

Laterale Schadstoffausbreitung in der ungesättigten Zone des verkarsteten Kluftgrundwasserleiters Oberer Muschelkalk

Joachim Bruder

Stichwörter

Muschelkalk, Hydrogeologie, Schadensfall

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt einen LCKW-Schadensfall im Oberen Muschelkalk.

Lateral distribution of a contamination in the unsaturated zone of the carstified upper muschelkalk

Key words

Muschelkalk, hydrogeology, contamination

Abstract

A LCKW-contamination in the upper muschelkalk is described.

Anschrift des Verf.:
Dr. Joachim Bruder
Eberhardstr. 5, D-74369 Löchgau

1. Einleitung

In der Aue eines generell von Westnordwesten nach Ost-südosten zum Neckar abfallenden Bachtals nördlich Stuttgart sind auf einem ehemaligen Betriebsgelände bis Anfang der siebziger Jahre große Mengen von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) eingesetzt worden. 1965 versickerten beim Befüllen der Tankanlage etwa 5 000 l LCKW in den Untergrund, weitere Störfälle sind bekannt. Erste Untersuchungen des Altstandorts ergaben 1984 sehr hohe LCKW-Konzentrationen in der Bodenluft. Daraufhin wurden 1985 und 1986 im Schadenszentrum und in der Bachtalaue in Richtung des mutmaßlichen Grundwasserabstroms die in Bild 1 eingetragenen Grundwassermessstellen erstellt. Später wurden im Nahbereich des Schadenszentrums zusätzliche Grundwassermessstellen eingerichtet. Trotz der aus heutiger Sicht mangelhaften Schadensfallerkundung werden nachfolgend allein die Ergebnisse der ersten Grundwasser-Untersuchungsphase von 1985 bis 1986 beschrieben, da durch diese weitgehend ungestörte Grundwasserverhältnisse bzw. Schadstoffabströme erfasst wurden. Bei den nachfolgenden Erkundungen war der Abstrom von kontaminiertem Grundwasser durch vorangegangene Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen wesentlich beeinflusst.

2. Geologie und Hydrogeologie

Im untersuchten Gebiet folgen unter örtlich vorhandener künstlicher Auffüllung unterschiedlich mächtige, überwiegend bindige, gering durchlässige Bachablagerungen (qbf) und darunter unterschiedlich stark verkarstete Karbonatgesteine des Oberen Muschelkalks (mo). Die Grenze zum hangenden Unterkeuper (ku) verläuft wenige Meter über der Talaue beim Betriebsgelände. Die Festgesteinsschichten fallen regional nach Osten zum Neckar hin ein. Der Bach wurde durch Ableitung von Quellzuflüssen aus dem Unterkeuper in die Kanalisation im Bereich des Betriebsgeländes und oberhalb davon trocken gelegt, ständig wasserführend ist er erst ab dem Auslauf der Kläranlage (Bild 1).

Der Obere Muschelkalk ist insgesamt 80 bis 85 m mächtig und besteht, abgesehen von dolomitischen Schichten im obersten Abschnitt (Trigonodusdolomit, mo2D), aus gebankten Kalksteinen mit zwischengelagerten, geringmächtigen Tonsteinschichten (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG, 1998). Der Flurabstand der Druckfläche des Kluft- und Karstgrundwassers im Oberen und Mittleren Muschelkalk (mo/mm) beträgt beim ehemaligen Betriebsgelände 40 bis 50 m, der Abstrom erfolgt nach Osten zum Neckar (MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG, 1979). Über dem Karst- und Kluftgrundwasser sind oberhalb von gering durchlässigen Tonsteinschichten mehrere vertikal gegliederte, meist sehr gering ergebnisreiche schwebende Grundwasservorkommen vorhanden (SIMON, T. 1986). Die großenteils aus Tonsteinen bestehenden Haßmersheim-Schichten (mo1H) im unteren Abschnitt des Oberen Muschelkalks bilden häufig eine Trennschicht zwischen dem Grundwasser darüber und darunter in den Zwergfaunaschichten (mo1Z) an der Basis des Oberen Muschelkalks und in der Oberen Dolomit-Formation (mmDo) des Mittleren Muschelkalks (Bild 2). Die Sohle des unteren Stockwerks besteht aus Salinargesteinen des Mittleren Muschelkalks bzw. deren Auslaugungsrückstände.

