	69,24				22,04			
	02/09	27,53				8,76			

Zustrombreite Brunnenhöhe		~ B/2							
Stichtag	Förderbrunnen	Entnahmebreite				Zustrombreite Brunnenhöhe [m]			
20.10.2010	04/09								
	02/08	41,71				20,85			
	01-06/03-09/01-09	70,07				35,04			
	02/09	16,68				8,34			
28.11.2010	04/09								
	02/08	41,71				20,85			
	03-09/01-09	71,74				35,87			
	02/09	21,69				10,84			
12.03.2015	04/09	32,53				16,27			
	06/09	0,00							
	01-13/02-08	24,19				12,10			
	02-13/05-13/01-09/03-13	64,23				32,12			
17.12.2015	04-09/06-09	39,21				19,60			
	01-13/02-08	60,89				30,45			
	02-13/05-13/01-09/03-13/06-13	69,24				34,62			
	02/09	27,53				13,76			

Beginn ungestörter Bereich		UB = xu E2 x (B/2)E2/2 x xu							
Stichtag	Förderbrunnen	Entnahmebreite	unt Kulmination			Beginn ungest. Bereich			
					Näherung	$\frac{xu^2 + (\frac{B}{2})^2}{2 + xu}$			
20.10.2010	04/09								
	02/08	41,71	13,28		35,87	2.886,89			
	01-06/03-09/01-09	70,07	22,30		60,26	13.688,56			
	02/09	16,68	5,31		14,35	184,76			
28.11.2010	04/09								
	02/08	41,71	13,28		35,87	2.886,89			
	03-09/01-09	71,74	22,84		61,70	14.689,78			
	02/09	21,69	6,90		18,65	405,92			
12.03.2015	04/09	32,53	10,36		27,98	1.369,98			
	06/09	0,00	0,00						
	01-13/02-08	24,19	7,70		20,80	563,27			
	02-13/05-13/01-09/03-13	64,23	20,45		55,24	10.543,68			
17.12.2015	04-09/06-09	39,21	12,48		33,72	2.397,80			
	01-13/02-08	60,89	19,38		52,37	8.984,39			
	02-13/05-13/01-09/03-13/06-13	69,24	22,04		59,54	13.205,48			
	02/09	27,53	8,76		23,67	829,97			

Entnahmefläche F		F = Entnahmemenge/GW-Neubildung							
Stichtag	Förderbrunnen	Entnahmemenge	GW_Neu [l/s*km2]			Entnahmefläche [km2]	Entnahmefläche [m2]		
20.10.2010	04/09								
	02/08	0,000138889	9,5			0,001319444	1.319,44		
	01-06/03-09/01-09	0,000233333	9,5			0,002216667	2.216,67		
	02/09	5,55556E-05	9,5			0,000527778	527,78		
28.11.2010	04/09								
	02/08	0,000138889	9,5			0,001319444	1.319,44		
	03/09	0,000238889	9,5			0,002269444	2.269,44		
	02/09	7,22222E-05	9,5			0,000686111	686,11		
12.03.2015	04/09	0,000108333	9,5			0,001029167	1.029,17		
	06/09	9,44444E-05	9,5			0,000897222	897,22		
	01-13/02-08	8,05556E-05	9,5			0,000765278	765,28		
	02-13/05-13/01-09/03-13	0,000213889	9,5			0,002031944	2.031,94		
	02/09	0,00005	9,5			0,000475	475,00		
17.12.2015	04-09/06-09	0,000130556	9,5			0,001240278	1.240,28		
	01-13/02-08	0,000202778	9,5			0,001926389	1.926,39		
	02-13/05-13/01-09/03-13/06-13	0,000230556	9,5			0,002190278	2.190,28		
	02/09	9,16667E-05	9,5			0,000870833	870,83		