



Abschlussbericht zur Bestandsanalyse für die Halde Neuhof-Ellers im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung des „Runden Tisches“ zur „Reduzierung/Vermeidung von Haldenwässern des Kaliwerks Neuhof-Ellers“

Technische Universität Bergakademie Freiberg
Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau
Institut für Geologie
Professur für Hydrogeologie und Hydrochemie
Dr.-Ing. Fritz Kalwa, Dr.-Ing. Falk Händel, Prof. Dr. Traugott Scheytt
Otto-Meißner-Bau, Gustav-Zeuner-Str. 12, 09599 Freiberg

Leistungsdatum: 03.10.2025
(redaktionell überarbeitet am 03.03.2026)

Inhalt

Begriffsklärung	7
Einleitung.....	8
Zielsetzung, Arbeitspakete und Bearbeitungshinweise	8
Genehmigungsrechtliche Ausgangslage.....	10
Prozesslandkarte	15
Historie	15
Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes.....	17
Prozessraum 1	20
Haldenwasseranfall	20
Freier Wasseranteil im Rückstandssalz	21
Niederschlag.....	21
Evaporation und Deliqueszenz.....	25
Prozessraum 2	28
Haldenkörpermodell	28
Abschätzung der Restinfiltration anhand des Wasserhaushalts der Halde	31
Hydraulische Abschätzung der Restinfiltration (upi, 2020).....	33
Haldenaufstandsfläche.....	33
Nicht vergüteter Althaldenbereich.....	33
Teilvergütete Haldenfläche (Umgebung Alte Wiese-Tal).....	34
Vergüteter Haldenbereich (Westlicher Haldenteil)	38
Prozessraum 3	40
Mögliche Eintragswege der Halde ins Grundwasser	40
Restinfiltration.....	40
Frischwassereintrag durch schwebende Grundwasserleiter	41
Kapillaraufstieg.....	42
Salzgehalte in Oberflächengewässern.....	43
Einzugsgebiete der Quellen.....	46
Monitoring der Salzgehalte im Grundwasser.....	51
Geoelektrische Messungen	51
Entwicklung an Grundwassermessstellen	56
Versenkung salzhaltiger Abwässer in den Plattendolomit.....	62
Entnahmebrunnen	64



Prozessraum 4	66
Wissenslücken	68
Hydraulische Abschätzung der Restinfiltration	68
Alte Wiese-Tal	69
Quelle Alte Wiese	70
Bedeutung der Untergrundheterogenität sowie Strömungs- und Transportmodell.....	70
Messstellen im oberflächennahen Untergrund	71
Referenzen	72
Anhänge.....	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chlorid-Zielwerte (90-Perzentile) für die Pegel Gerstungen und Boffzen (FGG Weser, 2024b)	11
Abbildung 2: Schematischer Verlauf der Salzbelastung entlang der Werra und Weser (FGG Weser, 2021a).....	11
Abbildung 3: Zeitreihe der Tagesmittelwerte für Chlorid am Pegel Gerstungen zwischen 2013 und 2023 (FGG Weser, 2024b)	12
Abbildung 4: Salzbelastung im Grundwasser des Wesereinzugsgebietes (FGG Weser, 2021a).....	13
Abbildung 5: Prozesslandkarte mit den vier identifizierten Prozessräumen.	15
Abbildung 6: Rekonstruierte ungefähre Entwicklung der Haldenaufstandsfläche (eigene Darstellung nach Angaben aus K+S 2025b und Quellen darin, upi 2020, HGN 2024).....	16
Abbildung 7: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (in Anlehnung an HLNUG, 2025) und Lage des schematischen Profils in Abbildung 8.	17
Abbildung 8: Stark vereinfachtes geologisches West-Ost-Profil durch das Gebiet der Halde (Lage des Profils in Abbildung 7).	18
Abbildung 9: Aufgebrachtes Rückstandssalz und damit verbundenes freies Wasser (7 %) (eigene Darstellung nach Daten aus upi, 2020)	21
Abbildung 10: Haldenwasseranfall (blau) und gemessener Niederschlag auf der Halde (rot) (K+S, 2025a).....	22
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Niederschlagsmenge und Haldenwasseranfall (upi, 2020) .	22
Abbildung 12: Wetterstationsvergleich im Jahr 2014 für die von K+S betriebene Wetterstation in Neuhoof, für die DWD-Wetterstation in Neuhoof (die aber nur bis Ende September 2014 zuverlässige Werte lieferte) und für die DWD-Wetterstation in Bad Hersfeld. Die starke Verflachung der Messkurve der Wetterstation an der Halde in Neuhoof ab Ende Mai lässt darauf schließen, dass die Niederschlagshöhen in diesem Zeitraum systematisch untererfasst wurden. (eigene Darstellung nach Rohdaten von K+S (2025b) und DWD (2025)).....	24
Abbildung 13: Wetterstationsvergleich für das Jahr 2015 für die von K+S betriebene Wetterstation in Neuhoof und die vom DWD betriebene Wetterstation in Bad Hersfeld. Die Verläufe beider Kurven weisen eine deutlich größere Ähnlichkeit auf als im Vorjahr 2014. (eigene Darstellung nach Rohdaten von K+S (2025b) und DWD (2025))	24
Abbildung 14: Deliqueszenzfeuchten zweier möglicher Bestandteile des Haldenmantelbereiches (NaCl und MgCl ₂) sowie beispielhafter Luftfeuchten an der Pilothalde Zielitz (Krupp, 2025).	27
Abbildung 15: Konzentrationen der Salzparameter aus dem Lysimeterversuch von upi (2020).	28
Abbildung 16: Schematisches Modell der Wasserflüsse innerhalb und um den Haldenkörper (eigene Darstellung in Anlehnung an upi, 2020).....	31
Abbildung 17: Generalisierter Aufbau des oberflächennahen Untergrundes im Bereich des Alte Wiese-Tals (Björnsen, 1988).....	35
Abbildung 18: Abdichtungs- und Ableitungskonzept vor Überdeckung des Alte Wiese-Tals (Björnsen, 1988).....	36
Abbildung 19: Detaillierter Entwurf der Drainageleitungen (Björnsen, 1988).....	36
Abbildung 20: Geschätzte Wasserbilanz der dem Tal zuströmenden Haldenwassermengen (Björnsen, 1988).....	38
Abbildung 21: Grundwassergleichenplan des Hauptgrundwasserleiters und Stützstellen der Grundwassergleichen (in Anlehnung an K+S (2025a); durch die wissenschaftliche Begleitung wurde	

der Eintrittspunkt der Bachverrohrung und die beiden Bereiche mit vermuteten schwebenden Grundwasserleitern hinzugefügt, wobei das tatsächliche Vorhandensein, die hydraulischen Verbindungen und die genaue Ausdehnung zum jetzigen Zeitpunkt nicht nachgewiesen sind) 41

Abbildung 22: Elektrische Leitfähigkeiten in Oberflächengewässern (Uni Jena, 2017) 44

Abbildung 23: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn am Typhusbrunnen (K+S, 2025a) 44

Abbildung 24: Entwicklung der Gesamtmineralisation. und Zn, Al, B, Fe, Mn an der Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn (K+S, 2025a) 45

Abbildung 25: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Quelle Alte Wiese (K+S, 2025a) 45

Abbildung 26: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Quelle Kirschbach (K+S, 2025a) 45

Abbildung 27: Von HGN (2024) abgegrenzte Einzugsgebiete der Quelle Alte Wiese 47

Abbildung 28: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Grundwassermessstelle „GWM 14/2018 NE (sm) flach“ (K+S, 2025a), die in 8-13 m u. GOK verfiltert ist und mit dem schwebenden Grundwasserleiter assoziiert wird 48

Abbildung 29: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Grundwassermessstelle „GWM 14/2017 NE (sm)“ (K+S, 2025a), die in 29-39 m u. GOK verfiltert ist und mit dem Hauptgrundwasserleiter assoziiert wird 48

Abbildung 30: Korrelation Mg und SO₄²⁻ für die Wässer der beiden Quellen und der unterschiedlich tiefen Grundwassermessstellen (Krupp, 2025), wobei die Quellwässer eher als Verdünnungen des Grundwassers in der tiefen Messstelle erscheinen, während die Wässer der flachen Messstelle eher eine abweichende Signatur aufweisen. 49

Abbildung 31: Korrelation Na und Cl für die Wässer der beiden Quellen und der unterschiedlich tiefen Grundwassermessstellen (Krupp, 2025), wobei die Quellwässer eher als Verdünnungen des Grundwassers in der tiefen Messstelle erscheinen, während die Wässer der flachen Messstelle eher eine abweichende Signatur aufweisen. 49

Abbildung 32: Arbeitshypothese für die Speisung der Quelle Alte Wiese und der Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn (geologische Karte im Hintergrund von HLNUG, 2025). Während von Süden her vor allem salzhaltiges Wasser aus dem Haldenbereich heranströmt (roter Pfeil), könnte aus einem Bereich unbekannter Größe nördlich der Kluft salzarmes Wasser zuströmen (blaue Pfeile). Die Ausmaße vermuteter schwebender Grundwasserleiter, die im Rahmen von Hypothese a) an diesem Prozess beteiligt sein könnten sind durch den rot hinterlegten Bereich angedeutet, im Detail aber nicht bekannt 50

Abbildung 33: Lage der Geoelektrikprofile während der Messkampagne in 2024 (in Anlehnung an GGL, 2025); Die Profile P04 und P11, sowie die Position der Messstellen GWM8/2013 und GWM11/2017 wurden von der wiss. Begleitung hervorgehoben und werden exemplarisch in Abbildung 35 und Abbildung 37 gezeigt. 51

Abbildung 34: Vergleich der interpolierten Geoelektrikmessungen im Bereich südwestlich der Halde (Nähe Lützbach) zwischen 2010 und 2024 (in Anlehnung an GGL, 2025; Formatierung von wiss. Begleitung angepasst). 53

Abbildung 35: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P04(SW) südwestlich der Halde (in Anlehnung an GGL, 2017; GGL, 2025; Position der Messstelle GWM8/2013 von wiss. Begleitung eingefügt); Skala in Abbildung 36 54

Abbildung 36: Vergleich der interpolierten Geoelektrikmessungen im Bereich östlich der Halde (Nähe Rippbach) zwischen 2017 und 2024 (in Anlehnung an GGL, 2025; Formatierung von wiss. Begleitung geändert).....	54
Abbildung 37: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P04(O) östlich der Halde (in Anlehnung an GGL, 2017; GGL, 2025; Position der Messstelle GWM11/2017 von wiss. Begleitung eingefügt), Skala siehe Abbildung 36	55
Abbildung 38: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P22 (nördlich der Halde entlang des Alte Wiese-Tals) in 2022 (oben) und 2024 (unten). Der Bereich erhöhter Leitfähigkeit erscheint in 2022 noch auf eine Schicht zwischen ca. 290 bis 310 m ü. NN beschränkt zu sein, während er 2024 auch in Tiefen von bis zu 250 m ü. NN hinabreicht. Die horizontale Ausbreitung scheint sich in diesem Zeitraum nicht verändert zu haben. (GGL, 2024).....	55
Abbildung 39: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P24 (nördlich der Halde östlich des Alte Wiese-Tals) in 2022 (oben) und 2024 (unten). Die beiden eingezeichneten Grundwassermessstellen befinden sich nicht genau auf dem Profil, sondern ca. 150 m westlich. Der Bereich erhöhter Leitfähigkeit erscheint in 2022 noch auf eine Schicht zwischen ca. 320 bis 350 m ü. NN beschränkt zu sein, während er 2024 auch in Tiefen von ca. 300 m ü. NN hinabreicht. Die horizontale Ausbreitung scheint in diesem Zeitraum ebenfalls leicht zugenommen zu haben. (GGL, 2024).....	56
Abbildung 40: Entwicklung der Gesamtmineralisation und der Konzentrationen von Zn, Al, B, Fe und Mn in der Grundwassermessstelle GWM8/2013 (K+S, 2025a).....	57
Abbildung 41: Profil und Aufbau der Messstelle GWM8/2013 (K+S, 2025a).....	57
Abbildung 42: Entwicklung der Gesamtmineralisation und der Konzentrationen von Zn, Al, B, Fe und Mn in der Grundwassermessstelle GWM11/2017(sm) (K+S, 2025a)	59
Abbildung 43: Aufbau der Messstelle GWM11/2017(su) (K+S, 2025a)	59
Abbildung 44: Entwicklung der Gesamtmineralisation und der Konzentrationen von Zn, Al, B, Fe und Mn in der Grundwassermessstelle GWM11/2017(su) (K+S, 2025a).....	60
Abbildung 45: Aufbau der Messstelle GWM11/2017(sm) (K+S, 2025a).....	60
Abbildung 46: Aufbau der Messstelle GWM14/2018 NE(sm) flach (K+S, 2025a). Die Entwicklung der Gesamtmineralisation findet sich in Abbildung 28.	61
Abbildung 47: Aufbau der Messstelle GWM14/2017 NE(sm) (K+S, 2025a). Die Entwicklung der Gesamtmineralisation findet sich in Abbildung 29.	61
Abbildung 48: Stratigraphie des Zechsteins und Einordnung des Plattendolomits in Nordhessen (Bolz & Kley, 2021)	62
Abbildung 49: Hydraulische Verbindung der Blöcke im Plattendolomit (K+S, 2018)	63
Abbildung 50: Geoelektrik-Ergebnisse (Horizontalschnitte 250-280 m NN, Jahr 2022 südwestlich der Halde mit der ungefähren Lage des geplanten Entnahmebrunnens, der vorhandenen Messstellen des Mess- und Beobachtungsplans und der geplanten Messstellen „A“ und „B“. aus K+S (2024c)	65
Abbildung 51: Fließschema der Abwasserentsorgung (ohne Bahntransporte) am Werk Neuhoof-Ellers (K+S, 2023). Die stärker salzhaltigen Wässer erscheinen gelb/orange, die weniger salzhaltigen Wässer blau. Laut persönlicher Kommunikation am 17.10.2025 mit K+S findet kein Überlauf aus dem Brauchwasserteich in den Lützbach statt.....	66

Begriffsklärung

Aufsalzungsfaktor: Volumenvergrößerung, die das Wasser durch eine Auflösung von Salz erfährt. Bei maximaler Salzsättigung wird von einem Aufsalzungsfaktor von 1,11 ausgegangen (upi, 2020).

Haldenwasser: Wässer, die mit der Salzhalde in Berührung gekommen sind, dabei aufmineralisiert wurden und vor Eintritt ins Grundwasser gefasst werden. (Gegenstück zu: Restinfiltration)

Prozessraum: Betrachtungsraum, der im Vorhinein festgelegt wird, um die darin ablaufenden Prozesse möglichst isoliert zu beschreiben.

Restinfiltration: Wässer, die mit der Salzhalde in Berührung gekommen sind, dabei aufmineralisiert wurden und ins Grundwasser eintreten. (Gegenstück zu: Haldenwasser) – Wässer aus der Tiefendrainage gelten als „gefasste Restinfiltration“ und werden dem Haldenwassermanagement zugeführt.

Schwebender Grundwasserleiter: Grundwasserleiter, der sich durch den Aufstau von Sickerwasser oberhalb einer undurchlässigeren Schicht bildet, sodass der Bereich unterhalb der undurchlässigen Schicht ungesättigt bleibt. Die Strömung erfolgt schwerkraftbedingt.

Einleitung

Zielsetzung, Arbeitspakete und Bearbeitungshinweise

Im Rahmen des „Runden Tisches“ zum Thema „Reduzierung/Vermeidung von salzhaltigen Abwässern – sogenannte Haldenwässer – der Rückstandshalde des Werkes NeuhoF-Ellers der K+S Minerals and Agriculture GmbH“ wurde eine Bestandsanalyse der Rückstandshalde, parallel zur bereits laufenden wissenschaftlichen Begleitung, bei der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TUBAF) angefordert. Der Runde Tisch befasst sich mit der Fragestellung der zukünftigen Gestalt der zu einer bergbaulichen Unternehmung gehörenden Halde im Sinne einer nachhaltigen, ortsverträglichen und ökonomischen Bewirtschaftung sowie der Reduzierung der von der Halde ausgehenden Auswirkungen auf Menschen und Umwelt. Dazu wurde durch die Vertragspartner des Runden Tisches ein Eckpunktepapier abgestimmt, welches, neben den Vorgaben anderer umweltrechtlicher Richtlinien wie der FGG Weser, als bindend zur Zielerreichung bestimmt wurde.

Zielsetzung:

Im Rahmen des Auftrages sollte durch die Bestandsanalyse der Halde sowohl die wissenschaftliche Begleitung, als auch die Teilnehmenden in den Fachgruppen in die Möglichkeit versetzt werden, mit einem gewissen, hinreichend tiefgehenden Verständnis die grundlegende Ist-Situation und die hydro(geo)logischen Rahmenbedingungen der Halde NeuhoF zu bewerten. Durch die Fachgruppen selbst definierte vorgeschlagenen Maßnahmen an der Halde sollen dann im Anschluss mittels eines abgestimmten Kriterienkataloges in ihrer zu erwartenden Wirksamkeit für die Zielsetzungen, wie im Eckpunktepapier vereinbart, qualitativ bis semiquantitativ bewertet werden.

Die angeforderte Bestandsanalyse der Halde bestand aus folgenden **Arbeitspaketen (APs)**:

1. Empfang und Sichtung der übergebenen Unterlagen,
2. Sortierung der unter 1. genannten Unterlagen als notwendig und geeignet für das grundlegende Verständnis entsprechend der o.g. Zielsetzung, ggf. Nachforderung von fehlenden Unterlagen,
3. Erarbeitung einer hydro(geo)logischen und umweltauswirkungstechnischen, qualitativen Prozesslandkarte und Untergliederung in Prozessräume als Grundlage für die Einordnung der zur Verfügung gestellten Informationen und Daten,
4. Quantitative Beschreibung der Prozessräume insofern durch übergebene Daten und Informationen benannt und für die o.g. Zielsetzung erforderlich,
5. Herausarbeiten von potentiell bedeutsamen Wissenslücken und Benennung von Empfehlungen für die weiterführenden Untersuchungen zur wissenschaftlichen Stärkung der Prozesskenntnis am Standort, sofern diese die Auswahl grundsätzlich geeigneter Maßnahmen zur Erreichung der im Eckpunktepapier vereinbarten Zielsetzung unterstützen würde,
6. Begleitende Berichterstattung während der Sitzungen des Runden Tisches oder der begleitenden Fachgruppe „Bestandsanalyse“,
7. Zusammenfassung der Erkenntnisse in einem schriftlichen Bericht, zur Übergabe als pdf-Datei und gedruckt in zweifacher Ausfertigung.

Für AP1 wurden am 27.01.2025 Unterlagen bei K+S angefragt (siehe Anhang 1), wobei die Übergabe mittels gesicherter Cloudlösung vereinbart wurde. Im gleichen inhaltlichen Umfang wurden am 02.06.2025 Anfragen an das Hessische Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMUL) und die Gemeinde Neuhoof gestellt (siehe Anhang 2). Aus diesen Anfragen resultierten jedoch keine weiteren Unterlagenübermittlungen.

Die Sichtung und Sortierung (AP2) erfolgte fortwährend. Eine Liste der „als notwendig und geeignet für das grundlegende Verständnis [...]“ erachteten und als Grundlage für diesen Bericht verwendeten Unterlagen findet sich im Literaturverzeichnis.

Die APs 3, 4 und 5 lieferten die Verständnisgrundlage für diesen Bericht (AP7). Die Ergebnisse werden im Folgenden näher erläutert. Eine begleitende Berichterstattung (AP6) in der Fachgruppe „Bestandsanalyse“ fand in den Sitzungen am 27.02.2025, am 22.05.2025 und am 25.07.2025 statt. Während die Sitzungen der begleitenden Fachgruppe „Bestandsanalyse“ unter Ausschluss der Öffentlichkeit stattfanden, ist die Veröffentlichung dieses Berichtes der Entscheidung der Auftraggeber überlassen.

Hinweise zur Bearbeitung und Einordnung der Ergebnisse:

Es ist zu berücksichtigen, dass die primäre Aufgabe der Bestandsanalyse der Halde die Wissensvermittlung, der fachliche Austausch und die wissenschaftliche Grundlagenbildung ist. Dieser Bericht ist **nicht** als gutachterliche Arbeit mit Blick auf einzelne Teilaspekte der Gesamtbetrachtung oder der in Bezug zur allgemeinen Gesamtbetrachtung zu verstehen und beinhaltet keinerlei Planungsleistungen, Szenarien- und Zukunftsbetrachtungen. Es handelt sich um Betrachtungen zum Ist-Zustand, welche den generellen Unsicherheiten einer hydro(geo)logischen Studie unterliegen. Auch besteht die Aufgabenstellung keinesfalls in einer Plausibilisierung einzelner zur Verfügung gestellter und stehender Referenzen und Quellen über das allgemeine hydrogeologische Verständnis hinaus.

Aufgrund der Komplexität des Standortes kann im Rahmen dieses Berichts nicht vollumfänglich auf alle Einzelaspekte eingegangen werden. Auch kann nur auf Inhalte in der Bearbeitung Bezug genommen werden, welche in den zur Verfügung stehenden Unterlagen auch hinreichend beschrieben sind. Die hier dargestellten Inhalte sind zur Veranschaulichung von den Autoren ausgewählt worden. Zitate wurden gewählt, um einzelne Aspekte herauszustellen, sind jedoch stets im Kontext der jeweiligen Ursprungsdokumente zu sehen. Vereinzelt wurden Abbildungen von der wissenschaftlichen Begleitung zur Veranschaulichung bestimmter Aspekte ergänzt, was in der Quellenangabe durch ein „in Anlehnung an“ verdeutlicht wird (z.B. „in Anlehnung an K+S (2025a)“ anstatt „K+S (2025a)“).

Die Unsicherheiten der vorliegenden Ergebnisse werden im Kapitel „Wissenslücken“ angesprochen. Es ist nicht auszuschließen, dass im Rahmen der Füllung dieser identifizierten „Wissenslücken“ zu einem späteren Zeitpunkt, gewisse Annahmen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht hinfällig werden.

Genehmigungsrechtliche Ausgangslage

Fließgewässer

Die Salzbelastung in Werra und Weser führte in den 1950er und 1960er Jahren zu einer starken Verarmung der Flora und Fauna, bedingt durch unkontrollierte und übermäßige Salzwassereinleitung aus dem Kalibergbau. Erst seit den 1990er Jahren, als die Salzbelastung nach und nach zurückging, strukturiert sich das Ökosystem langsam neu. Die Oberweser und die Werra weisen jedoch weiterhin einen hohen Anteil an salztoleranten Arten auf, was auf die andauernde Salzbelastung zurückzuführen ist, die von der FGG Weser (2021a) in vier Stufen eingeteilt wurde (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Wertebereiche (90-Perzentilwerte) der Salzbelastung für Chlorid, Kalium und Magnesium und ihre biologische Bedeutung (in Anlehnung an FGG Weser, 2021a)

Stufe	Bezeichnung	Cl (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)
I	Natürliche Hintergrundwerte	≤75	≤5	≤20
II	Wertebereiche für Lebensbedingungen naturnaher Lebensgemeinschaften	75-300	5-20	20-30
III	Wertebereiche für Lebensgemeinschaften in denen sensible Arten bzw. bestimmte Komponenten der Lebensgemeinschaften fehlen	300-1000	20-80	30-100
IV	Wertebereiche für Lebensgemeinschaften in denen robustere Arten bzw. bestimmte Komponenten der Lebensgemeinschaften fehlen	1000-2500	80-150	100-180
V	Wertebereiche für durch Salzbelastung geprägte Lebensgemeinschaften	>2500	>150	>180

Die Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser, vormals ARGE Weser) beschäftigt sich bereits seit 1964 mit der Problematik der Salzbelastung im Einzugsgebiet der Weser. Die letzte Bestandsaufnahme wurde im „Detaillierten Bewirtschaftungsplan 2021 bis 2027“ (FGG Weser, 2021a), sowie im dazugehörigen „Maßnahmenprogramm“ (FGG Weser, 2021b) und „Detaillierten Maßnahmenprogramm“ (FGG Weser, 2021c) vorgelegt. Darüber hinaus finden sich Informationen zum aktuellen Stand im Anhörungsdokument „Die wichtigen Fragen der Gewässerbewirtschaftung in der Flussgebietseinheit Weser“ (FGG Weser, 2024a) sowie im „Statusbericht zum aktuellen Umsetzungsstand des Maßnahmenprogramms und zur aktuellen Gewässergüte bzgl. der Salzbelastung von Werra und Weser“ für das Berichtsjahr 2023 (FGG Weser, 2024b). In allen Dokumenten wird hierbei der Hauptschwerpunkt auf die bergbaufolgende Belastung der Werra gelegt, da diese seit Beginn der Erfassung deutlich stärker betroffen ist als die Fulda, der zweite Hauptzufluss der Weser. Dabei wurde in FGG Weser (2021a) ein Zielwertkonzept mit Blick auf die 90-Perzentile der Tagesmittelwerte – also der Wert, der an 90 % der Tage im Jahr unterschritten wird – für Chlorid, Kalium und Magnesium entwickelt, welche beispielhaft für Chlorid in Abbildung 1 aufgeführt sind.

