

## **Unterlage 7**

# **Heben und Einleiten von Grubenwasser am zentralen Wasserhaltungsstandort Haus Aden in die Lippe**

Darstellung des Grubenwasserstromes

unterhalb der Einleitungsstelle

bei Lippe-Kilometer 101,0

**Inhaltsverzeichnis**

**0 VERANLASSUNG..... 3**

**1 DATENGRUNDLAGE ..... 4**

1.1 AUFBEREITUNG UND AUSWERTUNG DER GEWÄSSERVORBELASTUNG .....4

1.2 MENGE UND BESCHAFFENHEIT DES GRUBENWASSERS.....4

1.3 WEITERE RANDBEDINGUNGEN UNTERHALB DER EINLEITSTELLE .....4

**2 MODELLERGEBNISSE ..... 6**

**3 LITERATUR ..... 17**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einleitstelle (Quelle: ELWAS-WEB, ergänzt) .....	3
Abbildung 2: Lage des Wehres Beckinghausen .....	5
Abbildung 3: Vergleich der Querschnittsflächen der Varianten 200 m unterhalb der Einleitstelle und vor dem Wehr Beckinghausen .....	7
Abbildung 4: Prozentuale Vermischung bei MNQ in Variante 2.1 (Einleitung Sohlmitte) und Variante 2.2 (Einleitung am linken Sohlrand) .....	8
Abbildung 5: Prozentuale Vermischung bei MQ in Variante 4.1 (Einleitung Sohlmitte) und Variante 4.2 (Einleitung am linken Sohlrand) .....	9
Abbildung 6: Farbliche Zuordnung der mittleren Chloridkonzentrationen in den Flächenelementen .....	9
Abbildung 7: Phase 1 Einleitung in Sohlmitte bei MNQ, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle) .....	10
Abbildung 8: Phase 1 Einleitung am linken Sohlrand bei MNQ, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle) .....	11
Abbildung 9: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 MNQ, Einleitung in Sohlmitte, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle) .....	12
Abbildung 10: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 MNQ, Einleitung am linken Sohlrand, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle) .....	13
Abbildung 11: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 bei MQ, Einleitung in Sohlmitte, Querprofile und Längsprofile (20 cm über der Sohle) .....	14
Abbildung 12: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 bei MQ, Einleitung am linken Sohlrand, Querprofile und Längsprofile (20 cm über der Sohle) .....	15

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorbelastung der Lippe oberhalb der geplanten Grubenwassereinleitung .....	4
Tabelle 2: Prognose der zukünftigen Zusammensetzung des Grubenwassers .....	4
Tabelle 3: Ergebnisübersicht .....	6

## 0. Veranlassung

Für die Wiederaufnahme der Grubenwasserhaltung am Standort Haus Aden nach Erreichen des Anstiegsniveaus (-600 m NHN bis max. -380 m NHN) benötigt die RAG eine wasserrechtliche Erlaubnis für das Heben und Einleiten von max. 14,9 Mio. m<sup>3</sup> Grubenwasser jährlich in die Lippe. Das Heben und die anschließende Einleitung des Grubenwassers in die Lippe sind Gegenstand des Vorhabens, für das ein wasserrechtliches Erlaubnisverfahren durchgeführt wird. Nachfolgend wird die Vermischung des einzuleitenden Grubenwassers mit dem Gewässerabfluss mittels einer 3D-Modellierung untersucht. Die Örtlichkeit der geplanten Grubenwassereinleitung ist in nachfolgender Abbildung skizziert.

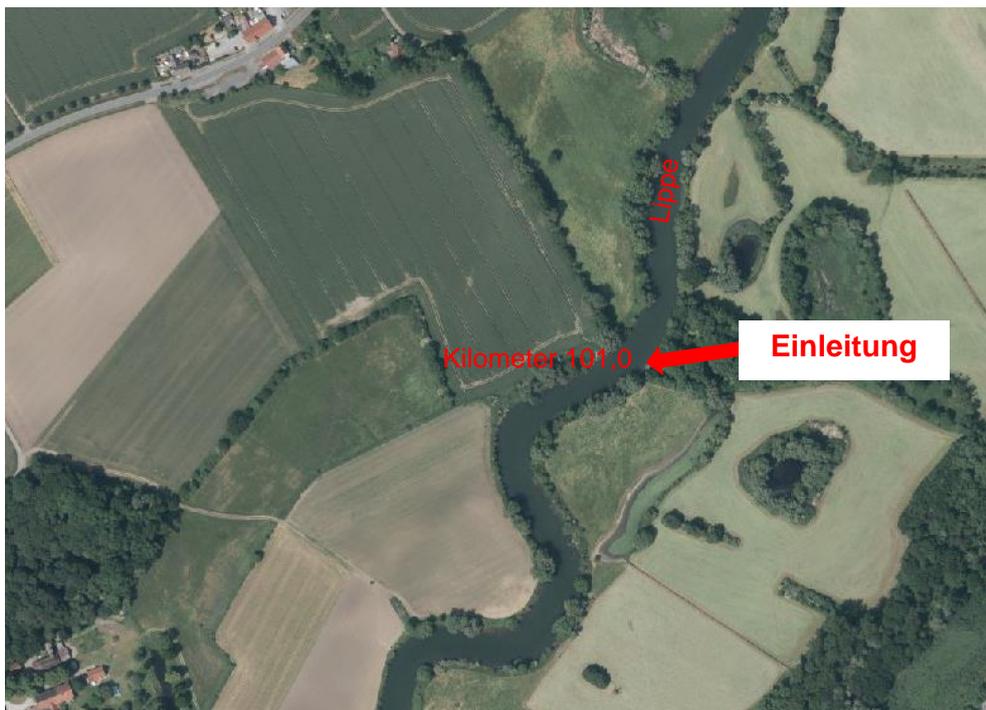


Abbildung 1: Einleitstelle (Quelle: ELWAS-WEB, ergänzt)

Ziel der 3D-Modellierung ist:

- die Berechnung der Ausbreitungsfahne des eingeleiteten Grubenwassers in Phase 1 und Phase 2,
- die Ermittlung der Vermischungsintensität entlang der Fließstrecke ab Einleitstelle,
- die Ermittlung der Unterschiede der Vermischungsintensitäten bei Einleitung in der Sohlmitte bzw. am linken Sohlrand (in Fließrichtung),
- die Bearbeitung der obigen Punkte für unterschiedliche Abflussszenarien.

Zwei Abfluss-Szenarien wurden für die Ermittlung der Wirkungen der Grubenwassereinleitung festgelegt:

- Szenario 1 "Mittlerer Niedrigwasserabfluss in der Lippe (MNQ), stellt die stofflichen, hydrologischen und hydraulischen Bedingungen bei mittlerem Niedrigwasser in der Lippe dar.
- Szenario 2 "Mittelwasserabfluss in der Lippe (MQ), stellt die mittleren stofflichen, hydrologischen und hydraulischen Bedingungen bei mittlerem Abfluss in der Lippe dar.

## 1. DATENGRUNDLAGE

### 1.1. AUFBEREITUNG UND AUSWERTUNG DER GEWÄSSERVORBELASTUNG

Die Gewässervorbelastung in der Lippe (Messwerte der Messstellen 515061 u. 515000, 2019-2023) oberhalb der geplanten Grubenwassereinleitungsstelle wurden vom Ingenieur- und Planungsbüro LANGE GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt und sind in Tabelle 1 zusammengestellt (s.a. Unterlage 2, FB WRRL). Die nachfolgende Betrachtung zu den Strömungs- und Mischungsverhältnissen in der Lippe erfolgt für den im Hinblick auf die Grubenwassereinleitung kritischen Parameter Chlorid.

