

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität  
Rheinland-Pfalz  
Referat Strahlenschutz**

**Gutachten zum Langzeitverhalten der Halden  
der Urananlage Ellweiler**

**Probenahme Oktober 2023**

**Bearbeitung:**

Dipl.-Geol. Armin Bender  
Dipl.-Geoök. Simone Sinico  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (BCE)  
Maria Trost 3  
56070 Koblenz

Dipl.-Geoök. Alexandra Müller  
Dr. rer. nat. habil. Rainer Gellermann  
Nuclear Control & Consulting GmbH (NCC)  
Hinter dem Turme 24  
38114 Braunschweig

## Inhaltsverzeichnis

### Erläuterungsbericht

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Klimatische Verhältnisse</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Hydrodynamik</b>	<b>5</b>
3.1	Durchgeführte Untersuchungen	5
3.2	Untersuchungsergebnisse	5
3.2.1	Dynamik des Oberflächenwassers	5
3.2.2	Dynamik des Grundwassers	6
3.3	Untersuchungsergebnisse	10
<b>4</b>	<b>Hydrochemische Untersuchungen und Untersuchungen der Radionuklide</b>	<b>11</b>
4.1	Monitoringprogramm	11
4.1.1	Durchgeführte Untersuchungen	11
4.1.2	Datenauswertung	12
4.1.3	Trendanalyse	15
4.2	Untersuchungsergebnisse Hydrochemie	16
4.2.1	Gesamtübersicht	16
4.2.2	pH-Wert	20
4.2.3	Chlorid	24
4.2.4	Sulfat	28
4.2.5	Nitrat	33
4.2.6	Arsen	37
4.2.7	Weitere Parameter	40
4.2.8	Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse	41
4.3	Untersuchungsergebnisse Radionuklide	47
4.3.1	Gesamtübersicht	47
4.3.2	Tritium	51
4.3.3	Uran-238	57
4.3.4	Radium-226	61
4.3.5	Radium-228	65
4.3.6	Radon-222	66

4.3.7	Blei-210	68
4.3.8	Neptunium-237	71
4.3.9	Richtdosis	72
4.3.10	Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse	76
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse</b>	<b>87</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>91</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Monatssummen der Niederschläge im Bereich Ellweiler	4
Abbildung 3-1:	Oberflächenwasserganglinie des Steinaubaches im Vergleich mit dem Niederschlag 1989-2023	6
Abbildung 3-2:	Ganglinien des Grundwassers sämtlicher Grundwassermessstellen 1989-2023	8
Abbildung 3-3:	Ganglinien des Grundwassers im Nahbereich des Steinaubaches 1989-2023	9
Abbildung 3-4:	Ganglinien des Grundwassers im Bereich der Halde 1 1989-2023	9
Abbildung 3-5:	Ganglinien des Grundwassers im Bereich der Halde 2 1989-2023	10
Abbildung 4-1:	pH-Werte im Grundwasser der Messstellen Ellweiler	17
Abbildung 4-2:	Chloridkonzentrationen im Grundwasser der Messstellen Ellweiler	18
Abbildung 4-3:	Sulfatkonzentrationen im Grundwasser der Messstellen Ellweiler	19
Abbildung 4-4:	Nitratkonzentrationen im Grundwasser der Messstellen Ellweiler	20
Abbildung 4-5:	Zeitreihen der pH-Werte im haldenanstromigen Grundwasser	21
Abbildung 4-6:	Zeitreihen der pH-Werte im Haldengrundwasser	22
Abbildung 4-7:	Zeitreihen der pH-Werte im haldennahen Grundwasser	23
Abbildung 4-8:	Zeitreihen der pH-Werte im haldenabstromigen Grundwasser	24
Abbildung 4-9:	Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser	25
Abbildung 4-10:	Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im Haldengrundwasser	26
Abbildung 4-11:	Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im haldennahen Grundwasser	27
Abbildung 4-12:	Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im haldenabstromigen Grundwasser	28
Abbildung 4-13:	Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser	29
Abbildung 4-14:	Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im Haldengrundwasser	30
Abbildung 4-15:	Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im haldennahen Grundwasser	31
Abbildung 4-16:	Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im haldenabstromigen Grundwasser	32
Abbildung 4-17:	Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im Oberflächenwasser	33
Abbildung 4-18:	Zeitreihen der Nitratkonzentration im haldenanstromigen Grundwasser	34
Abbildung 4-19:	Zeitreihen der Nitratkonzentration im Haldengrundwasser	35
Abbildung 4-20:	Zeitreihen der Nitratkonzentration im haldennahen Grundwasser	36
Abbildung 4-21:	Zeitreihen der Nitratkonzentration im haldenabstromigen Grundwasser	37
Abbildung 4-22:	Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser	38
Abbildung 4-23:	Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im Haldengrundwasser	38
Abbildung 4-24:	Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im haldennahen Grundwasser	39
Abbildung 4-25:	Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im haldenabstromigen Grundwasser	40
Abbildung 4-26:	Tritiumaktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler	47
Abbildung 4-27:	U-238-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler	48
Abbildung 4-28:	Ra-226-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler	49
Abbildung 4-29:	Pb-210-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler	50
Abbildung 4-30:	Np-237-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler	51
Abbildung 4-31:	Zeitreihen der Tritiumaktivität im haldenanstromigen Grundwasser	52
Abbildung 4-32:	Zeitreihen der Tritiumaktivitäten im Haldengrundwasser sowie Kurvenverläufe für die Abnahme der Konzentration durch radioaktiven Zerfall „(Zerfall)“ bzw. durch Zerfall und Auswaschung „(Zerf+Ausw)“	53

Abbildung 4-33:	Zeitreihen der Tritiumaktivitäten im haldennahen Grundwasser. Punkte - Messwerte; Linie – Modellkurven	54
Abbildung 4-34:	Zeitreihen der Tritiumaktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser	55
Abbildung 4-35:	Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im haldenanstromigen Grundwasser	58
Abbildung 4-36:	Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im Haldengrundwasser	59
Abbildung 4-37:	Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser	59
Abbildung 4-38:	Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser	60
Abbildung 4-39:	Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im Oberflächenwasser	61
Abbildung 4-40:	Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im haldenanstromigen Grundwasser	62
Abbildung 4-41:	Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im Haldengrundwasser	63
Abbildung 4-42:	Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser	64
Abbildung 4-43:	Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser	65
Abbildung 4-44:	Ra-228-Aktivitäten im Grundwasser der Messstellen Ellweiler	66
Abbildung 4-45:	Rn-222-Aktivitäten im Grundwasser der Messstellen Ellweiler	67
Abbildung 4-46:	Statistische Zusammenhänge zwischen Pb-210 und Ra-226 sowie Rn-222 aus deutschlandweiter Untersuchung [5]	67
Abbildung 4-47:	Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im haldenanstromigen Grundwasser	69
Abbildung 4-48:	Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser	69
Abbildung 4-49:	Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im Haldengrundwasser	70
Abbildung 4-50:	Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser	71
Abbildung 4-51:	Zeitreihen der Np-237-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser	72
Abbildung 4-52:	Zeitreihen der oberflächennahen Grundwässer dargestellt als Pseudoprofile	83
Abbildung 4-53:	Zeitreihen der tiefen Grundwässer	84
Abbildung 4-54:	Vergleichende Darstellung der jährlichen Mittelwerte für die Parameter Chlorid, Sulfat, pH, Tritium, U-238 und Ra-226 der Messstellen im oberflächennahen Grundwasser	86
Abbildung 5-1:	Überblick Untersuchungsgebiet	87

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Untersuchungsumfang Monitoring 2023	2
Tabelle 4-1:	Schwellenwerte für ausgewählte anorganische Parameter (nach GrwV [1] und GFS-Wert [2])	13
Tabelle 4-2:	Referenzkonzentrationen der natürlichen und künstlichen Radionuklide (nach [1] und [2])	14
Tabelle 4-3:	Bewertung der Grundwasseranalysen Hydrochemie	43
Tabelle 4-4:	Trendbewertung der Grundwasseranalysen Hydrochemie	46
Tabelle 4-5:	Bewertung des Grundwassers in Bezug auf den Tritiumindikatorwert	56
Tabelle 4-6:	Summenwerte des Grundwassers in Bezug auf die Richtdosis *	73
Tabelle 4-7:	Summenwerte des Grundwassers in Bezug auf die Richtdosis (nur mit U-238 und Ra-226)	75
Tabelle 4-8:	Bewertung der Grundwasseranalysen Radionuklide	78
Tabelle 4-9:	Trendbewertung der Grundwasseranalysen Radionuklide	81
Tabelle 4-10:	Mittelwerte für die Messstellen im oberflächennahen Grundwasser	85

## **Anhang**

### **1 Lagepläne**

- 1.1 Übersichtskarte
- 1.2 Lageplan der Probenahmestellen 2023
- 1.3 Lageplan aller Messstellen

### **2 Übersicht über Grundwassermessstellen Lage, Probenahme, Grundwasserstände**

- 2.1 Übersicht über Grundwassermessstellen 2023
- 2.2 Übersicht über alle früheren Grundwassermessstellen

### **3 Ergebnisse der hydrochemischen Untersuchungen Grund-, Haldengrund- und Oberflächenwasser**

30. Probenahme Oktober 2023

### **4 Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grund-, Haldengrund- und Oberflächenwässer sowie Sedimente**

- 4.1 Tritiumaktivitäten
- 4.2 Uranaktivitäten (U-238, U-235)
- 4.3 Radium-Aktivitäten (Ra-226, Ra-228)
- 4.4 Blei-210-Aktivitäten
- 4.5 Radon-222-Aktivitäten
- 4.6 Neptunium-237-Aktivitäten
- 4.7 Cäsium-137-Aktivitäten

### **5 Ergebnisse der Trendanalysen (Mann-Kendall-Test)**

- 5.1 Ergebnisse der Trendanalysen Hydrochemie
- 5.2 Ergebnisse der Trendanalysen Radionuklide

## Verwendete Unterlagen

- [1] Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1802) geändert worden ist.
- [2] Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016. Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Stuttgart, im Januar 2017.
- [3] Trinkwasserverordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159, S. 2)
- [4] RICHTLINIE 2013/51/EURATOM vom 22. Oktober 2013 zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch. Amtsblatt der Europäischen Union 7.11.2013.
- [5] Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von Radioaktivität im Trinkwasser. Empfehlung von BMU, BMG, BfS, UBA, DVGW und BDEW erstellt unter Mitwirkung von Ländervertretern. Januar 2017.
- [6] M. Beyermann, T. Bünger, K. Gehrcke, D. Obrikat: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland. (Bundesamt für Strahlenschutz) BfS-SW-06/09, Salzgitter, Dez. 2009. urn:nbn:de:0221-20100319945.
- [7] Schutz der Umwelt im Strahlenschutz. Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit Begründung und Erläuterung. Verabschiedet in der 286. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 01. Dezember 2016.
- [8] [https://www.dwd.de/DE/derdwd/messnetz/radioaktivitaet/\\_functions/teasergroup/messnetz\\_messgerate\\_teaser4.html](https://www.dwd.de/DE/derdwd/messnetz/radioaktivitaet/_functions/teasergroup/messnetz_messgerate_teaser4.html)

## **1 Einleitung**

Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz setzte 2023 das bereits in den Jahren 1989 bis 2021 durchgeführte Monitoring am Standort der ehemaligen Urananlage Ellweiler mit dem Ziel fort, das Langzeitverhalten der Halden im Bereich der ehemaligen Urananlage im Zweijahresrhythmus zu untersuchen und zu bewerten. Die Daten dienen der Beweissicherung sowie der Ableitung der Wirksamkeit von am Standort bereits durchgeführten Sanierungsmaßnahmen. Die Messergebnisse zur Schadstoffbelastung umfassen die Belastung des Grund-, Haldengrund- und Oberflächenwassers hinsichtlich hydrochemischer Parameter und Radionuklide. Zusätzlich wird Uran im Bachsediment untersucht.

Zur Datenbeschaffung wurden meist im Herbst bei Niedrigwasserbedingungen Proben von Grund-, Haldengrund- und Oberflächenwasser sowie von Bachsedimenten in Zusammenarbeit durch das Landesamt für Umwelt ((LfU), durch die Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (BCE) und durch das Institut für angewandte Isotopen-, Gas- und Umweltuntersuchungen (IGU Wörthsee) gewonnen.

Die 30. Probenahme fand im Rahmen des Monitorings 2023 am 19. Oktober 2023 statt und erfolgte wie in den Jahren zuvor bei Niedrigwasserbedingungen. Die ausgewählten Messstellen erfassen den Grundwasseranstrom, die einzelnen Eintragsstellen und den Grundwasserabstrom. In der Kampagne 2023 wurden an insgesamt 11 Messstellen Grund- bzw. Haldenwasserproben sowie zusätzlich 2 Oberflächenwasser- und 2 Sedimentproben aus dem Steinaubach gewonnen. Die Haldenmessstelle H 1T ließ sich wegen zu geringer Wasserführung nicht repräsentativ beproben.

In den Anhängen 1 und 2 befinden sich Lagepläne sowie Angaben zu den Probenahmeorten und zu den Grundwasserständen zum jeweiligen Probenahmezeitpunkt. Die Anhänge 3 und 4 enthalten eine Zusammenstellung von Messergebnissen, wobei im Anhang 4 alle im Rahmen der bisherigen Untersuchungen ermittelten Radionuklid-Analysen dokumentiert sind.

Der Umfang der zu beprobenden Messstellen und der zu untersuchenden Parameter wurde auf Grundlage der Ergebnisse der seit 1989 durchgeführten, vieljährigen Probenahmen festgelegt. Der Untersuchungsumfang im Monitoring 2023 ist in der Tabelle 1-1 aufgeführt.

Die hydrochemischen Untersuchungen und die Ermittlung der Tritiumaktivitäten erfolgten durch das LfU. Die weiteren Radionukliduntersuchungen wurden von IGU durchgeführt. Zusätzlich wurde von IGU in den Doppelmessstellen GWM 4 und GWM 23 Tritium bestimmt. Da hier bei der Analytik eine elektrolytische Anreicherung stattfand und die Messung damit sensitiver ist als bei einer direkten Bestimmung, werden in der Auswertung der genannten Messstellen die Ergebnisse der IGU diskutiert.

Tabelle 1-1: Untersuchungsumfang Monitoring 2023

Art der Untersuchung	Medien	Art bzw. Lage der Mess- bzw. Probenahmestellen	Bezeichnung der Mess- bzw. Probenahmestelle
<b>Untersuchungsumfang zur Wasser- und Sedimentbeschaffenheit</b>			
<p><b>Chemische Parameter (Wasser):</b>                      Grund-, Halden- und Oberflächenwasser:                      Färbung, Trübung, Geruch, Sauerstoffgehalt (ohne OW 1 und OW 5.1), Wassertemperatur (ohne OW 1 und OW 5.1), Säurekapazität, Karbonathärte, Leitfähigkeit, pH, Nitrat, Nitrit, Silicium, Ammonium, Phosphor, Sulfat, Chlorid, DOC (ohne OW 1 und OW 5.1), Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Al (nur GWM4B, GWM 7, GWM 10), Pb, Tl, V, As, Cr ges., Mo, Cu, Zn, Cd, Mn (ohne OW 1), Fe, Co, Ni, B, Uran, Summe Erdalkalien,</p> <p><b>Radionuklide (Wasser):</b>                      Tritium (H-3), U-238, U-235, Ra-226, Ra-228, Pb-210, Np-237 (es wurde nicht in allen Messstellen der vollständige Parametersatz analysiert)</p> <p><b>Radionuklide (Sediment):</b>                      U-238, U-235</p>	Grundwasser	Tiefbrunnen (Festgestein)	GWM 4T GWM 14T GWM 23T
		Flachbrunnen (Talfüllung)	GWM 4B GWM 6 GWM 7 GWM 10 GWM 14F GWM 23F GWM 25
	Haldengrundwasser	Halde 2	HW 2T
	Oberflächenwasser und Sediment	Vorfluter Steinaubach stromoberhalb der Halden	OW 1 / SEDI 1.1
Vorfluter Steinaubach stromunterhalb der Halden		OW 5.1 / SEDI 5.1	
<b>Messumfang zur Grund- und Oberflächenwasserdynamik</b>			
Monatliche Stichtagsmessungen	Grundwasser	Tiefbrunnen (Festgestein)	GWM 4T GWM 14T GWM 16T (H 2T) GWM 18T (H 1T) GWM 23T
		Flachbrunnen (Talfüllung)	GWM 1 GWM 2 GWM 4B GWM 4F GWM 5 GWM 6 GWM 7 GWM 8 GWM 9 GWM 10 GWM 13 GWM 14F GWM 23F GWM 24 GWM 25 GWM 26 GWM 27 GWM 28

	Oberflächenwasser	Vorfluter Steinaubach stromoberhalb der Halden	Brücke vor der Urananlage
--	-------------------	------------------------------------------------	---------------------------

## 2 Klimatische Verhältnisse

Um den Einfluss der Niederschläge auf das Grund- und Oberflächenwasserregime im Bereich der ehemaligen Urananlage abschätzen zu können, wurden monatliche Niederschlagsdaten der Messstation Nohfelden-Gonnesweiler (ab 2005, zuvor Stationen Buhlenberg/Brücken/Freisen/Birkenfeld-Feckweiler) für den Zeitraum von Januar 1989 bis Dezember 2023 sowie die aus den Jahren 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 und 2010-2019 gemittelten Monatssummen herangezogen und den gemessenen Grund- und Oberflächenwasserständen vergleichend gegenüber gestellt.

Die Messstation Nohfelden-Gonnesweiler befindet sich ca. 7 km südwestlich von Ellweiler. Die dort ermittelten Daten können als hinreichend repräsentativ für den Standort der ehemaligen Urananlage angesehen und auf diesen übertragen werden.

In Abbildung 2-1 sind die monatlichen Niederschläge der letzten 15 Jahre aufgetragen. Die ebenfalls dargestellten 10-jährigen mittleren Monatssummen der Niederschläge der Jahre 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 und 2010-2019 zeigen einen typischen Jahresgang mit geringen Niederschlägen im Zeitraum von April bis September und stärkeren Niederschlägen in den Monaten Oktober bis März, wobei die Schwankungsamplitude im Jahresgang eher klein ist.

Im Jahr 2023 lag der Jahresniederschlag in Nohfelden-Gonnesweiler mit 1.460 mm deutlich höher als der mittlere Jahresniederschlag für den Zeitraum 1980-2023 (rd. 1.060 mm). Die Verteilung über das Jahr war wie meistens sehr unterschiedlich. Sehr trocken waren die Monate Februar (17 mm), Juni (9 mm) und September (47 mm). Relativ viel Niederschlag, jeweils über 150 mm, ist in den Monaten März, August, September und Oktober bis Dezember gefallen.

Insgesamt kann mit Hilfe der ermittelten Niederschlagsdaten festgestellt werden, dass die Niederschlagsverhältnisse vor der Haldensanierung mit den Verhältnissen während und nach der Sanierung im Wesentlichen vergleichbar sind. Ein klarer Trend als Folge des Klimawandels ist (noch) nicht erkennbar. Gegenüber den früheren Zeiträumen ist im Zeitraum 2010-2019 der Monat Oktober spürbar trockener und der Monat Dezember spürbar nasser.

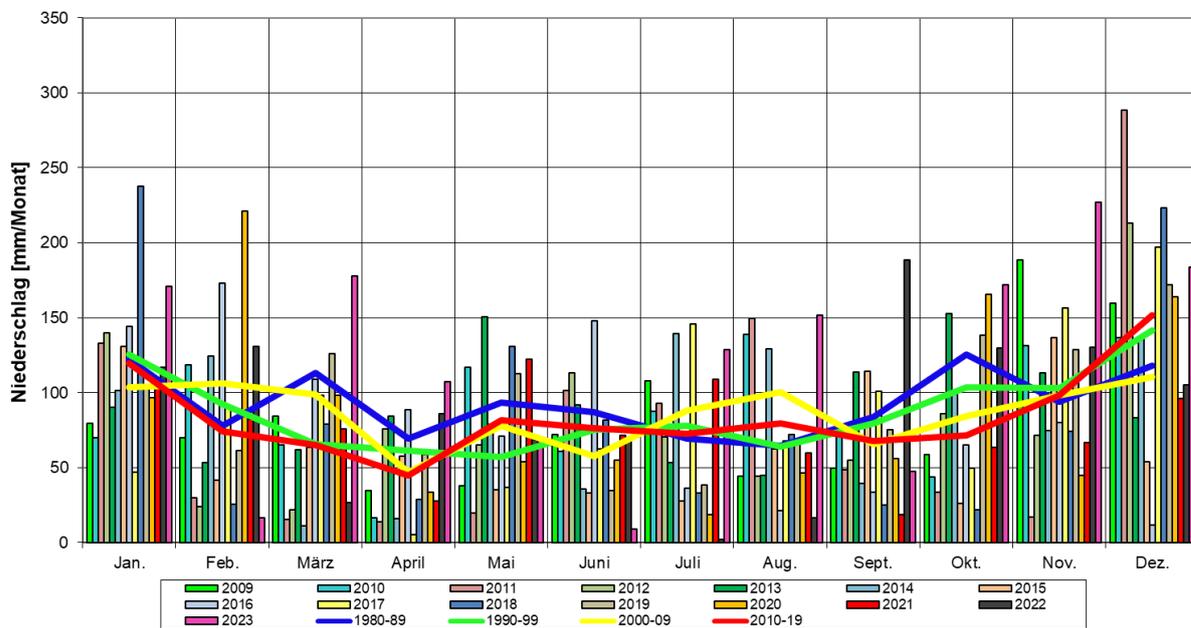


Abbildung 2-1: Monatssummen der Niederschläge im Bereich Ellweiler

### **3 Hydrodynamik**

#### **3.1 Durchgeführte Untersuchungen**

Zur Bestimmung der hydrodynamischen Verhältnisse am Standort der ehemaligen Urananlage werden Grundwasserstände sowie die Wasserstände des Vorfluters Steinaubach herangezogen.

Im Rahmen des Monitorings 2023 wurde zur Bestimmung der Oberflächenwasserdynamik der Wasserstand des Steinaubaches monatlich an der Brücke vor der Urananlage gemessen (Messstelle OW1 in Anhang 1.2). Um die Grundwasserdynamik zu bestimmen, wurden an den in der Tabelle 1-1 aufgeführten Grundwassermessstellen („Flachbrunnen“ / „Tiefbrunnen“) ebenfalls monatliche Wasserstandsmessungen durchgeführt, in der Regel gegen Mitte des jeweiligen Monats. Bis auf die Messstelle H1T (06-11/2022, 06-10/2023) führten alle angegebenen Messstellen zum Zeitpunkt der Lotungen Wasser.

Auf Grundlage der in den vergangenen Monitoringkampagnen gewonnenen Erkenntnisse wird eingeschätzt, dass durch die gewählten Messnetze die hydrodynamische Situation des Grund- und Oberflächenwassers am Standort hinreichend charakterisiert werden kann.

#### **3.2 Untersuchungsergebnisse**

##### **3.2.1 Dynamik des Oberflächenwassers**

Der Steinbaubach, der das Betriebsgelände der ehemaligen Urananlage in nordsüdlicher Richtung durchquert, stellt den Hauptvorfluter für den Untersuchungsstandort dar.

Die in der Abbildung 3-1 dargestellten Abflussverhältnisse des Steinaubaches zeigen einen typischen Jahresgang mit meist hohen Wasserständen im Winter und niedrigen Wasserständen im Sommer bzw. Herbst. Deutliche Ausnahme bildete das Jahr 2013 mit einem Hochwasser im Mai. Seit dem Jahr 2000 liegen die Niedrigwasserverhältnisse auf einem etwas höheren Niveau als in den Jahren zuvor. Eine weitere Niveauverschiebung der Niedrigwasserstände ist offenbar ab 2012 gegeben. Dies kann nach gutachterlicher Meinung jeweils an einer natürlichen Sohlaufhöhung im Bereich der Pegelstelle liegen.

Die 2023 im Monitoring ermittelte Bandbreite der monatlichen Bachwasserstand-Messwerte war mit 0,38 m relativ hoch, so war zuletzt im Jahr 2013 mit 0,44 m eine höhere Bandbreite gemessen worden. Das übliche Abfallen des Bachwasserstandes im Zeitraum April/Oktober fand 2023 mit einer Unterbrechung im August infolge höherer Niederschläge statt. Im Oktober 2023 lag der Wasserstand im Steinaubach etwas tiefer als bei den Messkampagnen der letzten 10 Jahre.

Durch die vergleichende Darstellung der Abflussverhältnisse mit den ebenfalls in Abbildung 3-1 dargestellten Monatsniederschlägen kann gezeigt werden, dass sich die mittleren bis stärkeren Niederschläge deutlich in der Wasserspiegelentwicklung des Steinaubaches abzeichnen, da die markanten Niederschlagsereignisse leicht zeitversetzte Maxima im Oberflächengewässer nach sich ziehen.

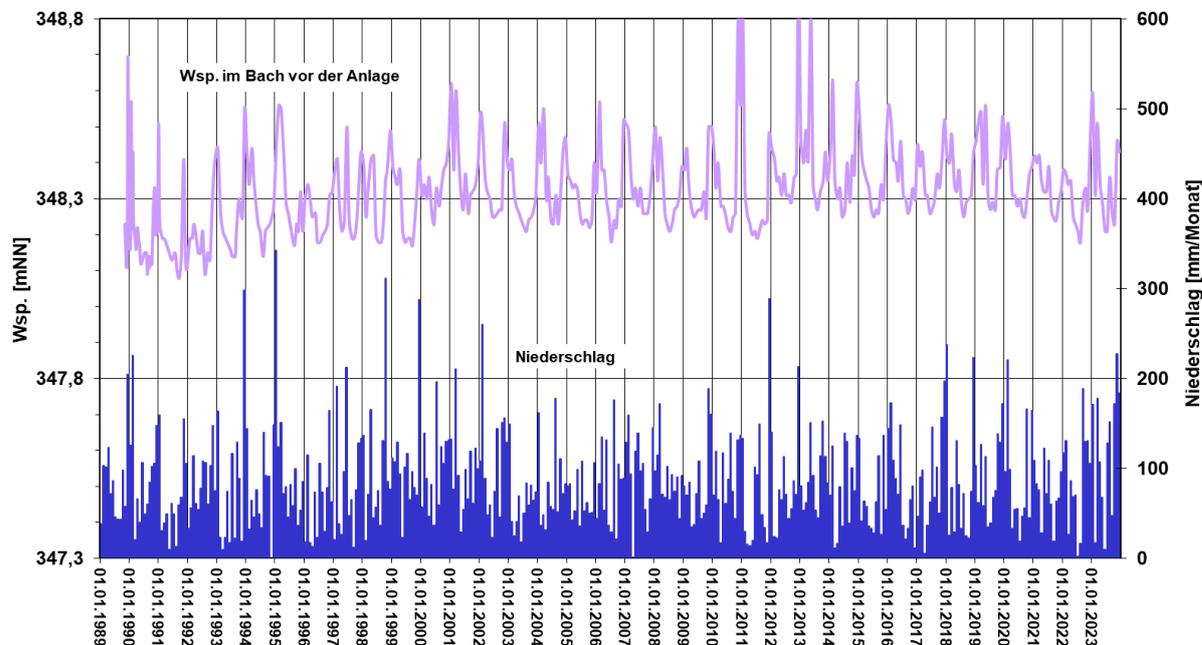


Abbildung 3-1: Oberflächenwasserganglinie des Steinaubaches im Vergleich mit dem Niederschlag 1989-2023

### 3.2.2 Dynamik des Grundwassers

Eine Gesamtdokumentation des Wasserspiegelgangs an sämtlichen maßgebenden Grundwassermessstellen über den Zeitraum 1989 - 2023 ist in Abbildung 3-2 gegeben. Man kann aus der gemeinsamen Auftragung der Ganglinien sehr gut die jeweilige Höhenlage des Wasserspiegels und den weitgehend ähnlichen zeitlichen Verlauf erkennen. Alle Ganglinien sind zunächst über die Gesamtgrundwasserverhältnisse aus dem Niederschlagsgeschehen geprägt. Darüber hinaus stützt letztlich der Steinaubach das gesamte Grundwassersystem in der Bachniederung und verhindert z.B. in niederschlagsärmeren Jahren ein übermäßiges Absinken unter die normalen jährlichen Grundwassertiefstände. Der Steinaubach stellt andererseits die überwiegende Zeit den Vorfluter für das Grundwasser dar. Er begrenzt beispielsweise in seinem Nahbereich den aus höheren Niederschlägen resultierenden Grundwasseranstieg. Bei kurzzeitigen Hochwässern im Bach kommt es entsprechend im Nahbereich zu einer Infiltration in das Grundwassersystem.

Nach dem extremen Trockenjahr 2003 - mit durchweg tiefsten Grundwasserständen bezogen auf die Beobachtungszeit von 1989 bis Anfang 2003 - hatten sich die Grundwasserstände in den nachfolgenden Jahren wieder leicht erholt. Hierzu trugen Schneeschmelzen bzw. hohe Niederschläge verbunden mit Hochwasser im Steinaubach vor allem in den Monaten Dezember und Januar der nachfolgenden Jahre bei. Das Jahr 2023 startete mit eher hohen Grundwasserständen, die bis in den Juli abgefallen sind. Der Tiefpunkt im Juli 2023 war auf einem ähnlichen Niveau wie im Vorjahr (Tiefpunkt im August). Zum Ende des Jahres 2023 sind die Grundwasserstände dann wieder angestiegen und erreichten in etwa das Niveau von Anfang des Jahres 2023.

Differenziertere Teilauftragungen der Grundwasserstandsganglinien bieten Abbildung 3-3 bis Abbildung 3-5. Die Bezeichnung der Messstellen erfolgt jeweils ohne den Zusatz GWM. In der Abbildung 3-3 sind die monatlichen Niederschläge, die Wasserstände im Steinaubach sowie die der längs des Bachs in Abflussrichtung links bzw. rechts gelegenen Grundwassermessstellen GWM 7, GWM 8, GWM 10 und GWM 13 aufgetragen. Daraus ist generell erkennbar, dass die bachnäher gelegenen Messstellen GWM 7 und GWM 10 mit den Bachwasserspiegelschwankungen korrespondieren und eine geringere Bandbreite des Grundwasserstandes aufweisen als die etwas weiter abseits gelegenen Messstellen GWM 8 und GWM 13.

In der Abbildung 3-4 erfolgt eine entsprechende Zusammenstellung mit den Grundwassermessstellen GWM 6, GWM 7, GWM 2 und GWM 8 im Bachbereich entlang der ehemaligen Halde 1. Hier ist deutlich erkennbar, dass die Messstelle GWM 8 insgesamt eine etwas höhere Schwankungsbreite aufweist als die GWM 2 und die GWM 7, die allerdings hauptsächlich aus Extrempunkten herrührt. Eine Zäsur ist Ende 1999 an der Messstelle GWM 6 gegeben. Zuvor liegt eine relativ geringe Schwankungsbreite des Grundwasserstandes vor. In den nachfolgenden Jahren ist eine deutlich größere Schwankungsbreite zu verzeichnen.

Die Abbildung 3-5 erfasst den Bachbereich bei der ehemaligen Halde 2 mit den Grundwassermessstellen GWM 2, GWM 8, GWM 9 und GWM 10. Auch hierin ist wieder erkennbar, dass die bach-näheren Messstellen GWM 9 und GWM 10 geringere Ausschläge aufweisen. An der Messstelle GWM 9 war zudem zeitweise (1999 bis 2002) ein gedämpfterer Verlauf als an den anderen Messstellen zu verzeichnen.

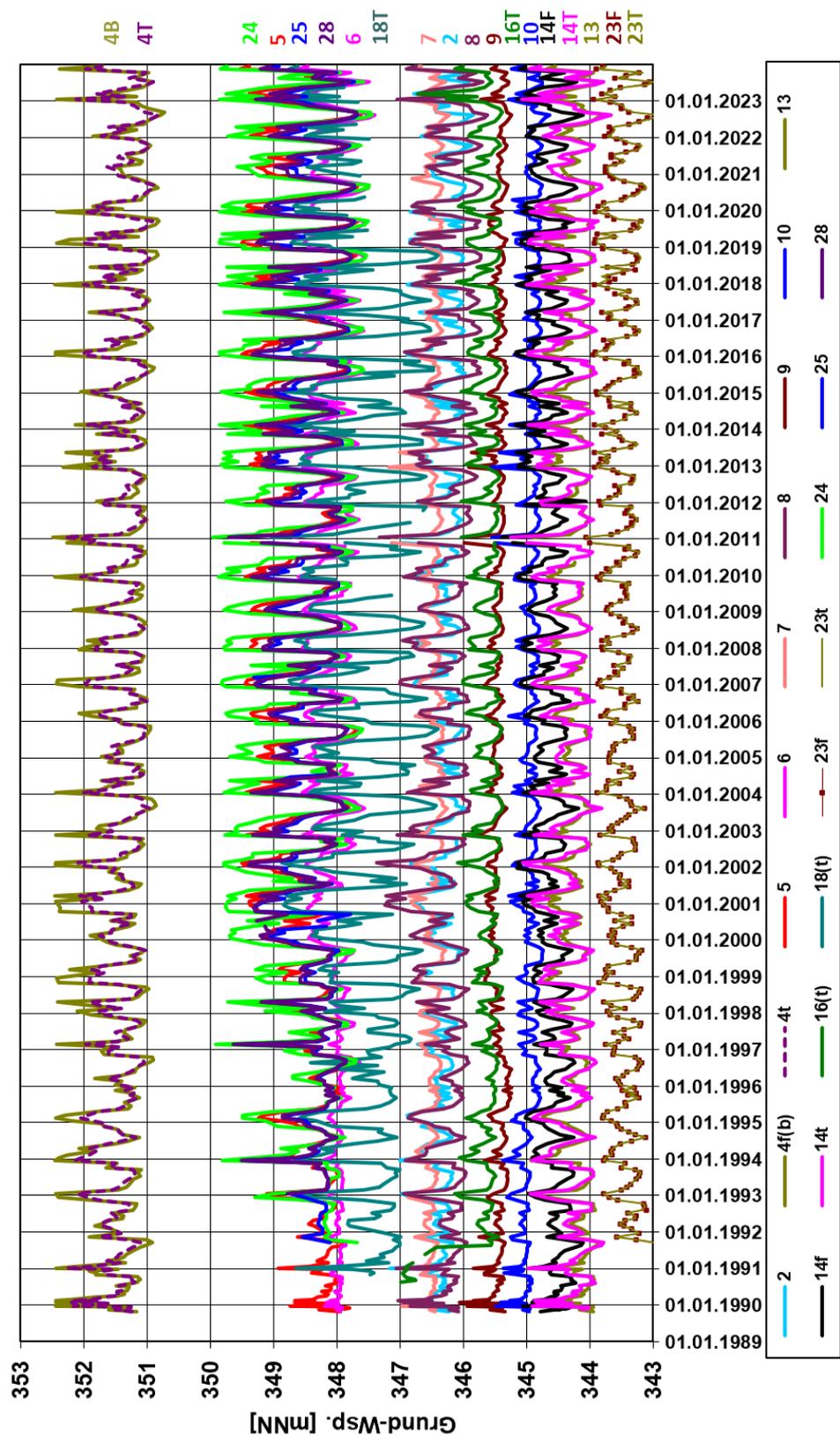


Abbildung 3-2: Ganglinien des Grundwassers sämtlicher Grundwassermessstellen 1989-2023

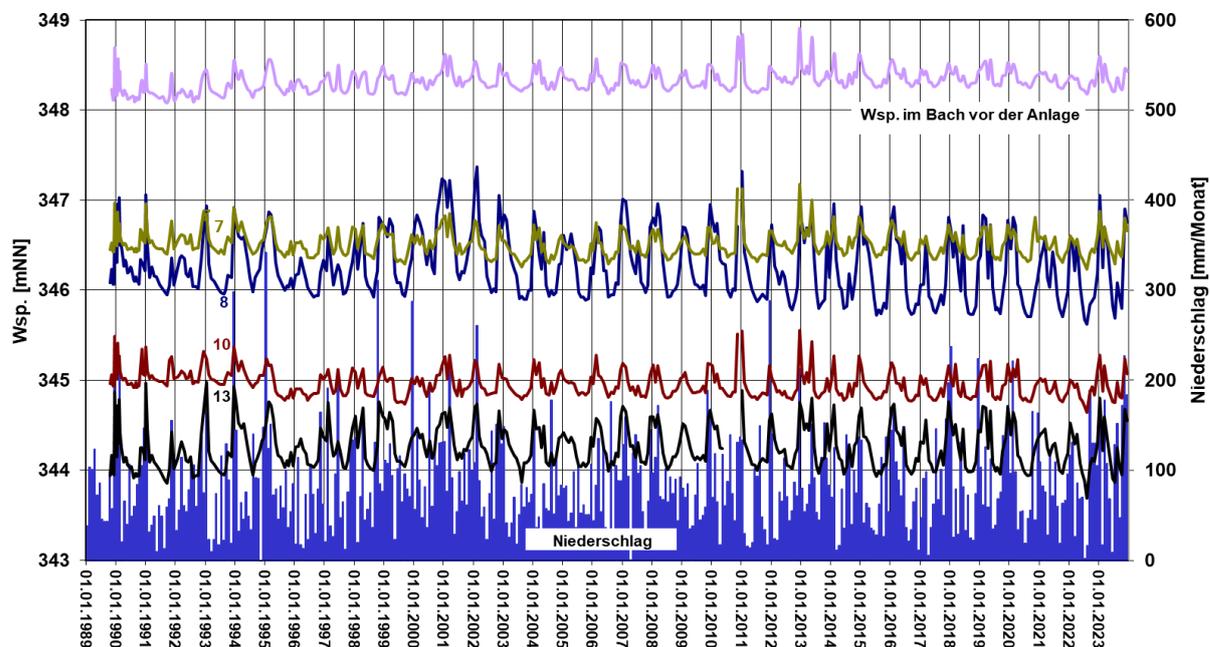


Abbildung 3-3: Ganglinien des Grundwassers im Nahbereich des Steinbaches 1989-2023

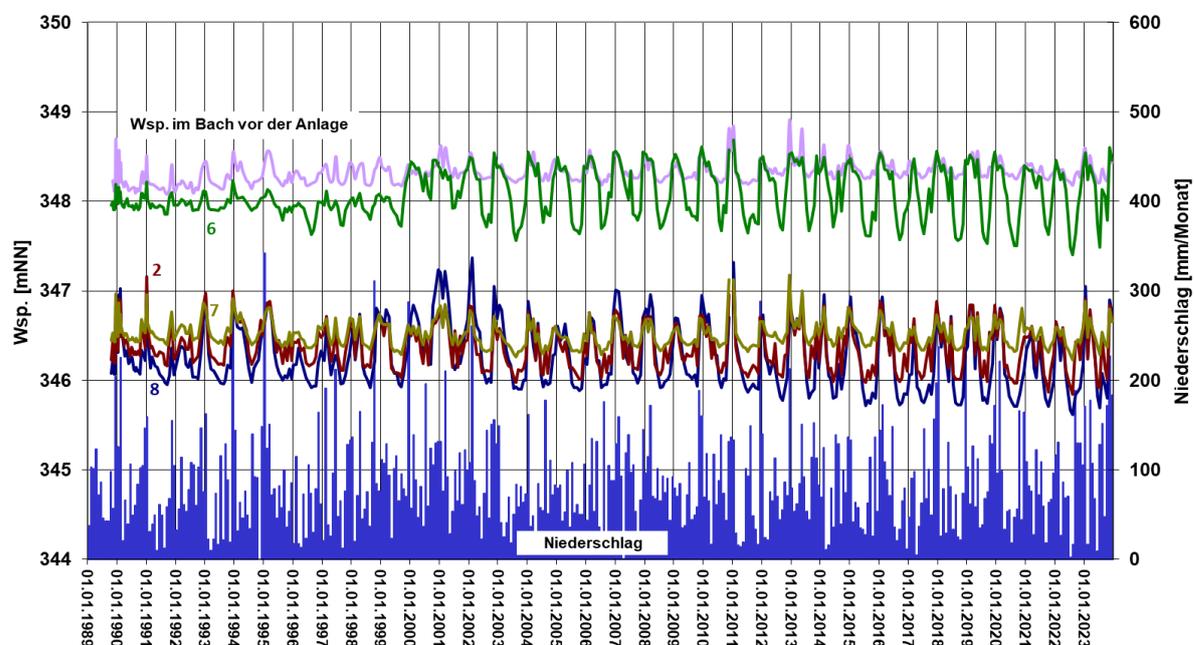


Abbildung 3-4: Ganglinien des Grundwassers im Bereich der Halde 1 1989-2023

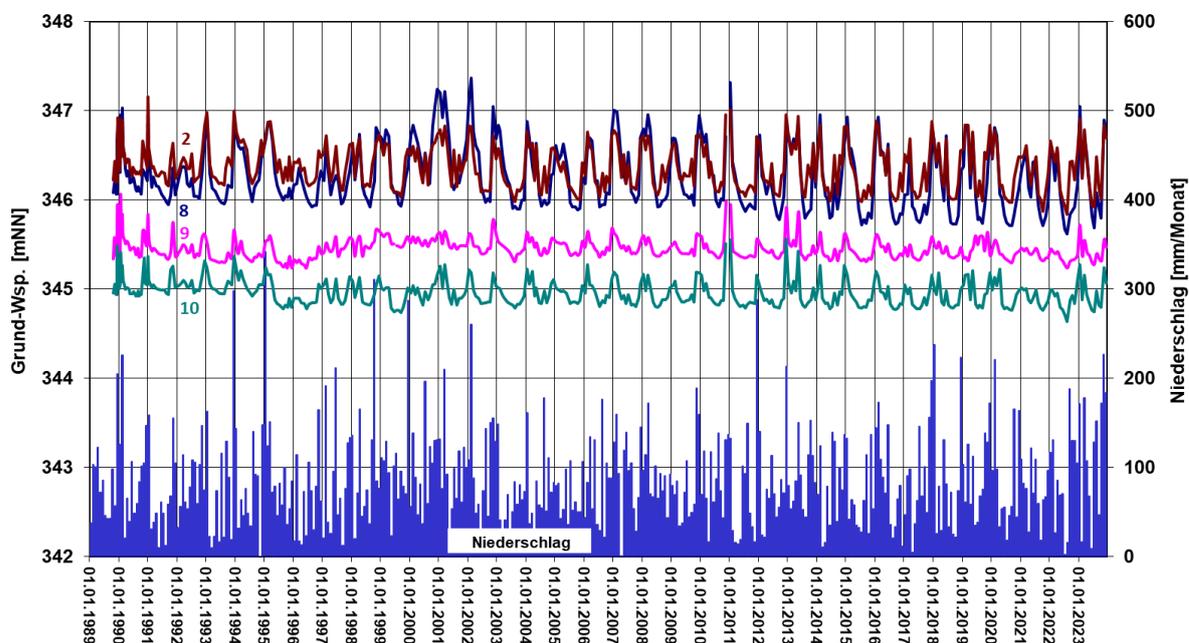


Abbildung 3-5: Ganglinien des Grundwassers im Bereich der Halde 2 1989-2023

### 3.3 Untersuchungsergebnisse

Auch nach der Erfassung der hydrologischen Daten bis Ende 2023 und den zwischenzeitlich teilweise recht extremen Witterungsbedingungen bleibt das Gesamtbild eines relativ einheitlichen vieljährigen Verlaufes der Ganglinien und ihrer hauptsächlichlichen Prägung durch jahreszeitliche Einflüsse, die jeweils ähnlich sind, erhalten. Somit bieten die jetzt über 33 Jahre beobachteten vergleichbaren hydrologischen Verhältnisse eine gute Grundlage für eine Beurteilung unterschiedlicher hydrochemischer Situationen infolge anderweitiger Einflüsse.

Aus der Darstellung wird deutlich, dass bei der 30. Probenahme Mitte Oktober 2023 annähernd vergleichbare Niedrigwasserbedingungen wie bei den bisherigen Probenahmen gegeben waren.

## **4 Hydrochemische Untersuchungen und Untersuchungen der Radionuklide**

### **4.1 Monitoringprogramm**

#### **4.1.1 Durchgeführte Untersuchungen**

Zur Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit im Untersuchungsgebiet wurden in der Monitoringkampagne 2023 die in Tabelle 1-1 benannten 10 Grundwasser-, 2 Oberflächenwasser und 1 Haldenwassermessstellen untersucht sowie 2 Sedimentproben aus dem Steinaubach entnommen.

Die Haldenmessstelle H 1T, die auf der Halde 1 eingerichtet und unter dem Haldenfuß verfiltert ist, wurde in den vergangenen Messkampagnen in die Untersuchung einbezogen. Sie führte in der aktuellen Kampagne, genauso wie in der Kampagne 2021, zum Zeitpunkt der Probenahme nicht ausreichend Wasser und konnten daher nicht beprobt werden.

Die Lage der Messstellen ist in Anhang 1.2 dargestellt. Die Ergebnisse der Wasser- und Sedimentanalysen finden sich in Anhang 3 und Anhang 4. Die Messstellen, die in den Kampagnen der Vorjahre untersucht worden sind, sind in Anhang 1.3 gezeigt. Sie werden in den Gesamtdarstellungen der Monitoringergebnisse (s. Kapitel 4.2 und 4.3) generell und bei der Diskussion von Zeitreihen teilweise mit einbezogen, sofern sie relevante Aussagen ermöglichen. Die im Monitoring 2023 untersuchten Messstellen lassen sich in die folgenden Gruppen gliedern.

- **Haldengrundwasser:**  
Das Grundwasser direkt unter der Halde 1 wird durch die Messstelle H 1T erfasst. Sie ist auf der Halde eingerichtet und unter dem Haldenfuß verfiltert.
- **Haldenanstromiges Grundwasser:**  
Die Grundwassermessstellen GWM 4B und GWM 4T erfassen das oberflächennahe (B; Tal-füllung) bzw. tiefere (T; Festgestein) Grundwasser im Anstrom der Halden.
- **Haldennahe Grundwasser:**  
Im Nahbereich der Halden wird das oberflächennahe Grundwasser mit Hilfe der Messstellen GWM 6, GWM 7, GWM 10 und GWM 25 untersucht. Die Messstelle GWM 25 befindet sich in der Nähe des ehemaligen Betriebsgebäudes und erfasst den nahen Anstrom zur Halde 1. Die Messstellen GWM 6 und GWM 7 liegen südwestlich bzw. südöstlich der Halde 1. Die Messstelle GWM 10 erfasst das nördliche Areal der Halde 2.
- **Haldenabstromiges Grundwasser:**  
Der Grundwasserabstrom der Halden wird durch die Messstellen GWM 14F und GWM 14T, die sich innerhalb der Grundstücksgrenzen des ehemaligen Betriebsgeländes befinden, sowie durch die Messstellen GWM 23F und GWM 23T, die außerhalb der Grundstücksgrenzen abgeteuft wurden, charakterisiert. Es handelt sich jeweils um eine Messstelle für das oberflächennahe (F; Tal-füllung) und das tiefere Grundwasser (T; Festgestein).

- **Oberflächenwasser:**  
Das Oberflächenwasser des Steinaubaches wird durch die Messstelle OW 1 im Anstrom und die Messstelle OW 5.1 im Abstrom der Halden untersucht.
- **Sediment:**  
Im Bereich der Oberflächenwassermessstellen wurden die beiden Sedimentproben SEDI 1.1 und SEDI 5.1 für Uranuntersuchungen entnommen.

Die zu untersuchenden Parameter wurden auf Grundlage der Ergebnisse der vieljährigen Probenahmen festgelegt. Das Messprogramm ist in Tabelle 1-1 enthalten.

Von den genannten Parametern werden ausgewählte Parameter als Indikatoren vertiefend ausgewertet, um zum einen die langjährige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit am Standort zu beurteilen und zum anderen zu prüfen, ob aus der aktuellen Situation Gefährdungen für das Schutzgut Wasser, die menschliche Gesundheit oder Flora und Fauna abzuleiten sind.

#### **4.1.2 Datenauswertung**

Die Auswertung der hydrochemischen Untersuchungen erfolgt in den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.7. Die Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen werden in den Kapiteln 4.3.1 bis 4.3.9 dargestellt. In den Kapiteln 4.2.8 und 4.3.10 werden die Untersuchungsergebnisse jeweils zusammenfassend bewertet.

Es erfolgt zunächst eine Zeitreihendarstellung und empirische Bewertung. Dabei werden in den Abbildungen Konzentrationen bzw. Aktivitätskonzentrationen, die unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen liegen, als Wert der Bestimmungsgrenze dargestellt. Die Auswertungen überschätzen somit die tatsächlichen Konzentrationen und sind damit in Hinblick auf die Ziele des Monitorings konservativ. Über Jahre, in denen keine Proben entnommen worden sind und somit keine Messwerte vorliegen, werden die Ganglinien in den Abbildungen linear interpoliert.

Bei der Bewertung der aktuellen Messergebnisse ist zwischen geringfügigen Veränderungen der natürlichen Hintergrundkonzentrationen und solchen Werten zu unterscheiden, die nach derzeit geltenden Maßstäben des Wasserrechts Schwellenwerte für eine schädliche Veränderung des Wassers überschreiten.

Während für erstgenannte Aufgabe aus Messungen des Anstroms und ggf. weiterer Messstellen abgeleitete standortbezogene Hintergrundwerte von Konzentrationen genutzt werden, werden für die zweite Aufgabe

- die Schwellenwerte der Verordnung zum Schutz des Grundwassers (GrwV) [1] sowie
- die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Wert) der Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [2]

zur Beurteilung von lokal begrenzten Grundwasserverunreinigungen herangezogen. Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) wird definiert als Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte

gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten werden. Die GFS-Werte bilden die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer nachteiligen Veränderung des Grundwassers.

Im Rahmen des hier auszuwertenden Monitorings werden die Geringfügigkeitsschwelle der LAWA (GFS-Werte) und die Werte der GrwV als Maßstab zur Beurteilung von Grundwasserkontaminationen genutzt und zur Vereinfachung einheitlich als **Schwellenwerte** bezeichnet.

Für ausgewählte anorganische Parameter sind die in [1] und [2] benannten Schwellenwerte in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Tabelle 4-1: Schwellenwerte für ausgewählte anorganische Parameter (nach GrwV [1] und GFS-Wert [2])

Parameter	Schwellenwerte [mg/l]		Parameter	Schwellenwerte [µg/l]	
Chlorid (Cl)	250	GrwV und GFS-Wert	Blei (Pb)	10 / 1,2	GrwV / GFS-Wert
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	250	GrwV und GFS-Wert	Cadmium (Cd)	0,5 / 0,3	GrwV / GFS-Wert
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	50	GrwV	Kupfer (Cu)	5,4	GFS-Wert
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	0,5	GrwV	Nickel (Ni)	7	GFS-Wert
			Zink (Zn)	60	GFS-Wert
			Arsen (As)	10 / 3,2	GrwV / GFS-Wert
			Chrom (Cr)	3,4	GFS-Wert

Im Jahr 2016 hat die SSK Werte zur Beurteilung radioaktiver Kontaminationen von Gewässern im Hinblick auf den Schutz nicht menschlicher Arten Maßstäbe empfohlen [7]. Diese Werte können als Maßstäbe zur Bewertung ökotoxischer Wirkungen der Radioaktivität im Wasser herangezogen werden. Für die Beurteilung von Grundwasser sind diese Werte aber nicht direkt geeignet und aufgrund der weitreichenden Anforderungen durch die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) für radioaktive Stoffe [3] im Hinblick auf humantoxische Wirkungen abgedeckt. In Anlage 4 Teil I der Verordnung ist eine Richtdosis von 0,1 mSv/a festgelegt und in Teil II mit Referenz-Aktivitätskonzentrationen einzelner Radionuklide unteretzt. In Anlage 2 Teil I der Verordnung wurde außerdem ein Grenzwert für Uran von 0,010 mg/l (entspricht 0,12 Bq/l U-238) festgelegt.

Die TrinkwV enthält außerdem noch in Anlage 4 Teil I Parameterwerte für die Radon-222-Aktivitätskonzentration von 100 Bq/l sowie für die Tritium-Aktivitätskonzentration von 100 Bq/l. Beide Parameter sind nicht geeignet, humantoxische Risiken von Grundwasser-Kontaminationen zu beurteilen. Sie werden hier im Sinne von reinen Indikatorwerten genutzt, um unter Bezug auf die konkrete Standortsituation den Wertebereich dieser Parameter zu gruppieren.

Da sich die Beurteilung von Grundwasserkontaminationen durch Radionuklide hilfsweise an den folgenden Grenzwerten der TrinkwV orientiert, haben sie im vorliegenden Fall nicht die Funktion von Grenzwerten und werden daher nachfolgend als **Schwellenwerte** bezeichnet:

- Richtdosis: 0,1 mSv/a

- U-238 Aktivitätskonzentration: 0,12 Bq/l
- Radon-222 Aktivitätskonzentration: 100 Bq/l
- Tritium Aktivitätskonzentration: 100 Bq/l

Die Richtdosis bezeichnet einen summarischen Parameter, der außer Tritium, Kalium-40, Radon und dessen (kurzlebigen) Zerfallsprodukte alle künstlichen und natürlichen Radionuklide berücksichtigt. Die Richtdosis ist eine Rechengröße aus dem Produkt der spezifischen Aktivitäten, einem für jedes Radionuklid festgelegten Dosiskoeffizienten und dem Trinkwasserkonsum.

Zur einfachen Prüfung, ob die Richtdosis bei einem konkreten Trinkwasser eingehalten ist, kann gemäß der Empfehlung [5] die folgende Summenformel für die gemessenen Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide  $C_{i,mess}$  und die entsprechenden Referenz-Aktivitätskonzentrationen  $C_{i,ref}$  aus der Tabelle 4-2 benutzt werden:

$$\sum_i \frac{C_{i,mess}}{C_{i,ref}} \leq 1$$

Unter Bezug auf diese Empfehlung werden die Referenz-Aktivitätskonzentrationen der Tabelle 4-2 für die Bewertung von Radionuklid-Messwerten aus dem Monitoring Ellweiler verwendet.

Tabelle 4-2: Referenzkonzentrationen der natürlichen und künstlichen Radionuklide (nach [1] und [2])

Nuklide i	U-238 [Bq/l]	U-234 [Bq/l]	Ra-226 [Bq/l]	Ra-228 [Bq/l]	Pb-210 [Bq/l]	Po-210 [Bq/l]				
natürliche Radionuklide										
$C_{i,ref}$	3,0	2,8	0,5	0,2	0,2	0,1				
künstliche Radionuklide										
Nuklide i	C-14 [Bq/l]	Sr-90 [Bq/l]	Pu-239 [Bq/l]	Pu-240 [Bq/l]	Am-241 [Bq/l]	Co-60 [Bq/l]	Cs-134 [Bq/l]	Cs-137 [Bq/l]	I-131 [Bq/l]	
$C_{i,ref}$	240	4,9	0,6	0,6	0,7	40	7,2	11	6,2	

Von den in Tabelle 4-2 enthaltenen Nukliden wurden in den vergangenen Kampagnen am Standort bisher die Aktivitäten der Radionuklide

- U-238
- Ra-226
- Pb-210
- Cs-137

bestimmt. Im Rahmen der Kampagne 2010 wurde erstmals Ra-228 in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Die Radionuklide

- U-234, Po-210 sowie

- C-14, Sr-90, Pu-239, Am-241, Co-60, Cs-134 und I-131

wurden in den vergangenen Monitoringkampagnen nicht untersucht. Lediglich U-234 wurde bis in das Jahr 2001 bestimmt. Aus gutachterlicher Sicht ist aus den folgenden Gründen dennoch eine Bestimmung des Parameters Richtdosis möglich:

- U-234 ist in erster Näherung im Gleichgewicht mit U-238 anzunehmen und somit mit der U-238-Aktivität gleich zu setzen. Die Untersuchungen in den Jahren 1989 bis 2001 belegen, dass nie ein gestörtes U-238/U-235/U-234 Verhältnis gegenüber dem natürlichen Verhältnis auftrat (s. Anhang 4.2).
- Po-210 kann als im Gleichgewicht mit Pb-210 angenommen und somit mit der gemessenen Pb-210-Aktivität gleichgesetzt werden.
- C-14 ist als kosmogenes Radionuklid in den untersuchten Wässern vorhanden und kann bei den natürlichen Konzentrationen für die Ermittlung der Richtdosis vernachlässigt werden.
- Sr-90, Pu-239, Am-241 und Co-60 sind im Grundwasser nicht in relevanten Konzentrationen zu erwarten, da diese Radionuklide nicht in signifikanten Aktivitäten in den Halden vorkommen.
- Cs-134 und I-131 haben sehr kurze Halbwertszeiten und sind somit am Standort nicht mehr zu erwarten.

#### 4.1.3 Trendanalyse

Um ergänzend zur Datenauswertung in einem mathematisch begründeten Verfahren das Vorliegen von zeitlichen Trendentwicklungen zu prüfen, sind in Anbetracht der festgestellten Schwankungen von Daten konventionelle Verfahren wie die Regressionsanalyse nicht oder nur wenig geeignet, da ihnen statistische Modelle zugrunde liegen (Normalverteilungen), die im vorliegenden Fall wahrscheinlich nicht zutreffen. Aus diesem Grund werden parameterfreie Prüfverfahren vorgezogen.

Zur Feststellung von Trends wird der Mann-Kendall-Test als parameterfreier statistischer Trendtest angewandt. Dieser Test beruht auf einer Auswertung der Veränderung von Messwerten in einer Zeitreihe, wobei als auszuwertende Information das Vorzeichen der Veränderung betrachtet wird. Der Test ist anwendbar, wenn mehr als 10 Datenpunkte (Messwerte) vorliegen.

Der Test basiert auf der Berechnung der normierten normalverteilten Prüfgröße  $\tau$ :

$$\tau = \frac{Q}{\sqrt{\text{Var}(Q)}}$$

Die Prüfgröße Q

$$Q = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n [\text{sgn}(x(t_j) - x(t_k))]$$

vergleicht die Daten eines jeden Beobachtungsjahres  $k$  mit denen der vorhergehenden Jahre. So werden die Daten des Jahres 2023 ( $k=1$ ) mit denen aller Probenahmen seit 1989 ( $n=29$ ) verglichen und die Signum-Werte aufaddiert. Anschließend werden die Daten des Jahres 2021 ( $k=2$ ) mit denen der Jahre 2019 bis 1989 verglichen. Die Prozedur wird fortgesetzt, bis schließlich das Messergebnis des Jahres 1990 mit dem des Jahres 1989 verglichen wird (soweit die Zeitreihe bis 1989 zurückreicht). In dem Verfahren werden Werte unter der Bestimmungsgrenze nicht in die Zeitreihe einbezogen.

Die Prüfgröße  $Q$  ist normalverteilt und zeigt eine Varianz, aus der die statistische Zuverlässigkeit der Hypothesenbewertung beurteilt werden kann. Die Varianz von  $Q$  errechnet sich dabei zu

$$\text{Var}(Q) = \sigma^2(Q) = \frac{n(n-1) \cdot (2n+5) - \sum_q v_q (v_q - 1)(2v_q + 5)}{18}$$

$v$  - Anzahl von nicht unterscheidbaren Werten der Klasse „ $q$ “ (gleicher Zahlenwert).

Sofern die mit Hilfe des Tests ermittelte normierte Prüfgröße  $\tau$  den Wert 0 hat, ist davon auszugehen, dass kein Trend vorliegt (Nullhypothese). Ist sie positiv, zeigt dies einen positiven (zunehmenden) Trend an, ein negativer  $Q$ -Wert steht stellvertretend für einen negativen (abnehmenden) Trend (Alternativhypothese). Die Signifikanz der Trends kann aus dem Vergleich der Prüfgröße mit der Normalverteilung ermittelt werden. Um von einem Trend sprechen zu können, muss die Wahrscheinlichkeit, mit der der Trend signifikant ist, mindestens 90 % betragen, d.h. die Nullhypothese wird mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 10 % verworfen.

Die in den folgenden Kapiteln getroffenen Aussagen zur Trendentwicklung werden durch die Tabellen in Anhang 5, die die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammenfassen, unterbaut. Es wird unterschieden zwischen sehr leichten Trends (Symbol „+“ in Anhang 5), leichten Trends (Symbol „\*“ in Anhang 5), deutlichen Trends (Symbol „\*\*“ in Anhang 5) und sehr deutlichen Trends (Symbol „\*\*\*“ in Anhang 5).