Zur Veranschaulichung der Salzbelastung entlang Werra und Weser ist der schematische Verlauf der Salzbelastung in Abbildung 2 dargestellt, wobei die diffusen Einträge zwischen Meiningen und Vacha, sowie der punktuelle Eintrag zwischen Vacha und Gerstungen deutlich werden. An dieser Stelle muss allerdings angemerkt werden, dass die genaue Quantifizierung der Belastung durch die Abhängigkeit von der hydrologischen Dynamik im Einzugsgebiet deutlich komplexer ist, als in dieser Abbildung ersichtlich, was sich in der Zeitreihe der Tagesmittelwerte in Abbildung 3 widerspiegelt.

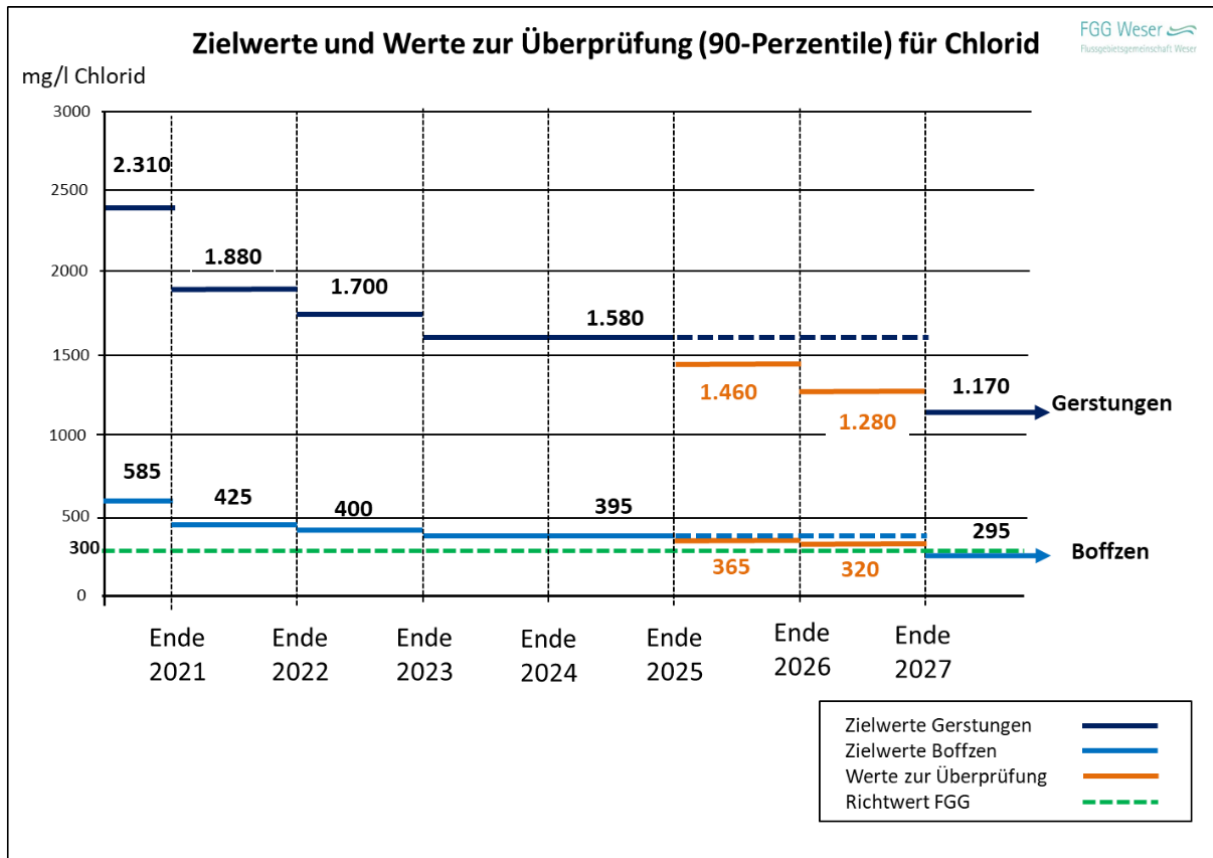


Abbildung 1: Chlorid-Zielwerte (90-Perzentile) für die Pegel Gerstungen und Boffzen (FGG Weser, 2024b)

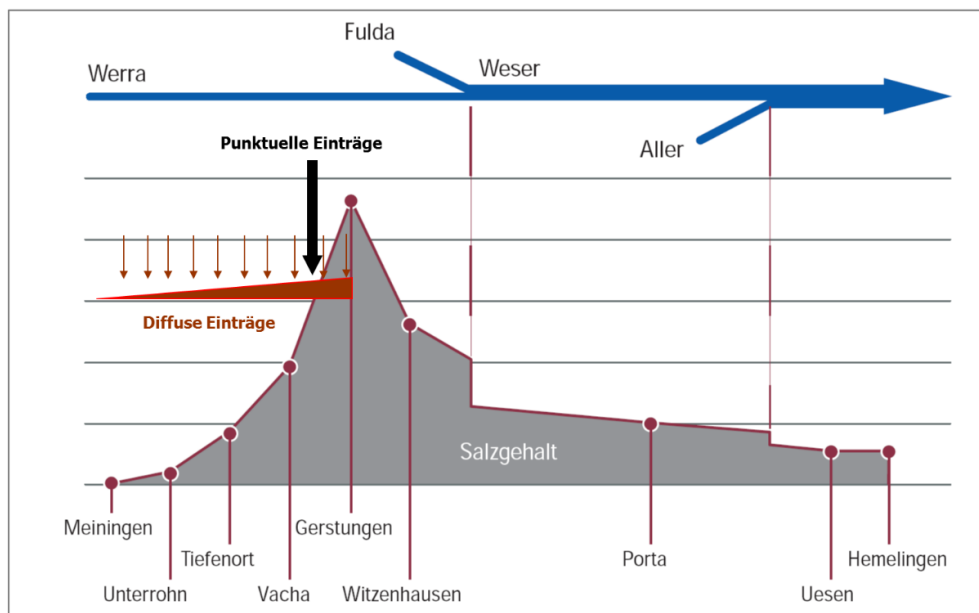


Abbildung 2: Schematischer Verlauf der Salzbelastung entlang der Werra und Weser (FGG Weser, 2021a)

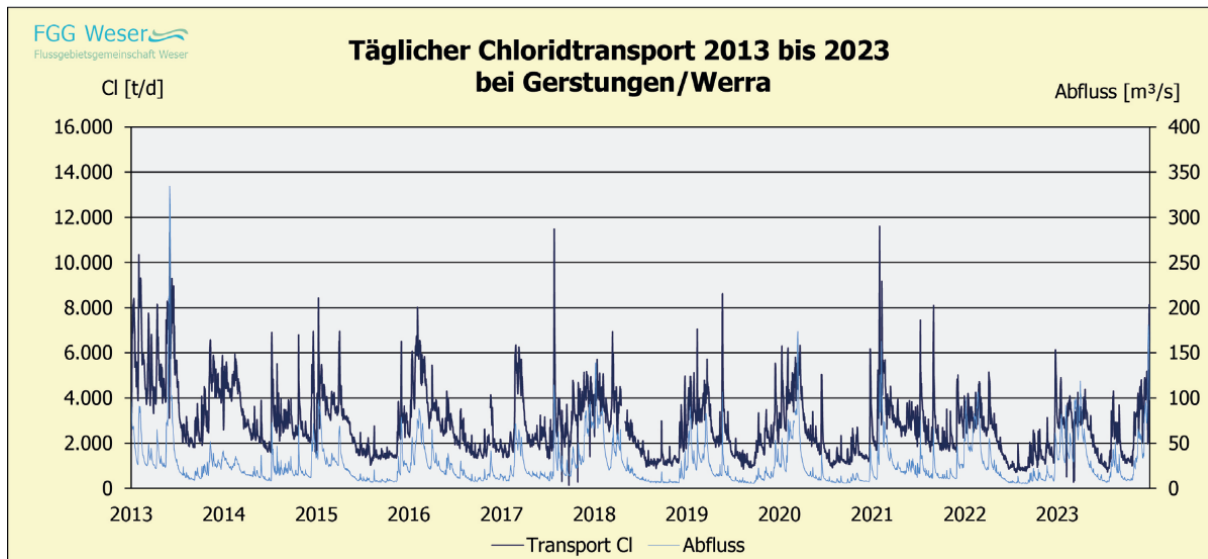


Abbildung 3: Zeitreihe der Tagesmittelwerte für Chlorid am Pegel Gerstungen zwischen 2013 und 2023 (FGG Weser, 2024b)

Laut FGG Weser (2024b) ergibt sich im Jahr 2023 ein 90-Perzentil für Chlorid von 1479 mg/l (Belastungsstufe IV; Zielwert 2023: 1700 mg/l) für Magnesium von 218 mg/l (Belastungsstufe V; Zielwert 2023: 225 mg/l) und für Kalium von 121 mg/l (Belastungsstufe IV; Zielwert 2023: 150 mg/l). Die Tagesmittelwerte am Pegel Gerstungen lagen also im Rahmen der festgelegten Zielwerte.

Am Pegel Boffzen (Oberweser) wurden im selben Zeitraum 90-Perzentile von 335 mg/l Chlorid (Zielwert: 400 mg/l), 63 mg/l Chlorid (Zielwert: 58 mg/l) und 35 mg/l (Zielwert: 38 mg/l) erfasst. Allerdings gilt es zu erwähnen, dass es im Zeitraum von Mitte April bis Mitte Oktober zu einem Pumpenausfall kam, was zu einer größeren Datenlücke führte (FGG Weser, 2024b).

Die oben genannten Zielwerte betreffen aufgrund der aktiven Überleitung von ca. 0,8 – 1,1 Mio. m³/a (K+S, 2022) salzhaltiger Produktionsabwässer seit dem Jahr 2012 zur Einleitstelle in die Werra bei Philippsthal (unterhalb von Vacha) auch den Standort Neuhof-Ellers. In die Fliede, den Vorfluter des Gebietes um Neuhof-Ellers, deren Wasser über die Fulda erst stromabwärts von Gerstungen mit der Werra zusammenfließt, dürfen jährlich ca. 100.000 m³ Produktionswässer eingeleitet werden. Die Einleitung in die Fliede erfolgt abflussabhängig (K+S, 2022).

Grundwasser

Für das Grundwasser wird laut GrwV (2017) ein nationaler Schwellenwert für Chlorid von 250 mg/l festgelegt. Für das Werra-Kaligebiet wurden allerdings aufgrund der erhöhten natürlichen Hintergrundwerte gesonderte Kriterien entwickelt, um eine „anthropogene Belastung“ zu erkennen (FGG Weser, 2021a):

- „Unterschreitung des Ionenverhältnisses von $\text{Ca/Mg} \leq 1:0,61$ (aus mg/l berechnet) und gleichzeitig der Magnesiumwerte > 50 mg/l, zeigt eine direkte Einmischung von Versenkabwässern in den Grundwasserkörper an,
- ansteigende Trends der Ionen Kalium, Magnesium, Sulfat und Chlorid ab Konzentrationen von Kalium > 9 mg/l, Magnesium $> 37,5$ mg/l, Sulfat > 180 mg/l und Chlorid $> 187,5$ mg/l.“

In Abbildung 4 ist die Belastung der Grundwasserkörper im Einzugsgebiet der Weser dargestellt. Auch das Gebiet um Neuhoof-Ellers, südlich von Fulda, wird als salzbelastet ausgewiesen. Diese Salzbelastung wird auch durch BfG (2025) festgehalten, wobei Chlorid als einziger Stoff mit Überschreitung der Anlage 2 der GrwV genannt und die Erreichung eines „guten chemischen Zustands“ nach Wasserrahmenrichtlinie erst „nach 2027“ in Aussicht gestellt wird.

Für die Begrenzung der Gewässerbelastung wurde in FGG Weser (2021b) festgelegt, dass als grundlegende Maßnahmen „neben den Grundsätzen von Artikel 10 EG-WRRL (kombinierter Ansatz für Punktquellen und diffuse Quellen) und 16 EG-WRRL (Strategien gegen die Wasserverschmutzung) auch stoffspezifische Genehmigungen und/oder Begrenzungen notwendig [sind], die regelmäßig überprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden müssen“. Maßnahmen zur Reduzierung der Salzbelastung von Werra und Weser wurden im detaillierten Maßnahmenprogramm Salz 2021 bis 2027 (FGG Weser, 2021c) und detaillierte Zielwerte im detaillierten Bewirtschaftungsplan 2021 bis 2027 (FGG Weser, 2021a) dargestellt.

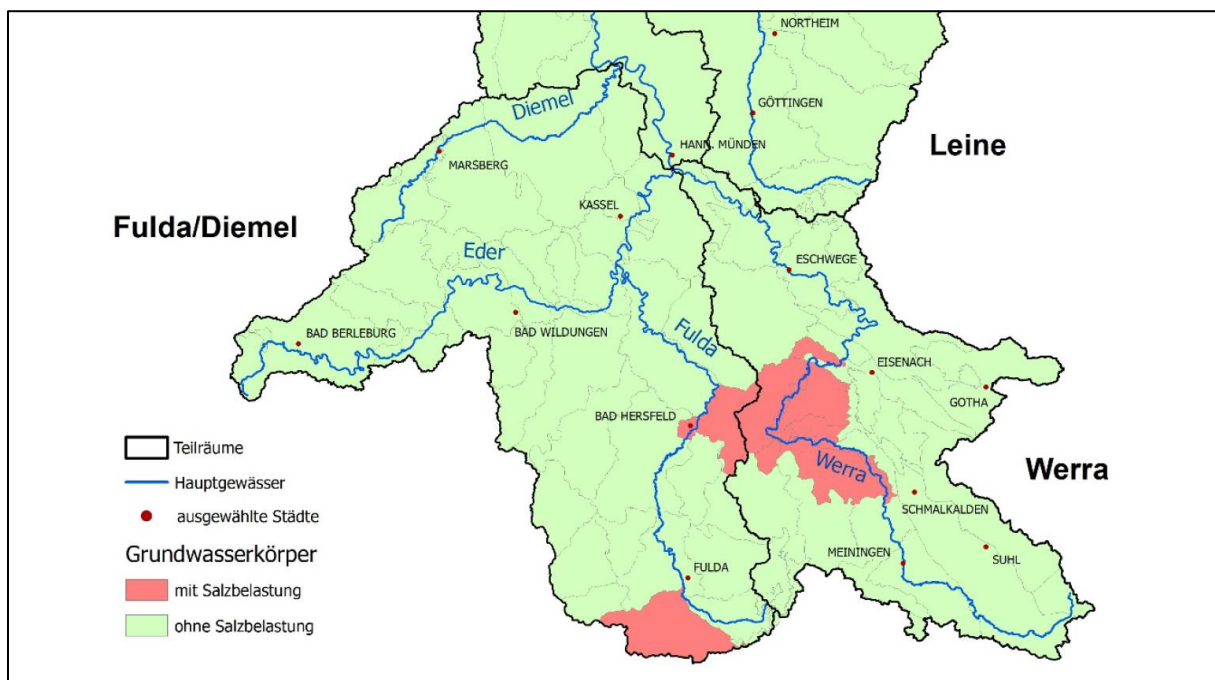


Abbildung 4: Salzbelastung im Grundwasser des Wesereinzugsgebietes (FGG Weser, 2021a).

In FGG Weser (2021a) wird beschrieben, dass die Werra (in welche das gefasste Haldenwasser entsorgt wird) jährlich ca. 1,0 Mio. t Chlorid in die Weser einträgt, während der Anteil der Fulda (der Vorfluter des Gebietes um Neuhof-Ellers) lediglich 0,07 Mio. t Chlorid beträgt. Deshalb liegt der Hauptschwerpunkt der Reduktionsziele von FGG Weser (2021a) auf der Salzbelastung der Werra und damit auch auf der Reduktion gefasster Haldenwässer in Neuhof. Hierbei wird aufgrund der höheren Effizienz bei der Reduzierung salzhaltiger Sickerwässer eine Abdeckung mit Boden und Bauschutt („Dickschichtabdeckung“) anstelle des noch in FGG Weser (2016) genannten „Innovativen Erosionsschutzes“ bevorzugt.

Das Konzept des „Innovativen Erosionsschutzes“ basierte auf einer Nutzung des erhöhten Tongehaltes am Standort Neuhof im Rückstandssalz zur Versiegelung der Abraumhalde, indem die Erosion dieses Tons verhindert werden sollte (FGG Weser, 2016). Allerdings trat bei den Untersuchungen aufgrund der Abdichtung eine Sammlung von Niederschlägen in eng begrenzten Bereichen auf, was einerseits zu einer langsameren Verdunstung und andererseits zu einem nicht erwünschten, teilweisen Abfließen über die Böschung führte (upi, 2021). Auf die geplante Dickschichtabdeckung wird in einer Scoping-Vorlage (K+S, 2022) näher eingegangen.

In FGG Weser (2021c) wird auch die grundsätzliche Möglichkeit eines Einstapelns von Produktionsabwässern (auch aus dem Kaliwerk Werra) in das Bergwerk Neuhof-Ellers betrachtet. Allerdings wurde dieser Ansatz mit Verweis auf den Transport zum Bergwerk und die fehlende Infrastruktur in Neuhof verworfen. Darüber hinaus wird auf einen Mangel an Kapazität in der Grube Neuhof-Ellers verwiesen, die „ohne Einschränkungen der dortigen Gewinnungstätigkeiten und dem damit einhergehenden Lagerstättenverlust gegenwärtig auf wenige Jahre beschränkt“ wäre (FGG Weser 2021c S. 9).

Am Werk Neuhof-Ellers wurde die Versenkung von salzhaltigen Wässern in den Plattendolomit bereits im Jahre 2008 eingestellt (K+S, 2018). Die Einstellung der Versenkung in tiefere Schichten im Werk Werra wurde schon im detaillierten Maßnahmenprogramm 2015-2021 (FGG Weser, 2016) als wesentliche Maßnahme zur Reduktion der Grundwasserbelastung und diffusen Einträge in die Oberflächengewässer genannt und bis 2021 abgeschlossen. Laut FGG Weser (2024b) wurde diese Versenkung zum 01.01.2022 eingestellt.

Prozesslandkarte

Um die Prozesse an der Halde zu veranschaulichen, wurde die in Abbildung 5 dargestellte Prozesslandkarte entwickelt, welche insgesamt vier Prozessräume ausweist. Während im Prozessraum 1 die Wirkung hydrologischer und meteorologischer Randbedingungen auf die Halde verortet wird, ist der Prozessraum 2 auf die Lösungs- und Transportprozesse innerhalb der Halde konzentriert. Im Prozessraum 3 wird die Wechselwirkung nicht gefasster Sickerwässer aus der Halde mit dem Grundwasser und den Oberflächenwässern der näheren Umgebung betrachtet. Der Verbleib der gefassten Haldenwässer wird im Prozessraum 4 behandelt.

Aufgrund der Datenlage kann der Prozessraum 1 in diesem Bericht nur eingeschränkt bewertet werden. Des Weiteren wurde, auch zur Berücksichtigung von Anfragen aus der begleitenden Fachgruppe zur Bestandsanalyse, der Schwerpunkt in diesem Bericht auf die Prozessräume 2 und 3 gelegt, wobei insbesondere die Haldenwasserbilanz wesentlich durch die in Prozessraum 1 stattfindenden Eintragungsprozesse beeinflusst sind. Zum Prozessraum 4 gibt es über die angesprochenen Inhalte hinaus zusätzlich verschiedene Aspekte, die allerdings aufgrund der größtenteils verwaltungsrechtlichen Bezüge außerhalb des Fokus dieser Studie verortet werden und damit in diesem Bericht keine Berücksichtigung finden.

Prozesslandkarte

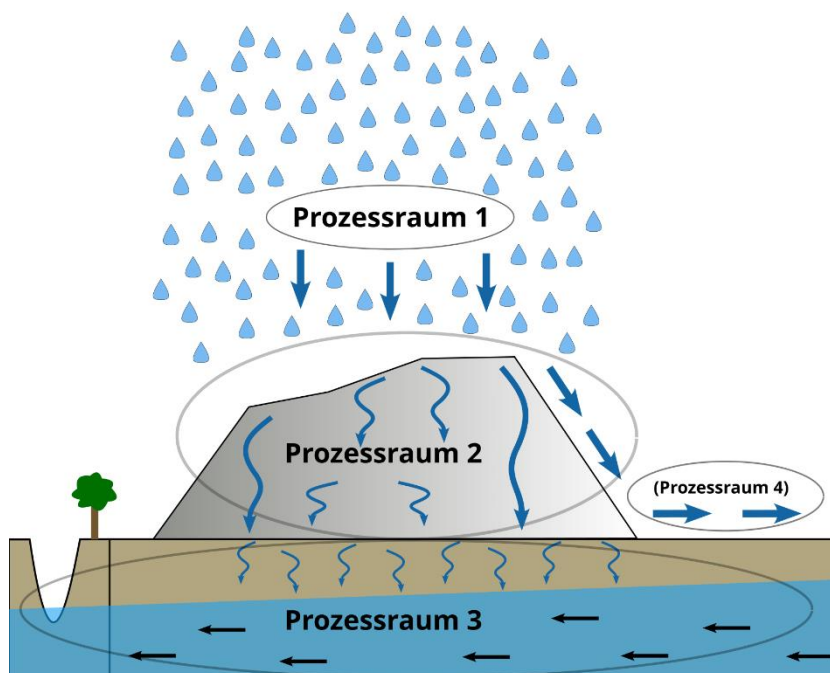


Abbildung 5: Prozesslandkarte mit den vier identifizierten Prozessräumen.

Historie

Das Kaliwerk in NeuhoF-Ellers existiert seit Beginn des 20. Jahrhunderts, mit Unterbrechung zwischen 1926 und 1953 (kpluss.com, 2025). Aktuell werden pro Jahr ca. 3-4 Mio. t Rohsalz gefördert, von denen Kieserit und Sylvinit verwertet werden (ca. 30 Gewichts-%). Ungefähr 2,0-2,6 Mio. t pro Jahr werden als Rückstand auf die Halde verbracht (upi, 2020), wobei der Anteil an freiem Wasser ca. 7 % beträgt,

welches sich nach Aufhaldung der Schwerkraft folgend durch die Halde bewegt. Im Laufe der Zeit wurden insgesamt ca. 125 Mio. t Rückstand (kpluss.com, 2025) auf die Halde aufgebracht, wobei die Zusammensetzung aufgrund anderer Aufbereitungsverfahren in früheren Jahren variierte (upi, 2020). Die ungefähre Zusammensetzung des Rohsalzes und des aktuell aufgebrauchten Rückstands findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Ungefähre Zusammensetzung des Rückstandes (K+S, 2025a)

	Rohsalz (Gewichts-%) (TABERG, 2000)	Rückstandssalz (Gewichts-%) (K+S, 2025a)
Sylvin (KCl)	ca. 17 %	1 – 2 %
Halit (NaCl)	ca. 54 %	77 – 80 %
Kieserit ($MgSO_4 \cdot H_2O$)	ca. 21 %	4 – 6 %
Langbeinit ($K_2Mg_2[SO_4]_3$)	k.A.	1 – 2 %
Anhydrit ($CaSO_4$)	k.A.	1 %
H ₂ O-unlöslich (v.a. Tonminerale)	ca. 8 %	1 – 2 %
freies und ungebundenes H ₂ O	k.A.	6 – 7 %

In Abbildung 6 ist die ungefähre Entwicklung der Haldenaufstandsfläche nachgezeichnet. In der Zeit vor 1981 wurde laut upi (2020) keine Untergrundvergütung vorgenommen. Zwischen 1981 und 2003 wurden Teilvergütungen vorgenommen und der Bereich des Alte Wiese Tals mit zusätzlichen Drainagen versehen. Seit 2003 wird die Haldenaufstandsfläche zusätzlich vergütet. Nähere Details zu den Eigenschaften der Haldenaufstandsfläche finden sich im Kapitel zu Prozessraum 2.