**Tabelle 1: Vorbelastung der Lippe oberhalb der geplanten Grubenwassereinleitung**

Gewässerabfluss	Chloridkonzentration
MNQ 10,6 m <sup>3</sup> /s	99,4 mg/l
MQ 99,4 m <sup>3</sup> /s	94,3 mg/l

### 1.2. MENGE UND BESCHAFFENHEIT DES GRUBENWASSERS

Die Prognose der zukünftigen Zusammensetzung und Menge des Grubenwassers findet sich in Tabelle 2 (Stoffprognose der DMT für das Grubenwasser, Unterlage 5). Hierbei wird zwischen unterschiedlichen Einleitmengen in Abhängigkeit des Gewässerabflusses und der jeweiligen Phase unterschieden. Die Einleitmengen entsprechen den im FB WRRL (Unterlage 2) dargestellten optimierten Einleitmengen mit Pumpmanagement.

**Tabelle 2: Prognose der zukünftigen Zusammensetzung des Grubenwassers**

Gewässereabfluss	Grubenwasser	Phase 1	Phase 2
MNQ	Q [m <sup>3</sup> /s]	0,17	0,23
	Cl [mg/l]	6.323,00	5.553,00
	Cl [kg/s]	1,06	1,29
MQ	Q [m <sup>3</sup> /s]	0,25	0,37
	Cl [mg/l]	6.449,00	6.105,00
	Cl [kg/s]	1,61	2,24

### 1.3. WEITERE RANDBEDINGUNGEN UNTERHALB DER EINLEITSTELLE

Ca. 1,5 Kilometer unterhalb der Einleitungsstelle des Grubenwassers befindet sich das Wehr Beckinghausen (Abbildung 2), welches auf der rechten Seite (in Fließrichtung) mit einer Fischaufstiegsanlage ausgestattet ist. Die Vermischung des Grubenwassers wird bis zum Wehr Beckinghausen modelltechnisch abgebildet und ausgewertet.

Der Begriff „Vermischung“ wird verwendet, um zu beschreiben, ob die Ausgangskonzentration des Lippeabflusses in den modelltechnisch betrachteten „Wasserpaketen“ von der Grubenwassereinleitung verändert wurde. Erst bei einer homogenen Verteilung der Konzentration in allen Wasserpaketen eines Querschnitts wird von einer vollständigen Durchmischung gesprochen.

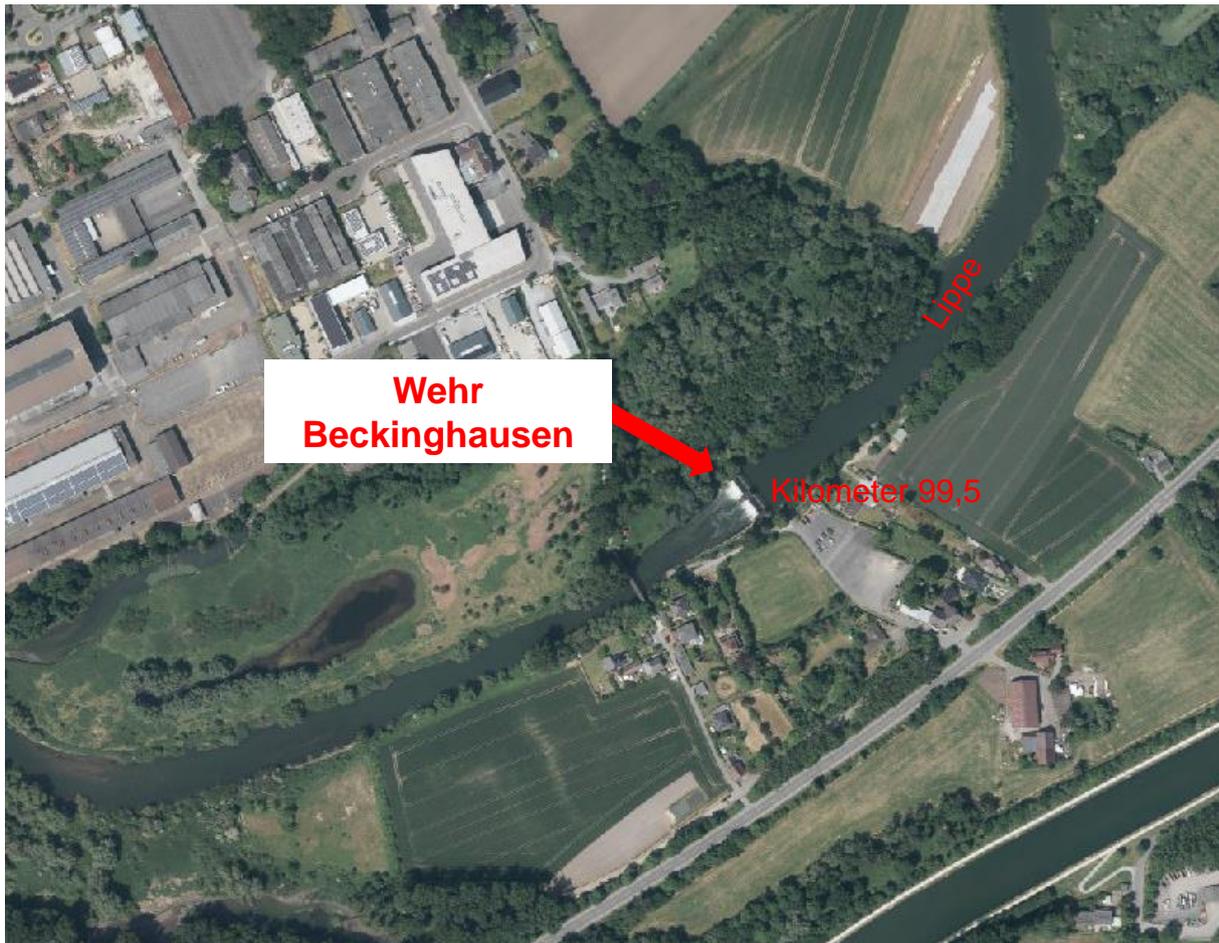


Abbildung 2: Lage des Wehres Beckinghausen

## 2. MODELLERGEBNISSE

Die Berechnungen erfolgten mit dem Modul TELEMAT-3D von open TELEMAT-MASCARET. Ähnliche Fragestellungen wurden von Sydro bereits an der Weser und am Rhein mit TELEMAT-3D bearbeitet. Der Fokus der Auswertung lag in der Identifizierung und Bewertung der Vermischung sowie der Identifizierung eines möglichst unbelasteten Korridors im Gewässer bei unterschiedlichen Einleitbedingungen bzw. unterschiedlicher Lage des Auslaufs der Grubenwasserleitung im Gewässer. Dabei wird die Lage des Auslaufs in der Sohlmitte sowie am linken Sohlrand betrachtet. In

Tabelle 3 ist eine Ergebnisübersicht zusammengestellt.