## **4.2 Untersuchungsergebnisse Hydrochemie**

### **4.2.1 Gesamtübersicht**

In Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-4 sind die Daten der hydrochemischen Grundparameter pH, Chlorid, Sulfat und Nitrat aus dem gesamten Monitoringprogramm (ohne Haldenmessstellen) in Diagrammen dargestellt. Die Messstellen im Grundwasseranstrom der Urananlage sind, beginnend mit GWM 4 und GWM 19, in der linken Bildhälfte der Diagramme aufgetragen. Es schließen sich der Bereich des ehemaligen Prozessgebäudes (ab GWM 29), Halde 1 (ab GWM 6) und Halde 2 (ab GWM 2) an. Der Grundwasserabstrom im Süden der Anlage (ab Messstelle GWM 13 und GWM 14) wird in der rechten Bildhälfte dokumentiert.

Die Ergebnisse der im Jahr 2023 untersuchten Messstellen werden in den Kapiteln 4.2.2 ff nochmals im Detail dargestellt und diskutiert. Soweit zur Einordnung von Befunden auch Daten des Gesamtprogramms wichtige Aussagen gestatten, werden diese Daten in die Auswertung aufgenommen.

Die Haldenmessstelle H 1T führte zum Probenahmezeitpunkt der aktuellen Kampagne sowie in den Kampagnen des Jahres 2019 und 2021 nicht ausreichend Wasser für eine Probenahme. Im Jahr 2019 war auch die Haldenmessstelle H 2T trocken.

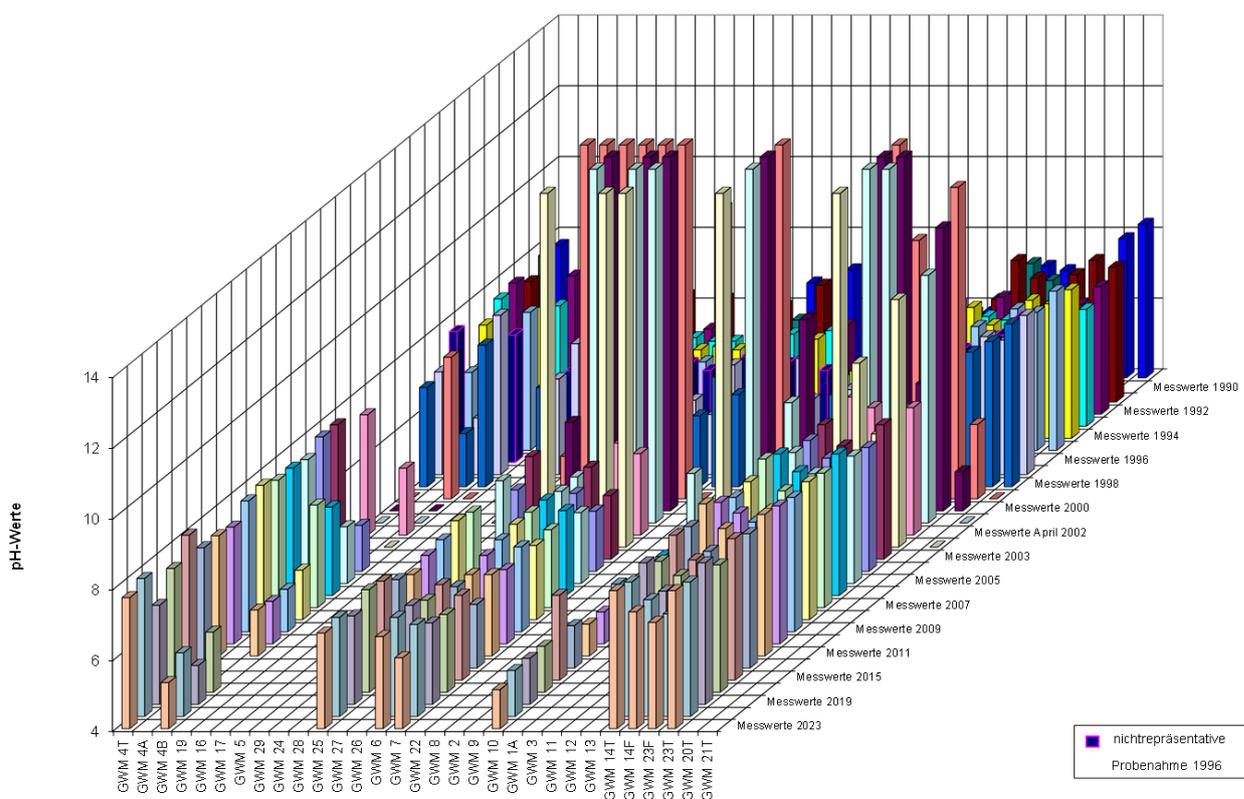


Abbildung 4-1: pH-Werte im Grundwasser der Messstellen Ellweiler

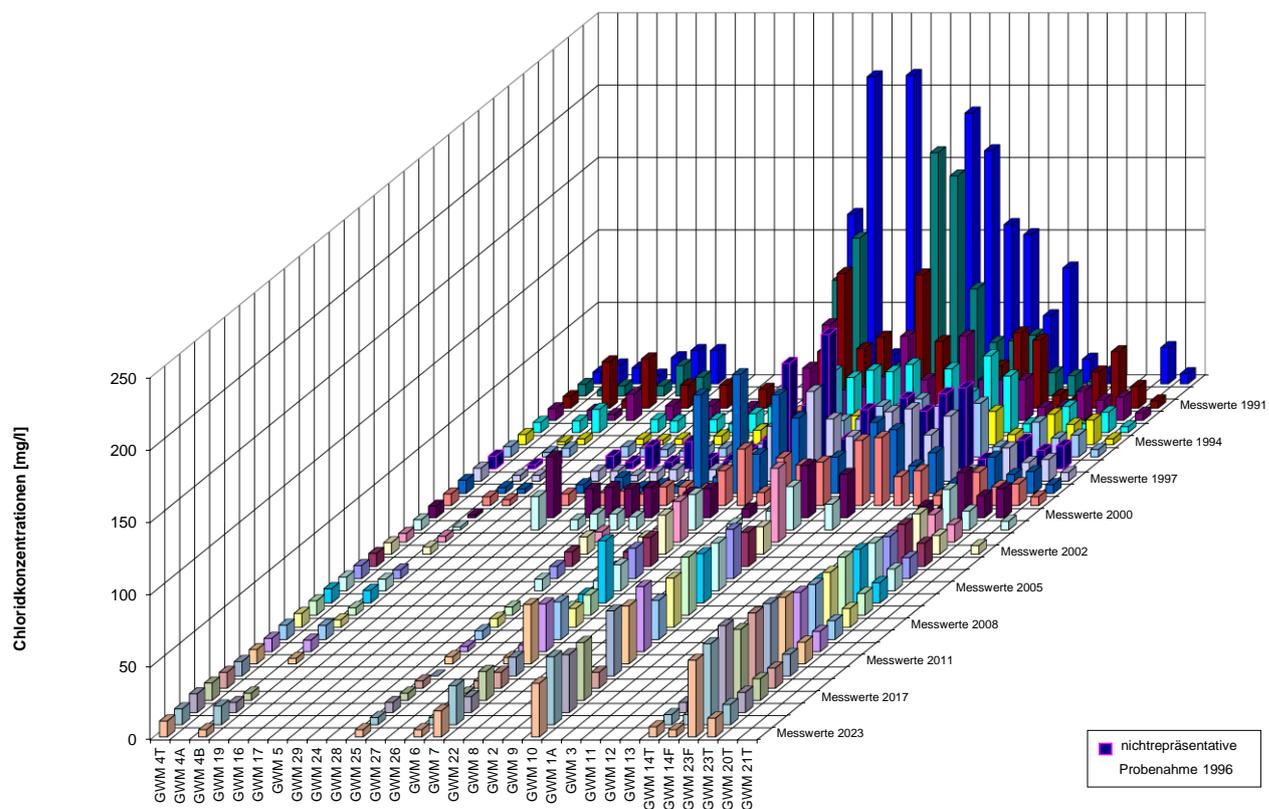


Abbildung 4-2: Chloridkonzentrationen im Grundwasser der Messstellen Ellweiler

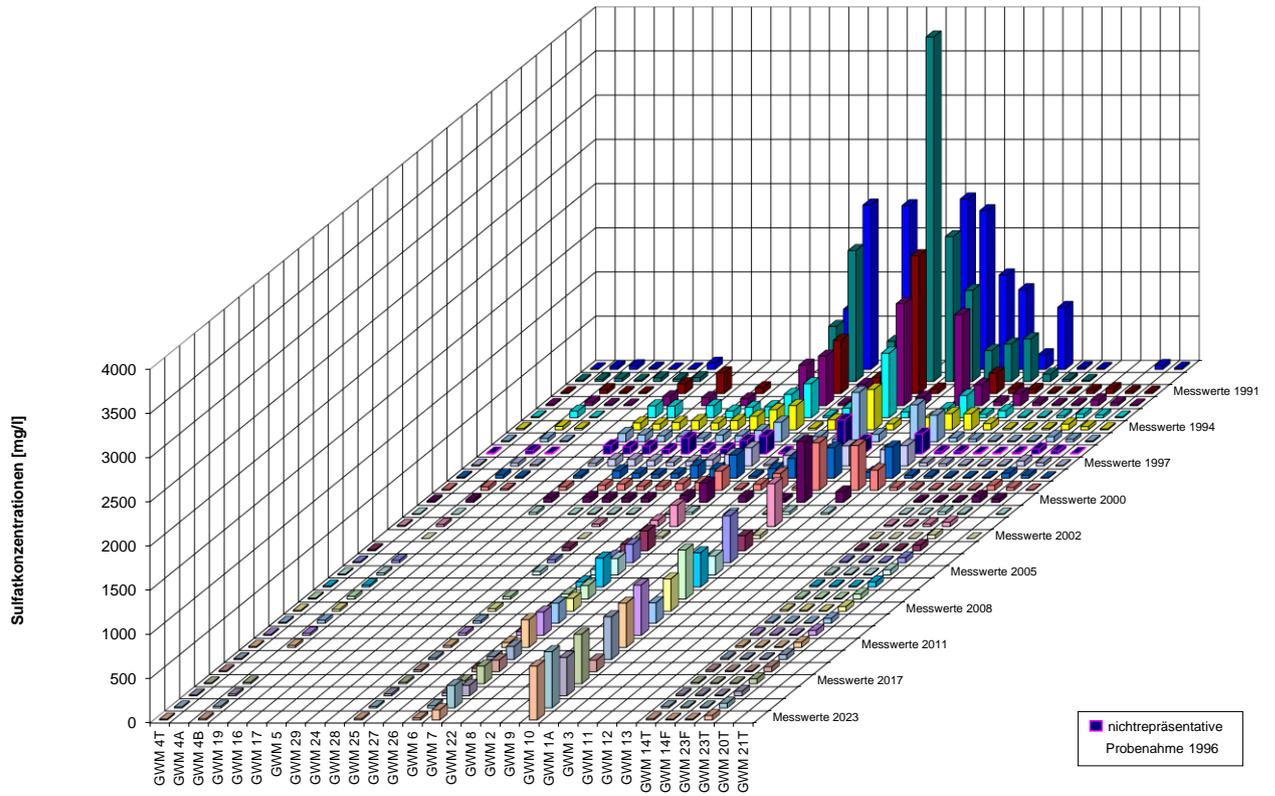


Abbildung 4-3: Sulfatkonzentrationen im Grundwasser der Messstellen Ellweiler

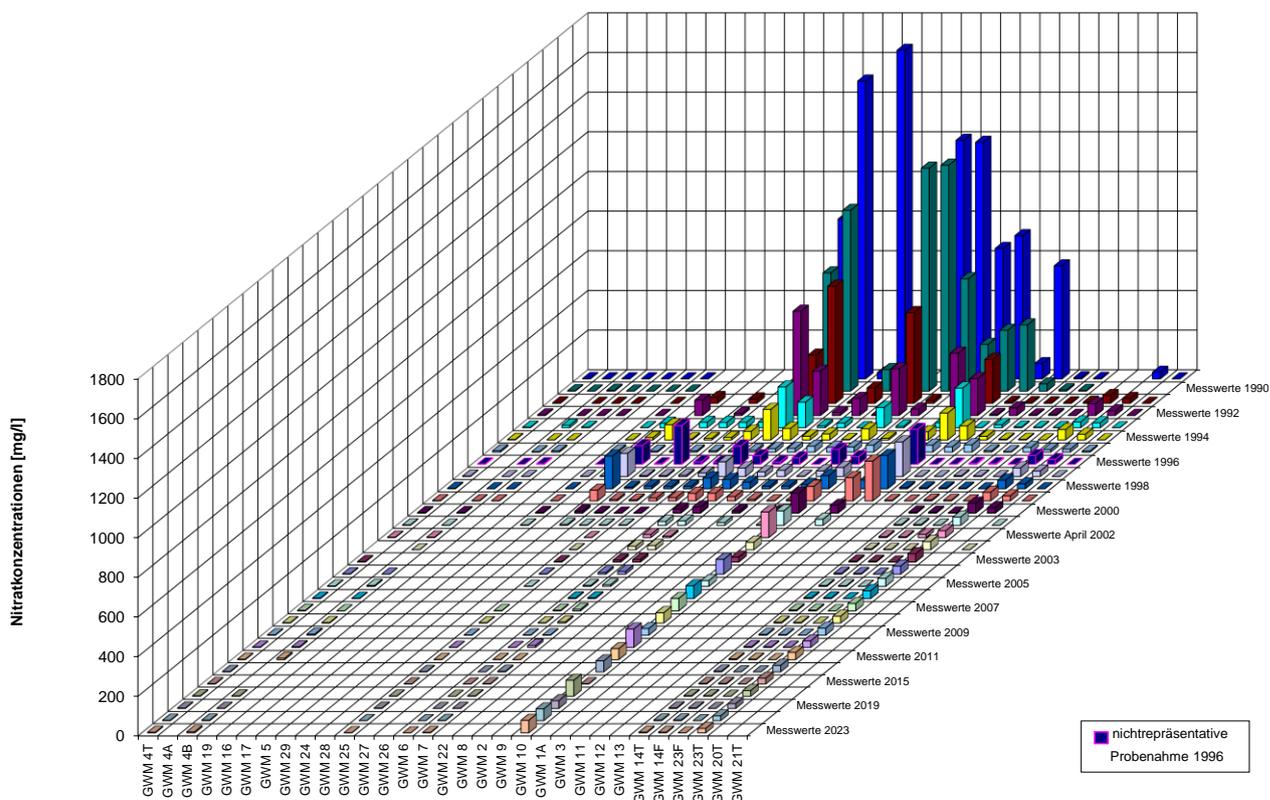


Abbildung 4-4: Nitratkonzentrationen im Grundwasser der Messstellen Ellweiler

#### 4.2.2 pH-Wert

In der Abbildung 4-5 sind die pH-Werte im anstromigen und somit von den Halden unbeeinflussten Grundwasser für den Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt. Im oberflächennahen Grundwasser (GWM 4B) wurde ein mittlerer pH-Wert von 5,6 und im tieferen Aquifer (GWM 4T) ein mittlerer pH-Wert von 7,5 berechnet. Der maximale pH-Wert wurde in der Mesststelle GWM 4B mit 6,9 (2007) und in der Mesststelle GWM 4T mit 8,1 (2015) nachgewiesen. In der GWM 4B lag der kleinste pH-Wert mit 5,1 (2019) und in der GWM 4T mit 6,2 (1995) vor.

Aufgrund des mittleren anstromigen pH-Werts von 5,6 (oberflächennahes Grundwasser) bzw. 7,5 (tiefes Grundwasser) ist davon auszugehen, dass Auffälligkeiten durch den Eintrag der Halden dann gegeben sind, wenn die pH-Werte diese Werte unterschreiten.

Im tiefen Grundwasseranstrom (GWM 4T) zeigen sich im zeitlichen Verlauf keine Tendenzen in der Entwicklung der pH-Werte. Im oberflächennahen Grundwasseranstrom (GWM 4B) ist ein leicht abnehmender Trend bei der Entwicklung der pH-Werte festzustellen. Geogen bedingt sind im oberflächennahen Grundwasser sauer reagierende und im tieferen Grundwasser schwach alkalisch reagierende Wässer anzutreffen.

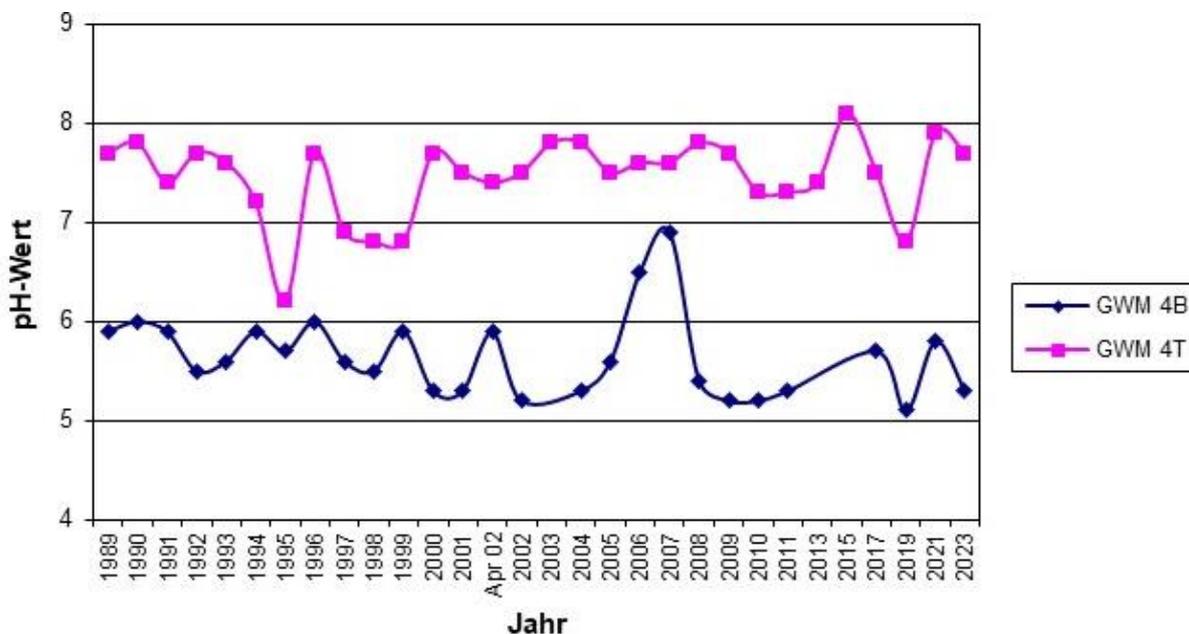


Abbildung 4-5: Zeitreihen der pH-Werte im haldenanstromigen Grundwasser

Die Abbildung 4-6 zeigt die pH-Messwerte der Haldengrundwässer im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2017 (H 1T) bzw. 2023 (H 2T). Unter der Halde 1 (H 1T) wurden in den vergangenen Jahren pH-Werte zwischen 4,5 (2004) und 6,3 (2011) mit einem mittleren pH-Wert von 5,5 festgestellt. Die pH-Werte unter der Halde 2 (H 2T) lagen zwischen 4,3 (1992) und 6,5 (2007) mit einem Mittelwert von ebenfalls 5,5.

Im Mittel sind die Haldengrundwässer geringfügig saurer als das oberflächennahe Grundwasser im Anstrom der Halden, woraus ein Zusammenhang mit dem in der Vergangenheit am Standort zur Anwendung gekommenen Produktionsverfahren (Säureaufschluss) und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden abgeleitet werden kann.

Bis zum Jahr 1998 hatten die produktionsbedingten Säureinträge der Halde 2 einen stärkeren Einfluss auf die Grundwasserbeschaffenheit als die der Halde 1. Infolge der Sanierung zeigt sich unter der Halde 2 ein sehr deutlich steigender Trend des pH-Werts im Grundwasser, der seit dem Jahr 2010 im Bereich des anstromigen Grundwassers liegt. Die pH-Werte unter der Halde 1 liegen ebenfalls seit dem Jahr 2010 in diesem Wertebereich. Es zeigt sich in der Messstelle H 1T ein leicht steigender Trend in der Entwicklung der pH-Werte hin zu einem neutraleren Milieu.

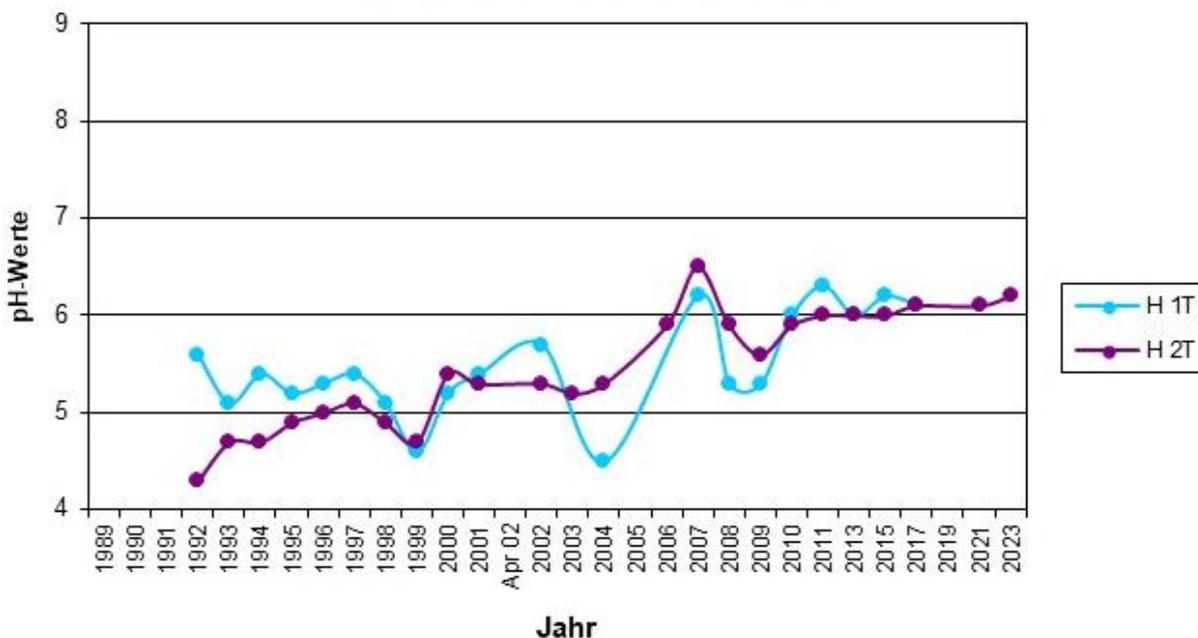


Abbildung 4-6: Zeitreihen der pH-Werte im Haldengrundwasser

In der Abbildung 4-7 sind die pH-Messwerte der Grundwässer im Nahbereich der Halden für den Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt.

Die pH-Werte in der Messstelle GWM 25, die den nahen Anstrom der Halde 1 charakterisiert, zeigen mit einem Mittelwert von 6,7, einem Minimum von 6,3 (2004, 2011) und einem Maximum von 7,1 (1996) keinen Trend in der zeitlichen Entwicklung. In der GWM 6, die sich ebenfalls im anstromigen Nahbereich der Halde 1 (südwestlich) befindet, lässt sich ein leicht steigender Trend nachweisen. Es zeigen sich pH-Werte mit einem Mittelwert von 6,5 und einem Minimum von 6,0 (1990) bzw. einem Maximum von 6,8 (2019, 2021). In beiden Messstellen lagen die pH-Werte bisher über den Werten des Anstromes, so dass sich kein Einfluss der Halde 1 ableiten lässt. Im südöstlichen Bereich der Halde 1, der durch die Messstelle GWM 7 erfasst wird, ist über die Jahre ein sehr deutlicher Anstieg der pH-Werte zu beobachten. Das Minimum lag im Jahr 1990 bei 4,8 und das Maximum im Jahr 2021 bei 6,6. Der Mittelwert über den gesamten Beobachtungszeitraum errechnet sich zu 5,9. Der positive Trend führt in der Messstelle dazu, dass die Messwerte seit dem Jahr 1994 über dem Hintergrundwert von 5,6 liegen und ein Einfluss der Halde nicht mehr erkennbar ist. In der Messstelle GWM 10, die sich in der Nähe der Halde 2 befindet, zeigen sich bis in das Jahr 1999 starke Schwankungen des pH-Werts mit einem Minimum von 4,1 im Jahr 1989 und einem Maximum von 6,6 im Jahr 1996. In den Folgejahren sind die Schwankungen nur noch gering. Der Mittelwert liegt im Betrachtungszeitraum bei 5,3, was zeigt, dass das Wasser der GWM 10 im Gegensatz zu dem Wasser der Messstellen GWM 25, GWM 6 und GWM 7 durch den Einfluss der Halde 2 im Mittel saurer ist als das oberflächennahe Grundwasser im Anstrom. Ein Trend der pH-Wert-Entwicklung ist im Grundwasser der GWM 10 nicht zu erkennen.

Insgesamt lässt sich für das Areal der Halden eine Abnahme der pH-Werte in abstromiger Richtung erkennen. Während das Grundwasser im direkten Anstrom zur Halde 1 sowie südwestlich und

südöstlich der Halde 1 (GWM 25, GWM 6 und GWM 7) basischer ist als das Grundwasser des oberflächennahen Anstroms (GWM 4B), sind die pH-Werte im Areal der Halde 2 (GWM 10) saurer als im Anstrom der Halden, wobei der pH-Wert der GWM 10 seit dem Jahr 2000 auch durchgehend niedriger als der pH-Wert der Haldengrundwässer ist. Wie bei den Haldengrundwässern wird hier der Zusammenhang mit den angewandten Produktionsverfahren und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden deutlich.

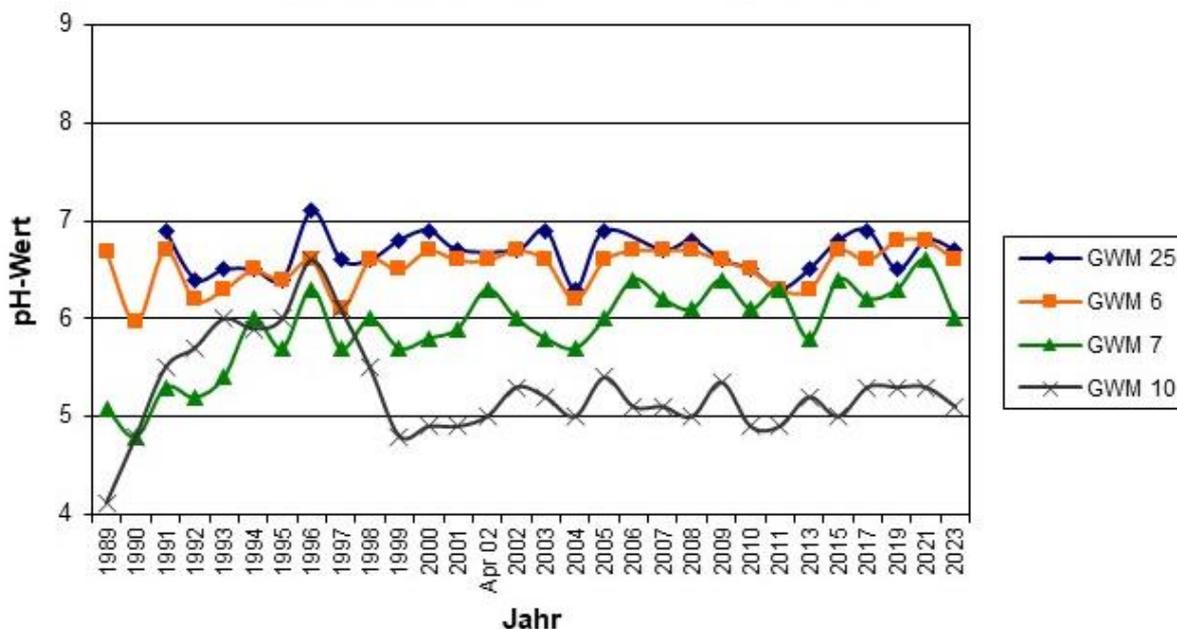


Abbildung 4-7: Zeitreihen der pH-Werte im haldennahen Grundwasser

Die Abbildung 4-8 zeigt die pH-Werte im haldenabstromigen Grundwasser. Die mittleren pH-Werte des oberflächennahen Grundwassers liegen bei 7,3 (GWM 14F) bzw. 7,0 (GWM 23F). Die in den Messstellen GWM 14T und GWM 23T erfassten tieferen Wässer weisen einen Mittelwert von jeweils 7,8 auf. Ein sehr leichter bzw. leichter Trend mit steigenden pH-Werten ist in den Messstellen GWM 14F, GWM 14T und GWM 23T zu erkennen. Der geogene Hintergrundwert im oberflächennahen Grundwasser von 5,6 wurde in der GWM 14F und GWM 23F in allen Messkampagnen überschritten und in der GWM 14T und GWM 23T liegen seit dem Jahr 2003 bzw. 2005 Messwerte vor, die ausnahmslos über dem geogenen Hintergrundwert von 7,5 für das tiefe Grundwasser liegen. Die mittleren pH-Werte im oberflächennahen und tiefen abstromigen Grundwasser sind mit Werten zwischen pH 7 und pH 7,8 höher als die anstromigen pH-Werte und auch höher als die eindeutig durch Halden beeinflussten Wässer. Sie können als weitgehend natürlich und als von den Halden unbeeinflusst angesehen werden

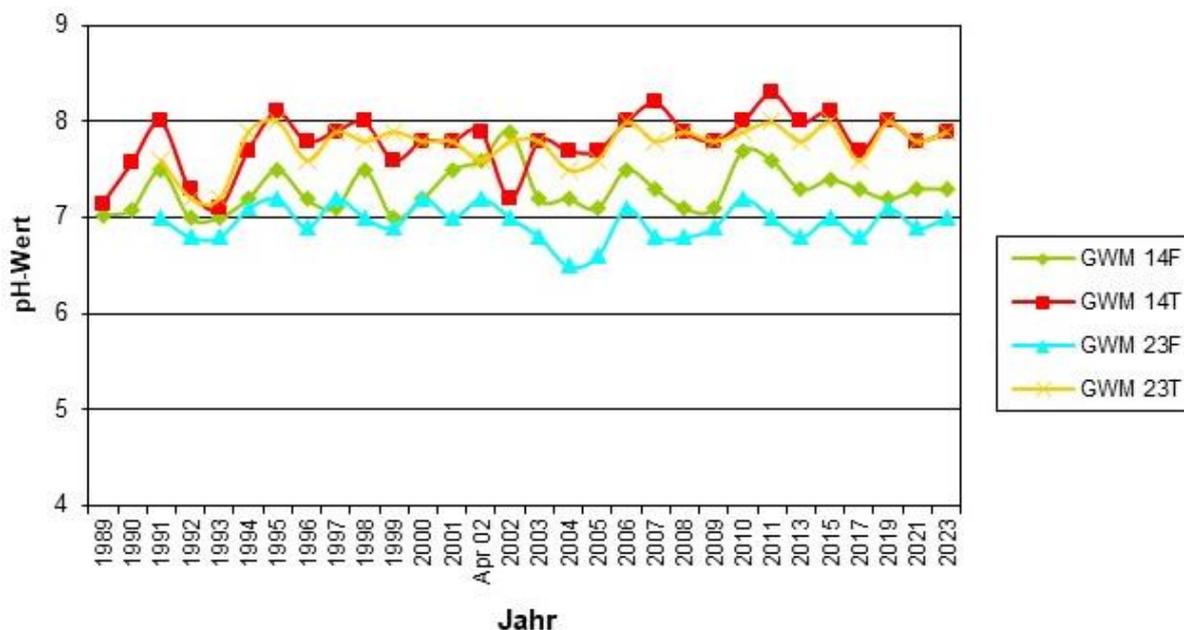


Abbildung 4-8: Zeitreihen der pH-Werte im haldenabstromigen Grundwasser

Im Oberflächenwasser des Steinaubachs ist in den Daten der Jahre 1989 und 1990 im Uferbereich örtlich noch eine Beeinflussung der pH-Werte durch die Halden feststellbar. In den Folgejahren ist dieser Einfluss nicht mehr zu erkennen. Im Jahr 2023 lag der pH-Wert an den Oberflächenwassermessstellen bei 7,7 (OW 1) bzw. 7,6 (OW 5.1).

#### 4.2.3 Chlorid

Die Ausbreitung von Chloridionen kann Hinweise auf mögliche Ausbreitungswege von Belastungen mit dem Grundwasser geben, da Chlorid keiner Sorption unterliegt. Durch die ehemals am Standort angewandten Produktionsverfahren (Säureaufschluss) können erhöhte Chloridkonzentrationen im Grundwasser als Belastungsanzeiger durch die Urananlage charakterisiert werden.

In der Abbildung 4-9 sind die Chloridkonzentrationen im anstromigen Grundwasser für den Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt. Im oberflächennahen Grundwasseranstrom (GWM 4B) liegen die Konzentrationen in der Regel unter 10 mg/l, sind aber mit einem Maximalwert von 32,0 mg/l (1991) und minimalen Konzentrationen von 2,0 mg/l (1994, 2000 und 2001) bzw. < 5 mg/l im Jahr 2017 durch starke Schwankungen ohne erkennbaren Trend gekennzeichnet. Der Mittelwert liegt in der GWM 4B bei 6,9 mg/l. Es kann angenommen werden, dass die Schwankungen der Flachmessstelle GWM 4B durch den Einfluss des Steinaubachs verursacht werden. Das tiefere, anstromige Grundwasser (GWM 4T) weist einen Mittelwert von 8,9 mg/l, ein Minimum von 4,6 mg/l (2010) und ein Maximum von 13,0 mg/l (2019) auf. Es lassen sich im tiefen Grundwasseranstrom in der zeitlichen Entwicklung sehr deutlich ansteigende Chloridkonzentrationen erkennen.

Aufgrund der anstromigen Chloridkonzentrationen von in der Regel weniger als 10 mg/l ist davon auszugehen, dass Auffälligkeiten im oberflächennahen und tieferen Grundwasser durch den Eintrag der Halden dann gegeben sind, wenn die Chloridkonzentrationen 10 mg/l überschreiten.

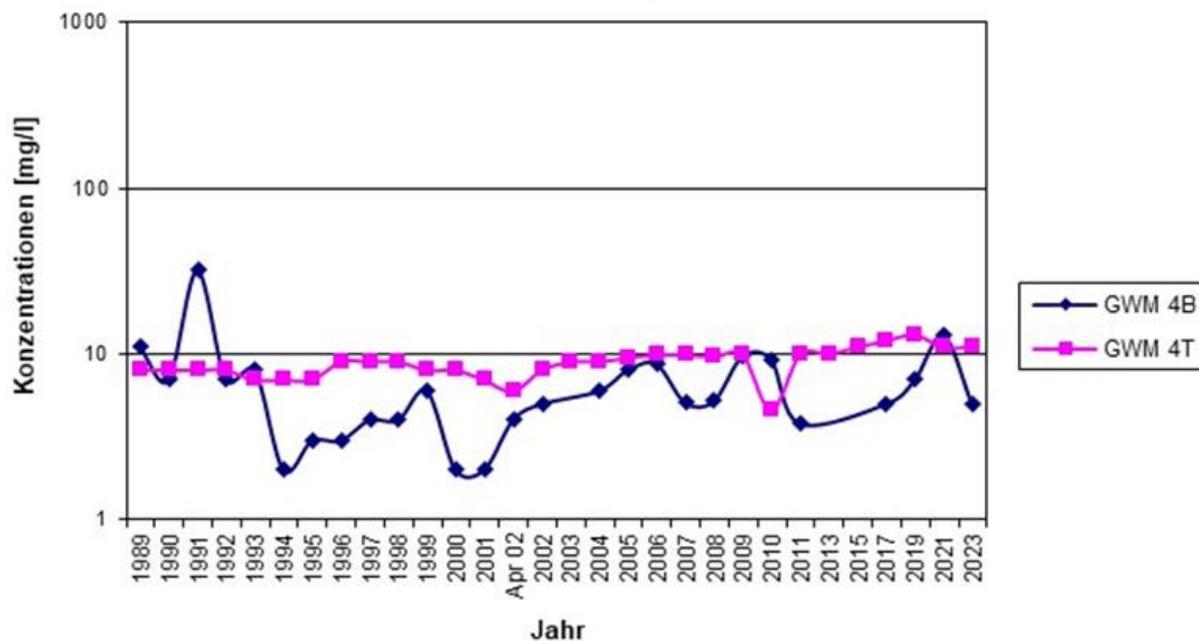


Abbildung 4-9: Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser

Die Abbildung 4-10 zeigt die Chloridkonzentrationen im Grundwasser unter den Halden 1 und 2 im Zeitraum von 1989 bis 2023. In der Messstelle H 1T (Halde 1) lagen die Messwerte zwischen 4,2 mg/l (2010) und 32,0 mg/l (1992) mit einer mittleren Chloridkonzentration von 11,1 mg/l. In der Messstelle H 2T (Halde 2) wurden Werte zwischen 66,0 mg/l (1994) und 134 mg/l (2017) und einer mittleren Konzentration von 100,2 mg/l ermittelt.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Chloridbelastung im Grundwasser unter der Halde 2 (Messstelle H 2T) höher ist als unter der Halde 1 (Messstelle H 1T). Im Vergleich mit der im Anstrom ermittelten Konzentration ist unter Halde 2 eine starke Beeinflussung des Grundwassers durch Chlorid festzustellen.

In der Messstelle H 1T lässt sich im Gegensatz zur Messstelle H 2T ein sehr deutlicher Rückgang der Chloridbelastung beobachten, der dazu führt, dass seit dem Jahr 2000 die Konzentrationen im Bereich der geogenen Hintergrundbelastung liegen und somit als unbeeinflusst betrachtet werden können. In der Messstelle H 2T zeigt sich in der zeitlichen Entwicklung ein sehr deutlich ansteigender Trend der Chloridkonzentrationen. Sämtliche Messwerte der Haldenmessstelle 2 zeigen Konzentrationen über dem geogenen Hintergrund. Sowohl unter der Halde 1 als auch unter der Halde 2 liegen die bis heute gemessenen Chloridkonzentrationen allerdings ausnahmslos unter dem Schwellenwert von 250 mg/l.

Die im Vergleich zum Anstrom deutlich höheren Chloridkonzentrationen unter Halde 2 resultieren aus den zur Anwendung gekommenen Produktionsverfahren (Säureaufschluss) und der Verbringung von Produktionsrückständen (Säurereste) auf die Halden.

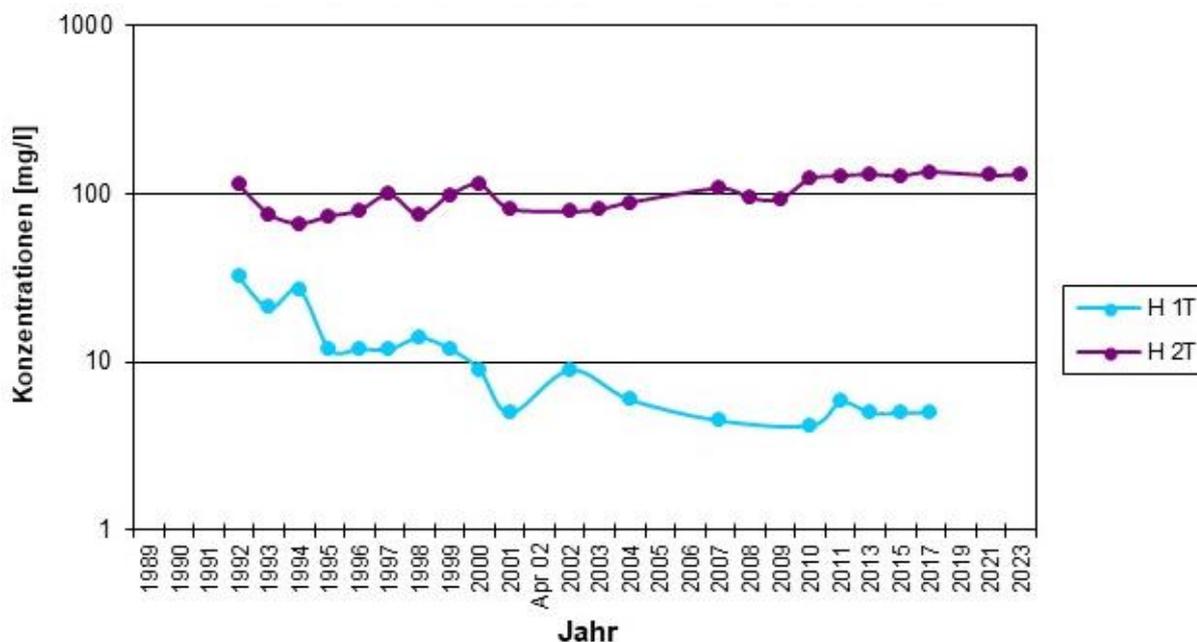


Abbildung 4-10: Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im Haldengrundwasser

Die Abbildung 4-11 zeigt die Chloridbelastungen im Nahbereich der Halden. In der Messstelle GWM 25, die den nahen Anstrom der Halde 1 charakterisiert, liegt die Chloridkonzentration im Grundwasser bei einem Mittelwert von 8,0 mg/l mit einem Minimum von 3,6 mg/l (2010) und einem Maximum von 20 mg/l (2000). In den Jahren 2013 und 2017 wurden in der GWM 25 Chloridkonzentrationen unter der Bestimmungsgrenze (5 mg/l) gemessen. In der Messstelle GWM 6, die sich südwestlich der Halde 1 befindet, wurden Chloridkonzentrationen mit einem Minimum von 3,0 mg/l (1993), einem Maximum von 117 mg/l (1989) und einem Mittelwert von 16,2 mg/l festgestellt. Seit 2013 werden in dieser Messstelle Chloridkonzentrationen unter der Bestimmungsgrenze (5 mg/l) festgestellt. Südöstlich der Halde 1 wurde in der GWM 7 eine mittlere Chloridkonzentration von 37,5 mg/l mit einem Minimum von 11 mg/l (2015, 2019) und einem Maximum von 212 mg/l (1989) nachgewiesen. Die Messstelle GWM 10, die sich im Areal der Halde 2 befindet, zeigt eine mittlere Chloridkonzentration von 50,0 mg/l, ein Minimum von 19 mg/l (2002) und einen maximalen Wert von 202 mg/l (1990).

Für das haldennahe Areal lässt sich eine Zunahme der Chloridbelastungen in abstromiger Richtung erkennen. Während im Grundwasser des direkten Anstroms zur Halde 1 sowie südwestlich der Halde 1 (GWM 25 und GWM 6) seit dem Jahr 2004 unauffällige Chloridkonzentrationen mit Konzentrationen von weniger als 10 mg/l ermittelt wurden, liegen die Belastungen südöstlich der Halde 1 sowie nördlich der Halde 2 (GWM 7 und GWM 10) bis in das Jahr 2023 über dem geogenen Hintergrundwert. Der Zusammenhang mit den angewandten Produktionsverfahren und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden wird hier deutlich. Der Schwellenwert von 250 mg/l wurde im Nahbereich der Halden bisher nicht überschritten.

Es lassen sich in den Messstellen und GWM 6, GWM 7 und GWM 25 in der zeitlichen Entwicklung deutliche bis sehr deutlich rückläufige Chloridkonzentrationen feststellen. In der GWM 10 ist kein Trend in der Entwicklung der Chloridkonzentrationen zu erkennen.

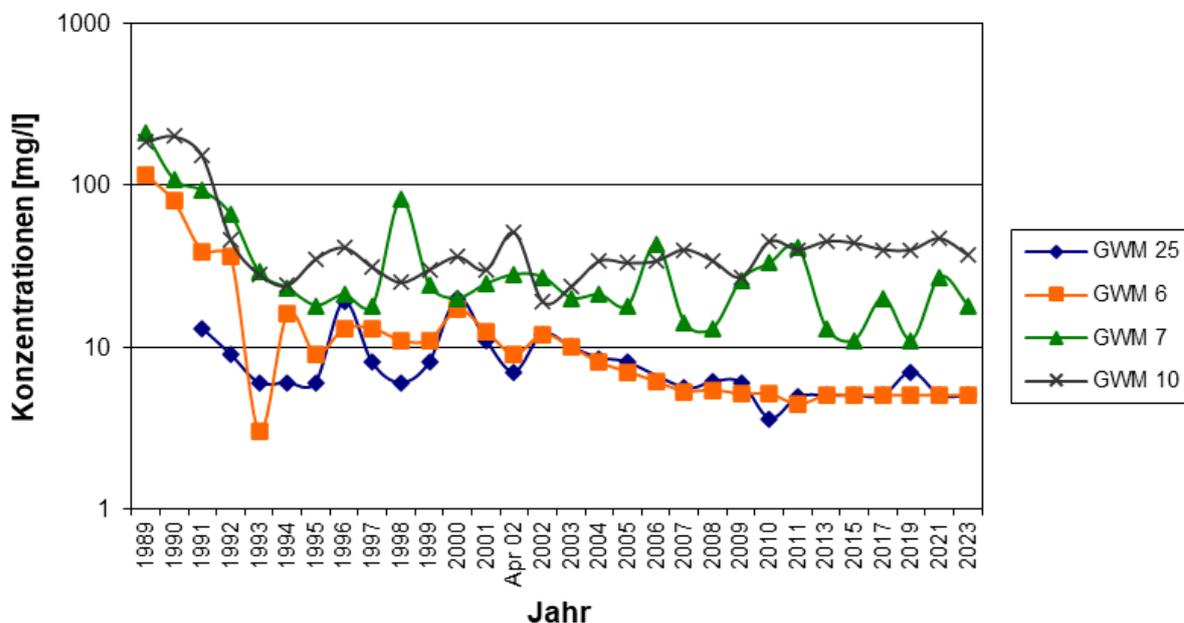


Abbildung 4-11: Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im haldennahen Grundwasser

Infolge der Sanierung des Prozessgebäudes ergab sich im Jahr 1998 an der GWM 7 ein signifikanter Wiederanstieg der Chloridkonzentration. Ein zwischenzeitlicher Wiederanstieg der Chloridwerte ließ sich im Jahr 1998 auch bei den Messstellen GWM 26 und GWM 8 feststellen. Bei der Messstelle GWM 26 wurde für Chlorid zunächst ein Anstieg von 8 mg/l (1997) auf 68 mg/l (1998) ermittelt, der 1999 wieder auf 13 mg/l zurückging. Auch für die Messstelle GWM 8 ergab sich zunächst ein signifikanter Anstieg von 11 mg/l (1997) auf 68 mg/l (1998) und ein erneutes Absinken auf 6 mg/l (2000) bzw. 4 mg/l (2001).

Die Abbildung 4-12 zeigt die Chloridkonzentrationen im abstromigen Grundwasser im Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023. Der oberflächennahe Grundwasserabstrom weist in den Messstellen GWM 14F und GWM 23F mittlere Chloridkonzentrationen von 6,3 mg/l und 34,2 mg/l auf. In den Tiefbrunnen GWM 14T und GWM 23T lassen sich mittlere Chloridbelastungen von 7,9 mg/l und 14,6 mg/l feststellen.

Es zeigt sich, dass in den Messstellen GWM 23F und GWM 23T, die sich im weiter von den Halden entfernten Abstrom befinden, im Betrachtungszeitraum vieljährig höhere Chloridkonzentrationen nachgewiesen wurden als im Anstrom. Ob die ermittelten und im Vergleich zum Grundwasseranstrom erhöhten Chloridkonzentrationen durch Freisetzungen aus den Halden verursacht wurden, lässt sich nicht zweifelsfrei belegen. In der GWM 14, die sich in abstromiger Richtung zwischen den Halden und der GWM 23 befindet, wurden für den oberflächennahen Bereich seit 1993 und für den tieferen Aquifer seit 1991 unauffällige Konzentrationen festgestellt. Im weiteren Abstrom (GWM 23) liegen die Chloridkonzentration sowohl im oberflächennahen als auch im tiefen Grundwasser bis in das Jahr 2023 über dem geogenen Hintergrundwert des Anstromes. Der Schwellenwert von 250 mg/l wurde im Abstrom der Halden bisher nicht überschritten. Warum der weite Grundwasserabstrom die höheren

Chloridkonzentrationen im Vergleich mit dem nahen Grundwasserabstrom zeigt, lässt sich mit derzeitigem Kenntnisstand nicht erklären.

In der GWM 23F ist im zeitlichen Verlauf eine sehr deutlich steigende Tendenz der Chloridkonzentrationen zu erkennen. In der Messstelle GWM 14T liegt ein sehr leicht fallender Trend vor. Die beiden weiteren Grundwassermessstellen im Abstrom der Halden zeigen keinen Trend in der zeitlichen Entwicklung der Chloridkonzentrationen.

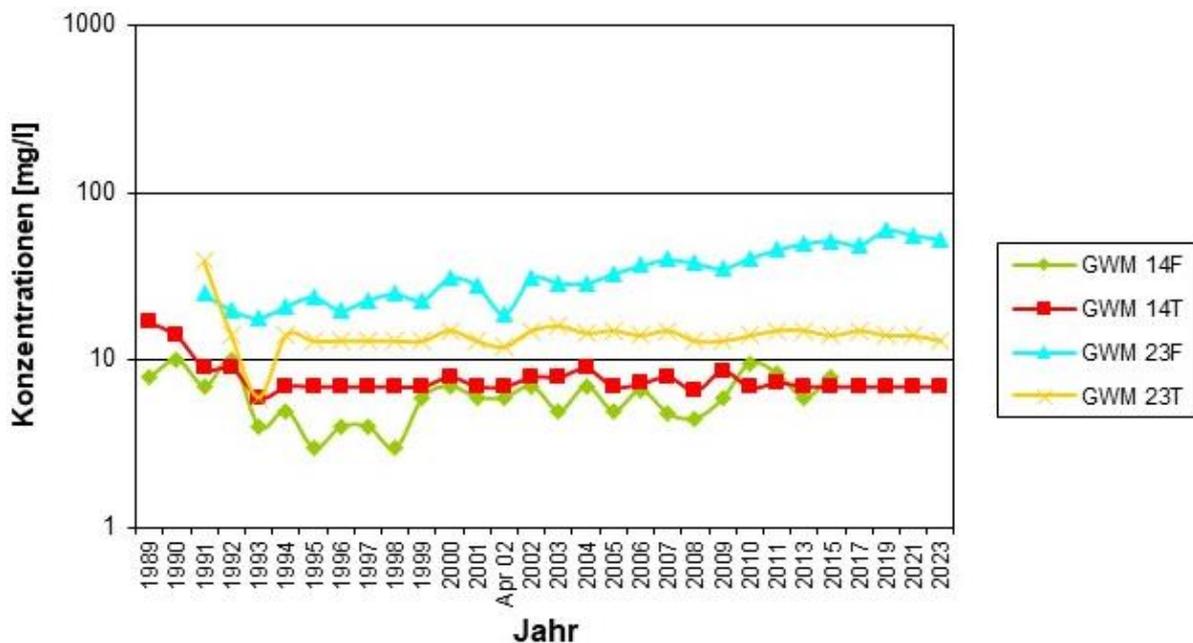


Abbildung 4-12: Zeitreihen der Chloridkonzentrationen im haldenabstromigen Grundwasser

Die Chloridbelastung des Steinaubachs ist mit der Stilllegung der Kläranlage Birkenfeld Ende September 1997 und dem Anschluss an eine zentrale Abwasserkläranlage in Hopstädten deutlich zurückgegangen. Eine Aufhöhung der Chloridgehalte durch den Eintrag von Sickerwasser aus den Halden ist nicht feststellbar. Im Jahr 2023 lag die Chloridkonzentration in der anstromigen und abstromigen Oberflächenwasserprobe bei 30 mg/l (OW 1) bzw. 29 mg/l (OW 5.1).

#### 4.2.4 Sulfat

Wie Chlorid unterliegt auch Sulfat einer nur geringen Sorption im Untergrund, so dass ermittelte Sulfatkonzentrationen im Grundwasser Hinweise auf eventuelle Ausbreitungswege von Kontaminationen geben können. Bedingt durch die am Standort angewandten Produktionsverfahren sind erhöhte Sulfatkonzentrationen (Säurereste) im Grundwasser als Anzeiger einer Belastung durch die Urananlage zu werten.

Die Abbildung 4-13 zeigt die Sulfatkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser für den Betrachtungszeitraum 1989 bis 2023. Die Sulfatwerte des oberflächennahen Grundwassers (GWM 4B) weisen mit einem Minimum von 16,0 mg/l (2023), einem Maximum von 74,7 mg/l (1993) und einem Mittelwert von 31,5 mg/l sehr deutlich rückläufige Konzentrationen auf, was aus der ebenfalls rück-

läufigen Belastung des Steinaubachs resultieren kann. Die Messwerte der GWM 4T zeigen mit einer minimalen Sulfatkonzentration von 6,9 mg/l (1989), einem Sulfat-Maximum von 15,9 mg/l (2000) und einem Mittelwert von 11,4 mg/l einen sehr leicht fallenden Trend in der zeitlichen Schadstoffentwicklung für das tiefe anstromige Grundwasser.

Seit dem Jahr 2000 bzw. 2001 wurden im anstromigen Grundwasser Sulfatkonzentrationen von weniger als 35 mg/l (oberflächennah) bzw. 15 mg/l (tief) festgestellt. Daher ist davon auszugehen, dass Auffälligkeiten durch den Eintrag der Halden dann zu postulieren sind, wenn die Sulfatkonzentrationen 35 mg/l (oberflächennah) bzw. 15 mg/l (tief) überschreiten.

Zusätzlich zur Bewertung der Analysenergebnisse im Vergleich mit den geogenen, anstromigen Konzentrationen wird zur Beurteilung der Sulfatkonzentrationen der Schwellenwert von 250 mg/l (s. Kapitel 4.1.2) herangezogen.

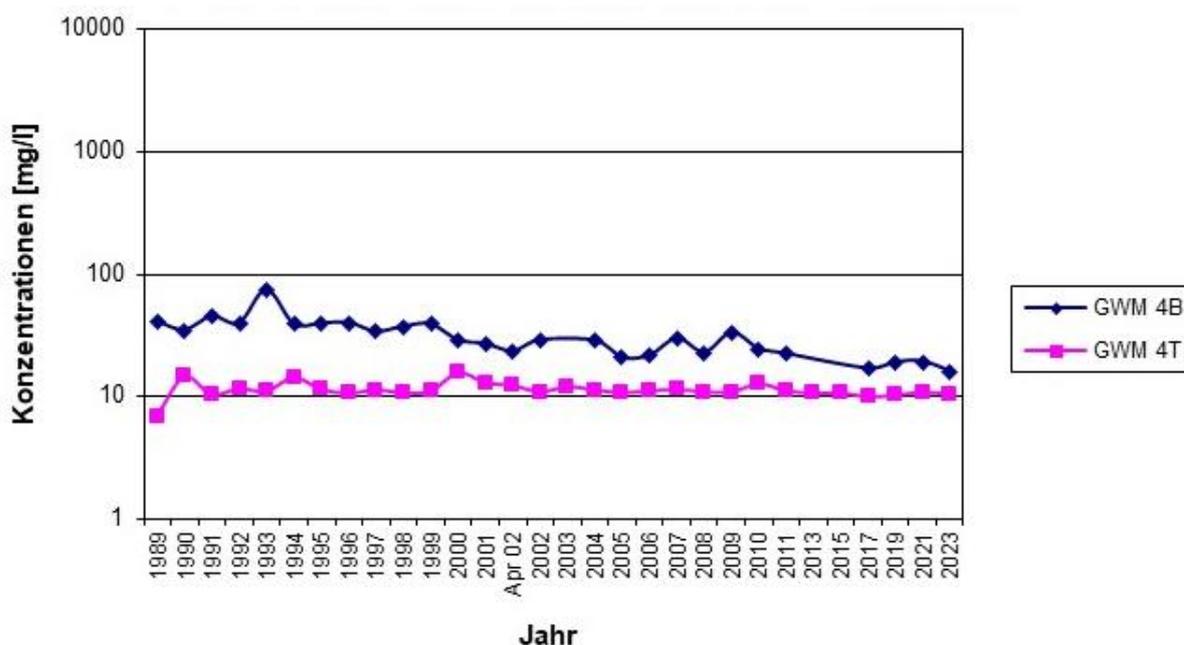


Abbildung 4-13: Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser

Die Abbildung 4-14 zeigt, dass die Sulfatkonzentrationen im Grundwasser unter den Halden 1 und 2 über den gesamten Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 stark erhöht, aber in der zeitlichen Entwicklung sehr deutlich rückläufig sind.

Das Grundwasser unter der Halde 2 (Messstelle H 2T) ist mit einem Maximum von 1.978 mg/l (1992), einem Minimum von 520 mg/l (2017) und einem Mittelwert von 1.155 mg/l stärker belastet als das Grundwasser unter der Halde 1 (Messstelle H 1T), das im Mittel eine Sulfatkonzentration von 225 mg/l aufweist. Das Grundwasser unter der Halde 1 weist seit dem Jahr 2004 Sulfatkonzentrationen unter dem Schwellenwert von 250 mg/l auf. Unter der Halde 2 liegen die Sulfatkonzentrationen bis in das Jahr 2023 über 250 mg/l. Sämtliche Messergebnisse im Haldengrundwasser liegen bisher über der geogenen Hintergrundkonzentration von 35 mg/l.

Die erhöhten Sulfatkonzentrationen resultieren wie die erhöhten Chloridkonzentrationen in diesem Bereich aus den zur Anwendung gekommenen Produktionsverfahren und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden. Aufgrund der im Bereich der Halde 2 festgestellten höheren Sulfatbelastungen wird die in Bezug auf Chlorid getroffene Annahme, dass das Inventar der Halde 2 einen stärkeren Einfluss auf das Grundwasser hat als das der Halde 1, bestätigt.

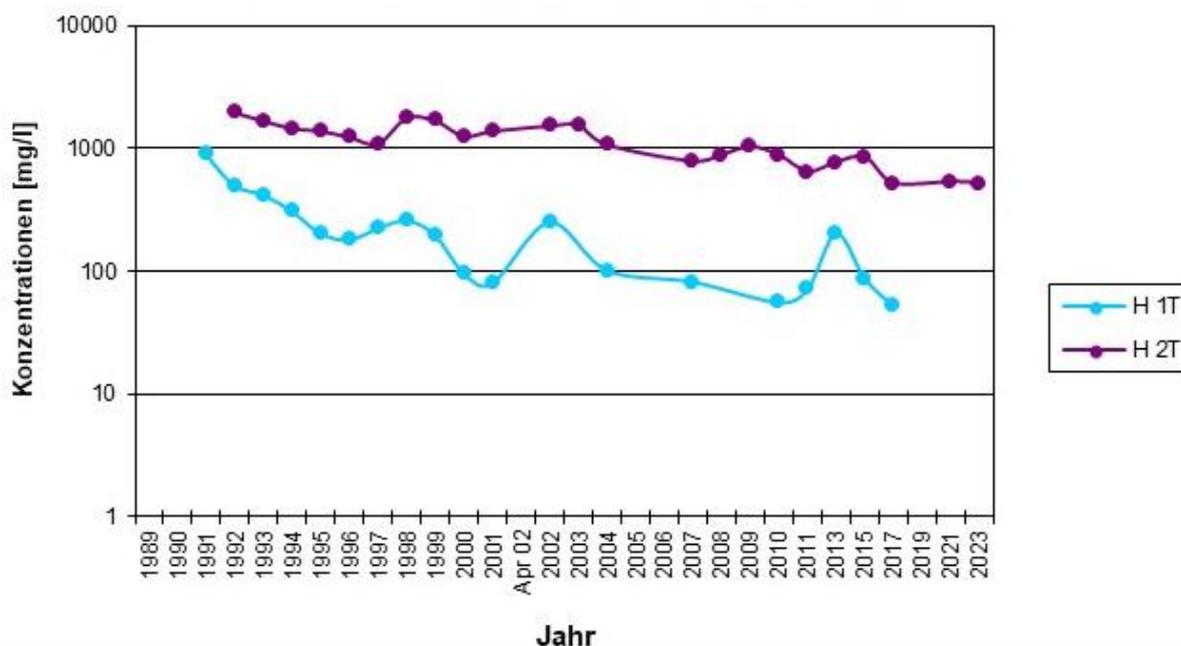


Abbildung 4-14: Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im Haldengrundwasser

Die Abbildung 4-15 zeigt die Sulfatkonzentrationen in den haldennahen Grundwassermessstellen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2023. Die mittleren Sulfatbelastungen liegen im Anstrom der Halde 1 bei 42,6 mg/l (GWM 25), südwestlich (GWM 6) bzw. südöstlich (GWM 7) bei 134 mg/l bzw. 331 mg/l und nördlich der Halde 2 (GWM 10) bei 469 mg/l.