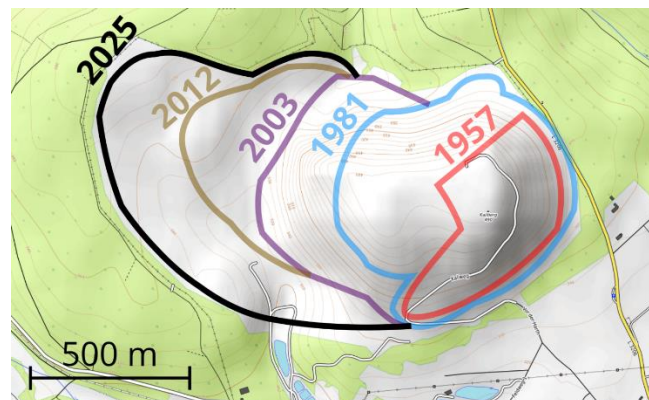
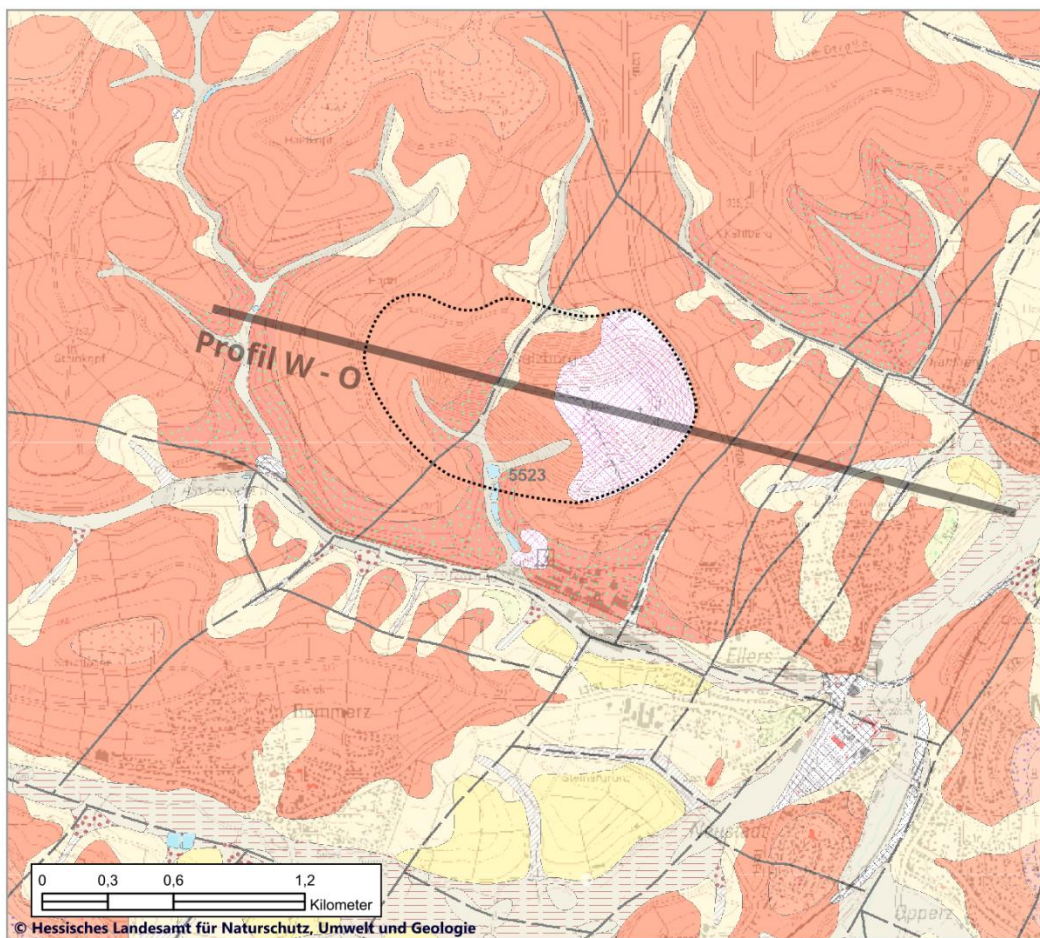


Abbildung 6: Rekonstruierte ungefähre Entwicklung der Haldenaufstandsfläche (eigene Darstellung nach Angaben aus K+S 2025b und Quellen darin, upi 2020, HGN 2024)

Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes

Wie in Abbildung 7 dargestellt, ist der Bereich um die Halde NeuhoF-Ellers oberflächennah durch Sedimentgestein des mittleren Buntsandsteins geprägt, insbesondere durch die Volpriehausen-Wechselfolge und den Volpriehausen-Sandstein, welche beide Teile des mittleren Buntsandsteins darstellen. Diese überlagern den ca. 200 m mächtigen unteren Buntsandstein. Aus den hieran anschließenden Zechsteinfolgen im Liegenden (ca. 500 m u. GOK) werden die Edelsalze gewonnen (K+S, 2025a).

Geologie im Bereich der Halde NeuhoF-Ellers



Legende


- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Volpriehausen Wechselfolge |  Nebentalablagerungen |
|  Volpriehausen Sandstein |  Haldenkörper (ca. 1980) |
|  Löss |  Grenze Haldenkörper (2025) |
|  Lösslehm |  Störung (bestätigt) |
|  Auenlehm |  Störung (vermutet) |

Abbildung 7: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (in Anlehnung an HLNUG, 2025) und Lage des schematischen Profils in Abbildung 8.

Das gesamte Gebiet ist intensiv bruchtektonisch überprägt, mit Störungen in rheinischer (NNE/SSW) und herzynischer Richtung (WNW/ESE). Diese Störungen führen zu präferentiellen Wasserwegsamkeiten, sowohl in horizontaler wie auch in vertikaler Richtung. Großräumig kommunizieren diese Störungen hydraulisch miteinander, auf kleinerer Skala können sich allerdings einzelne, isolierte Grundwasserstockwerke ausbilden (Fritsche, 2016).

Im größeren Maßstab finden sich darüber hinaus ähnlich verlaufende tektonische Gräben, die teilweise Versatzbeträge von mehreren hundert Metern zum umliegenden Buntsandstein aufweisen. Nächstgelegen ist der „Fuldaer Graben“, der sich ca. 10 km nordöstlich an die Halde anschließt.

Abbildung 8 zeigt ein schematisches geologisches Profil entlang der in Abbildung 7 dargestellten Profillinie. Hier wird deutlich, dass vor allem zwei Einheiten des mittleren Buntsandsteins von Relevanz sind: Der Volpriehausen-Sandstein tritt nur entlang der tiefer eingeschnittenen Bachtäler zutage, unterhalb der Halde nur entlang des Alte Wiese-Tals. Ansonsten wird die Halde von der Volpriehausen Wechselfolge unterlagert, die sich aus einer Reihe von tonig bis mittelsandigen Sedimentschichten aufbaut. Es ist davon auszugehen, dass diese Wechsellagerung zu einer höheren Anisotropie führt, d.h. zu einer deutlich erhöhten horizontalen im Vergleich zur vertikalen hydraulischen Leitfähigkeit. Dies kann einerseits zur Ausbildung von schwebenden Grundwasserleitern, andererseits zu einer bevorzugt horizontalen Grundwasserfließrichtung auch im gesättigten Bereich führen.

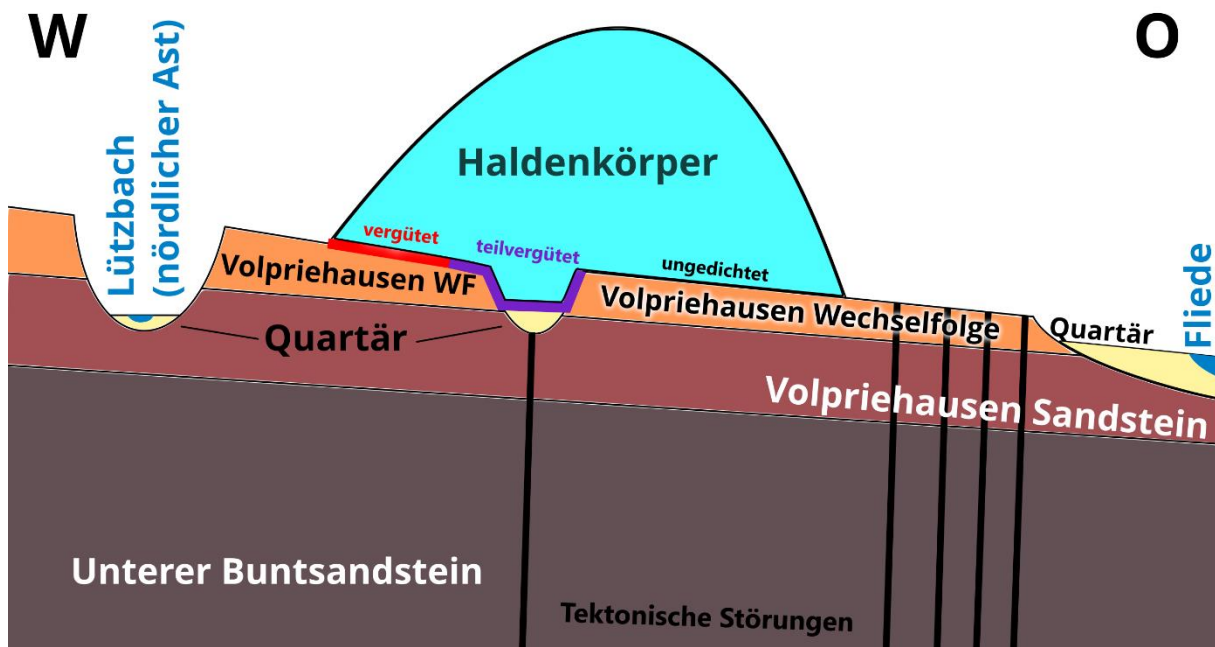


Abbildung 8: Stark vereinfachtes geologisches West-Ost-Profil durch das Gebiet der Halde (Lage des Profils in Abbildung 7).

Für das konzeptionelle Modell eines Gutachtens zur Festsetzung des Wasserschutzgebietes für einen Brunnen in Dorfborn (ca. 2,5 km nordöstlich der Halde) setzte Fritsche (2016) voraus, dass der Volpriehausen-Sandstein „durch entwässerbaren Porenraum bereits eine merkliche primäre Gesteinsdurchlässigkeit“ aufweist, während die Grundwasserbewegung im Unterer Buntsandstein

fast ausschließlich „auf Schichtfugen und Klüfte beschränkt“ ist. Während der Volpriehausen Sandstein also insbesondere in Störungsnähe hydraulische Durchlässigkeiten von $10^{-4} - 10^{-5}$ m/s aufweisen kann, sinkt die hydraulische Leitfähigkeit im Zentralbereich der Blockschollen auf ca. 10^{-7} m/s ab. Daraus ergibt sich, dass die Grundwasserbewegung tendenziell der Orientierung der Klüfte folgt, im unteren Buntsandstein noch stärker als im Volpriehausen-Sandstein (Fritsche, 2016 S.12).

Dies gilt insbesondere für das Lützbachtal und das Alte Wiese-Tal; letzteres wurde im Laufe der Aufhaldung überschüttet. In der Scoping-Vorlage (K+S, 2022) wird von einem hydraulischen Kontakt zwischen dem Volpriehausen-Sandstein und den quartären Füllungen dieser Täler gesprochen, die „überwiegend gut wasserwegsam [sind] und [...] als Porengrundwasserleiter [fungieren]. Die ursprüngliche Morphologie, die vor der teilweisen Überschüttung des Alte Wiese Tals bestand, ist sehr wahrscheinlich der Grund dafür, dass das Alte Wiese Tal unter der Halde auch heute noch den bevorzugten Fließweg in Richtung Lützbach darstellt.“ (K+S, 2022 S.98).

Das konzeptionelle Modell von Fritsche (2016) wurde zwar vor allem mit Blick auf horizontale Grundwasserbewegung zur Schutzzonenausweisung entwickelt, doch lässt sich dieses Verständnis auch auf die vertikale Grundwasserbewegung übertragen, demzufolge eine Versickerung von ungedämmten Haldenwässern sich zwar im Volpriehausen-Sandstein flächig vollziehen kann, der Übertritt in den unteren Buntsandstein allerdings bevorzugt entlang von Klüften verlaufen würde. Außerdem geht Fritsche (2016) im Einzugsgebiet von einer lediglich „mittleren“ Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung aus, sofern die Lößlehmdecke fehlt.

Prozessraum 1

Haldenwasseranfall

Für den Haldenwasseranfall wurde von upi (2020) eine einfache Bilanzgleichung aufgestellt:

$$HWA = (N - E) * F_{Aufsalz} * A + WG_{frei} - RI_{ng} + RI_g$$

HWA = Haldenwasseranfall (L^3/T)

E = Evaporationsrate (L/T)

RI_g = (durch Tiefendrainage) gefasste Restinfiltration

WG_{frei} = Freier Wasseranteil im jährlich aufgebrauchten Rückstandssalz (L^3/T)

N = Niederschlag (L/T)

$F_{Aufsalz}$ = Aufsalzungsfaktor (=1,11)

RI_{ng} = nicht gefasste Restinfiltration (L^3/T)

A = Haldenaufstandsfläche (L^2)

Hierbei wird die temporäre Speicherung von Wasser im Haldenkörper nicht berücksichtigt. Grundsätzlich bietet die vorhandene Porosität, insbesondere im Mantelbereich der Halde (siehe Prozessraum 2), das Potenzial für eine Speicherung und damit für eine zeitliche Wirkungsverzögerung von Teilen des Niederschlags.

Für die Bestandsanalyse sind in dieser Betrachtung vor allem die Restinfiltration und der Haldenwasseranfall selbst von Interesse. Beide gemeinsam stellen das mit Salz aufgesättigte Wasser dar, das kontrolliert oder unkontrolliert abfließt:

$$HWA + RI_{ng} = (N - E) * F_{Aufsalz} * A + WG_{frei} + RI_g$$

Im Kapitel zum Prozessraum 2 wird näher auf den Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen eingegangen. Da allerdings nur der Haldenwasseranfall konkret bestimmt werden kann – die Restinfiltration muss abgeschätzt werden – wird im Rahmen dieses Prozessraums ausschließlich der Haldenwasseranteil betrachtet.

Vernachlässigt man die (kurzfristig) unveränderbaren Faktoren Aufstandsfläche und Aufsalzungsfaktor, so bleiben in der oben dargestellten Formel vor allem der freie Wasseranteil im Rückstandssalz, der Niederschlag und die Evaporation als relevante, variable Einflussgrößen auf Haldenwasseranfall und Restinfiltration. Diese Bilanzglieder und die Möglichkeit ihrer Bestimmung werden in der Folge betrachtet.

Zusätzlich zu den oben benannten Bilanztermen benennt Krupp (2025) die Deliqueszenz als weiteren relevanten Term, welche im Rahmen dieses Berichtes gemeinsam mit der Evaporation diskutiert wird.

Freier Wasseranteil im Rückstandssalz

Wie in Tabelle 2 dargestellt, liegt der freie Wasseranteil im Rückstandssalz bei ca. 6-7 % upi (2020) ging von ca. 7 % aus und erstellte eine Zeitreihe des jährlich aufgebrauchten Rückstands und der damit verbundenen Wassermenge (siehe Abbildung 9). Diese Zeitreihe verdeutlicht, dass die aufgebrauchten Wassermengen, abgesehen von einzelnen Ausnahmen, in den letzten Jahren zumeist zwischen 160.000 und 210.000 m³ lagen (im Durchschnitt: 180.000 m³/a).

Dieses Bilanzglied lässt sich aufgrund der guten Dokumentation ausreichend genau bestimmen und sowohl ein durchschnittlicher Wassereintrag als auch eine Schwankungsbreite erschließen, die im Kapitel „Abschätzung der Restinfiltration anhand des Wasserhaushalts der Halde“ übernommen werden. Diese Schwankungsbreite stellt eine jährliche Variation dar.

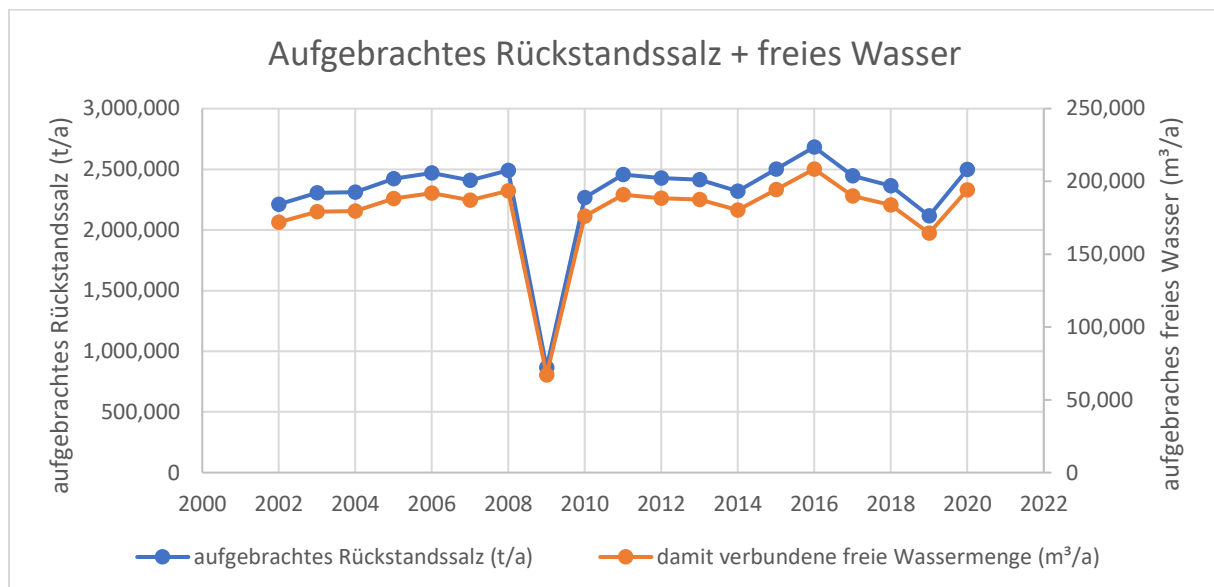


Abbildung 9: Aufgebrachtes Rückstandssalz und damit verbundenes freies Wasser (7 %) (eigene Darstellung nach Daten aus upi, 2020)

Niederschlag

Die Genauigkeit der Bestimmung der Jahresniederschlagshöhen hat einen direkten Einfluss auf die Prognose des Haldenwasseranfalls und der Restinfiltration. So bedeutet jeder zusätzliche Millimeter Jahresniederschlag eine Zusatzmenge von ca. 1050 m³/a aufmineralisiertem Wasser, abzüglich der im nächsten Kapitel angesprochenen Evaporation.

Niederschlagsmessungen wurden seit 2008 von K+S mithilfe einer Messstation durchgeführt, die ca. 200 m südöstlich der Halde liegt. Darüber hinaus wird seit 2019 eine Messstation als Teil der Lysimeteranlage auf der Halde betrieben. Die Daten aus der Lysimeteranlage standen zur Erstellung der Haldenwasserbilanz (upi, 2020) allerdings noch nicht zur Verfügung, weshalb sich die Auswertung dort auf die Messreihe vom Haldenfuß beschränkte. Hier wird ein Zusammenhang zwischen der Niederschlagsmenge und der anfallenden Haldenwassermenge beschrieben (K+S, 2025a; upi, 2020). Dieser Zusammenhang lässt sich an einzelnen Spitzen auch im Jahresgang für 2024 sehen (siehe Abbildung 10). Jahresübergreifend ist der Effekt weniger deutlich (siehe Abbildung 11). Dies kann u.a. in Speichereffekten innerhalb der Halde begründet liegen, welche Anteile des Niederschlagswasser verzögert abgibt.

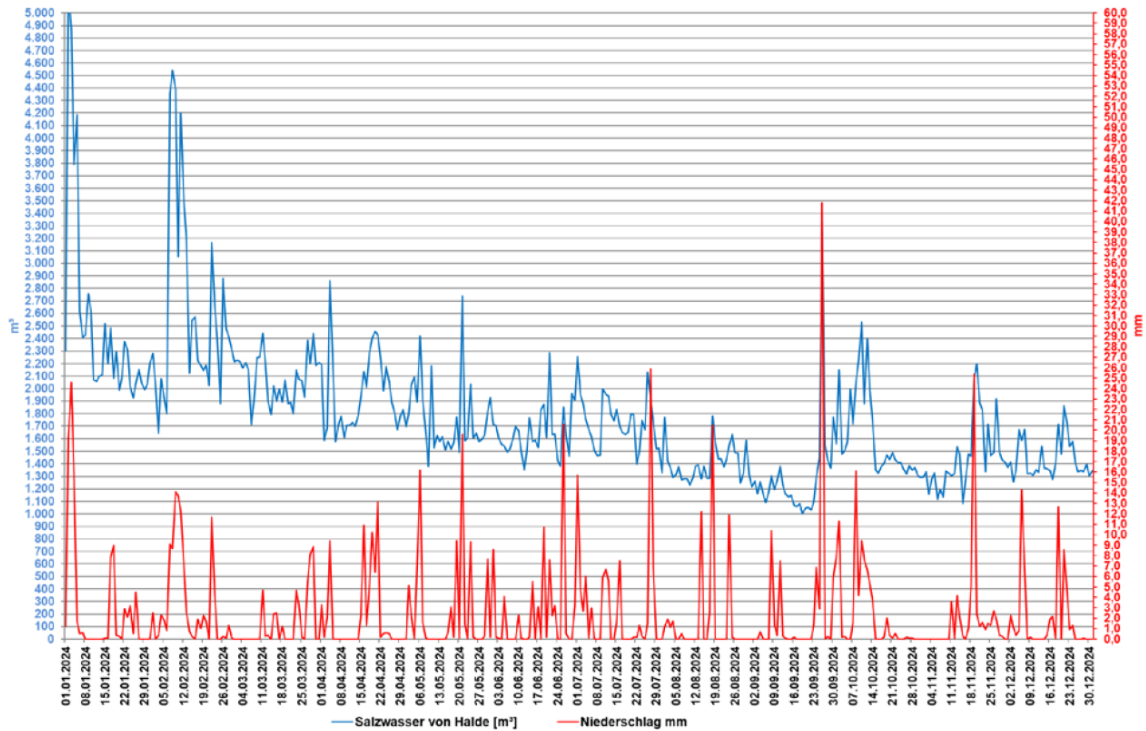


Abbildung 10: Haldenwasseranfall (blau) und gemessener Niederschlag auf der Halde (rot) (K+S, 2025a)

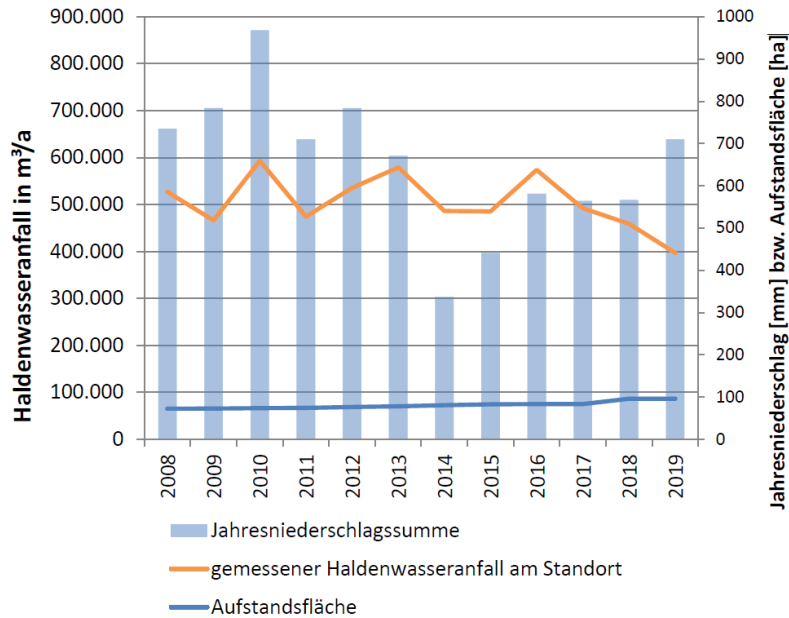


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Niederschlagsmenge und Haldenwasseranfall (upi, 2020)

Mit Blick auf Abbildung 11 fallen insbesondere die Jahre 2014 und 2015 auf, in denen laut upi (2020) trotz geringer Niederschläge der Haldenwasseranfall keinen größeren Schwankungen zu unterliegen schien. Dies könnte auf die bereits angesprochenen Speichereffekte im Haldenkörper zurückzuführen sein. Alternativ sind auch Ungenauigkeiten und Untererfassungen in der Niederschlagsbestimmung in diesem Zeitraum denkbar, da die Messungen der K+S Wetterstation am Haldenfuß in NeuhoF

ungewöhnlich niedrige Jahresniederschlagswerte erfassten (360 mm und 430 mm). Diese Werte stellen einen starken Kontrast zum Zeitraum davor und danach dar, welche sogar den gemessenen Niederschlag im deutschlandweiten „Dürrejahr“ 2018 (580 mm) bei Weitem unterschreiten.

Es gilt festzustellen, dass eine zuverlässige Bestimmung der Niederschlagshöhe essentiell für die Berechnung der Haldenwasserbilanz ist. Die Zuverlässigkeit dieser Bestimmung wurde in den letzten Jahren mit der zusätzlichen Wetterstation auf der Halde im Jahre 2019 deutlich verbessert. Darüber hinaus werden die Jahressummenkurven der eigenen Wetterstationen von K+S seit 2017 regelmäßig mit den Wetterstationen Fulda (DWD-Nummer: 1526) und Bad Hersfeld (DWD-Nummer: 2171) verglichen. Hierbei ist festzustellen, dass die Jahressummenkurven der verschiedenen Messstationen in den letzten Jahren stets einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen (siehe Anhang 3), was eine hohe Zuverlässigkeit der Niederschlagsmessungen von K+S in diesem Zeitraum nahelegt.

Für den Zeitraum davor ist eine ähnliche Prüfung aufgrund der Datenlage mit größeren Unsicherheiten behaftet. Die Jahressummenkurven für die beiden laut upi (2020) ungewöhnlich trockenen Jahre 2014 und 2015 wurden von der wissenschaftlichen Begleitung anhand von Rohdaten (K+S, 2025b; DWD, 2025) erstellt und sind in Abbildung 12 und Abbildung 13, allerdings aufgrund der Datenlage mit weniger Vergleichsstationen, aufgeführt. In 2014 verläuft die Kurve der K+S-Messstation an der Halde im Vergleich zu den benachbarten DWD-Wetterstationen ab Ende Mai ungewöhnlich flach, was eine systematische Unterschätzung der Niederschlagsmenge in diesem Zeitraum vermuten lässt. Im Jahr 2015 verlaufen die Kurven ähnlicher, was die Werte für diesen Zeitraum zuverlässiger erscheinen lässt.