**Tabelle 3: Ergebnisübersicht**

	Variante	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
1	Hydrologie	MNQ				MQ			
2	Szenario	Phase 1		Phase 2		Phase 1		Phase 2	
3	Einleitungsort	Sohlmitte	Linker Sohlr.						
4	Einleitung Q [m³/s]	0,17		0,23		0,25		0,37	
5	Einleitung Cl [mg/l]	6323		5553		6449		6105	
6	Gewässerabfluss Q [m³/s]	10,6				18,0			
7	Vorbelastung Cl [mg/l]	99,4				94,3			
8	Anteil Querschnittsfläche Cl < 200 mg/l nach 200m [%]	25,6	88,3	19,3	85,3	64,7	91,2	60,8	86,5
9	Vermischung vor Wehr Beckinghausen [%]	99,1	87,1	92,1	90,7	98,6	96,1	95,3	91,9
10	Anteil Querschnittsfläche mit maximaler Chloridkonzentration > 200 mg/l vor Wehr Beckinghausen [%]	0,0	3,7	2,0	4,1	0,0	0,0	1,9	3,9
11	Max. Cl-Konzentration [mg/l] vor Wehr Beckinghausen der in 10 ermittelten Querschnittsfläche	-	221,2	233,8	236,9	-	-	224,4	231,7

Erläuterungen zu Tabelle 3:

- Zeilen 1 bis 7 dokumentieren die Eingangsdaten der jeweiligen Variante.
- Zeile 8: Für alle Varianten wurde 200 m unterhalb der Grubenwassereinleitung die durchflossene Querschnittsfläche ermittelt, in der eine Cl-Konzentration kleiner 200 mg/l berechnet wurde.
- Zeile 9: Für alle Varianten wurde vor dem Wehr Beckinghausen die prozentuale Vermischung von Grubenwasser und Lippe-Abfluss ermittelt. Die Vermischung gibt an, wie viele Teile Lippewasser auf Teile eingeleitetes Grubenwasser kommen. Je höher der Wert desto höher die Vermischung.
- Zeile 10: Für alle Varianten wurde vor dem Wehr Beckinghausen der Anteil der durchflossenen Querschnittsfläche ermittelt, in der die maximale Chloridkonzentration größer 200 mg/l berechnet wurde. Die aufgeführten Anteile zeigen dabei die Querschnittsfläche mit der jeweils maximalen Chloridkonzentration auf. In den Varianten 1.1, 3.1 und 3.2 liegt die Chloridkonzentration vor dem Wehr Beckinghausen im gesamten durchflossenen Querschnitt unter 200 mg/l.
- Zeile 11: Für alle Varianten wurde vor dem Wehr Beckinghausen die maximale Chloridkonzentration ermittelt, die nur in der in Zeile 10 dokumentierten Querschnittsfläche auftritt.

Sowohl bei dem Vergleich der Größe des durchflossenen Querschnitts, in dem die maximalen Chloridkonzentrationen größer 200 mg/l auftreten (Zeile 10), als auch bei der ermittelten max. Chloridkonzentration (Zeile 11) wird mit der Grubenwassereinleitung in der Sohlmitte eine effizientere Vermischung erreicht als bei Einleitung am linken Sohlrand.

Bei allen Varianten bleibt die Fahne des eingeleiteten Grubenwassers sohnah und verteilt sich vorwiegend horizontal.

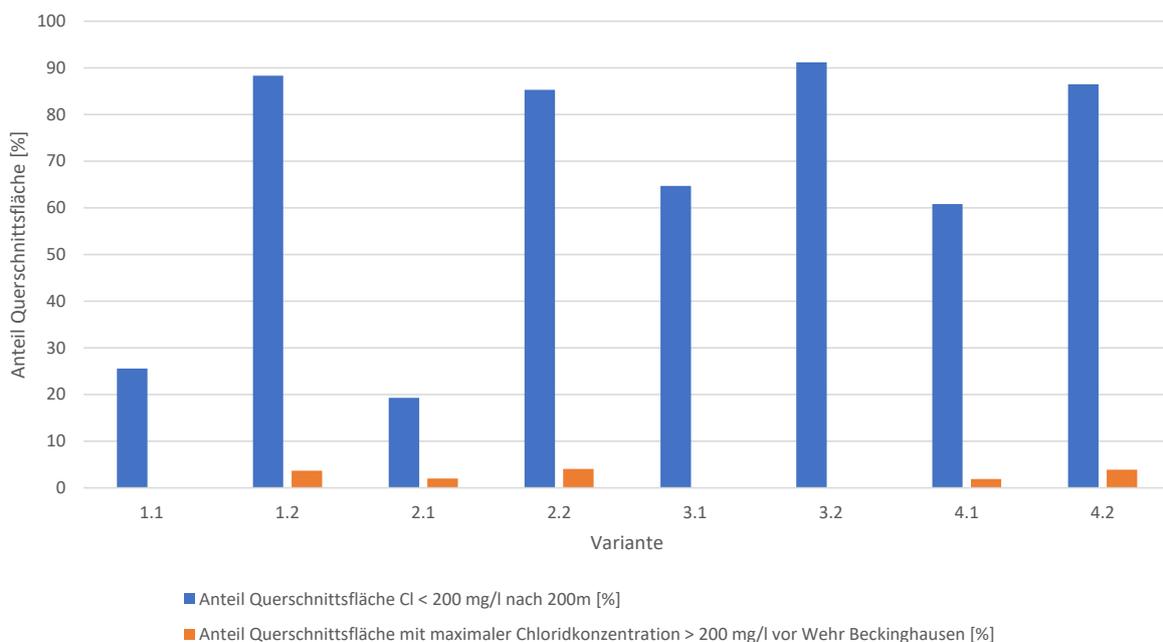
Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt die ermittelten prozentualen Anteile der Querschnittsflächen mit Chloridkonzentrationen über bzw. unter dem Zielwert in unterschiedlichen Abständen zur Einleitungsstelle:

1. 200 m unterhalb der Grubenwassereinleitung sind die Anteile der durchflossenen Querschnittsfläche, in denen eine Chloridkonzentration > 200 mg/l ermittelt wurden dargestellt (blaue Balken).

Bsp.: In der Variante 1.1 wurde 200 m unterhalb der Grubenwassereinleitung im durchflossenen Querschnitt in einem Flächenanteil von 25,6% eine Chloridkonzentration < 200 mg/l ermittelt. 74,4 % der durchflossenen Querschnittsfläche weisen eine Chloridkonzentration größer 200 mg/l auf.

2. vor dem Wehr Beckinghausen sind die Anteile der durchflossenen Querschnittsfläche, in denen die maximale Chloridkonzentration (> 200 mg/l) ermittelt wurden dargestellt (orange Balken).