Laterale Schadstoffausbreitung in der ungesättigten Zone des verkarsteten Kluftgrundwasserleiters Oberer Muschelkalk

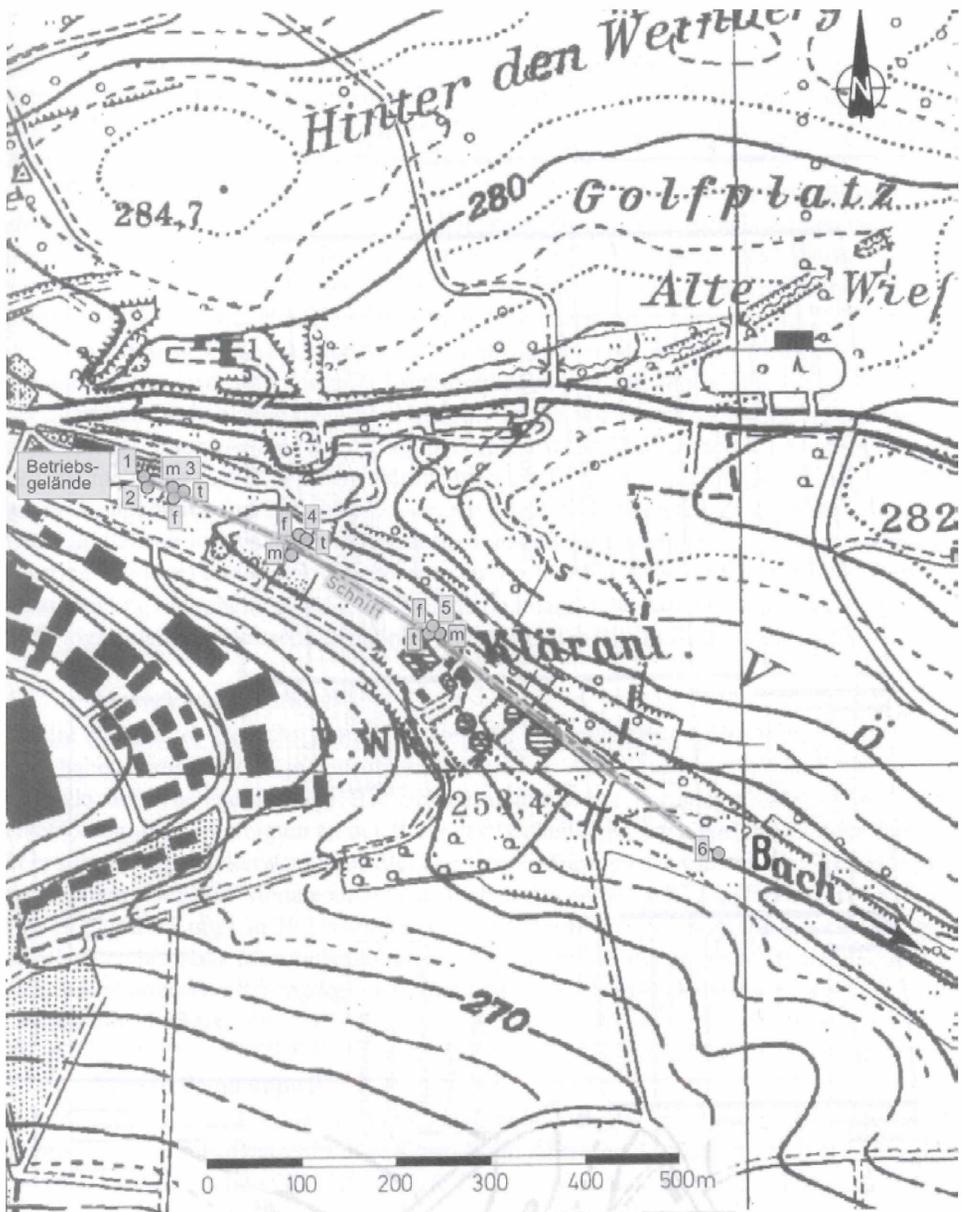


Abb. 1: Lageplan mit Bohransatzpunkten.