Es können in den haldennahen Messstellen GWM 25, GWM 6 und GWM 7 sehr deutlich rückläufige Sulfatkonzentrationen festgestellt werden, die in der GWM 25 dazu führen, dass seit dem Jahr 2007 die Sulfatkonzentrationen in der Größenordnung der geogenen Hintergrundbelastung von 35 mg/l liegen. Der Schwellenwert von 250 mg/l wurde in dieser Messstelle bisher nicht erreicht. In der GWM 6 werden seit dem Jahr 1994 Sulfatkonzentrationen unter dem Schwellenwert von 250 mg/l ermittelt. Seit 2017 liegen Sulfatkonzentration auch unter dem geogenen Hintergrundwert. Die haldennahe Messstelle GWM 7 weist bisher ausnahmslos Messwerte oberhalb des geogenen Hintergrunds von 35 mg/l auf. Bis in das Jahr 2021 können Sulfatkonzentrationen über dem Schwellenwert von 250 mg/l nachgewiesen werden. In der GWM 10 liegen die Sulfatkonzentrationen bis zum Jahr 2023 über dem geogenen Hintergrundwert von 35 mg/l. Es zeigt sich in dieser Messstelle ein leicht ansteigender Trend der Sulfatkonzentrationen, der dazu führt, dass alle Messwerte seit dem Jahr 2010 über dem Schwellenwert von 250 mg/l liegen.

Für den haldennahen Bereich lässt sich eine Zunahme der Konzentrationen in abstromiger Richtung feststellen. Auch hier wird der Zusammenhang mit den angewandten Produktionsverfahren und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden deutlich.

An der Messstelle GWM 3, die sich im Abstrom der Halde 2 befindet, wurden im Betrachtungszeitraum (bis 2001) ebenfalls abnehmende Sulfatkonzentrationen beobachtet. Während im Jahr 1999 an dieser Messstelle noch ein Wert über 500 mg/l ermittelt wurde, ging der Wert im Jahr 2001 auf 106 mg/l zurück. Zuvor war zwischenzeitlich ein Anstieg von 67,8 mg/l (1998) auf 506 mg/l (1999) festzustellen. Bei der GWM 9, die zwischen der Halde 1 und Halde 2 abgeteuft wurde, erreichte die Sulfatbelastung im Jahr 1990 einen Wert von 4.206 mg/l und ging bis zum Jahr 2001 auf 36,9 mg/l zurück.

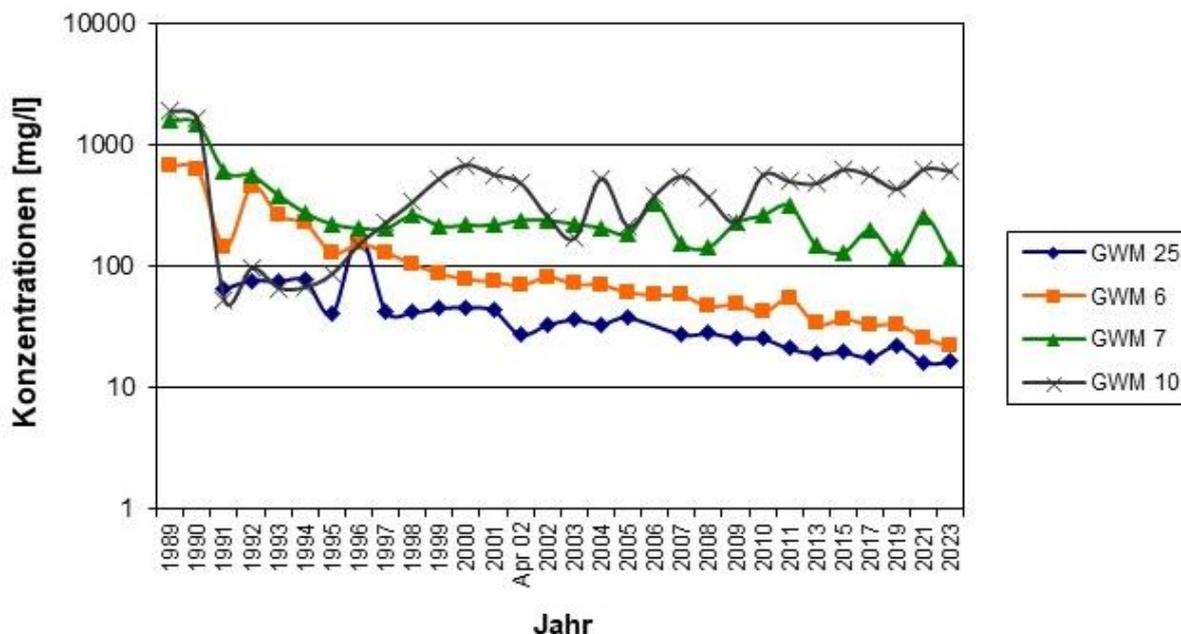


Abbildung 4-15: Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im haldennahen Grundwasser

In der Abbildung 4-16 sind die Sulfatkonzentrationen im abstromigen Bereich der Halden dargestellt. Im oberflächennahen Grundwasserabstrom wurden in den Messstellen GWM 14F und GWM 23F bisher Konzentrationen festgestellt, die unter der geogenen Hintergrundbelastung von 35 mg/l liegen. Lediglich im Jahr 1991 lag die Sulfatkonzentration in der GWM 23F mit 36,2 mg/l geringfügig über dem geogenen Hintergrund. Die Mittelwerte in diesen Messstellen liegen bei 12,2 mg/l und 12,5 mg/l. Die Sulfatkonzentrationen der GWM 14T sind mit einem Mittelwert von 16,3 mg/l gegenüber der Hintergrundbelastung von 15 mg/l leicht erhöht. Die Sulfatwerte an der Messstellen GWM 23T sind mit einem Mittelwert von 56,3 mg/l als auffällig einzustufen. Der Schwellenwert von 250 mg/l wurde im Abstrom der Halden bisher nicht erreicht.

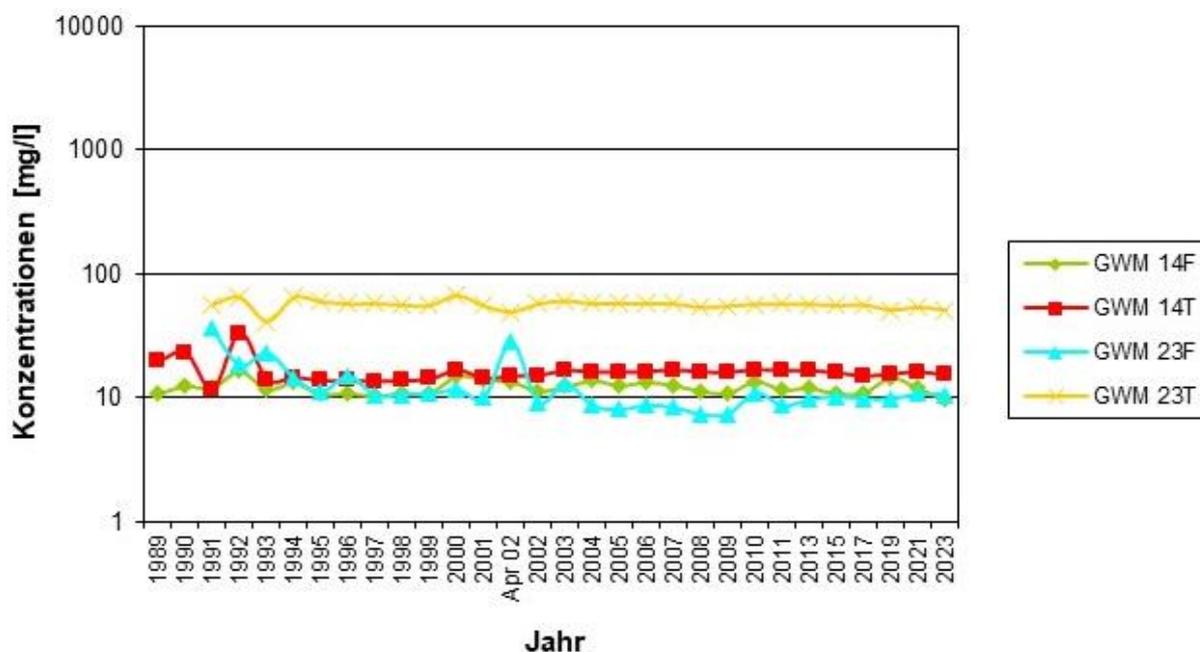


Abbildung 4-16: Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im haldenabstromigen Grundwasser

Die Sulfatkonzentrationen in der GWM 23F sind deutlich rückläufig und seit 1992 im Bereich des geogenen Hintergrundes. Auch in der GWM 23T kann eine deutlich rückläufige Tendenz festgestellt werden. Die Belastungen in den Messstellen GWM 14F und GWM 14T zeigen keine Trends.

Die Analysenergebnisse weisen nach, dass die Sulfatkonzentrationen außerhalb des Grundstücks des ehemaligen Betriebsgeländes im weiter entfernten, tiefen Abstrom der Halden (GWM 23T) höher als im Anstrom sind. Auch im nahen, tiefen Abstrom (GWM 14T) zeigen sich leicht erhöhte Sulfatkonzentrationen. Das oberflächennahe Grundwasser im Abstrom ist dagegen unauffällig. Ob die erhöhten Sulfatkonzentrationen im tiefen Grundwasserabstrom auf natürliche Bedingungen (Gips/Anhydrit?) oder mehr oder weniger stagnierende Reste früherer Einträge zurückzuführen sind, lässt sich mit derzeitigem Kenntnisstand nicht erklären.

Die Abbildung 4-17 stellt die Sulfatkonzentrationen im Oberflächenwasser des Steinaubachs dar. In allen dargestellten Oberflächenwassermessstellen lassen sich zu Beginn des Beobachtungszeitraumes erhöhte Konzentrationen nachweisen, die sich im Laufe der Zeit verringern. In den Jahren 1989 bis 1993 zeigte die Probenahmestelle OW 1 im Anstrom zur Urananlage Sulfatkonzentrationen, die unter den Werten der Probenahmestelle OW 3.3 bei der Halde 2 und der Probenahmestelle OW 5.1 im Abstrom der Halden lagen. Seit 1993 ist keine Erhöhung der Sulfatkonzentration im Oberflächenwasser durch den Zutritt von Haldensickerwasser mehr nachweisbar.

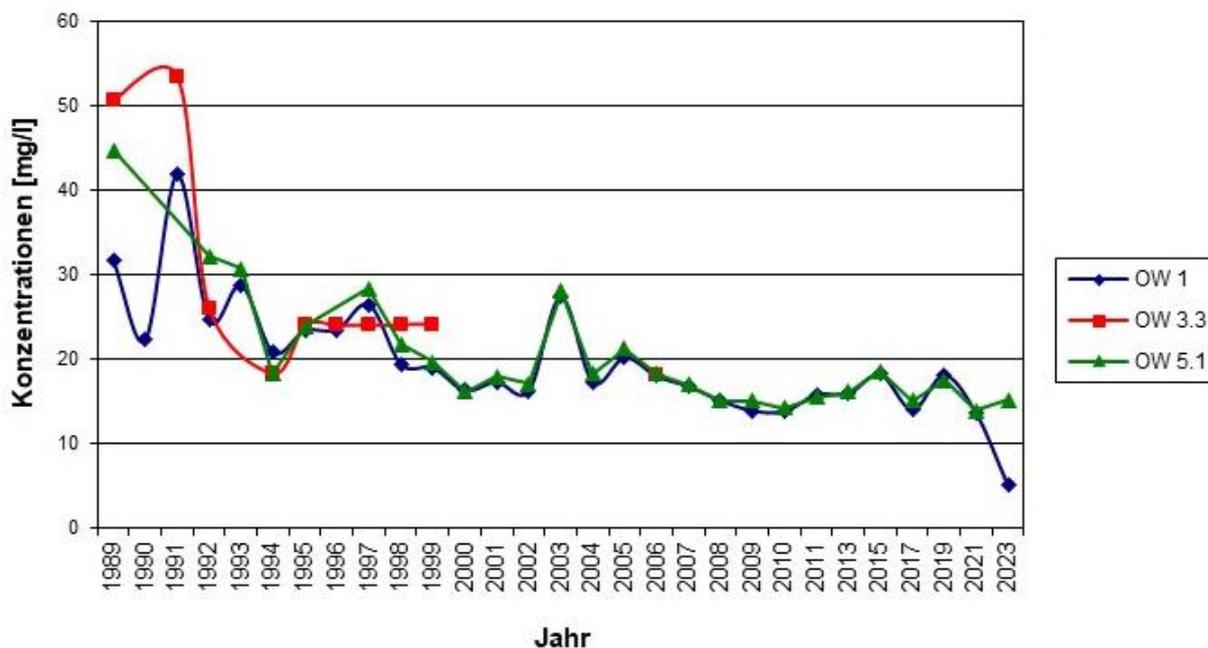


Abbildung 4-17: Zeitreihen der Sulfatkonzentrationen im Oberflächenwasser

#### 4.2.5 Nitrat

Erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser können am Standort analog der Chlorid- und Sulfatbelastungen aus säureaggressiven Aufbereitungsmethoden sowie der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden resultieren und somit als Belastungsanzeiger charakterisiert werden.

In der Abbildung 4-18 sind die Nitratkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser für den Betrachtungszeitraum 1989 bis 2023 dargestellt. Die mittlere Nitratkonzentration liegt im oberflächennahen Grundwasser der Messstelle GWM 4B bei 2,5 mg/l und im tiefen Grundwasser der Messstelle GWM 4T bei 2,4 mg/l. Die geringste Nitratkonzentration im oberflächennahen Aquifer lag bei 0,2 mg/l (1991, 1997, 1998) und im tiefen Grundwasser bei 1,6 mg/l (1989). Maxima der Nitratbelastungen fanden sich im oberen Grundwasserleiter im Jahr 1993 mit 12,2 mg/l und im unteren Aquifer im Jahr 1992 und 2023 mit 3,2 mg/l. Es zeigt sich, dass die Schwankungen der Nitratbelastung im oberflächennahen Grundwasser stärker ausgeprägt sind als im tiefen Grundwasser. Es kann angenommen werden, dass die Konzentrationsschwankungen der Flachmessstelle GWM 4B aus dem Einfluss des Steinaubaches resultieren. Es sind im anstromigen Grundwasser leicht bis deutlich ansteigende Tendenzen in der zeitlichen Entwicklung der Nitratbelastungen festzustellen.

Aufgrund der starken Variabilität der Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasseranstrom ist es problematisch, einen geogenen Hintergrundwert festzulegen, ab dem Auffälligkeiten durch den Eintrag der Halden erkannt werden können. Da mit einer Ausnahme die Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasserleiter unter 10 mg/l lagen, wird davon ausgegangen, dass Auffälligkeiten dann gegeben sind, wenn die Belastungen 10 mg/l überschreiten. Im tieferen Grundwasser finden sich in der Regel Nitratkonzentrationen unter 3 mg/l, so dass dieser Wert als geogener Hintergrund

festgelegt wird. Zusätzlich wird zur Beurteilung der Nitratkonzentrationen der Schwellenwert von 50 mg/l (s. Kapitel 4.1.2) herangezogen.

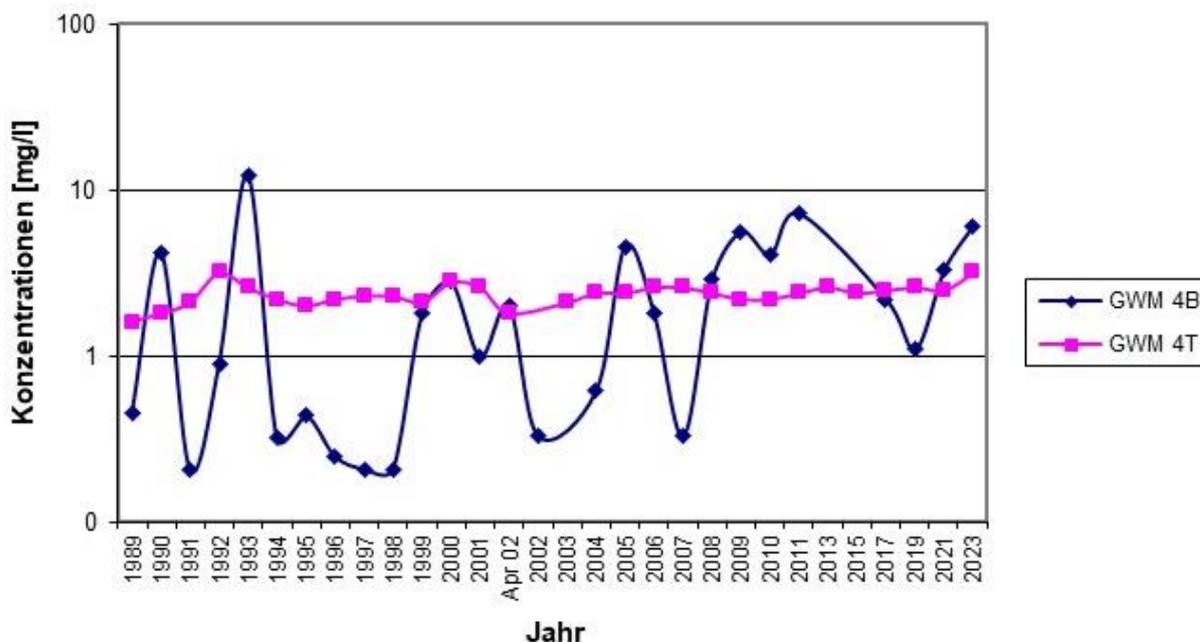


Abbildung 4-18: Zeitreihen der Nitratkonzentration im haldenanstromigen Grundwasser

In der Abbildung 4-19 sind die Nitratkonzentrationen im Grundwasser unter den Halden 1 und 2 über den Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt. Die Konzentrationen sind mit Mittelwerten von 43,9 mg/l (Messstelle H 1T) und 128 mg/l (Messstelle H 2T) gegenüber dem Anstrom deutlich erhöht, was analog zu den Chlorid- und Sulfatbelastungen in diesem Bereich aus den Produktionsverfahren und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden resultiert.

Aufgrund der im Bereich der Halde 2 festgestellten höheren Nitratbelastungen wird die bereits in Bezug auf Chlorid und Sulfat getroffene Annahme, dass das Inventar der Halde 2 einen stärkeren Einfluss auf das Grundwasser hat als das der Halde 1, nochmals bestätigt. Ein auffälliger Ausreißer im Bereich der Halde 1 war die gemessene Nitratkonzentration von 0,1 mg/l im Jahr 2000. Hier ist ein Datenfehler zu vermuten. Der Messwert wird für weitere Auswertungen nicht mehr berücksichtigt.

In beiden Haldenmessstellen (H 1T, H 2T) zeigen sich sehr deutlich rückläufige Nitratkonzentrationen. Die regressiven Belastungen führen in der Messstelle H 1T seit dem Jahr 2007 zu Konzentrationen im Bereich des geogenen Hintergrundwertes von 10 mg/l und seit dem Jahr 1999 zu Belastungen unter dem Schwellenwert von 50 mg/l. Unter der Halde 2 wird dieser Schwellenwert seit dem Jahr 2011 erreicht. Die Nitratkonzentrationen liegen unter der Halde 2 bis in das Jahr 2023 über dem Hintergrundniveau von 10 mg/l.

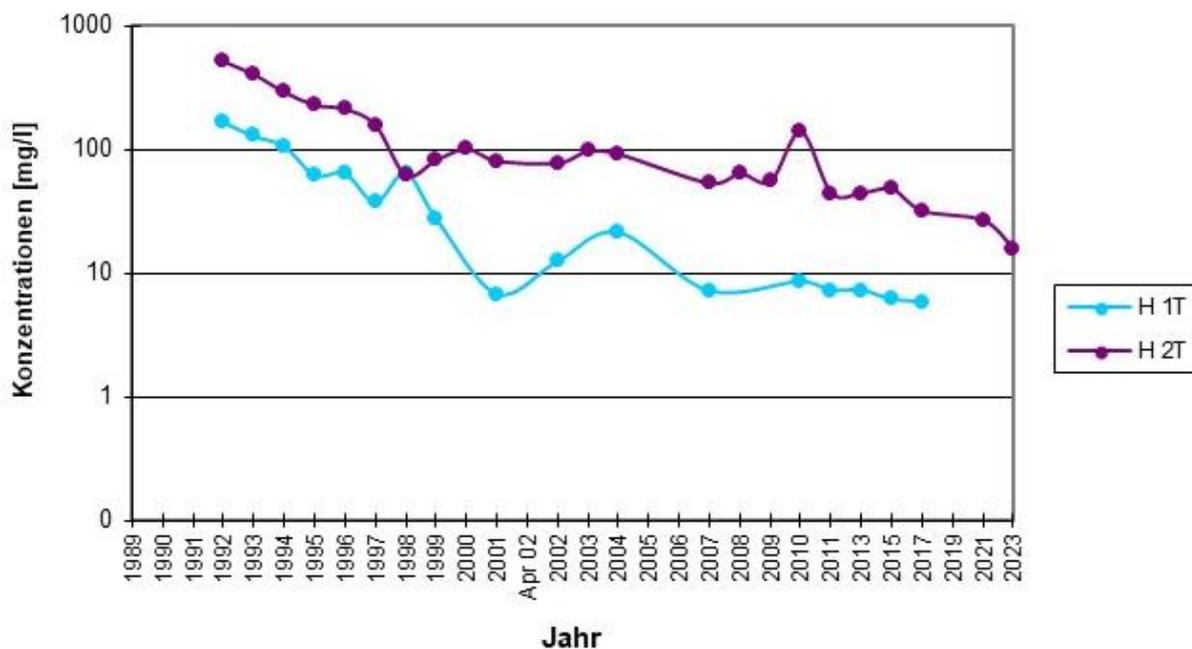


Abbildung 4-19: Zeitreihen der Nitratkonzentration im Haldengrundwasser

In den haldennahen Grundwassermessstellen lagen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2023 erhöhte Nitratkonzentrationen mit maximalen mittleren Belastungen in der GWM 10 und den geringsten mittleren Konzentrationen in der GWM 25 vor (s. Abbildung 4-20). Analog der Haldenmessstelle H 1T zeigt die Messstelle GWM 25 im Jahr 2000 einen unplausiblen Ausreißer mit einer Nitratkonzentration von 0,1 mg/l, so dass auch hier ein Datenfehler zu vermuten ist. Der Messwert wird für die Auswertungen nicht berücksichtigt.

Im zeitlichen Verlauf nehmen die Belastungen in den Messstellen GWM 25, GWM 6 und GWM 7 mit sehr deutlichem Trend ab, was in den Messstellen seit den Jahren 1996 – 1999 zu Nitratkonzentrationen unter dem Schwellenwert von 50 mg/l führt. In der GWM 25 und GWM 6 liegen die Belastungen seit dem Jahr 1999 bzw. 2003 im Bereich des Hintergrundes. Die GWM 7 zeigt seit dem Jahr 2011 durchgehend Nitratkonzentrationen im Bereich des geogenen Hintergrundniveaus von 10 mg/l. In der GWM 10 ist nach der drastischen Konzentrationsabnahme von 1989/90 auf 1991/92 keine eindeutige Tendenz in der zeitlichen Entwicklung der Nitratbelastung festzustellen. Hier lagen die Belastungen bis in das Jahr 2023 über dem Schwellenwert von 50 mg/l.

Analog zur Chlorid- und Sulfatbelastung lässt sich auch in Bezug auf Nitrat für den haldennahen Bereich eine Zunahme der Konzentrationen in abstromiger Richtung feststellen. Der Zusammenhang mit den angewandten Produktionsverfahren und der Verbringung von Produktionsrückständen auf die Halden ist zu erkennen.

Im Jahr 1989 wurde die höchste Nitratbelastung bei der inzwischen nicht mehr im Messprogramm befindlichen Messstelle GWM 8 mit 1.657 mg/l festgestellt. Auch an der Messstelle GWM 7 wurde damals eine Nitratkonzentration von ca. 1.500 mg/l angetroffen.

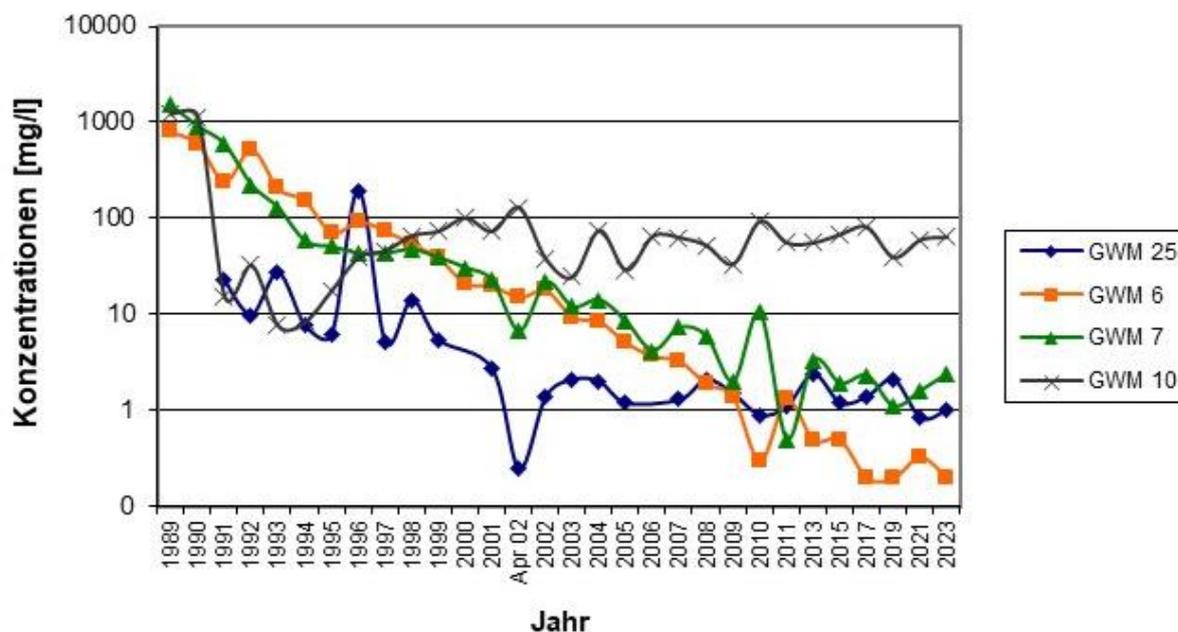


Abbildung 4-20: Zeitreihen der Nitratkonzentration im haldennahen Grundwasser

Im oberflächennahen Grundwasserabstrom der Halden wurden in den Messstellen GWM 14F und GWM 23F mittlere Nitratkonzentrationen von 3,2 mg/l bzw. 1,4 mg/l festgestellt, die als unauffällig einzustufen sind (s. Abbildung 4-21). Die mittleren Nitratkonzentrationen im tiefen Grundwasserabstrom an den Messstellen GWM 14T und GWM 23T liegen bei 4,2 mg/l und 38,3 mg/l und sind im Vergleich mit dem geogenen Hintergrund von 3 mg/l als leicht auffällig bzw. auffällig einzuordnen. Der Schwellenwert von 50 mg/l wurde an den Messstellen GWM 14F, GWM 14T und GWM 23F bisher nicht überschritten. In der GWM 14F wurden zudem bisher ausschließlich Nitratkonzentrationen unter den Belastungen im Anstrom nachgewiesen. In der Messstelle GWM 23T liegen die Nitratkonzentrationen seit 2001 ausnahmslos unterhalb des Schwellenwertes von 50 mg/l, aber auch im Jahr 2023 noch deutlich über dem geogenen Hintergrundwert von 3 mg/l.

Die maximale Nitratkonzentration im weiten, tiefen Grundwasserabstrom korreliert mit den ebenfalls hohen Konzentrationen von Chlorid und Sulfat in dieser Messstelle. Warum der weite, tiefe Grundwasserabstrom die höchsten Nitratkonzentrationen aufweist, kann mit dem derzeitigen Kenntnisstand nicht begründet werden. Im Gegensatz zu den Parametern Chlorid und Sulfat zeigen die Nitratkonzentrationen in der Messstelle GWM 23T allerdings eine sehr deutlich fallende Tendenz. Die Grundwässer der Messstellen GWM 14F, GWM 14T und GWM 23F zeigen dagegen keine Trends in der Entwicklung der Nitratkonzentrationen.

Die Nitratkonzentrationen im Oberflächenwasser des Steinaubachs lagen im Jahr 2023 in der anstromigen und abstromigen Probe bei 16,1 mg/l (OW 1) bzw. 3,1 mg/l (OW 5.1).

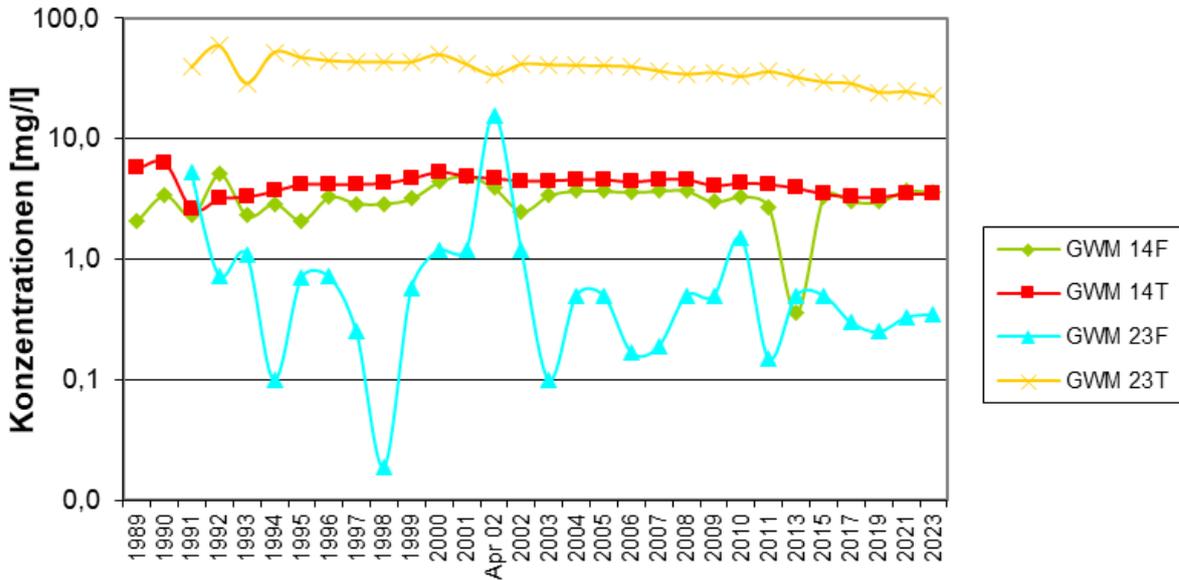


Abbildung 4-21: Zeitreihen der Nitratkonzentration im haldenabstromigen Grundwasser

#### 4.2.6 Arsen

In der Abbildung 4-22 sind die Arsenkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser für den Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 enthalten. Die mittlere Arsenkonzentration liegt in der oberflächennahen Grundwassermesssstelle GWM 4B bei 3,4 µg/l und in der tiefen Messstelle GWM 4T bei 68,9 µg/l. Da in Bezug auf Arsen die höchsten Konzentrationen im tiefen Grundwasseranstrom festgestellt wurden, ist davon auszugehen, dass diese Konzentrationen mit maximalen Werten bis zu 100 µg/l geogen bedingt sind. Daher können die Schwellenwerte von 10 µg/l bzw. 3,2 µg/l (s. Kapitel 4.1.2) vor allem für den tiefen Grundwasseranstrom nicht als geeignete Maßstäbe zur Bewertung der Arsenkonzentrationen am Standort der Urananlage Ellweiler betrachtet werden. Die Messwerte der aktuellen Kampagne liegen bei 0,9 µg/l (GWM 4B) und 42,0 µg/l (GWM 4T). Die aktuelle Arsenbelastung des oberflächennahen Wassers liegt unter den Schwellenwerten der GrwV und LAWA.

Die zeitliche Entwicklung der Arsenkonzentrationen zeigt, dass es in der Messstelle GWM 4B zu deutlichen Konzentrationssprüngen gekommen ist, die insgesamt die Frage nach der Belastbarkeit der Ergebnisse aufwerfen. Weder die Arsenkonzentrationen in der GWM 4B noch in der GWM 4T weisen einen signifikanten Trend in der zeitlichen Entwicklung auf.

Da im Jahr 2010 an allen Messstellen Arsenbefunde unter der Bestimmungsgrenze analysiert wurden, werden die Daten 2010 als unplausibel eingeschätzt und aus der Bewertung und Diskussion ausgeschlossen.

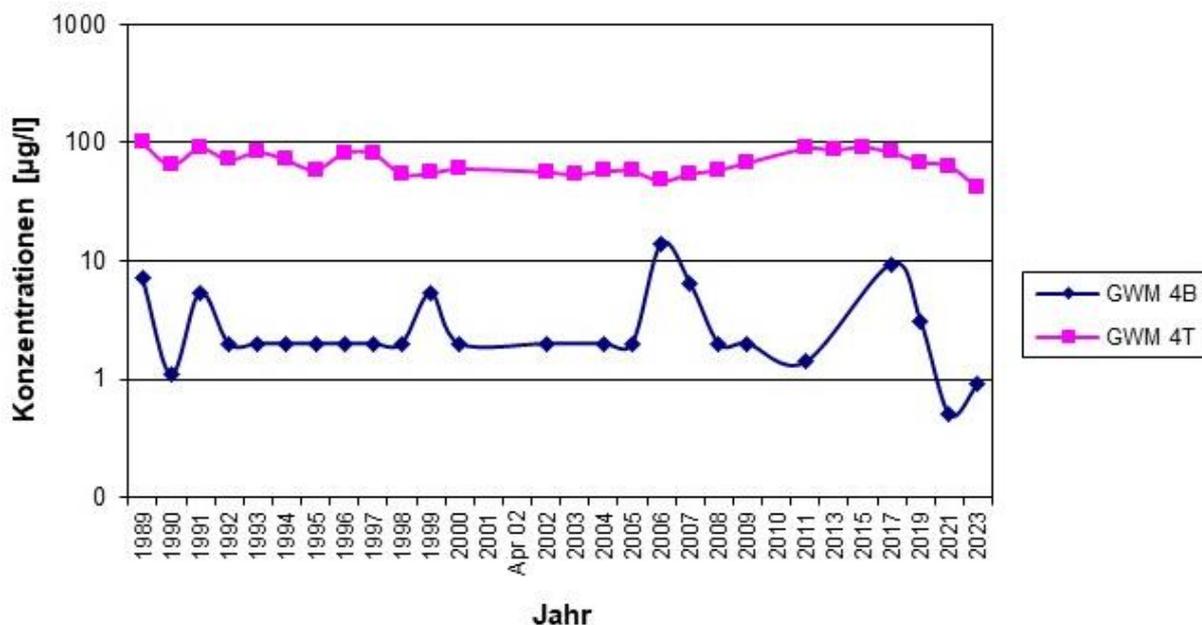


Abbildung 4-22: Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im haldenanstromigen Grundwasser

Die Abbildung 4-23 zeigt, dass die Arsenkonzentrationen im Haldengrundwasser mit mittleren Konzentrationen von 2,7 µg/l (H 1T) und 1,8 µg/l (H 2T) unterhalb der im Anstrom ermittelten mittleren Konzentrationen liegen. Bezogen auf die einzelnen Jahreswerte weist das Haldengrundwasser in mehreren Jahren Arsenkonzentrationen über dem anstromigen Wasser auf. Analog der GWM 4B zeigt auch die Haldengrundwassermessstelle H 1T starke Konzentrations sprünge.

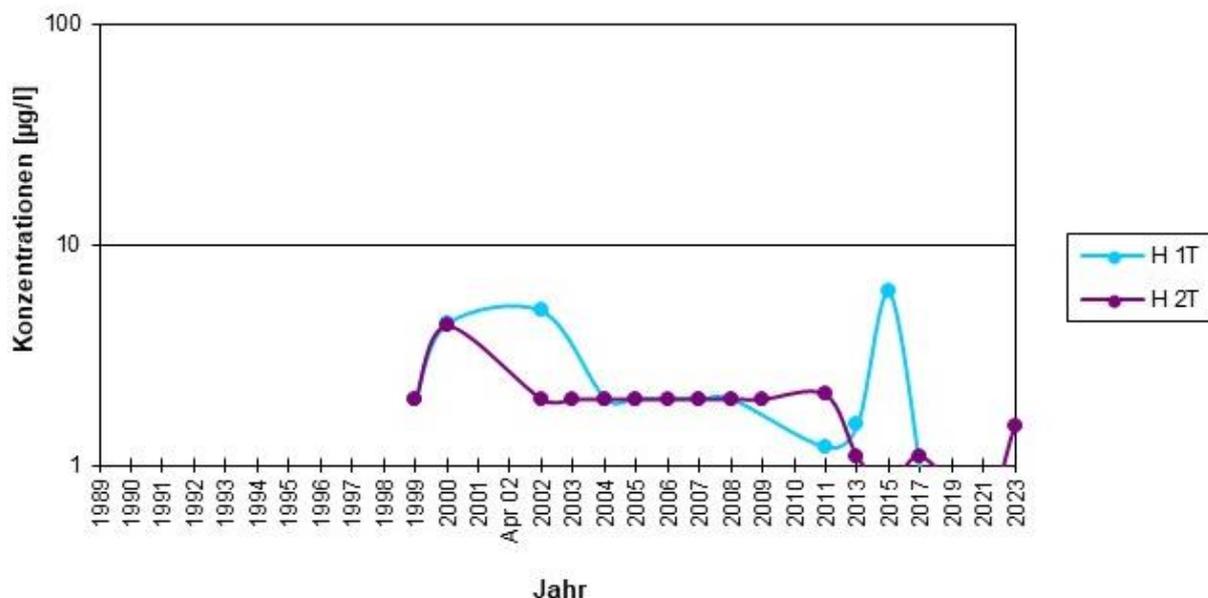


Abbildung 4-23: Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im Haldengrundwasser

In der Abbildung 4-24 sind die Arsenkonzentrationen in den haldennahen Grundwassermessstellen im Zeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt. Mit mittleren Konzentrationen von 2,1 µg/l und 1,7 µg/l zeigen die Messstellen GWM 6 und GWM 10 eine Unterschreitung der mittleren Anstromkonzentration. Die mittleren Arsenkonzentrationen in den Messstellen GWM 25 und GWM 7 liegen dagegen mit 8,5 µg/l und 15,0 µg/l über der anstromigen mittleren Konzentration. In diesen beiden Messstellen ist ein sehr deutlich ansteigender Trend der Arsenkonzentrationen zu erkennen. Die Messstellen zeigen allerdings auch starke Konzentrationssprünge. Die GWM 10 zeigt einen leicht abnehmenden Trend und die GWM 6 keinen Trend in der zeitlichen Entwicklung der Arsenkonzentrationen.

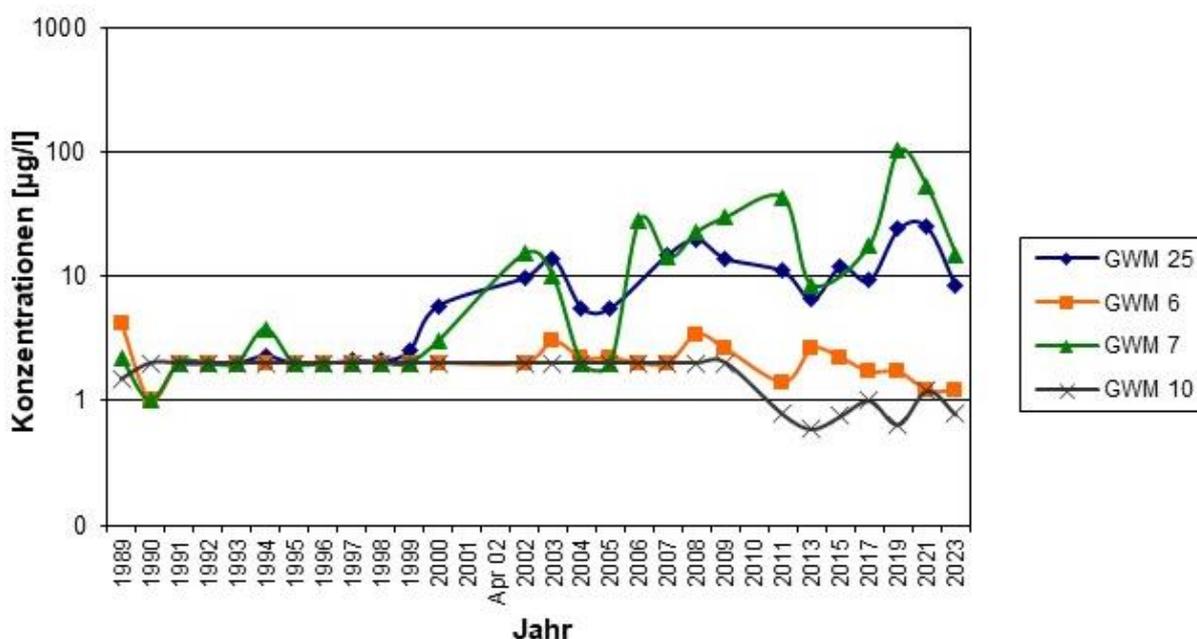


Abbildung 4-24: Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im haldennahen Grundwasser

Die Abbildung 4-25 zeigt die Arsenkonzentrationen im abstromigen Bereich der beiden Halden in der Zeit von 1989 bis 2023. Im oberflächennahen Abstrom wurde mit mittleren Konzentrationen von 25,8 µg/l (GWM 14F) und 6,2 µg/l (GWM 23F) die anstromige mittlere Konzentration überschritten. Analog zum Anstrom liegen auch im Abstrom die Arsenkonzentrationen in den tiefen Messstellen über denen der flachen Messstellen. Es wurden in der GWM 14T und der GWM 23T mittlere Konzentrationen von 29,3 µg/l und 30,6 µg/l festgestellt. Diese liegen unter der tiefen anstromigen mittleren Arsenkonzentration.

Im Haldenabstrom ist in den Zeitverläufen der Messstellen GWM 23F und GWM 14T ein sehr deutlich steigender Trend der Arsenkonzentrationen erkennbar. In den beiden weiteren abstromigen Messstellen sind keine Trends zu erkennen.

Im Oberflächenwasser des Steinaubachs wurden im Jahr 2023 1,7 µg/l Arsen (OW 1) bzw. 1,4 µg/l (OW 5.1) festgestellt.

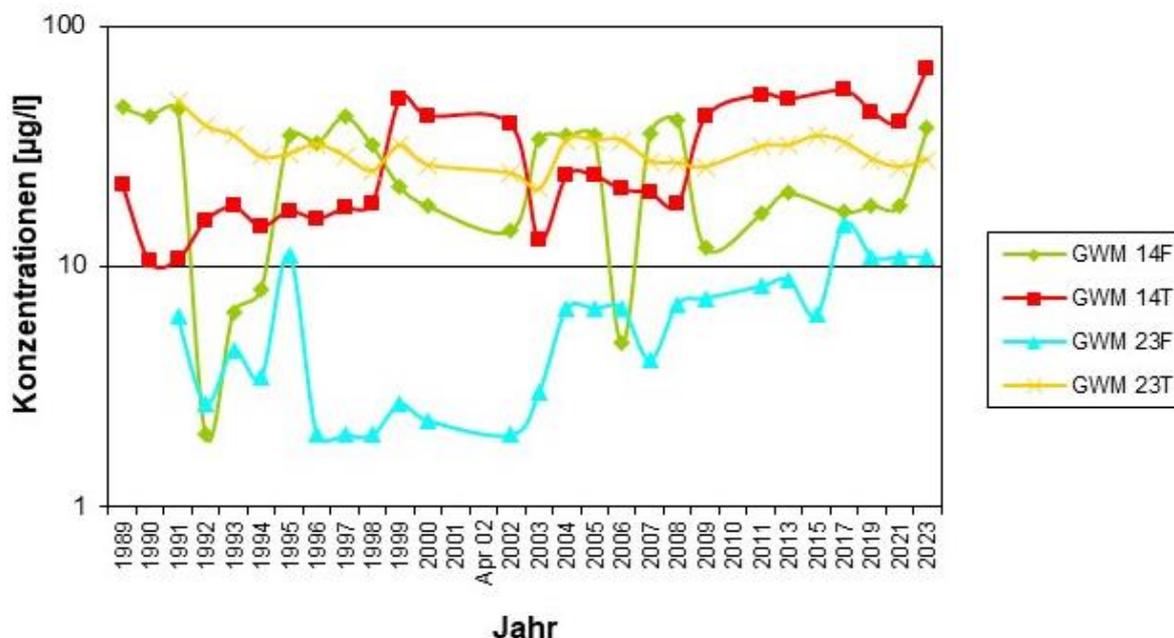


Abbildung 4-25: Zeitreihen der Arsenkonzentrationen im haldenabstromigen Grundwasser

#### 4.2.7 Weitere Parameter

Überschreitungen der zur Bewertung herangezogenen Schwellenwerte weiterer Parameter zeigen vor allem die haldennahen Grundwassermessstellen und die Haldenmessstellen. Die haldennahen Messstellen GWM 6, GWM 7 und GWM 10 weisen eine Überschreitung des Schwellenwertes für Ammonium (0,5 mg/l nach GrwV) auf. Die Schwellenwerte für Blei (1,2 µg/l nach LAWA), Kupfer (5,4 µg/l nach LAWA), Nickel (7 µg/l nach LAWA) und Zink (60 µg/l nach LAWA) sind zudem in der Messstelle GWM 10 überschritten. Weiterhin wurde in den Messstellen GWM 6 und GWM 10 der Schwellenwert für Cadmium (0,3 µg/l nach LAWA) überschritten

Zusätzlich zu den genannten haldennahen Messstellen wurden in der Haldenmessstelle H 2T die Schwellenwerte für Ammonium (0,5 mg/l nach GrwV), Cadmium (0,3 µg/l nach LAWA) und Zink (60 µg/l nach LAWA) überschritten.

In der GWM 14F ist der Schwellenwert für Nickel (7 µg/l nach LAWA) überschritten.

Der Schwellenwert für Uran von 10 µg/l wird in der aktuellen Kampagne mit Ausnahme der Messstelle GWM 4B in allen untersuchten Grundwassermessstellen überschritten. Es ist davon auszugehen, dass die (leicht) erhöhten Urankonzentrationen geogen bedingt sind. Der Schwellenwert ist daher diesem Fall analog zum Arsen kein geeigneter Maßstab zur Bewertung. Im Vergleich zur anstromigen Belastung zeigen die oberflächennahen Wässer in allen untersuchten Grundwassermessstellen in der aktuellen Kampagne höhere Urankonzentrationen. Die Urankonzentrationen im Haldenwasser, im haldennahen Grundwasser und im oberflächennahen Abstrom übersteigen im Jahr 2023 die geogenen Werte deutlich.

Die Messergebnisse weisen nach, dass Schadstoffkonzentrationen oberhalb der standorttypischen Hintergrundwerte im Jahr 2023 vor allem in der Nähe des ehemaligen Prozessgebäudes und bei den Halden auftreten. Im örtlichen und zeitlichen Verlauf sind in den Monitoringdaten starke Konzentrations sprünge zu erkennen. So weist die Messstelle GWM 10 für Kupfer im Jahr 2023 eine Konzentration von 61 µg/l auf. Im Oktober 1989 wurde für diese Messstelle noch eine Kupferkonzentration von 3.650 µg/l analysiert. Für Zink wurde bei der Probenahme 2023 in der Messstelle GWM 10 eine Belastung von 486 µg/l ermittelt. In den Anfangsjahren der Beprobung ergaben sich noch deutlich höhere Werte, z.B. bei der Beprobung im Jahr 1989 mit 2.800 µg/l.

#### **4.2.8 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse**

Mit den Ergebnissen der im Zeitraum von 1989 bis 2023 durchgeführten Wasseruntersuchungen kann der Zustand und die Entwicklung der hydrochemischen Grundwasserbeschaffenheit im Bereich der ehemaligen Urananlage Ellweiler beschrieben werden. In der Tabelle 4-3 sind die Bewertungen der Grundwasseranalysen in Bezug auf die ausgewählten hydrochemischen Parameter pH-Wert, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Arsen und Uran anhand der Untersuchungsergebnisse im Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 (Mittelwerte) sowie anhand der Untersuchungsergebnisse des Jahres 2023 dargestellt.

Da die Haldenmessstelle H 1T in der aktuellen Kampagne und in den Kampagnen des Jahres 2019 und 2021 nicht ausreichend Wasser für eine Probenahme führte, wird das Haldenwasser dieser Messstelle mit Hilfe der Zeitreihe 1989 – 2017 und aufgrund der Untersuchungsergebnisse des Jahres 2017 bewertet. Die Arsenbefunde des Jahres 2010, die Nitratbefunde des Jahres 2000 in den Messstellen GWM 25 und H 1T als auch die Analyseergebnisse der GWM 4B aus den Jahren 2013 und 2015 waren unplausibel und wurden bei der Auswertung nicht beachtet.

Die Klassifizierung der ermittelten Stoffkonzentrationen in „auffällig“ und „unauffällig“ wurde in Anlehnung an die Diktion der vergangenen Monitoringkampagnen im Vergleich zu den Konzentrationen im Anstrom der Halden vorgenommen. Zusätzlich wurden für die Beurteilung der dargestellten Parameter die in Tabelle 4-1 enthaltenen Schwellenwerte der GrwV und der LAWA herangezogen. Bedingt durch die hohen Hintergrundkonzentrationen können die Schwellenwerte für Arsen und Uran nicht zur Bewertung der hier erhobenen Daten herangezogen werden.

Im **anstromigen Grundwasser** konnten bisher in Bezug auf die untersuchten hydrochemischen Parameter Chlorid, Sulfat und Nitrat keine Überschreitungen der Schwellenwerte (s. Kapitel 4.1.2) festgestellt werden. Allerdings ist das anstromige, tiefere Grundwasser hinsichtlich der Parameter Arsen und Uran auffällig, was zu einer Überschreitung der Schwellenwerte für Arsen von 10 µg/l (GrwV) bzw. 3,2 µg/l (LAWA) und zu einer Überschreitung des Schwellenwertes für Uran von 10 µg/l führt. Nach gutachterlicher Meinung sind diese anstromigen Belastungen weder auf die Freisetzung durch die ehemalige Urananlage noch auf einen weiteren Schadensherd im Anstrom zurückzuführen, sondern können als geogen angenommen werden. Schwankungen von Messergebnissen im zeitlichen Verlauf des oberflächennahen Grundwasseranstrom (z.B. bei den Parametern Chlorid und Nitrat) können mit dem Einfluss des Steinaubachs erklärt werden.

Die **Haldengrundwässer** zeigen im Vergleich mit den geogenen, anstromigen Konzentrationen auffällige pH-Werte sowie auffällige Chlorid-, Sulfat-, Nitrat- und Urankonzentrationen. Die Arsenkonzentrationen in den Haldengrundwässern liegen in einigen Jahren ebenfalls über den Konzentrationen im Anstrom. Der Schwellenwert für Chlorid (250 mg/l) wurde in den Haldengrundwässern bisher nicht überschritten. Die Schwellenwerte für Sulfat (250 mg/l) und Nitrat (50 mg/l) wurden dagegen in der Vergangenheit unter den Halden überschritten. In der aktuellen Kampagne zeigen sich unter der Halde 2 ebenfalls Überschreitungen der beiden Schwellenwerte.

Im **Nahbereich** der ehemaligen Urananlage ist das Grundwasser durch auffällige Konzentrationen der untersuchten hydrochemischen Parameter gekennzeichnet. Insbesondere die Messstellen GWM 7 und GWM 10, die sich südöstlich der Halde 1 bzw. nördlich der Halde 2 befinden, sind durch hohe Konzentrationen umweltrelevanter Parameter gekennzeichnet. Es ist, mit Ausnahme der Parameter Arsen und Uran, eine Zunahme der Belastungen in abstromiger Richtung zu erkennen. Als Quellen für die Belastungen sind Freisetzungen aus den Halden sowie aus Betriebseinrichtungen beim ehemaligen Prozessgebäude anzusehen. Durch die im Jahr 1989 durchgeführten Sanierungsarbeiten kam es zu einer zeitlich begrenzten Schadstofffreisetzung, die in den meisten haldennahen Messstellen zunächst zu niedrigen pH-Werten sowie hohen Konzentrationen der untersuchten hydrochemischen Parameter führte. Vor allem die Sulfatkonzentrationen zeigen in den haldennahen Grundwassermessstellen einen deutlichen Einfluss, da in der Vergangenheit bei der Uranerzaufbereitung hochkonzentrierte Schwefelsäure verwendet worden ist. Der Schwellenwert für Chlorid (250 mg/l) wurde in den haldennahen Grundwässern bisher nicht überschritten. In Bezug auf Sulfat und Nitrat zeigten sich in der Vergangenheit in allen haldennahen Messstellen (außer Sulfat in GWM 25) Überschreitungen der entsprechenden Schwellenwerte von 250 mg/l (Sulfat) und 50 mg/l (Nitrat). In der aktuellen Kampagne sind in der GWM 10 noch Überschreitungen der Schwellenwerte für Sulfat und Nitrat vorhanden.

Im **Grundwasserabstrom** wurden vor allem im weiten bzw. tiefen Abstrom im Vergleich mit den anstromigen Messwerten Belastungen bei den Parametern Chlorid, Sulfat und Nitrat nachgewiesen. Die höheren Belastungen des weiten bzw. tiefen Grundwasserabstroms im Gegensatz zum nahen Abstrom können mit jetzigem Kenntnisstand nicht geklärt werden. Die Schwellenwerte werden im Abstrom der Halden in Bezug auf die Parameter Chlorid, Sulfat und Nitrat eingehalten.

Der Eintrag von belastetem Sickerwasser in den Steinaubach hat sich in den letzten Jahren so weit verringert, dass kein Einfluss über die hydrochemischen Parameter feststellbar ist. Die Belastung des oberflächennahen Grundwassers war bis 1997 deutlich durch die Wasserführung des Steinaubachs und seine Vorbelastung beeinflusst. Durch die hydrogeologische Situation werden die Grundwassermessstellen in der Nähe des Steinaubachs durch die Wasserstände des Vorfluters beeinflusst. Bei niedrigem Wasserstand erfolgt ein Grundwasserabstrom in Richtung Steinaubach, so dass mit höheren Konzentrationen für gelöste Inhaltsstoffe zu rechnen ist. Hohe Wasserstände des Steinaubachs dürften für die Grundwassermessstellen am Steinaubach Verdünnungseffekte durch den Zustrom von Oberflächenwasser und damit geringere Konzentrationen erbringen.

Mit der 1997 erfolgten Stilllegung der Kläranlage Birkenfeld und ihres Anschlusses an eine zentrale Kläranlage ist die Vorbelastung des Steinaubachs zurückgegangen. Die aktuellen Messwerte zeigen keine Auffälligkeiten.

Tabelle 4-3: Bewertung der Grundwasseranalysen Hydrochemie

Parameter	haldenanstromiges Grundwasser				Haldengrundwasser		haldennahes Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser			
	GWM 4B	GWM 4T	Hintergrund oberflächennah	Hintergrund tief	H 1T	H 2T	GWM 25	GWM 6	GWM 7	GWM 10	GWM 14F	GWM 23F	GWM 14T	GWM 23T
<b>pH-Wert [-]</b>														
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	5,3	7,7	5,6	7,5	6,1	6,2	6,7	6,6	6,0	5,1	7,3	7,0	7,9	7,9
MW <sup>2)</sup>	5,6	7,5			5,5	5,5	6,7	6,5	5,9	5,3	7,3	7,0	7,8	7,8
Anmerkung	kein Schwellenwert nach GrwV oder LAWA				2010	2010	#	#	1994		#	#	2003	2005
					mittlere pH-Werte zeigen geringen Einfluss der Halden		pH-Werte 2 zeigen Einfluss der Halde 2			pH-Werte zeigen keinen Einfluss der Halden				
<b>Chlorid [mg/l]</b>														
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	< 5,0	11,0	10,0	10,0	5,0	130,0	5,0	< 5,0	18,0	37,0	5,0	53,0	7,0	13,0
MW <sup>2)</sup>	6,9	8,9			11,1	100,2	8,0	16,2	37,5	50,0	6,3	34,2	7,9	14,6
Anmerkung	Schwellenwert nach GrwV und LAWA: 250 mg/l				2000 (#)	(#)	2004 (#)	2004 (#)	(#)	(#)	1993 (#)	(#)	1991 (#)	(#)
					Höhere Konzentrationen unter Halde 2		Zunahme der Konzentrationen in Abstromrichtung			Höhere Konzentrationen im weiten Abstrom				
<b>Sulfat [mg/l]</b>														
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	16,0	10,4	35,0	15,0	52,0	521	16,5	22,1	115	609	9,6	10,6	15,3	50,9
MW <sup>2)</sup>	31,5	11,4			225	1.155	42,6	134	331	469	12,2	12,5	16,3	56,3
Anmerkung	Schwellenwert nach GrwV und LAWA: 250 mg/l				(2004)		2007 (#)	2017 (1994)	(2023)		# (#)	1992 (#)	(#)	(#)
					Höhere Konzentrationen unter Halde 2		Zunahme der Konzentrationen in Abstromrichtung			Höhere Konzentrationen im tiefen Abstrom				
<b>Nitrat [mg/l]</b>														
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	6,1	3,2	10,0	3,0	5,9	15,9	1,0	< 0,2	2,4	63,4	3,6	0,4	3,5	22,5
MW <sup>2)</sup>	2,5	2,4			43,9	128	12,3	99,1	127	128	3,2	1,4	4,2	38,3
Anmerkung	Schwellenwert nach GrwV: 50 mg/l				2007 (1999)	(2011)	1999 (1997)	2003 (1999)	2011 (1996)		# (#)	2002 (#)	(#)	(2001)
					Höhere Konzentrationen unter Halde 2		Zunahme der Konzentrationen in Abstromrichtung			Höhere Konzentrationen im tiefen Abstrom				
<b>Arsen [µg/l]</b>														
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	0,9	42,0	*	*	0,92	1,5	8,3	1,2	15,0	0,8	38,0	11,0	67,0	28,0
MW <sup>2)</sup>	3,4	68,9			2,7	1,8	8,5	2,1	15,0	1,7	25,8	6,2	29,3	30,6
Anmerkung	Schwellenwert nach GrwV 10 µg/l und nach LAWA 3,2 µg/l nicht geeignet für eine Bewertung				Geringere mittlere Konzentrationen als im Anstrom		keine Zunahme der Konzentrationen in Abstromrichtung			Höhere Konzentrationen im tiefen Abstrom				

Uran [ $\mu\text{g/l}$ ]														
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	0,7	42	*	*	40	126	474	48	32	166	18	20	31	34
Anmerkung	<i>Schwellenwert angelehnt an TrinkwV 10 <math>\mu\text{g/l}</math> <b>nicht geeignet für eine Bewertung</b></i>				Höhere Konzentrationen unter Halde 2	keine Zunahme der Konzentrationen in Abstromrichtung					Höhere Konzentrationen im tiefen Abstrom			
Legende														
	in Bezug auf die Hintergrundkonzentration im Anstrom leicht auffällige pH-Werte bzw. Schadstoffkonzentrationen													
	in Bezug auf die Hintergrundkonzentration im Anstrom auffällige pH-Werte bzw. Schadstoffkonzentrationen.													
	In Bezug auf Uran auffälligen Schadstoffkonzentrationen													
	In <b>fetter Schrift</b> : Überschreitung der Schwellenwerte (s. Tabelle 4-1)													
	auffällige Schadstoffkonzentrationen vermutlich geogen bedingt (* Aufgrund der geogenen Hintergrundbelastungen können keine Hintergrundwerte festgelegt werden)													
1) Grundwasser: bezogen auf die Messwerte 2023 Haldengrundwasser H1T: bezogen auf die Messwerte 2017														
2) Grundwasser: bezogen auf die Mittelwerte repräsentativer Ergebnisse im Betrachtungszeitraum von 1989 – 2023 Haldengrundwasser H1T: bezogen auf die Mittelwerte repräsentativer Ergebnisse im Betrachtungszeitraum von 1989 – 2017														
Anmerkungen:														
#	Bisher waren alle plausiblen Messwerte größer als die pH-Werte bzw. kleiner als die Schadstoffkonzentrationen des Hintergrundes.													
(#)	Bisher waren alle plausiblen Messwerte kleiner als die Schwellenwerte gem. Tabelle 4-1.													
Zahlenwert	Durch den positiven Trend werden ab dem angegebenen Jahr die pH-Werte bzw. Schadstoffkonzentrationen des Hintergrundes ausnahmslos erreicht bzw. überschritten (pH-Werte) oder unterschritten (Schadstoffkonzentrationen).													
(Zahlenwert)	Durch den positiven Trend werden ab dem angegebenen Jahr die Schwellenwerte gem. Tabelle 4-1 erreicht bzw. unterschritten.													

Zur Analyse des langfristigen zeitlichen Verlaufs der Konzentrationen werden in Tabelle 4-4 die Trends zusammenfassend dargestellt. Als Verfahren zur Trendanalyse wird die Auswertemethode nach Mann-Kendall gewählt (s. Kapitel 4.1.3). Die Ergebnisse der Berechnungen nach dieser Methode sind in Anhang 5.1 im Einzelnen dargestellt. Analysenergebnisse, die unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden bei der Analyse nicht beachtet.