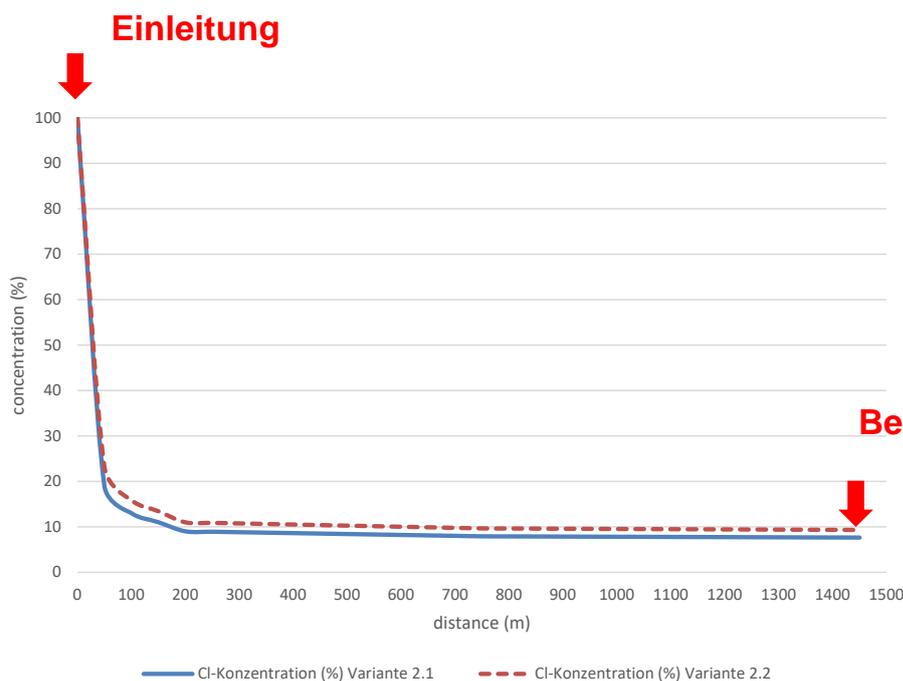
Bsp.: Im gesamten durchflossenen Querschnitt vor dem Wehr Beckinghausen liegt die Chloridkonzentration in der Variante 1.1 (Sohlmitte, MNQ) unter 200 mg/l und beträgt in der Variante 1.2 (Sohlrand, MNQ) 3,7 %.



**Abbildung 3: Vergleich der Querschnittsflächen der Varianten 200 m unterhalb der Einleitungsstelle und vor dem Wehr Beckinghausen**

Aus Abbildung 3 und Tabelle 3 ist zu erkennen, dass ca. 200 m unterhalb der Grubenwassereinleitung der durchflossene Gewässerquerschnitt mit einer Chloridkonzentration kleiner 200 mg/l größer ist bei Einleitung am linken Sohlrand im Vergleich zur Einleitung in der Sohlmitte. Vor dem Wehr Beckinghausen wird eine maximale Chloridkonzentration von ca. 237 mg/l (Variante 2.2) berechnet, diese Maximalkonzentration tritt aber nur in einem räumlich sehr kleinen „Wasserpaket“ (ca. 4 % des Querschnittes) auf. In den meisten betrachteten Varianten liegt die Durchmischung direkt vor dem Wehr Beckinghausen bei >90%, Ausnahme ist die Variante 1.2 mit >87 %. In den nachfolgenden Abbildungen ist für die Phase 2 dargestellt, wie die prozentuale Vermischung des Grubenwassers im Längsverlauf der Lippe erfolgt. Die Vermischung gibt an, wie viele Teile Lippewasser auf Teile eingeleitetes Grubenwasser kommen (s. Kap. 1.3). Je höher der Wert desto höher die Vermischung. Dabei wird die Ausbreitung der Grubenwasserfahne über die Gewässerbreite auf Sohlhöhe (20 cm über Sohle) im Lippeverlauf dargestellt.

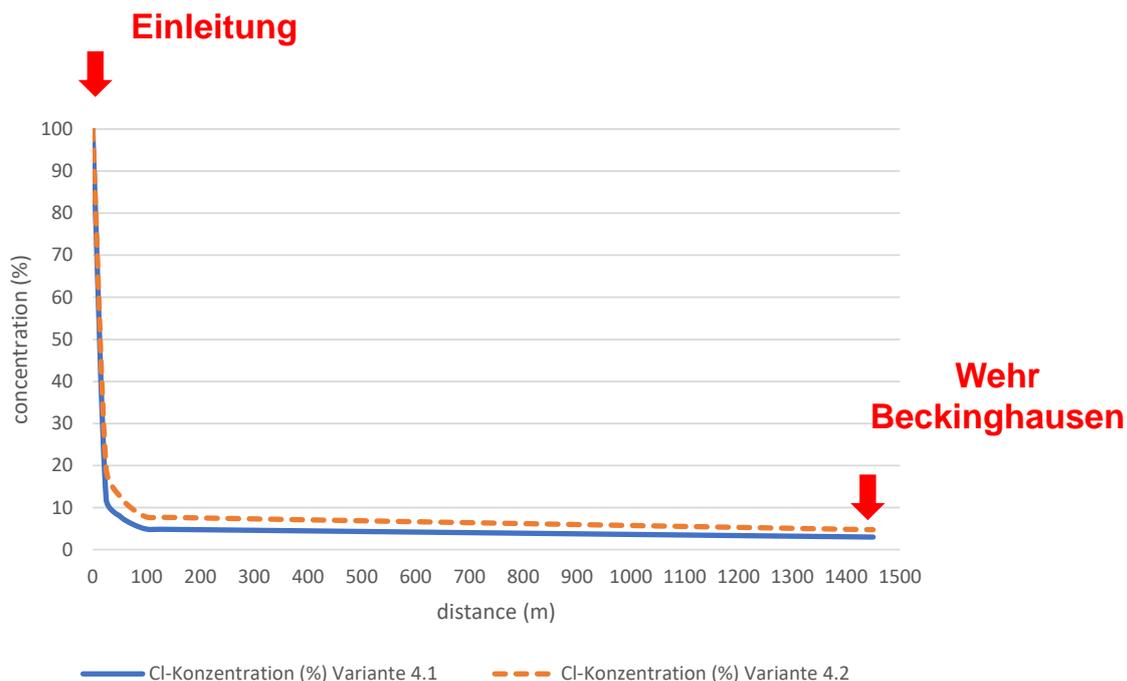
In Abbildung 4 ist der Verlauf der Vermischung bei einem Gewässerabfluss der Lippe von MNQ dargestellt. Ca. 200 m unterhalb der Einleitungsstelle sind bei einer Einleitung in Sohlmitte ca. 92% des Grubenwassers mit dem Gewässerabfluss vermischt. Bei einer Einleitung am linken Sohlrand beträgt dieser Wert knapp unter 90%. Die Vermischung erfolgt bei Einleitung in der Sohlmitte etwas „schneller“ als bei einer Einleitung am linken Sohlrand.



**Abbildung 4: Prozentuale Vermischung bei MNQ in Variante 2.1 (Einleitung Sohlmitte) und Variante 2.2 (Einleitung am linken Sohlrand)**

In Abbildung 5 ist der Verlauf der Vermischung bei einem Gewässerabfluss der Lippe von MQ dargestellt.

Ca. 200 m unterhalb der Einleitungsstelle sind bei einer Einleitung in Sohlmitte ca. 94% des Grubenwassers mit dem Gewässerabfluss vermischt. Bei einer Einleitung am linken Sohlrand beträgt dieser Wert ca. 92%. Die Vermischung erfolgt bei Einleitung in der Sohlmitte auch hier etwas „schneller“ als bei einer Einleitung am linken Sohlrand.



**Abbildung 5: Prozentuale Vermischung bei MQ in Variante 4.1 (Einleitung Sohlmitte) und Variante 4.2 (Einleitung am linken Sohlrand)**

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden die Querprofile in Flächenelemente von  $0,15 \text{ m}^2$  unterteilt. Für jedes dieser kleinen Flächenelemente wurde eine mittlere Chloridkonzentration aus den Modellergebnissen ermittelt. Die mittleren Chloridkonzentrationen wurden einer abgestuften farblichen Skala zugeordnet und grafisch in den jeweiligen Profilen dargestellt. Die farbliche Zuordnung ist aus

Abbildung 6 ersichtlich. Die Maximalkonzentrationen innerhalb eines Flächenelementes können über der dargestellten mittleren Chloridkonzentrationen liegen, treten aber nur in einem äußerst kleinen "Wasserpaket" auf.

