Auftraggeber	**Stadt Köln**
Projekt	**0359**
Stand	**06.10.2017**

conzept
Umweltberatung GmbH
Boden. Gut. Machen.

Abschlussbericht

zur Detailuntersuchung Grundwasser im Umfeld der Altablagerung Kalkberg 1 in Köln

1. - 4. Ausfertigung: Stadt Köln

5. Ausfertigung: CONZEPT

Ausfertigung Nr. .....

Solinger Straße 12 D – 45481 Mülheim
☎ +49 (0)208 – 84 84 035 FAX +49 (0)208 – 84 84 037
CONZEPT.GmbH@t-online.de
www.conzept-consulting.com

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis 2

2 Veranlassung und Aufgabenstellung 3

3 Beteiligte Personen und Unternehmen 4

4 Verwendete Unterlagen 5

5 Historische Ausgangslage 5

6 Untersuchungsprogramm 8

7 Untersuchungsergebnisse 9

7.1 Geologische und hydrogeologische Standortverhältnisse 9
7.2 Grundwasserstände und -fließrichtungen 11
7.3 Grundwasserqualität 14
7.3.1 Zink 15
7.3.2 Kupfer 15
7.3.3 Ammonium 15
7.3.4 Cyanide 16
7.3.5 Elektrische Leitfähigkeit und Salze 18
7.3.6 pH-Wert und Redoxpotenzial 21
8 Potenzielle Schadstoffquellen 22

9 Gefährdungsbeurteilung 27

10 Zusammenfassung und Empfehlungen 29

11 Literaturverzeichnis 32

Anlagen 1 bis 7 liegen dem Gutachten in Papierform bei.

Die **chemischen Analyseprotokolle** sind dem Gutachten in digitaler Form auf CD beigefügt.

2 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Grundwasser im Umfeld des Kalkberges I in Köln ist mit Cyaniden beaufschlagt. Im Jahr 1986 wurden erstmals entsprechende Nachweise geführt, deren Ursache aber unklar war. Als mögliche Emittenten kamen neben dem Kalkberg auch eine ehemalige Kläranlage der Stadt Köln (sogenannte Schlinggruben) oder andere Altlasten im Umfeld in Frage.

Der Kalkberg I ist ursprünglich durch die Ablagerung von Produktionsrückständen der Chemischen Fabrik Kalk (CFK) entstanden und wird im Altlastenkataster der Stadt Köln als Altablagerung unter der Nummer 80206 geführt. Die Lage des Kalkberges innerhalb des Stadtteils Buchforst ist der **Anlage 1** zu entnehmen.

Ordnungsrechtlich unterliegt der Kalkberg I als Altablagerung dem Bundes – Bodenschutzgesetz (BBodSchG), da die Ablagerungsvorgänge noch vor Inkrafttreten des ersten Gesetzes über die Beseitigung von Abfall (Abfallbeseitigungsgesetz, AbfG) im Jahr 1972 stattgefunden haben.

Die Schlinggruben waren ursprünglich eine von der Stadt Köln betriebene Kläranlage, in die wohl aber auch Produktionsabwässer der CFK eingeleitet wurden. Sie sind inzwischen mit dem Gebäude der Firma Music Store überbaut.

Das Grundwasser im Umfeld des Kalkberges I lässt sich insbesondere durch erhöhte Gehalte an Cyaniden, Sulfaten und Chloriden charakterisieren. Seit 2011 findet eine kontinuierliche Überwachung der Grundwasserqualität statt. Zur Schließung der durch die bisher durchgeführten Untersuchungen verbliebenen Erkenntnislücken zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser und zur Erarbeitung von Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise, beauftragte die Stadt Köln, vertreten durch das Umwelt- und Verbraucherschutzamt - nachstehend als Auftraggeber (AG) bezeichnet -, mit Schreiben vom 20.12.2013 die CONZEPT Umweltberatung GmbH, Mülheim, mit der Detailuntersuchung Grundwasser im Bereich der Altablagerung Kalkberg I.

Eine wesentliche Aufgabe der vorliegenden Detailuntersuchung ist die Erarbeitung eines hydrogeologischen Standortmodells, da durch die Nähe zum Rhein als Vorfluter eine erheb-

liche Grundwasserdynamik verursacht wird, die maßgeblich die Schadstoffverteilung im Grundwasser bestimmt. Darüber hinaus steht die Identifizierung weiterer potenzieller Emittenten im nahen Umfeld des Kalkberges I im Fokus.

Der Auftrag umfasst im Einzelnen:

- Durchsicht und Auswertung der vom AG zur Verfügung gestellten Untersuchungsergebnisse über den Kalkberg I und umliegender Altlasten und Altlastenverdachtsflächen,
- Ermittlung und Erfassung aller sachdienlichen Daten aus den bereitgestellten Unterlagen, zur grafischen und kartografischen Darstellung der historischen und aktuellen Sachstandsentwicklung,
- Durchführung einer Defizitanalyse,
- Anfertigung von Zeitreihen und Plänen zur hydraulischen und chemischen Grundwassersituation,
- Planung, ggf. eigene Durchführung und Begleitung der Umsetzung von erforderlichen ergänzenden Untersuchungen,
- Erstellen eines Abschlussberichtes nach Auswertung aller ergänzenden Untersuchungsergebnisse.

3 Beteiligte Personen und Unternehmen

Auftraggeberin ist das Umwelt- und Verbraucherschutzamt als Untere Bodenschutzbehörde der Stadt Köln.

Die Erstellung von Grundwassermessstellen erfolgte durch die Firma Mathias Lenders GmbH aus Korschenbroich.

Die lage- und höhenmäßige Vermessung der Bohransatzpunkte wurde von der Stadt Köln, Amt für Liegenschaften, Vermessung und Kataster übernommen.

Verantwortlich für die Probennahme aus den Grundwassermessstellen sowie die chemischen Untersuchungen an Grundwasserproben zeichnete die Firma UCL GmbH aus Köln.

Die Konzeption und Durchführung aller Erkundungsarbeiten, mit Ausnahme der im Unterauftrag oder als gewerbliche Leistung Dritter vergebenen Teilleistungen, sowie die Erstellung des Gutachtens erfolgte durch Herrn Dipl.-Geol. Thomas Jansen, von der IHK Essen öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Sachgebiet Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden – Gewässer sowie für Sanierung (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 2 und 5), unter Mitarbeit von Frau Dipl.-Ing. Gabi Kapp, Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Ozols und Herrn Dipl.-Umweltwiss. Bernhard Penner.

4 Verwendete Unterlagen

Für die Bearbeitung des vorliegenden Gutachtens sind die im Literaturverzeichnis unter [**1**] bis [**38**] aufgelisteten Unterlagen als Informationsbasis herangezogen worden.

Darüber hinaus wurden die von den jeweiligen ausführenden Unternehmen zur Verfügung gestellten Unterlagen als Datengrundlage verwendet. Für die Vollständigkeit und Richtigkeit der von uns verwendeten und von Dritten übergebenen Originalberichte/-daten kann keine Gewähr übernommen werden.

Weitere Erkenntnisse und Informationen wurden durch CONZEPT im Rahmen der fachgutachterlichen Begleitung einzelner Bohr- und Baumaßnahmen im Zusammenhang mit der Haldenstabilisierung des Kalkberges gewonnen.

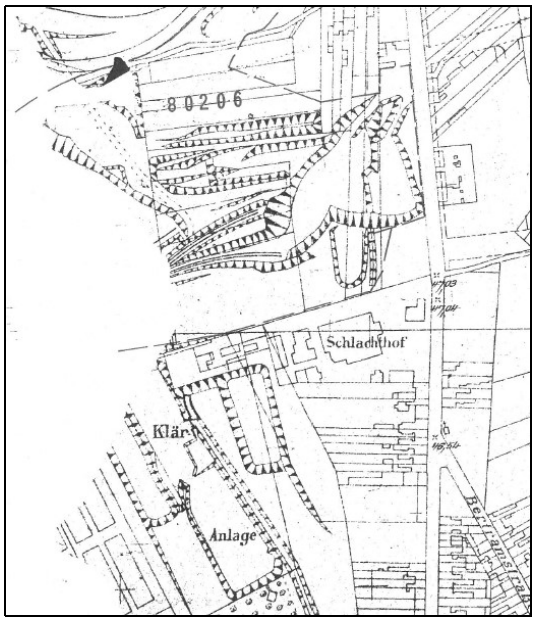
5 Historische Ausgangslage

Die Umgebung des Kalkberges ist bereits seit 1860 durch erste chemische Produktionsanlagen industriell geprägt worden. Die im Laufe der Jahre auf dem Kalkberg I abgelagerten Materialien stammen dabei vornehmlich aus verschiedenen Produktionsrückständen und Bauschutt der Chemischen Fabrik Kalk (CFK).

Recherchen in vorliegenden Unterlagen [**1**] – [**33**] und über das Internet zu möglichen Produktionsabläufen der CFK Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts (**Anlage 2)** lassen auf cyanidhaltige Abfallstoffe aus verschiedenen Prozessen schließen, die vermutlich sowohl aus der Ablagerung von Resten der Gaswasseraufbereitung zur Ammoniakgewinnung (Nebengewinnungsprodukte von Gaswerken) als auch aus der Herstellung von Düngemitteln stammen.

Bereits 1893 waren auf dem Gelände unterhalb des heute existierenden Kalkberges I kleine Gruben vorhanden, die später verfüllt wurden [**33**].

Der Höhenplan von 1925-1930 zeigt einen Teil dieser Gruben sowie, südlich des Kalkberges, die Becken einer Kläranlage (**Abbildung 1**).



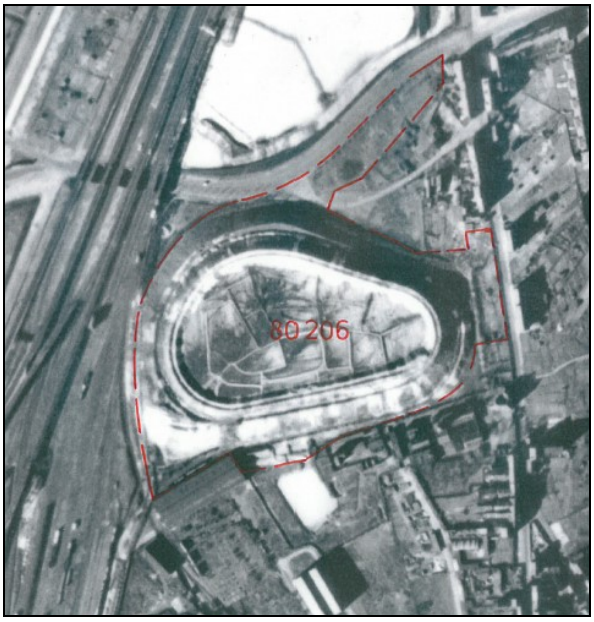


Abb. 1 und 2: Kalkberg I um 1925 (links) und 1941(rechts) [**33**]

Auf der Grundfläche der Halde im Jahr 1934, welche auch ihrer endgültigen Ausdehnung entspricht, wurde der Kalkberg in den folgenden Jahren mit, vorwiegend aus der Chemischen Fabrik Kalk stammenden Abfällen aufgeschüttet.