Es ist nicht Aufgabe dieses Berichtes, eine abschließende Bewertung der Niederschlagsmessungen im Bereich der Halde vorzunehmen. Allerdings legen die vorliegenden Daten den Schluss nahe, dass die Genauigkeit der Messungen einzelner Jahre vor 2019 deutlich hinter den neueren Messungen zurückbleibt, wobei insbesondere die zusätzliche Wetterstation auf der Halde die Datensituation deutlich verbesserte.

Mittelt man die Messungen aus allen Jahren seit 2020 an Haldentop und Haldenfuß, so ergibt sich eine durchschnittliche Niederschlagsmenge von 767 mm/a. Diese liegt ca. 100 mm höher als die von upi (2020) veranschlagte Durchschnittsmenge von 670 mm/a, was insbesondere auf die Vernachlässigung der (laut Messungen) trockeneren Jahre vor 2020 (inkl. der Unterschätzung im Jahr 2014) zurückzuführen ist.

Die Bestimmung einer „mittleren Jahresniederschlagshöhe“ zur Einbeziehung in die Haldenbilanzgleichung ist also mit größeren Unsicherheiten verbunden. In der Vergangenheit ging beispielsweise Björnsen (1988) für die Jahre 1961-1987 von einer durchschnittlichen Niederschlagshöhe von 732 mm/a aus, was allerdings aufgrund der sich verändernden Klimaverhältnisse kaum auf die aktuelle Situation übertragbar scheint.

Aufgrund dieser Unsicherheiten kann zum jetzigen Zeitpunkt eine „durchschnittliche“ Jahresniederschlagshöhe nicht sicher bestimmt werden, zumal zukünftige Prognosen auch Effekte aus sich verändernden klimatischen Bedingungen berücksichtigen müssten. Stattdessen wird im Kapitel „Abschätzung der Restinfiltration anhand des Wasserhaushalts der Halde“ die von upi (2020) angesetzten 670 mm/a und die seit 2020 gemessenen 767 mm/a als potentielle Begrenzung einer Schwankungsbreite angenommen, was einer Wassermenge von 700.000 – 800.000 m³/a entspricht. Diese Schwankungsbreite ist in Unsicherheiten bei der Bestimmung begründet.

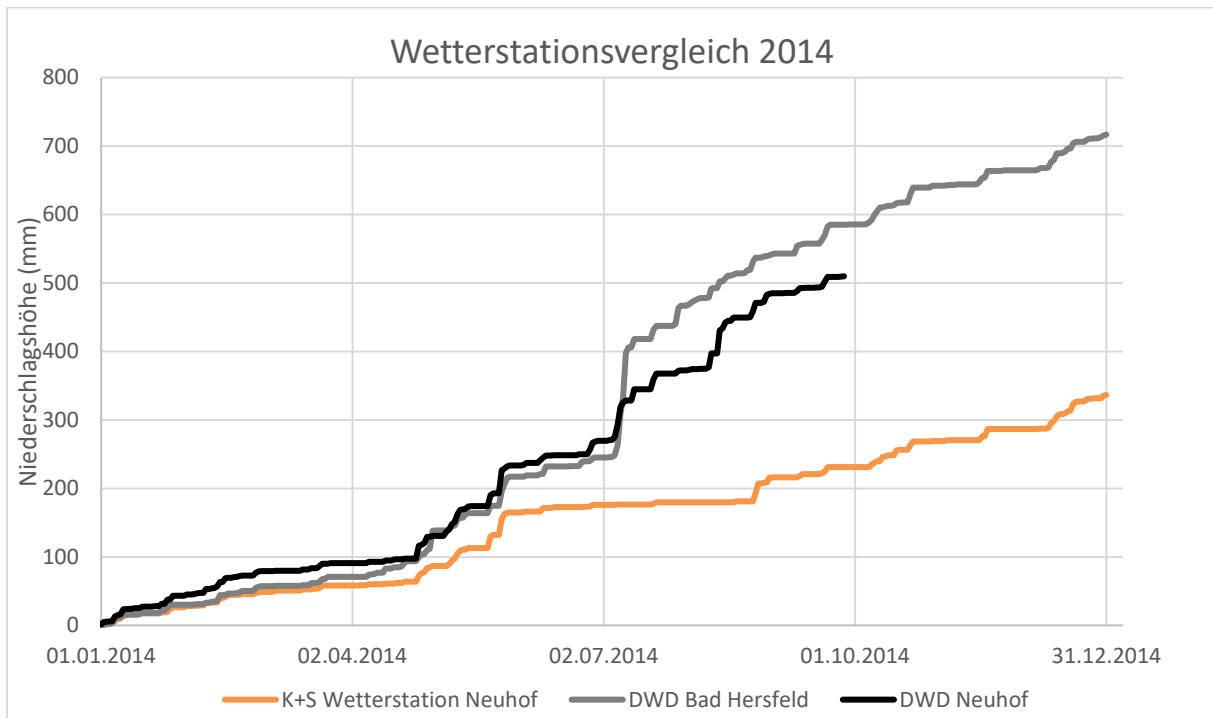


Abbildung 12: Wetterstationsvergleich im Jahr 2014 für die von K+S betriebene Wetterstation in Neuhof, für die DWD-Wetterstation in Neuhof (die aber nur bis Ende September 2014 zuverlässige Werte lieferte) und für die DWD-Wetterstation in Bad Hersfeld. Die starke Verflachung der Messkurve der Wetterstation an der Halde in Neuhof ab Ende Mai lässt darauf schließen, dass die Niederschlagshöhen in diesem Zeitraum systematisch untererfasst wurden. (eigene Darstellung nach Rohdaten von K+S (2025b) und DWD (2025))

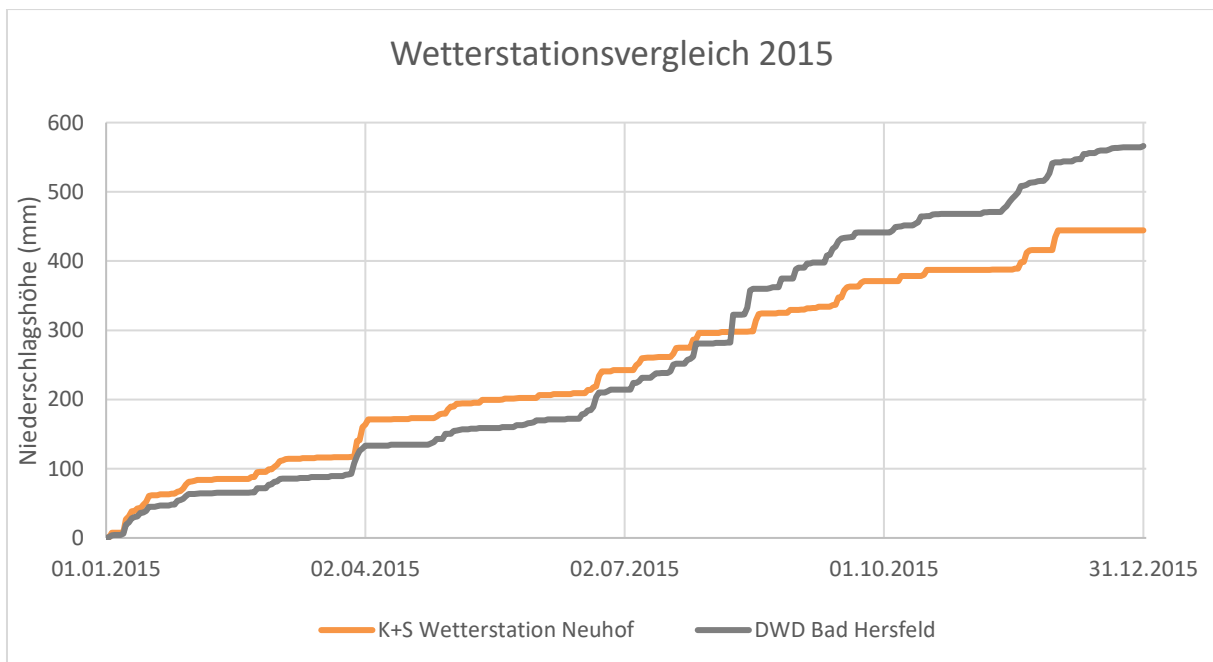


Abbildung 13: Wetterstationsvergleich für das Jahr 2015 für die von K+S betriebene Wetterstation in Neuhof und die vom DWD betriebene Wetterstation in Bad Hersfeld. Die Verläufe beider Kurven weisen eine deutlich größere Ähnlichkeit auf als im Vorjahr 2014. (eigene Darstellung nach Rohdaten von K+S (2025b) und DWD (2025))

Evaporation und Deliqueszenz

An der oben genannten Wetterstation von K+S am Haldenfuß werden auch Daten zur Berechnung der potentiellen Evaporation erhoben (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit), welche nach Haude berechnet wurde. Allerdings bietet die potentielle Evaporation nur die Grundlage für die tatsächliche Evaporation, die auch von der verfügbaren Wassermenge abhängt: Niederschlag, der in Oberflächennähe verbleibt, wird durch die ungesättigte Luft aufgenommen, während Sickerwasser, das schnell in größere Tiefen vordringt, wiederum der Evaporation entzogen wird. Darüber hinaus wird durch die Hygroskopie des Salzes die Evaporation potentiell vermindert.

Aufgrund der komplexen Kinetik und der schwer bestimmbaren Verfügbarkeit des Wassers, das durch Niederschlag unterschiedlicher Dauer und Intensität auf die Halde fällt, ist es deshalb schwierig, eine Abschätzung dieser tatsächlichen Evaporation vorzunehmen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Evaporation auf der Halde aufgrund des fehlenden Rückhaltes (Speicherung) in einer Bodenzone und Transpiration durch Bepflanzung deutlich geringer ausfällt als die Evapotranspiration auf Flächen in der Umgebung.

Um eine Einschätzung dieser tatsächlichen Evaporationsmengen vorzunehmen, wurde 2017/2018 über 11 Monate ein Lysimeterversuch im Labor bei Raumklima durchgeführt (upi, 2020). In diesem wurde eine mittlere tatsächliche Verdunstungsrate von 24,2 % ermittelt, die allerdings je nach Betrachtungszeitraum schwankte: Im Zeitraum Juni-August betrug die bestimmte Evaporation nur 13,9 %, während sie im Zeitraum Dezember-Februar bei 43,1 % lag. Der sich durch diese Variation potentiell ergebende Fehler für den absoluten Haldenwasseranfall lag nach Berechnung von upi (2020) zwischen +12 % und -23 %.

Allerdings muss bei diesen Zahlen berücksichtigt werden, dass die Lysimetermessung im Labor nur schwerlich die klimatischen Verhältnisse auf der Halde selbst nachbilden kann. Dies liegt unter anderen an den Einflussgrößen auf die Verdunstung, wie Sonneneinstrahlung und Windverhältnisse.

Neben diesen Labormessungen wurde ein weiterer Lysimeterversuch auf der Haldenfläche zwischen 2019 und 2021 durchgeführt (upi, 2021). Dieser Versuch diente vor allem dem Nachweis der Wirkung des „Innovativen Erosionsschutzes“ (IES), wobei ein Gemisch aus Rückstandssalz und verschiedenen Additiven (IES) mit einem Referenzlysimeter verglichen wurde, bestehend ausschließlich aus Rückstandssalz (Nullvariante). Dabei wurde einerseits die Ablaugung beobachtet, die im Versuchszeitraum bei der Nullvariante ca. 30 % höher war als bei der IES-Variante. Leider ist die Bilanzrechnung in upi (2021) allerdings nur eingeschränkt für eine Abschätzung der tatsächlichen Evaporation auf der Halde nutzbar, da während des kurzen Versuchszeitraumes die Drainierung des feucht eingebauten Materials die Wasserbilanz dominierte und je nach Betrachtungszeitraum, Einbauvariante und Berücksichtigung der Randabflüsse stark schwanken (Evaporationsverluste laut upi (2021) zwischen 2,6 % und 52,3 %).

Es lässt sich also festhalten, dass die bisherigen Versuche zur Bestimmung der Evaporationsrate auf der Haldenfläche mit sehr großen Unsicherheiten behaftet sind. Somit lässt sich eine durchschnittliche Evaporationsrate nur mit stark begrenzter Aussagefähigkeit abschätzen. Um die Relevanz dieser Unsicherheit deutlich zu machen, wird im Kapitel „Abschätzung der Restinfiltration anhand des Wasserhaushalts der Halde“ beispielhaft die Schwankung der Verdunstungsraten im Laborversuch aus upi (2020) übernommen (13,9 % - 43,1 %), aber auf eine Mittelwertbildung verzichtet. Die im

Lysimeterversuch auf der Halde bestimmten Evaporationsanteile sind aufgrund der Störungen durch Drainierung des Feuchteinbaus als nicht verwendbar angesehen.

Verrechnet man die im vorherigen Kapitel festgelegte Schwankungsbreite der Niederschläge mit der Schwankungsbreite der Evaporationsraten, so ergibt sich ein Minimum von 97.000 m³/a aus dem Produkt der minimalen Evaporationsrate (13,9 %) mit den minimalen Niederschlägen (700.000 m³). Ein Maximum von 345.000 m³/a ergibt sich aus der max. Evaporationsrate (43,1 %) und den maximalen Niederschlägen (800.000 m³/a). Auch diese Schwankungsbreite ist in Unsicherheiten in der Bestimmung begründet.

Die von Krupp (2025) angesprochene Deliqueszenz wird bei den im Rückstand vorhandenen Salzen (siehe Tabelle 2) insbesondere im Fall von NaCl (ca. 75 % Deliqueszenzfeuchte/DRH) relevant, während MgSO₄*6H₂O (>90 % DRH) nur bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit zur Deliqueszenz neigt. Krupp (2025) und K+S (1999) postulieren darüber hinaus eine mögliche Umkristallisation von NaCl und MgSO₄ zum reziproken Salzpaar Na₂SO₄ und MgCl₂, wobei insbesondere letzteres deutlich stärker zur Deliqueszenz neigt (DRH: ca. 33 %). Ein höherer Anteil an verfügbarem MgCl₂ in den atmosphärebeeinflussten Bereichen des Haldenmantels würde also zu höheren Wassermengen führen, die im Laufe der Zeit über Deliqueszenz in die Halde eingetragen würden (siehe Abbildung 14).

Allerdings ist die Quantifizierung dieses Terms zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich, da die Kinetik der Deliqueszenz stark von den Wetterverhältnissen, sowie der Verfügbarkeit der oben beschriebenen Salze an der Haldenoberfläche und der genauen Oberflächenbeschaffenheit (=effektive Oberfläche) abhängt. Dies ist mit den aktuell verfügbaren Daten nicht sicher zu bestimmen, weshalb der Term in dieser Bestandsanalyse nicht berücksichtigt werden kann.

Auch ist der wissenschaftlichen Begleitung zum jetzigen Zeitpunkt keine Studie bekannt, die den Anteil der Deliqueszenz am Wasserhaushalt von Salzoberflächen in humiden Klimazonen explizit bestimmt und ins Verhältnis zu den Wassereinträgen durch Niederschlag gesetzt hätte. Dies macht sogar eine größenordnungsmäßige Bestimmung unsicher.

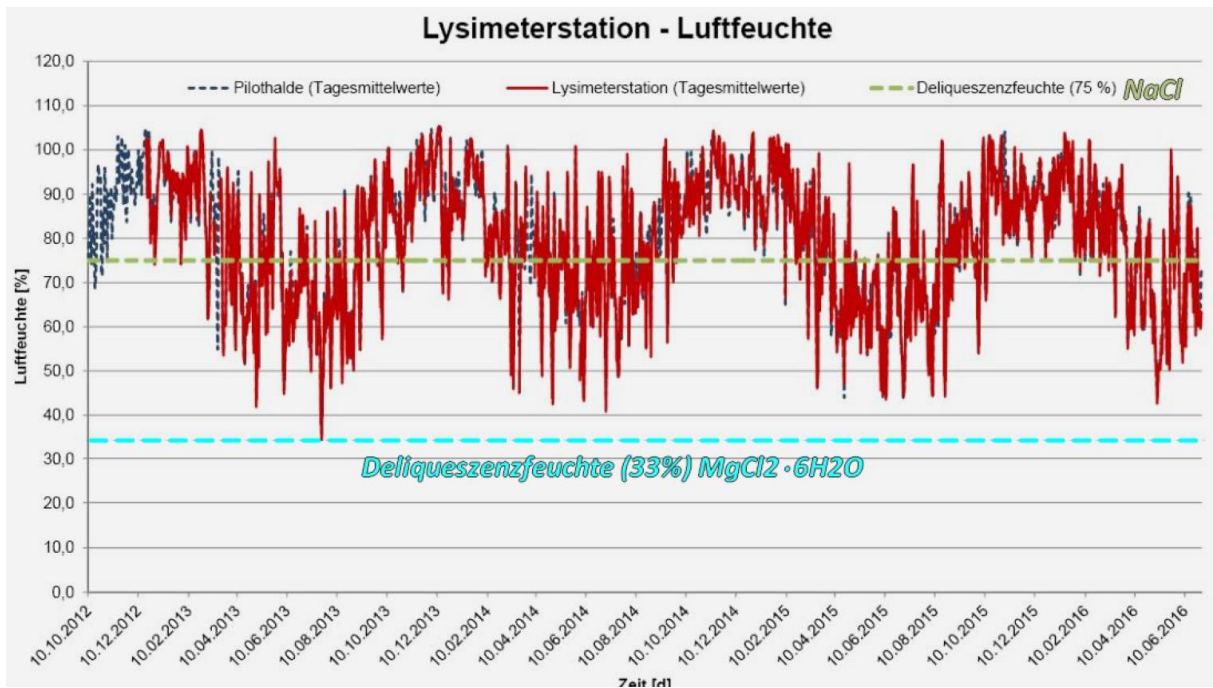


Abbildung 14: Deliqueszenzfeuchten zweier möglicher Bestandteile des Haldenmantelbereiches (NaCl und MgCl_2) sowie beispielhafter Luftfeuchten an der Pilothalde Zielitz (Krupp, 2025).

Prozessraum 2

Im Prozessraum 2 werden die Strömungs- und Transportprozesse innerhalb der Halde betrachtet. Der Hauptschwerpunkt liegt in der Bestandsanalyse dabei auf der Abschätzung der Restinfiltration, die unkontrolliert ins Grundwasser eindringt. Diese hat – zumindest lokal auf die Region Neuhoﬀ-Ellers bezogen – eine deutlich höhere Umweltrelevanz als das kontrolliert abgeschlagene Haldenwasser, das entsprechend entsorgt wird.

Haldenkörpermodell

Die Lösungsprozesse in der Halde sind auf kleiner Skala komplex. Dies ist auf die unterschiedlichen Bestandteile im Rückstandssalz zurückzuführen und auf die unterschiedlichen Lösungskinetiken. Ein Eindruck davon lässt sich durch den Lysimeterversuch von upi (2020) gewinnen, wo Abbildung 15 die Konzentrationen der unterschiedlichen Bestandteile im Sickerwasser zeigt. Hierbei wird deutlich, dass sich in der Anfangsphase (oder unmittelbar nach Aufhaldung) zunächst vor allem die Edelsalze Kalium- und Magnesiumchlorid, sowie Magnesiumsulfat lösen, während NaCl erst mit Laufe der ersten 1,5 Monate an Bedeutung gewinnt, nach weniger als einem halben Jahr aber bereits den Hauptbestandteil des Lösungsinhaltes ausmacht.

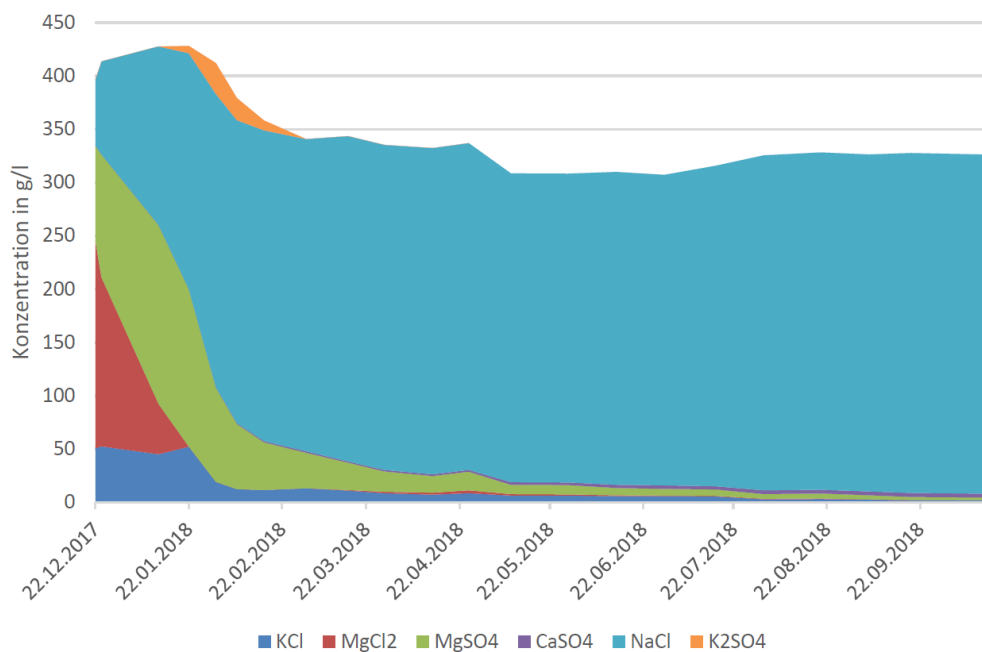


Abbildung 15: Konzentrationen der Salzparameter aus dem Lysimeterversuch von upi (2020).

Obwohl keine näheren Untersuchungen zum Rückstand vorliegen, ist zu erwarten, dass an der Oberfläche eher die schwerer (Gips) bis nicht löslichen (Tonanteile) Bestandteile verbleiben. Bei den leichter löslichen Salzen ist davon auszugehen, dass die höher löslichen Salze – wie MgCl₂, MgSO₄, NaCl, Na₂SO₄, K₂SO₄, KCl und ihre Misch- und Hydratformen – schneller in tiefere Schichten abtransportiert werden. Dies würde mit Blick auf die von Krupp (2025) beschriebene Deliqueszenz bedeuten, dass dort eher die schlechter löslichen Salze berücksichtigt werden müssten. Die genauen Prozessabläufe sind allerdings zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht sicher nachgewiesen und könnte im Rahmen erweiterter Lysimetermessungen untersucht werden.

Betrachtet man die Lösungskinetik der Halde auf größerer Skala innerhalb der Halde, so fallen die eben beschriebenen Lösungsprozesse weniger ins Gewicht, weil die Aufsättigung der wässrigen Lösung zumeist sehr schnell erfolgt, sodass dementsprechend bald nach dem ersten Kontakt zwischen Frischwasser und Rückstandssalz eine Vollsättigung erreicht wird (K+S, 2025a; upi, 2020). Krupp (2025) beschreibt darüber hinaus Unterschiede in der Kinetik der Salzlösung, sowie die Verschiebung von Löslichkeitsprodukten beim Durchsickern der Halde. Es ist zu erwarten, dass es bei der Verschiebung der Lösungsgleichgewichte zwischen den Salzphasen zu paralleler Auflösung und Rekristallisation kommt. Eine kontinuierliche Auflösung entlang der Fließpfade und Genese größerer karstähnlicher Strukturen ist aufgrund der Parallelität der Prozesse sowie der Plastizität des Salzkörpers eher nicht zu erwarten. Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass die Halde in ihrer Struktur ablagerungs- und rückstandsbedingt eher heterogen ist und bestimmte präferentielle Fließpfade für versickernde Haldenwässer bietet.

Darüber hinaus könnten sich durch eine Analyse der Zusammensetzung des Lösungsinhaltes in einem Haldenwasser grundsätzlich Rückschlüsse auf den Lösungsursprung ziehen lassen. Vorausgesetzt, die Zusammensetzung der Aufhaldungen bleibt konstant, so würden Wässer, die vor allem mit frisch aufgehaldetem Salz und/oder den wertstoffreicheren Kernbereichen der Halde in Kontakt waren, eher höhere Konzentrationen an Kalium und Magnesium aufweisen. Wässer, die dagegen mit häufiger „durchspülten“ Bereichen der Halde – z.B. in der Mantelzone – in Kontakt waren, würden eher von Calcium, Natrium und Sulfat dominiert.