	230 bis 240	[mg Cl /l]
	220 bis 230	[mg Cl /l]
	215 bis 220	[mg Cl /l]
	210 bis 215	[mg Cl /l]
	205 bis 210	[mg Cl /l]
	200 bis 205	[mg Cl /l]
	195 bis 200	[mg Cl /l]
	190 bis 195	[mg Cl /l]
	< 190	[mg Cl /l]

**Abbildung 6: Farbliche Zuordnung der mittleren Chloridkonzentrationen in den Flächenelementen**

Im vorliegenden Text wurden zur Visualisierung der Ergebnisse im Längsverlauf zwischen Einleitung und Wehr Beckinghausen (s. Abbildungen unten) nachfolgende Randbedingungen festgesetzt:

- die Darstellung des gestreckten Gewässerverlaufs der Lippe ermöglicht eine komfortable Visualisierung (im 3D-Modell ist der reale Gewässerverlauf implementiert)
- da sich bei allen betrachteten Varianten die Chloridfahne eher sohnlah verteilt, wird die Chloridkonzentration 20 cm oberhalb der Gewässersohle dargestellt um diese sichtbar zu machen.

Zur Bewertung eines potentiellen Korridors mit einer möglichst geringen Erhöhung der Chloridkonzentration werden in den nachfolgenden Abbildungen die Auswirkungen bei Einleitung in Sohlmitte und bei Einleitung am linken Sohlrand für die Fälle dargestellt und verglichen, für die vor dem Wehr Beckinghausen noch Flächenanteile mit maximalen Chloridkonzentrationen ermittelt wurden (vgl. Tab. 3, Zeile 10).

Aus Abbildung 7 ist zu erkennen, dass sich bei einer Einleitung in Sohlmitte (Phase 1 bei MNQ) oberhalb des Wehrs Beckinghausen eine homogene fast vollständige Durchmischung vollzogen hat.

### Phase 1 bei MNQ – Einleitung in Sohlmitte

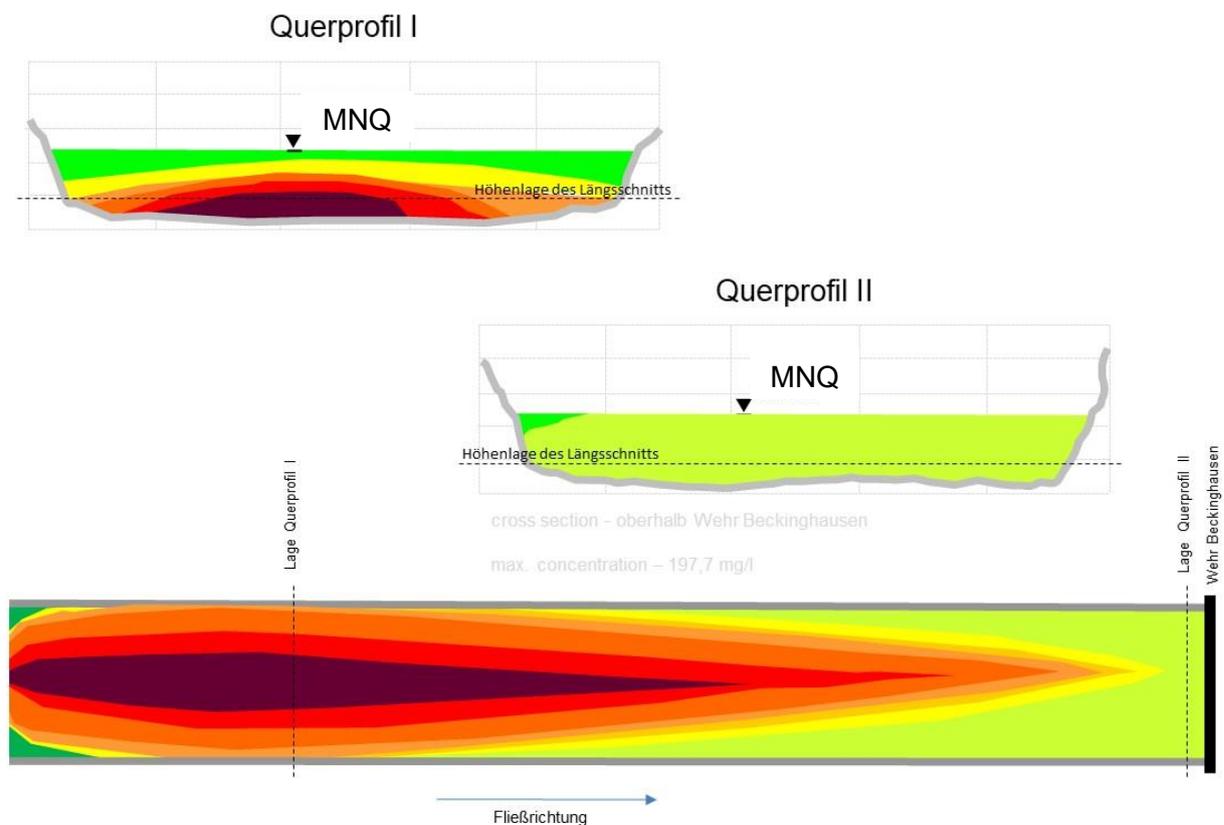
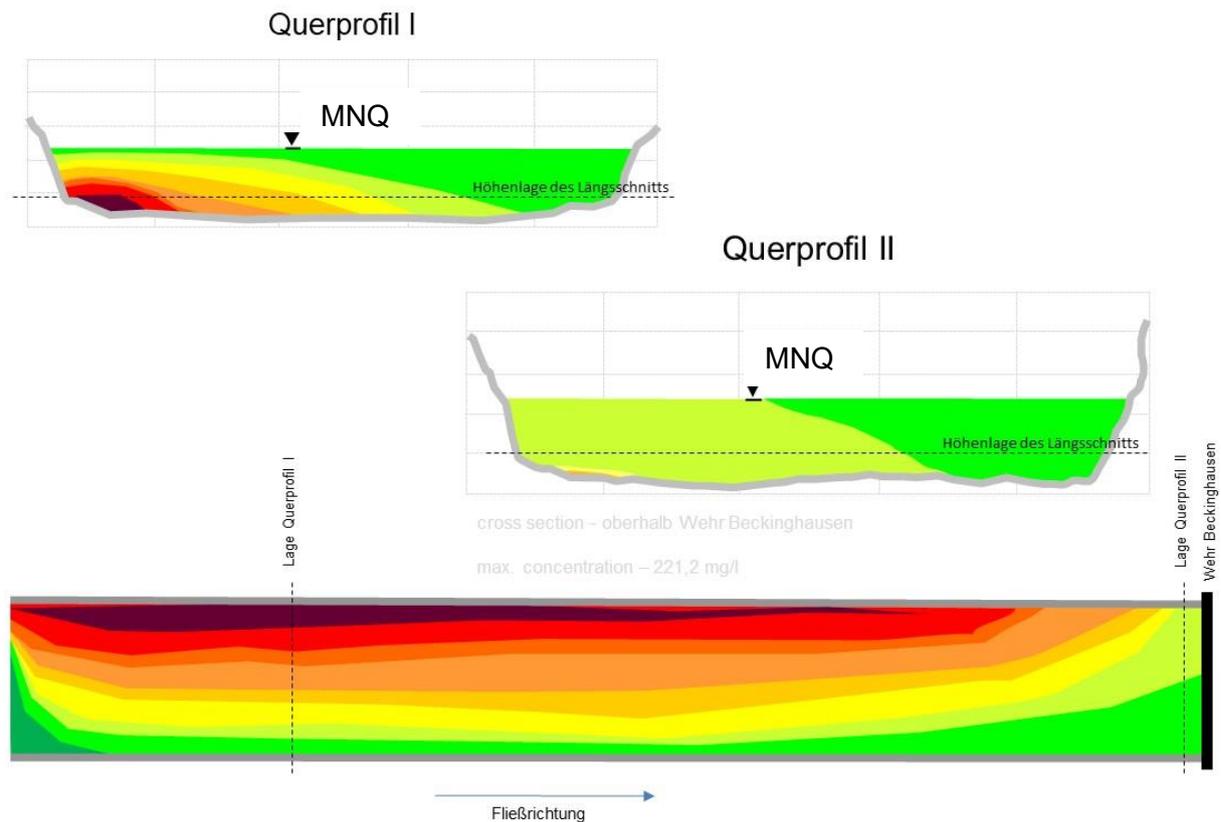