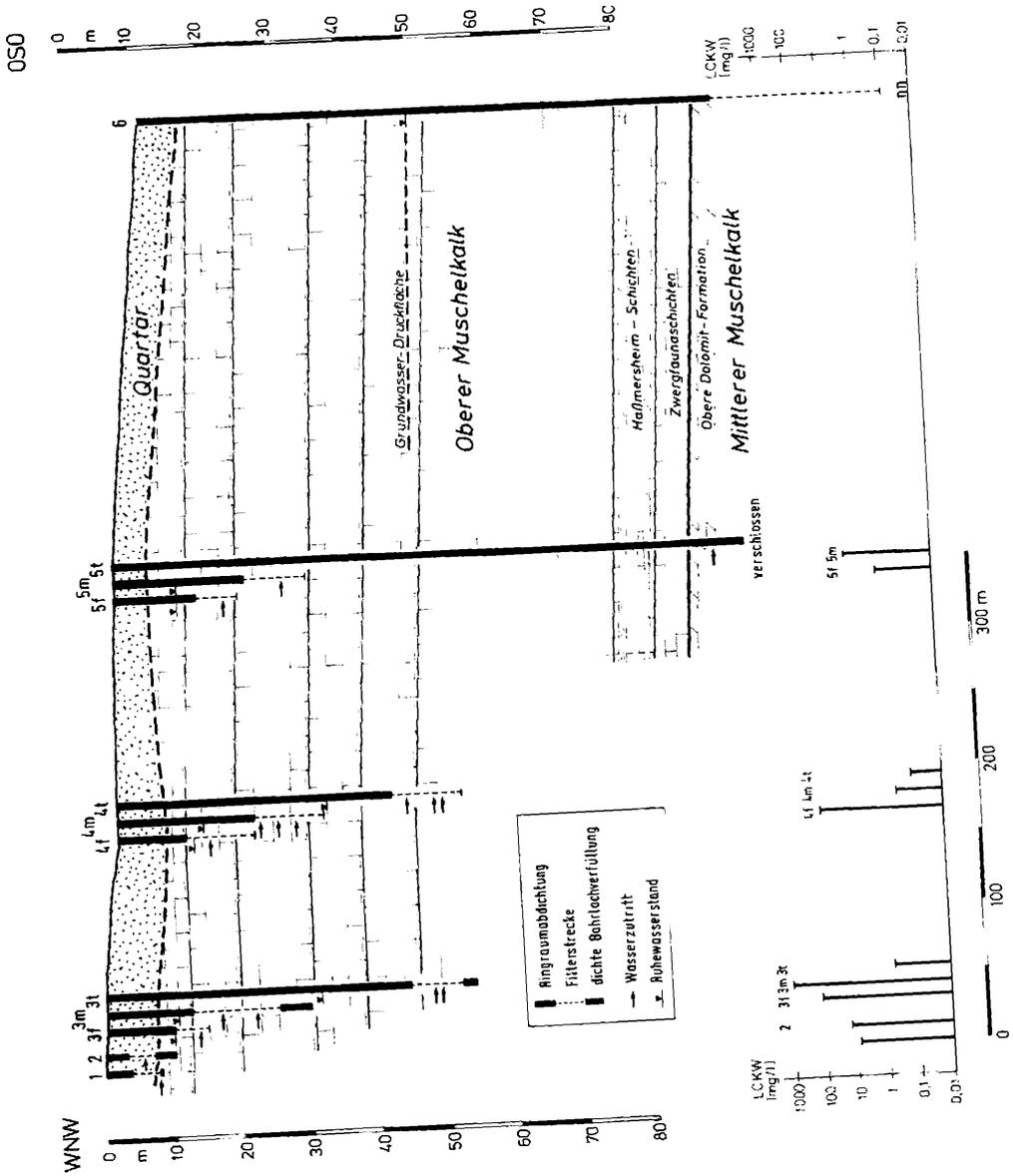


Abb. 2: Vereinfachter hydrogeologischer Schnitt und maximale LCKW-Gehalte.

3. Untersuchungsergebnisse

Der Enddurchmesser der ohne Wasserspülung niedergebrachten Erkundungsbohrungen betrug 200 bis 250 mm. In den Bachablagerungen und im oberflächennah aufgewitterten Oberen Muschelkalk wurde gerammt und darunter im Fels geschlagen (Lufthammer). Eine Absperrung von Grundwasserzutritten beim Bohren hat meist nicht stattgefunden.

