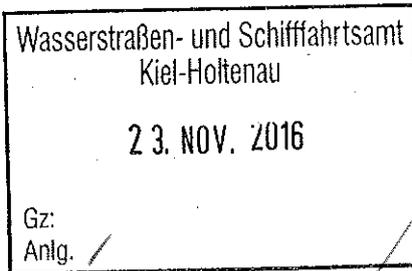


Bundesanstalt für Wasserbau · Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
WSA Kiel-Holtenau

Schleuseninsel 2
24159 Kiel



Ansprechpartner/in:
Dr.-Ing. Thomas Nuber
Geschäftszeichen:

Telefon: +49 (0)40 81908-395
Telefax: +49 (0)40 81908-373
thomas.nuber@baw.de
www.baw.de

Ihr Zeichen:

Datum: 16.11.2016

Kleine Schleuse Kiel-Holtenau

- Analyseergebnisse der Wasserproben vom September 2016

[1] Email vom 21.9.2016 von Herrn Bullerkist (WSA Kiel-Holtenau) an Herrn Nuber (BAW Hamburg)

1. Vorbemerkung

Im Zusammenhang mit der geplanten Baumaßnahme bei den kleinen Schleusen sind für die Bewertung der Beton- und Stahlaggressivität des Grund- sowie des Oberflächenwassers im September 2016 Wasserproben aus insgesamt 10 GwMessstellen der Kieler Förde und des NOKs entnommen worden und anschließend auf ihre Beschaffenheit analysiert worden. Beauftragt wurde das Labor UCL Umwelt Control Labor GmbH aus Kiel.

Die Analyseergebnisse und Probenentnahmeprotokolle wurden uns mit [1] übergeben. Zu den vorliegenden Messergebnissen nehmen wir wie folgt Stellung:

2. Plausibilität der Analyseergebnisse

Eine Möglichkeit der Plausibilisierung ist die Ionenbilanzierung der gelösten Anionen und Kationen, da diese sich in einer Wasserprobe grundsätzlich in einem Ladungsgleichgewicht zueinander befinden müssen. Für die Ionenbilanzierung werden zunächst die in der Probe analysierten Äquivalenzkonzentrationen der An- und Kationen bestimmt und anschließend wird der Ionenbilanzfehler gemäß DVWK (1992) nach der folgenden Formel bestimmt:

$$\text{Ionen } \sum \text{ Fehler (\%)} = \frac{\sum \text{Kationen (c (eq))} - \sum \text{Anionen (c (eq))}}{0,5 \cdot [\sum \text{Kationen (c (eq))} + \sum \text{Anionen (c (eq))}]} \cdot 100 \%$$

Nach den Prüfberichten aus [1] ergeben sich für die Grundwasserproben Ionenbilanzfehler, die weit unterhalb 10% liegen. Die Ionenbilanzfehler der Wasserproben aus der Kieler Förde bzw. dem NOK zeigen Werte, die knapp oberhalb 10% liegen. Aufgrund des hohen Ionengehalts sind diese Ionenbilanzfehler jedoch tolerierbar, so dass sämtliche Analyseergebnisse als plausibel einzustufen sind und eine Bewertung auf der Grundlage der durchgeführten Analytik u.E. zulässig ist. Die Ionenbilanzfehler konnten durch eigene Nachrechnungen bestätigt werden.

3. Allgemeine Beschreibung der Wasserbeschaffenheit

Auf der Grundlage der gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten und Ionenkonzentrationen lassen sich drei Wassertypen unterscheiden:

1. Die Proben aus dem NOK und der Ostsee zeigen meerwassertypische Parameterwerte mit einer elektrischen Leitfähigkeit von ca. 26.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
2. Die elektrische Leitfähigkeit der Proben aus den GwMessstellen N1, N2 und N6 liegen zwischen 2.000 und 2.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mit entsprechend niedrigeren Ionenkonzentrationen. Diese Wertebereiche sind typisch für den Übergangsbereich zwischen Süßwasser und Brackwasser.
3. Die übrigen Proben zeigen elektrische Leitfähigkeiten zwischen 800 und 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die einem salzwasserbeeinflussten Süßwasser entsprechen.

Die Unterteilung in die vorgenannten drei Wassertypen kann auch aus der Bewertung der Ionenverhältnisse abgeleitet werden (Bild 1).