Im Luftbild von 1941 (**Abbildung 2**) sind die verschiedenen Becken innerhalb des Kalkberges und ein Becken im südlichen Bereich vorhanden, deutlich ist der noch heute existierende äußere Damm des Kalkberges I sichtbar.

Später verschwinden die einzelnen Becken (**Abbildung 3** und **4**) und ab 1968 erfolgen nur noch kleinere Ablagerungen.

Abb. 3 und 4: Kalkberg I 1959 (links) und 1963 (rechts) [**33**]

Im direkten südlichen Umfeld wurden neben der Kläranlage unter anderem die Standorte einer Panzerreparaturwerkstatt und von Schlinggruben zur Versickerung von vermutlich cyanidhaltigem Abwasser lokalisiert. Im Luftbild von 1959 **(Abbildung 3**) lässt sich neben einem „Zwischenlager“ noch deutlich das bereits oben erwähnte Becken erkennen, welches bis 1963 (**Abbildung 4**) verfüllt wurde. Eine Rampe für Baustellenfahrzeuge führt vom Zwischenlager zum Kalkberg.

Untergeordnet können die Cyanide auch aus der Ablagerung von Brandschutt, aus dem Brand der Bromderivatefabrik im Jahr 1982 entstammen. Nicht auszuschließen sind weiterhin Abfallablagerungen aus der Gaswerksproduktion (Gaswerk Otto Kellner), die möglicher Weise auf den Kalkberg verbracht wurden.

Die genannten Abfallstoffe können in flüssiger und fester Form sowohl im Bereich der Schlinggruben als auch im unteren Bereich des Kalkberges I abgelagert worden sein.

Im weiteren Umfeld des Kalkberges befand sich, östlich der Bahngleise, ein Stahlwerk (Altlastenkataster-Nr. 90136), welches bis 1925 in Betrieb war und 4 Jahre später zurückgebaut wurde. Die vorliegenden Informationen zur Untergrundbeschaffenheit des ehemaligen Stahlwerkes reichen lediglich bis in den oberflächennahen Bereich. Eventuell können hier beim Betrieb einer Oberflächenhärterei, die aber bislang nicht lokalisiert wurde, cyanidhaltige Lösungen zu einer bisher nicht bekannten Beaufschlagung des tieferen Untergrundes geführt haben.

6 Untersuchungsprogramm

Mit Datum vom 03.07.2014 wurde von der CONZEPT Umweltberatung GmbH, auf Grundlage der vom AG zur Verfügung gestellten Unterlagen, ein erster Zwischenbericht mit Defizitanalyse und Handlungsvorschlägen vorgelegt [**34**].

Zusammenfassend legte die Defizitanalyse folgende Erkenntnislücken offen:

- Der oder die möglichen Quellterm/e der Cyanidverunreinigung des Grundwassers im Umfeld des Kalkberges I sind bislang nicht identifiziert.
- Es sind nur spekulative Annahmen zur Herkunft und zur Verbringung cyanidhaltiger Abfälle im Untersuchungsgebiet möglich.
- Durch die unklare Lagebeziehung von möglichen Cyanidquellen (Basis des Kalkberges, Schlinggruben, Stahlwerk) zum Grundwasserspiegel ist keine Aussage zum Potenzial einer Grundwassergefährdung möglich.
- Eine Korrelation zwischen variierenden Cyanidkonzentrationen und dem stark schwankenden Rheinwasserstand ist aus den bisher ermittelten Grundwasserstandsdaten nicht ablesbar.

Auf Grundlage der Defizitanalyse wurden, in Abstimmung mit dem Auftraggeber, zur Klärung der noch offenen Fragestellungen, folgende Maßnahmen zum weiteren Vorgehen erarbeitet:

- Errichtung von fünf Grundwassermessstellen (GWM 1185 bis 1189) im Oktober/November 2014,
- vierteljährliche Grundwasserprobennahme an ausgewählten Messstellen von Dezember 2014 bis Juni 2017,
- chemische Analyse der Grundwasserproben,
- Erstellung von Isokonzen- und Grundwassergleichenplänen,
- Ausstattung von acht Grundwassermessstellen mit Datenloggern zur Aufzeichnung der Grundwasserstände von Januar 2015 bis Januar 2017, Darstellung von Grundwasserganglinien und der Rheinpegelganglinie,
- zusätzliche händische Messungen an ausgewählten Grundwassermessstellen zur Eichung der Datenlogger,
- Teufenprofilmessungen der Grundwassermilieubedingungen mit der Multiparametersonde im Mai und September 2015 an ausgewählten Messstellen.

7 Untersuchungsergebnisse

7.1 Geologische und hydrogeologische Standortverhältnisse

Das natürliche geologische Umfeld des Kalkberges besteht aus Niederterrassensedimenten des Rheins, die aus bis zu 25 Metern mächtigen Kiesablagerungen mit vereinzelt eingeschalteten Sand- und Schlufflinsen bestehen. Dieser quartäre Aquifer zeichnet sich durch eine Durchlässigkeit von etwa

$$k_f = 5 \times 10^{-3} \text{ bis } 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

und Transmissivitäten von ca.

$$T = 1 \times 10^{-2} \text{ bis } 1 \times 10^{-3} \text{ m²/s}$$

aus [**6**]. Bei einem angenommenen, wirksamen Porenvolumen von 20 % und einem aktuell beobachteten Grundwasserspiegelgefälle im Jahresverlauf zwischen 0,03 % und 0,1 %, ergibt sich eine rechnerische, saisonal unterschiedliche Abstandsgeschwindigkeit (v_a) des

Grundwassers im quartären Aquifer im Durchschnitt der Maximalwerte über 36 Monate Beobachtungsdauer (Juni 2014 bis Juni 2017) von

Φv_a = 45 bis 450 m/a.

Die Basis des quartären Grundwasserleiters ist durch ältere, erosive Phasen des Altrheins ausgeprägt gegliedert. Eine Altarmrinne verläuft westlich des Kalkberges in südwestlicher – nordöstlicher Richtung.

Im Liegenden bilden tertiäre Sedimente des Miozäns mit Braunkohleablagerungen sowie des Oligozäns mit den Grafenberger Sanden und Grafenberger Tonen den Abschluss dieses ersten Grundwasserstockwerks. In Bereichen mit überwiegend toniger Ausprägung, sind sie als Grundwassergeringleiter anzusprechen.

Anthropogene Ablagerungen mit bis zu mehreren Metern Mächtigkeit, die sich sowohl aus umgelagerten natürlichen Sedimenten, als auch aus Bauschutt, Schlacken, Aschen und sonstigen Rückständen zusammensetzen, formen überwiegend die heutige Geländeoberfläche.

Die Geländeoberfläche im Umfeld des Kalkberges zeichnet sich durch einen hohen Versiegelungsgrad aus. Als Wiederergänzungsgebiete für das Grundwasser konnten lediglich der in Nord – Süd - Richtung verlaufende Gleiskörper der Deutschen Bahn, eine sich nordwestlich daran anschließende Kleingartenanlage sowie der Kalkberg I und der Kalkberg II identifiziert werden.

Der generelle Aufbau des Kalkberges I ist seit Ende 2015 bekannt. Zu diesem Zeitpunkt wurden vier Bohrungen (BO1 bis BO4) im Rahmen von Standsicherheitsuntersuchungen abgeteuft, die mit bis zu 37 Metern Endteufe den Kalkberg vollständig von der Geländeoberfläche bis in das anstehende Aquifersediment durchbohrt haben.

Aus der Zusammensetzung des im Rahmen dieser Bohrungen gewonnenen Bohrgutes ist abzuleiten, dass sich unterhalb einer bis zu etwa 15 Metern mächtigen Schicht aus Bauschutt, Aschen und Schlacken, die immer wieder auch mit Kalkschlamm durchmengt ist, ca. 20 Meter mächtige Kalkschlammablagerungen befinden.

Im Liegenden erfolgt der Übergang in die natürlich anstehenden Terrassensedimente des Rheins mit ihrer sandig – kiesigen Ausprägung. Grundwasser wurde in keiner der Bohrungen angetroffen.

Am Ansatzpunkt der BO1 (siehe **Anlage 1**) wurde unmittelbar unterhalb der Kalkschlammsohle eine gealterte Ölphase erbohrt. Der Kalkschlamm selber ist nicht ölbehaftet, es ist daher davon auszugehen, dass die Ölphase unterhalb des Kalkberges herantransportiert oder abgelagert worden ist.

Die nachträglich im Juli 2016 in unmittelbarer Nähe zur BO1 abgeteufte Tiefenbohrung BO5 bestätigt im Wesentlichen die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Bohrungen. Die Bohrung wurde einige Meter tief in den Grundwasserleiter bis zu einer Endteufe von 40 m niedergebracht und anschließend zur Grundwassermessstelle ausgebaut (GWM 1096). Hier wurde ebenfalls oberhalb der kiesigen Aquifersedimente Teeröl erbohrt.

Durch die im Juni dieses Jahres im Rahmen der Untersuchungen des Kalkberges I abgeteuften Aufschlussbohrungen 38 und 38a im Nordhang des Kalkberges, konnten die bisherigen Erkenntnisse zum generellen Aufbau des Kalkberges und der vermuteten Lage von alten Becken unterhalb des Kalkberges verifiziert und verfeinert werden.

Die vorliegenden Erkenntnisse, insbesondere die Lage und Ausdehnung der Becken unterhalb des Kalkberges, sind in dem schematischen Profilschnitt (**Anlage 3)** graphisch dargestellt.

7.2 Grundwasserstände und -fließrichtungen

Die Grundwasserstände im Umfeld des Kalkberges wurden in einem Zeitraum von zwei Jahren (2015 - 2017) mittels automatisch aufzeichnenden Datenloggern an acht Grundwassermessstellen (**Anlage 1**) kontinuierlich ermittelt. Aus diesem Datenpool sowie den vierteljährlich durchgeführten Grundwasserstandmessungen und den ebenso lückenlos vorhandenen Rheinpegelständen, lässt sich ein relativ genaues Bild der jahreszeitlich beeinflussten Grundwasserspiegelhöhen und Grundwasserfließrichtungen zeichnen.