In Bild 2 sind die Ergebnisse der Bohrungen und ihr Ausbau als Grundwassermessstellen (GWM) vereinfacht dargestellt. Die angegebenen Filterstrecken entsprechen den durchlässigen Ringraumverfüllungen. Der Durchmesser der Ausbaurohre beträgt 125 mm. Eingetragen sind, soweit dokumentiert, Wasserzutritte beim Abteufen, nicht zeitgleich gemessene Ruhewasserstände und maximale Konzentrationen der ersten LCKW-Analysen von dem durch die GWM erschlossenen Grundwasser. Nachgewiesen wurden überwiegend Tetrachlorethen und untergeordnet Trichlorethen sowie Abbauprodukte. Die Mächtigkeit der quartären Bachablagerungen ist abhängig von der Position der jeweiligen Bohrungen in der schmalen Bachau, dargestellt sind maximale Mächtigkeiten bei den Messstellengruppen. In mehreren GWM wurden bohrlochgeophysikalische Messungen (gamma-ray-logs sowie Temperatur- und Salinitätsmessungen im nicht bepumpten Zustand) durchgeführt. Die Parallelisierung von charakteristischen hohen und geringen Strahlungsintensitäten (gamma-ray-logs) ergibt von Westnordwesten nach Ostsüdosten in Richtung der Messstellenanordnung ein scheinbares Schichtfallen von knapp 1 %. Aus den Temperatur- und Salinitätslogs ableitbare Wasserzutrittsstiefen wurden gleichfalls in Bild 2 dargestellt.

3.1 Messstellen B 1 und B 2

Die im ehemaligen Betriebsgelände abgeteufen 8,5 und 10,5 m tiefen Bohrungen B 1 und B 2 haben unter rund 2 m mächtiger künstlicher Auffüllung bis 7,2 und 8,1 m unter Gelände überwiegend bindige Bachablagerungen sowie darunter Oberen Muschelkalk erschlossen. In B 1 erfolgten an der Basis der Bachablagerungen und in B 2 etwa 2 m darüber sehr geringe Sickerwasserzutritte. Der Obere Muschelkalk war trocken. In Schöpfproben wurden etwa fünf Monate nach dem Ausbau zu GWM LCKW-Gehalte von rund 9 mg/l in B 1 und 17 mg/l in B 2 nachgewiesen. Probenahmen in 1998 im Schadenszentrum angelegten, bis zum Muschelkalk reichenden Schürfguben ergaben maximale LCKW-Konzentrationen von 8,5 mg/kg im Boden und 12 mg/l im Sickerwasser knapp über dem Oberen Muschelkalk.

3.2 Messstellengruppe 3

Die Messstellengruppe 3 liegt knapp östlich, außerhalb des ehemaligen Betriebsgeländes etwa 40 m vom Schadenszentrum entfernt. Beim Abteufen der flachen, 15,0 m tiefen Bohrung **B 3f** wurde zuoberst in 13,5 m Tiefe Grundwasser angetroffen, der Ruhewasserstand in der GWM lag einen Tag nach Bohrende 9,7 m und 14 Tage danach 10,2 m unter Flur. Die erhöhte Strahlungsintensität im gamma-ray-log in etwa 13 m Tiefe weist auf eine wasserstauende Tonsteinschicht hin. Eine Schöpfprobe enthielt 49 mg/l LCKW. Aufgrund der geringen Ergiebigkeit konnte bei der Förderrate 0,02 l/s nur intermittierend gepumpt werden. Zu Beginn eines 23stündigen Pumpversuchs wurden im geförderten Grundwasser 82 mg/l LCKW und am Ende der Pumpzeit 127 mg/l analysiert.

In der mitteltiefen, bis 30,0 m unter Gelände reichenden, im Zuge des Messstellen-ausbau von der Sohle bis 25,5 m unter Flur aufzementierten Bohrung **B 3m** wurden im Bohrprotokoll angeführte Wasserzutritte zwischen 17 und 22 m Tiefe verfiltert. Die Filterstrecken von B 3m und B 3f überlappen sich. Der Ruhewasserstand lag knapp vier Wochen nach Abschluss der Bohrung in der GWM B 3m 10,6 m unter Gelände. Die Temperaturmessung in der Wassersäule der GWM weist auf einen Wasserzutritt in 22 m Tiefe hin. Zwei Schöpfproben enthielten 492 und 1 011 mg/l LCKW, nach viermaligem Leerpumpen über zwei Tage wurden im geförderten Wasser 224 mg/l LCKW nachgewiesen. Die Ergiebigkeit betrug weniger als 0,001 l/s.