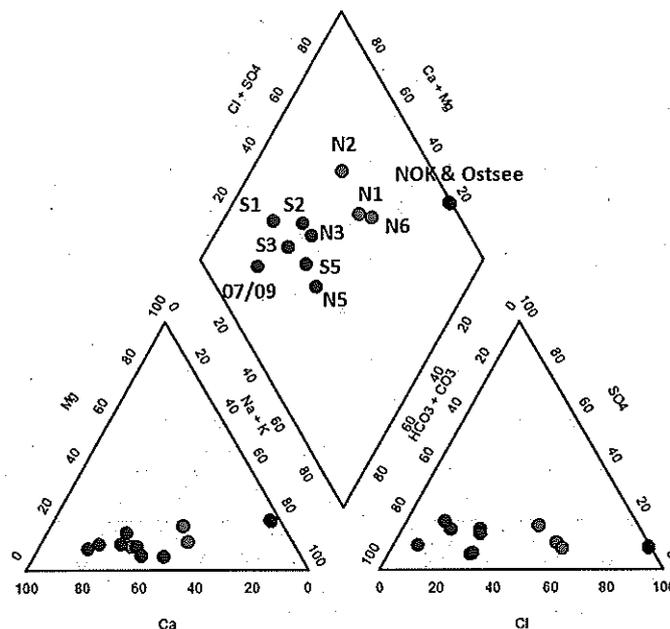


Bild 1: Piper-Diagramm der Wasserproben Kiel-Holtenau vom September 2016

Die Proben der Wässer aus der Ostsee und dem NOK lassen sich – wie für Meerwasser zu erwarten ist - als alkalisches, überwiegend chloridisches Wasser typisieren.

Die Wässer der übrigen GwMessstellen zeigen gegenüber den Wässern aus Ostsee und NOK eine relative Abnahme der typischen „seewasserbürtigen“ Ionen Natrium, Kalium und Chlorid, die auf Mischungs- bzw. Ionenaustauschprozesse zurückzuführen sind. Dabei heben sich allerdings die Proben der GwMessstellen N1, N2 und N6 hervor, bei denen die Ionenverhältnisse zwischen den Kationen Natrium und Kalium zu Kalzium und Magnesium sowie der chloridische Anteil bei den Anionen höher als bei den Proben der übrigen Messstellen sind.

Die Ionenverteilung sowie die gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten lassen auf einen höheren Anteil von infiltriertem Ostsee- bzw. NOK- Wasser im Bereich der Gw-Messstellen N1, N2 und N6 schließen. Die restlichen Wässer sind als Neubildungswässer zu bewerten, die einem Meerwassereinfluss unterliegen.

4. Bewertung hinsichtlich der Beton-- und Stahlaggressivität

4.1. Ist-Situation

Die Analysewerte der Proben aus der Ostsee und dem NOK erfordern aufgrund der hohen Sulfatgehalte eine Einordnung in die Expositionsklasse XA2. Zudem ist zu beachten, dass meerwassertypisch hohe Gehalte an Chlorid vorliegen.

Die in [1] aufgeführten Analyseergebnisse der GwProben erfordern für sämtliche GwMessstellen – bis auf die nachfolgend dargestellte Ausnahme der GwMessstelle N1 – keine Einordnung in eine Expositionsklasse.

Bei der Probe aus der GwMessstelle N1 wurde – mittels des Marmorversuchs - eine Konzentration an calcitlösender Kohlensäure von 17 mg/l gemessen, die somit geringfügig oberhalb des nach DIN 4030-1: 2008 festgelegten Grenzwertes zur Expositionsklasse XA1 von 15mg/l liegt. Eine Bestimmung der calcitlösenden Kohlensäure durch eine hydrochemische Modellierung nach DIN 38404: 2014 mit dem Programm Aquion ergibt, dass das Wasser calcitabscheidend ist. Auf dieser Grundlage ist auch die Probe N1 nicht in eine Expositionsklasse einzuordnen.