Die Höhen des Grundwasserspiegels und die Grundwasserfließrichtungen werden einerseits, im Regelfall, von der zuströmenden Grundwassermenge aus den Devonischen Festgesteinen des Bergischen Landes im Osten, zum anderen, bei Rheinhochwasser, durch den Rheinwasserspiegel im Westen bestimmt.

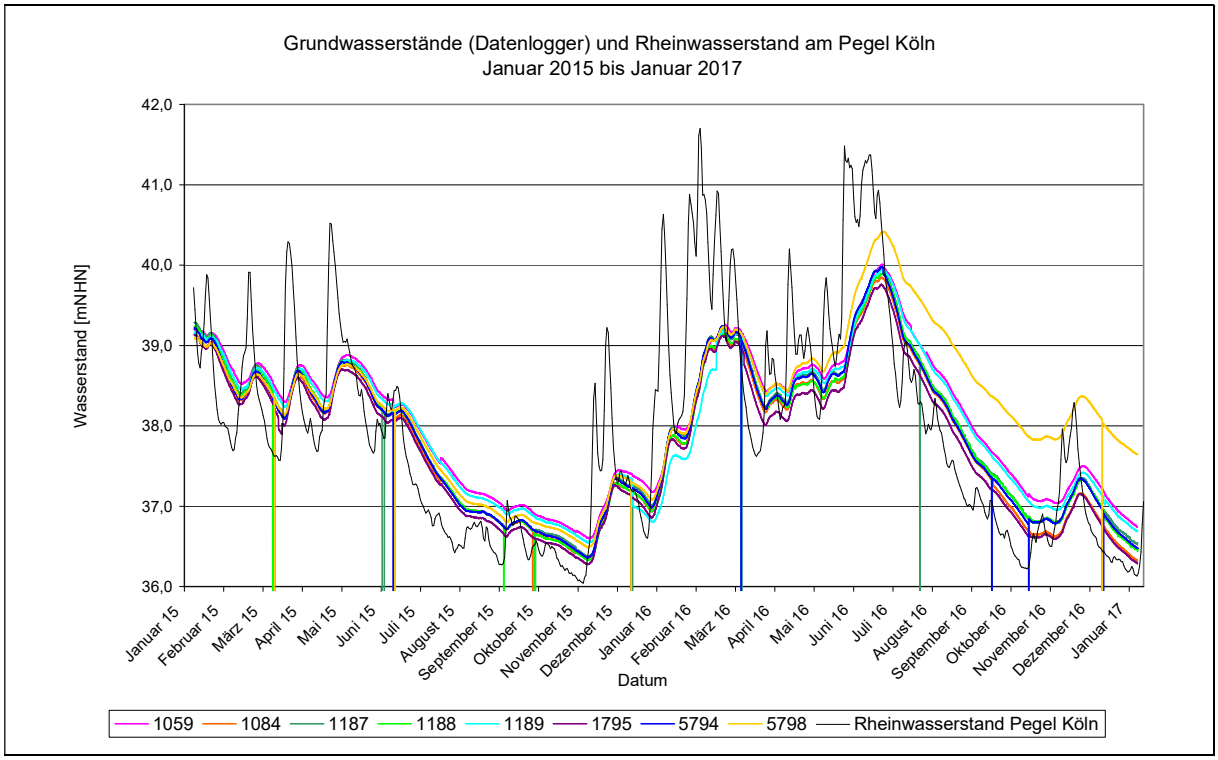


Abb. 5: Entwicklung der Grundwasserstände und des Rheinwasserstandes am Pegel Köln [Quelle: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes]

Die in der Abbildung 5 senkrecht bis auf die x-Achse verlaufenden Linien sind Artefakte der Loggermessungen, die durch den Ausbau der Logger zum Auslesen der Daten entstanden sind.

Zwischen den Grundwasserständen im Untersuchungsraum und den Rheinwasserständen ist eine deutliche Korrelation erkennbar (**Abbildung 5**). Durch diese strenge Abhängigkeit werden stark schwankende und sich kurzfristig verändernde Wasserstände begünstigt.

Die im Untersuchungszeitraum im Bereich des Kalkberges I beobachteten Grundwasserspiegelhöhen bewegten sich zwischen 36,58 m NHN und 40,42 m NHN. Sie können den Prognosen zu Hochwasserszenarien zufolge aber unter Hochwassereinfluss unter Umstän-

den auch bis auf 42,50 m NHN steigen [**17**] und würden dann den Fußbereich der ehemaligen Becken innerhalb des Kalkberges erreichen.

Der Kalkberg I und die Schlinggruben liegen den aktuellen Erkenntnissen zufolge in einem Gebiet mit einer überwiegend von Südost nach Nordwest gerichteten Grundwasserströmung, die temporär durch den wechselnd starken Einfluss des Rheines, mit seinen in das Landesinnere drückenden influenten Wasserströmungen, im nahen Abstrom zum Kalkberg in nordöstliche Richtungen umgelenkt wird (**Anlagen 4a und 4b**).

Im Jahresverlauf ist das Grundwasserfließgeschehen im Untersuchungsbereich immer wieder von komplexen Richtungsänderungen betroffen, die ihre Ursache in den vom Rhein ausgehenden, unterschiedlich stark ausgeprägten influenten Grundwasserströmungen haben. Die dabei entstehenden temporären Zwischenzustände erzeugen Strömungsbilder mit teilweise inversen Fließrichtungen, die auch eine uneinheitliche Verlagerung von im Grundwasser gelösten Schadstoffen begünstigen. Aufgrund der strukturellen Gliederung des Grundwasserleiters sind dennoch Vorzugsrichtungen zu erkennen, die neben der auf den Vorfluter Rhein gerichteten Hauptfließrichtung von Südost nach Nordwest, insbesondere in einer nordöstlichen Strömungskomponente zu Ausdruck kommt, die sich offensichtlich an einem Altarm des Rheines orientiert.

Temporär kann es im Nachgang zu stärkeren Niederschlagsperioden, induziert durch die oben genannten Wiederergänzungsgebiete, auch zu einer radikalen Fließrichtungsumkehr im Grundwasser kommen, die dann im Bereich unterhalb des Kalkberges eine nach Südosten gerichtete Grundwasserströmung bewirkt, wie sie z. B. im Juni 2016 festgestellt wurde (**Anlage 4b**).

Analog zu den Grundwasserfließverhältnissen konnten während der Datenloggeraufzeichnungen leicht voneinander abweichende Grundwassertemperaturen, je nach Einfluss der Haupt- und Nebenströmungsrichtungen des Grundwassers, festgestellt werden. Insgesamt lagen die aufgezeichneten Temperaturen in einem Bereich zwischen 13°C und 15 °C.

7.3 Grundwasserqualität

Das Grundwasser im Umfeld des Kalkberges I wird von der Stadt Köln regelmäßig chemisch überwacht. Im Rahmen der Detailuntersuchung fand diese Überprüfung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers von März 2015 bis Oktober 2016 in einem vierteljährlichen Intervall an jeweils 26 Grundwassermessstellen, von Dezember 2016 bis Juni 2017 an 27 Grundwassermessstellen statt (**Anlage 1**). Der Untersuchungsumfang ist der folgenden **Tabelle 2** zu entnehmen.

Tab. 2: chemisches Überwachungsprogramm Grundwasser

Parameterumfang der Grundwasserbeprobungen	
Cyanide gesamt	Kupfer
Cyanide leicht freisetzbar	Natrium
Chlorid	Nickel
Sulfat	Quecksilber
Arsen	Thallium
Blei	Zink
Cadmium	KW-Index
Calcium	PAK
Chrom gesamt	Brom als Bromid, zeitweise
Kalium	Ammonium

Zur Beurteilung der analysierten Parameter wurden die Geringfügigkeitsschwellenwerte der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (GFS) [**35**] herangezogen. Diese Vergleichswerte beschreiben die Grenze zu einer nachteiligen chemischen Veränderung des Grundwassers, bei der die Gefahr einer schädlichen Gewässerveränderung und somit eine Beeinträchtigung von Schutzgütern nicht auszuschließen ist. Zusätzlich ist neben den Geringfügigkeitsschwellenwerten auch der Indikatorwert der Trinkwasserverordnung [**36**] für Ammonium zum Vergleich herangezogen worden. Eine Übersicht aller ermittelten Analysenergebnisse ist **Anlage 5c** zu entnehmen**.**

Neben den Cyanidkonzentrationen (siehe **Kap. 7.3.1**) sind aus dem untersuchten Parameterspektrum vor allem die hohen Chloridgehalte im Grundwasser auffällig. Nur vereinzelt wurden für Cadmium, Sulfat, Chrom, mineralölstämmige Kohlenwasserstoffe (KW-Index) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK/EPA) Stoffgehalte oberhalb der Geringfügigkeitsschwellenwerte festgestellt.

7.3.1 Zink

Kontinuierlich ungewöhnlich hohe Zinkkonzentration mit Überschreitungen des GFS-Wertes (60 µg/l) wurden ausschließlich im Grundwasser der Messstelle GWM 1169, im Bereich des ehemaligen Stahlwerks, festgestellt. Hier lag die maximale Konzentration im Juni 2015 bei 910 µg/l. Die Ursache für das Auftreten dieser Zinkkonzentrationen ist derzeit unbekannt.

7.3.2 Kupfer

Seit Dezember 2014 wurden im Untersuchungsgebiet unregelmäßig auftretende, erhöhte Kupferkonzentrationen oberhalb des GFS-Wertes von 5,4 µg/l im Grundwasser festgestellt, die ihre größte räumliche Ausdehnung zwischen Juni und September 2016 aufwiesen (**Anlage 5c**). Die maximal nachgewiesene Konzentration betrug im Juni 2016 westlich der Bahngleise 317 µg/l (GWM 1185). Überwiegend wurden Konzentrationen zwischen 20 und 70 µg/l im Grundwasser festgestellt.

Den diffus im Grundwasser auftretenden Kupfergehalten kann auf Grundlage der bisher durchgeführten Untersuchungen kein eindeutiger Quellbereich zugeordnet werden. Aufgrund der weiteren Erkenntnisse zum Kalkberg I, kann dieser jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit als Eintragsquelle ausgeschlossen werden.

7.3.3 Ammonium

Die während der Untersuchungsphase unregelmäßig beobachteten Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser lagen, ausgenommen der ab Dezember 2016 im Grundwasser der Messstelle GWM 1096 festgestellten Gehalte, bei maximal 690 µg/l und damit leicht oberhalb des Indikatorwertes für Trinkwasser von 500 µg/l [**36**]. Die Belastungen traten überwiegend vereinzelt im Abstrom des Kalkberges I bzw. im Bereich der Schlinggruben auf.