Die Strömung des Wassers durch die Halde wird hierbei wesentlich durch die hydraulischen Eigenschaften des Salzes in den unterschiedlichen Zonen bestimmt. Diese werden beeinflusst durch die folgenden, dem Grundsatz nach möglichen, Prozesse:

- Lösungsprozesse: Ständiger Kontakt mit nicht aufmineralisiertem Wasser kann zur Ausbildung verbesserter Wegsamkeiten für nachströmendes Wasser führen.
- Viskoplastische Verformung: Beständige Auflast führt zu Verformung der Salzkörner, die nach Aufschüttung zunächst noch eine poröse Matrix bilden. Dies führt zu
- Kompaktion: Verkleinerung des Volumens durch Verformung führt zu Verlust von wassergefüllten Porenräumen und dem darin enthaltenen Porenwasser (üblicherweise der Schwerkraft folgend).
- Mineralumbildung: Die unterschiedlichen Bestandteile des Rückstandssalzes bilden sich unter dem erhöhten Druck langfristig in andere Mineralformen um.

In Abbildung 16 sind die Strömungsprozesse und die Wege zum Haldenwassermanagement schematisch dargestellt (in Anlehnung an upi, 2020). Aufgrund der oben beschriebenen Prozesse bildet sich innerhalb der Halde über die Zeit ein kompakter Haldenkern aus, während der Haldenmantel wegen geringeren Überlagerungsdruckes, neuer Aufschüttung und teilweiser Auflösung durch Niederschlagswasser erhöhte Porositäten aufweist. Zwischen beiden Bereichen gibt es eine schwer abgrenzbare Übergangszone (upi, 2020).

Dies führt im Vergleich zum Haldenkern zu deutlich erhöhten Wasserwegsamkeiten im Mantelbereich, was in K+S (1996) mittels einer Kernbohrung bis 8 m oberhalb der Aufstandsfläche der damals ca. 104 m hohen Halde nachgewiesen werden konnte. Hierbei wurden durchgehende Kerne erbohrt, was die oben beschriebene Vermutung bestätigt, dass sich im Haldenkern kompaktiertes Material ohne

lösungsbedingte Hohlräume befindet. Der Wasseranteil in den 20 beprobten unterschiedlichen Tiefen lag bei ca. 10 %, wobei das Wasser überwiegend als kristallgebunden beschrieben wurde.

In K+S (1996) wird beschrieben, wie darüber hinaus in ca. 15 m und 44 m Teufe zwei voneinander getrennte Wasserspiegel angetroffen wurden, was auf zwei getrennte „Haldenwasserstockwerke“ schließen ließ. Nach Ausbau von zwei weiteren Bohrungen zu Messstellen konnte sogar ein Pumpversuch im oberen Stockwerk durchgeführt werden. Die Auswertung dieses Pumpversuches ist nicht näher in K+S (1996) beschrieben, aber es wird eine hydraulische Leitfähigkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ – $2 \cdot 10^{-7}$ m/s angegeben, was mit einem Schluff vergleichbar wäre. Der Pumpversuch im unteren Stockwerk schlug fehl, da die Strömung von Wasser aus dem anstehenden Salz in das Bohrloch sehr langsam war und nach Leerpumpen nur ein sehr langsamer Wiederanstieg beobachtet wurde. Aus diesem langsamen Wiederanstieg wurde abgeleitet, dass „der Kf-Wert (sic) eine Größenordnung aufweist, wie sie für sehr gering durchlässige bis wasserstauende Gesteine charakteristisch ist“ (K+S, 1996, S.4).

Weiterhin führen K+S (1996) aus, dass auch die Untersuchungen der chemischen und isotopischen Zusammensetzungen der Wässer den Schluss nahelegte, dass die hydraulische Dynamik im unteren Stockwerk stark eingeschränkt ist, während das Wasser im oberen Stockwerk mit gefassten Haldenwässern in Verbindung gebracht werden konnte. Eine Permeabilitätsprüfung der erbohrten Kerne ergab ebenfalls deutlich erhöhte Permeabilitäten im Mantelbereich (teilweise vergleichbar mit Kies), während der Kernbereich als schlecht permeabel beschrieben wurde (vergleichbar mit Ton).

Auch wenn Bjørnsen (1988 S. 7) „lokal konzentrierte Laugendurchsickerungen, vergleichbar mit einer Kluftströmung, in einem ansonsten geringdurchlässigen Gestein“ vermutet – was durch einzelne Bohrungen nur schwer nachweisbar wäre – und das Vorhandensein vereinzelter präferentieller Fließwege im Haldenkern deshalb durch diese Untersuchungen nicht komplett ausgeschlossen werden kann, so ist es doch wahrscheinlich, dass sich der relevantere Teil der Lösungs- und Transportprozesse im Mantelbereich abspielt.

Anhand des oben beschriebenen Haldenmodells und der Haldenwasserhaushaltsgleichung lässt sich die Restinfiltration abschätzen.

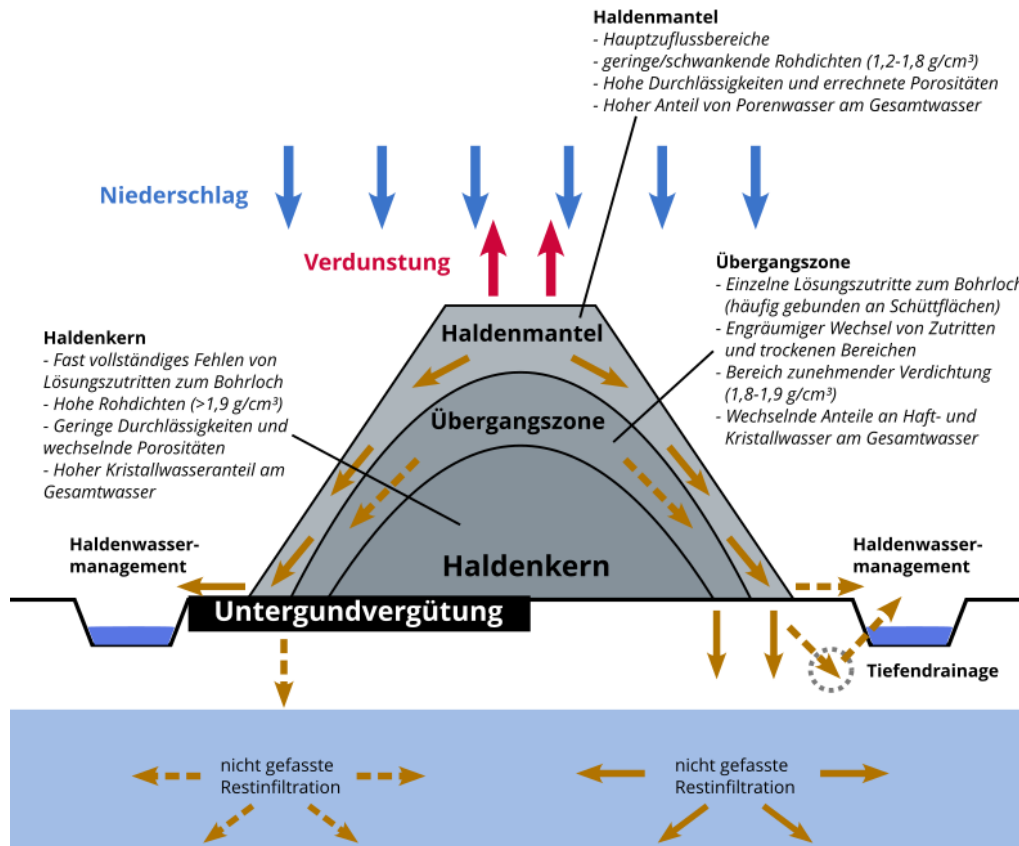


Abbildung 16: Schematisches Modell der Wasserflüsse innerhalb und um den Haldenkörper (eigene Darstellung in Anlehnung an upi, 2020)

Abschätzung der Restinfiltration anhand des Wasserhaushalts der Halde

Während für die Bewirtschaftungsziele der FGG Weser (2021a) vor allem die Menge des in die Werra eingeleiteten Haldenwassers relevant ist, wird die Umweltsituation in und um die Halde NeuhoF vor allem durch die Menge der nicht gefassten Restinfiltration ins Grundwasser beeinflusst. Diese ergibt sich durch eine Umstellung der zu Beginn dieses Kapitels vorgestellten Bilanzgleichung und eine Ergänzung der Deliquescenz (D):

$$RI_{ng} = (N - E + D) * F_{Aufsatz} * A + WG_{frei} - HWA - RI_g$$

Allerdings ergibt sich aus den Unsicherheiten der Niederschlags- und Evaporationsbestimmung das Problem, dass sich zwei der wichtigsten Terme der Gleichung nur als weite Wertebereiche abschätzen lassen, die in der Folge als „Schwankungsbreite“ angegeben werden. Hierbei ist anzumerken, dass einige Schwankungsbreiten lediglich die jährliche Variation, andere die Ungenauigkeit bei der Bestimmung der Bilanzgröße widerspiegeln.

- **Niederschlag:** Wie im vorherigen Kapitel bereits dargelegt, ist mit einem durchschnittlichen Niederschlag auf die Haldenfläche von 670-770 mm/a zu rechnen. Dies ergibt eine Schwankungsbreite für die Gesamtwassermenge von 700.000-800.000 m³/a, die der Halde jedes Jahr durch Niederschläge zugeführt werden. Durch den Aufsatzfaktor von 1,11 (upi,

2020) ergibt sich daraus eine Gesamtwassermenge von 780.000 – 890.000 m³/a. Diese Schwankungsbreite stellt eine Messunsicherheit dar.

- **Aufhaltungswasser:** Dazu kommen 164.000-208.000 m³/a (durchschnittlich 180.000 m³/a), die durch den Wassergehalt des Rückstandssalzes aufgebracht werden (upi, 2020). Aufgrund der Vollmineralisation bei Aufbringung wird keine Verrechnung mit dem Aufsalzungsfaktor vorgenommen. Diese Schwankungsbreite stellt eine jährliche Variation dar.
- **Evaporation:** Die im vorherigen Kapitel dargelegte großen Unsicherheit bei der Bestimmung der Evaporation (13,9 % - 43,1 %), sorgt bei Niederschlagsraten zwischen 670 und 770 mm/a für eine Schwankungsbreite von 97.000-345.000 m³/a. Um diese Bilanzgröße mit den anderen Termen der Gleichung vergleichen zu können, wird auch hier ein Aufsalzungsfaktor von 1,11 multipliziert, was eine Schwankungsbreite von 108.000-383.000 m³/a ergibt. Diese Schwankungsbreite stellt eine Messunsicherheit dar.
- **Deliqueszenz:** Aufgrund der bereits beschriebenen Datengrundlage ist eine Quantifizierung der Deliqueszenz nicht möglich.
- **Haldenwasseranfall:** Der gemessene jährliche Haldenwasseranfall zwischen 2008 und 2019 ist in Abbildung 11 dargestellt und ergibt sich aus upi (2020) mit durchschnittlich 506.000 m³/a und Schwankungen zwischen 397.000-593.000 m³/a. Diese Schwankungsbreite stellt eine jährliche Variation dar.
- **Tiefendrainage:** Zusätzlich werden laut upi (2020) durchschnittlich ca. 15.000 m³/a aus der Tiefendrainage entnommen mit Schwankungen zwischen 7.000 und 35.000 m³/a. Diese Schwankungsbreite stellt eine jährliche Variation dar.

Tabelle 3: Schwankungsbreite und Durchschnitt der Wassermengen in den jeweiligen Bilanztermen. Um alle Terme vergleichbar zu machen, werden auch Niederschlag und Evaporation mit dem Aufsalzungsfaktor 1,11 beaufschlagt. Blaue Terme stehen für Zuflüsse in die Halde, rote Terme stehen für Abflüsse.

	Durchschnitt	Schwankungsbreite
Niederschlag	n.a.	780.000 – 890.000 m³/a *
Aufhaltungswasser	180.000 m³/a	164.000 – 208.000 m³/a **
Deliqueszenz	n.a.	n.a.
Evaporation	n.a.	108.000 – 382.000 m³/a *
Haldenwasseranfall	506.000 m³/a	397.000 – 593.000 m³/a **
(Tiefendrainage)	15.000 m³/a	7000– 35.000 m³/a **
Restinfiltration	n.a.	

n.a.: nach aktueller Datenlage nicht sicher abschätzbar **: Unsicherheit*
*** : jährliche Variation*

Aufgrund der zuvor benannten Unsicherheiten ist eine wissenschaftlich fundierte Abschätzung der Restinfiltration anhand der Bilanzgleichung zum jetzigen Zeitpunkt nicht durchführbar. Die Hauptunsicherheiten bestehen vor allem in der Bestimmung der Evaporation, aber auch in der Niederschlagsmessung.

Hydraulische Abschätzung der Restinfiltration (upi, 2020)

Ein anderer Ansatz für diese Abschätzung wurde von upi (2020) gewählt, indem mithilfe der Niederschlags-, Evaporations- und Haldenwasseranfallabschätzung ein „Dargebot“ für die Infiltration errechnet wurde, das in einer Einstauhöhe und damit einem hydraulischen Gradienten resultiert. Dieser Gradient wird mit den Flächenanteilen und den abgeschätzten hydraulischen Leitfähigkeiten der Haldenaufstandsflächen von Haldenkern, Übergangszone, Haldenmantel und Haldenvorfeld (siehe Tabelle 4) für all diese Zonen zu einer Abschätzung der Restinfiltration verrechnet.

Tabelle 4: Hydraulische Leitfähigkeiten (k_f) und Teilflächen, abgeschätzt für 2024 (upi, 2020)

Haldenbereich	Fläche (ha)				k_f (m/s)
	H.-Kern	Ü.-Zone	H.-Mantel	H.-Vorfeld	
Ungedichteter Bereich (vor 1981)	41,17	15,62	9,80	0,52	1×10^{-8}
Teilvergüteter Bereich (1981-2003)	15,12	8,18	9,17	+	1×10^{-8}
Vergüteter Bereich (seit 2003)	0,49	4,04	4,65	0,30	1×10^{-9}

Dazu wurde folgende Formel von upi (2020) angesetzt:

$$RI = k_f * A * i$$

Wobei RI die Restinfiltration (gefasst+ungefasst), k_f die abgeschätzte hydraulische Leitfähigkeit der Aufstandsfläche im betrachteten Bereich und A die betrachtete Fläche (letztere beide aus Tabelle 4) bezeichnet. Der hydraulische Gradient i wurde über die Abschätzung des jährlichen Dargebotes und die Berechnung einer daraus resultierenden Wassersäule auf die hydraulisch aktiven Bereiche der Aufstandsfläche (Übergangszone, Haldenmantel und Haldenvorfeld) berechnet und ergab für die unterschiedlichen Jahre (je nach Dargebot) Werte zwischen 2,5 und -0,6. Der negative hydraulische Gradient ergab sich aufgrund eines sehr geringen errechneten Dargebotes im übermäßig trockenen Jahr 2014.

Insgesamt wurde eine Restinfiltration zwischen $100.000 \text{ m}^3/\text{a}$ und $135.000 \text{ m}^3/\text{a}$ für die Zeit seit 2002 errechnet und für die Zukunft ein Durchschnittswert von $125.000 \text{ m}^3/\text{a}$ prognostiziert.

Der Ansatz von upi (2020) ist nur aufgrund starker Vereinfachung möglich und bietet durchaus Anlass für Präzisierung und Weiterentwicklung (siehe Kapitel Wissenslücken). Allerdings erlaubt er auf Grundlage des bisher gewonnenen Prozessverständnisses eine grobe Abschätzung der Wassermengen, die nach aktuellem Erkenntnisstand überhaupt versickern können und kann deshalb, insbesondere unter Berücksichtigung der im Kapitel „Wissenslücken“ genannten Verbesserungsmöglichkeiten als wertvolle Ergänzung zur bilanziellen Abschätzung dienen.

Haldenaufstandsfläche

Nicht vergüteter Althaldenbereich

Die Haldenaufstandsfläche stellt das Bindeglied zwischen Prozessraum 2 und Prozessraum 3 dar und ist für die unterschiedlichen Bereiche in unterschiedlichem Detailgrad dokumentiert. Laut upi (2020) wurde in einem „Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zur Erhöhung der Rückstandshalde des Kaliwerkes Neuhoof-Ellers“ aus dem Jahre 1964, das für diese Studie leider nicht vorlag, folgendes Bodenprofil für den nicht vergüteten Althaldenbereich im Osten des Alte Wiese-Tals beschrieben:

- geringmächtig (max. 20 cm) ausgebildeter humoser Mutterboden
- hellbrauner, sandiger Lehm von wechselnder Mächtigkeit (10-85 cm, im Mittel 50 cm)
- Periglazialer Hangschutt aus Bundsandstein (70 – 190 cm, im Mittel 130 cm)
- Oberer vorwiegend schluffig-tonig ausgebildeter Bereich (30 – 80 cm; Illuvialhorizont, der durch Einschlammungen von Tonsubstraten und Sequioxiden stark verdichtet und damit für Sickerwässer nur wenig durchlässig ist.)
- Unterer vorwiegend sandig-steiniger Bereich (40-145 cm)

Insbesondere der Illuvialhorizont würde vertikale Strömung und damit eine direkte Versickerung auch ohne Untergrundvergütung erschweren. Allerdings bietet der darauf aufliegende periglaziale Hangschutt und der darunter liegende sandig-steinige Bereich durchaus Potential für horizontale Wasserbewegung, auch unterhalb eines verdichteten und undurchlässigen Haldenkerns.

upi (2020) schätzt die (vertikale) hydraulische Leitfähigkeit des Althaldenbereiches aufgrund des hohen Lehmanteils mit $1 \cdot 10^{-8}$ m/s ab.

Teilvergütete Haldenfläche (Umgebung Alte Wiese-Tal)

Die Betriebsplanzulassung von 1982, als die Gesamtfläche der Halde auf 74,2 ha erweitert wurde, brachte das Thema Untergrundvergütung auf (TABERG, 2000). Im Rahmen dieser Erweiterung wurde ab ca. 1996 auch das Alte Wiese Tal überdeckt.

Dieses bietet im Vergleich zu den umliegenden von der Halde überdeckten Bereiche einige Besonderheiten:

- Auf der geologischen Karte (siehe Abbildung 7) ist eine Störung vermerkt, die genau entlang des Alte Wiese-Tals verläuft und somit bevorzugte Wasserwegsamkeiten bieten könnte. Der Versatz dieser Störung wird in HGN (2024) mit 8-10 m beschrieben.
- Bachläufe können tendenziell jüngere Sedimente ablagern, die größere hydraulische Leitfähigkeiten bieten. In der geologischen Karte (Abbildung 7) ist im Tal neben Lößlehm ein größerer Bereich mit „Ablagerungen aus den Nebentälern“ ausgewiesen. In HGN (2024, S.9) wird die Talfüllung neben weichseleiszeitlichem Löß mit „tonig-schluffigen bis untergeordnet sandig-kiesigen Sedimenten mit Mächtigkeiten bis zu 2 m“ beschrieben. Bjørnsen (1988, S.1+2) wiederum erwähnt eine Überlagerung mit 60 cm schwach tonigem Schluff, die aber „bei den gegebenen Undurchlässigkeiten nur bereichsweise eine Barriere für das Sickerwasser dar[stellen], so daß [sic] ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen eine Salzwasserzusickerung zum Grundwasser unvermeidlich wäre“.
- In größeren Bereichen der Hänge des Alte Wiese-Tals steht der (durchlässigere) Volpriehausen-Sandstein ohne Überlagerung durch die (undurchlässigere) Volpriehausen-Wechselfolge direkt an.
- Aufgrund der Topographie, in die sich die Halde einfügt, ist davon auszugehen, dass Sickerwässer unterhalb der Halde am ehesten im Bereich des ehemaligen Alte Wiese-Tals gesammelt würden.

In Abbildung 17 ist der generalisierte Aufbau des Untergrundes im Bereich des Alte Wiese-Tals dargestellt, wie er von Bjørnsen (1988) skizziert wurde. Dabei lässt sich erkennen, dass sich zwischen Mutterboden und Festgestein ein >1 m mächtiger Bereich aus (schluffigem) Fein-/Mittelsand und verwittertem Sandstein befindet. Die genaue Ausprägung dieser Zone in unterschiedlichen Bereichen

des Tals ist leider nicht nachvollziehbar, weil die in Björnßen (1988) genannten 30 Bohrsondierungen für diesen Bericht nicht vorliegen. Es ist allerdings durchaus denkbar, dass ein solcher „Übergangsbereich“ mit verwittertem Sandstein und Fein-/Mittelsand eine erhöhte hydraulische Leitfähigkeit aufweist.

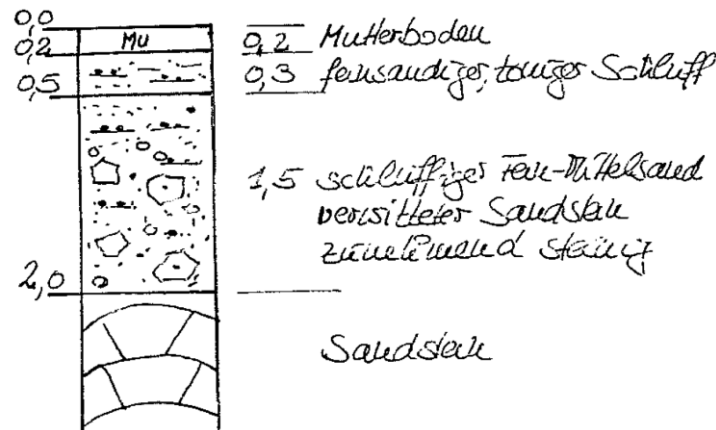


Abbildung 17: Generalisierter Aufbau des oberflächennahen Untergrundes im Bereich des Alte Wiese-Tals (Björnßen, 1988)

Als sich nach 1982 andeutete, dass das Alte Wiese-Tal vom Haldenkörper überdeckt werden würde, wurde von Björnßen (1988) eine Entwurfsplanung für die Entwässerung am Haldenfuß und die Abdichtung des Tales vorgelegt (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19). Im Zuge dieser Entwurfsplanung wurde ein kombiniertes System aus Dichtung und Drainage vorgeschlagen, bestehend aus einer „mineralischen Dichtung mit vergütetem Überlagerungsboden, die sich wannenartig vom Taltiefsten bis zum vorläufigen Haldenfuß erstreckt“ (Björnßen, 1988, S.2). Parallel zum Haldenfuß war ein gedichteter Randgraben vorgesehen, der das abfließende Salzwasser aufnehmen und gleichzeitig Hochwässer des Alte Wiese-Tals abführen sollte. Dies wurde durch das Bergamt Bad Hersfeld (1988) genehmigt, u.a. unter der Voraussetzung „daß Grundablaßleitung und offenes Gerinne in ihrem Verlauf nicht verändert werden“. Björnßen (1989, S.1) stellte aber bald fest, dass „wegen abgehender Salzwassern aber auch allein aufgrund tiefer Lufttemperaturen“ der offene Graben ungeeignet sei. Deshalb, und wegen der bald anstehenden Erweiterung der Halde über das Alte Wiese-Tal hinaus, wurde eine Verrohrung des Grabens durchgeführt, die in Björnßen (1989) beschrieben wird. Hierbei wurde von einem Jahresmittel von 29 m³/h und von einem Spitzenabfluss von 52 m³/h ausgegangen. Auf Grundlage dieser Berechnung schlug Björnßen (1989) eine Verrohrung mit einem Innendurchmesser von 187,8 mm und einem Gefälle von 1,5 % vor, was ein maximales Abflussvermögen von 151,9 m³/h gewährleisten würde.

Parallel zu dieser Salzwasserüberleitung vom nördlichen Haldenrandgraben in den südlichen Haldenwasserteich wurde die Verrohrung des Alte Wiese-Baches angelegt. Eine Überlastung dieser Rohrleitung gilt es zu vermeiden, um einen unkontrollierten Wasseraufstau im nördlichen Teil der Halde zu vermeiden. K+S (2022) gibt hierbei eine Bachverrohrung mit DN500 an, was nach Prandtl-Colebrook ein Abflussvermögen von mehr als 40.000 m³/Tag bedeuten würde. Diese Leitung scheint grundsätzlich ausreichend für die von HGN (2024) veranschlagte maximale Gesamtschüttung der beiden Teile der Alte Wiese-Quelle von ca. 7200 m³/Tag. HGN (2024) empfahl allerdings für den Fall einer möglichen Überdeckung, aufgrund potentieller Risiken im Versagensfall und Problemen bei der Zugänglichkeit der Quelle, die Errichtung eines begehbaren Entwässerungstollens entlang des Alte

Wiese-Tals zum Lützbach. Im Falle eines Versagens der existierenden Rohrleitungen wurde bereits im Umweltgutachten des Planfeststellungsbeschlusses (TABERG, 2000 S. 48) eine kurzfristige Ableitung „mittels Pumpen und über fliegende Leitungen“ als Sofortmaßnahme festgehalten.

Eine flächige Abdichtung der ca. 9 ha großen linken/östlichen Talflanke sah Bjørnsen (1988) als schwierig an, sowohl mineralisch (aufgrund von Böschungsneigung und Verformung) als auch mit Kunststoffdichtung (aufgrund der geringen mobilisierbaren Reibung, die zu einem Abgleiten führen würde). Stattdessen wurden Dränstränge in einzelnen, ca. 15 m breiten abgedichteten Gräben vorgeschlagen. Eine Einsickerung durch die Taldichtung wurde als „vernachlässigbar gering“ prognostiziert, u.a. weil „langfristig [...] das Sickerwasser durch Auslösungsprozesse in der Halde Wasserwegsamkeiten zu den Dränagen hin schaffen“ würde und weil „später lediglich die quantitative untergeordnete Kernzusickerung anfällt“ (Bjørnsen, 1988 S.3).