Die in [1] enthaltene Bewertung hinsichtlich der Stahlaggressivität nach DIN 50929-3 lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Für den Unterwasserbereich sind für alle Gw-Proben die Wahrscheinlichkeiten sowohl für die Mulden- und Lochkorrosion als auch für die Flächenkorrosion als „sehr gering“ einzuschätzen.
- Für die Wasser/Luftgrenze sind für alle Gw-Proben die Wahrscheinlichkeiten einer Flächenkorrosion als „sehr gering“ einzuschätzen.

- Die Wahrscheinlichkeit einer Mulden-/Lochkorrosion ist für die Wasser/Luftgrenze bei den Proben aus den Gw-Messtellen N1, N2, N3, N6 und S2 als „gering“ und bei den Gw-Messtellen N5, S1 und S3 als „sehr gering“ einzuschätzen.
- Die Proben aus dem NOK und der Kieler Förde zeigen für die Mulden- und Lochkorrosion im UW-Bereich eine mittlere Wahrscheinlichkeit und für die Wasser/Luftgrenze eine hohe Wahrscheinlichkeit, wogegen für die Flächenkorrosion im Unterwasserbereich eine geringe Wahrscheinlichkeit und für die Wasser/Luftgrenze eine mittlere Wahrscheinlichkeit vorliegt.

4.2. Auswirkungen der bauzeitlichen Wasserhaltung

Aufgrund der geplanten bauzeitlichen Wasserhaltung ist davon auszugehen, dass NOK- bzw. Ostseewasser in den Grundwasserleiter infiltriert und sich somit mit dem Grundwasser vermischt. Durch diese Vermischung wird eine Verschiebung des Kalk-Kohlensäuregleichgewichts bewirkt. Dabei ist zu beachten, dass das Konzentrationsgleichgewicht zwischen freier Kohlensäure und gelösten Hydrogenkarbonat nicht linear verläuft. Bei der Vermischung zweier calcitabscheidender Wässer, ist daher die Bildung eines calcitlösenden Mischwassers durchaus möglich.

Modellgestützte Prognosen, welche Stoffkonzentrationen sich aufgrund der Meerwasserinfiltration im Grundwasserleiter einstellen, sind nur mit einem erheblichen Aufwand und einem unverhältnismäßig hohem Dateneinsatz durchzuführen. Zudem sind die Modellaussagen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, so dass die Belastbarkeit der Ergebnisse einer solchen Modellierung nicht gegeben ist. Vor diesem Hintergrund wurden mit dem hydrochemischen Programm Aquion vereinfachte Mischungsberechnungen durchgeführt, bei denen jedoch die im Grundwasserleiter stattfindenden diffusiven, advektiven und dispersiven Transportmechanismen nicht berücksichtigt sind. Diese Prozesse bewirken eine Aufweitung der Konzentrationsfront und somit eine heterogene Verteilung der jeweiligen Stoffkonzentrationen. Der vereinfachte Modellierungsansatz liegt daher auf der sicheren Seite.

Nach den vereinfachten Mischungsberechnungen zeigte sich, dass selbst bei einem Mischungsverhältnis zwischen Ostseewasser und Grundwasser von 9:1 die Verschiebung des Kalk-Kohlensäuregleichgewichts die Calcitsättigung zwar verringert, aber keines der Mischwässer calcitlösend wird, so dass auch hier aufgrund der calcitlösenden Kohlensäure eine Einordnung in eine Expositionsklasse nicht erforderlich ist.

Hinsichtlich der in DIN 4030-1:2008 weiter angegebenen bewertungsrelevanten Wasserinhaltsstoffe ist jedoch festzuhalten, dass durch die Infiltration von Ostseewasser eine starke Erhöhung der Sulfat- und Magnesium Konzentrationen möglich ist. Bei dem o.g. angesetzten Mischungsverhältnis von 9:1 ergeben sich danach Sulfatkonzentrationen von ca. 1.400 mg/l und Mg-Konzentrationen zwischen 600 und 700 mg/l.

Vor diesem Hintergrund ist nicht auszuschließen, dass durch den Betrieb einer bauzeitlichen Wasserhaltung und der damit verbundenen Infiltration von NOK- bzw. Fördewasser die Konzentrationen an Sulfat und Magnesium die entsprechenden Grenzwerte zur Expositionsklasse XA2 überschreiten werden.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Im Auftrag



Dr.-Ing. M. Pohl

(Bearbeiter)



Dr.-Ing. Th. Nuber