Im Dezember 2016 ließ sich, aufgrund einer sehr hohen Beaufschlagung des Grundwassers im Bereich des Kalkbergs I, eine flächenhafte Verteilung von Ammonium im Grundwasser beobachten. Es ist zu vermuten, dass durch den Bau der Messstelle GWM 1096 im Juli 2016 ammoniumhaltiges Wasser aus den Ablagerungen des Kalkberges I mobilisiert wurde und

durch die Messstelle in den tieferen Untergrund gelangt ist, von wo aus es sich, je nach vorherrschender Grundwasserströmungsrichtung, verteilt hat.

Im Grundwasser der Messstelle GWM 1096 wurde zu diesem Zeitpunkt eine Konzentration von 20.000 µg/l Ammonium nachgewiesen. Während der letzten beiden Beprobungen im März und Juni 2017 sank die Konzentration auf 5.900 µg/l bzw. 3.400 µg/l, lag damit aber immer noch deutlich über dem Indikatorwert der Trinkwasserverordnung.

Inwiefern sich über diesen Ausbreitungspfad Ammonium auch noch zukünftig dem Grundwasser mitteilt, lässt sich anhand der vorliegenden Datenbasis nicht prognostizieren und ist weiter zu beobachten.

Ein weiterer Quellbereich für Ammonium liegt, auf Grundlage der bisherigen Untersuchungen, vermutlich im Bereich der ehemaligen Schlinggruben.

Als Ursache für die Ammoniumbeaufschlagung können Produktionsrückstände aus der Düngemittelproduktion oder der Ammoniaksodaherstellung der CFK angenommen werden (siehe **Anlage 2**), die ehemals in grundwasserberührten Bereichen unterhalb des Kalkberges I oder der Schlinggruben abgelagert worden sind.

7.3.4 Cyanide

Die $CN_{ges.}$- Konzentrationen des Grundwassers im Bereich des Kalkberges I liegen im Jahresverlauf permanent oberhalb der Geringfügigkeitsschwelle von 50 µg/l, wobei die räumliche Ausdehnung, abhängig von den jeweiligen Grundwasserfließbedingungen, stark variiert (**Anlagen 5a** und **5a-2**). Im Untersuchungszeitraum von Juni 2014 bis Juni 2017 wurden lokal temporäre Belastungen von bis zu 350 µg/l nachgewiesen.

Abbildung 6 verdeutlicht die großen Konzentrationsspannen für die von 1990 bis Juni 2017 im Untersuchungsgebiet detektierten Gesamt-Cyanid-Gehalte. Demnach wurden bereits vor Juni 2014 Gesamt-Cyanid-Gehalte von bis zu 500 µg/l im Grundwasser nachgewiesen.

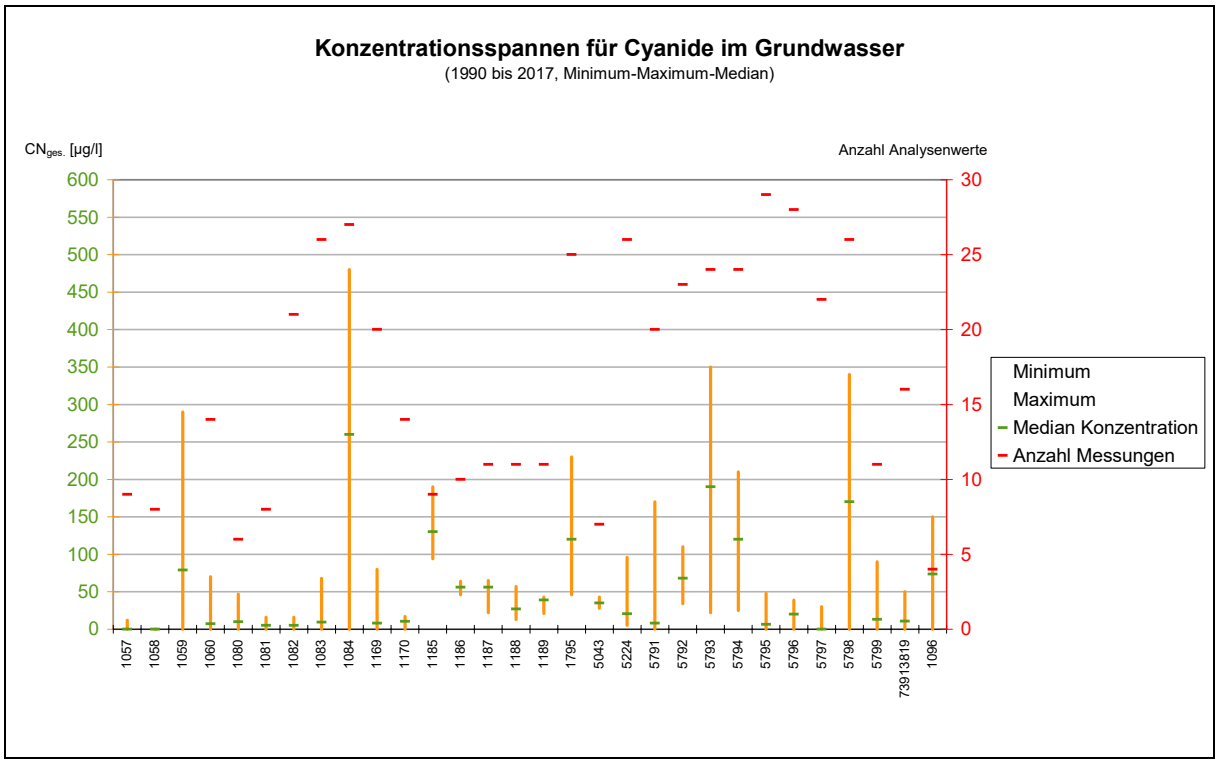


Abb. 6: Konzentrationspannen für Cyanide im Grundwasser einzelner Messstellen (1990 bis 2017)

Das mit Cyaniden beaufschlagte Grundwasser breitet sich, ausgehend vom Kalkberg I und den Schlinggruben, vornehmlich in nord-westliche Richtung aus (**Anlage 5a und 5b**).

Die Ausdehnung der Cyanidfahne unterliegt den Veränderungen der Grundwasserverhältnisse. So verändern sich im Jahresverlauf Ausdehnung und Verteilung der Schadstoffkonzentrationen in Abhängigkeit von der Höhe des Grundwasserspiegels, der Grundwasserfließrichtung und dem wechselnden Einfluss des influenten Rheinwassers. Im Jahr 2015 betrug die Ausdehnung des oberhalb des GFS-Wertes von 50 µg/l für Gesamt-Cyanide beaufschlagten Grundwassers rund 23,4 ha und im Jahr 2016, bedingt durch höhere Grundwasserstände, rund 28,5 ha. Für das Jahr 2017 konnte eine vergleichbar große betroffene Fläche ermittelt werden.

Auffällig sind die stark schwankenden Konzentrationen im Abstrom, wie z. B. an der Messstelle GWM 5793 von März 2017 (22 µg/l) zu Juni 2017 (350 µg/l). Durch die vorliegenden Grundwasserfließverhältnisse findet nur eine sehr langsame Verlagerung der Schadstoffe statt. Legt man die in **Kapitel 7.1** angegebene maximale Abstandgeschwindigkeit von 450

m/a zu Grunde, benötigt das Grundwasser für den Fließweg von der Messstelle GWM 1059 bis zur Messstelle GWM 5793 ca. 13 Monate. Die schwankenden Konzentrationen im Grundwasser der Messstellen bestätigen dabei ihre Lage im Abstrom und nicht im Quellbereich der Cyanidverunreinigung. Eine weitere abstromige Beaufschlagung des Grundwassers im Bereich des ehemaligen Stahlwerkgeländes kann jedoch mit dem derzeitigen Kenntnisstand nicht komplett ausgeschlossen werden.

Die Konzentrationen von leicht freisetzbaren Cyaniden ($CN_{lf.}$) treten zeitweise, vermutlich in Abhängigkeit von den vorherrschenden Milieubedingungen wie pH-Wert und Redoxverhältnissen, ebenfalls oberhalb des Geringfügigkeitsschwellenwertes der LAWA (10 µg/l) auf. Höhere Konzentrationen von bis zu 37 µg/l wurden vereinzelt und letztmalig im Oktober 2015 nachgewiesen. Die Beaufschlagung des Grundwassers mit freien Cyaniden an den Messstellen GWM 5793 und GWM 5799 ist vor allem in Hinblick auf die potenziell empfindliche Nutzung (Schrebergärten) in diesem Bereich kritisch zu beobachten. Die Grundwassernutzung ist hier allerdings behördlich untersagt. Das Verbot wird vom Vereinsvorstand des Schrebergartenvereins regelmäßig kontrolliert.

7.3.5 Elektrische Leitfähigkeit und Salze

Während das normale Leitfähigkeitsniveau in dem betrachteten quartären Aquifer nach aktuellen Beobachtungen etwa um 500 µS/cm bis 1.500 µS/cm beträgt, wurde im unmittelbaren Abstrom des Kalkberges I zeitweise eine elektrische Leitfähigkeit von bis zu rund 4.200 µS/cm gemessen. Diese sehr hohe Leitfähigkeit geht auf Salze zurück, die im Bereich des Kalkberges I verstärkt in Lösung gehen und sich dem Grundwasser mitteilen. Dies wird durch die seit September 2016 an der Messstelle GWM 1096 (BO5) durchgeführten Beprobungen des Grundwassers unmittelbar unter dem Kalkberg I deutlich. Hier betrug die elektrische Leitfähigkeit zwischen 4.900 µS/cm und 8.900 µS/cm. Im Dezember 2016 wurde, unter nicht vergleichbaren Probenahmebedingungen (Nichteinhaltung des Beschaffenheits- und des hydraulischen Kriteriums), ein maximaler Wert von 26.900 µS/cm gemessen. Ursächlich hierfür sind die im Grundwasser der Messstelle GWM 1096 zu diesem Zeitpunkt nachgewiesenen hohen Salzgehalte. So wurde ein Chloridgehalt von 10.500 mg/l und ein Sulfatgehalt von 722 mg/l analysiert.