Im zeitlichen Verlauf weisen die Zeitreihen der untersuchten hydrochemischen Parameter im oberflächennahen, haldennahen Grundwasser infolge der Sanierungsarbeiten sowie der Abdeckung der Halden im Wesentlichen einen rückläufigen Trend auf, der z.T. bereits zu unauffälligen Stoffkonzentrationen führte. Zum Teil wurde die regressive Belastungssituation des Grundwassers im Nahbereich der Halden durch die infolge der Sanierung des Prozessgebäudes im Jahr 1998 zeitlich begrenzte Erhöhung der Stoffkonzentrationen unterbrochen.

Der zeitliche Verlauf der hydrochemischen Parameter im oberflächennahen Grundwasser kann mit Hilfe der Belastungssituation der Grundwässer unter den Halden evaluiert werden. Die Haldengrundwässer können im Betrachtungszeitraum im zeitlichen Verlauf hauptsächlich durch einen Anstieg der

pH-Werte sowie einen Abfall der Schadstoffkonzentrationen charakterisiert werden, deren Gang durch die im Jahr 1998 durchgeführte Sanierung des Prozessgebäudes geprägt ist.

Im Abstrom der Urananlage lässt sich bisher kein einheitlicher Trend in der Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen erkennen.

Insgesamt lassen die Untersuchungsergebnisse der hydrochemischen Parameter eine Verbesserung der Wasserbeschaffenheit erkennen, die sich vor allem im Bereich der Belastungsschwerpunkte (Halden und Nahbereich der Halden) als ein Rückgang der Konzentrationen von Sulfat und Nitrat und z.T. Chlorid (Nahbereich der Halden) darstellt. In Teilbereichen des Untersuchungsgebietes liegen die Stoffkonzentrationen bereits in der Größenordnung des geogenen Hintergrundes. Zum Teil sind jedoch die Hintergrundkonzentrationen noch nicht erreicht und die Belastung liegt trotz der rückläufigen Werte noch auf einem erhöhten Niveau.

Tabelle 4-4: Trendbewertung der Grundwasseranalysen Hydrochemie

Parameter	haldenanstromiges Grundwasser		Haldengrundwasser		haldennahes Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser			
	GWM 4B	GWM 4T	H 1T	H 2T	GWM 25	GWM 6	GWM 7	GWM 10	GWM 14F	GWM 23F	GWM 14T	GWM 23T
<b>pH-Wert</b>												
Trend	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+
Signifikanz	*		*	***		*	***		+		*	+
<b>Chlorid</b>												
Trend	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
Signifikanz		***	***	***	**	***	**			***	+	
<b>Sulfat</b>												
Trend	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
Signifikanz	***	+	***	***	***	***	***	*		**		**
<b>Nitrat</b>												
Trend	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Signifikanz	*	**	***	***	***	***	***					***
<b>Arsen</b>												
Trend	-	-	k.A.	k.A.	+	-	+	-	-	+	+	-
Signifikanz					***		***	*		***	***	
Legende	Trend											
	+	Die pH-Werte und Schadstoffkonzentrationen steigen in der zeitlichen Entwicklung an.										
	-	Die pH-Werte und Schadstoffkonzentrationen fallen in der zeitlichen Entwicklung ab.										
	k.A.	Für eine Trendbewertung liegen zu wenig Analysenergebnisse oberhalb der Bestimmungsgrenze vor										
	Signifikanz (bei fallenden Schadstoffkonzentrationen grüne Signatur, bei steigenden Schadstoffkonzentrationen gelbe – rote Signatur)											
			Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei < 90 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: <90 %)									
+	+	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 90 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >90 %)										
*	*	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 95 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >95 %)										
**	**	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 99 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >99 %)										
***	***	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 99,9 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >99,9%)										

### 4.3 Untersuchungsergebnisse Radionuklide

#### 4.3.1 Gesamtübersicht

In Abbildung 4-26 bis Abbildung 4-30 sind die Daten der Radionuklidmessungen (Tritium, U-238, Ra-226, Pb-210 und Np-237) des gesamten Monitoringprogramms (ohne Haldenmessstellen) in Diagrammen dargestellt. Die Messstellen sind in den folgenden Abbildungen so aufgetragen, dass sie von links nach rechts den Grundwasserzustrom zur Urananlage (beginnend bei Messstelle GWM 4) bis zum Grundwasserabstrom von der Urananlage und seiner Halden (Messstelle GWM 21) darstellen. Die Ergebnisse der 2023 untersuchten Messstellen werden in den Kapiteln 4.3.2 bis 4.3.10 nochmals im Detail dargestellt und diskutiert.

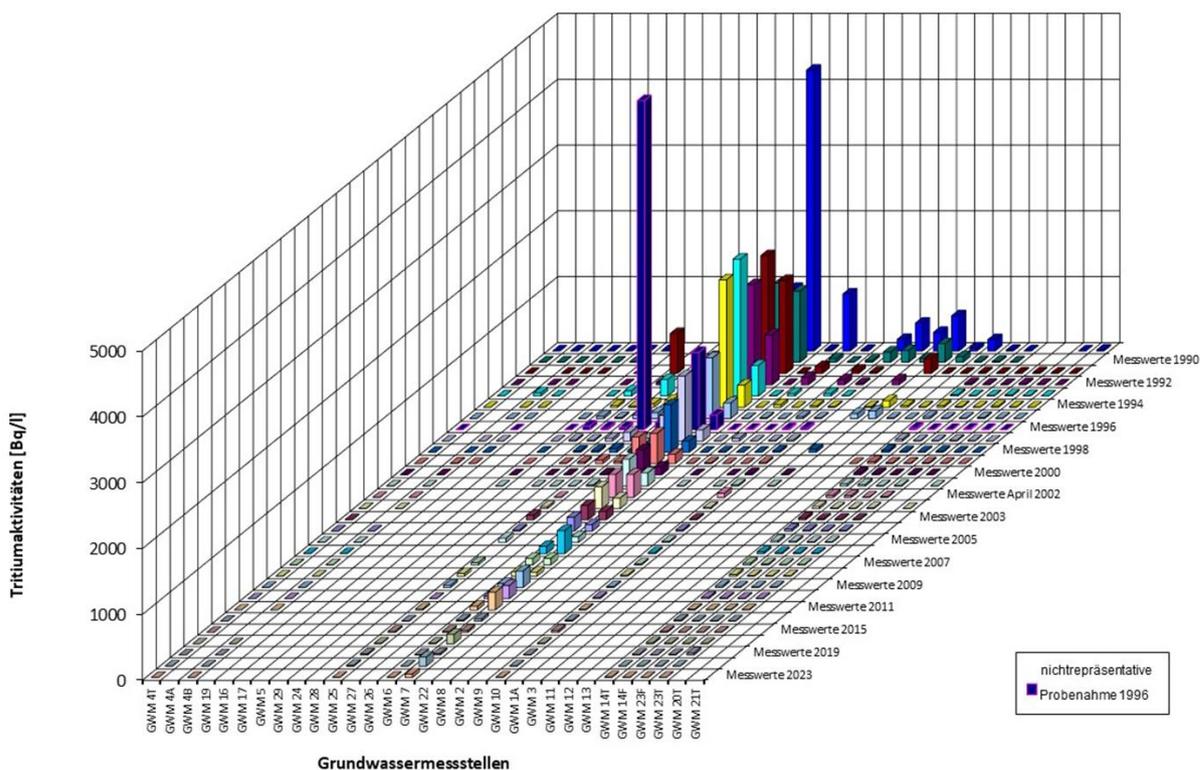


Abbildung 4-26: Tritiumaktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler

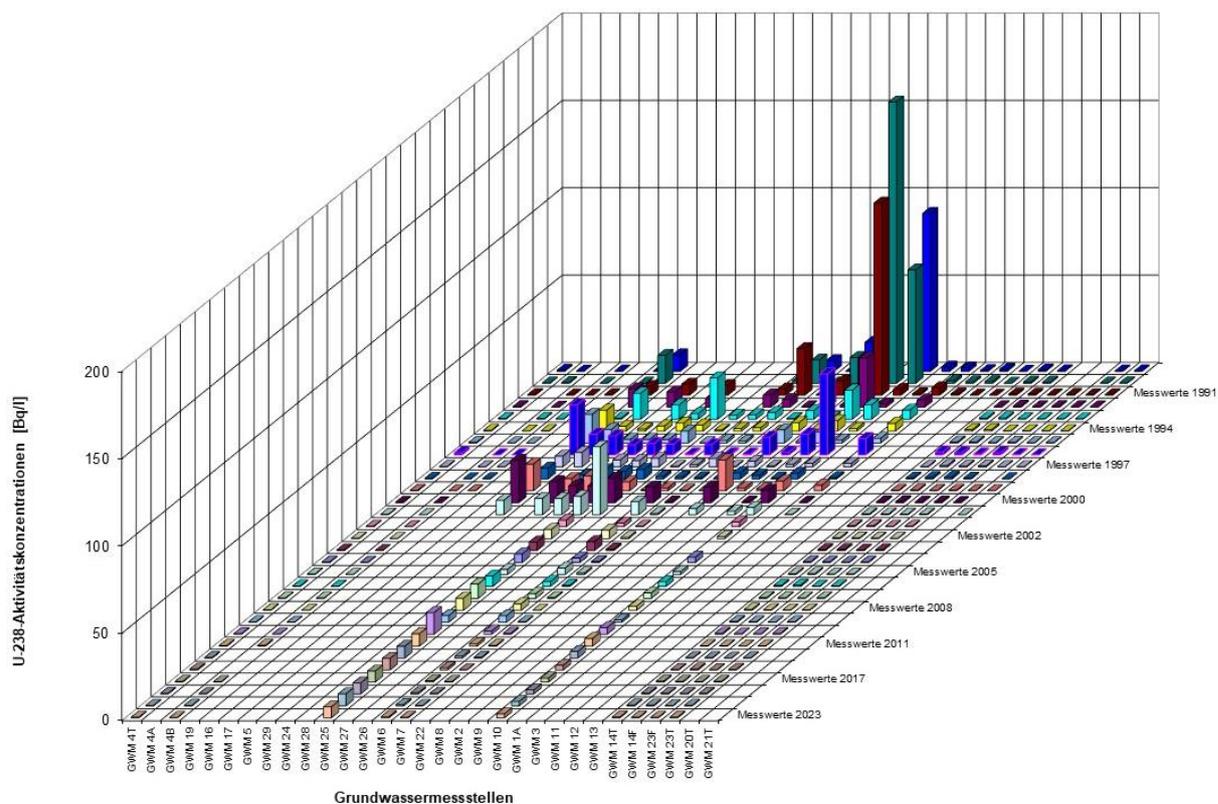


Abbildung 4-27: U-238-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler

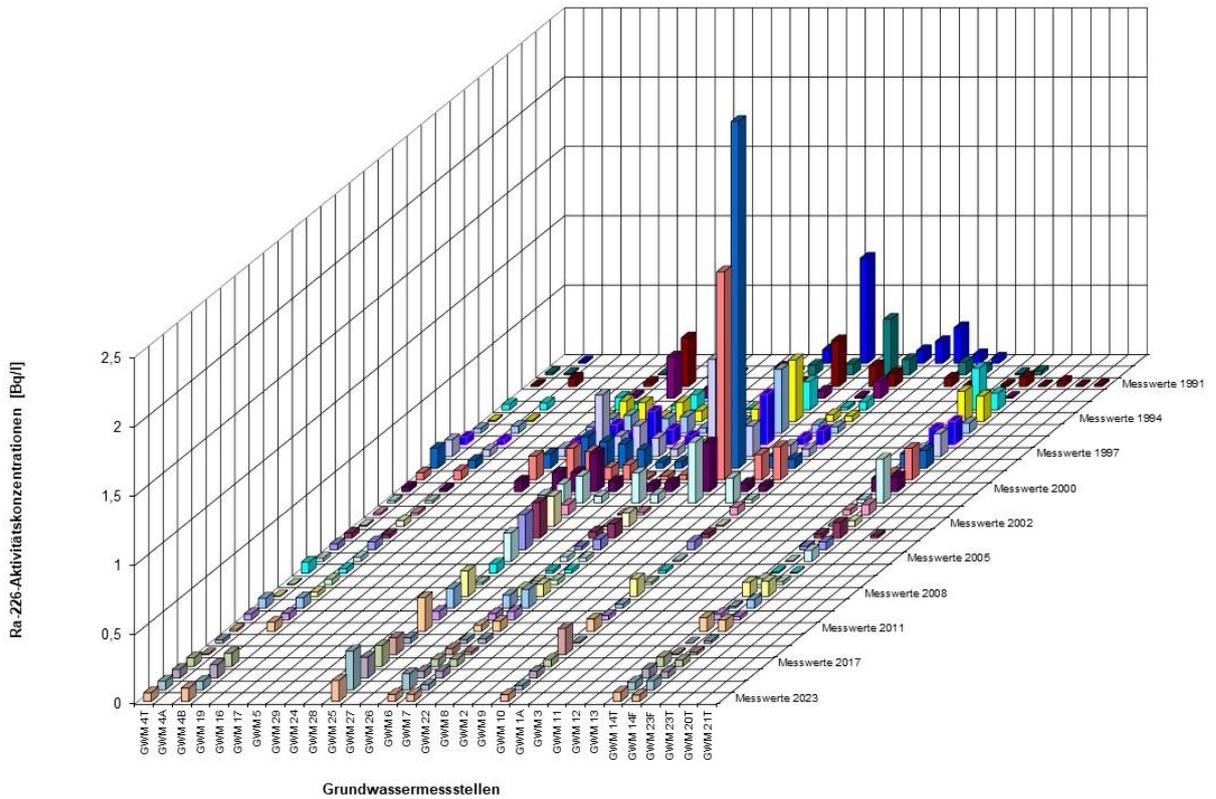


Abbildung 4-28: Ra-226-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler

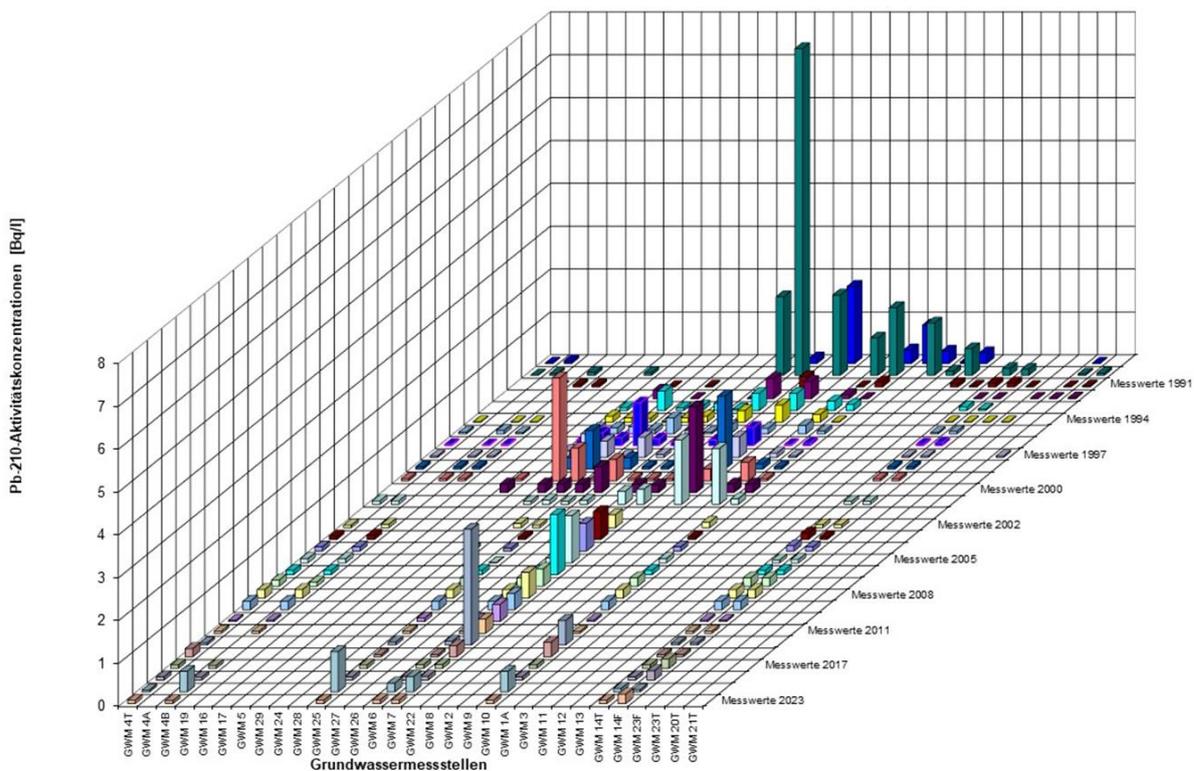


Abbildung 4-29: Pb-210-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler

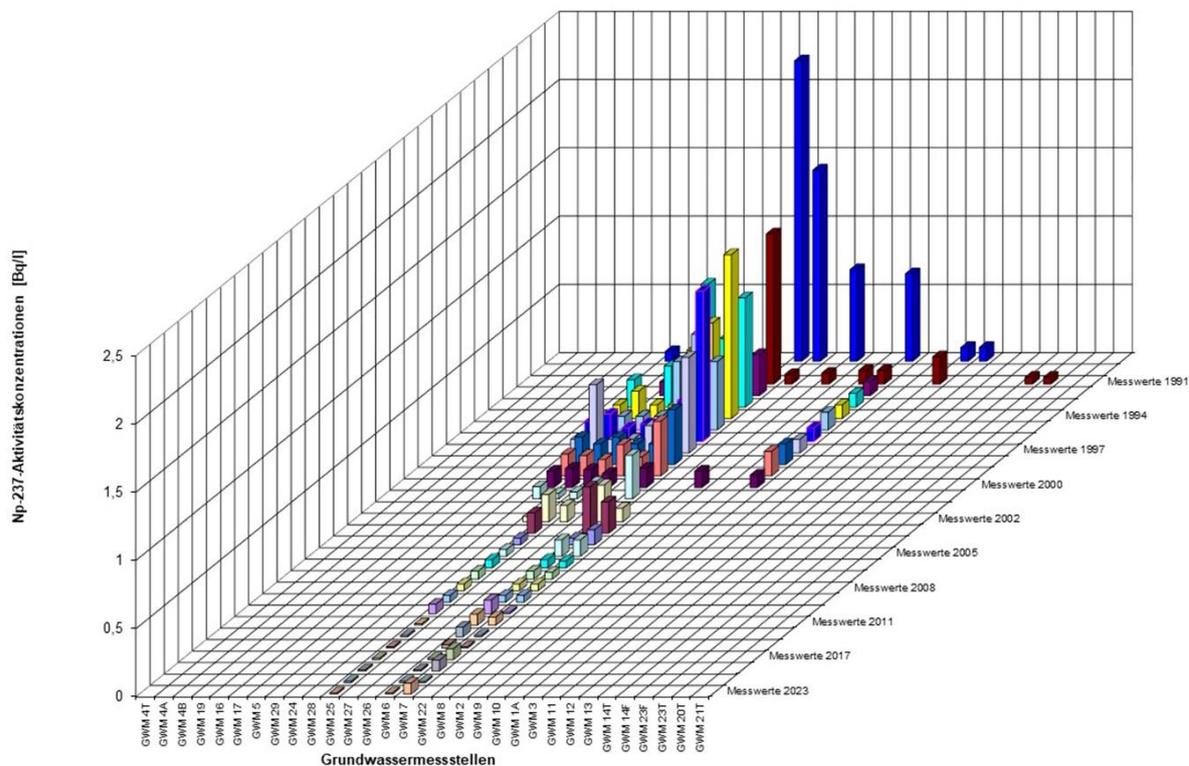


Abbildung 4-30: Np-237-Aktivitäten im Grundwasser im Bereich der Messstellen Ellweiler

### 4.3.2 Tritium

Tritium (H-3), ein kosmogenes Radionuklid mit einer aktuellen Aktivitätskonzentration im Niederschlag von 0,5 bis 1,5 Bq/l (5 - 15 TU) [8], bewegt sich im Untergrund als Wassermolekül. Bei lokalen Einträgen über dem natürlichen Niveau kann Tritium als idealer Tracer der Wasserbewegung mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren angesehen werden. Die Verteilung des Tritiums im Grundwasser gibt Auskunft über die Ausbreitungsmöglichkeiten und über die Verdünnung von freigesetzten Schadstoffen durch Dispersion. Insofern ermöglichen Tritiummesswerte auch Rückschlüsse auf das Verhalten von Schadstoffen, die größeren Sorptionsvorgängen unterliegen.

Im Weiteren werden Tritiumaktivitäten im Grundwasser über 1 Bq/l als „auffällig“ eingestuft, da solche Werte bei jungen Wässern im hier zu bewertenden Zeitraum lokale Einträge technogener Tritiums anzeigen. Auch die Tritium-Aktivitätskonzentration der TrinkwV von 100 Bq/l wird als Schwellenwert zur Bewertung herangezogen (s. Kapitel 4.1.2).

In der Abbildung 4-31 sind die Tritiumaktivitäten im anstromigen Grundwasser für den Zeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt. Die maximale Aktivitätskonzentration wurde im oberflächennahen Grundwasser mit 47,0 Bq/l (1993) und im Tiefenwasser mit 3,6 Bq/l (1990) nachgewiesen. Der Messwert von 47,0 Bq/l erscheint im Vergleich mit den weiteren Analyseergebnissen im oberflächennahen Grundwasser nicht plausibel, da die nächsthöhere Tritiumaktivität mit lediglich 8,0 Bq/l (1999) festgestellt wurde. Dieser Wert und auch der Wert aus dem Jahr 1996 wurden aus den weiteren

Auswertungen ausgeschlossen. In der GWM 4B lag die kleinste Tritiumkonzentration bei 0,42 Bq/l (2021) und in der GWM 4T bei 0,04 Bq/l (2011). Im Mittel wurden im flachen anstromigen Grundwasser Tritiumaktivitäten von 2,4 Bq/l und im tiefen Grundwasser von 1,6 Bq/l nachgewiesen. Diese Werte sind höher als die Tritiumaktivität junger Grundwässer mit etwa 1 Bq/l und können als geogen bedingt eingestuft werden.

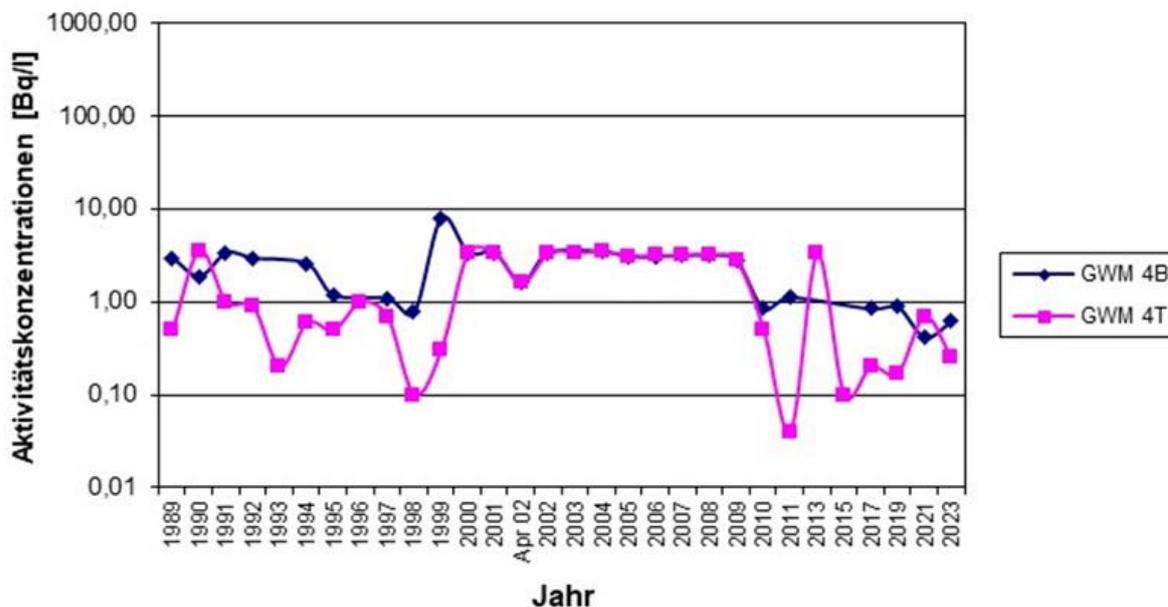


Abbildung 4-31: Zeitreihen der Tritiumaktivität im haldenanstromigen Grundwasser

Im oberflächennahen Grundwasseranstrom ist ein sehr leicht fallender Trend in der zeitlichen Entwicklung der Tritiumaktivitäten festzustellen. Im tieferen Grundwasseranstrom zeigt sich kein Trend. Bis in das Jahr 2000 und seit dem Jahr 2010 (GWM 4T) schwanken die Messwerte im anstromigen Grundwasser stark. Soweit Messwerte über den Bestimmungsgrenzen ausgewiesen wurden, lagen sie im oberflächennahen Grundwasser meist über denen im tiefen Grundwasser bzw. zeigen die gleichen Werte.

Die Abbildung 4-32 zeigt die Messwerte der Haldengrundwässer im Zeitraum von 1989 bis 2023. Die Messwerte im Grundwasser der Halde 1 sind mit einem Maximum von 1.095 Bq/l und einem Mittelwerte von 199 Bq/l höher als die Tritium-Konzentrationen im Grundwasser der Halde 2 mit einem Maximum von 25,9 Bq/l und einem Mittelwert von 11,8 Bq/l. In fast allen Messkampagnen wird der Beurteilungswert von 1 Bq/l überschritten. Die Tritium-Konzentrationen der Haldengrundwässer sind deutlich höher als die Anstromkonzentrationen.

Die in der Abbildung 4-32 dargestellte, über ca. zweieinhalb Halbwertszeiten von Tritium, reichende Zeitreihe weist in der Messstelle H 2T einen Verlauf auf, wie er dem radioaktiven Zerfall eines durch die Austräge nicht wesentlich reduzierten (immobilen) Tritiuminventars in Halde 2 entspricht. Im Unterschied dazu nahmen die Messwerte unter der Halde 1 deutlich schneller ab als es allein durch radioaktiven Zerfall zu erwarten war (Kurve H 1T(Zerfall)). Die in Abbildung 4-32 dargestellte Kurve H 1T(Zerf+Ausw) modelliert eine Abnahme der Tritiuminventars durch Auswaschung und Zerfall mit

einer effektiven Halbwertszeit von ca. 2,3 Jahren und fittet die Messwerte gut an. Die abnehmenden Trends in der zeitlichen Entwicklung der Tritiumkonzentrationen sind in beiden Messstellen sehr deutlich.

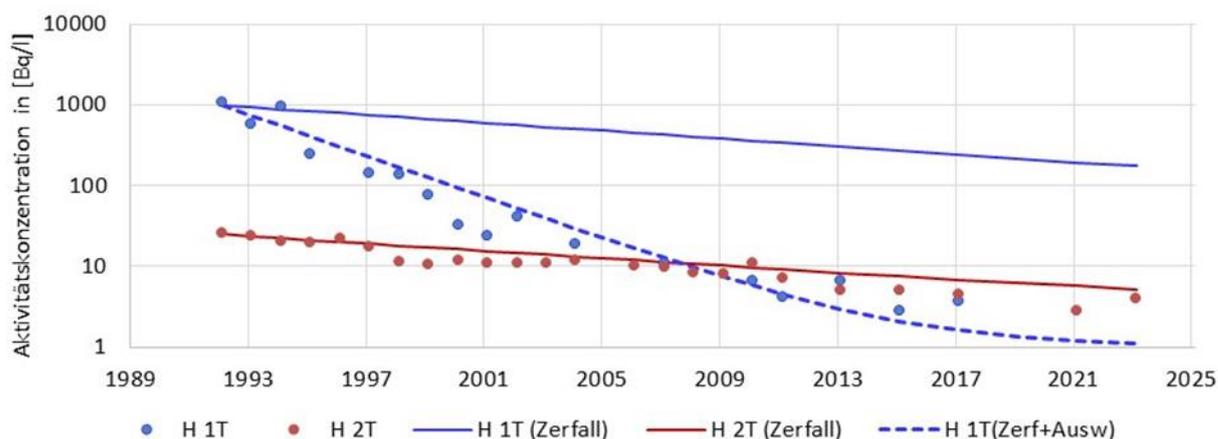


Abbildung 4-32: Zeitreihen der Tritiumaktivitäten im Haldengrundwasser sowie Kurvenverläufe für die Abnahme der Konzentration durch radioaktiven Zerfall „(Zerfall)“ bzw. durch Zerfall und Auswaschung „(Zerf+Ausw)“

Die Abbildung 4-33 zeigt die Tritiumaktivitäten im haldennahen Grundwasser im Zeitraum von 1989 bis 2023. In der GWM 6, die den südwestlichen Bereich der Halde 1 charakterisiert, zeigt die Tritiumkonzentration seit 1990 einen sehr deutlichen Konzentrationsabfall mit einer effektiven Halbwertszeit von ca. 3,7 Jahren. Diese effektive Halbwertszeit ist im Rahmen der Unsicherheiten als ähnlich der des Haldengrundwassers H 1T zu charakterisieren. Die südöstlich der Halde 1 gelegene GWM 7 zeigte von 1990 bis ca. 2000 ebenfalls einen sehr deutlichen Rückgang der Tritiumkonzentration mit einer effektiven Halbwertszeit von nur etwa 1,2 Jahren. Seit ca. 2000 ist die Tritiumkonzentration allerdings relativ stabil. In beiden Messstellen zeigen sich Tritiumaktivitäten über dem natürlichen Konzentrationsniveau.

In der Messstelle GWM 25, die den nahen Anstrom der Halde 1 charakterisiert, nahmen die Tritiumaktivitäten von 1988 bis ca. 2000 mit einer effektiven Halbwertszeit von 2,5 Jahren ab und sind seitdem relativ stabil. Die Messstelle GWM 10, die sich nördlich der Halde 2 befindet, hatte im Jahr 1989 noch eine Tritiumaktivität von 176 Bq/l, fiel dann aber bis Mitte der 1990er Jahre auf etwa 10 Bq/l ab (Minimum von 4,7 Bq/l in 1993). Die Messwerte können durch eine Kurve, die ausschließlich einen radioaktiven Zerfall berücksichtigt, hinreichend angenähert werden. Auch in diesen Messstellen liegen die Tritiumkonzentrationen über dem natürlichen Konzentrationsniveau.

Die zuvor beschriebenen Trends sind zum Teil deutlich stärker ausgeprägt als es dem radioaktiven Zerfall von Tritium entspricht. Sie zeigen, dass es durch Zustrom und Versickerung von (tritiumarmen) Wasser zu einer Verdünnung und Verfrachtung der tritiumbelasteten Wässer im haldennahen Bereich kommt. Weiterhin zeigt sich, dass die mittleren Tritiumaktivitäten der Grundwässer nahe der Halde 2 geringer sind als bei der Halde 1.

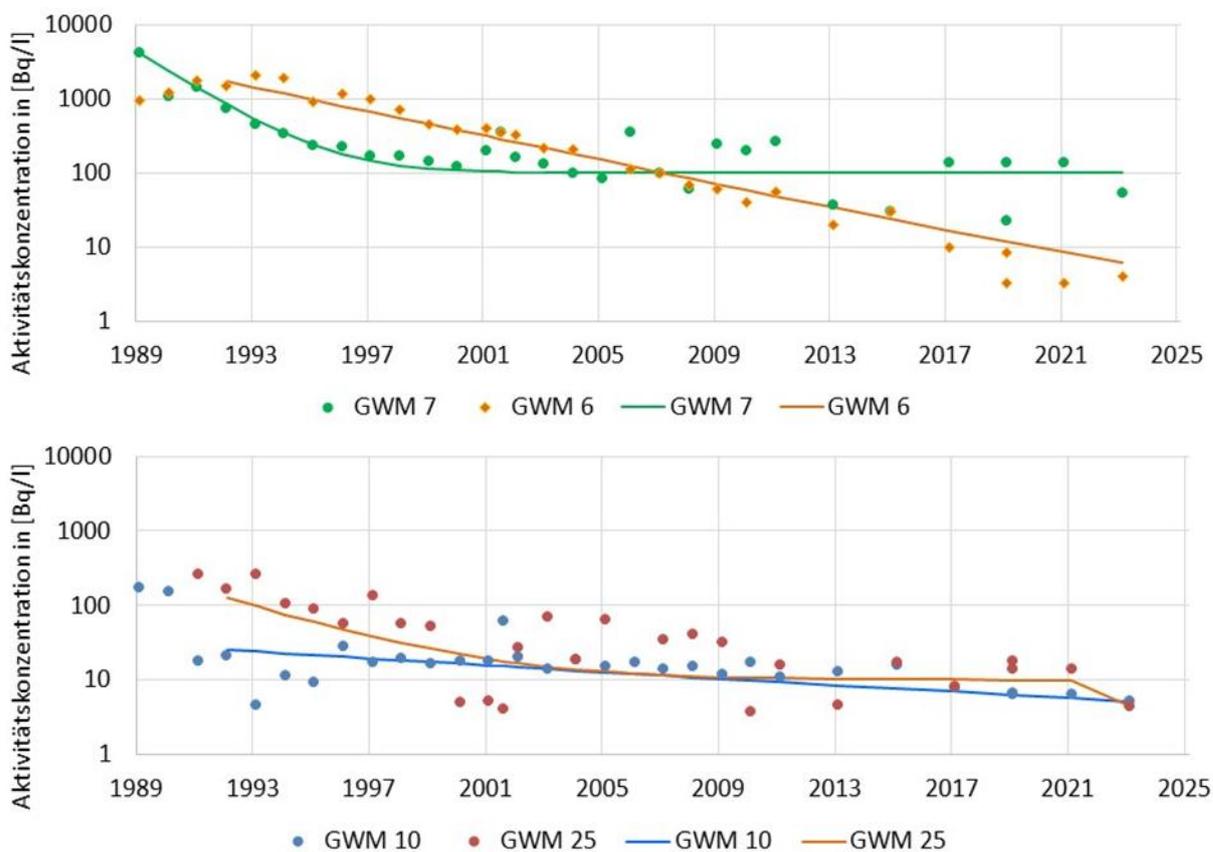


Abbildung 4-33: Zeitreihen der Tritiumaktivitäten im haldennahen Grundwasser. Punkte - Messwerte; Linie – Modellkurven

Die bisherigen Messbefunde, auch die der Minima, liegen im haldennahen Grundwasser über der natürlichen Aktivitätskonzentration von 1 Bq/l und über den anstromigen Tritiumaktivitäten.

Die zeitliche Entwicklung der Tritiumaktivitäten im Grundwasserabstrom ist in Abbildung 4-34 dargestellt. Es ist festzustellen, dass alle Aktivitätskonzentrationen im Abstrom über den Aktivitäten junger natürlicher Wässer und über den Aktivitätskonzentrationen im Anstrom liegen. Im Vergleich zu den haldennahen Wässern mit mittleren Aktivitäten zwischen 58,8 Bq/l bis 557 Bq/l (ohne GWM 10) sind die mittleren Tritiumaktivitäten von 10,7 Bq/l (GWM 14F), 22,3 Bq/l (GWM 14T), 7,6 Bq/l (GWM 23F) und 11,4 Bq/l (GWM 23T) etwa eine Größenordnung kleiner. In den tieferen Wässern sind die Tritiumaktivitäten im Mittel höher als in den flachen Wässern des Abstromes.

Markant ist in Abbildung 4-34 vor allem der bis ca. 2002 langsam ansteigende Verlauf in GWM 14T, der danach ähnlich langsam zurückgeht. Das in GWM 14F beprobte flachere Grundwasser zeigt - bei beträchtlichen jährlichen Schwankungen - einen sehr ähnlichen Verlauf. Über den gesamten Betrachtungszeitraum ist in den Messstellen GWM 14F und GWM 14T der Durchgang eines (breiten) Peaks der Tritiumaktivitäten zu erkennen. In der abstromigen Messstelle GWM 23F, die das oberflächennahe Wasser erfasst, deutet sich ein grundsätzlich ähnlicher Trend der Aktivitätskonzentrationen an, der allerdings erst seit 2006 in einen fallenden Trend übergeht. In der GWM 23T, die den weiten, tiefen

Abstrom erfasst, gehen die Tritiumaktivitäten im Betrachtungszeitraum sehr deutlich zurück. In der GWM 23T war der Messwert im Jahr 2019 höher als in den anderen Jahren.

Insgesamt zeigt die zeitliche Entwicklung der Aktivitätskonzentrationen in der Messstelle GWM 23T seit Beginn der Beobachtung im Jahr 1992 eine stetig fallende Tendenz, wobei sich der Messwert 2019 als Ausreißer darstellt. In den anderen Abstrommessstellen deutet sich der Durchgang einer „Wolke“ mit einem Maximum im Zeitraum zwischen 2000 und 2010 und einer seitdem fallenden Tendenz in der zeitlichen Entwicklung an.

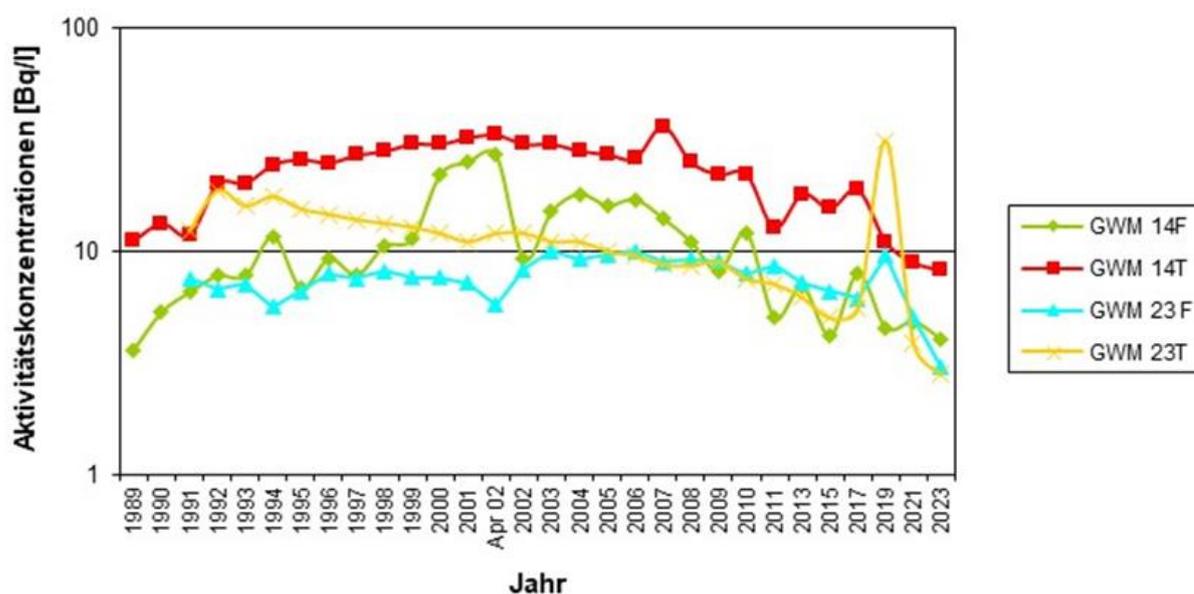


Abbildung 4-34: Zeitreihen der Tritiumaktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser

In der Tabelle 4-5 sind die in den vergangenen Jahren am Standort der Urananlage Ellweiler gemessenen Tritiumaktivitäten zusammengefasst. Die Werte, die den Tritiumindikatorwert von 100 Bq/l überschreiten, sind zur besseren Lesbarkeit hervorgehoben.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass im Betrachtungszeitraum im Grundwasseranstrom, Grundwasserabstrom und im Grundwasser unter der Halde 2 der Indikatorwert für die Tritiumaktivitäten von 100 Bq/l ausnahmslos eingehalten wird. In der GWM 10, die das nördliche Areal der Halde 2 charakterisiert, wird der Indikatorwert seit 1991 unterschritten. Im nahen Anstrom der Halde 1 (GWM 25) und unter der Halde 1 unterschreiten die Tritiumaktivitäten seit 1998 bzw. 1999 den Tritiumindikatorwert. Seit 2007 wird südwestlich der Halde 1 (GWM 6) der Tritiumindikatorwert ebenfalls unterschritten. In der GWM 7, südöstlich der Halde 1, wird der Indikatorwert bis zum Jahr 2021 überschritten.

# Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz

## Gutachten zum Langzeitverhalten der Halden der Urananlage Ellweiler, Probenahme Oktober 2023

Tabelle 4-5: Bewertung des Grundwassers in Bezug auf den Tritiumindikatorwert

Jahr	Haldenanstromiges Grundwasser		Haldengrundwasser		haldennahes Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser			
	GWM 4B [Bq/l]	GWM 4T [Bq/l]	H 1T [Bq/l]	H 2T [Bq/l]	GWM 25 [Bq/l]	GWM 6 [Bq/l]	GWM 7 [Bq/l]	GWM 10 [Bq/l]	GWM 14F [Bq/l]	GWM 23F [Bq/l]	GWM 14T [Bq/l]	GWM 23T [Bq/l]
1989	3,0	0,5				<b>951,0</b>	<b>4265,0</b>	<b>176,0</b>	3,6		11,2	
1990	1,9	3,6				<b>1204,0</b>	<b>1080,0</b>	<b>155,0</b>	5,3		13,3	
1991	3,4	1,0			<b>258,0</b>	<b>1790,0</b>	<b>1413,0</b>	17,9	6,5	7,5	11,8	12,3
1992	3,0	0,9	<b>1095,0</b>	25,9	<b>166,0</b>	<b>1520,0</b>	<b>758,0</b>	21,0	7,7	6,7	19,9	18,6
1993	*	0,2	<b>582,0</b>	24,2	<b>260,1</b>	<b>2079,0</b>	<b>463,3</b>	4,70	7,7	7,1	20,1	15,9
1994	2,6	0,6	<b>957,0</b>	20,2	<b>104,0</b>	<b>1936,0</b>	<b>337,0</b>	11,4	11,6	5,6	24,3	17,5
1995	1,2	0,5	<b>244,0</b>	19,5	90,1	<b>922,0</b>	<b>237,0</b>	9,20	6,8	6,6	25,6	15,4
1996	*	1,0		22,1	57,0	<b>1177,0</b>	<b>225,0</b>	28,0	9,2	7,9	24,8	14,6
1997	1,1	0,7	<b>143,0</b>	17,4	<b>133,0</b>	<b>988,0</b>	<b>170,0</b>	17,5	7,8	7,5	26,8	13,8
1998	0,8	0,1	<b>137,0</b>	11,4	57,9	<b>722,0</b>	<b>171,0</b>	19,8	10,5	8,1	27,9	13,3
1999	8,0	0,3	76,20	10,7	52,6	<b>460,0</b>	<b>142,0</b>	16,3	11,3	7,6	30,0	12,8
2000	3,4	3,4	33,0	12,0	5,1	<b>380,0</b>	<b>120,0</b>	18,0	22,0	7,6	30,0	12,0
2001	3,4	3,4	24,0	11,0	5,3	<b>410,0</b>	<b>200,0</b>	18,0	25,0	7,2	32,0	11,0
2002	1,6	1,6			4,0	<b>350,0</b>	<b>350,0</b>	63,0	27,0	5,7	33,0	12,0
04/2002	3,4	3,4	42,0	11,0	27,0	<b>330,0</b>	<b>160,0</b>	20,0	9,2	8,3	30,0	12,0
2003		3,4		11,0	70,0	<b>220,0</b>	<b>130,0</b>	14,0	15,0	10,0	30,0	11,0
2004	3,5	3,5	19,0	12,0	19,0	<b>210,0</b>	<b>100,0</b>	19,0	18,0	9,2	28,0	11,0
2005	3,1	3,1			64,0		85,0	15,0	16,0	9,6	27,0	10,0
2006	3,1	3,2		10,0		<b>110,0</b>	<b>350,0</b>	17,0	17,0	10,0	26,0	9,50
2007	< 3,2	< 3,2	11,0	9,8	35,0	97,0	98,0	14,0	14,0	8,9	36,0	8,70
2008	< 3,2	< 3,2		8,5	41,0	67,0	60,0	15,0	11,0	9,2	25,0	8,60
2009	< 2,8	< 2,8		8,0	32,0	60,0	<b>250,0</b>	12,0	8,1	9,0	22,0	8,90
2010	0,9	0,5	6,6	11,0	3,7	40,0	<b>200,0</b>	17,0	12,0	7,9	22,0	7,48
2011	1,1	0,1	4,1	7,20	16,0	55,0	<b>270,0</b>	11,0	5,0	8,6	12,70	7,12
2013	*	< 3,3	6,5	5,10	4,7	20,0	37,0	13,0	6,9	7,2	18,0	6,20
2015	*	0,1	2,8	5,0	17,0	16,0	30,0	9,0	4,2	6,6	15,51	5,02
2017	0,9	0,2	3,7	4,4	8,3	10,0	<b>140,0</b>	7,9	7,9	6,1	18,8	5,5
2019	0,9	0,2			18,0	8,3	22,0	6,8	4,5	9,6	11,0	31,0

2021	0,4	0,7	2,8		14,0	3,3	<b>140,0</b>	6,4	4,8	5,0	8,9	3,8
2023	0,6	0,3		< 4,0	4,5	< 3,9	54,0	5,2	< 4,0	3,0	8,2	2,8

\* unplausibler Messwert

Insgesamt zeigt sich, dass vor allem im Haldengrundwasser der Halde 1 sowie im Nahbereich der Halde 1 in den vergangenen Jahren vielfach Tritiumaktivitätskonzentrationen von mehr als 100 Bq/l vorkamen.

In den Haldenmessstellen, den haldennahen Messstellen und den abstromigen Messstellen ist die Tritiumaktivität im Grundwasser deutlich höher als es der aktuellen Tritiumaktivität junger Grundwässer, die im Jahresmittel unter 1 Bq/l liegen, entspricht. Die Aktivitäten liegen ebenfalls über den Aktivitäten des Anstromes. Ein technogener Einfluss ist daher vorhanden. Allerdings liegen auch im Anstrom die Tritiumaktivitäten vielfach deutlich höher, als es aufgrund natürlicher Einträge zu erwarten ist.

#### **4.3.3 Uran-238**

Bei dem Radionuklid U-238 handelt es sich um ein Nuklid, das geogen in der Umwelt vorhanden ist. U-238 gehört zur Uran-Radium-Reihe und hat eine Halbwertszeit von  $4,5 \cdot 10^9$  Jahren.

Die Abbildung 4-35 zeigt die U-238-Aktivitäten im anstromigen Grundwasser für den Betrachtungszeitraum 1989 bis 2023. Nicht repräsentativ ist der Wert für die Messstelle GWM 4T im Jahre 1996, bei der es Probleme bei der Probenahme gab. Der Messwert wird aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Es lässt sich im oberflächennahen Grundwasser (GWM 4B) eine mittlere U-238-Aktivität von 0,2 Bq/l und im tieferen Grundwasser (GWM 4T) eine mittlere Belastung von 0,3 Bq/l nachweisen. Somit liegt die mittlere U-238-Aktivität im tiefen Anstrom über den Werten des flachen Anstromes. Die U-238-Aktivitäten des oberflächennahen Anstromes (GWM 4B) weisen mit einem Minimum von 0,02 Bq/l (2003) und einem Maximum von 0,5 Bq/l (2011) mittlere Schwankungen auf. Es ist ein leicht steigender Trend in der zeitlichen Entwicklung der U-238-Aktivitäten feststellbar. Die Messwerte der GWM 4T zeigen mit einem Minimum von 0,2 Bq/l (1990) und einem Maximum von 0,6 Bq/l (1989) geringere Schwankungen. Nach einer längeren Phase mit stabilen Konzentrationen von etwa 0,15 Bq/l nehmen seit 2009 die Konzentrationen zu. Die Ursache ist derzeit nicht klar ausweisbar. Ein Trend in der zeitlichen Entwicklung der U-238-Aktivitäten im tiefen Grundwasseranstrom über den gesamten Betrachtungszeitraum ist nicht festzustellen.

Aufgrund der U-238-Aktivitäten im Grundwasserzustrom kann davon ausgegangen werden, dass ein Einfluss auf das Grundwasser durch Freisetzungen aus der Urananlage dann gegeben ist, wenn signifikante Überschreitungen von 0,6 Bq/l (bisher höchster Wert) festgestellt werden. Dieser Wert liegt höher als der Schwellenwert von 10 µg/l Uran (= 0,12 Bq/l U-238), der durch den Beschluss des Bundesrates vom Dezember 2010 in die TrinkwV aufgenommen wurde. Da davon auszugehen ist, dass die leicht erhöhten U-238-Aktivitäten am Standort geogen bedingt sind, wird dieser Schwellenwert im Folgenden nicht als Maßstab zur Bewertung des Grundwassers herangezogen.

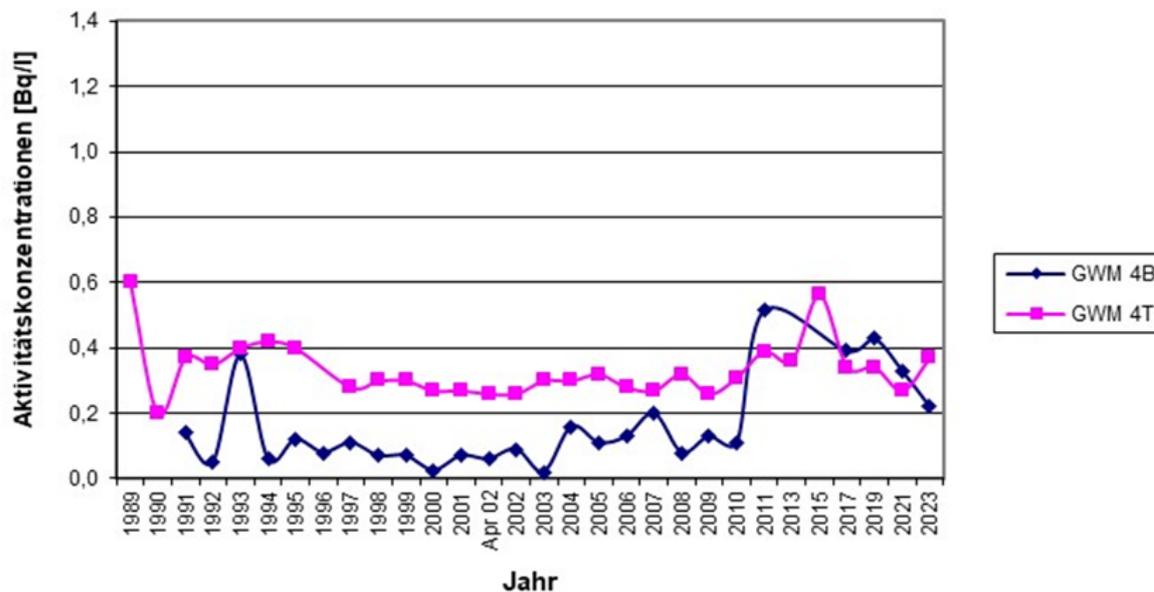


Abbildung 4-35: Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im haldenanstromigen Grundwasser

Die Abbildung 4-36 zeigt die U-238-Aktivitäten im Grundwasser unter der Halde 1 (H 1T) und der Halde 2 (H 2T). Unter der Halde 1 ließen sich Aktivitäten zwischen 0,3 Bq/l (2015) und 33,0 Bq/l (1996) mit einem Mittelwert von 7,4 Bq/l ermitteln. Unter der Halde 2 wurden bisher U-238-Werte zwischen 0,2 Bq/l (2015) und 25,4 Bq/l (2001) mit einem Mittelwert von 10,1 Bq/l festgestellt. Die Messwerte, die z.T. deutlich über den Anstromaktivitäten liegen, bestätigen, dass vor allem aus der Halde 2 Uran in das Grundwasser eingetragen wurde und immer noch eingetragen wird.

Im zeitlichen Verlauf zeigen sich im Haldengrundwasser starke Aktivitätsschwankungen. Es lässt sich an der Messstelle H 1T ein sehr deutlicher Rückgang der Belastungswerte feststellen. In der seit dem Jahr 2000 stärker belasteten Messstelle H 2T ist ein leicht abnehmender Trend zu erkennen.

Die bisher gemessenen Aktivitäten liegen bis zur aktuellen Kampagne über der anstromigen Hintergrundbelastung. Nur im Jahr 2015 wurden in beiden Haldenmessstellen U-238-Aktivitäten unter 0,6 Bq/l festgestellt.

In der Abbildung 4-37 sind die U-238-Aktivitäten im Nahbereich der Halden dargestellt (GWM 6, GWM 7, GWM 10 und GWM 25). Die ermittelten Hauptbelastungen durch U-238 lagen in der Vergangenheit in der Nähe der Halde 2. Die höchste Belastung wurde dort im Jahre 1990 für die Messstelle GWM 9 ermittelt. Es ergab sich eine U-238 Aktivität von 161 Bq/l, die in 2001 auf 2,0 Bq/l zurückging. Die Aktivität der nahe gelegenen Messstelle GWM 10 erreichte 2023 einen Wert von 2,3 Bq/l und weist im Betrachtungszeitraum von 1989 - 2023 im Mittel eine Aktivität von 8,5 Bq/l auf. Auffallend war der erhöhte Messwert für die Messstelle GWM 10 im Jahr 1996, der wahrscheinlich auf eine abweichende Probenahmesituation zurückzuführen ist und daher aus der weiteren Bewertung ausgeklammert wird. Im Nahbereich der Halde 1 wurden im Jahr 2023 in der Messstelle GWM 6 0,7 Bq/l (Mittelwert 2,9 Bq/l) und in der Messstelle GWM 25 6,3 Bq/l (Mittelwert 5,9 Bq/l) festgestellt. Die GWM 7 weist eine mittlere U-238-Aktivität von 2,5 Bq/l und einer U-238-Aktivität im Jahr 2023 von 0,3 Bq/l auf.

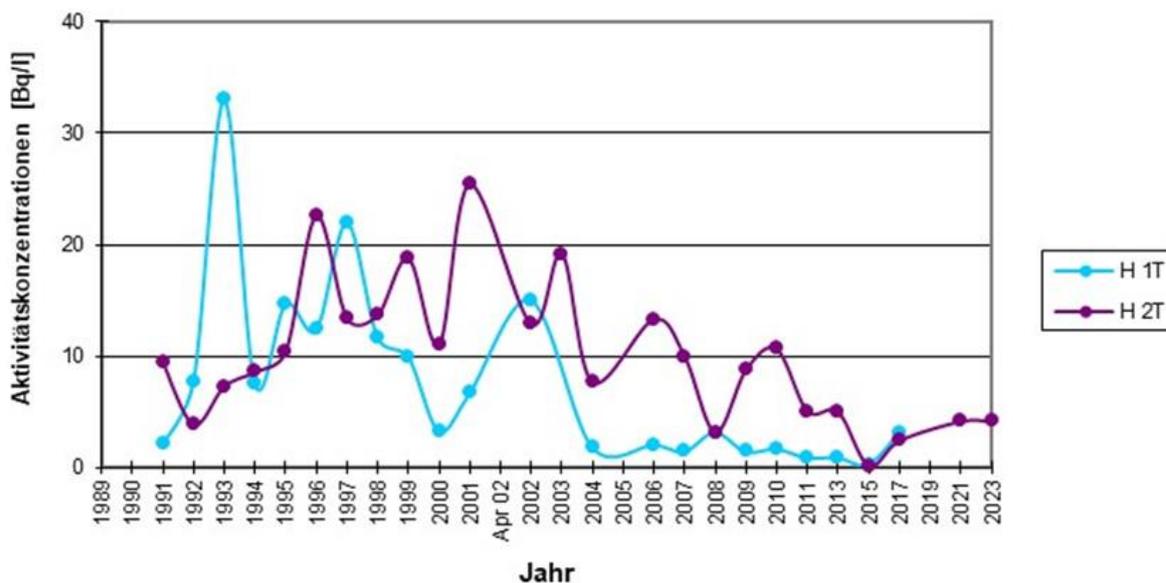


Abbildung 4-36: Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im Haldengrundwasser

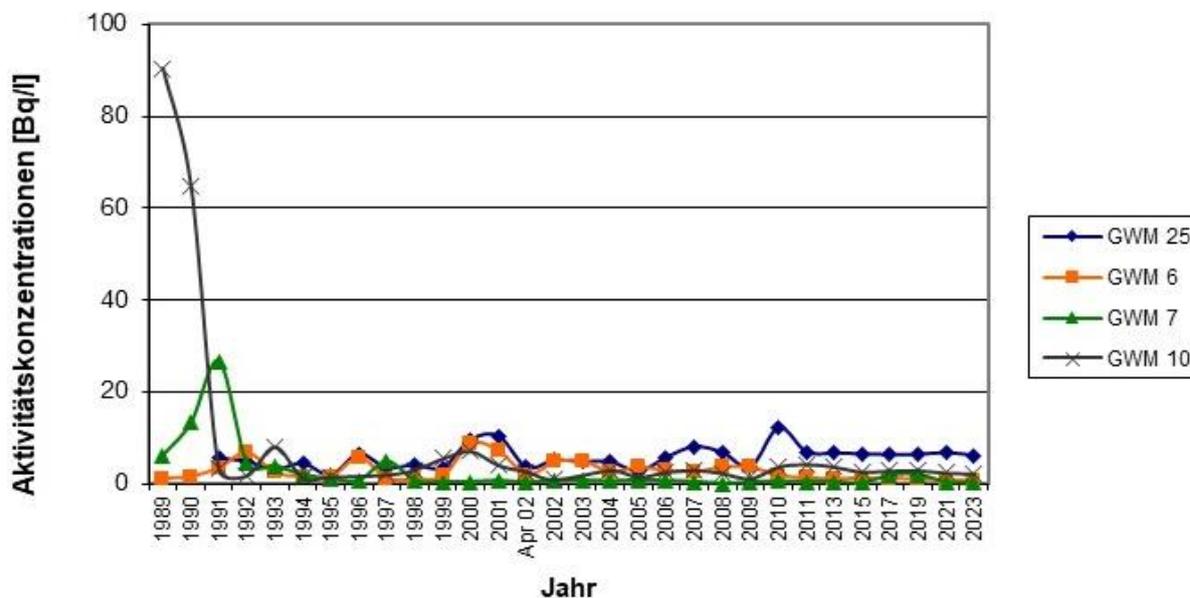


Abbildung 4-37: Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser

Bedingt durch die Sanierungsarbeiten ergaben sich in den Jahren 2000 und 2001 deutliche Aktivitätsanstiege für die Grundwassermessstellen GWM 6 und GWM 25. Seit dem Jahr 2006 zeigt die GWM 25 im nahen Anstrom der Halde 1 die höchsten U-238-Aktivitäten im haldennahen Bereich, die auch höher sind als die Aktivitäten unterhalb der Halde 1. Anstiege der Aktivitätskonzentrationen waren schon im Jahr 1999 an den Messstellen GWM 5, GWM 24 und GWM 28 festzustellen. Während in den Jahren 1997 und 1998 nur an drei Grundwassermessstellen Aktivitäten über 5 Bq/l festgestellt wurden, wurden bei der Probenahme im Jahr 2001 an sechs Messstellen Überschreitungen dieser U-

238 Aktivität ermittelt. Der Anstieg betraf vor allem Messstellen in unmittelbarer Nachbarschaft zum Prozessgebäude. Im Mittel sind die Aktivitäten im Abstrom der Halde 2 am größten.

Für die Messstelle GWM 7 lässt sich in der zeitlichen Entwicklung eine sehr deutlich rückläufige Tendenz feststellen. In der Messstelle GWM 6 ist ein leichter Rückgang feststellbar. In der GWM 10 sind keine signifikanten Tendenzen erkennbar. Die GWM 25 zeigt eine leicht steigende Aktivitäten. Im Jahr 2023 liegen die Belastungen der haldennahen Messstellen GWM 25, GWM 6 und GWM 10 über dem geogenen Hintergrund. In der GWM 7 sind die Aktivitäten mit dem Anstrom vergleichbar.

In der Abbildung 4-38 sind die U-238-Aktivitäten im abstromigen Bereich dargestellt. Die Messstelle GWM 14 zeigt im Vergleich mit der etwas weiter entfernten Messstelle GWM 23 höhere Werte. Die Mittelwerte im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2023 weisen jedoch für die abstromigen Messstellen mit U-238-Aktivitäten < 0,6 Bq/l keine Auffälligkeiten auf und auch die U-238-Aktivitäten im Jahr 2023 sind unauffällig. Wie im haldennahen Grundwasserbereich und im Grundwasseranstrom zeigen sich auch im Abstrom im Jahr 1996 erhöhte Messwerte, die wahrscheinlich auf eine abweichende Probenahmesituation zurückzuführen sind und somit als unplausible Messwerte aus der Auswertung ausgeschlossen werden.