Die tiefste Bohrung **B 3t** der Messstellengruppe 3 endete 54,0 m unter Flur, die unteren 2 m des Bohrlochs sind beim Ausbau als GWM aufzementiert worden. Die im Bohrprotokoll angegebenen Wasserzutritte in 15,5 m, 21,5 m und 25,0 m Tiefe wurden durch die Ringraumzementation bis 44,5 m unter Flur abgesperrt. Die sprunghafte Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit in der Wassersäule im Bereich der Filterstrecken in etwa 48 und 49 m Tiefe belegt Zuflüsse von höher mineralisiertem Grundwasser. Der Ruhewasserstand in der GWM befand sich etwa drei Wochen nach Bohrende in 31,45 m Tiefe. Während eines acht-tägigen Pumpversuchs mit der intermittierenden Förderung von 0,01 l/s wurden anfänglich 0,056 mg/l und am Ende 0,564 mg/l LCKW analysiert. Eine zuvor bei 30 m Bohrtiefe (oberhalb der Filterstrecke) gezogene Schöpfprobe enthielt 1 102 mg/l LCKW.

Die im ehemaligen Betriebsgelände und etwa 40 m ost-südöstlich des Schadenszentrums durchgeführten Erkundungsmaßnahmen weisen darauf hin, daß LCKW in Phase vom Schadensherd aus annähernd vertikal in den Oberen Muschelkalk abgesunken sind und sich dort über gering durchlässigen Tonsteinschichten in Richtung des Schichtfallens lateral ausgebreitet haben, wobei auch Übertritte von kontaminiertem Sicker- und Grundwasser in tiefere schwebende Grundwasservorkommen erfolgten. Die unterschiedlichen LCKW-Gehalte der jeweiligen GWM der Messstellengruppe 3 in Schöpfproben und in Pumpproben zu Beginn und am Ende von Pumpversuchen werden auf einen Beizug von geringer oder höher kontaminiertem Grundwasser zurückgeführt.

3.3 Messstellengruppe 4

Die gleichfalls unterschiedlich tiefe, schwebende Grundwässer erschließende Messstellengruppe 4 liegt rund 180 m ost-südöstlich des Schadenszentrums. Der Ringraum der flachen GWM **B 4f** ist bis 10,0 m unter Gelände abgedichtet, die Filterstrecke reicht bis 20,0 m Tiefe. Angaben über Wasserzutritte beim Abteufen fehlen, die Temperaturmessungen in der Wassersäule der GWM weisen auf einen Zufluss in 13 bis 14 m unter Flur hin. Der Ruhewasserstand lag acht Tage nach Bohrende 10,95 m unter Gelände. Eine unmittelbar nach dem Ausbau entnommene Schöpfprobe enthielt 19 mg/l LCKW. Zu Beginn und am Ende eines viertägigen Pumpversuchs mit nicht durchgehender Förderung von 0,01 l/s wurden von 17 auf 93 mg/l zunehmende LCKW-Gehalte bestimmt.

Die mitteltiefe GWM **B 4m** endet 30,0 m unter Flur, im Bereich der oberen 20 m ist der Ringraum abgedichtet. Grundwasser wurde in 23,4 m Tiefe angetroffen, der Ruhewasserstand lag zwei Tage nach Bohrende in der GWM 12,7 m unter Gelände. Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit in der Wassersäule der GWM ergab Hinweise auf weitere Wasserzutritte knapp über 23,4 m Tiefe und darunter. Eine Schöpfprobe enthielt 0,007 mg/l LCKW. Während eines viertägigen Pumpversuchs mit der Förderung von 0,03 l/s im Inter-

vallbetrieb stieg die LCKW-Konzentration von 0,13 mg/l nach mehreren Stunden Pumpzeit auf 0,32 mg/l nach einem Tag an und sank am Ende wieder auf 0,13 mg/l ab.

Die tiefe GWM **B 4t** ist von 40,0 bis 50,0 m unter Gelände verfiltert. Angaben über Wasserzutritte beim Abteufen fehlen, der Ruhewasserstand lag 12 Tage nach Abschluss der Bohrung in der GWM 30,6 m unter Flur. Die in der Wassersäule der GWM durchgeführten Messungen der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit weisen im Bereich der Filterstrecke auf Wasserzutritte in 42 m, 46 m und ab 47 m Tiefe hin. Während eines dreitägigen intermittierenden Pumpversuchs mit 0,01 l/s Förderleistung erhöhte sich die LCKW-Konzentrationen von anfänglich 0,03 mg/l auf 0,08 mg/l am Ende.