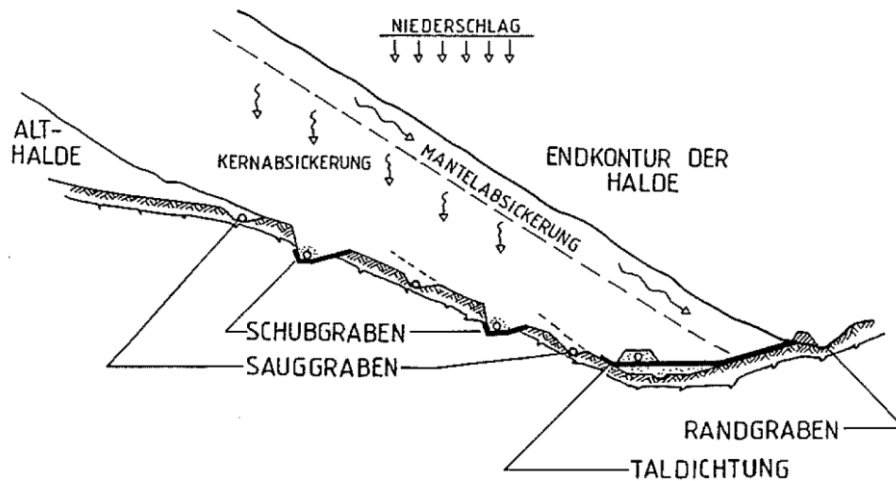


Abbildung 18: Abdichtungs- und Ableitungskonzept vor Überdeckung des Alte Wiese-Tals (Bjørnsen, 1988)

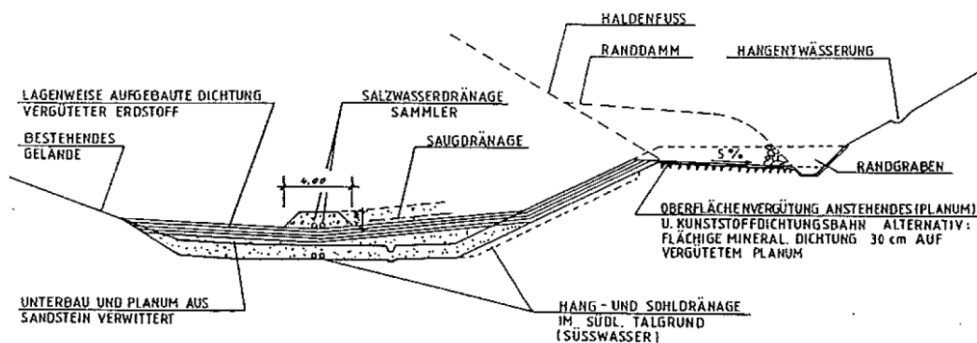


Abbildung 19: Detaillierter Entwurf der Drainageleitungen (Bjørnsen, 1988)

Kombiniert man Bjørnsen (1988) und Bjørnsen (1989) ergibt sich folgendes Bild für die Situation der Haldenaufstandsfläche im Alte Wiese-Tal:

- Talaue:
 - Es wurde eine flächige Dichtung mit einer Durchlässigkeit von $<10^{-9}$ m/s aufgebracht.
 - Vor Einbringen der Dichtung wurde die „Mutterbodenüberlagerung [...] bis etwa 20 cm unter Geländeoberkante abgeschoben.“ (Björnsen, 1988 S.12)
 - Es wird davon gesprochen, „[...] auf einer Teilfläche, wo gelegentlich Wasseraustritte zu beobachten sind, unter der Dichtung gezielt drämfähiges Material, stückige[n] Sandstein oder auch Filterkies, flächig oder als ein Netz von Drainagegräben“ einzubauen und einen „hydraulischen Anschluss an die bestehende Süßwasserdrainage des oberen Salzwasserteiches“ zu schaffen. Dabei wird ein „Einstau der Dichtung von unten akzeptiert“. (Björnsen, 1988 S.13)
 - „Unmittelbar vor Überschütten des Tales durch die Halde sollte auf der gesamten Fläche etwa 1,5 m flächig als Schutzschicht Rückstand aufgefüllt bzw. einplaniert werden [...]“. (Björnsen 1988, S.14)
 - „Im Taltiefsten wird auf die Dichtung eine Längsdrainage aus Filterkies mit eingebettetem [sic] Sickerrohr geschüttet.“ (Björnsen 1988, S.15) Als Mindestabmessung wird eine Breite von 4 m und eine Höhe von 1 m angegeben, was „bei den gegebenen Gefälleverhältnissen [eine Ableitung] bis zu 20 l/s“ gewährleisten würde.
- Linke Flanke (Fließrichtung Alte Wiese Bach):
 - Sie wurde mit tiefen „Schubgräben“ versehen, die Teile des Hanges drainieren.
 - Diese Gräben sind mit einer min. 60 cm mächtigen, zur Talaue äquivalenten Dichtung versehen. Allerdings wird auch davon gesprochen, dass in einer Variante „die Steilböschung des Grabens [...] ungedichtet bleiben und [...] als Drainage für oberhalb des Grabens einsickerndes Haldenwasser dienen [kann]“ (Björnsen, 1988 S.16).
 - Die Ableitung erfolgt über ein geschlitztes Sickerrohr mit einem Durchmesser von DN100. Dies wird mit einer Kiesüberschüttung von min. 3 m Breite und 1 m Mächtigkeit bedeckt.
 - Darüber erfolgt eine Verfüllung mit bereits ausgelaugtem Haldenrückstand und verdichtetem Sandsteinabraum, um eine Verzahnung des Haldenkörpers mit dem stark geneigten Untergrund zu gewährleisten. Als Nachteil dieser Variante wird von Björnsen (1988 S.17) explizit erwähnt, dass „bereits vor vollständiger Überschüttung der Flanke das gesamte gefaßte Niederschlagswasser aufsalzt und in den Salzwasserteich eingeleitet und entsorgt werden muß“.
 - Darüber hinaus wurden „Sauggräben“ angelegt, die zur Drainage der Schubgräben entwässern.
 - Es wird erwähnt, dass „Dränleitungen zusammengefasst“ werden können.
- Die Abdichtung und Drainage der rechten Flanke wird weder in Björnsen (1988) noch in Björnsen (1989) genauer beschrieben, weil zu diesem Zeitpunkt nur eine Überschüttung des linken Talhanges vorgesehen war. Es werden lediglich Saugleitungen auf der westlichen Böschung erwähnt, die als „zusätzliche Dränhilfe zur schnellen Ableitung des Sickerwassers“ [...] schräg zum Hang“ angeordnet werden (Björnsen 1988, S.15). Es wird aber auch erwähnt, dass diese „bei Endüberschüttung [...] stark verformt werden, jedoch wird bis dahin die Ausbildung von Wasserwegsamkeiten im Rückstandsmaterial durch Auslösung erwartet. Außerdem wird davon ausgegangen, dass „eine abgeminderte Dränkapazität durch verstärkten Zustrom zum Randgraben ausgeglichen wird“ (Björnsen 1988, S.15). In den

vorliegenden Dokumenten ist nicht dokumentiert, was mit dem Zustrom zum Randgraben nach Überschüttung der Westböschung passierte.

- Björnsen (1988) schätzte vorläufig ab, dass dem Tal aus der Halde jährlich 64.000 m^3 zufließen, von denen 83 % über die Taldichtung und über die Flankendränage 5600 m^3 gefasst werden. Die Resteinsickerung wird auf $1900 \text{ m}^3/\text{a}$ geschätzt (siehe Abbildung 20). Diese Bilanz ist heutzutage – aufgrund der Ausbreitung des undurchlässigeren Haldenkerns in dieses Gebiet und allgemeiner Unsicherheiten in der Bilanzierung wahrscheinlich nicht mehr aktuell (siehe Kapitel „Abschätzung der Restinfiltration anhand des Wasserhaushalts der Halde“).

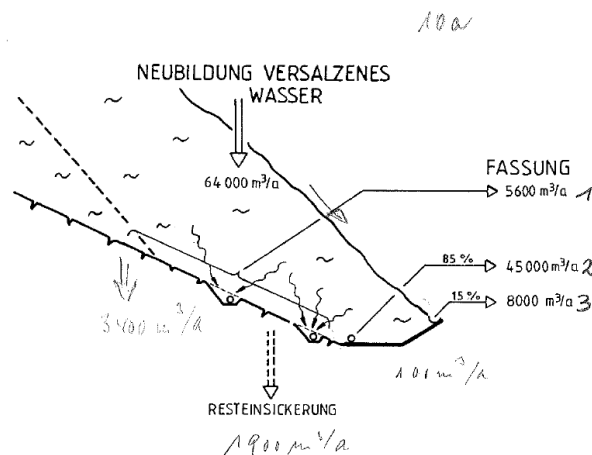


Abbildung 20: Geschätzte Wasserbilanz der dem Tal zuströmenden Haldenwassermengen (Björnsen, 1988)

Eine nachträgliche Abänderung dieser Baumaßnahmen erfolgte, nachdem mit Beginn der Beschüttung des Alte Wiese-Tals aufgrund einzelner Salzlawinen Zweifel an der Standfestigkeit dieses Teils der Halde aufkamen (K+S, 1998). Um die Standfestigkeit zu verbessern, wurde ein Widerlager errichtet (K+S, 1998). Dabei wurde ein noch nicht beschütteter nördlicher Bereich im Alte Wiese-Tal mit ca. 8000 m^2 enttont und im Nachgang mit Steinerde der Firma Nüdling vergütet. Es kam eine Schaffußwalze und eine Glattmantelwalze auf der mindestens $0,3 \text{ m}$ mächtigen aufgetragenen Schicht zum Einsatz. Das Material wurde vorher von Katzenbach (1998) geotechnisch geprüft und es wurde eine hydraulische Leitfähigkeit von $3,6\text{-}6,3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ festgestellt.

Die hydraulischen Eigenschaften des neu eingebauten Materials sind also mit denen der initial geplanten Abdichtung vergleichbar, wenn auch mit den vorliegenden Unterlagen nur eingeschränkt ersichtlich ist, wie das Drainage- und Abdichtungskonzept an diese Abänderung angepasst und letztlich realisiert wurde.

Insgesamt schätzt upi (2020) die hydraulische Leitfähigkeit des „teilvergüteten“ Bereiches um das Alte Wiese-Tal auf ca. $1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$.

Vergüteter Haldenbereich (Westlicher Haldenteil)

Dieser Teil der Aufstandsfläche ist deutlich besser dokumentiert, sowohl in der ursprünglichen Form als auch mit Blick auf die Maßnahmen, die zur Vergütung durchgeführt wurden. So wurden im Planfeststellungsbeschluss von 2003 (wie dargelegt in upi (2020)) konkrete Vorgaben bzgl. Verdichtung und den Eintrag von Tonmehl und Steinerde gemacht. Als Zielwert wurde im Haldenkernbereich im Mittel von 5 Proben ein $k_f < 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ vorgegeben und für jede Einzelprobe ein $k_f < 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$. Im Haldenmantelbereich wurde (aufgrund des höheren prognostizierten Wasseranfalls in diesem Bereich)



vorgegeben, dass jede Einzelprobe ein $k_f < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s aufweisen muss. Diese Vorgaben wurden vor Überschüttung überprüft, wobei die hydraulischen Leitfähigkeiten stets kleiner als der Zielwert waren (z.B. BAUGRUND INSTITUT, 2020).

Darüber hinaus wurden in der Umweltverträglichkeitsstudie des Rahmenbetriebsplans (TABERG, 2000) im westlichen Teil der heutigen Halde (dem damaligen Erweiterungsgebiet) keine schwebenden Grundwasserleiter vorgefunden, wie sie schon damals für den Bereich der Althalde vermutet wurden.

Deshalb wird eine Restinfiltration relevanten Ausmaßes in diesem Bereich von upi (2020) als weniger wahrscheinlich erachtet als in den beiden vorher benannten Bereichen.

Prozessraum 3

Mögliche Eintragswege der Halde ins Grundwasser

Restinfiltration

Die vorher betrachtete Restinfiltration kann direkt in den Hauptgrundwasserleiter versickern, wo das eingetragene Salz dem allgemeinen Fließmuster dieses Grundwasserleiters folgt. Allerdings wird durch eine erhöhte Salinität und Dichte im Grundwasser auch die Druckhöhe beeinflusst (K+S, 2025a), was grundsätzlich auch zu Veränderungen im Fließmuster führen kann. Für die Hydroisohypsen des Hauptgrundwasserleiters in Abbildung 21 (K+S, 2025a) wurden allerdings Messungen von Sohlrucksonden in den Grundwassermessstellen verwendet, sodass die Dichteveränderungen in der Wassersäule berücksichtigt wurden.

Zusätzlich sollte allerdings beachtet werden, dass auch der Hauptgrundwasserleiter keine homogenen, isotropen Verhältnisse ausbildet. Stattdessen ist, wie Fritzsche (2016) (siehe Kapitel „Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes“) postulierte, davon auszugehen, dass die Störungszonen einen signifikanten Einfluss auf die Grundwasserhydraulik haben. Deshalb sollte der Isohypsenplan in Abbildung 21 ausdrücklich nur zur groben Orientierung auf berücksichtigt werden, wobei die Druckverhältnisse (und damit auch die Fließpfade) im Detail teilweise ganz anders aussehen können. In der Scoping-Vorlage (K+S, 2022) wird u.a. von einer „lokalen Grundwasserscheide“ zwischen Alte Wiese-Tal und Rippbach gesprochen. Diese ist jedoch höchstwahrscheinlich nicht als starre Trennlinie zu verstehen, die sich über die gesamte Mächtigkeit der wassergesättigten Stockwerke (Volpriehausen-Wechselfolge, Volpriehausen-Sandstein, Unterer Buntsandstein) erstreckt. Vielmehr ist davon auszugehen, dass

- die Klüftungen die Grundwasserhydraulik in unterschiedlichem Ausmaß in den drei Stockwerken beeinflussen:
 - o Volpriehausen-Wechselfolge: Schwebende Grundwasserleiter, die nur bedingt durch die hydraulischen Gradienten im Hauptgrundwasserleiter beeinflusst sind.
 - o Volpriehausen-Sandstein: erhöhte primäre Permeabilitäten, die aber entlang der Störungen in unterschiedlichem Ausmaß ausgeprägt sind.
 - o Unterer Buntsandstein: niedrige primäre Permeabilität und (fast) ausschließlicher Grundwasserfluss entlang der Störungen.
- die salinitätsbedingte Dichteerhöhung im Umfeld der Halde zu einer Erhöhung des hydraulischen Gradienten in alle Richtungen führt und dadurch die unterirdischen Wasserscheiden dynamisch verschoben werden.
- die Heterogenität des oberflächennahen Untergrundes, inklusive der Wechselwirkung mit den Lockergesteinsfüllungen der Täler um die Halde, zu lokalen Abweichungen des Fließfeldes führen kann.

Darüber hinaus ist es auch möglich, dass das Wasser der Restinfiltration in die schwebenden Grundwasserleiter eintritt, wo es sich unabhängig von der Hydraulik des Hauptgrundwasserleiters in horizontale Richtung bewegen kann. Diese schwebenden Grundwasserleiter bilden sich vor allem dort aus, wo Schichten mit stark variierender hydraulischer Leitfähigkeit übereinander gelagert sind. Dies ist vor allem in Teilen der Volpriehausen-Wechselfolge der Fall, wo ein schwebender Grundwasserleiter im nordöstlichen Teil der Halde bereits erkannt und mit einer zusätzlichen Messstelle (GWM14/2018(flach)) in 13 m Tiefe überwacht wird (K+S, 2025a). Außerdem wurde in K+S

Möglichkeit einer solchen Interaktion beschrieben, die allerdings nach jetziger Datenlage nicht belegt ist und in Zukunft durch weitere Nachforschungen geprüft werden sollte:

Das Alte Wiese-Tal wird in der geologischen Karte (siehe Abbildung 7) als ein Bereich mit „Nebentalablagerungen“ ausgewiesen, die laut Scoping-Vorlage (K+S, 2022) und Jahresbericht (K+S, 2025a) als „bevorzugter Fließweg“ in Richtung Lützbach dienen könnten und wo die „quartären Lockersedimente der Talfüllungen [...] als Porengrundwasserleiter [fungieren]“ (K+S, 2025a; S.33). Dies deutet sich auch in der von Bjørnsen (1988) dokumentierten Lithologie an (siehe Abbildung 17). Im Rahmen der Abdichtung des Alte Wiese-Tals vor Überdeckung wurde bei Bjørnsen (1988) lediglich erwähnt, die „Mutterbodenüberlagerung bis etwa 20 cm unter Geländeoberkante“ abzuschleifen. Dies lässt die Möglichkeit offen, dass die vorher erwähnte „Übergangszone“ aus verwittertem Sandstein unterhalb der Talsohlenabdichtung verblieb. Darüber hinaus wird von Bjørnsen (1988) erwähnt, auf einer Teilfläche, „wo gelegentlich Wasseraustritte zu beobachten sind, unter der Dichtung gezielt dränfähiges Material, stückige[n] Sandstein oder auch Filterkies, flächig oder als ein Netz von Drainagegräben“ einzubauen. Leider gibt es zum jetzigen Zeitpunkt keine Informationen über mögliche hydraulische Interaktionen dieser Zone potenziell erhöhter hydraulischer Leitfähigkeit mit den Bereichen nördlich der Halde, da im Norden nur wenige Grundwassermessstellen existieren. Insbesondere im Bereich des Eintrittspunktes zur Bachverrohrung (siehe Abbildung 21) erscheint der Alte Wiese-Bach teilweise angestaut (eigene Beobachtung am 29.04.2025), was einen unterirdischen Zustrom von Süßwasser von diesem Punkt aus entlang des ehemaligen Alte Wiese-Tals unterhalb der Halde grundsätzlich möglich erscheinen lässt. Bjørnsen (1988) erwähnte außerdem, dass ein „Einstau der Dichtung von unten“ zu akzeptieren sei. Ein solcher „Einstau“ bietet dann allerdings auch grundsätzlich das Potential zum Eintrag salzreicher Frischwässer, wenn die Talsohlenabdichtung an einzelnen Stellen versagen sollte.

Darüber hinaus wird in Bjørnsen (1988) erwähnt, dass die Steilböschung der Drainagegräben an den Hängen des Tals gegebenenfalls ungedichtet bleiben „könne“. Dies würde bei Versagen der Drainageleitung allerdings dazu führen, dass sich salzhaltiges Wasser aufstauen und durch die ungedichtete Steilböschung in den Grundwasserleiter infiltrieren könnte. Wenn die Steilböschung allerdings abgedichtet worden sein sollte und die Drainageleitungen bis heute ausreichend leistungsfähig sind, ist diese Möglichkeit eher unwahrscheinlich.

Die genaue Ausführung der Abdichtung und Drainage am Westhang des Alte Wiese-Tals ergibt sich aus den vorliegenden Unterlagen nicht. Es ist aber davon auszugehen, dass sie ähnlich der Anlage am Osthang aufgebaut wurde.

Es wird hier nochmals betont, dass die oben genannten Prozesse durch die aktuelle Datenlage nicht belegt sind, sondern lediglich näher geprüft werden sollten, z.B. durch eine genauere Rekonstruktion der schlussendlich realisierten Dichtung und Dränierung im Alte Wiese-Tal und ein gezieltes Monitoring der Lockergesteinsfüllung im Tal (siehe Kapitel „Wissenslücken“). Es ist durchaus möglich, dass viele der schwebenden Grundwasserleitern lediglich durch kleinräumige Tonlinsen gebildet werden, die keine relevanten Zuströme salzreicher Wässer zum Haldenkörper erlauben und dass das Alte Wiese-Tal selbst keine relevanten Zuströme aufweist.

Kapillaraufstieg

Kapillarer Aufstieg kann im Allgemeinen nur entlang geschlossener Porennetze geschehen, die ausreichend klein sind, um Kapillarkräfte aufzubauen und gleichzeitig groß genug, um

Wasserdurchfluss zu erlauben. Während in sandigen Böden der Kapillaraufstieg üblicherweise auf maximal wenige Dezimeter begrenzt ist, weisen schluffige Böden Kapillaraufstiege im Meterbereich auf. Im Falle Neuhoof gibt es allerdings keine Anzeichen für mächtige Schluffablagerungen, die geschlossene Porennetzwerke ausbilden könnten. Vielmehr sind die Schlufflagen immer wieder durch Lagen mit Sand oder Sandsteintrümmern unterbrochen. Dementsprechend ist von einer untergeordneten Rolle von Kapillarprozessen bei der Interaktion zwischen Grundwasser und Haldenkörper auszugehen.

Salzgehalte in Oberflächengewässern

Der Lützbach/Kohlgraben und der Rippbach/Kirschbach wurden gemeinsam mit den Einmündungsabschnitten in Kemmete und Fliede im Jahre 2017 von der Uni Jena (2017) kartiert. Dabei wurden an mehreren Abschnitten der Fließgewässer die elektrische Leitfähigkeit bestimmt und Stichtagsbeprobungen an ausgewählten Salzwässern durchgeführt, die hydrochemisch analysiert wurden.

Die elektrischen Leitfähigkeiten, die im Zeitraum 03.05.-19.06.2017 durch die Uni Jena (2017) gemessen wurden, finden sich in Abbildung 22. Dabei fällt auf, dass Lützbach und Kohlgrund oberhalb des Bereiches um den ehemaligen Eintritt des Alte Wiese-Baches keinerlei signifikante Salzwasserbeeinflussung aufweisen. Erst am Typhusbrunnen selbst und in der Umgebung werden erhöhte Leitfähigkeiten und eine Zunahme an Salzvegetation festgestellt. Betrachtet man den Rippbach, so wird eine erstmalige Zunahme der Leitfähigkeit mit Eintritt der Quelle der ehemaligen Gemeinde Dorfborn festgestellt. Entlang des Rippbaches kommt es zu leichten Schwankungen der Leitfähigkeit, was auf verschiedene Zutritte mit unterschiedlichen Salzgehalten entlang des Verlaufes bis zum Kirschbach zurückgeführt wird. Allerdings wurden bei Wiederholungsmessungen an einem Wehr am Rippbach starke Schwankungen im Mai, Juni und September 2017 zwischen 1263 und 7160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ festgestellt.

Dies zeigt die starke Dynamik, die sich auch in den später von K+S (2025a) dokumentierten Schwankungen in der Gesamtmineralisation der Quellen niederschlägt. Beispielhaft sind in Abbildung 23, Abbildung 24, Abbildung 26 und Abbildung 25 die Zeitreihen von Typhusbrunnen, Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn, Quelle des Kirschbaches und Quelle Alte Wiese dargestellt. An allen diesen Quellen lässt sich eine Tendenz zur Abnahme der Salzgehalte über die Wintermonate und zur Erhöhung in den Sommermonaten erkennen. Vergleicht man die Entwicklung der Gesamtmineralisation an der Quelle Alte Wiese (Abbildung 25) und der Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn (Abbildung 24), so zeigen beide einen relativ ähnlichen zeitlichen Verlauf mit geringen saisonalen Salinitätsspitzen vor 2020 und deutlich höheren Spitzen danach, wobei die Spitzen bei der Quelle Alte Wiese deutlich höher ausfallen.

Im Vergleich zu den beiden oben genannten Quellen, nimmt die Ausprägung dieser Spitzen an der Kirschbachquelle seit 2018 tendenziell ab. Eine Ursache hierfür könnte in den Einzugsgebieten liegen, welche zum jetzigen Zeitpunkt nur durch HGN (2024) für die Quelle Alte Wiese näher betrachtet wurden.