Abbildung 7 zeigt die Spannen der im abstromigen Grundwasser zum Kalkberg 1 nachgewiesenen Chloridgehalte bei ausgewählten Grundwassermessstellen zwischen 1991 und 2017.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) für Chlorid im Grundwasser beträgt 250 mg/l [**35**]. Der Normalwert der Chloridkonzentration im vom Kalkberg I unbeeinflussten Grundwasser beträgt nach vorliegenden Erkenntnissen unter 100 mg/l. Der vom Kalkberg I ausgehende Einfluss auf das abstromige Grundwasser wird im Mittel aller seit 1991 vorliegenden Grundwasseranalysenwerte mit bis zu 5fach höheren Konzentrationen sehr deutlich. Spitzenwerte von bis zu 1.700 mg/l traten jedoch überwiegend in der Vergangenheit, noch vor der Durchführung verschiedener Sicherungsmaßnahmen an der Kalkbergkuppe auf. Seit 2011 bewegten sich die Chloridkonzentrationen im abstromigen Grundwasser im Mittel zwischen 210 mg/l und 580 mg/l und damit zum Teil immer noch deutlich oberhalb des GFS.

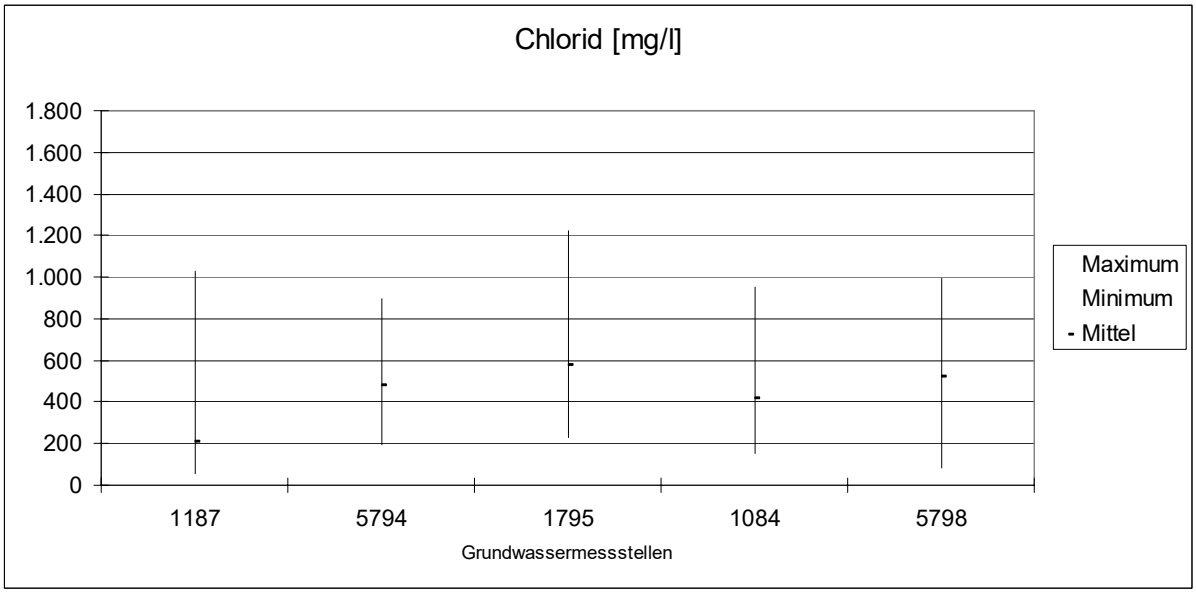


Abb. 7: Chloridgehalte im abstromigen Grundwasser des Kalkberges (1991 bis 2017)
(Reihenfolge der Grundwassermessstellen von links nach rechts entspricht der Position im unmittelbaren GW-Abstrom von Südwesten nach Nordosten)

Die, insbesondere seit 2011, weitgehend unauffälligen Sulfatgehalte des Grundwassers lagen mit mittleren Konzentrationen zwischen 135 mg/l und 180 mg/l im Kalkbergabstrom unterhalb des GFS (250 mg/l). Vereinzelte hohe Sulfatgehalte, wie zum Beispiel mit 926 mg/l im Dezember 2015 im Grundwasser der Messstelle GWM 1187 im westlichen Abstrom des

Kalkberges I, belegen, dass Einzelereignisse, die möglicherweise auf Bau- bzw. Bohrtätigkeiten in diesem Zeitraum zurückgehen, das vorhandene Sulfatreservoir im Kalkberg mobilisieren können (**Anlage 5c**).

Im Dezember 2016 wurden im Grundwasser der Messstelle GWM 1096, wie bereits oben erwähnt, einmalig besonders hohe Konzentrationen an Salzen nachgewiesen. In der Folge war an dieser Messstelle wieder ein Rückgang der Salzgehalte zu verzeichnen (Chlorid, Sulfat im Juni 2017). Aufgrund ihrer Nähe zum Quellterm, lagen die Werte jedoch immer noch deutlich über den im Abstrom auftretenden Konzentrationen (**Anlage 5c**).

Die einmalig hohe Freisetzung der Schadstoffe ist möglicherweise auf eine Verlagerung der Stoffe aus wasserführenden Schichten des Kalkberges als Folge des Messstellenbaus, über den Ringraum der Messstelle, in die tieferen Bereiche des Kalkbergs zurückzuführen.

Im Rahmen des Monitorings im Oktober 2015 wurde an fünf Grundwassermessstellen eine tiefenhorizontierte Beprobung durchgeführt, um in Verbindung mit den an zwei Terminen im Mai und September 2015 durchgeführten **Multiparametersondierungen,** Hinweise auf einen horizontal gegliederten Aquifer mit einem möglicherweise bevorzugt belasteten Grundwasserhorizont und die Grundwasserfließwege bzw. Schadstoffquellen zu erhalten.

Die Messungen legten deutlich differenzierbare Bereiche mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit im Grundwasser offen (**Anlage 6a**). Die Schlinggruben und ihr Abstrom sind durch unauffällige Leitfähigkeiten gekennzeichnet, die darauf hindeuten, dass hier wenig bis keine Salze, sondern eher organische Verbindungen im Zugriff von Niederschlags- und/oder Grundwasser abgelagert wurden. Der Kalkberg stellt hingegen, wie bereits oben beschrieben, eine erhebliche Emissionsquelle für Salze (Natrium, Chlorid, Sulfat) dar, was sich in stark erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten bis in den weiteren Abstrom hinein niederschlägt.

Für eine tiefenhorizontierte Differenzierung und damit einen bevorzugt mit Schadstoffen belasteten Grundwasserhorizont gibt es keine Hinweise (**Anlage 6b**). Der Wertesprung in größeren Teufen hat vermutlich geogene Ursachen (Einfluss des Braunkohlehorizontes).

7.3.6 pH-Wert und Redoxpotenzial

Der pH-Wert des Grundwassers bewegt sich durchgängig im sehr schwach sauren Bereich. Das Redoxpotenzial liegt überwiegend mit Messwerten in der Größenordnung von 400 mV bis 500 mV im oxischen Bereich. Geringere Werte lassen sich vereinzelt im Anstrom zum Kalkberg und im nahen Abstrom der Schlinggruben beobachten. Ausgehend vom Anstrom erfährt das Grundwasser im Abstrom zum Kalkberg I eine leichte Erhöhung des Redoxpotenzials, während das Grundwasser abstromig zu den Schlinggruben keine signifikanten Veränderungen aufweist (**Abbildung 8**).

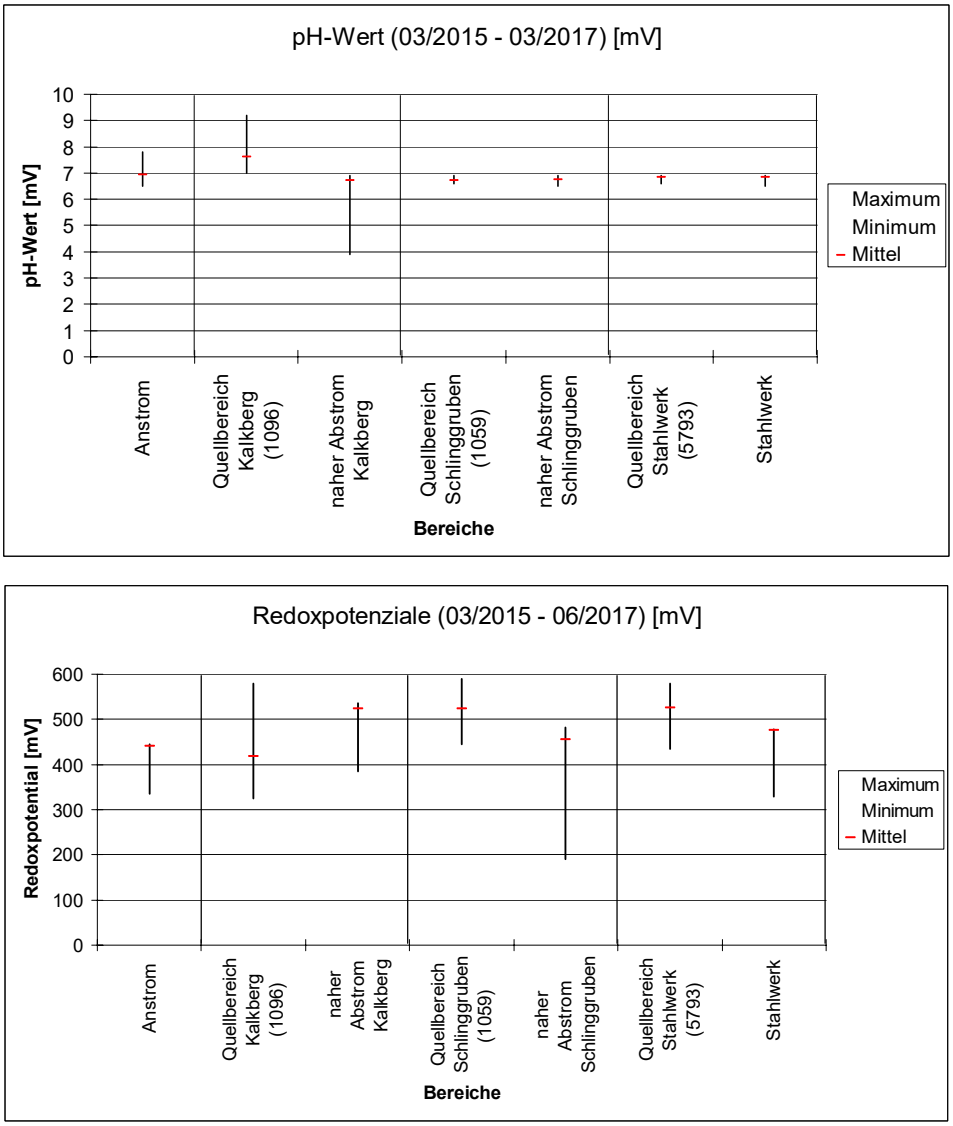


Abb. 8: ph-Wert und Redoxpotenziale (03/2015 bis 06/2017)

Redoxpotenzial und pH-Wert sind maßgebliche Einflussfaktoren für die Festlegung bzw. Freisetzung von Cyanidverbindungen an Mineralkornoberflächen oder in Kompkexverbindungen. So steht zu erwarten, dass aufgrund des Redoxmilieus Eisenoxide im Grundwasser zur Verfügung stehen, die mit Cyaniden komplexe Verbindungen eingehen können. Diese Eisencyanidkomplexe werden an Mineraloberflächen festgelegt und sind damit nur mäßig mobil. Allerdings reagieren diese Ionenbindungen sensitiv auf Milieuänderungen, zum Beispiel über den pH-Wert, mit einem Wechselspiel von Festlegung und Freisetzung von Cyaniden.