Abbildung 7: Phase 1 Einleitung in Sohlmitte bei MNQ, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle)

Die Einleitungsfahne bleibt in der Gewässermitte und breitet sich zu den Ufern hin recht gleichmäßig aus. Im Querprofil I (ca. 200 m unterhalb der Einleitungsstelle) sind die Chloridkonzentrationen im Bereich der Sohle und direkt darüber deutlich erhöht. Lediglich im oberen Drittel des Gewässerprofils treten Chloridkonzentrationen auf, die kleiner 200 mg/l sind.

Im Vergleich dazu ist die Vermischung bei Einleitung am linken Sohlrand (Abbildung 8) deutlich weniger homogen.

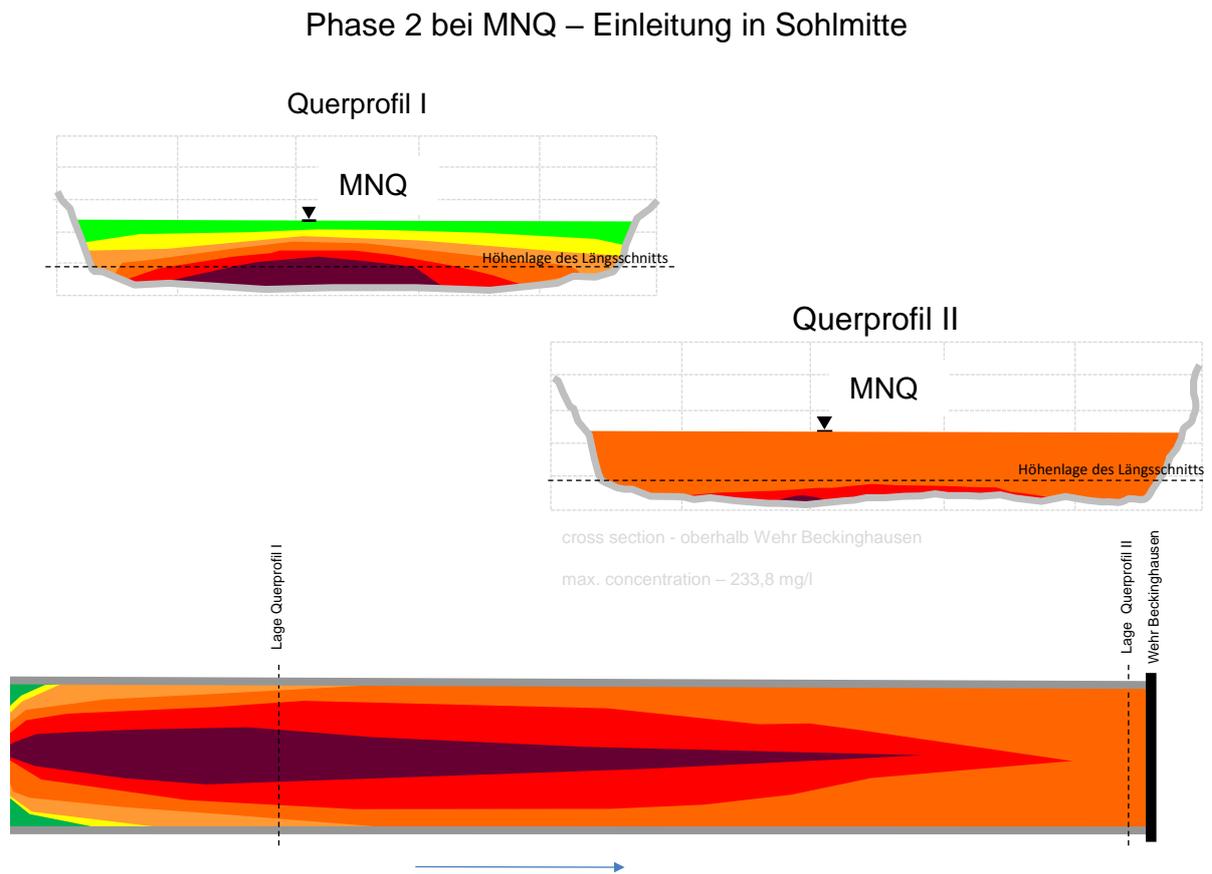
### Phase 1 bei MNQ – Einleitung in am linken Sohlrand



**Abbildung 8: Phase 1 Einleitung am linken Sohlrand bei MNQ, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle)**

Die Einleitungsfahne bleibt sohlnah und löst sich nur in geringem Maße vom linken Ufer. Zwar dauert die Vermischung bei Einleitung am linken Sohlrand etwas länger als bei Einleitung in der Sohlmitte, jedoch ist deutlich zu erkennen, dass sich ca. 200 m unterhalb der Einleitungsstelle auf der rechten Gewässerseite ein größerer Bereich befindet, in dem die Chloridkonzentration signifikant geringer ist als bei Einleitung in der Sohlmitte und selbst in Sohlhöhe unter 200 mg/l liegt.

Abbildung 9 zeigt die Chloridverteilung oberhalb des Wehres Beckinghausen in der Phase 2 bei einem Lippeabfluss von MNQ und Einleitung in Sohlmitte. Wie in Phase 1 erfolgt die Vermischung des eingeleiteten Grubenwassers mit dem Lippeabfluss recht homogen. Aufgrund der veränderten Einleitmenge und -beschaffenheit ergibt sich insgesamt eine deutlich höhere Chloridkonzentration im Vergleich zu Phase 1.



**Abbildung 9: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 MNQ, Einleitung in Sohlmitte, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle)**

Erfolgt die Grubenwassereinleitung am linken Sohlrand (Abbildung 10), erfolgt die Vermischung nicht so homogen wie bei Einleitung in Sohlmitte. Die verzögerte Durchmischung hat zur Folge, dass sich, wie auch schon in Phase 1, auf der rechten Gewässerseite Chloridkonzentrationen ergeben, die bei Einleitung am linken Sohlrand deutlich geringer sind als bei Einleitung in Sohlmitte.