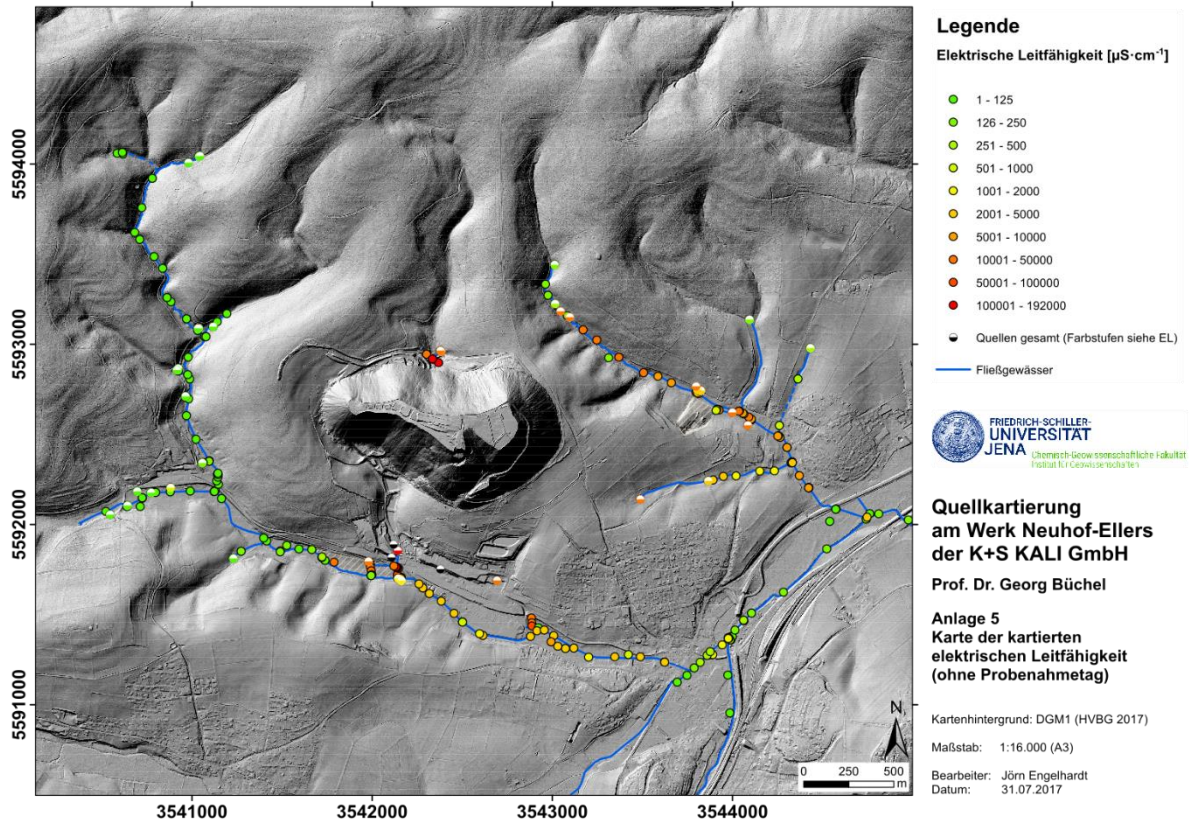


Abbildung 22: Elektrische Leitfähigkeiten in Oberflächengewässern (Uni Jena, 2017)

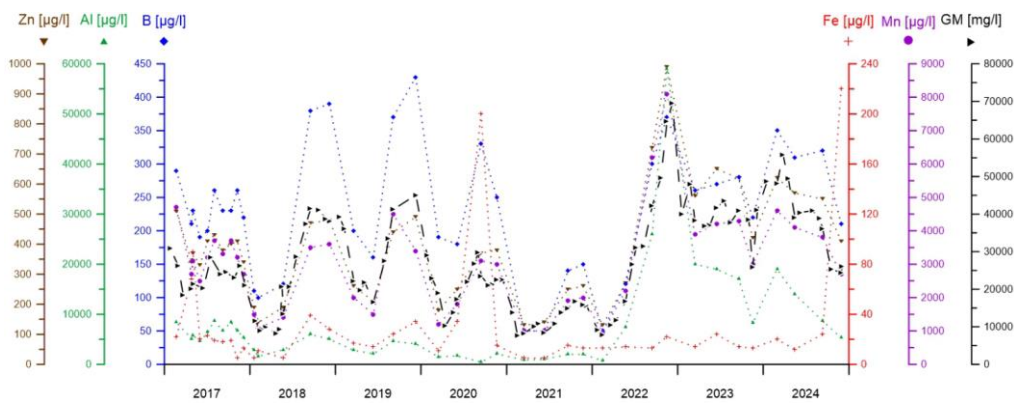


Abbildung 23: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn am Typhusbrunnen (K+S, 2025a)

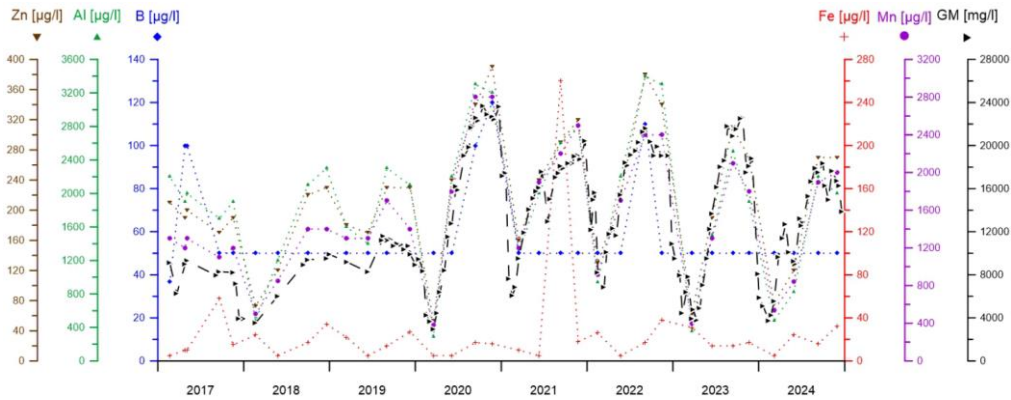


Abbildung 24: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe, Mn an der Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn (K+S, 2025a)

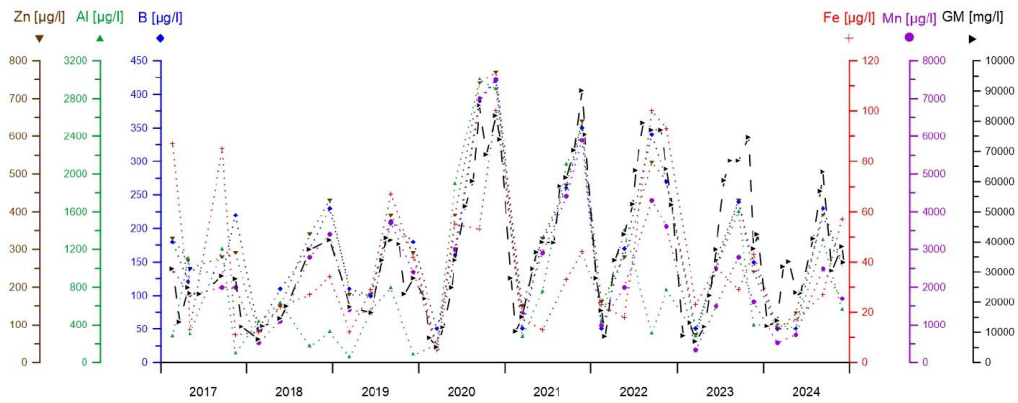


Abbildung 25: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Quelle Alte Wiese (K+S, 2025a)

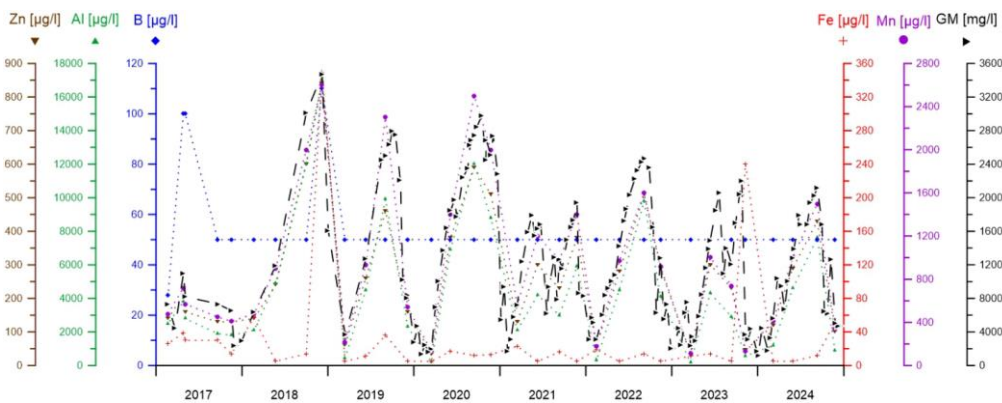


Abbildung 26: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Quelle Kirschbach (K+S, 2025a)

Einzugsgebiete der Quellen

Aufgrund der komplexen Interaktion von Hauptgrundwasserleiter, schwebenden Grundwasserleitern und Klüftungen ist es schwierig, die Einzugsgebiete der jeweiligen Quellen abzustecken. In HGN (2024) wurde dies für die Alte Wiese-Quelle versucht, wobei das oberirdische Einzugsgebiet auf 4,6 ha, das unterirdische auf 30,1 ha geschätzt wird. Während sich allerdings das oberirdische Einzugsgebiet durch die Topographie relativ klar abgrenzen lässt, ist die Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes deutlich schwieriger und mit hohen Unsicherheiten verknüpft. HGN (2024) entschied sich teilweise für eine Übertragung der oberirdischen auf die unterirdischen Einzugsgebietsgrenzen (u.a. der Hanglage im Osten). Darüber hinaus wurde die rheinische Kluft, die das Alte Wiese-Tal durchläuft, und die herzynische Kluft, die entlang des Rippbaches verläuft, als nordwestliche und nordöstliche Grenzen des Einzugsgebietes angesetzt. Im südlichen Teil des Einzugsgebietes verläuft die Halde. Aus diesem Bereich stammen höchstwahrscheinlich die gelösten Salze im Wasser der Quelle Alte Wiese (HGN, 2024).

HGN (2024) gibt eine Gesamtschüttung der Quelle von ca. 150.000 m³/a an, wovon ca. 15.000 m³/a aus dem Bereich der Halde hinzuströmen. Allerdings konnten mit den in Abbildung 27 dargestellten Einzugsgebieten lediglich 40.000 – 60.000 m³/a Schüttung erklärt werden. Als Erklärung dafür wird durch HGN (2024) ein erhöhter hypodermischer Abfluss vermutet. Ein erhöhter Anteil an Wasser aus dem Haldenbereich in der Quelle wird aufgrund der relativ geringen mittleren Gesamtmineralisation der Quelle (17 g/l) gegenüber der erwarteten Mineralisation des Wassers aus der Halde (343 g/l) als mögliche Erklärung ausgeschlossen.

Es ist aus Sicht der wiss. Begleitung allerdings nicht auszuschließen, dass das unterirdische Einzugsgebiet nördlich über die rheinische und herzynische Kluft hinausgeht. Dies wäre insbesondere aufgrund der bereits von Fritsche (2016) vermuteten erhöhten Wasserwegsamkeiten entlang der Klüfte plausibel, die den Bereich nördlich eher drainieren als abgrenzen würden.

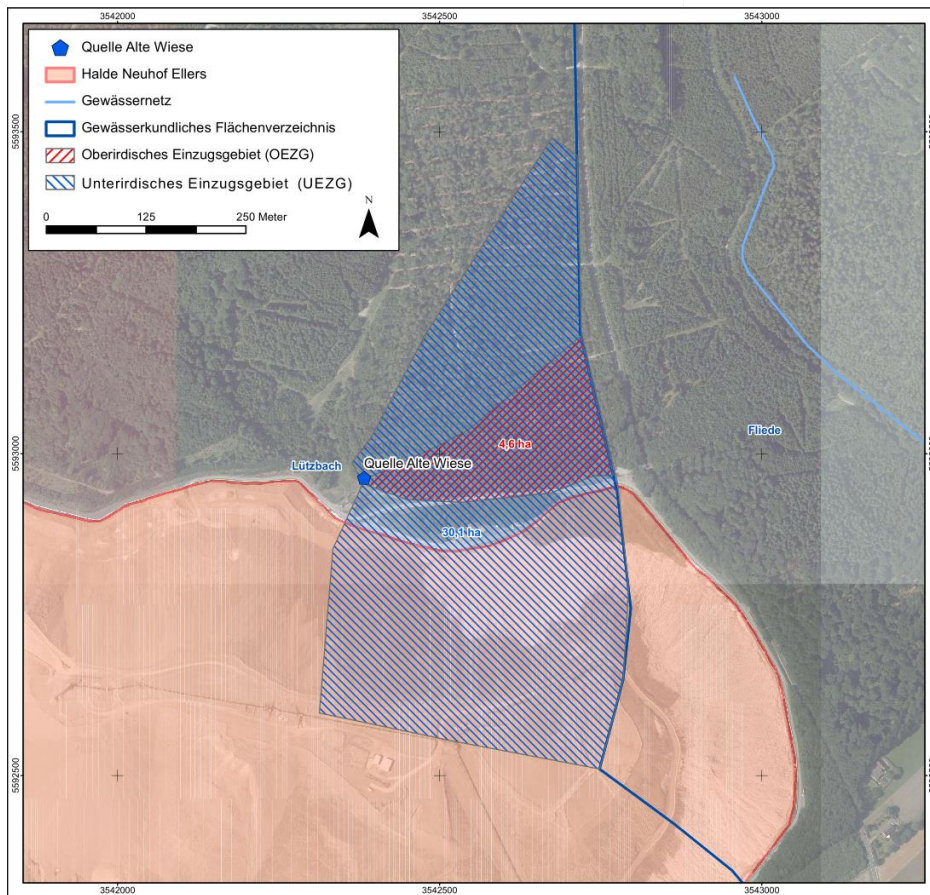


Abbildung 27: Von HGN (2024) abgegrenzte Einzugsgebiete der Quelle Alte Wiese

Darüber hinaus lässt die bereits beschriebene Ähnlichkeit der Salinitätsdynamik in der Quelle Alte Wiese und der Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn (siehe Abbildung 24 und Abbildung 26) vermuten, dass ein hydraulischer Zusammenhang zwischen den beiden Quellen besteht, welcher in der rheinischen und herzynischen Störung erklären lassen könnte. Beide Störungen treffen sich zwischen den beiden Quellen und könnten durch ihre erhöhte Wasserwegsamkeit drainierend sowohl auf das von Norden her anströmende, salzarme Grundwasser, als auch auf das von Süden anströmende, salzreichere Grundwasser wirken. Diese Nordströmung – die mit Blick auf den Grundwassergleichenplan zunächst unplausibel wirkt – wäre auf zwei Weisen denkbar:

- a) Der bereits identifizierte schwebende Grundwasserleiter könnte Sickerwasser aus der Halde auffangen und das Wasser unabhängig von der Strömung im Hauptgrundwasserleiter nordwärts fließen lassen.
- b) Die Grundwasserneubildung in Teilen der Halde kombiniert mit der zuvor erwähnten Dichteerhöhung im Grundwasser des Haldenbereiches lassen im Hauptgrundwasserleiter ein hydraulisches Potential entstehen, dass entgegen der natürlichen Grundwasserströmung wirkt.

HGN (2024) geht von ersterem Mechanismus aus, was sich nachvollziehen lässt, da die Dynamik der Salinität im schwebenden Grundwasserleiter (siehe Abbildung 28) ähnliche saisonale Schwankungen

aufweist wie die Quelle Alte Wiese (siehe Abbildung 25). Allerdings scheint die Gesamtmineralisation in der Quelle Alte Wiese sich überwiegend in ähnlichen Bereichen zu bewegen, wie die im schwebenden Grundwasserleiter. In den Jahren 2021/2022/2023 liegen die Salinitätsspitzen in der Quelle Alte Wiese sogar deutlich über denen der flachen GW-Messstelle. Dies würde bedeuten, dass das Wasser aus dem schwebenden Grundwasser gänzlich unverdünnt von Grundwasserneubildung und hypodermischem Abfluss der Quelle zuströmen würde, was dem konzeptionellen Modell von HGN (2024) widersprechen würde.

Diese Beobachtungen ließen sich fachlich nachvollziehbarer erklären, wenn man davon ausginge, dass die Quelle Alte Wiese aus dem Hauptgrundwasserleiter (vermischt mit salzärmerem Wasser) gespeist wird, der über das ganze Jahr hinweg eine deutlich höhere Gesamtmineralisation als die Quelle selbst aufweist (siehe Abbildung 29). Auf diese Möglichkeit wird auch durch Krupp (2025) verwiesen, der durch Na/Cl und Mg/SO₄-Plots die Wässer der Quellen Alte Wiese und der ehem. Gemeinde Dorfborn eher mit der Messstelle im Haupt-GWL als im schwebenden GWL in Verbindung setzt (siehe Abbildung 30 und Abbildung 31).

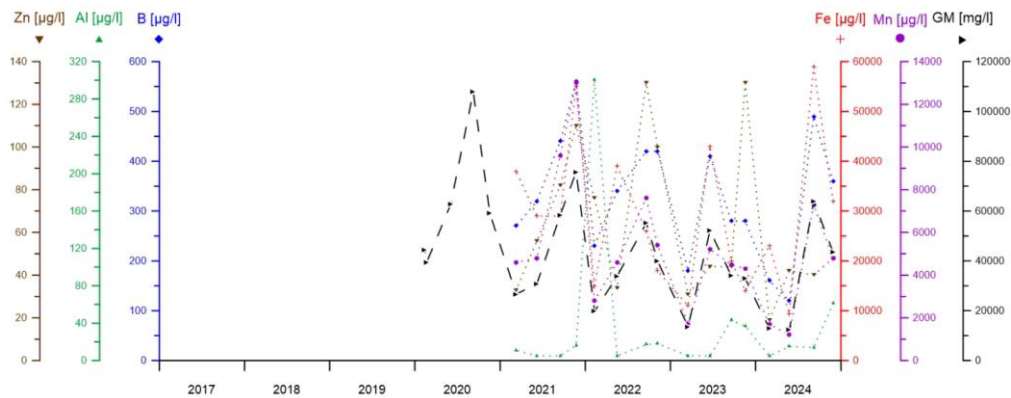


Abbildung 28: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Grundwassermessstelle „GWM 14/2018 NE (sm) flach“ (K+S, 2025a), die in 8-13 m u. GOK verfiltert ist und mit dem schwebenden Grundwasserleiter assoziiert wird.

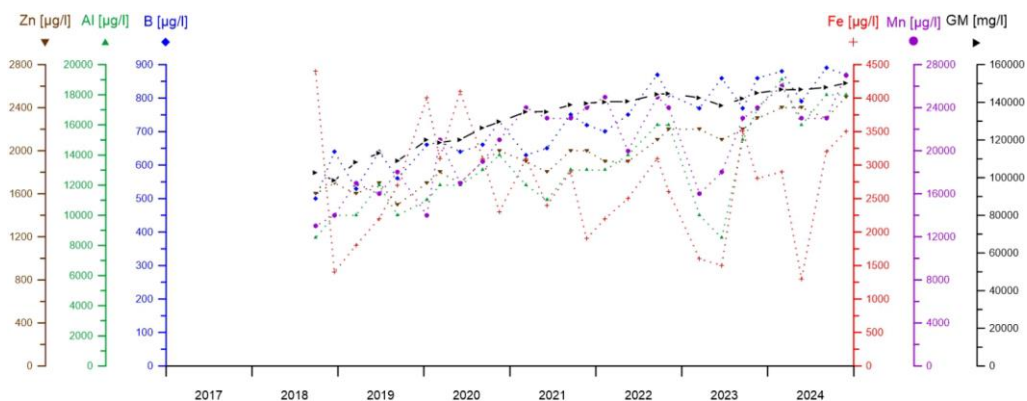


Abbildung 29: Entwicklung der Gesamtmineralisation und von Zn, Al, B, Fe und Mn an der Grundwassermessstelle „GWM 14/2017 NE (sm)“ (K+S, 2025a), die in 29-39 m u. GOK verfiltert ist und mit dem Hauptgrundwasserleiter assoziiert wird.

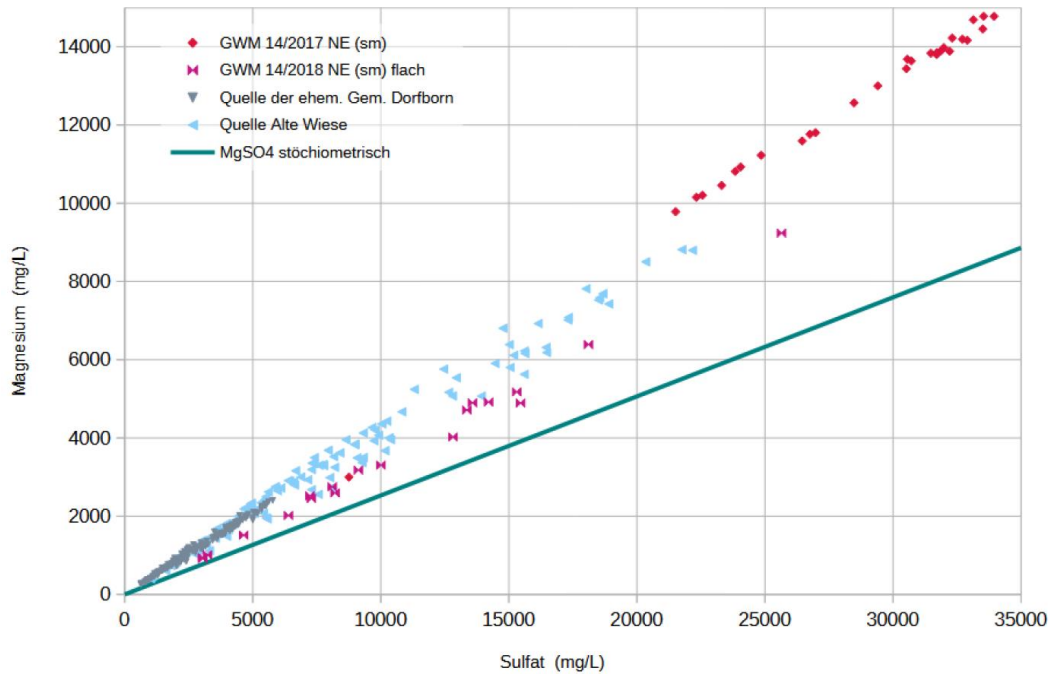


Abbildung 30: Korrelation Mg und SO_4^{2-} für die Wässer der beiden Quellen und der unterschiedlich tiefen Grundwassermessstellen (Krupp, 2025), wobei die Quellwässer eher als Verdünnungen des Grundwassers in der tiefen Messstelle erscheinen, während die Wässer der flachen Messstelle eher eine abweichende Signatur aufweisen.

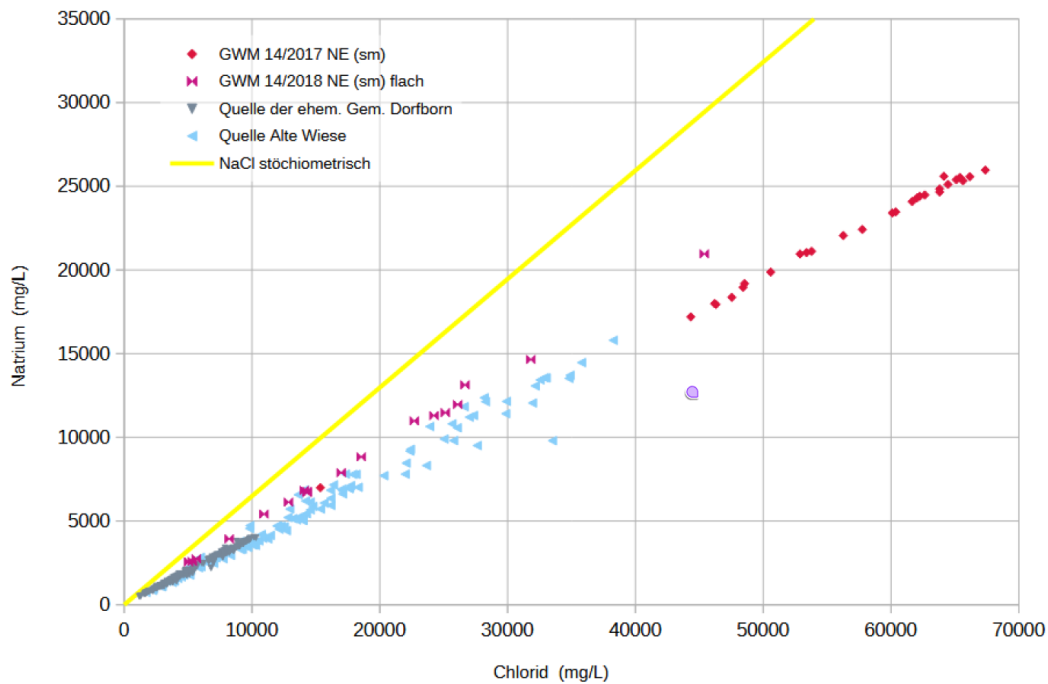


Abbildung 31: Korrelation Na und Cl für die Wässer der beiden Quellen und der unterschiedlich tiefen Grundwassermessstellen (Krupp, 2025), wobei die Quellwässer eher als Verdünnungen des Grundwassers in der tiefen Messstelle erscheinen, während die Wässer der flachen Messstelle eher eine abweichende Signatur aufweisen.

Aufgrund der relativ geringen Messstellendichte im Norden der Halde ist es leider zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich, eines der beiden Szenarios komplett auszuschließen. Für das konzeptionelle Verständnis lässt sich aber sagen, dass das salzige Wasser höchstwahrscheinlich von Süden her – entweder durch den Haupt- oder den schwebenden GWL – bis zu den Klüften strömt und sich dort mit dem von Norden anströmenden weniger salzigen Grundwasser vermischt. Das Mischwasser würde dann über die Klüfte den beiden Quellen zuströmen.