In der abstromigen Messstelle GWM14F ist ein deutlicher und GWM23T ein sehr leicht abnehmender Trend in der zeitlichen Entwicklung durch abnehmende Uranaktivitäten festzustellen. Die Messstellen GWM 14T und GWM 23F zeigen keine Trends. In den nahen Messstellen GWM 14F und GWM 14T liegen die Uranaktivitäten seit dem Jahr 2007 bzw. 1997 im Bereich der Hintergrundbelastung. In der weiteren, flachen Messstellen GWM 23F sind die U-238-Aktivitäten seit dem Jahr 1999 unauffällig. In der Messstelle GWM 23T wurde bisher noch kein plausibler Messwert über dem Vergleichswert des Anstromes festgestellt.

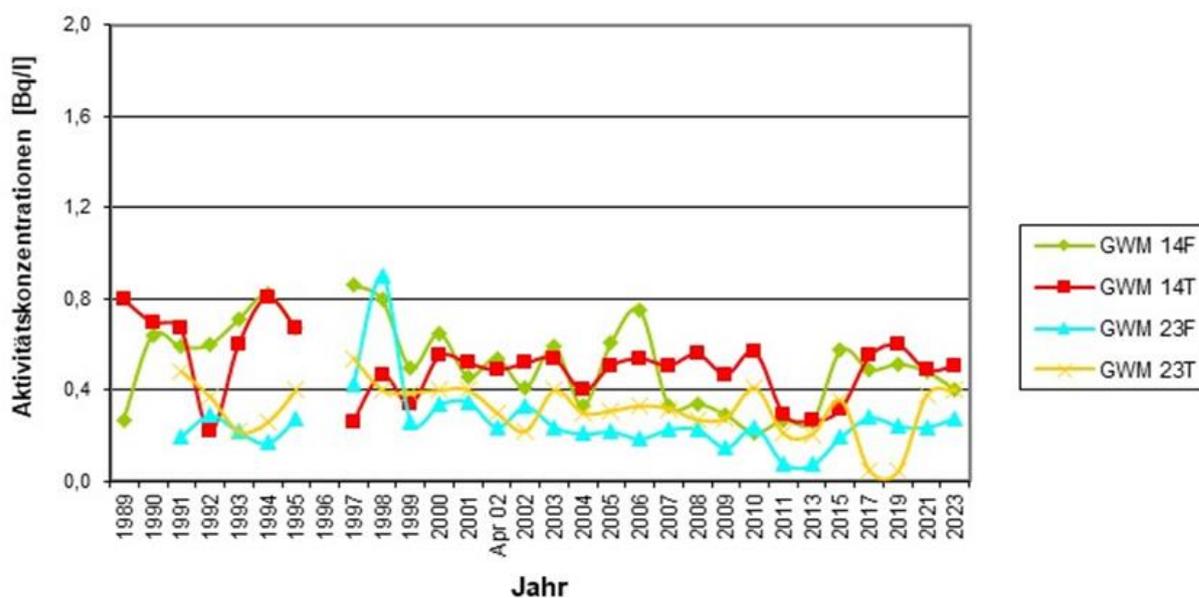


Abbildung 4-38: Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser

In der Abbildung 4-39 sind die Belastungen des Steinaubachs durch U-238 dargestellt. Aufgrund des hohen Messwertbereiches wurde eine logarithmische Darstellung gewählt. Während 1989 noch ein deutlicher Eintrag von U-238 durch Sickerwasser aus den Halden feststellbar war, ist diese Belastung für das Wasser des Steinaubachs in den letzten Jahren nicht mehr erkennbar.

In der Zeitreihe der U-238-Aktivitäten in den Sedimenten des Steinaubaches ist erkennbar, dass die spezifischen Aktivitäten der Sedimente im Abstrom der Urananlage (Messstelle OW 5.1) in der Regel höher ausfallen als im Zustrom (OW 1). Auch im Jahr 2023 sind die U-238-Aktivitäten in den Sedimenten des Steinaubachs im Anstrom mit 53,8 Bq/kgTS (OW 1) niedriger als im Abstrom mit 96,6 Bq/kgTS (OW 5.1).

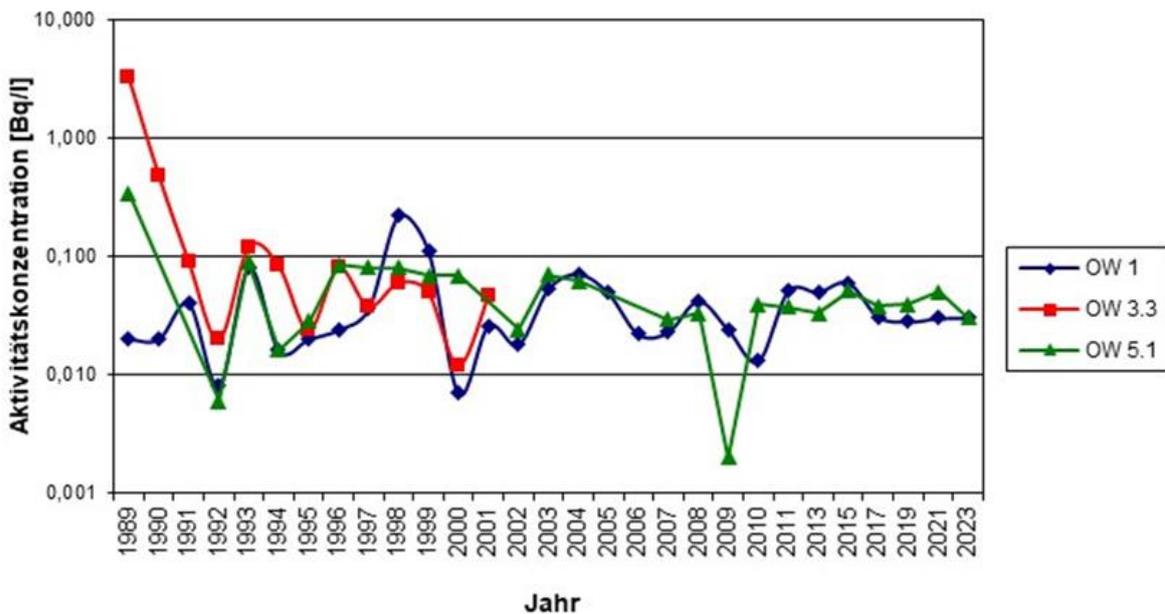


Abbildung 4-39: Zeitreihen der U-238-Aktivitäten im Oberflächenwasser

#### 4.3.4 Radium-226

Radium-226 ist chemisch ein Erdalkalimetall, hat eine Halbwertszeit von 1.600 Jahren und wird über die Zerfallskette  $U-238 \rightarrow U-234 \rightarrow Th-230 \rightarrow Ra-226$  gebildet. Ein langlebiges Tochternuklid ist Blei-210 mit einer Halbwertszeit von 22,3 Jahren.

In der Abbildung 4-40 sind die Ra-226-Aktivitäten der Messstellen im Grundwasserzustrom (GWM 4B und GWM 4T) dargestellt. Die Aktivitätskonzentrationen zeigen für den Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 keine einheitliche Entwicklung. Es sind Schwankungen der Aktivität im zeitlichen Verlauf zu erkennen, die im tiefen Grundwasser stärker ausgeprägt sind als im oberflächennahen Grundwasser. Die Maximalwerte treten mit 0,1 Bq/l (GWM 4B) und 0,15 Bq/l (GWM 4T) in den Jahren 2023 und 1998 auf. Im Mittel liegt die Ra-226-Aktivitäten im tiefen Grundwasser bei 0,04 Bq/l und im oberflächennahen Grundwasser bei 0,05 Bq/l. Erhöhte Aktivitätskonzentrationen könnten geogen bedingt sein, wie die Messwerte in der Tiefmessstelle GWM 4T mit Werten z.T. über 0,1 Bq/l zeigen. Diese Messstelle dürfte nicht durch die Aktivitäten im Standortbereich beeinflusst sein, so dass die starken

Schwankungen für Ra-226 auf andere Ursachen zurückzuführen sein müssen. Anhand der ermittelten vieljährigen Werte ist - bei starken Änderungen der Aktivität - kein signifikanter Trend der Grundwasserbelastung mit Ra-226 im Anstrom festzustellen.

Aufgrund der starken Variabilität der Ra-226-Aktivitäten ist es problematisch, eine Schwelle festzulegen, ab der Auffälligkeiten durch den Eintrag der Halden erkannt werden können. Da der höchste im Anstrom gemessene Wert bei 0,15 Bq/l liegt, wird davon ausgegangen, dass kontaminationsbedingte Einflüsse auf das Grundwasser anzunehmen sind, wenn die Belastungen 0,15 Bq/l überschreiten.

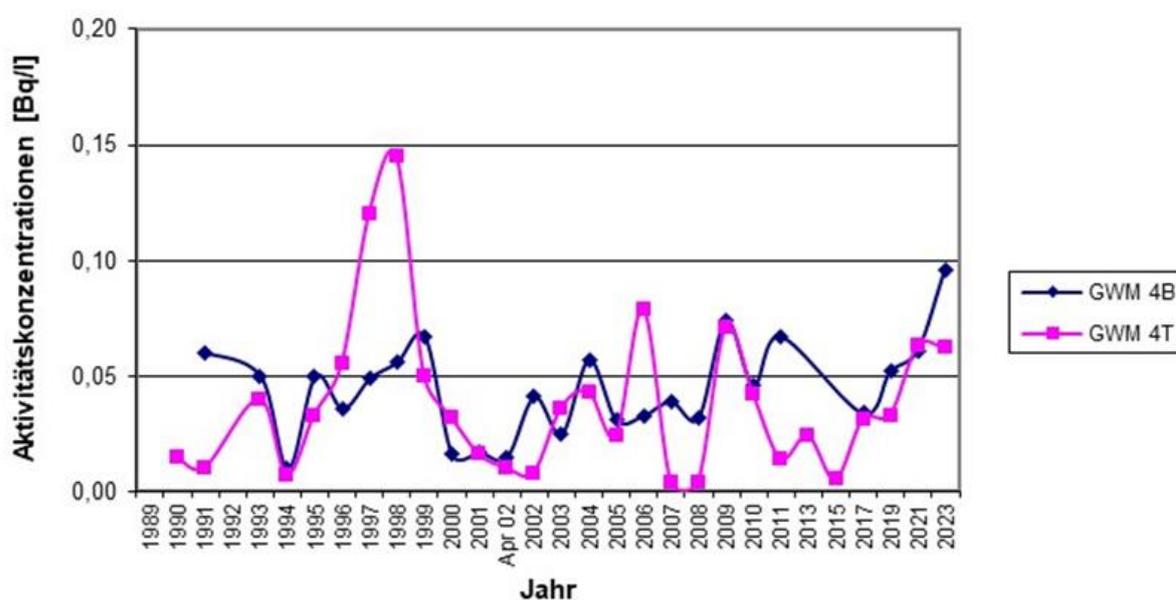


Abbildung 4-40: Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im haldenanstromigen Grundwasser

In der Abbildung 4-41 sind die Ra-226-Aktivitäten im Grundwasser unter den Halden 1 und 2 im Zeitraum von 1989 bis 2023 dargestellt. Unter der Halde 1 wurde im Beobachtungszeitraum eine mittlere Ra-226 Aktivität von 2,0 Bq/l und unter der Halde 2 ein Mittelwert von 4,9 Bq/l festgestellt. Es zeigen sich unter beiden Halden starke Schwankungen der Messwerte der Ra-226-Aktivitätskonzentrationen, die nicht ohne Weiteres auf die Dynamik des Grundwassers zurückgeführt werden können, da sie nicht mit Schwankungen anderer Parameter einhergehen. Es ist davon auszugehen, dass die Schwankungen auf die Probenahme / Probenbehandlung zurückzuführen sind.

Die Mittelwerte liegen im Betrachtungszeitraum über der maximalen Anstromkonzentration von 0,15 Bq/l. Insgesamt zeigen die bisherigen Ergebnisse, dass im Mittel das Grundwasser unter der Halde 2 stärker durch Ra-226 belastet ist als das Grundwasser unter der Halde 1. Anhand der ermittelten vieljährigen Werte ist - bei starken Schwankungen der Messwerte - kein signifikanter Trend der Grundwasserbelastung mit Ra-226 unter den Halden festzustellen.

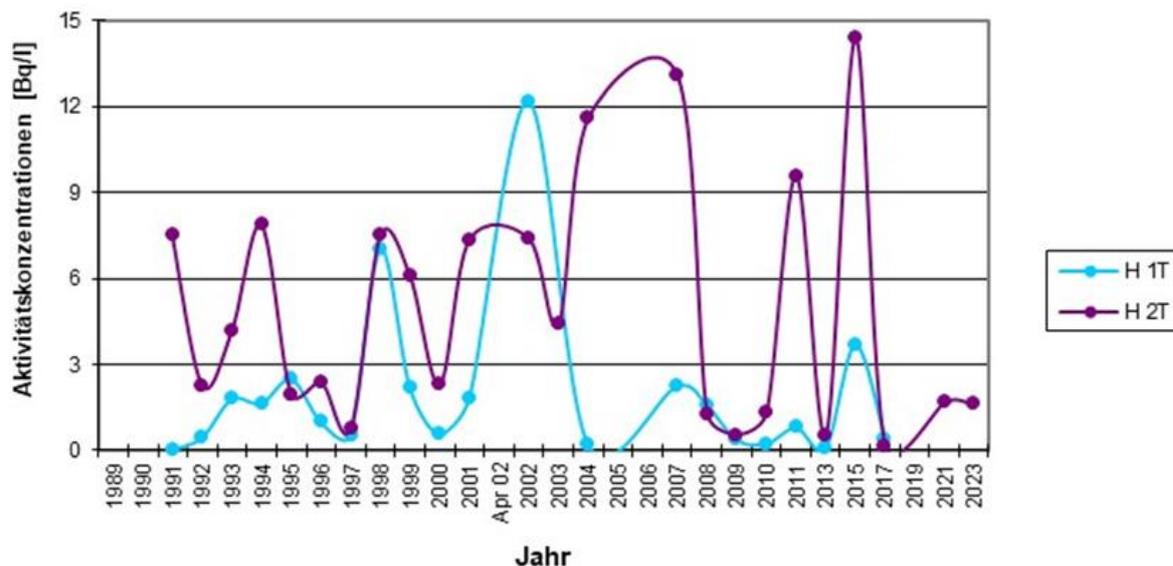


Abbildung 4-41: Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im Haldengrundwasser

In der Abbildung 4-42 sind die Ra-226-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser im Beobachtungszeitraum dargestellt. Im nahen Anstrom der Halde 1 (GWM 25) liegt die mittlere Aktivität bei 0,15 Bq/l mit einem Minimum von 0,01 Bq/l (1990) und einem Maximum von 0,28 Bq/l (2000 und 2021). Im südwestlichen Bereich der Halde 1 (GWM 6) wurde Ra-226 mit einem Minimum von 0,006 Bq/l (1994), einem Maximum von 0,22 Bq/l (2001) und einem Mittelwert von 0,05 Bq/l festgestellt. Südöstlich der Halde 1 wurden in der GWM 7 eine mittlere Aktivität von 0,09 Bq/l mit einem Minimum von 0,02 Bq/l (Apr 2002) und einem Maximum von 0,70 Bq/l (1997) nachgewiesen. Nördlich der Halde 2 zeigt die GWM 10 eine mittlere Ra-226-Aktivität von 0,08 Bq/l, ein Minimum von 0,01 Bq/l (2005 und 2013) und einen maximalen Wert von 0,46 Bq/l (2017).

Im Nahbereich der Halden lässt sich für die GWM 6 ein deutlicher Anstieg und für die GWM 7 ein leichter Rückgang in der zeitlichen Entwicklung der Ra-226-Aktivitäten nachweisen. In der GWM 6 liegen die Aktivitäten seit dem Jahr 2002 und in der GWM 7 seit dem Jahr 1998 unter 0,15 Bq/l. Die Messstellen GWM 10 und GWM 25 zeigen keinen Trend im Beobachtungszeitraum. Es wurde in der Messstelle GWM 25 im Jahr 2023 bei 0,15 Bq/l festgestellt. In der Messstelle GWM 10 wurde noch im Jahr 2017 ein Messwert über dem Hintergrundniveau nachgewiesen.

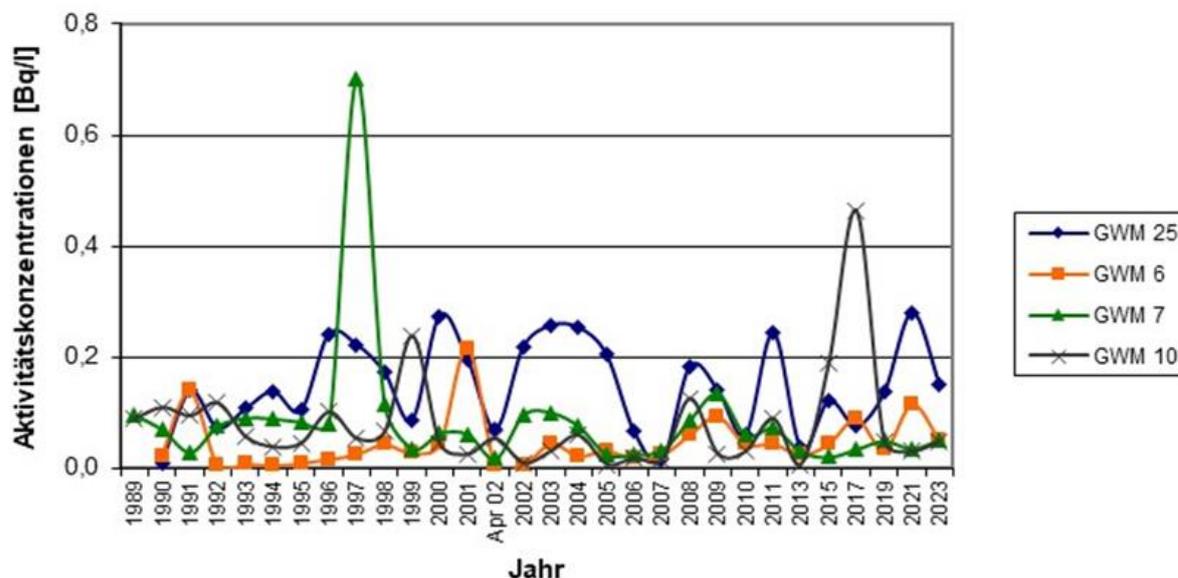


Abbildung 4-42: Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser

Zur Klärung der deutlichen Konzentrationssprünge im zeitlichen Verlauf wurden 1994 geochemische Modellrechnungen am Fachgebiet Umweltchemie der TU Berlin mit dem Programm MINEQL durchgeführt. Die Modellrechnungen zeigten, dass die ermittelten Veränderungen in den geochemischen Randbedingungen keine Mobilisierung des im Umkreis der Messstelle festgelegten Radiums zur Folge haben können. Als veränderliche Randbedingungen für die Sorption wurden die Calcium- und die Sulfatkonzentrationen, der pH-Wert und die Kationenaustauschkapazität des Sediments berücksichtigt.

Die Modellrechnungen lassen darauf schließen, dass die ermittelten Radiumaktivitäten besonders stark von der Probenahme und -aufbereitung beeinflusst werden. Aufgrund der nicht repräsentativen Probenahme und der Niedrigwasserbedingungen war bei der Probenahme 1996 mit erhöhten Schwebstoffgehalten in den Proben zu rechnen. Insofern könnten erhöhte Radiumgehalte auch auf die Probenahme zurückzuführen sein.

Die Abbildung 4-43 zeigt die Ra-226-Aktivitäten der Messstellen im oberflächennahen und tieferen Grundwasserabstrom (GWM 14F und GWM 14T) im Beobachtungszeitraum. Die Messstellen GWM 23F und GWM 23T wurden nicht auf Ra-226 untersucht. Der zeitliche Verlauf der Ra-226-Aktivitäten in der GWM 14 weist starke Schwankungen auf, wobei die Aktivität im tiefen Grundwasser meist geringer ist als im oberflächennahen Wasser. Die mittlere Aktivität liegt im oberflächennahen Grundwasser der GWM 14F bei 0,09 Bq/l und im tiefen Wasser (GWM 14T) bei 0,06 Bq/l.

Die GWM 14T zeigt sehr leicht rückläufige Ra-226-Aktivitäten. Im Unterschied dazu ist in der Messstelle GWM 14F ein deutlicher Anstieg der Ra-226-Aktivität bis 2001 und danach ein fallender Trend zu erkennen. Über den gesamten Betrachtungszeitraum ist kein signifikanter Trend in der zeitlichen Entwicklung der Ra-226-Aktivitäten zu erkennen. Die aktuellen Messwerte aus 2023 liegen sowohl im oberflächennahen als auch im tiefen Grundwasserabstrom im Bereich der Hintergrundbelastung. Das oberflächennahe Grundwasser zeigt seit dem Jahr 2002 unauffällige Messwerte. Im tiefen Grundwasser sind die Ra-226-Aktivitäten seit 1995 unauffällig.

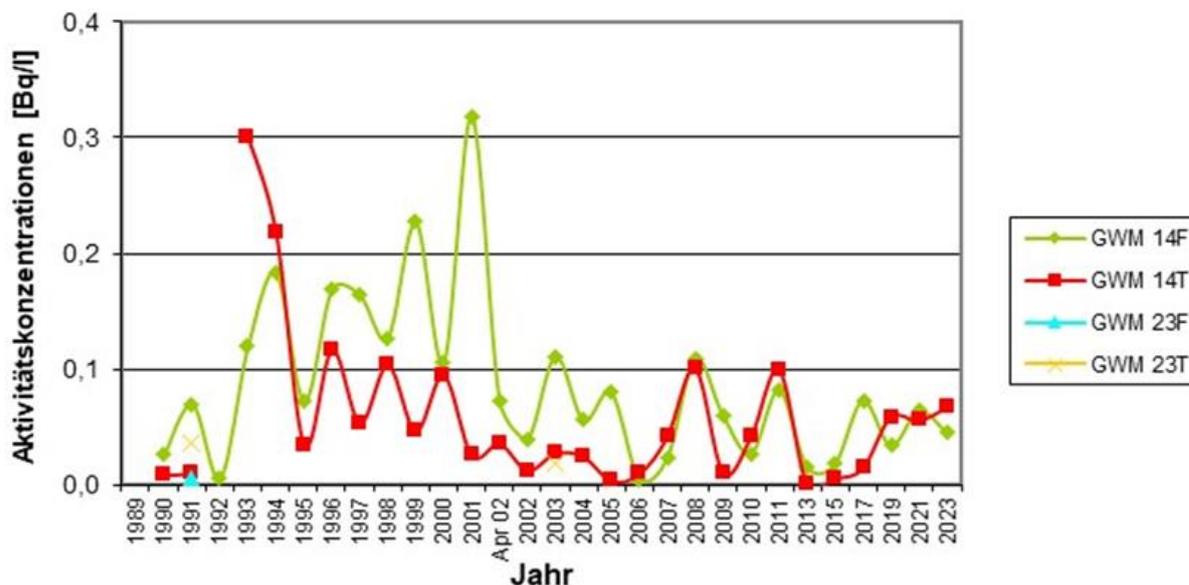


Abbildung 4-43: Zeitreihen der Ra-226-Aktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser

#### 4.3.5 Radium-228

Ra-228 gehört zur Thorium-Reihe, ist ein Tochternuklid des Th-232 und hat eine Halbwertszeit von 5,75 Jahren. Es wurde in der Monitoringkampagne 2010 erstmalig seit 1989 in den Untersuchungsumfang aufgenommen, da es wesentlich für die Beurteilung der Richtdosis (s. Kapitel 4.3.9) ist.

In Abbildung 4-44 sind die Ra-228-Aktivitäten der untersuchten Messstellen dargestellt. Im Grundwasseranstrom wurde Ra-228 im Jahr 2023 mit einer Aktivität von 0,04 Bq/l (GWM 4T, tiefes Grundwasser) festgestellt. Die Messungen der Kampagnen 2010 - 2017 zeigten Aktivitäten unterhalb der Bestimmungsgrenze. In der Messstelle GWM 4B wurde in den Kampagnen 2010 und 2011 Ra-228 mit 0,08 Bq/l bzw. 0,07 Bq/l nachgewiesen. In der aktuellen Kampagne lag die Aktivität der Messstelle GWM 4B bei 0,07 Bq/l. Die maximale, im Anstrom gemessene, Ra-228-Aktivität liegt bei 0,08 Bq/l. Daher wird davon ausgegangen, dass kontaminationsbedingte Einflüsse auf das Grundwasser anzunehmen sind, wenn die Belastungen 0,08 Bq/l überschreiten.

Die Analysenergebnisse des bisherigen Betrachtungszeitraumes weisen unter den Halden (H 1T, H 2T) und im Abstrom der Halden (GWM 14F, GWM 14T) im Wesentlichen Ra-228-Aktivitäten unterhalb der Bestimmungsgrenze auf. Lediglich in den Jahren 2021 und 2023 wurden in den Messstelle H 2T, GWM 14F und GWM 14 T Werte über der Bestimmungsgrenze gemessen.

In den haldennahen Messstellen GWM 25, GWM 6, GWM 7 und GWM 10 wurden in der aktuellen Kampagne unauffällige Ra-228-Aktivitäten mit Messwerten < 0,08 Bq/l festgestellt. Im gesamten Beobachtungszeitraum wurde im haldennahen Grundwasser nur in der GWM 25 im Jahr 2021 mit 0,2 Bq/l eine leicht auffällige Ra-228-Aktivität nachgewiesen.

Es ist davon auszugehen, dass trotz des leicht auffälligen Messwertes in der GWM 25 bisher kein signifikanter Eintrag an Ra-228 aus den Halden in das Grundwasser erfolgt. Da Ra-228 bisher erst

achtmal untersucht wurde, können für dieses Radionuklid noch keine Trendentwicklungen angegeben werden.

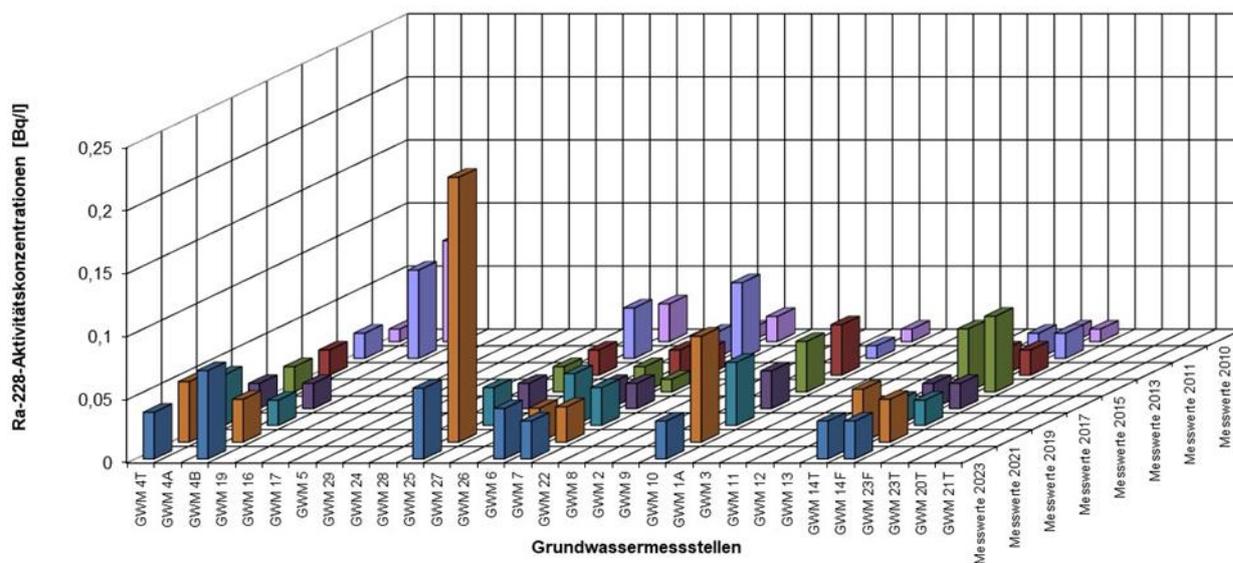


Abbildung 4-44: Ra-228-Aktivitäten im Grundwasser der Messstellen Ellweiler

#### 4.3.6 Radon-222

Radon-222, ein Edelgas in der Uran-Radium-Zerfallsreihe, ist ein Tochternuklid des Ra-226 und hat eine Halbwertszeit von 3,8 Tagen. Es wurde bisher in den Monitoringkampagnen 2010 und 2013 in den Untersuchungsumfang mit aufgenommen.

Im Unterschied zu den anderen im Monitoring untersuchten Parametern ist die Rn-222-Aktivität des Grundwassers kein unmittelbarer Indikator von Stoffausbreitungen. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit ist Radon ein Indikator, der Aussagen über die lokalen Radiumgehalte des Aquifergesteins gestattet und der auch zur Bewertung von Pb-210-Aktivitäten im Grundwasser genutzt werden kann.

Aus diversen Untersuchungen ist bekannt, dass die Rn-222-Aktivitäten im Grundwasser in uranreicheren Gesteinen tendenziell höher liegen als in uranärmeren. Allerdings gibt es keinen quantitativen Zusammenhang, da zu viele Gesteinsparameter die Rn-222-Aktivitäten im Grundwasser beeinflussen.

In der Abbildung 4-45 sind die Rn-222-Aktivitätskonzentrationen der in den Jahren 2010 und 2013 untersuchten Messstellen dargestellt. Sie zeigen trotz des relativ kleinen Untersuchungsraums deutliche Unterschiede. Die geringsten Rn-222-Aktivitäten finden sich im Anstrom in der GWM 4B mit 21 Bq/l (2010) und die höchsten Rn-222-Aktivitäten unter den Halden mit 1.127 Bq/l (H 2T, 2013).

Im deutschlandweiten Wertebereich, der von <1,3 Bq/l bis 1.800 Bq/l reicht (BfS 2009 [6]), liegen die hier gefundenen Rn-222-Aktivitäten über dem Medianwert von 7,3 Bq/l. Das belegt, dass die Gesteine des Aquifers am Standort Ellweiler etwas uran-radiumhaltiger sind, als es den meisten genutzten

deutschen Grundwasserleitern entspricht. Mit Ausnahme der Messwerte unter den Halden, die eindeutig uran-radiumhaltige Gesteine als Ursprung erkennen lassen, enthalten die anderen Rn-222-Aktivitäten keine Hinweise auf solche Gesteine oder ggf. sekundäre Radiumablagerungen an der Oberfläche von Aquifergesteinen. Mehrere Werte liegen zwar über dem Schwellenwert von 100 Bq/l (s. Kapitel 4.1.2), sind aber kein Indiz für eine Grundwasserkontamination, sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit natürlichen geogenen Ursprungs.

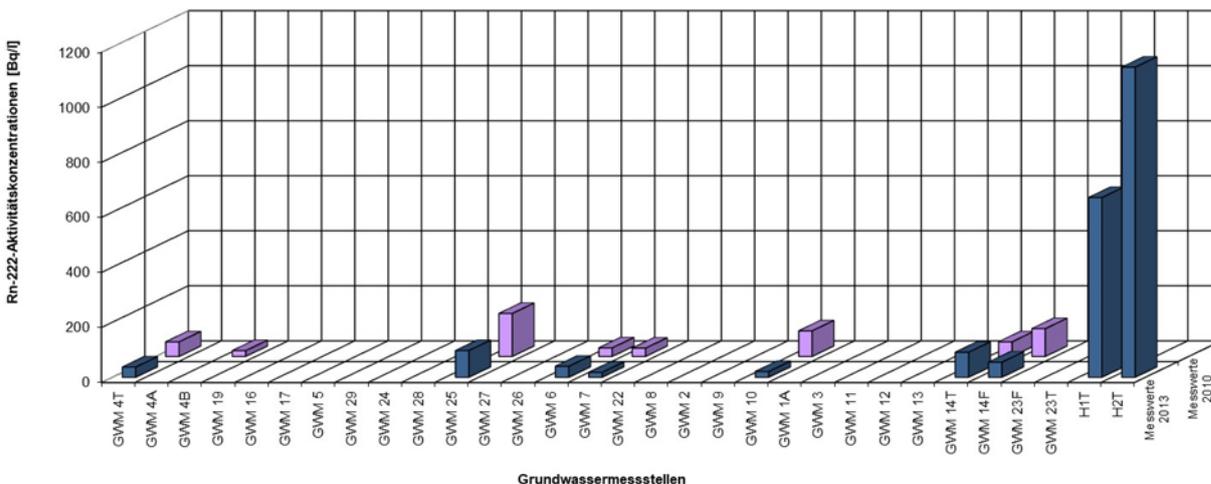


Abbildung 4-45: Rn-222-Aktivitäten im Grundwasser der Messstellen Ellweiler

Die Rn-222-Aktivitäten können auch genutzt werden, um zu prüfen, ob Pb-210-Aktivitäten als natürlich oder kontaminationsbedingt anzusehen sind. In Abbildung 4-46 ist der statistische Zusammenhang zwischen Rn-222 und Pb-210 dargestellt, wie es sich aus den deutschlandweiten Trinkwasseruntersuchungen ergab. Daraus kann abgeleitet werden, dass die natürliche Pb-210 Aktivität um einen Faktor > 1.000 (im Mittel ca. 5.000) niedriger liegen sollte als es der gemessenen Rn-222-Aktivität entspricht. Da in dieser Messkampagne kein Rn-222 gemessen wurde, können mit diesem Kriterium in diesem Jahr die Messergebnisse von Pb-210 jedoch nicht geprüft werden.

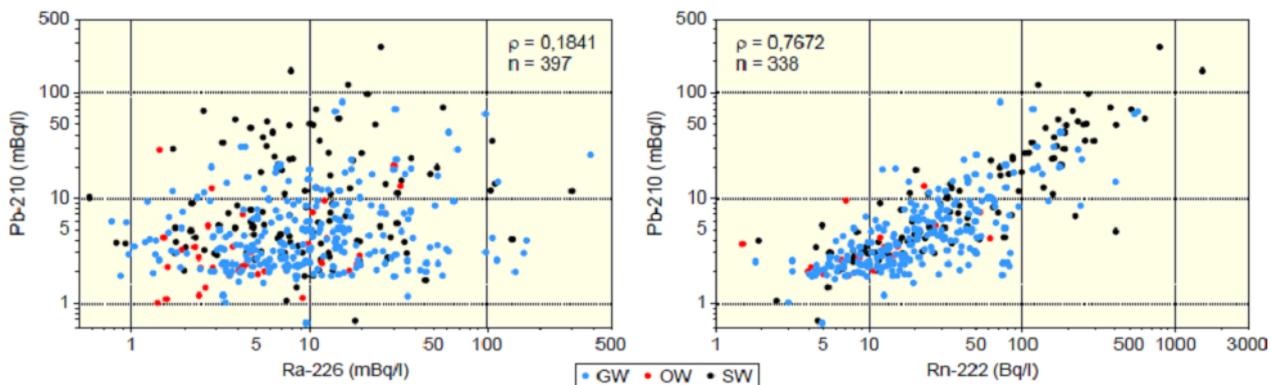


Abbildung 4-46: Statistische Zusammenhänge zwischen Pb-210 und Ra-226 sowie Rn-222 aus deutschlandweiter Untersuchung [5]

#### **4.3.7 Blei-210**

Blei-210 ist ein Tochternuklid der U-238-Reihe mit einer Halbwertszeit von 22,3 Jahren. Die ausgewählten Proben orientieren sich am Analysenumfang für das Mutternuklid Ra-226. Weitere Erläuterungen finden sich in den Anmerkungen der Ergebniszusammenstellung in Anhang 4.4.

Belastungen durch Pb-210 im Grundwasser sind aufgrund der im Allgemeinen geringen hydrochemischen Mobilität von Blei vor allem im Nahbereich der Halden und beim Prozessgebäude zu erwarten. In der Vergangenheit kam es für Pb-210 bei einzelnen Probenahmen zu deutlichen Konzentrationsprüngen. Davon waren vor allem Messstellen im Nahbereich des Prozessgebäudes und der Halden betroffen. Ähnlich wie beim Radium ist auch hier die Frage der Probenahme und evtl. dabei sehr unterschiedlicher schwebstoffgetragener Aktivitäten aus Ursache für schwankende Messwerte zu beachten. Darüber hinaus kommt es durch den Zerfall von nicht aus der Probe emaniertem Rn-222 zu einer Nachbildung von Pb-210, die bei einer Rn-222-Konzentration von 100 Bq/l etwa 0,05 Bq/l ausmachen kann.

In Abbildung 4-47 und Abbildung 4-48 sind für den Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 die Analysenwerte der Messstellen im Grundwasseranstrom und Grundwasserabstrom der Halden dargestellt. In vielen Fällen handelt es sich bei den dargestellten Werten um die Bestimmungsgrenze und nicht die reale Aktivität im Grundwasser. Das wurde durch die Eintragung von Messunsicherheiten veranschaulicht. Bei der Betrachtung der Diagramme ist weiterhin zu beachten, dass in den Jahren 2007, 2008 und 2009 die Bestimmungsgrenze mit 0,2 Bq/l teilweise sehr hoch lag.

Die verfügbaren Daten aus dem Grundwasserzustrom (GWM 4B, GWM 4T) und dem haldenabstromigen Grundwasser (GWM 14T, GWM 14F) zeigen, dass die Pb-210 Aktivität in diesen Wässern gering ist, meist unter der Nachweisgrenze analysiert wurde und in der GWM 4B mit maximal 0,48 Bq/l (2021), in der GWM 4T mit maximal 0,19 Bq/l (1990), in der GWM 14F mit 0,22 Bq/l (2023) und in der GWM 14T mit maximal 0,16 Bq/l (1990) vorliegt. Da bisher der Wert von 0,5 Bq/l im Anstrom nicht überschritten wurde, wird dieser Wert als Hintergrundaktivität für Pb-210 festgelegt. Mit den bisherigen Messergebnissen ist das abstromige Grundwasser bezüglich Pb-210 als unbeeinflusst anzusehen.

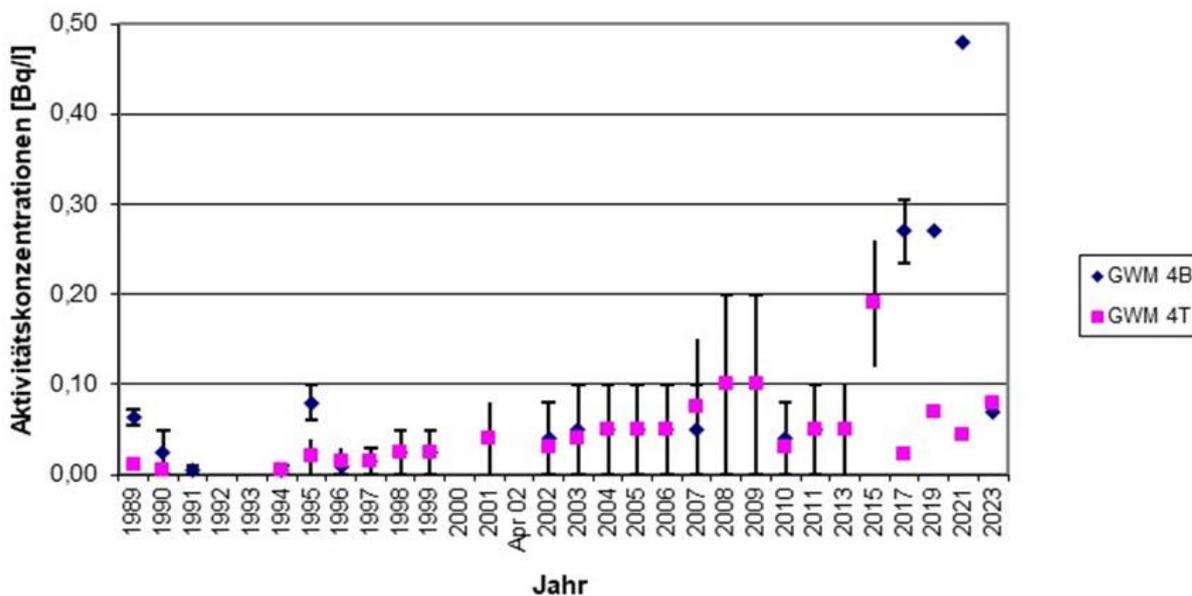


Abbildung 4-47: Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im haldenanstromigen Grundwasser

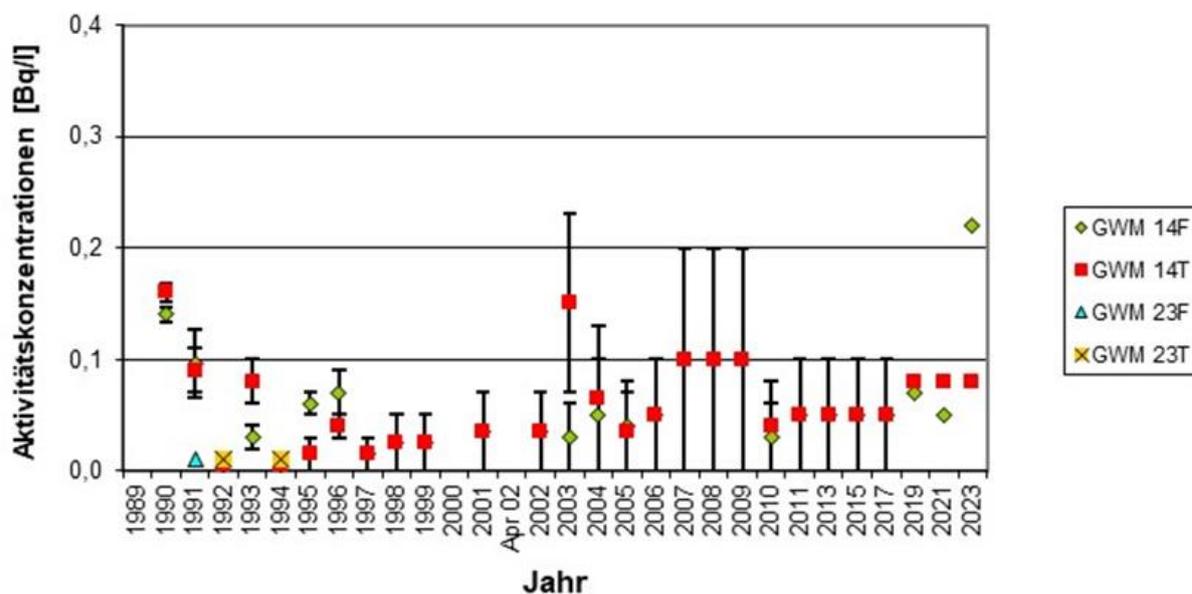


Abbildung 4-48: Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im haldenabstromigen Grundwasser

Die Grundwässer unter den Halden (H 1T, H 2T) wiesen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2023 Messwerte über den Bestimmungsgrenzen auf (Abbildung 4-49). Unter der Halde 1 ließen sich Aktivitäten zwischen 0,06 Bq/l (1992) und 415 Bq/l (2013) mit einem Mittelwert von 123 Bq/l ermitteln. Unter der Halde 2 wurden bisher Pb-210-Werte zwischen 0,4 Bq/l (2008) und 180 Bq/l (2015) mit einem Mittelwert von 67,3 Bq/l festgestellt. Bei starken Schwankungen der Pb-210-Aktivität in verschiedenen

Jahren ist unter den Halden ein über den gesamten Zeitraum deutlich steigender Trend erkennbar. Die gemessenen Pb-210-Aktivitäten von über 100 Bq/l liegen deutlich höher als die Konzentrationen von U-238 und Ra-226. Sie sind auch nicht auf einen Zerfall von Rn-222 in der Probe selbst zurückzuführen, der bei einer Konzentration von 1.000 Bq/l Rn-222 nur 0,5 Bq/l ausmacht.

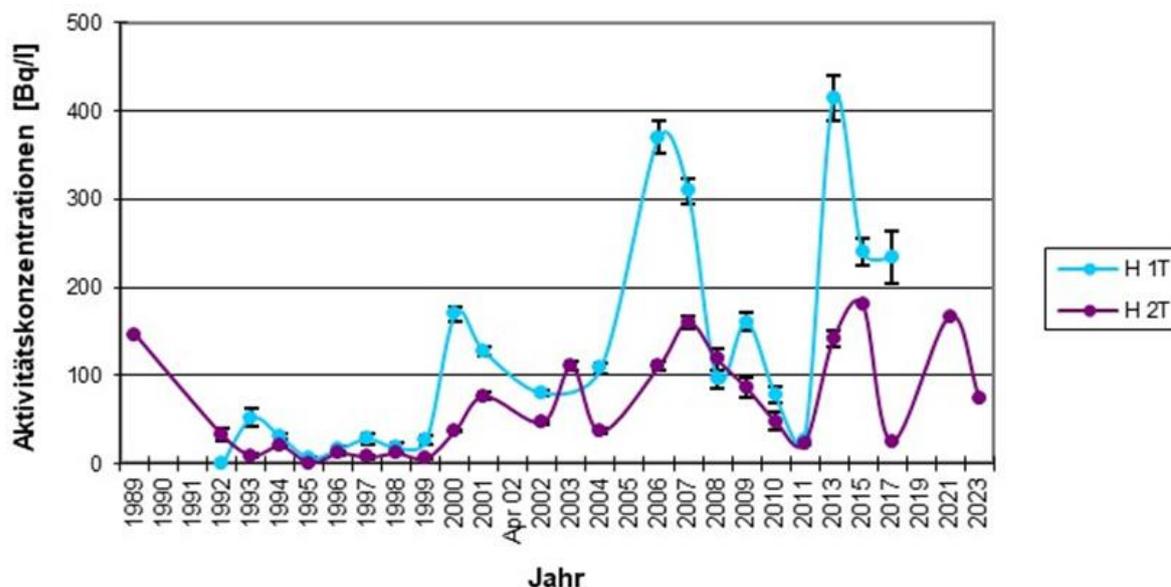


Abbildung 4-49: Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im Haldengrundwasser

Die sehr hohen Pb-210-Konzentrationen unter den Halden sind in Anbetracht der zumeist deutlich besseren Löslichkeit von U-238 als Pb-210 ungewöhnlich. So wurde z.B. im Jahr 2013 die bisher höchste Pb-210 Belastung in der Messstelle H 1T von 415 Bq/l ermittelt, bei einer U-238 Konzentration von 0,9 Bq/l. In der Messstelle H 2T wurde die höchste Belastung im Jahr 2015 mit 180 Bq/l gemessen, bei einer U-238 Konzentration von nur 0,2 Bq/l. Diese Befunde sind schwierig hydrogeochemisch einzuordnen.

Insgesamt sind im Grundwasser unter den Halden deutliche Auffälligkeiten beim Pb-210 festzustellen. Die Messwerte liegen fast ausnahmslos über der Hintergrundaktivität von 0,1 Bq/l und zeigen, dass vor allem aus der Halde 1 Pb-210 in das Grundwasser eingetragen wurde und immer noch eingetragen wird.

Im haldennahen Grundwasser (GWM 6, GWM 7, GWM 10 und GWM 25) wurden seit Mitte der 1990er Jahre Pb-210-Aktivitäten von weniger als 3 Bq/l, zumeist sogar weniger als 1 Bq/l ermittelt. Wegen einer nicht repräsentativen Probenahme ergaben sich im Jahr 1996 im haldennahen Bereich höhere Pb-210-Aktivitäten. Betroffen waren vor allem die Messwerte der Messstelle GWM 25 (1 Bq/l) und der Messstelle GWM 8 (0,43 Bq/l). Diese Messwerte werden im Folgenden aus der Auswertung ausgeschlossen. Bei den plausiblen Messwerten handelt es sich meist um Bestimmungsgrenzen und nicht um reale Konzentrationen. Im Jahr 2023 zeigte sich in keiner haldennahen Messstelle eine Überschreitung der Bestimmungsgrenze (s. Abbildung 4-50). Insgesamt weist die Messstelle GWM 7 über den Betrachtungszeitraum einen Mittelwert der Pb-210-Aktivität von 0,8 Bq/l auf. Das ist deutlich

mehr als die Messstellen GWM 6 (0,2 Bq/l), GWM 10 (0,2 Bq/l) und GWM 25 (0,1 Bq/l). Ein Trend der zeitlichen Entwicklung der Pb-210-Aktivitäten ist nicht zu erkennen.

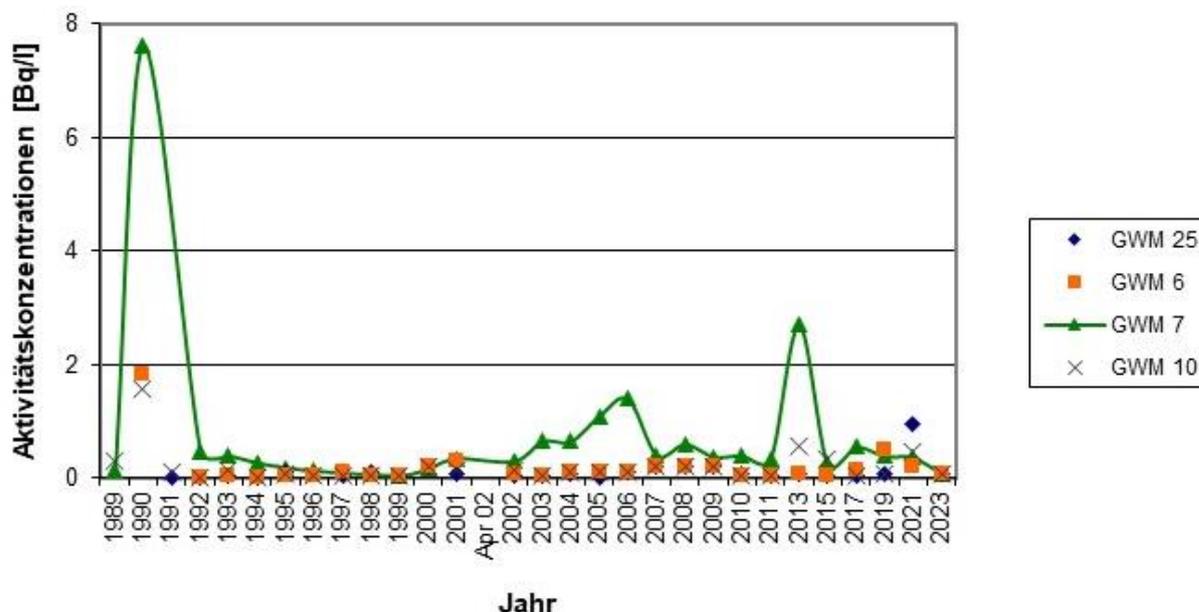


Abbildung 4-50: Zeitreihen der Pb-210-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser

#### 4.3.8 Neptunium-237

Neptunium-237 entsteht bei der Kernspaltung und ist in der Natur nur in extrem geringen Konzentrationen vorhanden. Es hat eine Halbwertszeit von  $2,1 \cdot 10^6$  Jahren. In wässrigen Lösungen ist Neptunium verglichen mit anderen Radionukliden relativ mobil.

Np-237 wurde bisher an den haldennahen Messstellen GWM 6, GWM 7, GWM 10 und GWM 25 untersucht (s. Abbildung 4-51). Die höchste Np-237-Aktivität lag im Jahr 1989 in der Messstelle GWM 6 mit 2,2 Bq/l vor. In den Jahren 1998 und 1999 wurde noch ein Wert von 0,4 Bq/l in dieser Messstelle ermittelt. Es ergaben sich für diese Messstelle in der Vergangenheit starke Schwankungen der Np-237-Aktivität zwischen 0,01 Bq/l und 2,2 Bq/l.

In der aktuellen Kampagne lagen die Aktivitäten in den GWM 6, GWM 7 und GWM 25 unter der Nachweisgrenze. In der GWM 10 wurde Neptunium nicht bestimmt.

Die GWM 6 zeigt im zeitlichen Verlauf einen sehr deutlichen Rückgang der Np-237-Aktivitäten. Für die anderen haldennahen Messstellen können aufgrund der wenigen Messwerte über der Bestimmungsgrenze keine Trendentwicklungen angegeben werden.

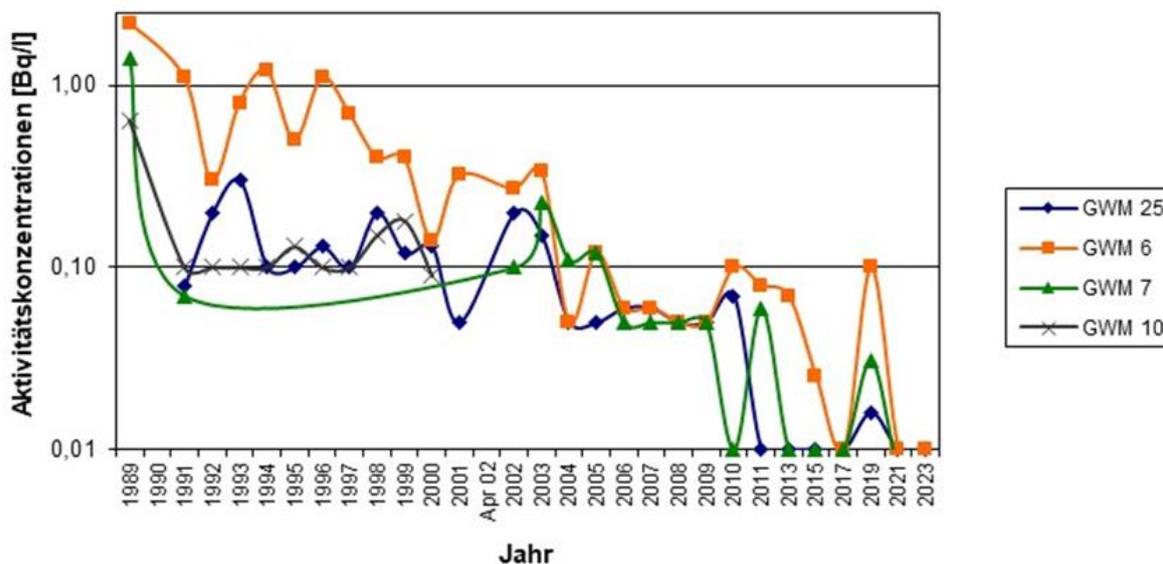


Abbildung 4-51: Zeitreihen der Np-237-Aktivitäten im haldennahen Grundwasser

#### 4.3.9 Richtdosis

In Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7 sind die Ergebnisse der Berechnung des Parameters Richtdosis für die vergangenen Jahre enthalten. Während Tabelle 4-6 alle verfügbaren Daten einrechnet und dabei Werte unter den Bestimmungsgrenzen mit dem Wert der Bestimmungsgrenze ansetzt, sind in Tabelle 4-7 nur die relativ vollständig vorliegenden Messdaten von U-238 und Ra-226 berücksichtigt. Ein Summenwert 1 entspricht dem Schwellenwert für den Parameter Richtdosis von 0,1 mSv/a. Die Werte, die den Summenwert von 1 überschreiten, sind zur besseren Lesbarkeit hervorgehoben.

# Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz

## Gutachten zum Langzeitverhalten der Halden der Urananlage Ellweiler, Probenahme Oktober 2023

Tabelle 4-6: Summenwerte des Grundwassers in Bezug auf die Richtdosis \*

Jahr	Halden-anstromiges Grundwasser		Haldengrundwasser		haldennahes Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser **			
	GWM 4B [mSv/a]	GWM 4T [mSv/a]	H 1T [mSv/a]	H 2T [mSv/a]	GWM 25 [mSv/a]	GWM 6 [mSv/a]	GWM 7 [mSv/a]	GWM 10 [mSv/a]	GWM 14F [mSv/a]	GWM 23F [mSv/a]	GWM 14T [mSv/a]	GWM 23T [mSv/a]
1989		0,6				0,8	6,4	67,4	0,2		0,6	
1990		0,2				28,6	123,6	68,7	2,6		2,9	
1991	0,4	0,3	1,6	21,6	4,5	2,8	18,5	4,3	2,0	0,3	1,8	0,4
1992	0,0	0,2	7,2	487,2	3,8	5,0	10,2	1,7	0,6	0,2	0,3	0,4
1993	0,4	0,4	806,4	145,4	3,3	2,3	8,8	7,9	1,2	0,2	2,2	0,2
1994	0,2	0,5	460,1	318,7	3,7	1,2	5,6	1,2	1,1	0,3	1,1	0,3
1995	1,4	0,9	106,7	17,4	3,1	1,7	3,8	2,3	1,5	0,2	1,0	0,3
1996	0,4	0,6	253,6	192,9	5,0	4,6	2,6	1,1	1,4		0,8	
1997	0,6	0,9	436,3	115,8	3,4	2,4	4,8	2,0	1,4	0,3	0,7	0,4
1998	0,9	1,2	286,2	195,5	4,8	1,5	0,7	3,1	1,6	0,6	1,3	0,3
1999	0,9	1,1	401,3	112,2	3,4	2,0	1,1	5,1	1,5	0,2	1,1	0,3
2000	0,0	0,3	2553,4	567,2	10,3	9,3	3,1	8,1	0,7	0,2	0,6	0,3
2001	0,1	1,4	1913,3	1172,2	8,7	10,1	5,9	4,9	2,0	0,2	1,5	0,3
Apr.02	0,1	0,2			2,7	1,4	0,2	2,0	0,5	0,2	0,4	0,2
2002	1,3	1,1	1234,8	721,2	5,0	4,4	5,2	2,7	1,4	0,2	1,4	0,2
2003	1,6	1,5		1672,1	4,8	4,5	10,5	1,0	1,5	0,2	2,7	0,3
2004	1,7	1,8	1621,7	568,5	4,9	3,3	10,3	3,7	1,8	0,1	2,3	0,2
2005	1,6	1,8			2,5	4,4	17,1	2,6	1,8	0,2	1,4	0,2
2006	1,7	1,9	5551,4	1659,2	5,7	3,5	21,5	3,4	2,0	0,1	1,9	0,2
2007	1,7	2,4	4640,5	2433,1	8,7	4,9	6,6	5,2	3,3	0,2	3,4	0,2
2008	3,1	3,2	1445,4	1774,8	8,1	5,7	9,2	4,9	3,5	0,2	3,6	0,2
2009	3,2	3,3	2416,8	1297,2	5,9	5,7	6,2	4,0	3,3	0,1	3,3	0,2
2010	1,2	0,8	1172,2	730,5	10,0	2,2	6,6	3,3	0,7	0,2	1,1	0,3
2011	1,6	1,1	407,7	368,1	6,3	1,9	5,7	3,9	1,2	0,1	1,3	0,1
2013		1,1	6226,3	2120,0	5,9	2,2	41,0	11,4	1,1	0,1	1,0	0,1
2015		3,3	3608,0	2729,4	5,7	1,8	4,1	7,6	1,5	0,1	1,2	0,2
2017	4,5	0,7	3513,5	377,5	5,4	3,3	9,7	3,9	1,3	0,2	1,3	0,03

## Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz

Gutachten zum Langzeitverhalten der Halden der Urananlage Ellweiler, Probenahme Oktober 2023

2019	4,5	1,6			6,1	8,4	7,5	3,6	1,6	0,2	1,8	0,03
2021	7,7	1,2		2512,7	20,5	4,0	5,8	9,4	1,4	0,2	1,9	0,3
2023	1,7	1,8		1124,0	6,1	2,2	1,8	3,0	3,8	0,2	1,8	0,3

\* betrachtete Radionuklide: U-238, U-234, Ra-226, Pb-210, Po-210, Cs-137, in den Jahren 2010 - 2021 Ra-228)

\*\* Bei den Tiefmessstellen liegt die Ursache der geringen Richtdosis daran, dass an diesen Messstellen lediglich U-238 bestimmt worden ist.

# Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz

## Gutachten zum Langzeitverhalten der Halden der Urananlage Ellweiler, Probenahme Oktober 2023

Tabelle 4-7: Summenwerte des Grundwassers in Bezug auf die Richtdosis (nur mit U-238 und Ra-226)

Jahr	haldenanstromiges Grundwasser		Haldengrundwasser		haldennahe Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser			
	GWM 4B [mSv/a]	GWM 4T [mSv/a]	H 1T [mSv/a]	H 2T [mSv/a]	GWM 25 [mSv/a]	GWM 6 [mSv/a]	GWM 7 [mSv/a]	GWM 10 [mSv/a]	GWM 14F [mSv/a]	GWM 23F [mSv/a]	GWM 14T [mSv/a]	GWM 23T [mSv/a]
1989		0,4				0,8	4,5	62,6	0,2		0,6	
1990		0,2				1,1	9,3	45,0	0,5		0,5	
1991	0,2	0,3	1,6	21,6	4,1	2,8	18,5	2,5	0,5	0,2	0,5	0,4
1992	0,0	0,2	6,3	7,2	3,6	4,8	3,2	1,5	0,4	0,2	0,2	0,3
1993	0,4	0,4	26,4	13,4	2,4	1,7	2,8	5,8	0,7	0,2	1,0	0,2
1994	0,1	0,3	8,5	21,7	3,4	1,1	1,5	1,1	0,9	0,1	1,0	0,2
1995	0,2	0,3	15,2	11,1	1,6	1,1	0,9	1,2	0,6	0,2	0,5	0,3
1996	0,1	0,1	10,6	20,4	5,0	4,1	0,6	0,2	0,3		0,2	
1997	0,2	0,4	16,3	10,8	2,9	0,9	4,8	1,6	0,9	0,3	0,3	0,4
1998	0,2	0,5	22,2	24,5	3,2	0,8	0,7	2,3	0,8	0,6	0,5	0,3
1999	0,2	0,3	11,3	25,2	2,7	1,2	0,3	4,3	0,8	0,2	0,3	0,3
2000	0,0	0,3	3,4	12,2	7,2	6,3	0,4	5,1	0,7	0,2	0,6	0,3
2001	0,1	0,2	8,3	32,2	7,6	5,5	0,6	2,9	1,0	0,2	0,4	0,3
Apr.02	0,1	0,2			2,7	1,4	0,2	2,0	0,5	0,2	0,4	0,2
2002	0,1	0,2	34,8	23,7	4,1	3,4	0,7	0,8	0,4	0,2	0,4	0,2
2003	0,1	0,3		22,1	3,9	3,6	0,7	0,1	0,6	0,2	0,4	0,3
2004	0,2	0,3	1,7	28,5	3,9	1,8	0,6	2,2	0,3	0,1	0,3	0,2
2005	0,1	0,3			2,3	2,6	0,6	1,1	0,6	0,2	0,4	0,2
2006	0,2	0,4	1,4	9,2	4,2	2,0	0,5	1,9	0,5	0,1	0,4	0,2
2007	0,2	0,2	5,5	33,1	5,7	1,9	0,4	2,2	0,3	0,2	0,4	0,2
2008	0,1	0,2	5,4	4,8	5,1	2,7	0,2	1,9	0,5	0,2	0,6	0,2
2009	0,2	0,3	1,8	7,2	2,9	2,7	0,5	1,0	0,3	0,1	0,3	0,2
2010	0,6	0,3	2,2	10,5	8,8	1,4	0,6	2,7	0,2	0,2	0,5	0,3
2011	0,8	0,4	2,7	23,1	5,6	1,1	0,8	3,3	0,4	0,1	0,5	0,1
2013		0,4	1,3	5,0	4,8	0,9	0,5	2,8	0,3	0,1	0,3	0,1
2015		0,5	8,0	29,4	4,9	1,1	0,2	2,5	0,7	0,1	0,5	0,2
2017	0,4	0,4	3,5	2,5	4,7	1,0	1,5	3,1	0,6	0,2	0,5	0,03
2019	0,5	0,5			4,9	1,0	1,6	2,4	0,5	0,2	0,6	0,03
2021	0,5	0,6		7,7	6,4	0,9	0,4	2,2	0,6	0,2	0,7	0,3

2023	0,7	0,6		<b>6,5</b>	<b>4,9</b>	0,8	0,5	<b>1,8</b>	0,5	0,2	0,6	0,3
------	-----	-----	--	------------	------------	-----	-----	------------	-----	-----	-----	-----

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass nicht in jeder Messkampagne sämtliche Radionuklide untersucht worden sind und der Einfluss von Pb-210 sowie dem damit im Gleichgewicht angenommenen Po-210 erhebliche Auswirkungen auf die Summenwerte hat. Die deutlichen Unterschiede in den Summenwerten der Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7 sind hierfür ein Beleg. Während die Summenwerte im Haldenstrom bei allen einbezogenen Daten teilweise über 1 liegen, sind sie ohne Einrechnung von Pb-210 und Po-210 durchweg kleiner als 1. Da es sich in vielen Fällen bei den zur Berechnung herangezogenen Werten für Pb-210 um die Bestimmungsgrenze und nicht um die reale Konzentration im Grundwasser handelt, führt die Berechnung ohne Einrechnung von Pb-210 und Po-210 zu realitätsnäheren Ergebnissen.

Generell zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass die Radionuklidkonzentrationen im Haldengrundwasser und im haldennahen Grundwasser zu Überschreitungen des Parameters Richtdosis führen. Entsprechend des angewandten Bewertungskonzepts ist damit eine Kontamination des Grundwassers durch Radionuklide in diesen Bereichen festzustellen, die im Sinne des aktualisierten LAWA-Konzeptes als nachteilige Grundwasserveränderung zu interpretieren ist. Im haldenabstromigen Grundwasser (ohne Einrechnung von Pb-210 und Po-210) ist die Anforderung der TrinkwV an den Parameter Richtdosis eingehalten.

#### **4.3.10 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse**

Auf der Grundlage des im Zeitraum von 1989 bis 2023 durchgeführten Monitoringprogramms kann die radiologische Grundwasserbeschaffenheit im Bereich der ehemaligen Urananlage Ellweiler und ihre zeitliche Entwicklung inzwischen relativ umfassend beschrieben werden. In der Tabelle 4-8 sind die Bewertungen der Grundwasseranalysen in Bezug auf die radiologischen Parameter Tritium (H-3), U-238, Ra-226, Ra-228, Rn-222, Pb-210 und Np-237 anhand der Untersuchungsergebnisse im Betrachtungszeitraum von 1989 bis 2023 (Mittelwerte) sowie anhand der Untersuchungsergebnisse des Jahres 2023 dargestellt.

Da die Haldenmessstelle H 1T in der aktuellen Kampagne und in den Kampagnen des Jahres 2019 und 2021 nicht ausreichend Wasser für eine Probenahme führte, wird das Haldenwasser dieser Messstelle mit Hilfe der Zeitreihe 1989 – 2017 und aufgrund der Untersuchungsergebnisse des Jahres 2017 bewertet. Die Tritiumbefunde der Jahre 1993 und 1996, ein Teil der U-238-Befunde (GWM 4T, GWM 10, GWM 14 und GWM 23) des Jahres 1996 und der Pb-210-Befund in der Messstelle GWM 25 im Jahr 1996 waren unplausibel und wurden bei der Auswertung nicht beachtet.

Die Klassifizierung der ermittelten Aktivitäten in „auffällig“ und „unauffällig“ wurde in Anlehnung an die Diktion der letztjährigen Monitoringkampagnen im Vergleich zur Hintergrundaktivität im Anstrom der Halden vorgenommen. Zusätzlich wurden für die Beurteilung von Messwerten Parameterwerte herangezogen, die sich aus dem LAWA-Konzept der Geringfügigkeitsschwellenwerte und der Umsetzung der TrinkwV ergeben. Da am Standort geogen bedingt leicht erhöhte U-238 Aktivitäten vorliegen, wird

der an die TrinkwV angelehnte Schwellenwert für U-238 nicht als Maßstab zur Bewertung herangezogen.

Das untersuchte Nuklidspektrum umfasste in der Vergangenheit vor allem Radionuklide der Uran-Radium Reihe, sowie Neptunium, Tritium und Caesium-137. In der aktuellen Kampagne wurde Caesium-137 nicht untersucht. Bei Uran (U-238, U-234, U-235) und den Folgeprodukten Radium (Ra-226), Radon (Rn-222), Blei (Pb-210) und Polonium (Po-210) handelt es sich um natürliche Nuklide, die bei der Aufbereitung von Uranerz freigesetzt werden können. Die anderen Radionuklide gelangten vor allem über die Auswaschung uranhaltiger Reststoffe (Urankonzentrate, Sande, Bodenaushub und Schlämme) in den Untergrund der Urananlage.

Im **Grundwasseranstrom** zeigen die über den gesamten Betrachtungszeitraum gemittelten Tritiumaktivitäten höhere Werte als es der Tritiumaktivität junger Grundwässer (1 Bq/l) entspricht. Der Tritiumindikatorwert (100 Bq/l) wird im anstromigen Grundwasser deutlich unterschritten. Die im Grundwasseranstrom gemessenen Aktivitätskonzentrationen von U-238, Rn-222 (vergangene Messkampagnen) und auch in einigen Jahren von Ra-226 im tieferen Grundwasseranstrom zeigen, dass die Gesteine des Aquifers am Standort Ellweiler etwas uran-radiumhaltiger sind, als die meisten zur Trinkwassergewinnung genutzten deutschen Grundwasserleiter [6]. Der Schwellenwert für Rn-222 (100 Bq/l) wird nicht überschritten. Die weiteren Ergebnisse zeigen, dass die Aktivitätskonzentrationen von Ra-228 und Pb-210 im Grundwasseranstrom generell gering sind. Das Nuklid Np-237 wurde im Grundwasseranstrom bisher nicht untersucht.

Die **unter den Halden** untersuchten Grundwässer zeigen im Beobachtungszeitraum im Vergleich mit den anstromigen Konzentrationen auffällige Aktivitäten von Tritium, U-238, Ra-226, Rn-222 und insbesondere Pb-210, die auf die Einträge aus den Halden hinweisen. Der Tritiumindikatorwert (100 Bq/l) wird in Bezug auf den Mittelwert unter der Halde 1 überschritten. Unter der Halde 2 wurde der Indikatorwert bisher ausnahmslos eingehalten. Die bis zum Jahr 2013 festgestellten Rn-222 Aktivitäten im Haldengrundwasser sind ein Indiz für eine unmittelbare Beeinflussung durch Ra-226 reiches Haldenmaterial. In Bezug auf Ra-228 ist davon auszugehen, dass bisher kein signifikanter Eintrag in das Grundwasser erfolgte. Np-237 wurde bisher im Haldengrundwasser nicht untersucht.

Bei den **haldennahen Messstellen** führen die Einträge in das Grundwasser zu auffälligen Aktivitäten der Radionuklide Tritium, U-238, Rn-222 und z.T. Pb-210. Der Tritiumindikatorwert (100 Bq/l) wurde im Nahbereich der Halden z.T. überschritten. Auch Ra-226 zeigt z.T. auffällige Konzentrationen. Im Mittel des Beobachtungszeitraumes sind die Ra-226 Aktivitäten im Nahbereich der Halden allerdings unauffällig. Als Quellen für die Belastungen sind Freisetzungen aus den Halden sowie aus Betriebsanlagen beim ehemaligen Prozessgebäude anzusehen. Die in der Vergangenheit festgestellten Rn-222 Aktivitäten sind trotz der z.T. festgestellten Überschreitung des Schwellenwertes von 100 Bq/l nicht auf eine Grundwasserkontamination zurückzuführen, sondern geogen bedingt. Nur die Rn-222-Aktivitäten unter den Halden zeigen die Einflüsse der Halden. Auch die Ra-228-Konzentrationen reflektieren das natürliche Niveau. In den im Nahbereich der Halden auf Np-237 untersuchten Messstellen wurden in der aktuellen Kampagne keine Messwerte über der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Im **haldenabstromigen** Grundwasser wurden im Vergleich mit den anstromigen Messwerten auffällige Tritiumaktivitäten nachgewiesen. Der Schwellenwert für Tritium (100 Bq/l) wird im haldenabstromigen Grundwasser nicht überschritten. U-238, Ra-226 und Pb-210 zeigten in der Vergangenheit z.T. auffällige Aktivitäten. Im Mittel des Beobachtungszeitraumes und im Jahr 2023 sind die Aktivitäten von Ra-226 und Pb-210 im Grundwasserabstrom jedoch unauffällig. Die U-238- und Rn-222-Aktivitäten sind als geogen anzusehen. Ein Eintrag von Ra-228 in das Grundwasser erfolgte bisher nicht. Eine Untersuchung von Np-237 im haldenabstromigen Grundwasser wurde bisher nicht durchgeführt.

Insgesamt zeigt sich, dass die Messwerte der Radionuklide ähnlich wie die hydrochemischen Parametern (s. Kapitel 4.2.8) ein Bild ergeben, das

- beide Halden als wesentliche Eintragsstellen für Radionuklide in das Grundwasser belegt, wobei die Halde 2 nicht eindeutig als die Halde einzuordnen ist, die einen stärkeren Einfluss zeigt und
- deutlich erhöhte Konzentrationen im haldennahen Bereich zeigt, wobei allerdings ein räumlicher Trend in abstromiger Richtung nicht eindeutig zu erkennen ist.

Der Eintrag von belastetem Sickerwasser aus dem Bereich der ehemaligen Urananlage in den Steinaubach hat sich in den letzten Jahren so weit verringert, dass keine auffälligen U-238-Aktivitäten im Oberflächenwasser mehr festzustellen sind. Allerdings zeigen sich in den Sedimenten des Steinaubaches im abstromigen Bereich oftmals höhere U-238-Aktivitäten im Vergleich zu den U-238-Aktivitäten im anstromigen Abschnitt.

Tabelle 4-8: Bewertung der Grundwasseranalysen Radionuklide

Parameter	haldenanstromiges Grundwasser			Halden-grundwasser		haldennahes Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser			
	GWM 4B	GWM 4T	Hintergrund	H 1T	H 2T	GWM 25	GWM 6	GWM 7	GWM 10	GWM 14F	GWM 23F	GWM 14T	GWM 23T
<b>Tritium [Bq/l]</b>													
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	0,62	0,25	1	3,7	< 4,0	4,5	<3,90	54	5,2	< 4,0	3,0	8,2	2,8
MW <sup>2)</sup>	2,4	1,6		199	11,8	58,0	557	402	25,9	10,7	7,6	22,3	11,4
Anmerkung	Schwellenwert: 100 Bq/l			(1999)	(#)	(1998)	(2007)		(1991)	(#)	(#)	(#)	(#)
				Höhere Aktivität unter Halde 1		Höchste Aktivitäten südwestlich bzw. südöstlich Halde 1				Höhere Aktivitäten im nahen Abstrom			
<b>Uran-238 [Bq/l]</b>													
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	0,22	0,37	0,6	3,2	4,2	6,3	0,7	0,3	2,3	0,40	0,28	0,51	0,40
MW <sup>2)</sup>	0,2	0,3		7,4	10,1	5,9	2,9	2,5	8,5	0,52	0,26	0,51	0,3
Anmerkung										2007	1999	1997	

# Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz

## Gutachten zum Langzeitverhalten der Halden der Urananlage Ellweiler, Probenahme Oktober 2023

	Schwellenwert angelehnt an TrinkwV 0,12 Bq/l nicht geeignet für eine Be-			Höhere Aktivitäten unter Halde 2	Bereich Halde 2 stärker belastet als Bereich Halde 1				Höhere Aktivitäten im nahen Abstrom				
<b>Radium-226 [Bq/l]</b>													
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	0,10	0,06	0,15	0,39	1,62	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05		0,07	
MW <sup>2)</sup>	0,05	0,04		2,0	4,9	0,15	0,05	0,09	0,08	0,09		0,06	
Anmerkung	kein Schwellenwert			Höhere Aktivitäten unter Halde 2		Keine Belastungen im haldennahen Bereich				Keine Belastungen im Abstrom			
<b>Radium-228 [Bq/l]</b>													
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	0,07	0,04	0,08	<0,1	0,08	0,06	0,04	<0,03	0,03	<0,03		0,03	
MW <sup>2)</sup>	0,05	0,03		-	-	0,05	0,02	0,03	0,04	-		-	
Anmerkung	kein Schwellenwert			#	#	#	#	#	#	#	#	#	
				Keine Belastung unter den Halden		Keine Belastungen im haldennahen Bereich				Keine Belastungen im Abstrom			
<b>Radon-222 [Bq/l]</b>													
2013 <sup>1)</sup>	-	37,0	*	653	1.127	97,0	40,0	18,0	21,0	55,0		53,0	
MW <sup>2)</sup>	-	45,0		-	-	127	35,5	24,0	57,0	78,0		72,0	
Anmerkung	Schwellenwert: 100 Bq/l			s. Kapitel 4.3.6									
<b>Blei-210 [Bq/l]</b>													
2023 / 2017 <sup>1)</sup>	<0,07	<0,08	0,5	234	74,5	<0,08	<0,09	<0,09	<0,08	0,22		<0,08	
MW <sup>2)</sup>	0,08	0,05		123	57,2	0,11	0,18	0,78	0,12	0,06		0,06	
Anmerkung	kein Schwellenwert			Höhere Aktivitäten unter Halde 1		Höchste Aktivitäten südöstlich der Halde 1				Keine Belastungen im Abstrom			
<b>Neptunium-237 [Bq/l]</b>													
2023 <sup>1)</sup>			*			<0,01	<0,01	<0,01					
MW <sup>1)</sup>						0,09	0,38	0,13	0,16				
Anmerkung						Keine Belastungen im haldennahen Bereich							
<b>Legende</b>													
	in Bezug auf die Hintergrundaktivität im Anstrom auffällige Aktivitäten (* Für die Parameter Radon und Neptunium liegen bisher zu wenig Daten aus dem Grundwasseranstrom vor, so dass keine Hintergrundaktivitäten festgelegt werden können.) <b>In fetter Schrift:</b> Überschreitung des Tritiumindikatorwertes von 100 Bq/l bzw. der Radon-Konzentration von 100 Bq/l.												
	auffällige Aktivitäten vermutlich geogen bedingt												
1) Grundwasser: bezogen auf die Messwerte 2019; bei Rn-222 auf 2013 Haldengrundwasser: bezogen auf die Messwerte 2017													
2) Grundwasser: bezogen auf die Mittelwerte repräsentativer Ergebnisse im Betrachtungszeitraum von 1989 – 2019 Haldengrundwasser: bezogen auf die Mittelwerte repräsentativer Ergebnisse im Betrachtungszeitraum von 1989 – 2017; bei Rn-222 1989 – 2013													
Anmerkungen:													
#	Bisher waren alle plausiblen Messwerte kleiner als die Aktivitäten des Hintergrundes.												

(#)	Bisher waren alle plausiblen Messwerte kleiner als der Tritiumindikatorwert bzw. der Radon-Richtwert von 100 Bq/l.
Zahlenwert	Durch den positiven Trend werden ab dem angegebenen Jahr die Aktivitäten des Hintergrundes erreicht bzw. unterschritten
(Zahlenwert)	Durch den positiven Trend wird ab dem angegebenen Jahr der Tritiumindikatorwert von 100 Bq/l bzw. der Radon-Richtwert von 100 Bq/l erreicht bzw. unterschritten

Die Ergebnisse der Trendanalysen mit dem Mann-Kendal-Test sind in Tabelle 4-9 in tabellarischer Form dargestellt. Analyseergebnisse, die unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden bei der Analyse nicht beachtet. Die Ergebnisse der Berechnungen nach dieser Methode sind in Anhang 5.2 im Einzelnen dargestellt.

Im zeitlichen Verlauf weisen die Zeitreihen der untersuchten Radionuklide im Haldengrundwasser als auch im haldennahen Grundwasser infolge der Sanierungsarbeiten sowie der Abdeckung der Halden im Wesentlichen einen rückläufigen Trend auf, der z.T. bereits zu unauffälligen Stoffkonzentrationen führte. Der bogenförmige Trend der Tritiumaktivitäten im Grundwasserabstrom in den Messstellen GWM 14T und (weniger ausgeprägt in GWM 14F) zeigt die Ausbreitung der Kontaminationsfahne im Abstrom der Halden bzw. des Betriebsgeländes. Diese Ausbreitung ist aber offensichtlich nicht mit einer unmittelbaren Verfrachtung von anderen Kontaminationen (Uran, Radium) verbunden.

Tabelle 4-9: Trendbewertung der Grundwasseranalysen Radionuklide

Parameter	haldenanstromiges Grundwasser		Haldengrundwasser		haldennahes Grundwasser				haldenabstromiges Grundwasser			
	GWM 4B	GWM 4T	H 1T	H 2T	GWM 25	GWM 6	GWM 7	GWM 10	GWM 14F	GWM 23F	GWM 14T	GWM 23T
<b>Tritium</b>												
Trend	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Signifikanz	+		***	***	***	***	***	***				***
<b>Uran-238</b>												
Trend	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Signifikanz	*		***	*	*	*	***		**			+
<b>Radium-226</b>												
Trend	+	+	+	+	+	+	-	-	-	k.A.	-	k.A.
Signifikanz						**	*		+			
<b>Blei-210</b>												
Trend	k.A.	k.A.	+	+	k.A.	k.A.	+	+	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Signifikanz			**	**								
<b>Neptunium-237</b>												
Trend	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Signifikanz						***						
Legende	Trend											
	+	Die Aktivitäten steigen in der zeitlichen Entwicklung an.										
	-	Die Aktivitäten fallen in der zeitlichen Entwicklung ab.										
	k.A.	Für eine Trendbewertung liegen zu wenig Analyseergebnisse oberhalb der Bestimmungsgrenze vor										
	Signifikanz (bei fallenden Aktivitäten grüne Signatur, bei steigenden Aktivitäten gelbe – rote Signatur)											
	+	+	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 90 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >90 %)									
*	*	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 95 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >95 %)										
**	**	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 99 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >99 %)										
***	***	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend vom Test korrekt bestätigt wird, liegt bei > 99,9 % (Sicherheitswahrscheinlichkeit: >99,9%)										

In der Abbildung 4-52 sind die Daten der langfristig beobachteten Messstellen im oberflächennahen Grundwasser als Zeitreihe in Pseudoprofilen dargestellt. Die Abfolge der Messstellen verläuft vom Anstrom (links) über die Eintragsquellen (Aufbereitungsanlage, Halden) über die haldennahen Bereiche (GWM 6, 7, 10) zu den haldenferneren Messstellen (GWM 14F und GWM 23F). Aufgrund der großen Konzentrationsunterschiede zwischen wenig beeinflussten Messstellen und denen aus dem Nahbereich der Eintragsstellen in der Urananlage wurden die Konzentrationen in logarithmischen Skalen aufgetragen (außer pH). Dabei wurden wegen der besseren Vergleichbarkeit stets 5 Größen-

ordnungen erfasst. Bei den pH-Werten wurde durch die Transformation  $\text{pH} \rightarrow \text{pH}-7$  eine Skala erzeugt, die alkalisches Milieu als positive und saures Milieu als negative Werte darstellt.

Zur zeitlichen Einordnung sind die ältesten Messungen (1989-91) mit roter Farbe, die des Zeitraumes 1998-2000 gelb und die seit dem Jahr 2019 in blau hervorgehoben dargestellt. Ergebnisse der dazwischen liegenden Monitoringkampagnen sind als dünne Linien mit eingetragen. Die Diagramme der Abbildung 4-52 sind teilweise lückenhaft, da die Messreihen nicht immer komplett für alle Messstellen vorliegen.

Die Diagramme der Abbildung 4-52 zeigen zusammenfassend:

- Die Zeitreihen des oberflächennahen Grundwassers weisen über alle Monitoringkampagnen einen ähnlichen Verlauf auf, der in den Eintragsbereichen und dem Nahbereich der Eintragsquellen zu erhöhten Konzentrationen zw. Aktivitäten (bzw. niedrigen pH-Werten) der hier ausgewerteten Parameter führt.
- Die Konzentrationserhöhung zwischen Anstrom und Eintragsbereichen ist für Tritium und Ra-226 extrem (mehr als 3 Größenordnungen), für Wasserstoffionen (pH), für Sulfat, Uran und Ra-228 (2-3 Größenordnungen) und für Chlorid noch gut erkennbar (1-2 Größenordnungen).
- Der Vergleich der 3 farblich hervorgehobenen Zeiträume zeigt, dass sich im Verlauf des gesamten Monitoringzeitraums von 1989 bis 2023 die Konzentration der hier ausgewerteten Stoffe vor allem im Eintragsbereich und dem Nahbereich der Eintragsquellen signifikant verändert hat. Dabei haben die deutlichsten Veränderungen - mit Ausnahme des pH-Wertes - in den 1990er Jahren stattgefunden. Die aktuellsten Beobachtungen („blau“) zeigen generell eine weitere Abnahme der Konzentrationen an.

Für die Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit im tieferen Grundwasser stehen 3 Zeitreihen über den gesamten Monitoringzeitraum zur Verfügung (Abbildung 4-53). Davon befindet sich eine Messstelle im Anstrom (GWM 4T) und zwei im Grundwasserabstrom (GWM 14T und GWM 23T). Die Diagramme der Abbildung 4-53 zeigen zusammenfassend:

- Die Anstromkonzentrationen (grüne Linien) liegen im Wesentlichen unter den abstromigen Konzentrationen (s. z.B. Sulfat und Tritium). Ein technogener Einfluss ist auch im tiefen Grundwasser zu erkennen.
- Abgesehen von einzelnen Ausreißern sind die Trends im zeitlichen Verlauf gut interpretierbar. Deutlich werden die im Gegensatz zum weiten Grundwasserabstrom bis 2002 steigenden Tritiumkonzentrationen im nahen Grundwasserabstrom. Die Chlorid- und Sulfatkonzentrationen sind im weiten Abstrom (GWM 23T) größer als im nahen Abstrom (GWM 14T). Ob die Ursache dieser Schadstoffkonzentrationen im weiten Abstrom aus den Freisetzungen der Halden resultiert, lässt sich nicht zweifelsfrei belegen.

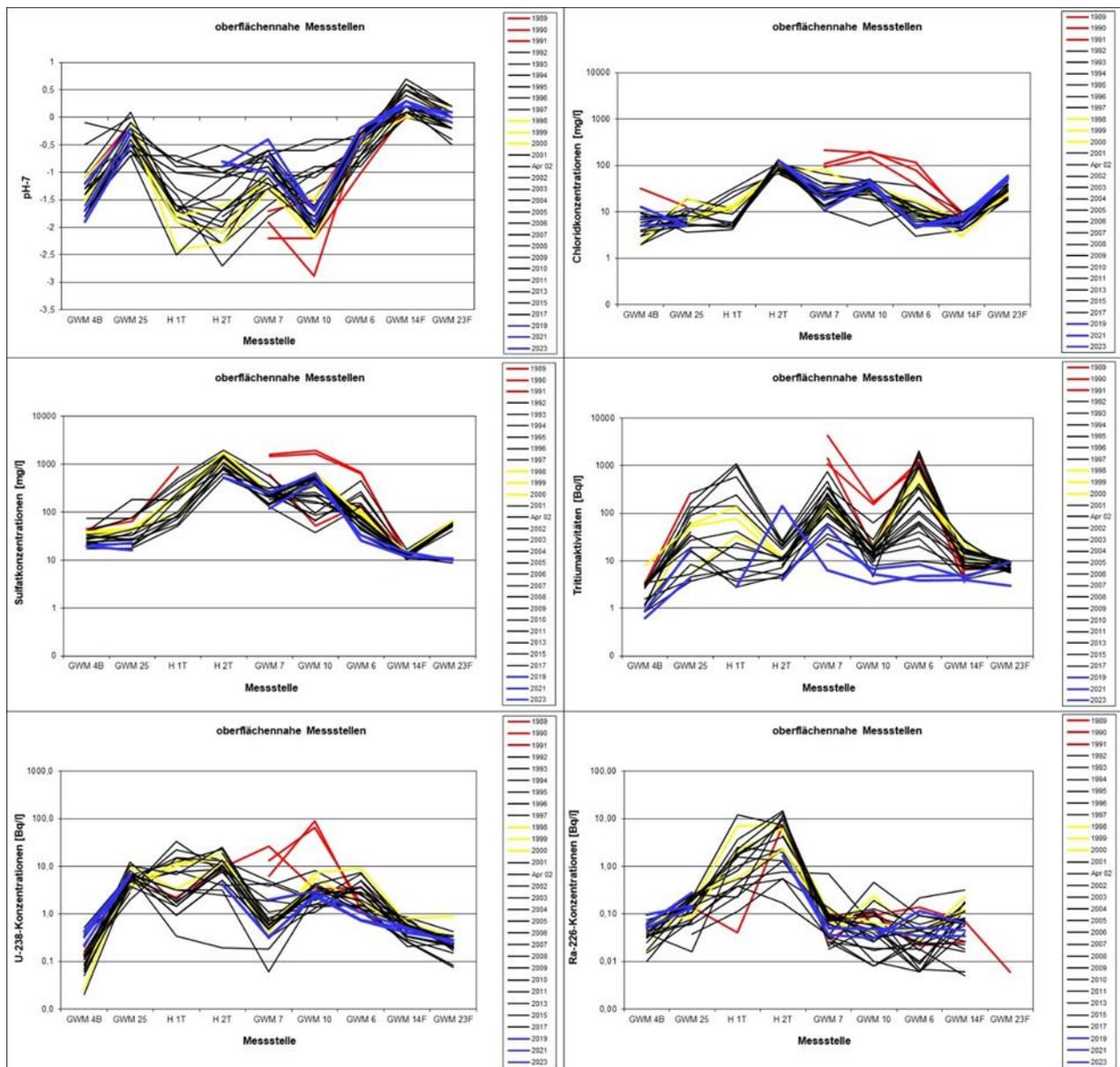


Abbildung 4-52: Zeitreihen der oberflächennahen Grundwässer dargestellt als Pseudoprofile

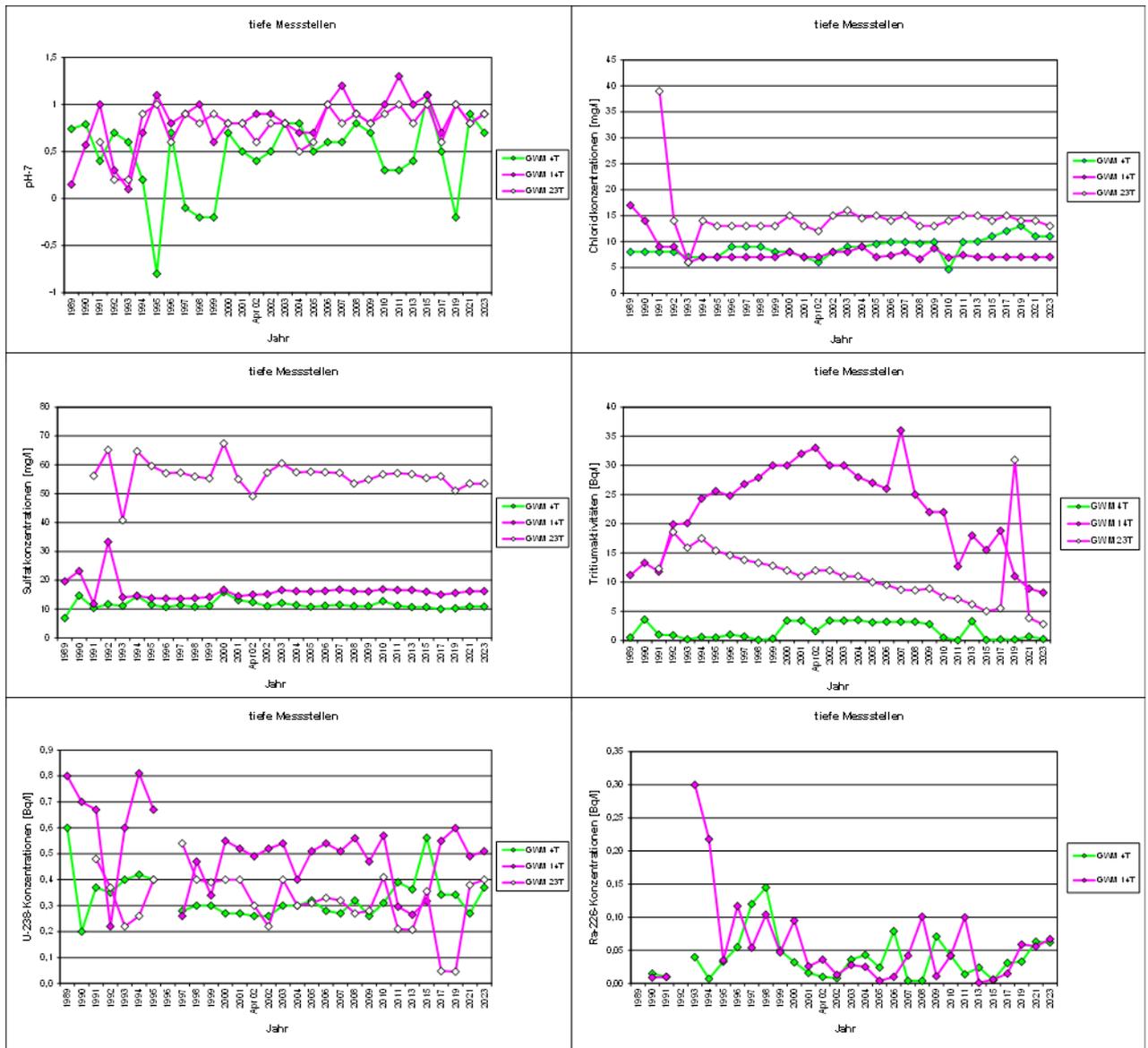


Abbildung 4-53: Zeitreihen der tiefen Grundwässer

Die Tabelle 4-10 zeigt eine Gegenüberstellung der Mittelwerte über alle beprobten Messstellen für die Parameter pH-Wert, Chlorid, Sulfat, Tritium, U-238 und Ra-226 im oberflächennahen Grundwasser für die jährlichen Probenahmen. In der Abbildung 4-54 sind die Mittelwerte grafisch dargestellt.

In Bezug auf die Parameter Chlorid, Sulfat, Tritium und U-238 ist zu erkennen, dass die Mittelwerte von den ersten Probenahmen bis zum Jahr 2023 generell rückläufig sind bzw. in Bezug auf den pH-Wert ansteigen. Auffällig hinsichtlich U-238 ist, dass in den Jahren 1999 – 2001 der Mittelwert ansteigt. Dies könnte auf die Sanierungsarbeiten von 1998 zurückzuführen sein.

Tabelle 4-10: Mittelwerte für die Messstellen im oberflächennahen Grundwasser

Probe-nahmejahr	pH-7 [-]	Chlorid [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Tritium [Bq/l]	U-238 [Bq/l]	Ra-226 [Bq/l]
1989	-1,24	107,00	849,98	1079,72	24,52	0,09
1990	-1,27	81,60	758,08	489,24	20,11	0,05
1991	-0,60	51,57	234,80	499,47	5,76	0,90
1992	-1,14	37,56	421,20	400,37	3,44	0,43
1993	-1,07	21,33	336,57	428,51	6,59	0,80
1994	-0,87	21,11	281,58	376,16	2,97	1,25
1995	-0,89	20,33	242,64	170,71	3,60	0,60
1996	-0,67	23,56	246,71	218,03	10,74	0,51
1997	-0,90	23,44	225,02	165,03	5,41	0,31
1998	-0,92	27,11	321,46	126,50	4,03	1,89
1999	-1,12	24,11	320,81	87,19	4,55	1,12
2000	-0,93	28,33	277,84	66,79	4,62	0,43
2001	-0,93	22,22	274,68	78,21	6,19	1,25
April 2002	-0,57	17,71	130,03	114,47	1,37	0,04
2002	-0,89	22,22	277,38	67,88	4,52	2,50
2003	-0,76	25,36	304,51	67,14	4,40	0,71
2004	-1,22	23,06	235,16	45,52	2,37	1,54
2005	-0,69	16,00	84,24	32,12	1,41	0,06
2006	-0,54	22,57	144,18	73,87	3,18	0,03
2007	-0,51	25,14	195,60	32,32	2,97	1,94
2008	-0,88	25,03	195,56	26,86	2,23	0,44
2009	-0,88	25,90	209,01	47,74	2,22	0,18
2010	-0,78	30,30	215,03	33,23	3,50	0,23
2011	-0,78	31,24	183,71	42,01	2,24	1,38
2013	-0,76	32,38	210,59	12,55	2,31	0,11
2015	-0,39	28,00	159,81	13,94	1,52	2,64
2017	-0,67	30,00	157,87	21,02	2,12	0,17
2019	-0,67	19,71	93,39	10,01	1,97	0,06
2021	-0,55	36,00	188,38	22,09	1,96	0,32
2023	-0,73	32,25	188,38	9,90	1,85	0,29

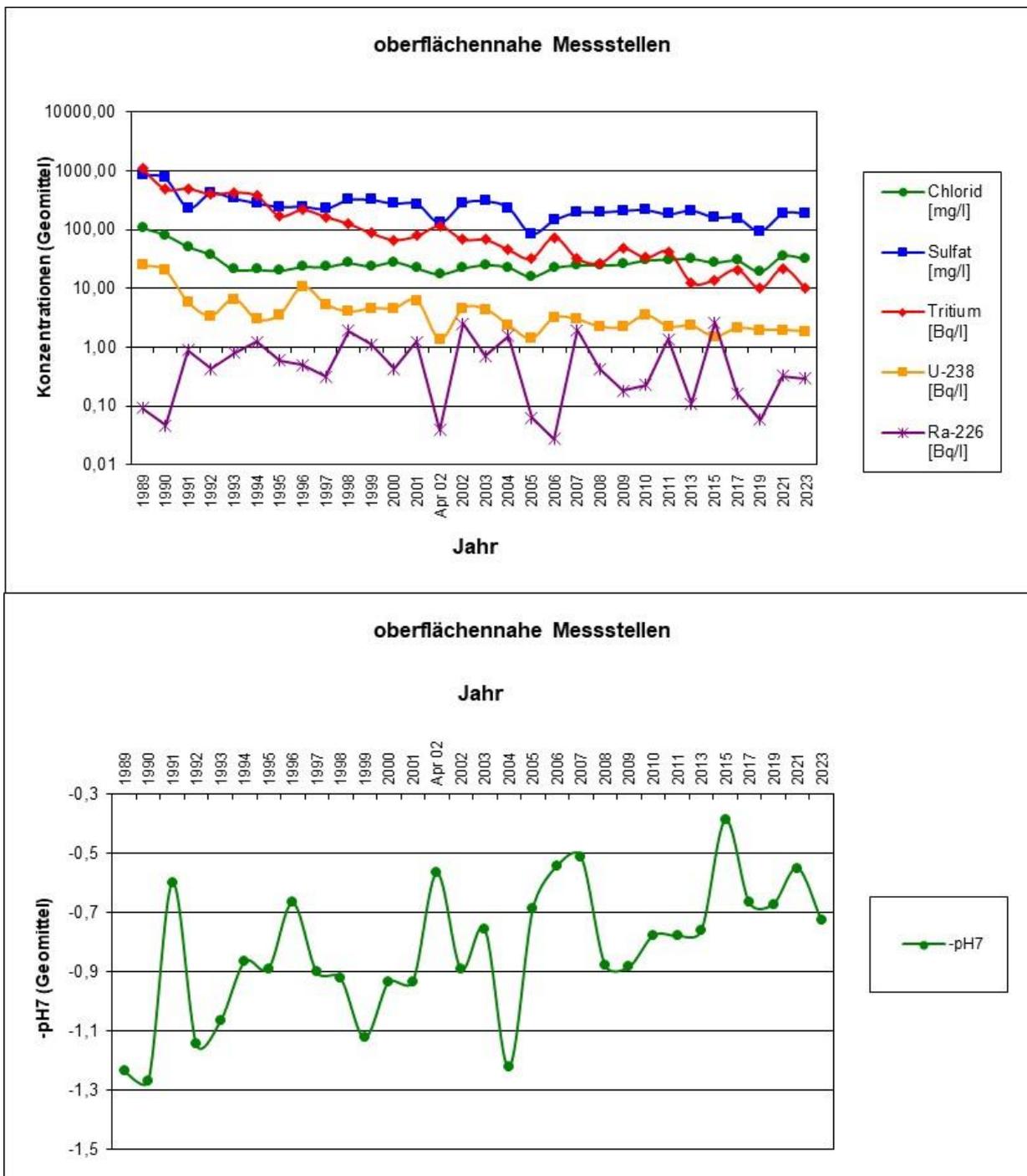


Abbildung 4-54: Vergleichende Darstellung der jährlichen Mittelwerte für die Parameter Chlorid, Sulfat, pH, Tritium, U-238 und Ra-226 der Messstellen im oberflächennahen Grundwasser

## 5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz setzte 2023 das bereits in den Jahren 1989 bis 2021 durchgeführte Monitoring am Standort der ehemaligen Urananlage Ellweiler mit dem Ziel fort, das Langzeitverhalten der Halden im Bereich der ehemaligen Urananlage im Zweijahresrhythmus zu untersuchen und zu bewerten.

Das Monitoring enthält ein breites Spektrum an Messungen. Erfasst werden der Wasserstand im Steinaubach (monatlich), die Grundwasserstände (monatlich) sowie physikalische, chemische und radiologische Parameter im Grundwasser und im Steinaubach. Darüber hinaus werden Sedimentproben aus dem Steinaubach entnommen und untersucht.

2023 fand die im Rahmen des Monitorings inzwischen 30. Probenahme am 19. Oktober statt. Die Lage des Untersuchungsgebietes und ausgewählter Messstellenstandorte sowie die Kennzeichnung der Grundwasserzustrom- und -abstromrichtung vermittelt Abbildung 5.1. Die Probenahme umfasste 11 Grundwasser- bzw. Haldenwassermessstellen sowie 2 Probenahmen aus dem Oberflächenwasser und 2 Proben aus Sedimenten des Steinaubachs. Die Haldenmessstelle H1T konnten in dieser Kampagne nicht beprobt werden, da sie zum Zeitpunkt der Probenahme kein Wasser führte.

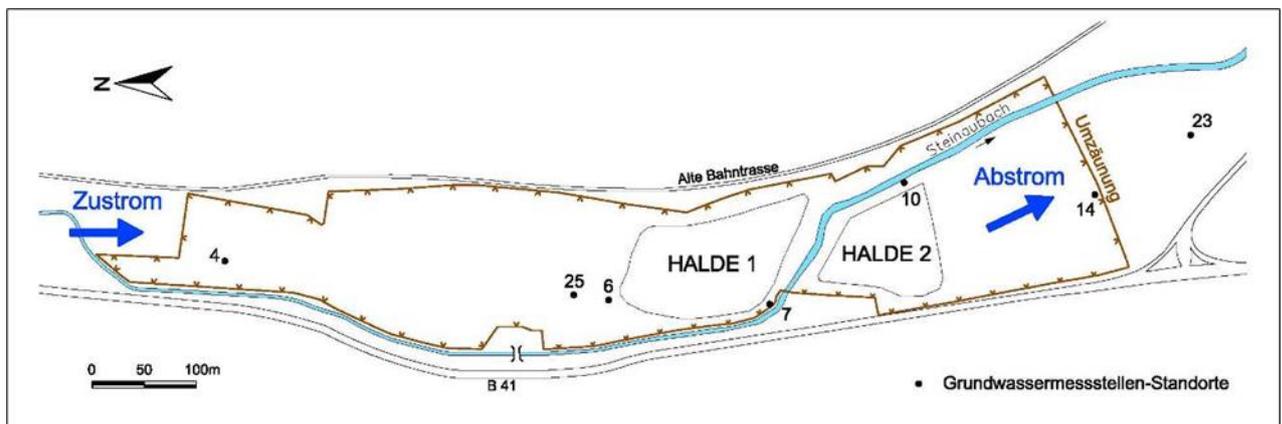


Abbildung 5-1: Überblick Untersuchungsgebiet

Der Schwerpunkt des Monitorings lag 2023 wie in den Jahren zuvor in der Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit. Erfasst wird in der Regel das oberflächennahe Grundwasser in den Lockersedimenten der Talfüllung (bei Doppelmessstellen: Kürzel „F“ oder „B“), an den Standorten der Doppelmessstelle GWM 4, GWM 14 und GWM 23 auch das Grundwasser im darunter anstehenden Festgestein (tieferes Grundwasser, Kürzel „T“).

Die einzelnen Grundwassermessstellen (GWM) haben dabei folgende Aufgaben: Die GWM 4B und GWM 4T (Standort 4) erfassen den Grundwasseranstrom zur ehemaligen Urananlage mit ihren beiden Halden, die beiden Messstellen H 1T und H 2T das unmittelbar unter den Halden befindliche Grundwasser („Haldengrundwasser“), die vier Messstellen GWM 6, GWM 7, GWM 10 und GWM 25

den im nahen Umfeld der Halden vorkommenden Grundwasserzu- und abstrom („haldennahes Grundwasser“) und die Messstellen GWM 14F und GWM 14T (Standort 14) den nahen Abstrom sowie GWM 23F und GWM 23T (Standort 23) den weiteren Abstrom („haldenabstromiges Grundwasser“) bis über die Grundstücksgrenzen des ehemaligen Betriebsgeländes hinaus.

Die zu untersuchenden Parameter wurden auf Grundlage der Ergebnisse des langjährigen Monitorings festgelegt. Das Messprogramm umfasste Hauptionen, Spurenelemente und Radionuklide sowie die Feldparameter Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert.

Von den untersuchten Parametern wurden ausgewählte Parameter als Indikatoren vertiefend ausgewertet, um zum einen die langjährige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit am Standort zu beurteilen und zum anderen zu prüfen, ob aus der aktuellen Situation Gefährdungen für das Schutzgut Wasser, die menschliche Gesundheit oder Flora und Fauna abzuleiten sind. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammenfassend dokumentiert und bewertet.

Bei der Bewertung der aktuellen Messergebnisse ist zwischen geringfügigen Veränderungen der natürlichen Hintergrundkonzentrationen und solchen Werten zu unterscheiden, die nach Maßstäben des Wasserrechts Schwellenwerte für eine nachteilige Veränderung des Grundwassers darstellen.

Insgesamt zeigt sich, dass durch die Halden auch weiterhin Stoffe in das Grundwasser eingetragen werden. Die Messwerte der Probenahme 2023 bestätigen aber auch die langfristig abnehmenden Trends der Schadstoffbelastung im Grundwasser.

Vor allem bei den Messstellen unter den Halden sowie im haldennahen Bereich (GWM 6, GWM 7 und GWM 25) ist über den Zeitraum des gesamten Monitorings im Wesentlichen ein Rückgang der Sulfat- und Nitratkonzentrationen, der Tritiumaktivitäten und mit Ausnahme unter der Halde 2 auch ein Rückgang der Chloridkonzentrationen zu beobachten. Teilweise liegen die Konzentrationen der Hauptanionen selbst in Messstellen des haldennahen Grundwassers bereits ähnlich niedrig wie im Anstrom.

Im Einzelnen wurden im Jahr 2023, bzw. im Hinblick auf die Haldenmessstelle H 1T im Jahr 2017, bei folgenden Hauptanionen Konzentrationserhöhungen im Grundwasser festgestellt:

- Haldenanstromiges Grundwasser: geogen bedingt: Arsen (im tiefen Grundwasser) und Uran
- Haldengrundwasser: Chlorid, Nitrat und Arsen (alle bei Halde 2), Sulfat, Uran
- Haldennahes Grundwasser: pH-Wert und Nitrat (GWM 10), Chlorid und Sulfat (GWM 7 und 10), Arsen (GWM 25, GWM 6, GWM 7), Uran
- Haldenabstromiges Grundwasser: Chlorid (im weiten Abstrom), Sulfat und Nitrat (im tiefen Abstrom), Arsen (im flachen und tiefen, nahen Abstrom)

Von diesen Konzentrationen wurde im Jahr 2023 beim Sulfat der Schwellenwert der Grundwasserverordnung (GrwV) von 250 mg/l an zwei Messstellen (H 2T, GWM 10) überschritten. In Bezug auf Nitrat

zeigen sich Überschreitungen des Schwellenwertes von 50 mg/l in der GWM 10. Die genannten Messstellen beobachten das Haldengrundwasser unter der Halde 2 und das haldennahe Grundwasser nördlich der Halde 2 auf dem ehemaligen Betriebsgelände.

Bei den Parametern Arsen und Uran muss von geogen erhöhten Hintergrundwerten ausgegangen werden. In Bezug auf Uran sind Auffälligkeiten im Haldenwasser, im haldennahen Grundwasser und im oberflächennahen Abstrom festzustellen, die die geogenen Werte deutlich übersteigen.

Bei Ammonium und den Spurenelementen Blei, Kupfer, Nickel, Zink und Cadmium zeigen sich vor allem im Haldengrundwasser und/oder im haldennahen Grundwasser erhöhte Konzentrationen. Erhöhte Konzentrationen an Nickel zeigen sich auch im nahen oberflächennahen Abstrom der Urananlage.

Die Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen des Wassers werden als Aktivitätskonzentrationen in Becquerel pro Liter (Bq/l) angegeben. Da die im Monitoring untersuchten relevanten Radionuklide auch natürlicherweise vorkommen, sind die gemessenen Konzentrationen mit natürlichen Konzentrationsbereichen vergleichbar.

Die Schwerpunkte der Grundwasserkontamination durch Radionuklide liegen erwartungsgemäß unter den beiden Halden sowie im haldennahen Bereich. Es ist zu erwarten, dass von diesen Belastungsschwerpunkten im Boden auch langfristig noch eine gewisse Kontamination des Grundwassers ausgehen wird.

Im Jahr 2023, bzw. im Hinblick auf die Haldenmessstelle H 1T im Jahr 2017, wurden bei folgenden Parametern erhöhte Aktivitätskonzentrationen im Grundwasser festgestellt:

- Anstromiges Grundwasser: geogen bedingt: Tritium und Uran
- Haldengrundwasser: Tritium (bei Halde 1), Uran, Radium (Ra-226), Blei
- Haldennahe Grundwasser: Tritium, Uran (außer GWM 7)
- Haldenabstromiges Grundwasser: Tritium

Zur Beurteilung der radiologischen Wirkung aller im Grundwasser gelöster Radionuklide kann der Parameter Richtdosis herangezogen werden. Auch bei diesem Parameter sind bei realistischer Bewertung der Messunsicherheiten keine schädlichen Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit außerhalb des Grundstücks der ehemaligen Urananlage gegeben.

Beim Radionuklid Tritium wird im Jahr 2023 der Tritiumindikator von 100 Bq/l in keiner Messstelle überschritten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kontamination des Grundwassers auf das Gebiet des ehemaligen Betriebsgeländes begrenzt ist und seit 1990 signifikant abgenommen hat. Aus den Befunden des Monitorings 2023 sind keine unmittelbaren Gefahren für das Schutzgut Wasser, die menschliche Gesundheit sowie Flora und Fauna erkennbar. Wesentlich für diese Einschätzung ist der Sachverhalt, dass bei den meisten der beprobten Grundwassermessstellen ein Rückgang der Aktivitätskonzentrationen seit dem Beginn des Monitorings festzustellen ist. Daher ist eine Zunahme von

Schadstoffkonzentrationen außerhalb des Geländes der ehemaligen Urananlage über die Schwellen geringfügiger Veränderungen nicht zu erwarten.

## **6 Ausblick**

Da sich die in den letzten Jahren festgestellten, zumeist abnehmenden Trends, der Schadstoffentwicklung in der aktuellen Kampagne bestätigt haben, wird vorgeschlagen, das zweijährige Beprobungsintervall beizubehalten. Die nächste Kampagne sollte daher im Jahr 2025 durchgeführt werden. Die im Monitoring 2023 untersuchten Radionuklide

- H-3 (Tritium)
- U-238, U-235
- Ra-226, Ra-228
- Pb-210

sollten auch im Jahr 2025 analysiert werden. Es wird vorgeschlagen, das Radionuklid Np-237 nur noch jede zweite Kampagne untersuchen zu lassen. Weiterhin wird empfohlen, Rn-222 wieder in das Programm aufzunehmen, um die Messwerte von Pb-210 besser einzuordnen zu können.

Um ausschließen zu können, dass schwankende Aktivitäten (z.B. Pb-210, Ra-226) auf die Probenahme und -aufbereitung zurückzuführen sind, schlagen wir eine Membranfiltration bei der Probenahme vor.



Zeichenerklärung

- Standort der ehemaligen Urananlage Ellweiler



Koordinatensystem: ETRS 1989 UTM Zone 32N  
 Datengrundlagen: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2024,  
 Datenquellen:  
[http://sg.geodatenzentrum.de/web\\_public/Datenquellen\\_TopPlus\\_Open.pdf](http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlus_Open.pdf)



Übersichtskarte

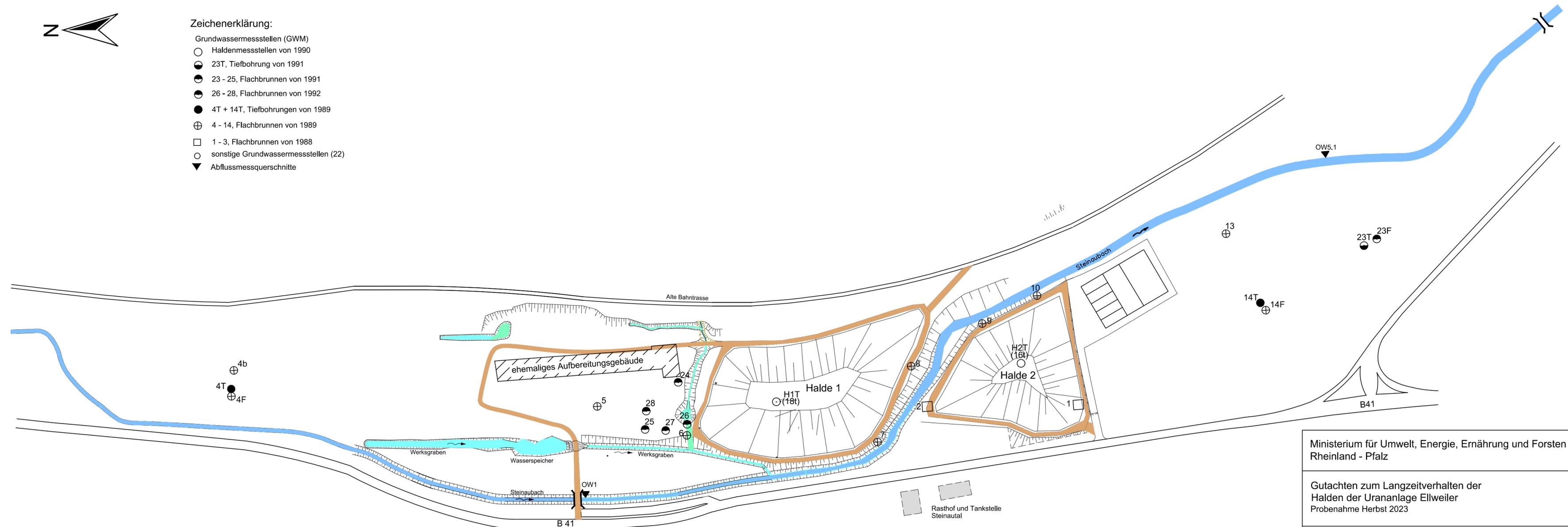
M.: 1:10.000	Juli 2024	elw.1125140
--------------	-----------	-------------

19.07.2024 Uhr: 11:06:47 sinico 1:10.000  
 J:\elw1125140\planung\03\_GIS\mxd\202407\_Bericht\Anlage\_1\_1.mxd

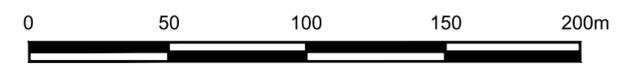


Zeichenerklärung:

- Grundwassermessstellen (GWM)
- Haldenmessstellen von 1990
- 23T, Tiefbohrung von 1991
- 23 - 25, Flachbrunnen von 1991
- 26 - 28, Flachbrunnen von 1992
- 4T + 14T, Tiefbohrungen von 1989
- ⊕ 4 - 14, Flachbrunnen von 1989
- 1 - 3, Flachbrunnen von 1988
- sonstige Grundwassermessstellen (22)
- ▼ Abflussmessquerschnitte



Plotdatum: 15.07.24 12:59:06  
15.07.24 12:58:34 goldhorn\_J:\elw1125140\Hydrologie\Kampagne-2022-2023\Anhang\Anhang\_1\_2.dwg (Anhang 1\_2)



Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten  
Rheinland - Pfalz

Gutachten zum Langzeitverhalten der  
Halden der Urananlage Ellweiler  
Probenahme Herbst 2023

Lageplan der Probenahmestellen 2023

**BJ**  
BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Maria Trost 3, 56070 Koblenz  
Telefon +49 261 8851-0, Telefax +49 261 8851-191  
info@bjornsen.de, www.bjornsen.de

Entworfen: U. Horalek  
Gis / Cad: S. Goldhorn  
Geprüft: S. Siničič

Maßstab 1 : 2 000	Datum Juli 2024	Projekt Proj:elw1125140
Anlage / Nr. Anhang 1.2		

# Lageplan aller Messstellen

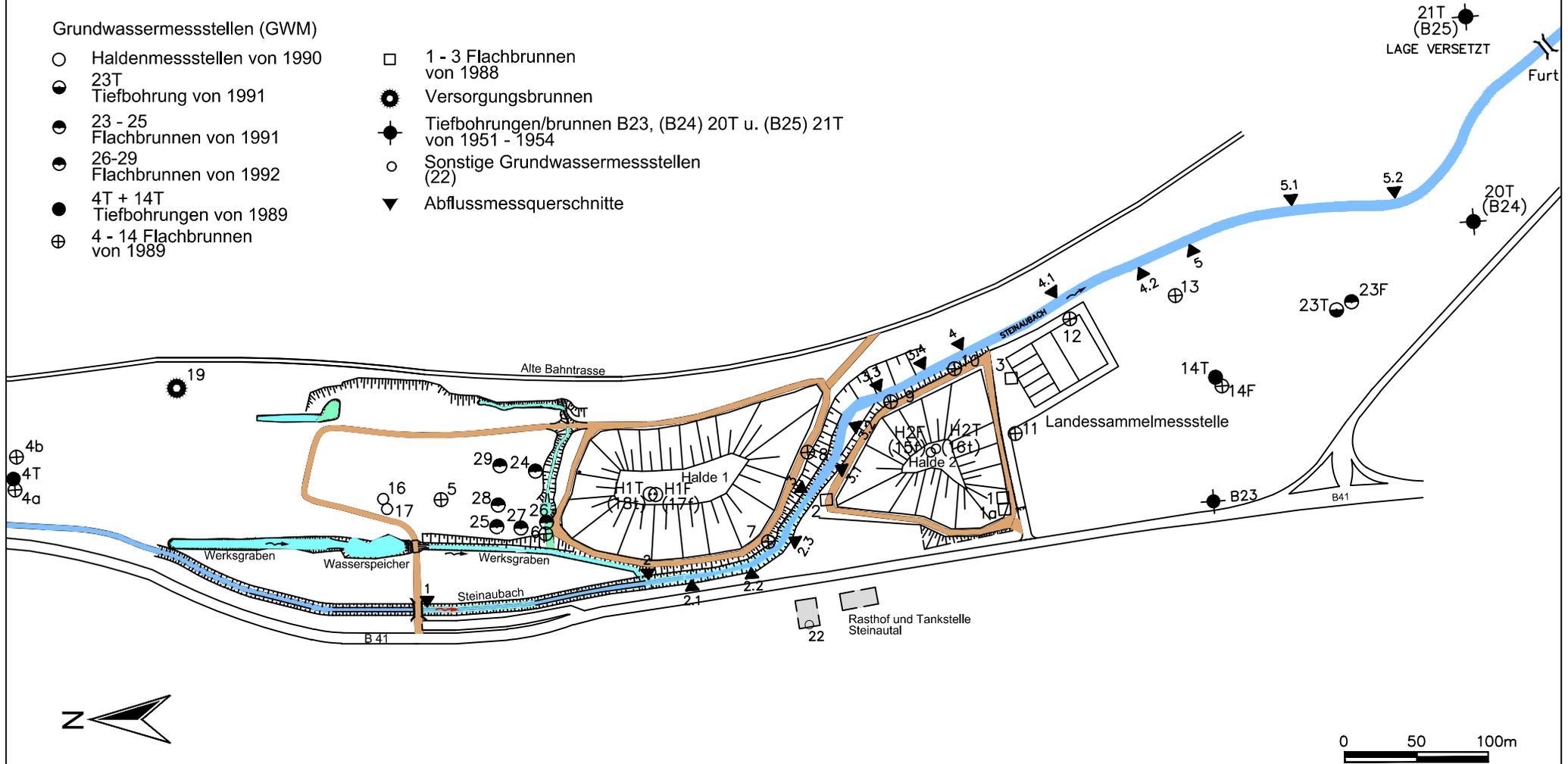
Maßstab 1 : 4.000



## Zeichenerklärung:

### Grundwassermessstellen (GWM)

- |                                   |                                                                     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ○ Haldenmessstellen von 1990      | □ 1 - 3 Flachbrunnen von 1988                                       |
| ● 23T Tiefbohrung von 1991        | ⊙ Versorgungsbrunnen                                                |
| ● 23 - 25 Flachbrunnen von 1991   | ⊙ Tiefbohrungen/brunnen B23, (B24) 20T u. (B25) 21T von 1951 - 1954 |
| ● 26-29 Flachbrunnen von 1992     | ○ Sonstige Grundwassermessstellen (22)                              |
| ● 4T + 14T Tiefbohrungen von 1989 | ▼ Abflussmessquerschnitte                                           |
| ⊕ 4 - 14 Flachbrunnen von 1989    |                                                                     |



## Anhang 2.1

### Übersicht über Grundwassermessstellen 2023 Lage, Probenahme, Grundwasserstände

Messstelle:	<b>GWM 4T</b>	
Lage:	nördliches Betriebsgelände	
Art des Brunnens:	Tiefbrunnen	
Brunnentiefe:	40,50 m	
Messpunkthöhe (ROK):	353,28 mNN	
GW-Spiegel:	1 .Probenahme (20.11.89):	1,95 m u. ROK
	2. Probenahme (01.03.90):	1,15 m u. ROK
	3. Probenahme (05.09.91):	2,20 m u. ROK
	4. Probenahme (21.09.92):	2,00 m u. ROK
	5. Probenahme (07.09.93):	2,11 m u. ROK
	6. Probenahme (1 5.09.94):	1,63 m u. ROK
	7. Probenahme (18.09.95):	2,07 m u. ROK
	8. Probenahme (23.09.96):	2,22 m u. ROK
	9. Probenahme (22.09.97):	2,18 m u. ROK
	10. Probenahme (21.09.98):	2,10 m u. ROK
	11. Probenahme (30.08.99):	2,16 m u. ROK
	12. Probenahme (25.09.00):	1,77 m u. ROK
	13. Probenahme (24.09.01):	1,79 m u. ROK
	14. Probenahme (09.04.02):	1,81 m u. ROK
	15. Probenahme (14.10.02):	2,50 m u. ROK
	16. Probenahme (30.09.03):	2,32 m u. ROK
	17. Probenahme (21.09.04):	2,19 m u. ROK
	18. Probenahme (20.09.05):	2,21 m u. ROK
	19. Probenahme (26.09.06):	2,21 m u. ROK
	20. Probenahme (27.09.07):	2,22 m u. ROK
	21. Probenahme (09.09.08):	2,22 m u. ROK
	22. Probenahme (20.10.09):	2,22 m u. ROK
	23. Probenahme (29.11.10):	1,84 m u. ROK
	24. Probenahme (28.09.11):	2,19 m u. ROK
	25. Probenahme (24.09.13):	2,10 m u. ROK
	26. Probenahme (14.10.15):	2,50 m u. ROK
	27. Probenahme (18.10.17):	2,21 m u. ROK
	28. Probenahme (09.10.19):	2,14 m u. ROK
	29. Probenahme (09.09.21):	2,27 m u. ROK
	30. Probenahme (19.10.23):	2,20 m u. ROK

Messstelle: **GWM 4B**

Lage: bei Brunnen 4T  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 3,00 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 353,54 mNN

GW-Spiegel:

1. Probenahme (20.11.89):	1,96 m u. ROK
2. Probenahme (01.03.90):	1,15 m u. ROK
3. Probenahme (05.09.91):	2,58 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	2,35 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	2,45 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	1,75 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	2,40 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	2,64 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	2,48 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	2,50 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	2,44 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	1,93 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	1,99 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	2,06 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	2,52 m u. ROK
keine 16. Probenahme	
17. Probenahme (21.09.04):	2,41 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	2,21 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	2,46 m u. ROK
20. Probenahme (25.09.07):	2,52 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	2,55 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	2,46 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	2,22 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	2,48 m u. ROK
25. <i>Probenahme (24.09.13):</i>	<i>2,43 m u. ROK</i>
26. <i>Probenahme (14.10.15):</i>	<i>3,16 m u. ROK</i>
27. Probenahme (18.10.17):	2,53 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	2,71 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	2,55 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	2,52 m u. ROK

Die Messstelle war im Jahr 2013 stark verschlammmt und hatte keine ausreichende Aquiferanbindung. Anzutreffen war lediglich ein fauliges, jauche-artiges Wasser. Lt. Prüfbericht LfU war die Messstelle auch im Jahr 2015 für eine qualifizierte Probenahme nicht geeignet.