8 Potenzielle Schadstoffquellen

Als potentielle Quellterme wurden der Kalkberg I und die Schlinggruben identifiziert. Auch das ehemalige Stahlwerk kann als Eintragsquelle nach derzeitigem Kenntnisstand nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Der **Kalkberg I** ist vermutlich für die Freisetzung von Salzen, Cyaniden und Ammonium sowie untergeordnet, aufgrund des, im Zuge von Bohrarbeiten im Zusammenhang mit der Haldenstabilisierung angetroffenen Ölschadens, auch für PAKs verantwortlich. Abfallstoffe bzw. Produktionsrückstände der ehemaligen CFK wurden in flüssiger, pastöser und vielleicht auch fester Form zunächst in Becken im unteren, ältesten Bereich des Kalkberges I eingebracht. Sie liegen nach bisherigen Erkenntnissen in Tiefen von ca. 40 m NHN bis 45 m NHN. Unter Umständen enthalten diese Ablagerungen auch cyanidhaltige Gasreinigermasse aus im Umfeld ehemals vorhandenen Gaswerken, Abscheiderückstände aus der Teergewinnung oder haben einen Zusammenhang mit anderen schwerindustriellen Produktionsstätten (Panzerwerkstatt) im direkten Umfeld. Genauere Zuordnungen sind heute nicht mehr möglich.

Eine direkte Mobilisierung der Schadstoffe aus dem Anschüttungsmaterial im Fußbereich des Kalkberges I durch Grundwasser scheidet aufgrund der beobachteten Grundwasserspiegelhöhen vermutlich als Ursache für die Beaufschlagung des abstromigen Grundwassers aus. Es konnte nur einmalig und kurzzeitig ein Grundwasserstand im Höhenbereich des Kalkbergfußes festgestellt werden. Allerdings ist die Existenz noch tiefer in den Untergrund reichender Ablagerungsmassen bzw. bis hier in flüssiger Form vorgedrungener und im Se-

diment festgelegter Schadstoffe, die dann unmittelbaren Grundwasserkontakt haben könnten, mit einer nicht unerheblichen Wahrscheinlichkeit anzunehmen.

Dass im Bereich unterhalb der bekannten Kalkbergbasis von 40 m NHN Materialien vorhanden sind, die ein sehr hohes Elutionspotenzial für Cyanide aufweisen, zeigt die im Juli 2017 an der **Nordböschung des Kalkberges I** durchgeführte Explorationsbohrung KRB 38a. Hier wurde in einem Tiefenbereich von ca. 37,5 m NHN bis ca. 39 m NHN innerhalb der kiesigen Aquifersedimente der Rheinterrasse ein $CN_{ges.}$-Gehalt von 120 µg/l im Eluat analysiert. Somit konnte erstmalig eine Imprägnationszone nachgewiesen werden, die von der Kalkbergbasis bis den grundwassererfüllten Bereich hineinreicht.

Das Lösungspotenzial für Schadstoffe über im Kalkberg I versickerndes Niederschlagswasser und die damit verbundene Beaufschlagung des Grundwassers kann im Hinblick auf die alte Oberflächenabdichtung nicht ausgeschlossen werden. Die in der BO5 (Messstelle GWM 1096) erbohrten Kalkschlämme legen lokal eine maximale Cyanidbelastung ($CN_{ges.}$) von 32 mg/kg bei einem Teufenniveau von ca. 52 m NHN offen, weitere signifikanten Belastungszonen konnten nicht lokalisiert werden. Nach Abschluss der zurzeit stattfindenden Bauarbeiten an der neuen Oberflächenabdichtung, kann eine zukünftige Mobilisierung der Schadstoffe durch Oberflächenwasser jedoch als sehr gering eingestuft werden.

Einzelne Befunde an PAK im Grundwasser können mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch auf eine über die Explorationsbohrungen BO1 und BO5 sowie die im westlichen Bereich der Südböschung angetroffenen Ölphase [**37**] im Bereich 37 m NHN bis 40 m NHN, also unmittelbar unterhalb des Kalkbergfußes, zurückgeführt werden. Dieses heute als gealterte und verharzte Teerölmasse angetroffene Öl kann einerseits als Hinterlassenschaft aus dem Betrieb einer Panzerwerkstatt interpretiert werden, die in der Vergangenheit südwestlich vom Kalkberg I betrieben wurde. Andererseits ist nicht auszuschließen, dass die BO1 und BO5 im Bereich vermuteter Becken im tiefsten Bereich des Kalkberges niedergebracht wurden. Diese Becken könnten in der Frühzeit der Haldenbewirtschaftung Gaswerksabfälle oder auch Abfälle aus Werkstätten aufgenommen haben. Belege für diese Vermutungen liegen bislang jedoch nicht vor. Schadstoffuntersuchungen am Bohrgut der BO5 (GWM 1096) aus diesem Teufenbereich waren unauffällig. Im Euat konnte lediglich ein Gehalt von 0,2 µg/l PAK festgestellt werden.

Durch das Grundwassermonitoring wurden vereinzelt an wenigen Messstellen geringfügige Konzentrationen an, für Öl unbekannter Verwendung und Herkunft nicht untypischen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im abstromigen Grundwasser nachgewiesen, allerdings ohne eine Regelmäßigkeit erkennen zu können. Aufgrund der Geringfügigkeit der PAK-Befunde - nach den vorliegenden Daten seit Juli 2014 wurde nur einmal in der Grundwassermessstelle 1188 mit 1,9 µg/l, für die Summe der PAK/EPA ohne Naphthalin, der GFS von 0,2µg/l [**35**] deutlich überschritten - spielen sie für das Grundwasser keine entscheidende Rolle.

Im Bereich der östlichen **Südböschung** des Kalkberges I wurden in der Vergangenheit Kalkablagerungen mit einem hohen Elutionspotenzial für Cyanide in einem Teufenniveau von ca. 45,46 bis 43,96 m NHN erbohrt (RKS 14) [**37**]. Die im März 2017 in einer separaten Untersuchung durchgeführten Aufschlussbohrungen an der Südböschung des Kalkberges zur Überprüfung der dort befindlichen Lehmabdeckung bestätigen im Wesentlichen diese Cyanidverunreinigung. Die chemischen Analysen wiesen für die stichprobenhaft untersuchten Bodenproben Cyanidgehalte an der Festsubstanz von bis zu 530 mg/kg und im Eluat von bis zu 8.100 µg/l, jeweils $CN_{ges.}$ sowie bis zu 75 µg/l im Eluat für $CN_{l.fr.}$ auf [**38**].

Die Cyanidkonzentrationen nehmen mit der Entfernung vom ehemaligen Bohrpunkt RKS 14 nach Westen ab, so dass anzunehmen ist, dass der Ansatzpunkt RKS 14 das heute bekannte, aber bislang räumlich noch nicht hinreichend abgegrenzte Zentrum der Cyanidverunreinigung darstellt. Hier sind weitere Eingrenzungsuntersuchungen zu empfehlen, um über die Durchführung von Sicherungsmaßnahmen, beispielsweise durch Teilabdeckung der Oberfläche, entscheiden zu können.

Die aktuell festgestellte Cyanidanreicherung liegt auf einem Höhenniveau von ca. 41 m NHN bis zu 47 m NHN und korrespondiert somit sowohl mit den alten Befunden aus der RKS 14, als auch mit einem weiteren Befund aus dem Rampenbereich der Zufahrt zum Music Store auf der gegenüberliegenden Seite der Istanbulstraße im, heute überbauten, Bereich der ehemaligen Schlinggruben. Ein räumlicher Zusammenhang ist hier nicht auszuschließen, wenngleich eine Abgrenzung der aktuellen Befunde nicht durchgeführt wurde.

Hohe Cyanidgehalte wurden sowohl im unteren, also ältesten Bereich der Kalkschlammablagerungen, als auch in dem gerade noch aufgeschlossenen Top der Terrassenkiese nach-

gewiesen. Hier wurden die höchsten Eluatkonzentrationen ermittelt, so dass der Rückschluss nahe liegt, dass die hier vorliegenden Cyanidverbindungen leichter mobilisierbar sind und sich somit leichter dem Grundwasser mitteilen können. Der aktuell bekannte Auffindebereich liegt mit seiner Liegendgrenze bei etwa 41 m NHN und damit deutlich oberhalb des bisher bekannten höchsten Grundwasserniveaus von ca. 40,42 m NHN. Allerdings ist, aufgrund der Befunde aus der Grundwasserüberwachung, auch zu vermuten, dass die Imprägnationszone tiefer und somit möglicherweise auch, wie an der Nordböschung, bis in den grundwassererfüllten Bereich hineinreicht,

Durch Niederschlagswasser und bedingt durch eine bislang lückenhafte oder nicht ausreichende Lehmabdeckung, werden im Bereich der Südböschung des Kalkbergs I vermutlich permanent Cyanide gelöst, die sich in größerer Tiefe dem Grundwasser mitteilen. Vorbehaltlich der Ergebnisse von Eingrenzungsuntersuchungen und einer Sickerwasserprognose ist über die Verhältnismäßigkeit einer Oberflächenabdeckung zur Unterbrechung des Sickerwasserpfades zu entscheiden.

Die vorhandene Korrelation zwischen Grundwasserniveau und Cyanidkonzentrationen im Grundwasser **(Abbildung 9**) im nahen Umfeld des Kalkberges lässt vermuten, dass nicht Ablagerungen innerhalb des Kalkberges sondern Stoffe, die durch den Fuß des Kalkberges bzw. der Süd- und Nordböschung in den tieferen Untergrund eingedrungen sind, für die Cyanidbeaufschlagung verantwortlich sein müssen.