### Phase 2 bei MNQ – Einleitung am linken Sohlrand

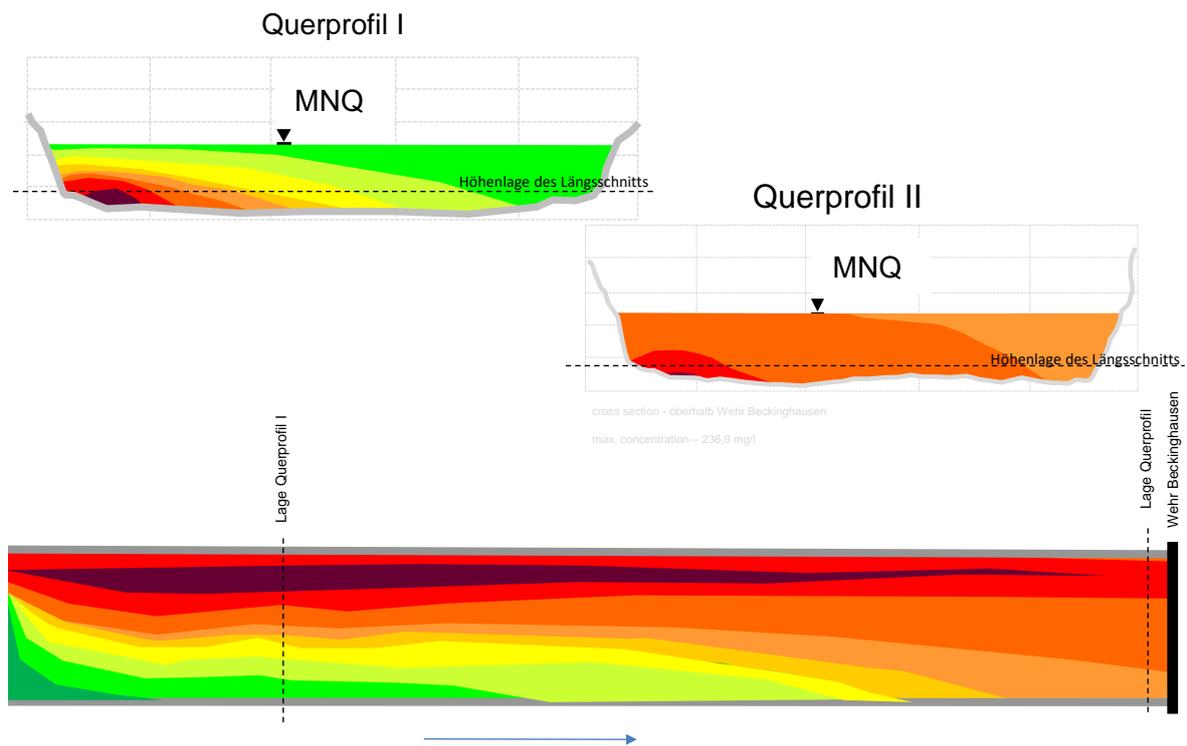
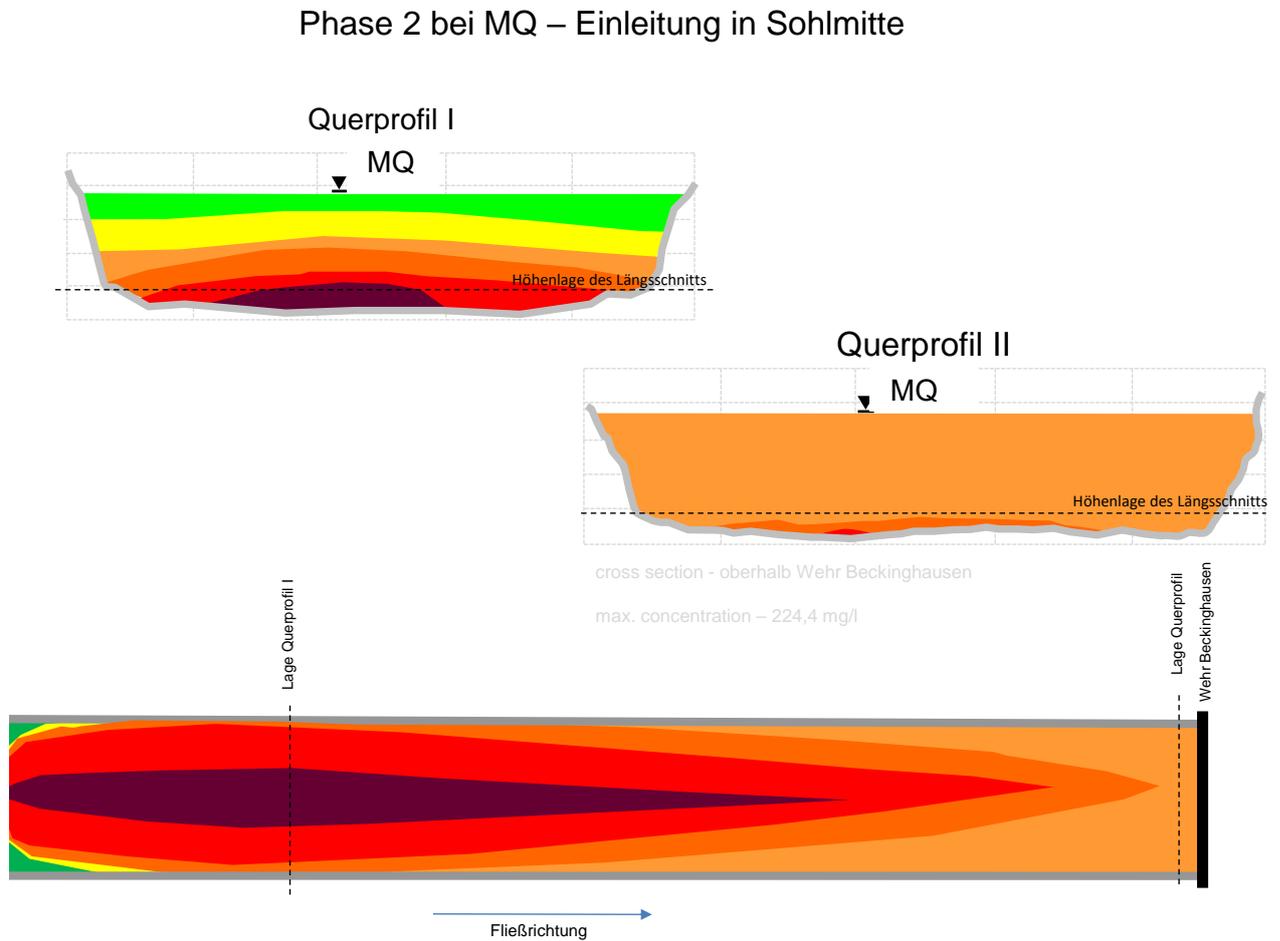


Abbildung 10: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 MNQ, Einleitung am linken Sohlrand, Querprofile und Längsprofil (20 cm über Sohle)