Wie bei der Messstellengruppe 3 wurde auch in den GWM der Gruppe 4 in den schwebenden Grundwässern von oben nach unten abnehmende LCKW-Konzentrationen analysiert. Die jeweiligen Gehalte waren aber gegenüber der Gruppe 3 wesentlich geringer. Die Abnahme beruht u. a. auch auf stärkerer "Verdünnung" durch Grundwasserneubildung entlang der größeren Fließstrecke ab dem Schadenszentrum.

3.4 Messstellengruppe 5

Die ungefähr 350 m bachabwärts des ehemaligen Betriebsgeländes befindliche Messstellengruppe 5 bestand ursprünglich aus den GWM **B 5f**, **B 5m** und **B 5t**. Letztere wurde aufgrund eines fehlerhaften Ausbaus wieder verschlossen. Beim Niederbringen der flachen, 18,0 m tiefen Bohrung **B 5f** wurde 16,0 m unter Flur Grundwasser angetroffen, der Ruhewasserstand lag einen Tag nach Bohrende in der GWM (dichte Ringraumverfüllung bis 12,0 m u. Gel.) in 9,2 m Tiefe. Die nach einer Stunde mit der Förderrate 0,01 l/s entnommene Pumpprobe enthielt 0,30 mg/l LCKW. In einer Probe nach sechsstündigem Abpumpen mit gleichfalls 0,01 l/s wurden 0,55 mg/l LCKW analysiert.

Die Filterstrecke der mitteltiefen GWM **B 5m** reicht von 19,0 bis 28,0 m Tiefe. Beim Bohren wurde Grundwasser 24,5 m unter Gelände erschlossen. Der Ruhewasserstand befand sich acht Tage nach Bohrende in der GWM 8,95 m unter Flur. Bei einem 20stündigen Pumpversuch mit der Förderrate 0,01 l/s wurden in Proben unmittelbar vor Beginn 0,20 mg/l, nach einer Stunde 0,83 mg/l und am Ende 1,87 mg/l LCKW bestimmt.

Beim Abteufen der 91,5 m tiefen Bohrung für die wieder verschlossene GWM **B 5t** erfolgten in Tiefen zwischen 26,2 und 71,5 m mehrere geringe Wasserzuflüsse. Der hauptsächliche Zufluss wurde unterhalb der Haßmersheim-Schichten 87,0 m unter Gelände beobachtet. Bei einem 45stündigen Zwischenpumpversuch im mittels Sperrrohr bis 30 m Tiefe abgedichteten Bohrloch konnten durchgehend 1,3 l/s entnommen werden. Im Mischwasser der schwebenden Grundwässer und des tiefen Kluft- und Karstgrundwassers unterhalb der Haßmersheim-Schichten wurden anfänglich 0,004 mg/l und nach 24 Stunden Pumpzeit 0,002 mg/l LCKW gemessen. Beim Abpumpen kurz nach dem Ausbau zur GWM ist wahrscheinlich die noch nicht vollständig ausgehärtete Ringraumabdichtung aus Zementsuspension in die Filterstrecke bzw. durchlässige Ringraumverfüllung ab 79,0 m unter Gelände eingedrungen. Eine Beprobung der gesättigten Zone (Kluft- und Karstgrundwasser) war dadurch nicht mehr möglich.

Auf dem Fließweg zwischen den Messstellengruppen 4 und 5 ist vermutlich stark mit LCKW verunreinigtes Grundwasser aus dem oberen schwebenden Vorkommen in das

nächst tiefere übergetreten. Ein Übertritt infolge des Abpumpens in GWM 5m kann aber nicht ausgeschlossen werden.

3.5 Messstelle B 6

Die 107,0 m tiefe, ungefähr 700 m vom ehemaligen Betriebsgelände entfernte GWM B 6 ist ab 83,0 m unter Gelände in der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks verfiltert, darüber wurde der Ringraum abgedichtet. Der Ruhewasserstand lag unmittelbar nach dem Ausbau 38,5 m unter Flur. Das erschlossene Kluft- und Karstgrundwasser ist demnach unter den Haßmersheim-Schichten gespannt. Angaben über Wasserzutritte sind im Bohrprotokoll nicht angeführt. Messungen der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit in der Wassersäule des damals 88 m tiefen Bohrlochs erlauben keine Rückschlüsse auf Wasserzutritte in der danach ausgebauten GWM. Angaben über die Ergiebigkeit des erschlossenen Kluft- und Karstaquifers fehlen. Die Analysen von zwei Schöpfproben aus dem noch nicht ausgebauten Bohrloch ergaben LCKW-Gehalte unter der Bestimmungsgrenze, auch spätere Proben aus der GWM waren frei von LCKW.