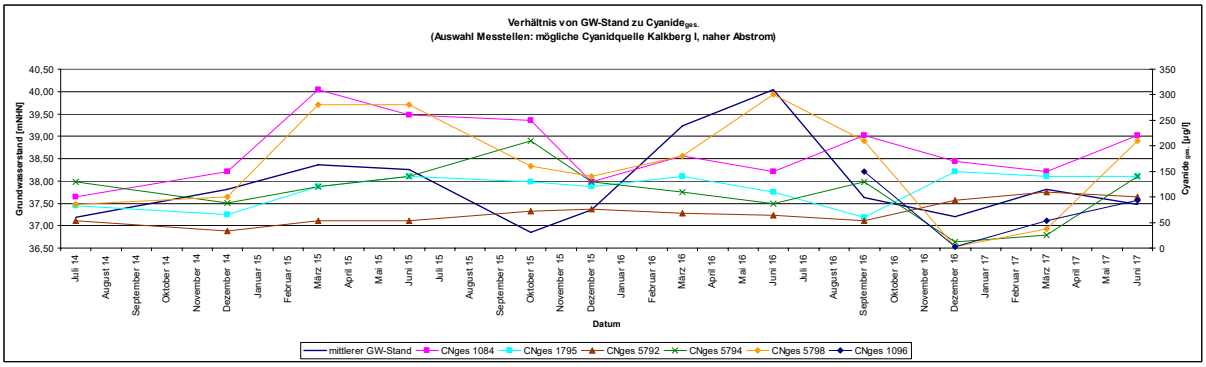


Abb. 9: Entwicklung der Cyanidkonzentrationen und Verlauf des mittleren Grundwasserstandes im Jahr 2015/16 (mögliche Quelle Kalkberg I)

Die im Zusammenhang mit der Haldenstabilisierung aufzubringende Abdichtung des Kalkberges I stellt einen Eingriff in die Milieubedingen unterhalb des Kalkberges und innerhalb der Imprägnationszone dar. Da das Cyanidsystem hinsichtlich Transport und Festlegung ein Multifaktorensystem darstellt, bei dem beispielsweise der pH-Wert, das Redoxpotenzial, die Cyanidspezies oder die mikrobiologischen Verhältnisse die Adsorptions- und Lösungskinematik maßgeblich bestimmen, könnten Änderungen dieser Milieubedingungen eine Freisetzung von derzeit festgelegten Cyaniden begünstigen. Die zukünftig tatsächlich ablaufenden Reaktionen innerhalb der Imprägnationszone sind derzeit nicht vorhersehbar.

Die ehemaligen **Schlinggruben** der Stadt Köln reichen bis eine Tiefe von ca. 36 m NHN und liegen somit im permanenten Grundwasserschwankungsbereich. Hierhin wurden vermutlich flüssige Abfälle wie Kalkschlamm, Faulschlamm, Ölschlamm, Salzschlacke und möglicherweise auch cyanidhaltige Abwässer aus der Gaswasseraufbereitung und feste Verfüllmaterialien wie Teerpappen und Bauschutt verbracht. Aus diesen Ablagerungen emittieren neben Cyaniden auch PAK, Chlorid, Sulfat in überwiegend niedrigen, in Abhängigkeit vom Grundwasserniveau, auch erhöhten Konzentrationen. In den ehemaligen Schlinggruben wurde, während der Bauphase des MusicStores im Bereich der jetzigen Rampe, oberflächennah eine Kalkschlammablagerung mit einem Feststoffgehalt von 220 mg/kg $CN_{ges.}$ und einem Eluatgehalt von 8.000 µg/l $CN_{ges.}$ aufgefunden [**31**].

Zur Untergrundbeschaffenheit des **ehemaligen Stahlwerkes** liegen lediglich Informationen bis in den oberflächennahen Bereich vor. In diesem Gebiet kann eine weitere Beaufschlagung des Grundwassers mit Cyaniden nicht ausgeschlossen werden. Vermutlich stellt es den Quellbereich für die im Grundwasser auftretenden Zinkkonzentrationen dar.

Im Grundwasser der Messstelle GWM 5793 wurden Cyanidkonzentrationen nachgewiesen, die zum Teil im Vergleich zu seinem unmittelbaren Anstrom aus dem Bereich des Kalkbergs I deutlich höher liegen (**Anlagen 5a**). Einerseits könnten diese Konzentrationen durch eine langsame Verlagerung von temporär auftretenden Cyanidspitzen aus dem Quellterm Kalkberg I mit dem Grundwasserstrom und der nur punktuellen Beprobung zusammenhängen, die nicht alle Bereiche der Fahne erfasst. Andererseits könnte hier aber auch ein weiterer Hotspot irgendwo auf dem Gelände des ehemaligen Stahlwerkes ursächlich sein. Der Sachverhalt ist im Rahmen der vorliegenden Detailuntersuchung nicht aufzuklären.

9 Gefährdungsbeurteilung

Das Grundwasser im Umfeld der Altablagerung „Kalkberg I“ ist über den Wirkungspfad Boden – Grundwasser nachhaltig mit Cyaniden, lokal und temporär auch mit Chlorid, Sulfat, Zink und PAK beaufschlagt. Durch die Grundwasserbeobachtung über zwei Jahre wurden, in Abhängigkeit von der sich im Jahresgang komplex verändernden Grundwassersituation, für Cyanide schwankende, aber immer deutlich oberhalb der zum Vergleich herangezogenen Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) liegende Schadstoffgehalte dokumentiert. Die Gehalte der anderen genannten Schadstoffe übersteigen zeitweise an wenigen Grundwassermessstellen die jeweiligen GFS.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) definiert den Übergang von einem sauberen zu einem nachteilig veränderten Grundwasser. Für den, durch das beobachtete Grundwassermessstellennetz aufgespannten Untersuchungsraum liegen insbesondere Überschreitungen de GFS für Cyanide und somit eine Grundwasserverunreinigung vor.

Aktuell muss davon ausgegangen werden, dass sich der betroffene Grundwasserkörper auf einer Fläche von etwa 28,5 ha ausdehnt und somit nicht mehr von einer lokal begrenzten erhöhten Schadstoffkonzentration im Grundwasser auszugehen ist.

Unter den folgenden Annahmen für ein worst-case-Szenario,

- Abstrombreite der Schadstofffahne (> 50 µg/l $CN_{ges.}$) ca. 400 m,
- grundwasserdurchströmte Abstromfläche (B x T = 400 m x 20 m) A = 8.000 m²,
- Grundwassergefälle ca. I = 0,0003
- Durchlässigkeitsbeiwert ca. $k_f = 5 \times 10^{-3}$ m/s,
- nutzbare Porosität ca. 20 %,
- angenommene durchschnittliche Cyanidkonzentration $CN_{ges.} = C = 100$ µg/l

beträgt nach folgender Formel [**40**]

- $Fr = k_f \times I \times A \times C$ [g/d]

die abgeschätzte Schadstofffracht in einer Bilanzebene 1 auf Höhe der Grundwassermessstelle GWM 5793 senkrecht zum Abstrom des Kalkberges I

- Fr $_{Cyanid}$ → maximal ca. 104 g/d.

Auch bei Ansatz des mittleren Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f = 2,75 x 10^{-3} m/s) ist, bei ansonsten unveränderten Rechengrößen, die tägliche Fracht mit

- Fr $_{Cyanid}$ → im Mittel ca. 57 g/d

nach [**39**] auch nicht mehr als geringe Fracht (Fr_{gering} = 24 g/d) anzusprechen.

Durch die standortspezifische Grundwasserdynamik in Rheinnähe, die im Jahresverlauf durch sich abwechselnde effluente und influente Grundwasserströmungen geprägt wird, scheint nach derzeitigem Kenntnisstand die Schadstoffverlagerung in den Abstrom retardiert zu sein. Die Transport- bzw. Verlagerungsgeschwindigkeit der Cyanide wird darüber hinaus auch wesentlich von den Milieubedingungen im Grundwasser bestimmt, die durch den Zustrom von Oberflächenwasser aus dem Rhein beeinflusst werden.

Für eine Prognose der Fahnenentwicklung ist derzeit nicht auszuschließen, dass sich die Fahnenfront aufgrund eines zwar langsamen, aber ständig ablaufenden Wechselspiels von Festlegung und Mobilisierung anhaltend ausdehnt. Die zeitlich nicht absehbaren Nachlieferung von Cyaniden insbesondere aus der grundwassernahen Basis der Schadensquelle Kalkberg I ins Grundwasser , die nicht vorhersehbaren Veränderungen der Milieubedingungen sowie der Einfluss des Rheinwassers sind dabei maßgebliche Faktoren. Die Fahnenausdehnung nachhaltig begrenzende Faktoren, wie beispielsweise eine mikrobiologische Transformation der Cyanidverbindungen mit einer damit verbundenen echten Entfrachtung des Grundwassers, sind bislang nicht bekannt.

Die Grundwasserverunreinigung ist als nachhaltig einzustufen, da toxische Inhaltsstoffe dauerhaft eine Schädigung des Grundwasser – Ökosystems verursachen und eine Nutzung unmöglich machen. Potenzielle Rezeptoren sollten in dem betroffenen Bereich von einer trinkwasserähnlichen Nutzung des Grundwassers absehen. Dies betrifft sowohl die Kleingarten-

anlage nordwestlich der Gleisanlagen am Pfälzischen Ring als auch den Notbrunnen der RheinEnergie AG an der Adam-Stegerwald-Straße (GWM 5043).

10 Zusammenfassung und Empfehlungen

Im Zeitraum zwischen Dezember 2014 und Juni 2017 wurden, nach dem Neubau von und somit der Erweiterung des Beobachtungsnetzes um fünf Grundwassermessstellen und durch eine Intensivierung des Routinemonitorings an ausgewählten Grundwassermessstellen in einem vierteljährlichen Rhythmus, das Grundwasserfließgeschehen und die Grundwasserbeschaffenheit im An- und Abstrom des Kalkberges I untersucht.

Im Rahmen der Untersuchungen konnten die Basisablagerungen des Kalkberges I und das von diesen beeinflusste, unterhalb liegende Sediment sowie die benachbarten ehemaligen Schlinggruben als Quellterme für die Freisetzung von Cyaniden, Chlorid, Sulfat und PAK identifiziert werden.

Durch die Cyanide wird eine Grundwasserverunreinigung verursacht, die durch nachhaltige erhebliche Frachten (maximal ca. 104 g/d) gekennzeichnet und für die ein zwar langsames, aber langfristig vermutlich progressives Fahnenverhalten nicht auszuschließen ist. Die Retardation der Schadstoffe ist wesentlich durch die Grundwasserdynamik mitbestimmt, die von dem im Jahresgang wechselnden Einfluss des influenten Oberflächenwassers des Rheins abhängig ist.