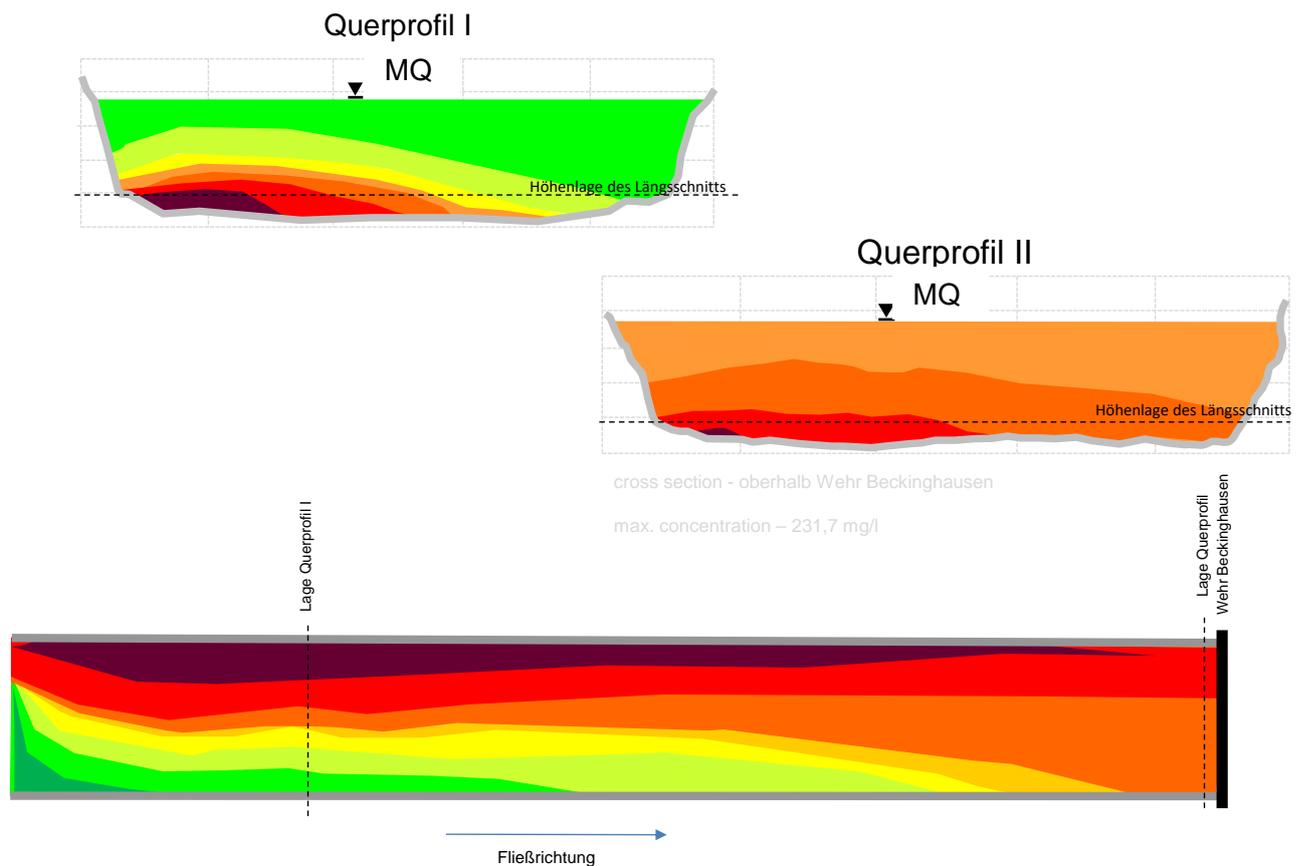
Abbildung 11 zeigt die Chloridverteilung bei Einleitung in der Sohlmitte in Phase 2 bei Mittelwasserabfluss in der Lippe. Bei Einleitung in der Sohlmitte ergibt sich eine homogene und fast vollständige Vermischung vor dem Wehr Beckinghausen mit Chloridkonzentrationen von im Mittel 205 - 210 mg/l.



**Abbildung 11: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 bei MQ, Einleitung in Sohlmitte, Querprofile und Längsprofile (20 cm über der Sohle)**

Weniger homogen erfolgt die Vermischung bei Einleitung am linken Sohlrand (Abbildung 12). Die Chloridkonzentrationen vor dem Wehr sind insgesamt zwar höher, im Längsverlauf bildet sich jedoch auf der rechten Gewässerseite ein Bereich aus, in dem die Chloridkonzentrationen deutlich geringer sind als bei Einleitung in der Sohlmitte und der mit Konzentrationen unter 200 mg/l selbst in Sohlhöhe nah an das Wehr heranreicht.

### Phase 2 bei MQ – Einleitung am linken Sohlrand



**Abbildung 12: Oberhalb Wehr Beckinghausen – Phase 2 bei MQ, Einleitung am linken Sohlrand, Querprofile und Längsprofile (20 cm über der Sohle)**

### 3. ZUSAMMENFASSUNG / FAZIT

Das Strömungsmodell wurde erstellt, um Empfehlungen für die Lage des neu zu errichtenden Auslaufs im Gewässerprofil an der Einleitungsstelle geben zu können. Neben der Option des sohnahen, gewässermittigen Auslaufs wurde im Strömungsmodell auch die Lage des Auslaufs am linken Sohlrand der Lippe geprüft. Ziel ist es, die für das Gewässer und seine Besiedlung günstigste Einleit- und Mischungssituation v.a. im Hinblick auf den Parameter Chlorid zu ermitteln. Dabei wurden beide Phasen der Einleitung (Phase 1 und 2) und die jeweiligen Abflussbedingungen (MQ und MNQ) für beide Varianten betrachtet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Grubenwasserfahne in allen betrachteten Varianten zunächst sohnah verbleibt. Bei Niedrigwasserverhältnissen in der Lippe reichen die Bereiche mit erhöhten Chloridkonzentrationen bis ca. 20 cm über der Sohle. Vergleichend dazu ergeben sich bei Mittelwasserabfluss in der Lippe die höheren Chloridkonzentrationen im Bereich zwischen der Sohle und ca. 85 cm oberhalb der Sohle. Tendenziell ist die Vermischung bei Einleitung in der Sohlmitte im Vergleich zu einer Einleitung am linken Sohlrand effizienter, d.h. sie erfolgt schneller bzw. auf kürzerer Fließstrecke. Bei einer Einleitung des Grubenwassers am linken Sohlrand erfolgt die Vermischung nicht so schnell, jedoch ergibt sich auf der rechten Gewässerseite (in Fließrichtung) ein deutlich längerer Korridor, in dem die Chloridkonzentration in der Phase 2 auch sohnah unter 200 mg/l bleibt. Auch bei Mittelwasserabfluss in der Lippe bildet sich in Phase 2 bei Einleitung am linken Sohlrand ein Korridor auf der rechten Gewässerseite mit deutlich geringeren Chloridkonzentrationen im Vergleich zur Einleitung in der Sohlmitte.

Darmstadt im Februar 2025



Dipl.-Ing. Markus Funke

## 4. LITERATUR

Canadian Hydraulics Centre (2011): Blue Kenue Reference Manual

Emschergenossenschaft/Lippeverband: Echolotdaten (Stand: Februar 2015), Daten zu Wasserlinien und Daten des DGM1 (Stand: 2019), Essen 2024

Hervouet, J.-M., J.-L. Hubert, J.-M. Janin, F. Lepeintre & E. Peltier (1994): The Computation of Free Surface Flows with TELEMAC: An Example of Evolution Towards Hydroinformatics. J. Hydr. Res., 32(1):45–64

Lange GmbH & Co. KG: Datengrundlagen zu Stoffkonzentrationen im Grubenwasser und in der Lippe, Daten aus Unterlage 2 (FB WRRL zum Wasserrechtsverfahren), 2024

Smile Consult GmbH (2002): Benutzerhandbuch zur Janet Version 1.5