Messstelle: **GWM 6**

Lage: südwestlich Klärbecken

Art des Brunnens: Flachbrunnen

Brunnentiefe: 4,00 m

Messpunkthöhe (ROK): 349,16 mNN

GW-Spiegel:

1. Probenahme (26.10.89):	2,06 m u. ROK
2. Probenahme (01.03.90):	1,90 m u. ROK
3. Probenahme (22.08.91):	2,17 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	2,11 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	2,11 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	1,95 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	2,12 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	2,36 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	2,28 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	2,11 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	2,22 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	0,85 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	0,98 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	0,98 m u. ROK
15. Probenahme (15.10.02):	1,39 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	1,59 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	1,34 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	1,51 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	1,36 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	1,41 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	1,45 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	1,48 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	0,77 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	1,38 m u. ROK
25. Probenahme (02.09.13):	1,21 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	1,34 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	1,29 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	1,33 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	1,45 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	1,52 m u. ROK

Messstelle: **GWM 7**

Lage: südwestlich Halde 1

Art des Brunnens: Flachbrunnen

Brunnentiefe: 4,00 m

Messpunkthöhe (ROK): 348,30 mNN

GW-Spiegel:

1. Probenahme (26.10.89):	2,31 m u. ROK
2. Probenahme (23.02.90):	2,16 m u. ROK
3. Probenahme (22.08.91):	2,35 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	2,29 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	2,35 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	2,19 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	2,34 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	2,38 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	2,38 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	2,50 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	1,96 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	1,75 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	1,79 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	1,82 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	1,95 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	2,00 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	1,97 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	2,00 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	1,95 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	1,95 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	1,97 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	1,92 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	1,80 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	1,92 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	1,82 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	2,08 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	1,89 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	1,81 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	1,93 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	1,87 m u. ROK

Messstelle:

**GWM 10**

Lage:

östlich Halde 2, bei Landessammelstelle

Art des Brunnens:

Flachbrunnen

Brunnentiefe:

5,20 m

Messpunkthöhe (ROK):

348,60 mNN

GW-Spiegel:

1. Probenahme (26.10.89): 4,14 m u. ROK
2. Probenahme (22.02.90): 3,96 m u. ROK
3. Probenahme (22.08.91): 4,14 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92): 4,14 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93): 4,15 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94): 3,99 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95): 4,29 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96): 4,26 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97): 4,27 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98): 4,20 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99): 3,88 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00): 3,68 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01): 3,68 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02): 3,68 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02): 3,63 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03): 3,77 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04): 3,78 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05): 3,88 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06): 3,75 m u. ROK
20. Probenahme (25.09.07): 3,78 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08): 3,79 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09): 3,76 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10): 3,66 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11): 3,77 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13): 3,72 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15): 3,74 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17): 3,78 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19): 3,70 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21): 3,80 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23): 3,74 m u. ROK

Messstelle: **GWM14T**

Lage: südwestlich Landessammelstelle, am Zaun der Urananlage

Art des Brunnens: Tiefbrunnen

Brunnentiefe: 25,0 m

Messpunkthöhe (ROK): 345,37 mNN

GW-Spiegel:

1. Probenahme (20.11.89):	1,24 m u. ROK
2. Probenahme (23.02.90):	0,88 m u. ROK
3. Probenahme (05.09.91):	1,61 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	1,41 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	1,47 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	1,31 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	1,30 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	1,44 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	1,46 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	1,32 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	1,35 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	1,08 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	0,96 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	0,95 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	1,29 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	1,40 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	1,36 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	1,41 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	1,38 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	1,35 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	1,38 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	1,36 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	0,92 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	1,30 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	1,26 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	1,37 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	1,28 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	1,08 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	1,44 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	1,31 m u. ROK

Messstelle: **GWM 14F**

Lage: bei Brunnen 14T

Art des Brunnens: Flachbrunnen

Brunnentiefe: 6,00 m

Messpunkthöhe (ROK): 345,91 mNN

GW-Spiegel:

1. Probenahme (20.11.89):	1,47 m u. ROK
2. Probenahme (23.02.90):	1,12 m u. ROK
3. Probenahme (05.09.91):	1,80 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	1,61 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	1,70 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	1,18 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	1,48 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	1,64 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	1,64 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	1,48 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	1,53 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	1,18 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	1,20 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	1,28 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	1,44 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	1,58 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	1,51 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	1,58 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	1,49 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	1,48 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	1,50 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	1,44 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	1,08 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	1,41 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	1,31 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	1,42 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	1,40 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	1,15 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	1,50 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	1,40 m u. ROK

Messstelle: **GWM 23T**

Lage: südlich Gelände Urananlage

Art des Brunnens: Tiefbrunnen

Brunnentiefe: 50,00 m

Messpunkthöhe (ROK): 345,08 mNN

GW-Spiegel:

Probenahme (23.08.91):	2,26 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	2,61 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	2,00 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	1,81 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	1,81 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	1,88 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	2,15 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	1,80 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	1,83 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	1,75 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	1,52 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	1,52 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	1,75 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	1,80 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	1,79 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	1,82 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	1,97 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	1,78 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	1,78 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	1,76 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	1,49 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	1,79 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	1,63 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	1,73 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	1,73 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	1,53 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	2,30 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	1,81 m u. ROK

Messstelle: **GWM 23F**

Lage: bei 23 T  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 10,00 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 344,98 mNN

GW-Spiegel:

Probenahme (05.09.91):	3,65 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	2,30 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	1,86 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	1,55 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	1,66 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	1,76 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	2,00 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	1,72 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	1,72 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	2,05 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	1,42 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	1,41 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	1,62 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	1,67 m u. ROK
17. Probenahme (21.10.04):	1,65 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	1,82 m u. ROK
19. Probenahme (26.09.06):	1,65 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	1,65 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	1,85 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	1,62 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	1,45 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	1,64 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	1,50 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	1,80 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	1,60 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	1,36 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	1,71 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	1,65 m u. ROK

Messstelle: **GWM 25**

Lage: bei Wasseraufbereitungsanlage

Art des Brunnens: Flachbrunnen

Brunnentiefe: 6,00 m

Messpunkthöhe (ROK): (350,78) mNN

GW-Spiegel:

Probenahme (05.09.91):	3,68 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	3,13 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	3,13 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	2,90 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	3,18 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	3,43 m u. ROK
Nachmessung 9.04.97:	3,15 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	3,35 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	3,16 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	3,20 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	2,04 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	2,09 m u. ROK
14. Probenahme (09.04.02):	2,11 m u. ROK
15. Probenahme (14.10.02):	2,69 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	2,93 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	2,69 m u. ROK
18. Probenahme (20.09.05):	2,92 m u. ROK
keine 19. Probenahme	
20. Probenahme (27.09.07):	2,82 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	2,93 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	2,80 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	2,15 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	2,35 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	2,64 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	2,65 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	2,61 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	2,92 m u. ROK
29. Probenahme (09.09.21):	2,86 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	2,78 m u. ROK

Messstelle: **H1T**

Lage: auf Halde 1  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen, verfiltert unterhalb der Halden  
 Brunntiefe: 18,0 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 364,44 mNN

GW-Spiegel:

Probenahme (23.01.92):	16,47 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	17,15 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	17,23 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	16,75 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	17,17 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	16,78 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	17,22 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	17,60 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	17,65 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	16,40 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	16,70 m u. ROK
keine 14. Probenahme	
15. Probenahme (14.10.02):	16,98 m u. ROK
keine 16. Probenahme	
17. Probenahme (21.09.04):	17,50 m u. ROK
keine 18. Probenahme	
keine 19. Probenahme	
20. Probenahme (27.09.07):	17,60 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	17,90 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	17,72 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	16,49 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	17,56 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	17,48 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	17,61 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	17,45 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	keine Probenahme möglich, da trocken
29. Probenahme (09.09.21):	17,70 m u. ROK, nicht ausreichend Wasser für eine Probenahme
30. Probenahme (19.10.23):	keine Probenahme möglich, da trocken

Messstelle: **H2T**

Lage: auf Halde 2  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen, verfiltert unterhalb der Halden  
 Brunntiefe: 17,0 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 362,53 mNN

GW-Spiegel:

Probenahme 23.01.92	16,41 m u. ROK
4. Probenahme (21.09.92):	16,60 m u. ROK
5. Probenahme (07.09.93):	17,70 m u. ROK
6. Probenahme (15.09.94):	16,15 m u. ROK
7. Probenahme (18.09.95):	16,68 m u. ROK
8. Probenahme (23.09.96):	16,70 m u. ROK
9. Probenahme (22.09.97):	16,69 m u. ROK
10. Probenahme (21.09.98):	17,15 m u. ROK
11. Probenahme (30.08.99):	17,15 m u. ROK
12. Probenahme (25.09.00):	17,00 m u. ROK
13. Probenahme (24.09.01):	17,00 m u. ROK
keine 14. Probenahme	
15. Probenahme (14.10.02):	16,85 m u. ROK
16. Probenahme (30.09.03):	17,12 m u. ROK
17. Probenahme (21.09.04):	17,10 m u. ROK
keine 18. Probenahme	
19. Probenahme (26.09.06):	17,06 m u. ROK
20. Probenahme (27.09.07):	17,06 m u. ROK
21. Probenahme (09.09.08):	17,10 m u. ROK
22. Probenahme (20.10.09):	17,08 m u. ROK
23. Probenahme (29.11.10):	16,81 m u. ROK
24. Probenahme (28.09.11):	17,06 m u. ROK
25. Probenahme (24.09.13):	17,05 m u. ROK
26. Probenahme (14.10.15):	16,95 m u. ROK
27. Probenahme (18.10.17):	17,02 m u. ROK
28. Probenahme (09.10.19):	keine Probenahme möglich, da trocken
29. Probenahme (09.09.21):	17,0 m u. ROK
30. Probenahme (19.10.23):	16,82 m u. ROK

## Anhang 2.2

### Übersicht über alle früheren Grundwassermessstellen Lage, Probenahme, Grundwasserstände

Messstelle: **GWM 1A**  
 Lage: südlich Halde 2  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 6,40 m  
 GW-Spiegel: 1. Probenahme (20.11.89): 4,42 m u. ROK  
 2. Probenahme (22.02.90): 4,00 m u. ROK  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 1B**  
 Lage: südlich Halde 2  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen/Schichtwasser  
 Brunntiefe: 2,80 m  
 GW-Spiegel: keine Probenahme möglich, da trocken

Messstelle: **GWM 2**  
 Lage: nördlich Halde 2  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 4,70 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 348,64 mNN  
 GW-Spiegel: 1. Probenahme (26.10.89): 2,41 m u. ROK  
 2. Probenahme (22.02.90): 1,99 m u. ROK  
 keine 3. Probenahme  
 4. Probenahme (21.09.92): 2,40 m u. ROK  
 5. Probenahme (07.09.93): 2,48 m u. ROK  
 6. Probenahme (15.09.94): 2,07 m u. ROK  
 7. Probenahme (18.09.95): 2,34 m u. ROK  
 8. Probenahme (23.09.96): 2,45 m u. ROK  
 9. Probenahme (22.09.97): 2,51 m u. ROK  
 10. Probenahme (21.09.98): 2,35 m u. ROK  
 11. Probenahme (30.08.99): 2,55 m u. ROK  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 3**  
 Lage: Landessammelstelle  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 4,50 m  
 GW-Spiegel: 1. Probenahme (26.10.89): 3,74 m u. ROK  
 2. Probenahme (22.02.90): 3,17 m u. ROK  
 keine 3. Probenahme  
 4. Probenahme (21.09.92): 3,84 m u. ROK  
 5. Probenahme (07.09.93): 3,85 m u. ROK  
 6. Probenahme (15.09.94): 3,45 m u. ROK  
 7. Probenahme (18.08.95): 3,82 m u. ROK  
 8. Probenahme (23.09.96): 3,88 m u. ROK  
 9. Probenahme (22.09.97): 3,84 m u. ROK  
 10. Probenahme (21.09.98): 3,75 m u. ROK  
 11. Probenahme (30.08.99): 3,80 m u. ROK  
 12. Probenahme (25.09.00): 3,46 m u. ROK  
 13. Probenahme (24.09.01): 3,45 m u. ROK  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 4A**  
 Lage: bei Brunnen 4T  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 4,00 m  
 GW-Spiegel-  
 1. Probenahme (20.11.89): 2,25 m u. ROK  
 2. Probenahme (01.03.90): 1,46 m u. ROK  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 5**  
 Lage: nördlich Klärbecken  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 7,70 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 351,31 mNN  
 GW-Spiegel:  
 1. Probenahme (26.10.89): 3,49 m u. ROK  
 2. Probenahme (23.02.90): 3,02 m u. ROK  
 3. Probenahme (05.09.91): 3,78 m u. ROK  
 4. Probenahme (21.09.92): 3,40 m u. ROK  
 5. Probenahme (07.09.93): 3,47 m u. ROK  
 6. Probenahme (15.09.94): 2,87 m u. ROK  
 7. Probenahme (18.09.95): 3,38 m u. ROK  
 8. Probenahme (23.09.96): 3,71 m u. ROK  
 9. Probenahme (22.09.97): 3,45 m u. ROK  
 10. Probenahme (21.09.98): 3,25 m u. ROK  
 11. Probenahme (30.08.99): 3,38 m u. ROK  
 12. Probenahme (25.09.00): 2,48 m u. ROK  
 13. Probenahme (24.09.01): 2,42 m u. ROK  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 8**  
 Lage: südlich alte Halde am Bach  
 Art des Brunnens: Flachbrunnen  
 Brunntiefe: 5,50 m  
 Messpunkthöhe (ROK): 350,80 mNN  
 GW-Spiegel:  
 1. Probenahme (26.10.89): 5,12 m u. ROK  
 2. Probenahme (22.02.90): 4,52 m u. ROK  
 3. Probenahme (22.08.91): 5,30 m u. ROK  
 4. Probenahme (21.09.92): 5,17 m u. ROK  
 5. Probenahme (07.09.93): 5,24 m u. ROK  
 6. Probenahme (15.09.94): 4,85 m u. ROK  
 7. Probenahme (18.09.95): 5,17 m u. ROK  
 8. Probenahme (23.09.96): 5,27 m u. ROK  
 9. Probenahme (22.09.97): 4,22 m u. ROK  
 10. Probenahme (21.09.98): 5,15 m u. ROK  
 11. Probenahme (30.08.99): 4,80 m u. ROK  
 12. Probenahme (25.09.00): 4,30 m u. ROK  
 13. Probenahme (24.09.01): 4,41 m u. ROK  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 9**  
Lage: im östlichen Knick Steinaubach, unterhalb Halde 2  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 5,00 m  
Messpunkthöhe (ROK): 349,20 mNN  
GW-Spiegel: keine 1. Probenahme, da trocken  
2. Probenahme (22.02.90): 4,28 m u. ROK  
3. Probenahme (22.08.91): 4,57 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 4,55 m u. ROK  
5. Probenahme (07.09.93): 4,63 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 4,45 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 4,64 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 4,56 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 4,47 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 4,43 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 3,75 m u. ROK  
12. Probenahme (25.09.00): 3,68 m u. ROK  
13. Probenahme (24.09.01): 3,68 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 11**  
Lage: westlich Landessammelstelle, bei der Zufahrt  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 6,00 m  
GW-Spiegel: 1. Probenahme (20.11.89): 4,07 m u. ROK  
2. Probenahme (22.02.90): 3,53 m u. ROK  
3. Probenahme (22.08.91): 4,30 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 4,28 m u. ROK  
5. Probenahme (07.09.93): 4,32 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 4,10 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 4,27 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 4,38 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 4,38 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 4,20 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 4,28 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 12**  
Lage: östlich Landessammelstelle, beim Steinaubach  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 6,00 m  
GW-Spiegel: 1. Probenahme (26.10.89): 4,05 m u. ROK  
2. Probenahme (22.02.90): 3,41 m u. ROK  
3. Probenahme (05.09.91): 4,15 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 4,08 m u. ROK  
5. Probenahme (07.09.93): 4,13 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 3,71 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 4,02 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 4,07 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 4,04 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 3,97 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 3,96 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 13**  
Lage: südöstlich Landesammelstelle, beim Steinaubach  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 4,00 m  
Messpunkthöhe (ROK): 346,27 mNN  
GW-Spiegel:  
1. Probenahme (20.11.89): 2,24 m u. ROK  
2. Probenahme (23.02.90): 1,80 m u. ROK  
3. Probenahme (05.09.91): 2,42 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 2,35 m u. ROK  
5. Probenahme (07.09.93): 2,30 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 1,93 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 2,19 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 2,21 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 2,35 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 2,18 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 2,20 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 15T**  
Lage: hinter Verwaltungsgebäude Urananlage  
Art des Brunnens: Tiefbrunnen, Brauchwasserversorgung  
Brunnentiefe: ca. 60 m  
GW-Spiegel: keine Probenahmen

Messstelle: **GWM 16**  
Lage: bei Brunnen 15T  
Art des Brunnens: Ausbau unklar  
Brunnentiefe: 4,50 m  
GW-Spiegel:  
1. Probenahme (26.10.89): 1,24 m u. ROK  
2. Probenahme (22.02.90): 1,20 m u. ROK  
3. Probenahme (05.09.91): 1,45 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 1,32 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 17**  
Lage: bei Brunnen 15T  
Art des Brunnens: Ausbau unklar  
Brunnentiefe: -  
GW-Spiegel: keine 1. Probenahme  
2. Probenahme (22.02.90): 1,20 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 19**  
 Lage: im Wald, nördlich Betriebsgelände  
 Art des Brunnens: Tiefbrunnen zur Trinkwasserversorgung Pfortnerhaus, Ausbau unklar, Probenahmen Wasserhahn Pfortnerhaus  
 GW-Spiegel: 1. Probenahme (20.11.89)  
 2. Probenahme (23.02.90)  
 3. Probenahme (05.09.91)  
 4. Probenahme (21.09.92)  
 5. Probenahme (07.09.93)  
 6. Probenahme (15.09.94)  
 7. Probenahme (1 8.09.95)  
 8. Probenahme (23.09.96)  
 9. Probenahme (22.09.97)  
 10. Probenahme (21.09.98)  
 11. Probenahme (30.08.99)  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 20T**  
 Lage: südlich Betriebsgelände Urananlage  
 Art des Brunnens: Tiefbrunnen 1 US Hasselt, Bohrrnr. B 24 /9901 Probenahme aus Ablaufhahn nach Abpumpen durch Betreiber außer Betrieb  
 Brunntiefe: Tiefbrunnen  
 ca. 60 m  
 GW-Spiegel: 1. Probenahme (20.11.89)  
 keine 2. Probenahme  
 3. Probenahme (05.09.91)  
 4. Probenahme (21.09.92)  
 5. Probenahme (07.09.93)  
 6. Probenahme (1 5.09.94)  
 7. Probenahme (1 8.09.95)  
 8. Probenahme (23.09.96)  
 9. Probenahme (22.09.97)  
 10. Probenahme (21.09.98)  
 11. Probenahme (30.08.99)  
 12. Probenahme (25.09.00)  
 keine Probenahmen möglich

Messstelle: **GWM 21T**  
 Lage: südlich Betriebsgelände Urananlage  
 Art des Brunnens: Tiefbrunnen 11 US Hasseit, Bohrrnr. B 25 /9903 Probenahme aus Ablaufhahn nach Abpumpen durch Betreiber  
 Brunntiefe: Tiefbrunnen, außer Betrieb  
 ca. 60 m  
 GW-Spiegel: 1. Probenahme (20.11.89)  
 keine 2. Probenahme  
 3. Probenahme (05.09.91)  
 4. Probenahme (21.09.92)  
 5. Probenahme (07.09.93)  
 6. Probenahme (1 5.09.94)  
 7. Probenahme (1 8.09.95)  
 8. Probenahme (23.09.96)  
 9. Probenahme (22.09.97)  
 10. Probenahme (21.09.98)  
 11. Probenahme (30.08.99)  
 keine 12. Probenahme  
 13. Probenahme (24.09.01)  
 keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 22**  
Lage: Rasthaus Steinatal  
Art des Brunnens: Flachbrunnen zur Eigenwasserversorgung, außer Betrieb  
Brunnentiefe: 12,90 m  
GW-Spiegel: 1. Probenahme (26.10.89): 3,43 m u. ROK  
keine 2. Probenahme  
3. Probenahme (05.09.91): 3,70 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 3,46 m u. ROK  
5. Probenahme (07.09.93): 3,71 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 2,30 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 3,60 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 3,79 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 3,66 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 3,50 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 3,60 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 24**  
Lage: beim Betriebsgebäude  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 5,50 m  
Messpunkthöhe (ROK): (351,47) mNN  
GW-Spiegel: Probenahme (05.09.91): 5,12 m u. ROK  
4. Probenahme (21.09.92): 4,59 m u. ROK  
keine 5. Probenahme  
6. Probenahme (15.09.94): 3,90 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 4,51 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 4,90 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 4,81 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 4,46 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 4,74 m u. ROK  
12. Probenahme (25.09.00): 2,09 m u. ROK  
13. Probenahme (24.09.01): 2,15 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 26**  
Lage: beim Feuerlöschteich  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 5,00 m  
Messpunkthöhe (ROK): 349,55 mNN  
GW-Spiegel: 5. Probenahme (07.09.93): 1,92 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 1,61 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 1,89 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 2,17 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 2,08 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 1,80 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 2,09 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 27**  
Lage: bei Wasseraufbereitungsanlage  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 5,00 m  
Messpunkthöhe (ROK): 350,50 mNN  
GW-Spiegel: 5. Probenahme (07.09.93): 2,37 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 2,12 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 2,42 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 2,67 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 2,58 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 2,40 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 2,49 m u. ROK  
12. Probenahme (25.09.00): 1,93 m u. ROK  
13. Probenahme (24.09.01): 2,00 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 28**  
Lage: bei Wasseraufbereitungsanlage  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 5,80 m  
Messpunkthöhe (ROK): (351,29) mNN  
GW-Spiegel: 5. Probenahme (07.09.93): 3,32 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 3,06 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 3,35 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 3,61 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 3,52 m u. ROK  
10. Probenahme (21.09.98): 3,33 m u. ROK  
11. Probenahme (30.08.99): 3,38 m u. ROK  
12. Probenahme (25.09.00): 2,50 m u. ROK  
13. Probenahme (24.09.01): 2,54 m u. ROK  
keine weiteren Probenahmen

Messstelle: **GWM 29**  
Lage: beim Betriebsgebäude  
Art des Brunnens: Flachbrunnen  
Brunnentiefe: 5,50 m  
GW-Spiegel: 5. Probenahme (07.09.93): 3,94 m u. ROK  
6. Probenahme (15.09.94): 3,54 m u. ROK  
7. Probenahme (18.09.95): 3,89 m u. ROK  
8. Probenahme (23.09.96): 4,12 m u. ROK  
9. Probenahme (22.09.97): 4,02 m u. ROK  
Messstelle zerstört, keine weiteren Probenahmen möglich

Messstelle: **H1F**  
Lage: auf Halde 1  
Art des Brunnens: Flachbrunnen, verfiltert im Haldenmaterial  
Brunnentiefe: 15,2 m  
GW-Spiegel: keine Probenahmen möglich (trocken)

Messstelle: **H2F**  
Lage: auf Halde 2  
Art des Brunnens: Flachbrunnen, verfiltert im Haldenmaterial  
Brunnentiefe: 12,0 m  
GW-Spiegel: keine Probenahmen möglich (trocken)

## Anhang 3

### Ergebnisse der hydrochemischen Untersuchungen Grund- und Oberflächenwässer

#### 30. Probenahme Oktober 2023

##### Grundwasser

Mess- stelle	pH	Leitfähigkeit	Kalium	Natrium	Magnesium	Calcium	Eisen	Mangan	Aluminium	Arsen	Nitrit	Ammonium	Nitrat	Chlorid	Blei	Cadmium	Chrom ges.	Kupfer	Nickel	Zink	Uran	Sulfat
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
GWM 4T	7,7	24,4	<1	18,1	2,4	31,4	<0,01	<0,005	k.A.	42	<0,02	<0,03	3,2	11	0,1	<0,1	<0,5	0,57	0,59	<5	42	10,43
GWM 4B	5,3	8,6	1,04	12,2	1,28	4,95	0,153	0,014	356	0,93	0,05	0,33	6,1	<5	0,36	<0,1	<0,5	1,5	1,1	8,3	0,65	15,99
GWM 6	6,6	28,2	2,43	12	4,86	36,5	0,015	0,820	k.A.	1,2	<0,02	2,6	<0,2	<5	0,13	0,31	<0,5	1,1	2,1	18	48	22,08
GWM 7	6,0	58,4	3,49	30,9	11,5	54	5,590	6,810	36	15	<0,02	12	2,4	18	0,33	<0,1	<0,5	1,2	0,69	26	32	115,4
GWM 10	5,1	136,2	8,5	75,6	23,8	148	0,031	20,40	1.950	0,78	<0,02	11	63,4	37	1,6	3,7	<0,5	61	58	486	166	609,4
GWM 14F	7,3	24,2	<1	9,7	5,32	33,5	0,043	0,020	k.A.	38	<0,02	<0,03	3,6	5	<0,1	<0,1	<0,5	0,53	15	<5	18	9,59
GWM 14T	7,9	28,1	<1	11,9	5,37	40,2	<0,01	<0,005	k.A.	67	<0,02	<0,03	3,5	7	<0,1	<0,1	<0,5	0,41	0,5	5,9	31	15,28
GWM 23F	7,0	47	1,07	19	13,9	51,8	0,562	1,110	k.A.	11	<0,02	0,043	0,35	53	<0,1	<0,1	<0,5	0,66	1,3	<5	20	10,61
GWM 23T	7,9	39,7	<1	12,4	10,6	52,6	<0,01	0,022	k.A.	28	<0,02	<0,03	22,5	13	<0,1	<0,1	<0,5	0,64	0,68	<5	34	50,85
GWM 25	6,7	49,3	4,6	9,08	12,2	81,8	0,389	0,134	k.A.	8,3	<0,02	0,42	1	5	0,16	<0,1	<0,5	1,2	2,2	11	474	16,51

### Haldenwasser

Mess- stelle	pH	Leitfähigkeit	Kalium	Natrium	Magnesium	Calcium	Eisen	Mangan	Aluminium	Arsen	Nitrit	Ammonium	Nitrat	Chlorid	Blei	Cadmium	Chrom ges.	Kupfer	Nickel	Zink	Uran	Sulfat
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
H2 T	6,2	163,3	11,2	104	23,8	160	0,242	18,70	k.A.	1,5	0,69	21	15,9	130	0,61	1,1	<0,5	5,4	29	283	126	521,3

Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2023 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.

### Oberflächenwasser

Mess- stelle	pH	Leitfähigkeit	Kalium	Natrium	Magnesium	Calcium	Eisen	Mangan	Aluminium	Arsen	Nitrit	Ammonium	Nitrat	Chlorid	Blei	Cadmium	Chrom ges.	Kupfer	Nickel	Zink	Uran	Sulfat
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
OW 1	7,7	30,7	2,69	15,7	10,4	35,8	0,082	k.A.	k.A.	1,7	<0,02	0,29	16,7	30	0,75	0,31	<0,5	2,7	2,3	13	6,5	<5
OW 5.1	7,6	33,5	2,49	13,8	9,66	33,3	0,092	0,005	k.A.	1,4	<0,02	<0,03	3,1	29	0,18	<0,1	<0,5	1,6	1,4	6,7	3,4	15,15

## Anhang 4.1

### Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grund-, Haldengrund- und Oberflächenwässer

#### Tritiumaktivitäten

#### Grundwasser 1989 bis 2021

Messstelle	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	4/02	10/02	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2015	2017	2019	2021	
	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	
GWM 1A	423	178							3,6																					
GWM 2	11,1	2,9				2,2	2,0	2,0		1,4	1,9																			
GWM 3	283	57		74,1		11,4	76,1		1,1	46,0		9,4	7,4																	
GWM 4A	3,5	3,6							0,7																					
GWM 4B	3,0	1,9	3,4	3	47 **	2,6	1,2		1,5	0,8	8	3,4	3,4	1,6	3,4		3,5	3,1	3,1	< 3,2	< 3,2	< 2,8	0,85	1,21	***	***	0,85	0,89	0,42	
GWM 4T	0,5	3,6	1	0,9	0,2	0,6	0,5	1,0	988	0,1	0,3	3,4	3,4	1,6	3,4	3,4	3,5	3,1	3,2	< 3,2	< 3,2	< 2,8	0,51	0,044	< 3,3	0,10	0,20	0,17	0,70	
GWM 5	5,9		2,9	2,1	2,3	2,6	2,2	1,6	170	1,2	1,0	3,4	3,4																	
GWM 6	951	1.204	1.790	1.520	2.079	1.936	922	1.177	41,0	722	460	380	410	350	330	220	210		110	97,0	67,0	60,0	40,0	55,0	20,0	16	10	8,3	3,3	
GWM 7	4.265	1.080	1.413	758	463,3	337	237	225	7,7	171	142	120	200	350	160	130	100	85,0	350	98,0	60,0	250	200,0	270,0	37,0	30	140	22	140	
GWM 8	866	55,0	105	113	36,4	38,8	11,4	12,0	17,5	9,7	12,2	4,0	5,4																	
GWM 9		25,1	49,5	77,3	37,9	22	26,2	19,9	7,8	2,0	2,0	3,5	3,3																	
GWM 10	176	155	17,9	21	4,7	11,4	9,2	28,0	26,8	19,8	16,3	18,0	18,0	63,0	20,0	14,0	19,0	15,0	17,0	14,0	15,0	12	17,0	11,0	13,0	9	7,9	6,8	6,4	
GWM 11	534	281	224			99,5	114		1,3																					
GWM 12	47,1	85,6	6,4			24,7	7,5		7,5																					
GWM 13	173	9,3	5,9			8,7	2,8		0,4																					
GWM 14F	3,6	5,3	6,5	7,7	7,7	11,6	6,8	9,2	3,1	10,5	11,3	22,0	25,0	27,0	9,2	15,0	18,0	16,0	17,0	14,0	11,0	8,1	12,0	5,0	6,9	4,15	7,9	4,5	4,8	
GWM 14F/2			7,6						7,5																					
GWM 14T	11,2	13,3	11,8	19,9	20,1	24,3	25,6	24,8	13,8	27,9	30,0	30,0	32,0	33,0	30,0	30,0	28,0	27,0	26,0	26,0	25,0	22,0	22,0	12,7	18,0	15,51	18,8	11	8,9	
GWM 14T/2			10,9						15,4																					
GWM 16	1,8	2,2	2,7						133																					
GWM 17	2,6	4,4							391																					
GWM 19	1,7	3,1	2,2	2,2	1,3	2,1	1,1	1,0	40,8	1,2	1,7																			
GWM 20T	15,4		5,9	7,9	7,3	7,6	7,0	7,2	38,1	6,7	6,1	5,1																		
GWM 21T	1,9		1,5	0,1	0,7	0,6	1,0	1,1	19,2	0,4	0,6		3,3																	
GWM 22	13,9		7,8	5,4	5,6	1,2	3,4	4,8		2,9	2,5																			
GWM 22/2			9,2																											
GWM 23F			7,5	6,7	7,1	5,6	6,6	7,9		8,1	7,6	7,6	7,2	5,7	8,3	10,0	9,2	9,6	10,0	8,9	9,2	9,0	7,9	8,61	7,2	6,60	6,1	9,55	5,00	
GWM 23T			12,3	18,6	15,9	17,5	15,4	14,6		13,3	12,8	12,0	11,0	12,0	12,0	11,0	11,0	10,0	9,5	8,7	8,6	8,9	7,48	7,12	6,2	5,02	5,5	30,96	3,84	
GWM 23tT2			14,0																											
GWM 23tT3			14,1																											
GWM 24			606	36,8		15,9	15,3	28,1		19,3	5,2	3,4	3,4																	
GWM 25			258	166	260,1	104	90,1	6.693 57,0*		57,9	52,6	5,1	5,3	4,0	27,0	70,0	19,0	64,0		35,0	41,0	32,0	3,7	16,0	4,7	17	8,3	18	14	
GWM 26					258,5	652	247	195		135	405																			
GWM 27					217,3	86,4	118	118		28,1	31,9	17,0	16,0																	
GWM 28					251,1	53,5	55,8	36,6		24,9	20,5	6,5	4,9																	
GWM 29					79,5	27,1	36,6	59,1																						

\* ergänzende Probenahme 09.04.1997; \*\* unplausibler Messwert; \*\*\* Die Messstelle war im Jahr 2013 stark verschlamm und hat keine ausreichende Aquiferanbindung. Anzutreffen war lediglich ein fauliges, jauche-artiges Wasser. Lt. Prüfbericht LfU war die Messstelle auch im Jahr 2015 für eine qualifizierte Probenahme nicht geeignet.

Die Analysenergebnisse der Doppelmessstellen der Jahre 2015, 2017, 2019 und 2021 (ohne GWM 14) wurden aus dem Prüfbericht IGU übernommen, da hier bei der Analytik eine elektrolytische Anreicherung stattfand.

**Grundwasser 2023**

Messstelle	2023
	Bq/l
GWM 1A	
GWM 2	
GWM 3	
GWM 4A	
GWM 4B	0,62
GWM 4T	0,25
GWM 5	
GWM 6	<3,9
GWM 7	54
GWM 8	
GWM 9	
GWM 10	5,2
GWM 11	
GWM 12	
GWM 13	
GWM 14F	<4
GWM 14F/2	
GWM 14T	8,2
GWM 14T/2	
GWM 16	
GWM 17	
GWM 19	
GWM 20T	
GWM 21T	
GWM 22	
GWM 22/2	
GWM 23F	3,00
GWM 23T	2,80
GWM 23t2	
GWM 23t3	
GWM 24	
GWM 25	4,5
GWM 26	
GWM 27	
GWM 28	
GWM 29	

Die Analysenergebnisse der Doppelmessstellen (ohne GWM 14) wurden aus dem Prüfbericht IGU übernommen, da hier bei der Analytik eine elektrolytische Anreicherung stattfand.

**Haldengrundwasser**

Messstelle	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	4/02	10/02	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2015	2017	2019	2021
	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l
H 1T				1095	582	957	244	-	143	137	76,2	33	24		42		19			11,0			6,6	4,1	6,5	2,8	3,7	k.A.	k.A.
H 2T				25,9	24,2	20,2	19,5	22,1	17,4	11,4	10,7	12	11		11	11	12		10	9,8	8,5	8	11,0	7,2	5,1	5	4,4	k.A.	2,8

Messstelle	2023
	Bq/l
H 1T	
H 2T	<4

Die Haldenmessstellen H1T und H2T konnten im Jahr 2019 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führten. Die Haldenmessstelle H1T konnte in den Jahren 2021 und 2023 nicht beprobt werden, da sie ebenfalls kein Wasser führte.

**Oberflächenwasser**

Messstelle	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	4/02	10/02	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2015	2017	2019	2021
OW 1		3,8		2,0	2,4		0,7		1,3	0,8	2,0		3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,1	3,1	3,2	< 3	< 2,8	< 3,1		< 4,0	k.A.	< 2,5	k.A.	< 3,1
OW 2L		4,7																											
OW 2.2L		22,7	32,5			2,5																							
OW 2.3L		7,8																											
OW 3L		4,9							1,6																				
OW 3.1L			6,7																										
OW 3.1R		3																											
OW 3.1L		5,5																											
OW 3.2R		3,2							1,7																				
OW 3.2L		3,9							2,2																				
OW 3.3R		4,4	8	3,0	3,3	1,7	1,1			1,0	2,2		3,3	3,3					3,0										
OW 3.4R		2,9																											
OW 4R		5																											
OW 5M		5,3																											
OW 5.1				3,6	3,3					1,2	2,1					3,4	3,5	3,1	3,0	3,2	< 3	< 2,8	< 3,1		< 4,0	k.A.	< 2,5	k.A.	< 3,1
OW 5.2M				4,4	3,3		1,3				2,0		3,3	3,3	3,4														
OW Furt			6,8			2,9				1,8	2,1																		

Messstelle	2023
OW 1	<4
OW 2L	
OW 2.2L	
OW 2.3L	
OW 3L	
OW 3.1L	
OW 3.1R	
OW 3.1L	
OW 3.2R	
OW 3.2L	
OW 3.3R	
OW 3.4R	
OW 4R	
OW 5M	
OW 5.1	<4
OW 5.2M	
OW Furt	

## Anhang 4.2

### Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grund-, Haldengrund- und Oberflächenwässer sowie Sedimente

#### Uranaktivitäten

##### Messverfahren:

Chemischer Aufschluss der Proben einschließlich der darin enthaltenen Schwebstoffe (ohne Silikaufschluss).

Die Proben zeigten weitgehend geringe Schwebstoffanteile, bei hohen Schwebstoffanteilen wurden die Proben dekantiert. Bei den mit \*) bezeichneten Proben erfolgte die Abtrennung der Metalle durch Fe III Träger und Ammoniak und anschließend die Uranabtrennung an einer Ionenaustauschersäule (Typ Bio Rad). Bei den anderen Proben erfolgte die Abtrennung von Uran, Thorium und möglichen Transuranen durch Extraktion mit TIOA und anschließender Uranabtrennung an einer Ionenaustauschersäule (Typ Dowex).

Die alphaspektrometrische Bestimmung der Uranisotope erfolgte an Dünnschichtpräparaten, die durch elektrolytische Abschneidung des Urans auf Edelstahlplättchen gewonnen wurden.

Seit April 2002 erfolgen die Messungen entgegen früheren Bestimmungen über ICP MS. Dies erscheint gerechtfertigt, da bei den früheren Ergebnissen nie ein gestörtes U-238/U-235/U-234 Verhältnis gegenüber dem natürlichen Verhältnis auftrat, die Bestimmung von U-234 also nicht zwingend notwendig ist, und im Rahmen der Kürze der Zeit eine alphaspektrometrische Bestimmung nicht durchführbar war.

## Grundwasser 1989

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 1A</b>	2,49	0,08	2,58	0,03	0,11	0,01
<b>GWM 2</b>	1,7	0,13	1,65	0,13	0,06	0,016
<b>GWM 3</b>	2,0	0,14	1,94	0,14	0,08	0,018
<b>GWM 4T<sup>*)</sup></b>	0,6	0,12	0,68	0,13	0,022	0,009
<b>GWM 4A</b>	0,08	0,01	0,11	0,01	0,004	0,0038
<b>GWM 5<sup>*)</sup></b>	9,5	3,0	10,1	3,2	0,4	0,14
<b>GWM 6<sup>*)1)</sup></b>	1,2	0,22	(8,6)	(1,5)	(0,11)	(0,03)
<b>GWM 7<sup>*)2)</sup></b>	6,2	0,73	(9,0)	(1,0)	(0,3)	(0,04)
<b>GWM 8</b>	16,6	2,4	16,3	2,4	0,86	0,19
<b>GWM 10/1<sup>3)</sup></b>	90,4	6,5	80,0	5,7	(10,4)	(0,8)
<b>GWM 11</b>	0,44	0,03	0,49	0,32	0,015	0,005
<b>GWM 12</b>	1,17	0,05	1,21	0,05	0,05	0,007
<b>GWM 13</b>	0,035	0,01	0,045	0,01	0,004	0,004
<b>GWM 14</b>	0,27	0,025	0,32	0,027	0,013	0,005
<b>GWM 14T</b>	0,8	0,18	1,0	0,2	<0,02	
<b>GWM 17<sup>4)</sup></b>	0,05	0,016	--		--	
<b>GWM 19</b>	0,16	0,03	0,19	0,03	0,008	0,006
<b>GWM 20T</b>	0,22	0,024	0,25	0,026	0,008	0,005
<b>GWM 21T</b>	0,24	0,02	0,31	0,025	0,011	0,005
<b>GWM 22</b>	0,03	0,008	0,039	0,009	0,003	0,003

- 1) Beim U 234 u.U. U 235 trat eine Störung durch ein unbekanntes Nuklid oder Nuklide auf. Der angegebene Wert entspricht deshalb nicht der Aktivität von U 238, sondern der Gesamtaktivität des Nuklidgemisches unter der Annahme gleicher Präparations- und Messbedingungen.
- 2) Beim U 234 u.U. U 235 trat eine Störung durch ein unbekanntes Nuklid oder Nuklide auf. Der angegebene Wert entspricht deshalb nicht der Aktivität von 238 U, sondern der Gesamtaktivität des Nuklidgemisches unter der Annahme gleicher Präparations- und Messbedingungen.
- 3) Aufgrund der hohen Aktivität und damit verbunden der hohen Massenbelegung auf dem Messpräparat (ca. 0.7 mg) ist aufgrund einer starken Peakverbreiterung keine genaue Auswertung der  $\alpha$ -Spektren möglich. Die tatsächliche Aktivität dürfte um ca. 10 % - 15 % höher sein als angegeben. U 235 ist praktisch nicht auswertbar.
- 4) Vermutlich durch Fe auf dem Messpräparat trat eine so starke Peakverbreiterung der  $\alpha$ -Spektren auf, dass nur U 238 ungefähr ausgewertet werden konnte.

## Grundwasser 1990

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 2</b>	10,8	0,9	11,5	0,95	0,47	0,1
<b>GWM 3</b>	1,5	0,1	1,6	0,11	0,09	0,005
<b>GWM 4T<sup>1)</sup></b>	0,2	0,01	0,07	0,007	0,004	0,002
<b>GWM 4A</b>	0,4	0,03	0,4	0,03	0,02	0,005
<b>GWM 5</b>	16,0	0,6	16,0	0,6	1,2	0,8
<b>GWM 6</b>	1,6	0,1	1,9	0,13	0,07	0,02
<b>GWM 7</b>	13,3	0,35	12,5	0,34	0,56	0,04
<b>GWM 8</b>	14,8	0,2	14,3	0,2	0,65	0,01
<b>GWM 9<sup>2)</sup></b>	161,	8,4	141	7,3	20,5	1,1
<b>GWM 10<sup>2)</sup></b>	64,9	2,0	56,8	1,7	6,4	0,2
<b>GWM 11</b>	0,8	0,09	0,9	0,1	0,04	0,02
<b>GWM 12</b>	0,9	0,1	0,8	0,1	0,04	0,02
<b>GWM 13</b>	0,04	0,01	0,05	0,01	<0,002	
<b>GWM 14F</b>	0,64	0,03	0,7	0,04	0,04	0,006
<b>GWM 14T</b>	0,7	0,03	0,8	0,03	0,07	0,007
<b>GWM 17</b>	0,1	0,01	0,1	0,01	0,007	0,002
<b>GWM 19</b>	0,08	0,01	0,09	0,01	0,004	0,003
<b>GWM 20T</b>	0,22	0,01	0,25	0,012	0,009	0,002
<b>GWM 21T</b>	0,24	0,02	0,3	0,03	0,01	0,005
<b>GWM 22</b>	0,21	0,01	0,25	0,01	0,008	0,002
<b>H2T</b>	9,5	1,1	9,4	1,1	0,35	0,14

1) Störung im U 238 / U 234 Verhältnis

2) im a-Spektrum starke Peakverbreiterung für U 234, infolgedessen ist die Aktivität von U- 238 um ca. 5 - 10% zu hoch angegeben

## Grundwasser 1991

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 1</b>	0,8	0,04	0,95	0,05	0,04	0,009
<b>GWM2</b>	0,46	0,06	0,43	0,06	0,016	0,003
<b>GWM 3</b>	4,3	0,3	4,2	0,3	0,18	0,04
<b>GWM 4T</b>	0,37	0,04	0,38	0,04	0,017	0,002
<b>GWM 4B</b>	0,14	0,05	0,2	0,07	0,028	0,015**
<b>GWM 5</b>	5,0	2,0	5,5	2,0	<0,4	**
<b>GWM 6</b>	3,58	0,18	3,53	0,18	0,14	0,03
<b>GWM 7</b>	26,7	3,8	25,7	3,7	1,2	0,4
<b>GWM 8</b>	7,9	0,5	7,5	0,5	0,3	0,06
<b>GWM 9</b>	110	5	93	6	19	3*)
<b>GWM 10</b>	3,3	0,6	3,4	0,6	0,2	0,12
<b>GWM 11</b>	0,73	0,06	0,94	0,07	0,04	0,01
<b>GWM 12</b>	0,12	0,03	0,12	0,03	0,011	0,008
<b>GWM 13</b>	0,044	0,005	0,05	0,006	0,002	0,0005
<b>GWM 14T,1</b>	0,67	0,03	0,82	0,04	0,03	0,006
<b>GWM 14T,2</b>	0,65	0,07	0,74	0,07	0,02	0,009
<b>GWM 14F,1</b>	0,59	0,02	0,7	0,02	0,026	0,001
<b>GWM 14F,2</b>	0,77	0,05	0,85	0,06		*)
<b>GWM 16</b>	0,34	0,04	0,4	0,05	0,06	0,02*)
<b>GWM 19</b>	0,11	0,008	0,13	0,008	0,006	0,002
<b>GWM 20T</b>	0,19	0,02	0,24	0,03	0,009	0,005
<b>GWM 21T</b>	0,25	0,03	0,29	0,03	0,012	0,006
<b>GWM 22,1</b>	0,24	0,02	0,29	0,03	0,017	0,006
<b>GWM 22,2</b>	0,3	0,02	0,37	0,03	0,015	0,004
<b>GWM 23F</b>	0,2	0,02	0,25	0,03	0,01	0,004
<b>GWM 23F+</b>	0,23	0,04	0,3	0,06	<0,01	
<b>GWM 23T+</b>	0,48	0,06	0,53	0,07	0,028	0,015
<b>GWM 24</b>	6,3	0,3	5,9	0,3	0,7	0,05*)
<b>GWM 25</b>	5,6	0,6	5,2	0,6	0,26	0,05

\*) Die Proben sind infolge einer Peakverbreiterung für U-235 kaum oder nicht auswertbar

\*\*) relativ hohe Fehler bzw. schlechte Nachweisgrenze durch Probleme bei der Uranabtrennung

+) Probenahme im Januar 1992

## Grundwasser 1992

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±	
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	
<b>GWM 2</b>	1,1	0,2	1,1	0,2	0,05	0,03	*)
<b>GWM 3</b>	4,1	1,4	3,7	1,3	0,6	0,4	*)
<b>GWM 4T</b>	0,35	0,05	0,44	0,06	<0,01		*)
<b>GWM 4B</b>	0,05	0,03	0,05	0,03	<0,01		*)
<b>GWM 5</b>	10,5	2,7	11,0	2,8	<0,3		*)
<b>GWM 6</b>	7,0	0,5	6,8	0,5	0,26	0,03	
<b>GWM 7</b>	4,4	0,27	4,22	0,26	0,17	0,04	
<b>GWM 8</b>	4,7	2,6	5,7	3	<0,2		*)
<b>GWM 9</b>	28,1	1,1	28,3	1,1	1,1	0,18	
<b>GWM 10</b>	1,9	0,1	1,8	0,1	0,09	0,02	
<b>GWM 14T</b>	0,22	0,04	0,29	0,04	<0,01		
<b>GWM 14F</b>	0,6	0,02	0,7	0,03	0,03	0,01	
<b>GWM 19</b>	0,14	0,03	0,13	0,03	<0,01		
<b>GWM 20T</b>	0,23	0,04	0,26	0,04	0,008	0,006	
<b>GWM 21T</b>	0,15	0,03	0,2	0,04	<0,01		
<b>GWM 22</b>	0,29	0,03	0,35	0,05	<0,01		
<b>GWM 23F</b>	0,29	0,07	0,3	0,08	<0,01		
<b>GWM 23T</b>	0,37	0,07	0,32	0,06	<0,01		
<b>GWM 24</b>	8,75	1,1	8,4	1,0	0,29	0,16	
<b>GWM 25</b>	5,0	0,5	4,6	0,4	0,2	0,07	

\*) schlechtes Präparat

## Grundwasser 1993

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±	
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	
GWM 2	(1,0)						n)
GWM 3	5,2	0,9	4,6	0,8	**)		
GWM 4T	0,4	0,02	0,44	0,02	0,015	0,004	
GWM 4B	0,38	0,01	0,38	0,01	0,015	0,003	
GWM 5	0,6	0,2	0,6	0,2	<0,02		
GWM 6	2,5	0,8	*)		**)		
GWM 7	3,8	0,5	3,6	0,5	0,6**)		
GWM 8	4,9	0,3	5,0	0,3	0,2	0,04	
GWM 9	16,6	1,2	16,9	1,2	1,0	0,3	
GWM 10	8,2	1,5	7,4	1,4	**)		
GWM 14T	0,6	0,01	0,75	0,01	0,024	0,002	
GWM 14F	0,71	0,2	0,96	0,24	0,015	0,02	
GWM 19	(0,12)***)		***)		***)		n)
GWM 20T	0,2	0,02	0,24	0,02	0,006	0,003	
GWM 21T	0,2	0,03	0,22	0,04	0,006	0,005	
GWM 22	0,32	0,03	0,4	0,03	0,045	0,009	
GWM 23F	(0,22)***)		***)		***)		
GWM 23T	0,22	0,04	0,25	0,05	0,01	0,008	n)
GWM 25	3,2	0,5	3,1	0,5	0,16	0,08	
GWM 26	2,3	0,6	2,0	0,5	0,33	0,16	
GWM 27	23,6	3	20,8	3	**)		
GWM 28	8,2	0,6	8,2	0,6	0,33	0,05	
GWM 29	14,8	1,6	11,4	1,5	**)		

\*\*) U-235 nicht auswertbar

\*\*\*) Wiederfindungsrate von Uran zu klein

n) nur Messwert über ICP-MS, für alpha-Spektrometrie kein Material

## Grundwasser 1994

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±	
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	
GWM 2	0,8	0,09	0,87	0,1	0,05	0,03	
GWM 3	4,39	0,28	3,87	0,26	0,44	0,07	**)
GWM 4T	0,42	0,04	0,51	0,05	0,07	0,05	
GWM 4B	0,06	0,04	0,12	0,06	0,01	0,01	***)
GWM 5	11,98	0,75	11,34	0,72	1	0,3	
GWM 6	1,54	0,2	1,9	0,2	0,06	0,02	
GWM 7	1,94	0,23	1,84	0,22	0,12	0,05	
GWM 8	4,84	0,52	4,94	0,53	0,2	0,07	
GWM 9	5,93	0,59	6,1	0,59	0,22	0,11	
GWM 10	1,42	0,1	1,4	0,1	0,06	0,02	
GWM 14T	0,81	0,1	0,96	0,1	0,13	0,07	
GWM 14F	0,82	0,03	1,02	0,04	0,12	0,06	
GWM 19	0,28	0,04	0,31	0,04	0,01	0,008	
GWM 20T	0,2	0,01	0,23	0,02	0,01	0,003	
GWM 21T	0,23	0,03	0,29	0,04	0,02	0,01	
GWM 22	0,07	0,005	0,1	0,01	<0,01		
GWM 23F	0,17	0,02	0,21	0,02	0,005	0,002	
GWM 23T	0,26	0,02	0,28	0,02	0,02	0,01	
GWM 24	1,12	0,05	1,08	0,05	0,07	0,02	
GWM 25	4,57	0,12	4,63	0,12	0,35	0,1	
GWM 26	0,6	0,03	0,8	0,2	0,2	0,15	*)**)
GWM 27	3,47	0,07	3,3	0,07	0,39	0,2	*)**)
GWM 28	2,92	0,2	2,6	0,2	0,17	0,03	
GWM 29	2,75	0,1	2,42	0,1	0,6	0,4	*)**)

\*) schlechtes Präparat

\*\*) U-235 nicht auswertbar

\*\*\*) Wiederfindungsrate von Uran zu klein

**Grundwasser 1995**

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 2</b>	0,85	0,06	0,86	0,06	0,036	0,011
<b>GWM 3</b>	2,7	0,26	2,5	0,24	0,12	0,04
<b>GWM 4T</b>	0,4	0,03	0,49	0,04	0,009	0,004
<b>GWM 4B</b>	0,12	0,01	0,15	0,01	0,003	0,001
<b>GWM 5</b>	16,4	1,9	17,5	1,9	0,76	0,35
<b>GWM 6</b>	1,5	0,11	1,8	0,13	0,13	0,03
<b>GWM 7</b>	1,1	0,15	1,2	0,16	1,19	0,06
<b>GWM 8</b>	7,6	0,66	7	0,6	0,29	0,12
<b>GWM 9</b>	6,3	0,56	6,2	0,55	0,45	0,14
<b>GWM 10</b>	1,6	0,17	1,6	0,17	0,08	0,03
<b>GWM 14T</b>	0,67	0,08	0,8	0,1	0,02	0,01
<b>GWM 14F</b>	0,67	0,07	0,9	0,1	0,035	0,014
<b>GWM 19</b>	0,023	0,013	0,024	0,013	<0,003	
<b>GWM 20T</b>	0,19	0,017	0,22	0,019	0,009	0,003
<b>GWM 21T</b>	0,24	0,025	0,29	0,03	0,009	0,004
<b>GWM 22</b>	0,13	0,02	0,15	0,02	0,004	0,003
<b>GWM 23T</b>	0,4	0,035	0,4	0,035	0,019	0,007
<b>GWM 23F</b>	0,28	0,027	0,37	0,031	0,008	0,004
<b>GWM 24</b>	2,1	0,1	2,2	0,1	0,08	0,016
<b>GWM 25</b>	2	0,16	2,1	0,16	0,06	0,023
<b>GWM 26</b>	0,2	0,036	0,26	0,04	0,008	0,007
<b>GWM 27</b>	6,8	0,3	6,5	0,3	0,3	0,04
<b>GWM 28</b>	2,1	0,19	2	0,18	0,06	0,027
<b>GWM 29</b>	7,8	0,5	7,3	0,5	0,36	0,07

## Grundwasser 1996

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±	
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	
GWM 2	1,8	0,18	1,5	0,16	0,06	0,03	
GWM 3	9,5	1	9,3	1	**)		
GWM 4T	***			0,19	0,1	0,05	
GWM 4B	0,08	0,009	0,11	0,01	<0,003		
GWM 5	28,8	2,9	30,5	3	1	0,3	
GWM 6	5,6	0,9	6,7	1,1	0,26	0,16	
GWM 7	0,7	0,1	0,7	0,1	0,02	0,01	
GWM 8	10,2	1	9,8	1	0,54	0,16	
GWM 9	12,1	2,6	11,6	2,5	0,34	0,28	
GWM 10	***			6	2	0,5	
GWM 14T	***			0,4	<0,06		
GWM 14F	***			0,09	0,13	0,02	
GWM 19	0,07	0,02	0,05	0,02	<0,01		
GWM 20T	0,32	0,06	0,4	0,07	0,06	0,03	
GWM 21T	0,14	0,02	0,17	0,02	0,01	0,006	
GWM 22	0,6	0,05	0,6	0,06	0,03	0,01	
GWM 23T	***			0,09	0,07	0,02	
GWM 23F	***			0,009	0,03	0,015	
GWM 24	11	0,6	10,2	0,58	0,44	0,08	
GWM 25	6,6	2,4	5,7	2,1	0,85	0,67	**)
GWM 26	0,6	0,2	1,2	0,3	<0,09		*)
GWM 27	6,1	0,86	6,4	0,89	0,16	0,1	
GWM 28	5,9	0,6	5,6	0,6	0,4	0,13	
GWM 29	11,9	1,5	12,5	1,6	0,46	0,2	