Die derzeit im Zusammenhang mit der Haldenstabilisierung laufenden Arbeiten zur Herstellung einer Oberflächenabdichtung des Kalkberges I können auch zukünftig eine Freisetzung von Cyaniden aus den Imprägnationshorizonten an der Basis und unterhalb der Altablagerung nicht verhindern. Vielmehr ist die latente Gefahr einer dadurch verursachten Milieuveränderung des Grundwassers nicht auszuschließen, in Folge dessen es unter Umständen zu einer verstärkten Freisetzung bislang immobilisierter Cyanidverbindungen kommen könnte.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind von der Grundwasserverunreinigung akut keine wasserwirtschaftlichen Nutzungen bedroht. Für die im unmittelbaren Abstrom des Kalkberges I liegende Kleingartenanlage besteht bereits ein Nutzungsverbot für das Grundwasser. Diese ist aufrecht zu erhalten.

Die Nutzbarkeit des im weiteren Abstrom liegenden Notbrunnens der RheinEnergie AG sollte überprüft werden.

Da der Quellterm „ehemalige Schlinggruben“ nur untergeordnet zu der Grundwasserverunreinigung beiträgt, ist hier, auch aufgrund der Bebauungssituation und dem hohen Versiegelungsgrad der Oberfläche, kein Handlungsbedarf für Sanierungsmaßnahmen zu erkennen.

Auch für den Quellterm „Kalkberg I“ ist aus Gründen der Verhältnismäßigkeit kein Sanierungsbedarf abzuleiten. Aufgrund der Mächtigkeit der oberhalb der Imprägnationszone (bei ca. 38 m NHN) liegenden Auffüllungsmaterialien (bis zu 36 Meter) ist ein Zugang für technische Maßnahmen auszuschließen.

Die theoretisch und beispielhaft bestehenden Möglichkeiten,

- das Grundwassermilieu durch Zugabe von geeigneten Stoffen künstlich so zu verändern, dass die Cyanidverbindungen verstärkt in Lösung gehen und über eine kontrollierte Grundwasserentnahme der Umwelt entnommen werden können,
- das Tiefste der Imprägnationszone horizontal und vertikal gegen den Grundwasserleiter abzudichten,
- den Grundwasserspiegel im Bereich des Kalkberges dauerhaft durch eine technische Anlage auf einem Niveau unterhalb der Imprägnationszone zu halten,

sind, vorbehaltlich des Nachweises der grundsätzlichen technischen Eignung und Machbarkeit, sämtlich aufgrund des technischen Aufwandes für die Grundlagenermittlung und Umsetzung sowie der damit verbundenen Kosten unverhältnismäßig.

Zudem sind wasserwirtschaftliche Nutzungen im betroffenen Grundwasserbereich nicht vorhanden und somit ein Gefahrenpotenzial für potenzielle Rezeptoren derzeit nicht erkennbar.

Dennoch muss die Grundwasserverunreinigung, insbesondere vor dem Hintergrund der aktuell stattfindenden Stabilisierungsmaßnahmen am Kalkberg I, weiterhin beobachtet und kontrolliert werden. Dazu empfehlen wir folgende Maßnahmen:

- Fortführung des Grundwassermonitorings im halbjährlichen Rhythmus für zunächst zwei Jahre,
- Erweiterung des Beobachtungsnetzes in der nördlichen Abstromrichtung,
- Auswertung und kontinuierliche Fortschreibung der Monitoringergebnisse,
- Eingrenzung der Cyanidverunreinigung im Bereich der Südböschung und Umsetzung geeigneter und notwendiger Sanierungsmaßnahmen,
- Entwurf eines Handlungskonzeptes für den Fall sich nachteilig verändernder Milieubedingungen im Grundwasser.

Mülheim, 06.10.2017

Dipl. – Geol. Thomas Jansen

11 Literaturverzeichnis

[1] **Stadt Köln:** Standortakte Rüstungs- und kriegsbedingte Altlastverdachtsflächen in Nordrheinwestfalen (Daten der Archivrecherche)

[2] **TÜV Rheinland:** Gutachten zur Beurteilung von Bromkohlenwasserstoffen in der Altlast am Kalkberg I der Chemischen Fabrik Kalk, Köln, März 1983

[3] **Chemisches Untersuchungslabor Dipl.-Chem.-Ing. Klaus Herrmann:** Untersuchungsprotokoll Grundwasser Kalk Mülheimer Straße A 80201, Köln, Juni 1990

[4] **Chemisches Untersuchungslabor Dipl.-Chem.-Ing. Klaus Herrmann:** Untersuchungsprotokoll Grundwasser Kalkberg A 80206, Köln, Juni 1990

[5] **Chemisches Untersuchungslabor Dipl.-Chem.-Ing. Klaus Herrmann:** Untersuchungsprotokoll Grundwasser Kalkberg A 80207, Köln, Juni 1990

[6] **Geohydrologisches Büro und Ingenieurbüro für Wassererschließung, Wasserversorgung und Umwelttechnik Prof. Dr. Hans Schneider und Partner:** Geohydrologische, geohydraulische und hydromechanische Untersuchungen des Industriestandortes Chemische Fabrik Kalk in Köln Kalk, Bielefeld, November 1993

[7] **Stadt Köln:** Stammdaten der Altablagerung Buchforst, Kalkberg II mit historischem Abriss und Luftbildern, Köln, Januar 1994

[8] **TÜV Rheinland:** Bericht zu den Boden- und Grundwasseruntersuchungen im Bereich der Kalkberge 1 und 2, Chemische Fabrik Kalk, Köln, September 1995

[9] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Untersuchungskurzbericht, Untergrunduntersuchungen im östlichen Bereich des Kalkberges 1, Overath, April 1998

[10] **Aßmuth:** Standsicherheitsuntersuchungen zum Sicherungs- und Sanierungskonzept Kalkberg, Köln, Juni 1999

[11] **Aßmuth:** Entwässerungsberechungen zum Sicherungs- und Sanierungskonzept Kalkberg, Köln, Juni 1999

[12] **Stadt Köln:** Sanierungsvertrag Kalkberg I, Köln, September 1999

[13] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Sicherungs- und Sanierungsarbeiten an der Südflanke des Kalkberges I, Westumgehung Köln, Overath, Oktober 1999

[14] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Abschlussbericht Sicherungs- und Sanierungsarbeiten im Bereich des Kalkberges I in Köln Kalk, Overath, April 2004

[15] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Ingenieurgeologisches Gutachten, Hubschrauberlandeplatz Kalkberg, Köln-Kalk, Overath, Nov. 2005

[16] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Orientierende Untersuchung, Bebauungsplanverfahren „Kunftstraße, Overath, 2006

[17] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Bebauungsplanverfahren „Kunftstraße“ in Köln-Kalk, Overath, Mai 2006

[18] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Geotechnisches Gutachten Music Store Köln, Overath, Mai 2008

[19] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Sachstandsbericht für das Jahr 2010, Grundwassermonitoringprogramm auf dem Gelände der Firma Music-Store/Istanbulstraße, Overath, Oktober 2010

[20] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Ergänzung zum Sanierungsplan gemäß § 13 BBodSchG, BV Music Store Köln, Köln-Kalk, Overath, Dezember. 2010

[21] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Kontrollarbeiten zur Deponieabdichtung des Kalkberg I, Overath, Februar 2011

[22] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Sicherungsmaßnahmen/Grundwassermonitoring im Bereich des Kalkberg I, Overath, März 2011

[23] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Umwelthygienische Untersuchungen Böschungsbereich parallel der Kalk-Mülheimer Straße auf dem Gelände des Kalkberg I, Overath, Mai 2011

[24] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Versickerungsanlage im Bereich des Kalkberges I, Overath, Juni 2011

[25] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Sicherungsmaßnahmen/Grundwassermonitoring im Bereich des Einzugsgebietes des Kalkberg I bzw. im Bereich der ehemaligen chemischen Fabrik Köln-Kalk (CFK) in Köln-Kalk, Overath, Juni 2011

[26] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Sachstandsbericht für das Jahr 2011 Grundwassermonitoring auf dem Gelände der Firma Music Store/Istanbulstraße in Köln-Kalk, Overath, Oktober 2011

[27] **DMT GmbH & Co. KG, Bergbau Service:** Bewertung der Daten zur Altlastensituation, zu ergänzenden Untersuchungen und zu möglichen Sanierungsszenarien, Essen, Dezember 2011

[28] **BGU Dr. Brehm & Grünz GbR:** Erweiterung des Grundwassermonitorings im Zusammenhang erhöhter Cyanidkonzentrationen im Bereich Kalkberg I in Köln-Kalk, Bielefeld, Januar 2012

[29] **GFM Umwelttechnik:** Oberbodenuntersuchung Kalkberg 1 in Köln-Buchforst/Kalk, Wesseling, Dezember 2012

[30] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Bericht zum Grundwassermonitoring für das Jahr 2012 im Bereich des Einzugsgebietes Kalkberg I, Overath, Januar 2013

[31] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Analysenergebnisse Kalkschlamm, Bauvorhaben Music Store Köln, Schreiben an TABLINUM Grundstücksverwertungsgesellschaft mbH & Co. Vermietungs AG, 13.08.2009

[32] **Umwelt & Baugrund Consult GbR:** Sachstandsbericht für das Jahr 2015, Grundwassermonitoring auf dem Gelände der Firma MUSIC STORE/Istanbulstraße in Köln-Kalk, Overath, November 2015

[33] **Stadt Köln:** 574/6, 80206, Zusätzlich Unterlagen zur Sanierungsuntersuchung Kalkberg I ab 2010,

[34] **CONZEPT Umweltberatung GmbH:** Zwischenbericht über die Defizitanalyse und Vorschlag zum weiteren Vorgehen bei der Detailuntersuchung Grundwasser im Umfeld der Altablagerung Kalkberg 1 in Köln, Juli 2014

[35] **LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser:** Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Dezember 2016

[36] **Trinkwasserverordnung (TrinkwV)**: Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2013 (BGBL. I S. 2977), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. November 2015 (BGBL. I S. 2076) geändert worden ist

[37] **Umwelt & Baugrund Consult GbR**: Umweltgeologisches Gutachten (Kalkberg 1/Westumgehung Kalk), 11.09.1997

[38] **CONZEPT Umweltberatung GmbH:** Kurzbericht zur Erkundung Südböschung, Mai 2017

[39] **Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO):** Grundsätze des nachsorgenden Bodenschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen, 2006

[40] **Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie:** Handbuch Altlasten, Ermittlung von Schadstofffrachten in Grund- und Sickerwasser, Band 3, Teil 6, 2008