4. Schlussbetrachtung

Die 1985 und 1986 durchgeführten Untersuchungen ergaben im Nahbereich des Schadenszentrums oberhalb des zusammenhängenden Grundwassers einen lateralen Abstrom von LCKW in Phase im Oberen Muschelkalk über gering durchlässigen Tonsteinschichten in Richtung des Schichtfalls. Unterstromig wurden mit zunehmender Entfernung geringere werdende maximale Konzentrationen im obersten schwebenden Grundwasservorkommen und wesentlich geringere LCKW-Gehalte im tieferen, gleichfalls schwebenden Grundwasser nachgewiesen. Eine genaue Abgrenzung der einzelnen schwebenden Grundwasservorkommen war u.a. aufgrund der komplexen hydrogeologischen Verhältnisse nicht möglich. Auf dem Fließweg zwischen den vom Schadensherd 180 und 350 m entfernten Messstellengruppen 4 und 5 trat vermutlich höher kontaminiertes Grundwasser aus dem oberen schwebenden Vorkommen anteilig verstärkt in das nächst tiefere schwebende Grundwasser über und führte dort zu einer Aufhöhung der LCKW-Konzentration.

Ein Absinken von kontaminiertem schwebendem Grundwasser von der ungesättigten Zone des Oberen Muschelkalks in die gesättigte Zone oberhalb der Haßmersheim-Schichten und ein Übertritt in das gespannte Kluft- und Karstgrundwasser darunter konnte nicht nachvollzogen, muss aber angenommen werden. Entscheidend für den Abfluss des Schadstoffs LCKW in Phase oder in gelöster Form ist die Durchlässigkeitsverteilung in der ungesättigten Zone, die durch folgende Faktoren wesentlich bestimmt wird: Ausbildung und Verbreitung der Bachablagerungen, Schichtenfolge im Oberen Muschelkalk aus Karbonatgesteinen mit Tonsteinlagen und Ausbildung des Kluftsystems sowie der Verkarstung in diesen unterschiedlich geklüfteten und verkarstungsfähigen Gesteinen und darin Auftreten von zeitweiligen oder permanenten Schichtgrundwässern über dem zusammenhängenden Kluft- und Karstgrundwasser.

Infolge dieser "Makrodispersion" in der ungesättigten Zone kann der Schadstoffeintrag in das großflächig zusammenhängende Grundwasser auf eine Strecke von mehreren hundert Metern talab, abhängig vom Schichteinfallen auch in abweichender Richtung, verteilt sein.

Laterale Schadstoffausbreitung in der ungesättigten Zone des verkarsteten Kluftgrundwasserleiters Oberer Muschelkalk

Bei Erwartung derartiger Verhältnisse in der ungesättigten Zone ist ein detailliertes Aufschluss- bzw. Bohrprogramm mit Zwischentests- und -beprobungen, bohrlochgeophysikalischen Messungen und spezieller Ausbaufestlegung erforderlich, das im beschriebenen Fall nicht optimal erfüllt war. Bei der Erkundung eines treppenförmig absteigenden, wahrscheinlich stark verzweigten Schadstoffpfades in der ungesättigten Zone ist jedoch in Abhängigkeit von der wasserwirtschaftlichen Situation und den regionalen hydrogeologischen Verhältnissen der wirtschaftlich vertretbare Aufwand von Anfang an zu berücksichtigen.

Eingang des Manuskripts: 26.03.2004

Angeführte Schriften

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG (1998): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50 000, Erläuterungen Stuttgart und Umgebung

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (1979): Hydrogeologische Verhältnisse in Freiräume in Stadtlandschaften, Modellraum Ludwigsburg

SIMON, T. (1986): Schwebende Schichtgrundwasser-Stockwerke im Oberen Muschelkalk und ihre Bedeutung für die Verkarstung - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 28, 245 - 265; 8 Abb.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [95](#)

Autor(en)/Author(s): Bruder Joachim

Artikel/Article: [Laterale Schadstoffausbreitung in der ungesättigten Zone des verkarsteten Kluftgrundwasserleiters Oberer Muschelkalk 71-79](#)