\*) schlechtes Präparat

\*\*\*) U-235 schlecht auswertbar

\*\*\*) unplausibler Messwert

**Grundwasser 1997**

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 2</b>	0,48	0,09	n.b.		<0,03	
<b>GWM 3</b>	1,97	0,3	1,84	0,3	0,09	0,05
<b>GWM 4T</b>	0,28	0,1	0,31	0,1	<0,02	
<b>GWM 4B</b>	0,11	0,02	0,14	0,02	<0,005	
<b>GWM 5</b>	6,2	0,5	7	0,5	0,16	0,07
<b>GWM 6</b>	1,27	0,15	1,48	0,17	0,03	0,02
<b>GWM 7</b>	4,9	0,2	4,9	0,2	0,15	0,04
<b>GWM 8</b>	3,2	0,5	3,69	0,5	<0,2	
<b>GWM 9</b>	1,5	0,2	1,4	0,2	0,08	0,04
<b>GWM 10</b>	2,1	0,3	2,5	0,4	<0,09	
<b>GWM 14T</b>	0,26	0,01	0,31	0,01	0,009	0,002
<b>GWM 14F</b>	0,86	0,06	1,08	0,07	0,035	0,01
<b>GWM 19</b>	0,11	0,01	0,14	0,01	<0,01	
<b>GWM 20T</b>	0,19	0,02	0,23	0,02	0,008	0,003
<b>GWM 21T</b>	0,17	0,02	0,2	0,02	0,005	0,003
<b>GWM 22</b>	0,29	0,02	n.b.		0,014	0,004
<b>GWM 23T</b>	0,54	0,06	0,59	0,06	0,025	0,01
<b>GWM 23F</b>	0,43	0,06	0,46	0,06	0,027	0,014
<b>GWM 24</b>	4	1,1	n.b.		n.b.	
<b>GWM 25</b>	3,6	0,4	4	0,5	0,25	0,1
<b>GWM 26</b>	0,29	0,04	n.b.		0,012	0,009
<b>GWM 27</b>	5	0,2	4,7	0,2	0,18	0,05
<b>GWM 28</b>	4	0,2	3,9	0,2	0,19	0,04
<b>GWM 29</b>	8,3	0,3	7,8	0,3	0,37	0,05

n.b) nicht bestimmt, Peak gestört

## Grundwasser 1998

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 2</b>	2,1	0,4	2,6	0,4	<0,09	
<b>GWM 3</b>	0,7	0,16	0,8	0,19	<0,07	
<b>GWM 4T</b>	0,3	0,06	0,4	0,08	<0,03	
<b>GWM 4B</b>	0,07	0,01	0,08	0,01	<0,006	
<b>GWM 5</b>	6,1	0,7	6,6	0,7	0,28	0,15
<b>GWM 6</b>	1	0,2	1,6	0,3	<0,08	
<b>GWM 7</b>	0,7	0,16	0,8	0,18	<0,07	
<b>GWM 8</b>	3,4	0,6	3,6	0,6	<0,3	
<b>GWM 9</b>	0,5	0,1	0,5	0,1	<0,07	
<b>GWM 10</b>	3,2	0,3	3,4	0,3	*)	
<b>GWM 14T</b>	0,47	0,04	0,55	0,04	0,03	0,015
<b>GWM 14F</b>	0,8	0,06	1	0,07	0,04	0,01
<b>GWM 19</b>	0,12	0,02	0,15	0,02	0,004	0,003
<b>GWM 20T</b>	0,21	0,05	0,27	0,06	<0,015	
<b>GWM 21T</b>	0,09	0,01	0,08	0,01	0,006	0,004
<b>GWM 22</b>	0,25	0,02	0,2	0,03	0,02	0,01
<b>GWM 23T</b>	0,4	0,04	0,4	0,04	0,03	0,01
<b>GWM 23F</b>	0,9	0,17	1	0,18	0,04	0,03
<b>GWM 24</b>	2,3	0,3	2,9	0,4	0,17	0,1
<b>GWM 25</b>	4,2	0,5	4	0,5	0,3	0,15
<b>GWM 26</b>	1,4	0,1	1,5	0,1	0,07	0,03
<b>GWM 27</b>	5,4	0,5	6	0,6	0,6	0,3
<b>GWM 28</b>	5,1	0,4	4,9	0,3	0,23	0,08

\*) U-235 schlecht auswertbar

## Grundwasser 1999

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 2</b>	1,7	0,14	1,8	0,14	0,08	0,03
<b>GWM 3</b>	3,2	0,18	3,3	0,19	0,16	0,04
<b>GWM 4T</b>	0,3	0,06	0,36	0,07	0,023	0,015
<b>GWM 4B</b>	0,07	0,01	0,08	0,01	<0,006	
<b>GWM 5</b>	15,3	1	17,4	1,1	*)	
<b>GWM 6</b>	1,7	0,25	1,9	0,3	0,08	0,05
<b>GWM 7</b>	0,4	0,05	0,47	0,05	0,016	0,01
<b>GWM 8</b>	17,7	0,5	17,5	0,5	0,9	0,1
<b>GWM 9</b>	1,1	0,3	1	0,3	0,13	0,1
<b>GWM 10</b>	5,6	0,46	5,6	0,46	0,51	0,2*)
<b>GWM 14T</b>	0,34	0,09	0,48	0,1	0,03	0,025
<b>GWM 14F</b>	0,5	0,06	0,57	0,06	0,05	0,02*)
<b>GWM 19</b>	0,1	0,01	0,13	0,012	0,012	0,006
<b>GWM 20T</b>	0,19	0,03	0,2	0,03	0,015	0,008
<b>GWM 21T</b>	0,07	0,008	0,09	0,01	0,003	0,003
<b>GWM 22</b>	0,19	0,03	0,2	0,035	*)	
<b>GWM 23T</b>	0,36	0,04	0,4	0,04	0,04	0,01
<b>GWM 23F</b>	0,26	0,07	0,33	0,08	0,005	0,01
<b>GWM 24</b>	7	0,5	7	0,5	0,35	0,1
<b>GWM 25</b>	3,6	0,45	3,3	0,4	0,25	0,14
<b>GWM 26</b>	0,5	0,08	**)			
<b>GWM 27</b>	5,1	0,3	5,2	0,3	0,28	0,08
<b>GWM 28</b>	8,5	0,9	8,3	0,8	0,55	0,2

\*) U-235 schlecht auswertbar

\*\*\*) U-234 schlecht auswertbar

## Grundwasser 2000

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 3</b>	0,34	0,05	0,31	0,05	0,016	0,008
<b>GWM 4T</b>	0,27	0,03	0,3	0,04	0,013	0,005
<b>GWM 4B</b>	0,025	0,004	0,027	0,005	<0,005	
<b>GWM 5</b>	24,30	2,70	26,20	2,70	1,50	0,6
<b>GWM 6</b>	9,0	0,4	9,2	0,46	0,43	0,2
<b>GWM 7</b>	0,39	0,03	0,41	0,03	0,018	0,01
<b>GWM 8</b>	9,1	0,73	9,3	0,74	0,45	0,1
<b>GWM 9</b>	0,46	0,04	0,54	0,05	0,022	0,01
<b>GWM 10</b>	7,2	0,4	7,1	0,43	0,35	0,07
<b>GWM 14T</b>	0,55	0,08	0,56	0,08	0,024	0,01
<b>GWM 14F</b>	0,65	0,08	0,64	0,08	0,027	0,016*)
<b>GWM 20T</b>	0,2	0,02	0,24	0,02	0,009	0,006
<b>GWM 23T</b>	0,4	0,04	0,43	0,04	0,021	0,012
<b>GWM 23F</b>	0,34	0,04	0,32	0,04	0,017	0,007
<b>GWM 24</b>	12,0	2,2	13,1	2,36	0,60	0,07
<b>GWM 25</b>	9,7	0,7	10,2	0,71	0,43	0,15
<b>GWM 27</b>	14,0	1,1	14,8	1,18	0,66	0,1
<b>GWM 28</b>	9,7	0,9	10,3	0,93	0,48	0,15

\*) U-235 schlecht auswertbar

## Grundwasser 2001

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 3	0,23	0,02	0,25	0,03	0,01	0,004
GWM 4T	0,27	0,03	0,3	0,04	0,01	0,005
GWM 4B	0,07	0,01	0,08	0,01	<0,004	
GWM 5	8,3	0,8	8,7	0,8	0,35	0,150
GWM 6	7,4	0,6	7,3	0,6	0,3	0,110
GWM 7	0,7	0,05	0,77	0,05	0,03	0,100
GWM 8	3,5	0,3	3,5	0,3	0,15	0,040
GWM 9	2,0	0,18	2,2	0,2	0,09	0,040
GWM 10	4,15	0,3	4,4	0,3	0,17	0,050
GWM 14T	0,52	0,05	0,58	0,06	0,02	0,010
GWM 14F	0,46	0,05	0,5	0,06	0,02	0,010
GWM 21T	0,08	0,01	0,09	0,01	< 0,005	
GWM 23T	0,4	0,04	0,42	0,05	0,017	0,009
GWM 23F	0,35	0,05	0,38	0,05	0,016	0,006
GWM 24	9,3	1,7	10,1	1,82	0,41	0,2
GWM 25	10,5	0,6	11,0	0,66	0,46	0,14
GWM 27	38,9	2,7	41,5	2,91	1,68	0,3
GWM 28	9,3	0,8	9,6	0,86	0,40	0,1

## Grundwasser 2002 – 2005

Mess- stelle	April 02		Sept. 02		2003		2004		2005	
	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 4T	0,26	0,012	0,26	0,009	0,30	0,014	0,30	0,014	0,32	0,012
GWM 4B	0,06	0,003	0,09	0,003	0,02	< 0,005	0,16	< 0,007	0,11	0,005
GWM 6	2,00	0,087	4,90	0,170	5,10	0,236	2,60	0,120	3,70	0,156
GWM 7	0,30	0,014	0,70	0,025	0,78	0,036	0,58	0,027	0,82	0,036
GWM 10	2,77	0,127	1,08	0,038	1,13	0,052	3,03	0,140	1,60	0,065
GWM 14T	0,49	0,021	0,52	0,019	0,54	0,025	0,40	0,019	0,61	0,028
GWM 14F	0,54	0,024	0,41	0,014	0,59	0,027	0,33	0,016	0,51	0,024
GWM 23T	0,30	0,015	0,30	0,017	0,40	0,016	0,30	0,013	0,22	0,009
GWM 23F	0,24	0,011	0,22	0,007	0,24	0,011	0,21	0,009	0,31	0,014
GWM 25	3,70	0,167	5,30	0,180	4,90	0,227	4,90	0,220	2,80	0,130

### Grundwasser 2006 - 2010

Mess- stelle	2006		2007		2008		2009		2010	
	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,28	0,013	0,27	< 0,015	0,32	< 0,015	0,26	0,012	0,31	0,015
<b>GWM 4B</b>	0,13	0,006	0,20	< 0,015	0,08	< 0,015	0,13	0,005	0,11	0,005
<b>GWM 6</b>	2,90	0,130	2,70	0,140	3,70	0,170	3,70	0,160	1,83	0,086
<b>GWM 7</b>	0,63	0,029	0,48	0,023	0,06	< 0,015	0,32	0,014	0,56	0,027
<b>GWM 10</b>	2,70	0,140	3,10	0,160	2,40	0,120	1,30	0,063	3,82	0,184
<b>GWM 14F</b>	0,75	0,035	0,33	0,015	0,34	< 0,015	0,29	0,013	0,21	0,009
<b>GWM 14T</b>	0,54	0,025	0,51	0,023	0,56	0,023	0,47	0,022	0,57	0,027
<b>GWM 23F</b>	0,19	0,009	0,23	< 0,015	0,23	< 0,015	0,15	0,006	0,24	0,011
<b>GWM 23T</b>	0,33	0,014	0,32	0,015	0,27	< 0,015	0,28	0,013	0,41	0,020
<b>GWM 25</b>	5,90	0,27	8,20	0,420	6,90	0,32	3,80	0,17	12,33	0,480

### Grundwasser 2011-2019

Mess- stelle	2011		2013		2015		2017		2019	
	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235	U-238	U-235
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,390	0,017	0,363	< 0,016	0,562	0,026	0,342	0,016	0,342	0,016
<b>GWM 4B</b>	0,517	0,023	*	*	*	*	0,391	0,018	0,428	0,022
<b>GWM 6</b>	1,333	0,061	1,076	0,043	1,272	0,058	1,088	0,049	1,064	0,048
<b>GWM 7</b>	0,465	0,021	0,501	0,024	0,183	0,009	1,883	0,086	1,981	0,094
<b>GWM 10</b>	4,377	0,203	3,802	0,164	2,739	0,130	2,959	0,133	3,008	0,121
<b>GWM 14F</b>	0,268	< 0,016	0,259	< 0,016	0,575	0,009	0,489	0,023	0,514	0,024
<b>GWM 14T</b>	0,296	< 0,016	0,265	< 0,016	0,318	0,014	0,550	0,026	0,599	0,030
<b>GWM 23F</b>	0,082	< 0,016	0,075	< 0,016	0,196	0,009	0,281	<0,016	0,245	<0,016
<b>GWM 23T</b>	0,210	< 0,016	0,207	< 0,016	0,355	0,016	0,048	<0,016	0,046	<0,016
<b>GWM 25</b>	7,055	0,320	6,761	0,258	6,639	0,320	6,431	0,297	6,517	0,320

\* Die Messstelle war im Jahr 2013 stark verschlammte und hat keine ausreichende Aquiferanbindung. Anzutreffen war lediglich ein fauliges, jauche-artiges Wasser. Lt. Prüfbericht LfU war die Messstelle auch im Jahr 2015 für eine qualifizierte Probenahme nicht geeignet.

### Grundwasser 2021-2023

Mess- stelle	2021 *		2023 **							
	U-235	U-238	U-235	U-238						
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]						
<b>GWM 4T</b>	0,27	0,014	0,37	0,019						
<b>GWM 4B</b>	0,33	0,016	0,22	0,011						
<b>GWM 6</b>	0,75	0,034	0,73	0,033						
<b>GWM 7</b>	0,32	0,015	0,33	0,016						
<b>GWM 10</b>	2,51	0,101	2,30	0,092						
<b>GWM 14F</b>	0,48	0,022	0,40	0,019						
<b>GWM 14T</b>	0,49	0,025	0,51	0,026						
<b>GWM 23F</b>	0,24	0,011	0,28	0,013						
<b>GWM 23T</b>	0,38	0,018	0,40	0,019						
<b>GWM 25</b>	6,89	0,338	6,30	0,309						

\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die vom Fremdlabor gelieferten U-235 Gehalte waren nicht im erwarteten natürlichen Isotopenverhältnis von etwa 21,6. Auf mehrfache Rückfrage erfolgte keine Antwort. Die U-235 Gehalte wurden deshalb mit dem Isotopenverhältnis von 219 korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer das natürliche Isotopenverhältnis zeigten.

\*\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die U-235 Gehalte wurden mit dem Isotopenverhältnissen früherer Messungen korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer ein natürliches Isotopenverhältnis zeigten und bei den Gegebenheiten keine Isotopenfraktionierungen auftreten

### Haldengrundwasser 1990 – 2009

Jahr	Mess- stelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
		[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
Juli 1990	H 1T	9,5	1,1	9,4	1,1	0,35	0,14
Jan 1992	H 1T	2,2	0,2	3,3	0,2	0,18	0,04
	H 2T	6,8	1	7,6	1,1	1	0,5
Sept 1992	H 1T	7,8	0,3	7,6	0,3	0,33	0,05
	H 2T	3,9	0,8	3,9	0,8	0,07	0,05
Sept 1993	H 1T	33	4	31,3	0,7	**)	
	H 2T	7,3	0,8	8,5	0,9	**)	
Sept 1994	H 1T	7,63	0,56	7,76	0,57	0,69	0,11
	H 2T	8,63	0,51	9,82	0,57	0,43	0,07
Sept 1995	H 1T	14,7	1,2	14	1,2	0,7	0,24
	H 2T	10,4	0,8	9,7	0,8	0,4	0,15
Sept 1996	H 2T	22,6	1,3	21	1,2	1	0,2
	H 1T	12,4	1,7	11,4	1,6	0,57	0,33
Sept 1997	H 1T	22	1,8	21,2	1,7	0,9	0,3
	H 2T	13,4	0,5	12,5	0,4	0,44	0,08
Sept 1998	H 1T	11,7	1	12,8	1	0,7	0,3
	H 2T	13,7	1,2	14,8	1,2	0,75	0,3
Sept 1999	H 1T	10 - 13		ca. 15		5	
	H 2T	18,8	1,4	20,3	1,5	1	0,2
Sept 2000	H 1T	3,32	0,33	3,5	0,35	0,15	0,03
	H 2T	11,0	1,2	11,8	1,30	0,54	0,16
Sept 2001	H 1T	6,7	0,6	7,2	0,65	0,30	0,06
	H 2T	25,4	2,5	26,4	2,64	1,14	0,3
Sept 2002 +)	H 1T	15,04				0,55	
	H 2T	12,87				0,47	
Sept 2003	H 1T	-				-	
Sept 2003 +)	H 2T	19,2				0,89	
Sept 2004	H 1T	1,86				0,086	
Sept 2004 +)	H 2T	7,7				0,360	
Sept 2005	H 1T	-				-	
	H 2T	-				-	
Sept 2006	H 1T	2,07				0,090	
	H 2T	13,33				6,170	
Sept 2007	H 1T	1,47				0,078	
	H 2T	10				0,515	
Sept 2008	H 1T	3,2				0,150	
	H 2T	3,2				0,150	
Okt 2009	H 1T	1,47				0,066	
	H 2T	8,8				0,400	

\*) schlechtes Präparat \*\*) U-235 nicht auswertbar +) die Messungen erfolgten über ICP MS

**Haldengrundwasser 2010 - 2023**

Jahr	Mess- stelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
		[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
Nov 2010	H 1T	1,71				0,081	
	H 2T	10,67				0,410	
Sept 2011	H 1T	0,933				0,043	
	H 2T	5,098				0,234	
Sept 2013	H 1T	0,928				0,040	
	H 2T	5,050				0,227	
Sept 2015	H 1T	0,342				0,016	
	H 2T	0,196				0,009	
Oktober 2017	H 1T	3,191				0,148	
	H 2T	2,445				0,117	
Oktober 2019	H 1T	Die Haldenmessstellen H1T und H2T konnten im Jahr 2019 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führten.					
	H 2T						
Sept 2021 *	H 1T	Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2021 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.					
	H 2T	4,17				0,192	
Oktober 2023 **	H 1T	Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2023 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.					
	H 2T	4,120				0,194	

\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die vom Fremdlabor gelieferten U-235 Gehalte waren nicht im erwarteten natürlichen Isotopenverhältnis von etwa 21,6. Auf mehrfache Rückfrage erfolgte keine Antwort. Die U-235 Gehalte wurden deshalb mit dem Isotopenverhältnis von 219 korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer das natürliche Isotopenverhältnis zeigten.

\*\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die U-235 Gehalte wurden mit dem Isotopenverhältnissen früherer Messungen korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer ein natürliches Isotopenverhältnis zeigten und bei den Gegebenheiten keine Isotopenfraktionierungen auftreten.

### Oberflächenwasser 1989

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
OW 1	0,02	0,006	0,020	0,006	<0,003	
OW 2L	0,021	0,006	0,030	0,007	<0,003	
OW 2.2L	0,016	0,005	0,020	0,006	<0,003	
OW 2.3L	0,025	0,006	0,024	0,005	<0,003	
OW 3L <sup>1)</sup>	0,067	0,010	0,085	0,010	0,007	0,003
OW 3.1L	0,046	0,007	0,057	0,008	0,003	0,002
OW 3.2L	0,170	0,017	0,190	0,017	0,007	0,003
OW 3.3R	3,200	0,150	3,100	0,150	0,140	0,014
OW 3.4R	1,100	0,150	1,500	0,200	0,070	0,030
OW 4	0,430	0,024	0,450	0,025	0,017	0,004
OW 4.1M	0,530	0,040	0,480	0,040	0,017	0,006
OW 5.1	0,340	0,050	0,360	0,050	0,019	0,010
OW 5.2	0,340	0,035	0,420	0,040	0,017	0,007

1) Peakverbreiterung vermutlich durch Fe, schlecht auswertbares Spektrum.

### Oberflächenwasser 1990 - 1991

Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
OW 1	0,02	0,004	0,02	0,004	<0,002	
OW 3.3R	0,48	0,02	0,46	0,02	0,030	0,004
OW 5.1	0,25	0,02	0,27	0,02	0,016	0,004
OW 5.2	0,20	0,01	0,20	0,01	0,007	0,002
OW 1M	<0,04		<0,04		<0,04 <sup>**)</sup>	
OW 2.3L	0,50	0,20	0,30	0,10	<0,05 <sup>**)</sup>	
OW 3.3L	<0,09	0,04	<0,09	0,04	<0,01 <sup>**)</sup>	
OW 5.2M	<0,02		<0,02		<0,02 <sup>**)</sup>	

<sup>\*\*)</sup> relativ hohe Fehler bzw. schlechte Nachweisgrenze durch Probleme bei der Uranabtrennung

### Oberflächenwasser 1992 - 1999

Jahr	Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
		[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
Sept 1992	OW 1M	0,008	0,005	0,01	0,006	<0,005	
	OW 3.3R	0,02	0,015	0,03	0,015	<0,005	
	OW 5.1	<0,006		<0,008		<0,005	
	OW 5.2M	<0,02		<0,02		<0,02	
Sept 1993	OW 1M	0,08	0,01	0,13	0,01	0,003	0,002
	OW 3.3R	0,12	0,02	*)		**)	
	OW 5.1	0,09	0,01	0,09	0,01	0,004	0,002
	OW 5.2M	0,08	0,01	0,08	0,01	0,001	
	OW Nahe	0,04	0,02	0,07	0,03	<0,005	
Sept 1994	OW 1M	0,016	0,006	0,03	0,01	<0,001	
	OW 3.3R	0,084	0,007	0,08	0,007	0,005	0,002
	OW 5.1	0,016	0,003	0,019	0,003	<0,001	
	OW 5.2M	0,009	0,002	0,011	0,002	<0,001	
Sept 1995	OW 1M	0,02	0,008	0,04	0,012	0,008	0,005
	OW 3.3R	0,024	0,005	0,03	0,006	0,002	0,001
	OW 5.1	0,028	0,006	0,037	0,007	0,005	0,003
	OW 5.2M	0,022	0,007	0,023	0,007	0,003	0,002
Sept 1996	OW 1M	0,024	0,01	0,027	0,01	<0,01	
	OW 3.3R	0,08	0,014	0,09	0,014	0,01	0,005
	OW 5.1	0,084	0,008	0,087	0,007	0,005	0,002
	OW 5.2M	0,116	0,01	0,12	0,01	0,006	0,002
Sept 1997	OW 1M	0,036	0,01	0,04	0,01	<0,003	
	OW 3.3R	0,038	0,02	0,058	0,02	<0,02	
	OW 5.1	0,08	0,03	0,1	0,04	<0,02	
	OW 5.2M	0,058	0,02	0,063	0,02	0,005	0,004
Sept 1998	OW 1M	0,22	0,01	0,22	0,01	0,012	0,003
	OW 3.3R	0,06	0,01	0,07	0,01	0,005	0,003
	OW 5.1	0,08	0,01	0,09	0,01	<0,003	
	OW 5.2M	0,04	0,01	0,05	0,01	0,003	0,002
Aug 1999	OW 1M	0,11	0,01	0,1	0,01	0,007	0,003
	OW 3.3R	0,05	0,005	0,065	0,005	<0,008	
	OW 5.1	0,069	0,01	0,068	0,01	n.b.	

\*) schlechtes Präparat

\*\*) U-235 nicht auswertbar

### Oberflächenwasser 2000 - 2017

Jahr	Messstelle	U-238	±	U-234	±	U-235	±
		[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
Sept 2000	OW 1M	0,007	0,002	0,008	0,002	<0,003	
	OW 3.3R	0,012	0,003	0,012	0,003	<0,003	
	OW 5.1	0,012	0,003	0,013	0,003	<0,004	
Sept 2001	OW 1	0,026	0,003	0,024	0,003	< 0,003	
	OW 3.3R	0,046	0,006	0,04	0,006	< 0,003	
Sept 2002 *)	OW 1M	0,018				0,900	
	OW 3.3R	0,025				1,100	
	OW 5.1	0,024				1,300	
Sept 2003 *)	OW 1M	0,053				< 0,005	
	OW 3.3R	-				-	
	OW 5.1	0,07				< 0,005	
Sept 2004 *)	OW 1M	0,071				< 0,005	
	OW 3.3R	0,064				< 0,005	
	OW 5.1	0,062				< 0,005	
Sept 2005 *)	OW 1M	0,049				0,002	
	OW 3.3R	-				-	
	OW 5.1	0,049				0,002	
Sept 2006 *)	OW 1M	0,022				0,001	
	OW 3.3R	-				-	
	OW 5.1	0,022				0,001	
Sept 2007	OW 1	0,023				< 0,015	
	OW 5.1	0,029				< 0,015	
Sept 2008	OW 1	0,042				< 0,015	
	OW 5.1	0,033				< 0,015	
Okt. 2009	OW 1	0,024				0,001	
	OW 5.1	0,002				<0,0005	
Nov 2010	OW 1	0,013				0,001	
	OW 5.1	0,039				0,0002	
Sept 2011	OW 1	0,051				< 0,016	
	OW 5.1	0,037				< 0,016	
Sept 2013	OW 1	0,050				< 0,016	
	OW 5.1	0,033				< 0,016	
Sept 2015	OW 1	0,060				< 0,016	
	OW 5.1	0,051				< 0,016	
Okt 2017	OW 1	0,031				< 0,016	
	OW 5.1	0,038				< 0,016	

n.b.) nicht bestimmt, Peak gestört

\*) die Messungen erfolgten über ICP MS

### Oberflächenwasser 2019 - 2023

Jahr	Messstelle	U-238	U-235
		[Bq/l]	[Bq/l]
Okt 2019	OW 1	0,028	<0,016
	OW 5.1	0,039	<0,016
Sept 2021 *	OW 1	0,03	<0,016
	OW 5.1	0,05	<0,016
Okt 2023 **	OW 1	0,03	<0,02
	OW 5.1	0,03	<0,02

\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die vom Fremdlabor gelieferten U-235 Gehalte waren nicht im erwarteten natürlichen Isotopenverhältnis von etwa 21,6. Auf mehrfache Rückfrage erfolgte keine Antwort. Die U-235 Gehalte wurden deshalb mit dem Isotopenverhältnis von 2019 korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer das natürliche Isotopenverhältnis zeigten.

\*\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die U-235 Gehalte wurden mit dem Isotopenverhältnissen früherer Messungen korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer ein natürliches Isotopenverhältnis zeigten und bei den Gegebenheiten keine Isotopenfraktionierungen auftreten

### Sediment 1990 - 1996

Jahr	Messstelle	U238	±	U234	±	U235	±
		[kBq/kg TS]*		[kBq/kg TS]*		[kBq/kg TS]*	
1990	Sed OW1	0,055	0,003	0,02	0,004	0,003	0,001
	Sedi OW4R	17,7	1,5	16,6	1,4	0,75	0,09
	Sedi OW5.1	1,04	0,11	0,94	0,1	0,12	0,03
	Sedi OW5.2	3,05	0,21	3,54	0,24	0,13	0,022
	Sedi OWNahe	0,26	0,01	0,26	0,01	0,012	0,002
1992	Sedi OW1M	0,051	0,007	0,064	0,008	0,0027	0,0001
	Sedi OW3.3R	0,6	0,042	0,590	0,041	**	
	Sedi OW5.1M	0,137	0,012	0,147	0,012	**	
	Sedi OW5.2M	0,143	0,014	0,14	0,01	**	
1993	Sedi OW1M	0,041	0,011	0,062	0,015	0,0014	0,0013
	Sedi OW3.3R	0,590	0,100	0,662	0,120	**	
	Sedi OW5.1M	0,067	0,011	0,059	0,011	0,003	0,0015
	Sedi OW5.2M	0,132	0,016	0,155	0,020	0,0069	0,0032
	Sedi OWNahe	0,032	0,007	0,032	0,007	0,0009	0,0004
1994	Sedi OW1M	0,038	0,004	0,045	0,004	0,0011	0,0005
	Sedi OW3.3R	0,273	0,011	0,284	0,011	0,015	0,0015
	Sedi OW5.1M	0,220	0,032	0,247	0,035	0,010	0,0004
	Sedi OW5.2M	0,176	0,010	0,194	0,010	0,008	0,001
1995	Sedi OW1M	0,019	0,007	0,018	0,007	<0,005	*)
	Sedi OW3.3R	0,736	0,060	0,830	0,068	0,038	0,006
	Sedi OW5.1M	0,153	0,020	0,206	0,025	**)	
	SediOW5.2M	0,099	0,008	0,105	0,008	0,0053	0,0014
1996	Sedi OW1M	0,047	0,003	0,044	0,003	**)	
	Sedi OW3.3R	0,218	0,006	0,21	0,005	0,01	0,0008
	Sedi OW5.1M	0,099	0,004	0,098	0,004	**)	
	Sedi OW5.2M	0,165	0,008	0,165	0,008	0,01	0,003

1) Aktivität pro kg Trockensubstanz (TS) des Sediments

\*) schlechtes Präparat

\*\* ) U-235 nicht auswertbar

### Sediment 1997 - 2010

Jahr	Messstelle	U238	±	U234	±	U235	±
		[kBq/kg TS]		[kBq/kg TS]		[kBq/kg TS]	
1997	Sedi OW1M	0,0215	0,002	0,027	0,002	0,0012	0,0005
	Sedi OW3.3R	0,292	0,011	0,313	0,012	0,014	0,0017
	Sedi OW5.1M	0,102	0,004	0,113	0,004	0,0052	0,0008
	Sedi OW5.2M	0,089	0,007	0,095	0,007	0,0051	0,0015
1998	Sedi OW1M	0,040	0,0038	0,046	0,004	0,0018	0,0008
	Sedi OW3.3R	0,093	0,008	0,101	0,009	0,0058	0,0026
	Sedi OW5.1M	0,057	0,015	0,061	0,016	<0,003	
	Sedi OW5.2M	0,030	0,015	0,040	0,016	<0,004	
1999	Sedi OW3.3R	0,075	0,020	0,061	0,019		
	Sedi OW5.2M	0,032	0,004	0,034	0,005	0,005	
2000	Sedi OW1M	0,0554	0,0116	0,0483	0,0102	0,0031	0,002
	Sedi OW3.3r	0,119	0,0192	0,097	0,0176	0,0055	0,003
2001	Sedi OW1M	0,0652	0,0104	0,0695	0,0111	0,0033	0,0016
	Sedi OW3.3r	0,0529	0,0079	0,0556	0,0170	0,0029	0,0014
2002 +)	Sedi OW1M	0,020				0,0009	
	Sedi OW3r	0,021				0,0011	
	Sedi OW5.1	0,028				0,0013	
2003 +)	Sedi OW1M	0,0215				0,0015	
	Sedi OW3.3	0,053				0,0031	
2004 +)	Sedi OW1M	0,090				< 0,006	
	Sedi OW3.3	0,087				< 0,006	
	Sedi OW5.1	0,143				< 0,006	
2005 +)	Sedi OW1M	....				....	
	Sedi OW3.3	-				-	
	Sedi OW5.1	....				....	
2006 +)	Sedi OW1M	0,0328				0,0016	
	Sedi OW3.3	-				-	
	Sedi OW5.1	0,0437				0,0023	
2007 +)	Sedi OW1	0,0306				0,0016	
	Sedi OW5.1	0,0437				0,0023	
2008 +)	Sedi OW1	0,0146				0,0016	
	Sedi OW5.1	0,055				0,0021	
2009 +)	Sedi OW1	0,0224				0,0010	
	Sedi OW5.1	0,0529				0,0024	
2010 +)	Sedi OW1	0,031177				0,0016	
	Sedi OW5.1	0,04536				0,0021	

+) die Messungen erfolgten über ICP MS

### Sediment 2011 - 2021

Jahr	Messstelle	U238	±	U234	±	U235	±
		[kBq/kg TS]		[kBq/kg TS]		[kBq/kg TS]	
2011 +)	Sedi OW1	0,08803				0,0039	
	Sedi OW5.1	0,066023				0,00312	
2013 +)	Sedi OW1	0,074581				0,003281	
	Sedi OW5.1	0,086808				0,003906	
2015 +)	Sedi OW1	0,059910				0,00286	
	Sedi OW5.1	0,051351				0,00234	
2017 +)	Sedi OW1	0,0599				< 0,002	
	Sedi OW5.1	0,1308				< 0,002	
2019 +)	Sedi OW1	0,0575				< 0,002	
	Sedi OW5.1	0,1015				< 0,002	
2021 +)*	Sedi OW1	0,0514				0,00246	
	Sedi OW5.1	0,0562				0,00265	

+) die Messungen erfolgten über ICP MS

\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die vom Fremdlabor gelieferten U-235 Gehalte waren nicht im erwarteten natürlichen Isotopenverhältnis von etwa 21,6. Auf mehrfache Rückfrage erfolgte keine Antwort. Die U-235 Gehalte wurden deshalb mit dem Isotopenverhältnis von 219 korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer das natürliche Isotopenverhältnis zeigten.

### Sediment 2023

Jahr	Messstelle	U238	±	U234	±	U235	±
		[kBq/kg TS]		[kBq/kg TS]		[kBq/kg TS]	
2023 +)**	Sedi OW1	0,0538				< 0,003	
	Sedi OW5.1	0,0966				< 0,003	

+) die Messungen erfolgten über ICP MS

\*\* Anmerkung Dr. Salvamoser im Prüfbericht: Die U-235 Gehalte wurden mit dem Isotopenverhältnissen früherer Messungen korrigiert. Diese Vorgehensweise ist plausibel, da die Messungen der letzten 10 Jahre immer ein natürliches Isotopenverhältnis zeigten und bei den Gegebenheiten keine Isotopenfraktionierungen auftreten

## Anhang 4.3

### Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grund- und Halden- grundwässer

#### Radiumaktivitäten

#### Grundwasser 1989 - 1993

Mess- stelle	1989		1990		1991		1992		1993	
	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 1A	0,155	0,024								
GWM 3	0,256	0,034								
GWM 4T			0,015		0,010	0,002			0,040	0,030
GWM 4B	0,010	0,002	0,009	0,002	0,060	0,015			0,050	0,030
GWM 5	0,043	0,006	0,004	0,001	0,030	0,007	0,019	0,004	0,090	0,012
GWM 6			0,022	0,004	0,140	0,020	0,007	0,001	0,009	0,002
GWM 7	0,097	0,015	0,070	0,010	0,030	0,007	0,077	0,006	0,091	0,011
GWM 8	0,756	0,110	0,077	0,020	0,330	0,015	0,050	0,005	0,203	0,024
GWM 9			0,400	0,020	0,150	0,020	0,010	0,002	0,018	0,003
GWM 10	0,090	0,020	0,110	0,010	0,095	0,010	0,118	0,015	0,057	0,009
GWM 11	0,061	0,009	0,090	0,020	0,060	0,010				
GWM 12	0,036	0,012	0,050	0,010	0,006	0,002				
GWM 14F			0,026	0,004	0,070	0,017	0,006	0,003	0,120	0,014
GWM 14T			0,009	0,002	0,010	0,002			0,300	0,034
GWM 20					0,008	0,003				
GWM 21					0,012	0,003				
GWM 23F					0,006	0,002				
GWM 23T					0,036	0,011				
GWM 24					0,350	0,080	0,297	0,015		
GWM 25			0,009	0,002	0,140	0,030	0,074	0,011	0,108	0,016
GWM 26									0,040	0,005
GWM 27									0,026	0,003
GWM 28									0,031	0,005
GWM 29									0,042	0,006

### Grundwasser 1994 - 1998

Mess- stelle	1994		1995		1996		1997		1998	
	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 4T	0,007	0,003	0,033	0,004	0,055	0,007	0,120	0,014	0,145	0,017
GWM 4B	0,010	0,002	0,050	0,006	0,036	0,004	0,049	0,006	0,056	0,006
GWM 5	0,037	0,004	0,043	0,005	0,026	0,003	0,062	0,009	0,101	0,011
GWM 6	0,006	0,001	0,010	0,001	0,017	0,002	0,026	0,003	0,044	0,006
GWM 7	0,090	0,015	0,084	0,010	0,082	0,009	0,700	0,083	0,115	0,013
GWM 8	0,444	0,050	0,460	0,05	0,364	0,041	0,220	0,026	2,500	0,270
GWM 9	0,049	0,006	0,061	0,007	0,053	0,006	0,080	0,011	0,091	0,010
GWM 10	0,039	0,005	0,046	0,006	0,102	0,011	0,054	0,007	0,066	0,007
GWM 14F	0,183	0,021	0,072	0,008	0,169	0,019	0,164	0,018	0,127	0,012
GWM 14T	0,218	0,032	0,035	0,004	0,117	0,014	0,054	0,006	0,104	0,012
GWM 24	0,137	0,016	0,129	0,014	0,145	0,016	0,443	0,048	0,227	0,025
GWM 25	0,139	0,018	0,105	0,012	0,241	0,026	0,223	0,028	0,174	0,019
GWM 26	0,033	0,006	0,038	0,004	0,062	0,007	0,054	0,008	0,043	0,005
GWM 27	0,076	0,010	0,119	0,014	0,112	0,012	0,133	0,015	0,134	0,015
GWM 28	0,034	0,006	0,055	0,007	0,083	0,011	0,146	0,017	0,189	0,021
GWM 29	0,147	0,016	0,102	0,012	0,107	0,012	0,069	0,008	k	

k) Pegel nicht mehr vorhanden

### Grundwasser 1999 - 2002

Mess- stelle	1999		2000		2001		4/2002		9/2002	
	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 4T	0,050	0,006	0,032	0,005	0,016	0,002	0,010	0,002	0,008	0,001
GWM 4B	0,067	0,007	0,016	0,004	0,017	0,003	0,015	0,003	0,041	0,005
GWM 5	0,171	0,020	0,075	0,011						
GWM 6	0,028	0,004	0,045	0,011	0,217	0,024	0,006	0,003	0,006	0,001
GWM 7	0,036	0,004	0,064	0,011	0,062	0,008	0,018	0,003	0,097	0,012
GWM 8	1,500	0,160	0,350	0,052	0,439	0,049				
GWM 9	0,182	0,020	0,058	0,010	0,181	0,026				
GWM 10	0,239	0,028	0,044	0,009	0,026	0,004	0,054	0,007	0,010	0,002
GWM 14F	0,227	0,025	0,106	0,016	0,318	0,038	0,073	0,009	0,040	0,008
GWM 14T	0,047	0,005	0,095	0,023	0,026	0,004	0,036	0,005	0,013	0,002
GWM 24	0,227	0,025	0,134	0,025	0,059	0,008				
GWM 25	0,088	0,010	0,275	0,044	0,196	0,022	0,072	0,008	0,218	0,024
GWM 26	0,014	0,003								
GWM 27	0,107	0,012	0,074	0,012	0,050	0,006				
GWM 28	0,204	0,023	0,137	0,021	0,137	0,015				

### Grundwasser 2003 - 2007

Mess- stelle	2003		2004		2005		2006		2007	
	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,036	0,006	0,043	0,006	0,024	0,004	0,079	0,009	0,004	0,001
<b>GWM 4B</b>	0,025	0,003	0,057	0,008	0,031	0,002	0,033	0,004	0,039	0,006
<b>GWM 6</b>	0,045	0,006	0,023	0,003	0,033	0,004	0,018	0,003	0,025	0,004
<b>GWM 7</b>	0,101	0,012	0,076	0,010	0,276	0,003	0,026	0,004	0,033	0,006
<b>GWM 10</b>	0,032	0,004	0,060	0,010	0,008	0,008	0,019	0,003	0,017	0,003
<b>GWM 14F</b>	0,111	0,014	0,056	0,009	0,080	0,010	0,005	0,002	0,023	0,004
<b>GWM 14T</b>	0,028	0,003	0,025	0,004	<0,004		0,010	0,003	0,042	0,006
<b>GWM 23T</b>	0,018	0,014								
<b>GWM 25</b>	0,257	0,029	0,253	0,029	0,205	0,024	0,067	0,009	0,016	0,003

### Grundwasser 2008 - 2010

Mess- stelle	2008		2009		2010			
	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-226	±	Ra-228	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,004	0,001	0,071	0,008	0,042	0,008	< 0,01	< 0,01
<b>GWM 4B</b>	0,032	0,004	0,074	0,009	0,046	0,009	0,08	0,02
<b>GWM 6</b>	0,061	0,008	0,094	0,011	0,044	0,011	< 0,01	0,02
<b>GWM 7</b>	0,088	0,011	0,135	0,015	0,060	0,015	0,02	0,02
<b>GWM 10</b>	0,126	0,018	0,027	0,007	0,031	0,007	< 0,01	< 0,01
<b>GWM 14F</b>	0,109	0,013	0,060	0,008	0,027	0,008	< 0,01	< 0,01
<b>GWM 14T</b>	0,101	0,012	0,011	0,003	0,042	0,003	< 0,01	< 0,01
<b>GWM 25</b>	0,184	0,021	0,142	0,022	0,061	0,022	0,03	0,02

### Grundwasser 2011 - 2013

Mess- stelle	2011				2013			
	Ra-226	±	Ra-228	±	Ra-226	±	Ra-228	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,014	0,002	0,07	0,02	0,024	0,003	< 0,02	
<b>GWM 4B</b>	0,067	0,009	< 0,02		*	*	*	*
<b>GWM 6</b>	0,045	0,006	< 0,02		0,025	0,003	< 0,02	
<b>GWM 7</b>	0,073	0,009	0,06	0,02	0,031	0,004	< 0,02	
<b>GWM 10</b>	0,090	0,011	< 0,01		0,008	0,001	0,04	0,01
<b>GWM 14F</b>	0,082	0,010	< 0,02		0,016	0,002	< 0,02	
<b>GWM 14T</b>	0,100	0,012	< 0,02		0,001	0,001	< 0,02	
<b>GWM 25</b>	0,244	0,028	0,04	0,02	0,038	0,005	< 0,02	

\* Die Messstelle war im Jahr 2013 stark verschlammte und hat keine ausreichende Aquiferanbindung. Anzutreffen war lediglich ein fauliges, jauche-artiges Wasser. Die Messstelle war für eine qualifizierte Probenahme nicht geeignet.

### Grundwasser 2015 - 2017

Mess- stelle	2015				2017			
	Ra-226	±	Ra-228	±	Ra-226	±	Ra-228	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	<0,005		< 0,02		0,031	0,005	< 0,02	
<b>GWM 4B</b>	*	*	*	*	0,034	0,005	< 0,02	
<b>GWM 6</b>	0,045	0,006	< 0,02		0,090	0,012	< 0,02	
<b>GWM 7</b>	0,021	0,004	< 0,01		0,035	0,005	< 0,02	
<b>GWM 10</b>	0,19	0,022	0,04	0,01	0,464	0,065	0,03	0,015
<b>GWM 14F</b>	0,018	0,003	< 0,06		0,073	0,010	< 0,02	
<b>GWM 14T</b>	0,006	0,001	< 0,05		0,015	0,005	< 0,02	
<b>GWM 25</b>	0,122	0,012	< 0,02		0,078	0,009	< 0,02	

\* Lt. Prüfbericht LfU war die Messstelle im Jahr 2015 für eine qualifizierte Probenahme nicht geeignet.

### Grundwasser 2019 – 2021

Mess- stelle	2019				2021			
	Ra-226	±	Ra-228	±	Ra-226	±	Ra-228	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,003	0,008	0,04	0,016	0,063	0,008	0,048	0,004
<b>GWM 4B</b>	0,052	0,01	< 0,02		0,061	0,01	0,034	0,005
<b>GWM 6</b>	0,034	0,008	0,041	0,015	0,116	0,005	0,027	0,006
<b>GWM 7</b>	0,05	0,015	< 0,03		0,036	0,004	0,028	0,009
<b>GWM 10</b>	0,048	0,007	0,05	0,018	0,031	0,004	0,084	0,007
<b>GWM 14F</b>	0,034	0,009	< 0,02		0,064	0,005	0,034	0,004
<b>GWM 14T</b>	0,059	0,013	< 0,02		0,056	0,005	0,042	0,006
<b>GWM 25</b>	0,138	0,02	< 0,03		0,28	0,012	0,21	0,015

### Grundwasser 2023

Mess- stelle	2023			
	Ra-226	±	Ra-228	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	0,062	0,012	0,037	0,014
<b>GWM 4B</b>	0,096	0,02	0,07	0,02
<b>GWM 6</b>	0,051	0,015	0,04	0,017
<b>GWM 7</b>	0,052	0,014	< 0,03	
<b>GWM 10</b>	0,049	0,01	0,03	0,015
<b>GWM 14F</b>	0,046	0,01	< 0,03	
<b>GWM 14T</b>	0,067	0,02	0,03	0,016
<b>GWM 25</b>	0,15	0,018	0,056	0,015

**Haldengrundwasser 1991 - 2023**

Mess- stelle	H 1T				H 2T			
	Ra-226	±	Ra-228	±	Ra-226	±	Ra-228	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
1991	0,041	0,090			7,500	1,500		
1992	0,455	0,050			2,270	0,160		
1993	1,800	0,200			4,160	0,460		
1994	1,650	0,180			7,870	0,850		
1995	2,500	0,270			1,950	0,210		
1996	1,000	0,100			2,400	0,250		
1997	0,543	0,064			0,758	0,085		
1998	7,050	0,760			7,500	0,800		
1999	2,200	0,230			6,100	0,650		
2000	0,565	0,068			2,300	0,270		
2001	1,850	0,200			7,350	0,790		
09/2002	12,20	1,300			7,400	0,800		
2003					4,400	0,470		
2004	0,226	0,027			11,60	1,200		
2005								
2006	0,700	0,075			2,200	0,250		
2007	2,260	0,250			13,10	1,400		
2008	1,590	0,190			1,290	0,150		
2009	0,380	0,190			0,540	0,070		
2010	0,240	0,190	< 0,1		1,320	0,070	< 0,1	
2011	0,806	0,087	< 0,08		9,600	1,030	< 0,08	
2013	0,113	0,013	< 0,08		0,553	0,067	< 0,08	
2015	3,7	0,3	< 0,08		14,4	0,8	< 0,1	
2017	0,386	0,041	< 0,1		0,172	0,018	< 0,1	
2019	Die Haldenmessstellen H1T und H2T konnten im Jahr 2019 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führten.							
2021	Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2021 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.				0,168	0,071	<0,3	
2023	Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2023 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.				1,62	0,16	0,08	0,06



**Grundwasser 1992 - 1996**

Mess- stelle	1992		1993		1994		1995		1996 *	
	Pb-210	±	Pb-210	±	Pb-210	±	Pb-210	±	Pb-210	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 1A										
GWM 2										
GWM 3										
GWM 4B					<0,01		0,08	0,02	<0,02	
GWM 4T					<0,01		<0,04		<0,03	
GWM 5										
GWM 6	<0,01		0,035	0,010	<0,01		0,04	0,01	<0,03	
GWM 7	0,47	0,10	0,400	0,080	0,27	0,060	0,19	0,02	0,13	0,03
GWM 8	0,40	0,10	0,400	0,080	0,40	0,080	0,13	0,02	0,43	0,10
GWM 9	<0,1*	0,22	0,040	0,180	0,04	0,200	0,02		<0,03	
GWM 10	<0,01		0,140	0,030	<0,01		0,07	0,02	0,06	0,02
GWM 11										
GWM 12										
GWM 13										
GWM 14F	<0,01		0,030	0,010	<0,01		0,06	0,01	0,07	0,02
GWM 14T	<0,01		0,080	0,020	<0,01		<0,03		0,04	0,01
GWM 16										
GWM 19					<0,01		<0,03		<0,03	
GWM 20T	<0,01									
GWM 21T	0,02									
GWM 22										
GWM 23F					<0,01					
GWM 23T	<0,01				<0,01					
GWM 24	0,20	0,10			0,10	0,020	0,14	0,02	0,30	0,06
GWM 25	<0,01		0,060	0,015	0,02	0,005	0,10	0,02	**	
GWM 26			0,170	0,060	0,14	0,030	0,09	0,02	0,08	0,02
GWM 27			0,100	0,020	0,10	0,020	0,37	0,01	0,16	0,04
GWM 28			0,450	0,100	0,09	0,020	0,17	0,02	0,18	0,04
GWM 29			0,070	0,020	0,14	0,030	0,13	0,06	0,14	0,03

\*) erhöhte Nachweisgrenze wegen geringen Probenvolumens

\*\*) unplausibler Messwert







**Grundwasser 2013 - 2019**

Mess- stelle	2013		2015		2017		2019	
	Pb-210	±	Pb-210	±	Pb-210	±	Pb-210	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 1A								
GWM 2								
GWM 3								
GWM 4B	*	*	*	*	0,27	0,035	0,27	0,09
GWM 4T	< 0,05		0,19	0,07	0,022	0,003	<0,07	
GWM 5								
GWM 6	< 0,09		< 0,05		0,15	0,02	0,49	0,1
GWM 7	2,7	0,2	0,26	0,20	0,55	0,07	0,39	0,1
GWM 8								
GWM 9								
GWM 10	0,57	0,09	0,34	0,09	< 0,05		<0,08	
GWM 11								
GWM 12								
GWM 13								
GWM 14F	< 0,05		< 0,05		< 0,05		<0,07	
GWM 14T	< 0,05		< 0,05		< 0,05		<0,08	
GWM 16								
GWM 19								
GWM 20T								
GWM 21T								
GWM 22								
GWM 23F								
GWM 23T								
GWM 24								
GWM 25	< 0,07		< 0,05		< 0,05		<0,08	
GWM 26								
GWM 27								
GWM 28								
GWM 29								

\* Die Messstelle war im Jahr 2013 stark verschlammte und hat keine ausreichende Aquiferanbindung. Anzutreffen war lediglich ein fauliges, jauche-artiges Wasser. Lt. Prüfbericht LfU war die Messstelle auch im Jahr 2015 für eine qualifizierte Probenahme nicht geeignet.



**Haldengrundwasser 1990 – 2023**

Jahr	H 1T		H 2T	
	Pb-210	±	Pb-210	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
1990			146,0	2,00
1991				
1992	0,06		32,0	7,00
1993	52,0	11,0	8,80	2,00
1994	30,10	3,00	19,8	2,00
1995	6,10	1,40	0,42	0,03
1996	16,2*)	3,60	11,5*)	2,50
1997	28,0	6,00	7	1,60
1998	17,6	5,00	11,4	1,20
1999	26,0	5,00	5,80	1,30
2000	170	8,00	37,0	1,00
2001	127	6,00	76,0	4,00
2002	80,0	3,60	46,5	2,20
2003			110	5,00
2004	108	6,00	36,0	3,00
2005				
2006	370	19,0	110	5,00
2007	309	15,0	160	8,00
2008	96,0	10,0	118	12,00
2009	161	10,0	86,0	11,00
2010	78,0	5,00	48,0	3,00
2011	27,0	1,00	23,0	1,00
2013	415	26	141	9
2015	240	15	180	11
2017	234	30	25	4
2019	Die Haldenmessstellen H1T und H2T konnten im Jahr 2019 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führten.			
2021	Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2021 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.		167	11
2023	Die Haldenmessstelle H1T konnte im Jahr 2023 nicht beprobt werden, da sie kein Wasser führte.		74,5	10

\*) Messwert: Pb-210 + Tc-99

## Anhang 4.5

### Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grundwasser

#### Radon-Aktivitäten

##### Grundwasser 2010 und 2013

Mess- stelle	2010		2013	
	Rn-222	±	Rn-222	±
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 4T</b>	53	5,7	37	4
<b>GWM 4B</b>	21	2,3	*	*
<b>GWM 6</b>	31	3,3	40	4
<b>GWM 7</b>	30	3,3	18	2
<b>GWM 10</b>	93	10	21	2
<b>GWM 14F</b>	101	10,8	55	10
<b>GWM 14T</b>	53	5,7	91	6
<b>GWM 25</b>	156	16,6	97	10

\* Die Messstelle war im Jahr 2013 stark verschlamm und hat keine ausreichende Aquiferanbindung. Anzutreffen war lediglich ein fauliges, jauche-artiges Wasser.

##### Haldengrundwasser 2013

Mess- stelle	2013	
	Rn-222	±
	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>H 1T</b>	653	70
<b>H 2T</b>	1127	120

## Anhang 4.6

### Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grund- und Haldengrundwasser

#### Neptuniumaktivitäten

#### Grundwasser 1989 - 1999

Mess- stelle	1989	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 5</b>	<0,07									
<b>GWM 6</b>	2,20	1,10	0,3	0,8	1,2	0,50	1,10	0,7	0,40	0,40
<b>GWM 7</b>	1,40	0,07								
<b>GWM 8</b>	0,67	<0,08								
<b>GWM 9</b>		0,10								
<b>GWM 10</b>	0,64	<0,10	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	<0,10	0,1	<0,15	0,18
<b>GWM 11</b>	<0,1	<0,20								
<b>GWM 12</b>	<0,1									
<b>GWM 23F</b>		<0,05								
<b>GWM 23T</b>		<0,05								
<b>GWM 24</b>			<0,1		0,2	<0,10	<0,20	0,5	0,20	0,16
<b>GWM 25</b>		<0,08	0,2	0,3	<0,1	<0,10	0,13	<0,1	0,20	0,12
<b>GWM 26</b>				0,5	0,7	0,70	0,30	0,2	<0,15	0,14
<b>GWM 27</b>				0,9	0,5	0,50	0,14	0,2	<0,15	0,23
<b>GWM 28</b>				0,3	<0,1	<0,10	<0,10	0,1	<0,15	<0,15
<b>GWM 29</b>				0,2	<0,1	<0,10	<0,15	<0,1		



**Haldengrundwasser 1992 - 2001**

<b>Jahr</b>	<b>H 1T</b>	<b>H 2T</b>
	<b>Np-237</b>	<b>Np-237</b>
	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>1992</b>	-	-
<b>1993</b>	1,1	-
<b>1994</b>	0,3	-
<b>1995</b>	<0,1	-
<b>1996</b>	0,6	-
<b>1997</b>	0,79	-
<b>1998</b>	0,3	0,2
<b>1999</b>	0,2	<0,1
<b>2000</b>	<0,12	<0,14
<b>2001</b>	<0,2	<0,2

ab 2001 keine Untersuchungen auf Neptunium, da Werte in den Vorjahren unter der Nachweisgrenze

## Anhang 4.7

### Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen Grund- und Haldengrundwasser

#### Cäsiumaktivitäten

#### Grundwasser 1991 – 2000

Mess- stelle	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
<b>GWM 6</b>	<0,03	0,2	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>GWM 7</b>	0,07	-	-	-	-					
<b>GWM 8</b>	<0,06	-	-	-	-					<0,1
<b>GWM 9</b>	0,20	-	-	-	-					
<b>GWM 10</b>	0,13	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>GWM 11</b>	<0,03	-	-	-	-					
<b>GWM 23F</b>	<0,03	-	-	-	-					
<b>GWM 23T</b>	<0,10	-	-	-	-					
<b>GWM 24</b>	-	<0,1	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>GWM 25</b>	<0,06	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>GWM 26</b>	-	-	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
<b>GWM 27</b>	-	-	<0,07	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>GWM 28</b>	-	-	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>GWM 29</b>			<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			

**Grundwasser 2001 - 2010**

Mess- stelle	2001	09/02	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 6	<0,09	<0,01	< 0,14	< 0,05	<0,04	<0,04	< 0,04	< 0,04	<0,04	<0,008
GWM 7		< 0,10	< 0,10	0,15	<0,04	<0,04	< 0,04	< 0,04	<0,04	0,006
GWM 8										
GWM 9										
GWM 10										
GWM 11										
GWM 23F										
GWM 23T										
GWM 24	<0,10									
GWM 25	0,19	< 0,16	< 0,12	< 0,05	<0,04	<0,04	< 0,04	< 0,04	<0,04	<0,008
GWM 26										
GWM 27	<0,09									
GWM 28	0,17									
GWM 29										

**Grundwasser 2011 - 2019**

Mess- stelle	2011	2013	2015	2017	2019
	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137
	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]	[Bq/l]
GWM 6	< 0,006	< 0,006	< 0,005	0,013	< 0,005
GWM 7	< 0,006	< 0,006	< 0,004	< 0,004	< 0,006
GWM 8					
GWM 9					
GWM 10					
GWM 11					
GWM 23F					
GWM 23T					
GWM 24					
GWM 25	< 0,006	< 0,004	< 0,004	< 0,008	0,009
GWM 26					
GWM 27					
GWM 28					
GWM 29					

**Haldengrundwasser 1991 - 2001**

<b>Jahr</b>	<b>H1T</b>
	<b>Cs-137</b>
	[Bq/l]
<b>1991</b>	
<b>1992</b>	
<b>1993</b>	< 0,05
<b>1994</b>	< 0,1
<b>1995</b>	< 0,1
<b>1996</b>	0,13
<b>1997</b>	< 0,1
<b>1998</b>	< 0,15
<b>1999</b>	< 0,1
<b>2000</b>	< 0,1
<b>2001</b>	< 0,2

ab 2001 keine Untersuchungen auf Cäsium, da Werte in den Vorjahren unterhalb der Nachweisgrenze

## Anhang 5.1

### Ergebnisse der Trendanalyse Hydrochemie (Mann-Kendall-Test)

(Analyseergebnisse, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen, wurden bei der Trendberechnung nicht beachtet. Die Arsenbefunde des Jahres 2010 waren nicht plausibel und wurden ebenfalls aus der Trendberechnung ausgeschlossen. Die Analyseergebnisse der Messstelle GWM 4B aus den Jahren 2013 und 2015 wurden wg. fehlender Repräsentativität ebenfalls aus der Berechnung ausgeschlossen.

Die Haldenmessstelle H1T führten zum Zeitpunkt der Probenahme in der aktuellen Kampagne nicht ausreichend Wasser und konnten daher nicht beprobt werden.

Messstelle		pH-Wert			Chlorid			Sulfat			Nitrat			Arsen		
		n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.
Anstrom	GWM 4B	26	-2,29	*	25	0,56		26	-5,09	***	26	2,41	*	20	-0,44	
Anstrom	GWM 4T	29	0,57		29	4,66	***	29	-1,92	+	28	2,85	**	27	-1,08	
Haldennah	GWM 25	26	0,25		24	-2,67	**	26	-5,64	***	25	-4,54	***	23	4,16	***
Haldennah	GWM 6	29	2,07	*	24	-4,87	***	29	-7,07	***	25	-6,75	***	24	-0,62	
Haldennah	GWM 7	29	4,46	***	29	-3,01	**	29	-3,73	***	28	-6,70	***	23	4,16	***
Haldennah	GWM 10	29	-0,87		29	0,45		29	2,57	*	29	1,13		18	-2,51	*
Abstrom	GWM 14F	29	1,81	+	29	0,74		29	-0,21		29	1,06		26	-0,75	
Abstrom	GWM 14T	29	2,41	*	29	-1,74	+	29	0,96		29	-1,38		26	3,97	***
Abstrom	GWM 23F	27	-0,36		27	6,07	***	27	-2,98	**	22	-1,38		24	3,61	***
Abstrom	GWM 23T	27	1,77	+	27	0,74		27	-2,63	**	27	-5,42	***	25	-1,36	
Haldenw.	H1T	20	2,32	*	17	-4,13	***	19	-3,96	***	17	-4,16	***	7	-3	(S-Test)
Haldenw.	H2T	24	5,36	***	23	4,02	***	23	-4,65	***	23	-5,18	***	8	-13	(S-Test)

Signific.

For the four tested significance levels the following symbols are used

\*\*\* if trend at  $\alpha = 0.001$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 99,9 %) – sehr deutlicher Trend

\*\* if trend at  $\alpha = 0.01$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 99 %) – deutlicher Trend

\* if trend at  $\alpha = 0.05$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 95 %) – leichter Trend

+ if trend at  $\alpha = 0.1$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 90 %) – sehr leichter Trend

## Anhang 5.2

### Ergebnisse der Trendanalyse Radionuklide (Mann-Kendall-Test)

(Analysenergebnisse, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen, wurden bei der Trendberechnung nicht beachtet. Der Tritiumbefund des Jahres 1993 war nicht plausibel und wurde ebenfalls aus der Trendberechnung ausgeschlossen. Die Analysenergebnisse der Messstelle GWM 4B aus den Jahren 2013 und 2015 wurden wg. fehlender Repräsentativität ebenfalls aus der Berechnung ausgeschlossen.

Die Haldenmessstelle H1T führten zum Zeitpunkt der Probenahme in der aktuellen Kampagne nicht ausreichend Wasser und konnten daher nicht beprobt werden.

Messstelle		Tritium			U-238			Ra-226			Pb-210			Nep-237		
		n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.	n	Test Z	Signific.
Anstrom	GWM 4B	21	-1,94	+	25	2,55	*	24	1,37							
Anstrom	GWM 4T	25	-1,05		28	-0,10		26	0,42							
Haldennah	GWM 25	26	-4,36	***	27	2,04	*	28	0,38		9	14 (S-Test)	7	-16 (S-Test)		
Haldennah	GWM 6	27	-6,50	***	29	-2,21	*	28	2,85	**	9	12 (S-Test)	19	-4,52	***	
Haldennah	GWM 7	29	-4,56	***	29	-3,89	***	29	-2,14	*	23	0,45	7	-13 (S-Test)		
Haldennah	GWM 10	29	-4,00	***	27	-1,31		29	-1,28		11	0,16	5	-6 (S-Test)		
Abstrom	GWM 14F	28	0,18		28	-2,59	**	28	-1,76	+	6	1 (S-Test)				
Abstrom	GWM 14T	29	-0,98		28	-1,64		27	-0,92		5	-4 (S-Test)				
Abstrom	GWM 23F	27	0,44		26	-1,19		21	-0,39							
Abstrom	GWM 23T	27	-5,68	***	26	-1,91	+	24	-0,84							
Haldenw.	H1T	17	-5,15	***	22	-3,70	***				21	3,05	**			
Haldenw.	H2T	23	-5,59	***	25	-2,13	*				25	2,66	**			

Signific.

For the four tested significance levels the following symbols are used

\*\*\* if trend at  $\alpha = 0.001$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 99,9 %) – sehr deutlicher Trend

\*\* if trend at  $\alpha = 0.01$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 99 %) – deutlicher Trend

\* if trend at  $\alpha = 0.05$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 95 %) – leichter Trend

+ if trend at  $\alpha = 0.1$  level of significance (Sicherheitswahrscheinlichkeit > 90 %) – sehr leichter Trend