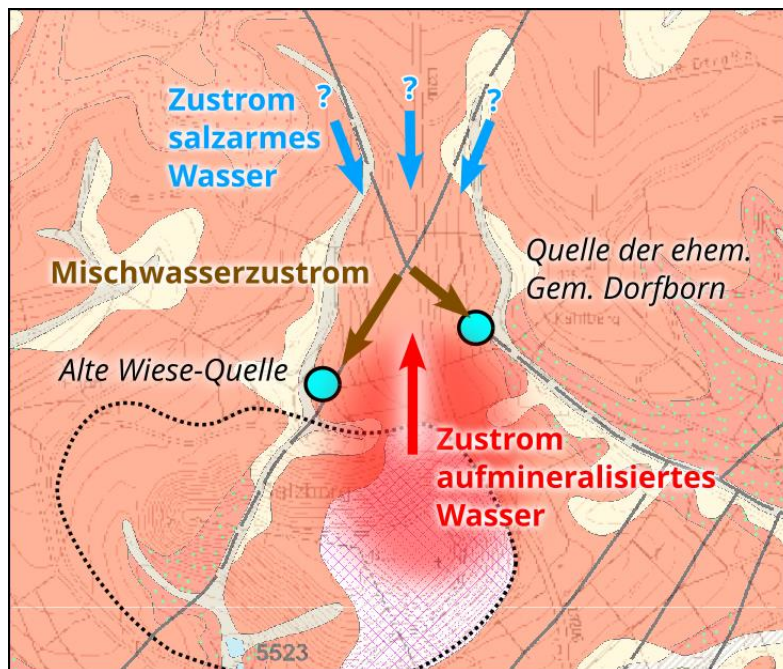


Abbildung 32: Arbeitshypothese für die Speisung der Quelle Alte Wiese und der Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn (geologische Karte im Hintergrund von HLNUG, 2025). Während von Süden her vor allem salzhaltiges Wasser aus dem Haldenbereich heranströmt (roter Pfeil), könnte aus einem Bereich unbekannter Größe nördlich der Kluft salzarmes Wasser zuströmen (blaue Pfeile). Die Ausmaße vermuteter schwebender Grundwasserleiter, die im Rahmen von Hypothese a) an diesem Prozess beteiligt sein könnten sind durch den rot hinterlegten Bereich angedeutet, im Detail aber nicht bekannt.

Der Kirschbachquelle (siehe Abbildung 26) wird – aufgrund der geografischen Nähe – dagegen wohl eher aus dem östlich/südöstlichen Bereich der Halde gespeist und somit vorwiegend aus dem Hauptgrundwasserleiter, sowie aus der Grundwasserneubildung in diesem Bereich. Dies legt auch die Ähnlichkeit der Ionenverhältnisse in der Kirschbachquelle und der flachen Messstelle „GWM10/2017 NE (sm)“ im Südosten der Halde nahe (Krupp, 2025). Die abnehmenden Salinitätsspitzen in der Kirschbachquelle seit 2019 könnten sich auf die tendenziell feuchteren Jahre seit diesem Zeitpunkt zurückführen lassen, die zu einer Verdünnung in der Quelle geführt haben könnten. Die Gesamtmineralisation im angrenzenden Grundwasser blieb im gleichen Zeitraum laut K+S (2025a) in der Messstelle „GWM10/2017 NE (sm)“ nahezu unverändert.

Monitoring der Salzgehalte im Grundwasser

Geoelektrische Messungen

Für die nicht-invasive Untersuchung von Salzwasseranteilen im Grundwasser wurden seit 2010 geoelektrische Untersuchungen im Umfeld der Halde durchgeführt. Die hier detektierten elektrischen Widerstände im Untergrund lassen indirekt den Salzgehalt des Grundwassers rückschließen, wobei ein niedriger elektrischer Widerstand (=eine hohe elektrische Leitfähigkeit) mit einer höheren Salinität korreliert. Es gilt dabei allerdings zu beachten, auch die Lithologie, der Aufbau und die Zusammensetzung des Untergrundes und anthropogene Strukturen einen Einfluss auf Messergebnisse haben können. GGL (2024) sieht in der Interpretation der Ergebnisse die Bereiche mit $>150 \Omega m$ als „wenig bis gar nicht von mineralisierten Wässern beeinflusst“, Bereiche mit $<50 \Omega m$ als „von mineralisierten Wässern stärker beeinflusst“ und Bereiche mit $<10 \Omega m$ als „extrem stark mineralisiert“.

Die Lage der im Jahr 2024 abgemessenen Profile ist in Abbildung 33 dargestellt. Die Messungen fokussieren sich einerseits auf den südwestlichen Teil im Bereich des Typhusbrunnens, andererseits auf den Teil östlich der Halde entlang des Rippbaches. Seit 2022 wurden auch Messungen im Nordteil der Halde in der Nähe der Quelle Alte Wiese durchgeführt (GGL, 2024).

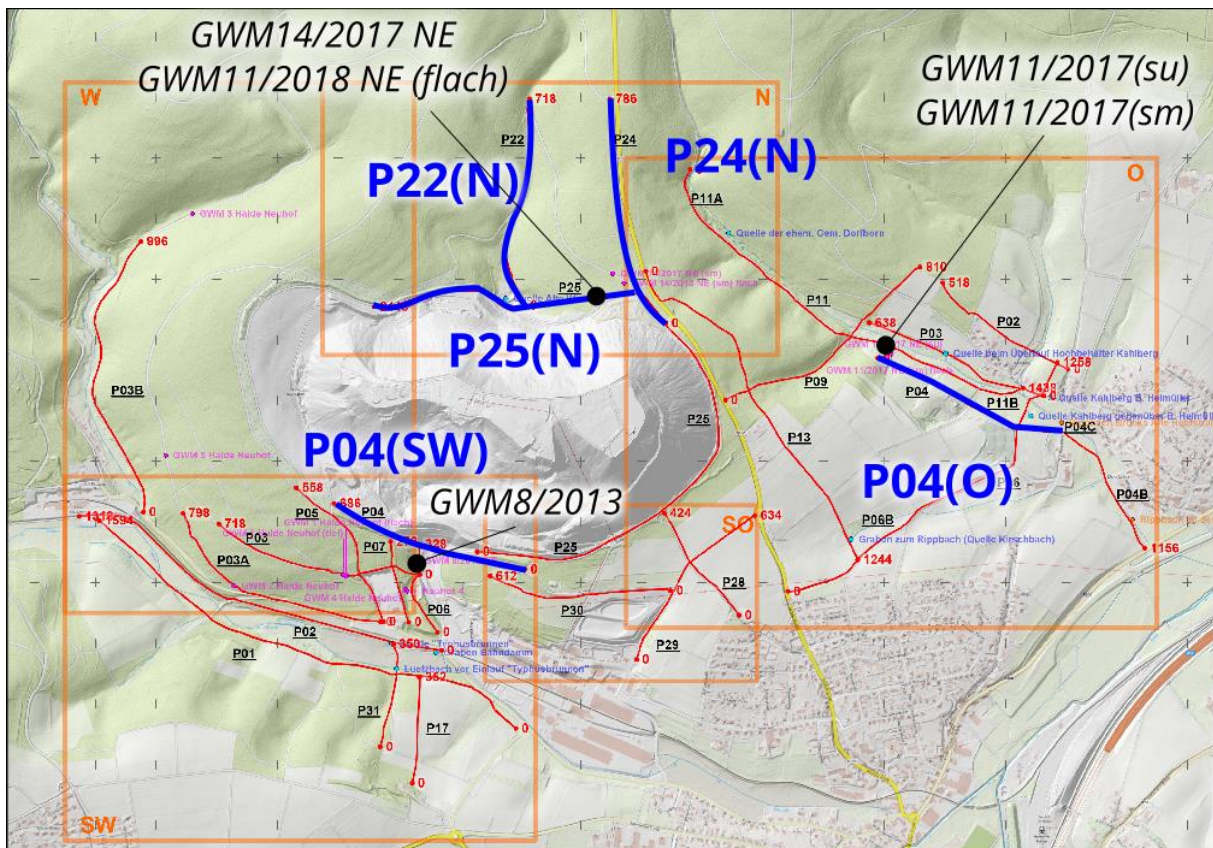


Abbildung 33: Lage der Geoelektrikprofile während der Messkampagne in 2024 (in Anlehnung an GGL, 2025); Die Profile P04 und P11, sowie die Position der Messstellen GWM8/2013 und GWM11/2017 wurden von der wiss. Begleitung hervorgehoben und werden exemplarisch in Abbildung 35 und Abbildung 37 gezeigt.

Ein Vergleich der interpolierten Messungen im Bereich südwestlich der Halde über die letzten Jahre findet sich in Abbildung 34. Aufgrund der ähnlichen Lage der Profile ist davon auszugehen, dass die relativen Veränderungen zwischen den Jahren größtenteils auf Salinitätsveränderungen im Grundwasser zurückzuführen sind. Auch wenn der Umriss des interpolierten Bereichs sich über die Jahre verändert, so ist doch ein allgemeiner Trend zu höheren elektrischen Leitfähigkeiten, insbesondere im Bereich des Lützbaches um den Typhusbrunnen zu erahnen. Betrachtet man das Profil P04(SW) südwestlich der Halde (Abbildung 35), so sieht man dort eine ähnliche Dynamik wie im Horizontalschnitt in Abbildung 34 mit einer erhöhten elektrischen Leitfähigkeit im westlichen Teil.

Wie die salzhaltigen Wässer genau in diese Bereiche strömen, lässt sich nur anhand der geoelektrischen Messungen leider nicht sagen. Es könnte mit der Restinfiltration im westlichen (vergüteten) Teil der Halde zusammenhängen. Allerdings ist auch ein Eintritt salzhaltiger Wässer aus dem Alte Wiese-Tal in die gut leitfähigen Sedimente des Lützbaches denkbar, wo sie sich – evtl. bedingt durch die höhere Dichte – entgegen der Oberflächenströmung nach Westen ausbreiten.

Östlich der Halde sieht das Bild etwas anders aus, wie auf Abbildung 36 zu sehen ist. Entlang des Rippbaches lässt sich eine leicht erhöhte elektrische Leitfähigkeit erkennen, die aber in ihrer Intensität deutlich schwächer ausgeprägt ist als im Bereich des Lützbaches. Auch scheint die Entwicklung weniger dynamisch und es wird praktisch keine horizontale Ausbreitung der höher salinaren Bereiche festgestellt. Dies zeigt sich auch im Profil P04 (O), welches parallel zum Rippbach verläuft. Dort scheint der Bereich erhöhter elektrischer Leitfähigkeit im Südosten des Profils sich in tiefere Bereiche verlagert und räumlich etwas vergrößert zu haben, gleichzeitig ist die maximale elektrische Leitfähigkeit in diesem Bereich eher etwas zurückgegangen. Darüber scheint sich unmittelbar unterhalb der Geländeoberkante ein Bereich mit sehr niedriger Leitfähigkeit auszubilden, was auf einen Rückgang der Salinität in diesem Bereich hindeutet.

Die genauen Ursachen für dieses Phänomen lassen sich nur vermuten: Eine Verlagerung der salzhaltigen Wässer in tiefere Zonen wäre aufgrund der Dichteunterschiede und der Wegsamkeiten entlang der Kluft im Rippbachverlauf möglich. Die Abschwächung der elektrischen Leitfähigkeiten und die Ausbildung eines Bereiches niedriger elektrischer Leitfähigkeit wiederum könnte auf eine Abnahme des Zustroms salzhaltiger Wässer entlang des Rippbaches hindeuten. Dies könnte auch mit der Abschwächung der Leitfähigkeitsspitzen in der Kirschbachquelle (siehe Abbildung 26) zusammenhängen.

Im Norden der Halde wurde in den Jahren 2022 und 2024 das Profil P25 verlängert, und zwei weitere Profile (P22N und P24N) dokumentiert (siehe Abbildung 38 und Abbildung 39). Hier lässt sich deshalb leider nur ein Trend über die letzten zwei Jahre vermerken, der allerdings auf eine überwiegend vertikale Verlagerung hinzudeuten scheint. Insgesamt erscheint in P24N die erhöhte elektrische Leitfähigkeit ab einem gewissen Abstand zur Halde auf Schichten unterhalb 10-20 m u. GOK beschränkt zu sein, was eine horizontale Ausbreitung über den Hauptgrundwasserleiter möglich erscheinen lässt, dessen Wasserspiegel ebenfalls in diesem Bereich vermutet wird. Auch im Alte Wiese-Tal ist ab einem gewissen Abstand zur Halde eine merkbare Schicht mit niedriger Leitfähigkeit zwischen salzhaltigem Grundwasser und der GOK zu vermerken. Insgesamt erscheint es kontraintuitiv, die erhöhten Leitfähigkeiten im Norden der Halde zu sehen, da der Grundwassergleichenplan (siehe Abbildung 21) eine hauptsächlich südwärts gerichtete Strömung vermuten lässt. Allerdings gilt es auch hier wieder

zu betonen, dass dieser Plan nur als grobe Orientierung dienen kann und die Strömungsverhältnisse auf kleinerer Skala durch Untergrundheterogenitäten und Dichteeffekte abweichen können.

Es muss allerdings angemerkt werden, dass die elektrischen Leitfähigkeitsmessungen auch durch andere Faktoren beeinflusst werden können als die elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers selbst. So könnten auch die Witterungsverhältnisse in den Wochen vor der Messung, bauliche Veränderungen im Untergrund, leichte Abänderungen der Profilroute oder schlicht und einfach Unsicherheiten und Messfehler die Ursache sein. Im Großen und Ganzen deckt sich das Bild der Geoelektrik allerdings mit dem der Analysen an den Grundwassermessstellen und bietet einen wichtigen Baustein zur Überwachung der Salzausbreitung im Grundwasser.

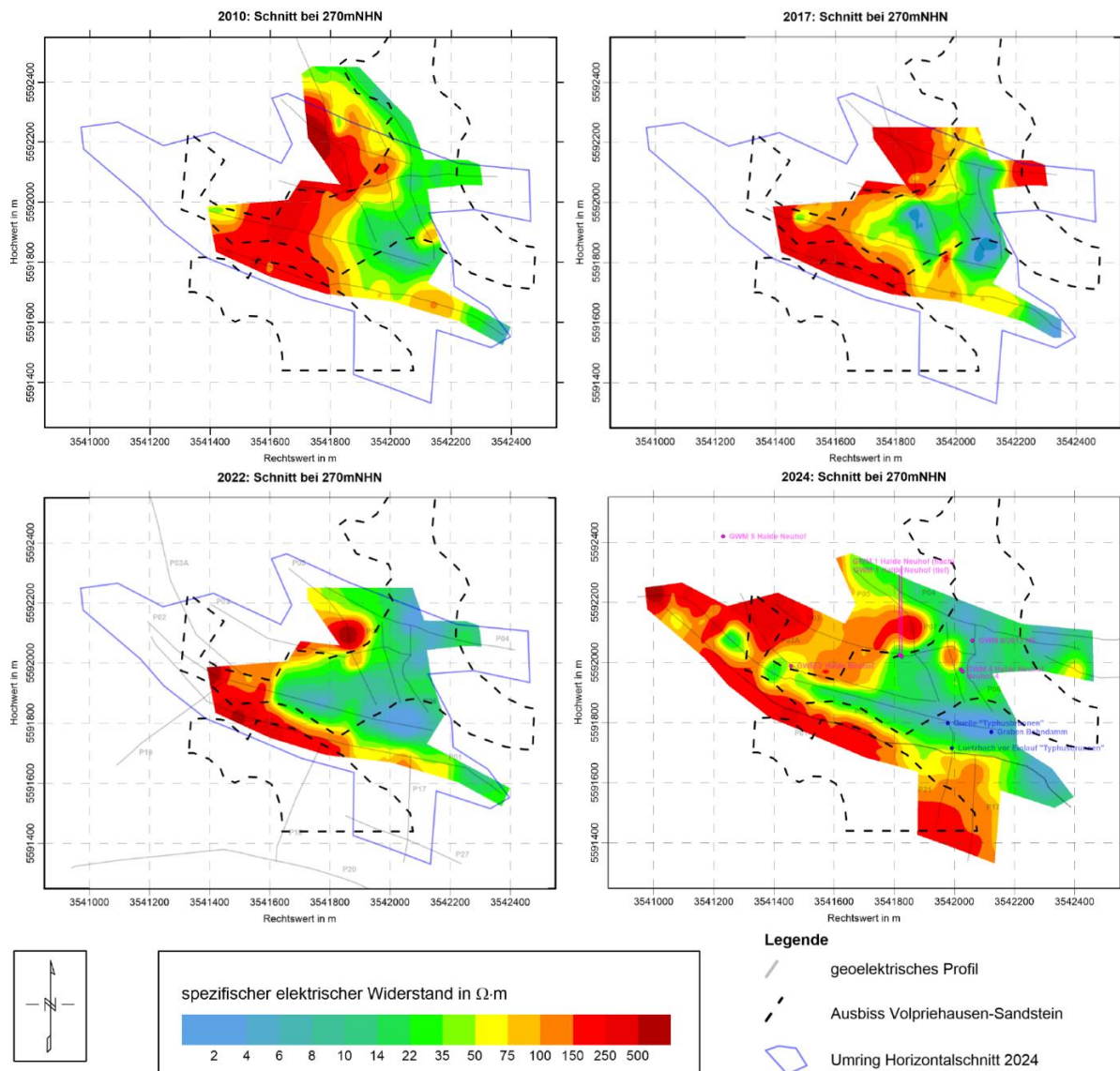


Abbildung 34: Vergleich der interpolierten Geoelektrikmessungen im Bereich südwestlich der Halde (Nähe Lützbach) zwischen 2010 und 2024 (in Anlehnung an GGL, 2025; Formatierung von wiss. Begleitung angepasst).

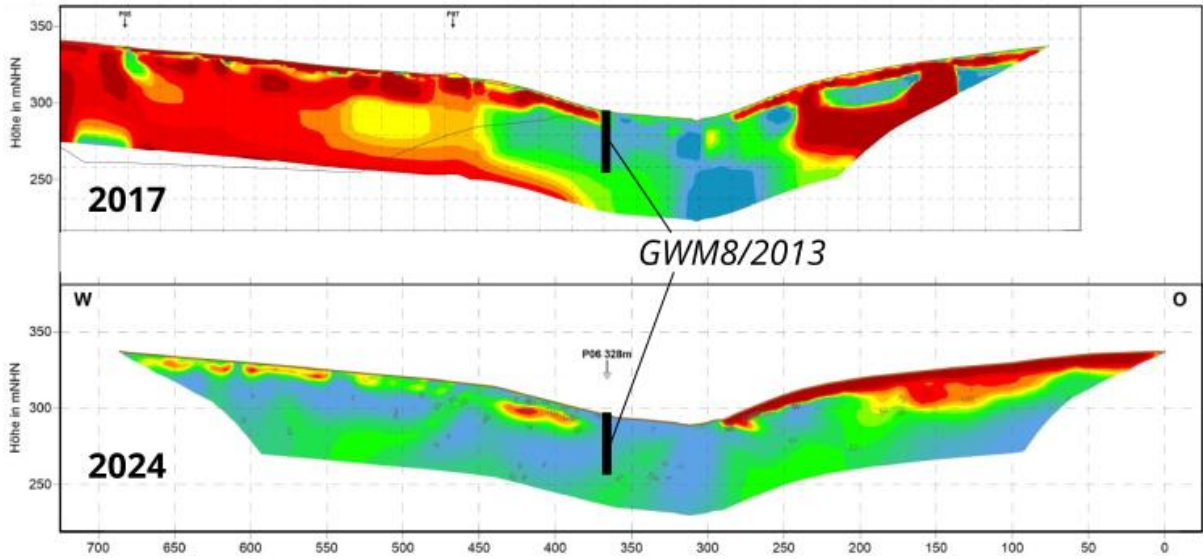


Abbildung 35: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P04(SW) südwestlich der Halde (in Anlehnung an GGL, 2017; GGL, 2025; Position der Messstelle GWM8/2013 von wiss. Begleitung eingefügt); Skala in Abbildung 36

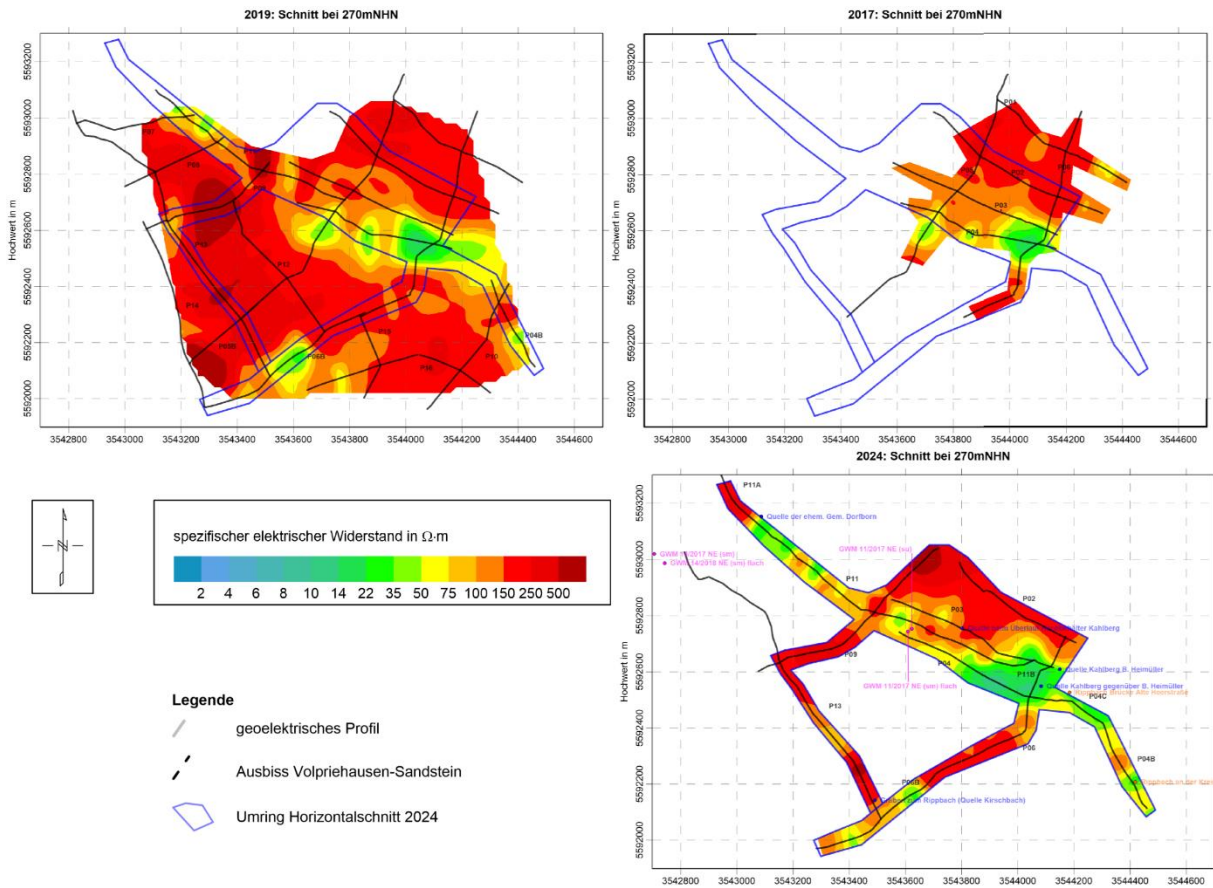


Abbildung 36: Vergleich der interpolierten Geoelektrikmessungen im Bereich östlich der Halde (Nähe Rippbach) zwischen 2017 und 2024 (in Anlehnung an GGL, 2025; Formatierung von wiss. Begleitung geändert).

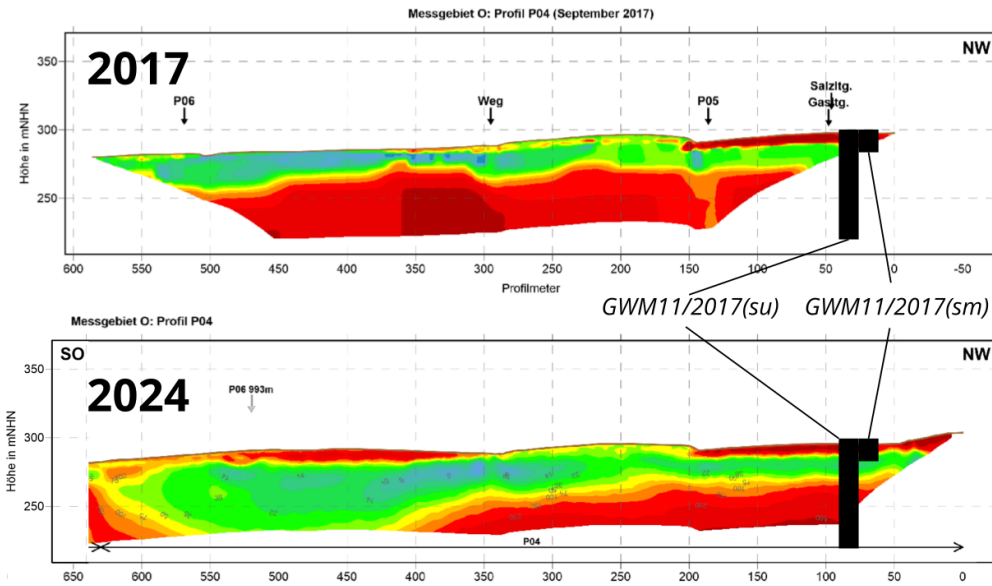


Abbildung 37: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P04(O) östlich der Halde (in Anlehnung an GGL, 2017; GGL, 2025; Position der Messstelle GWM11/2017 von wiss. Begleitung eingefügt), Skala siehe Abbildung 36

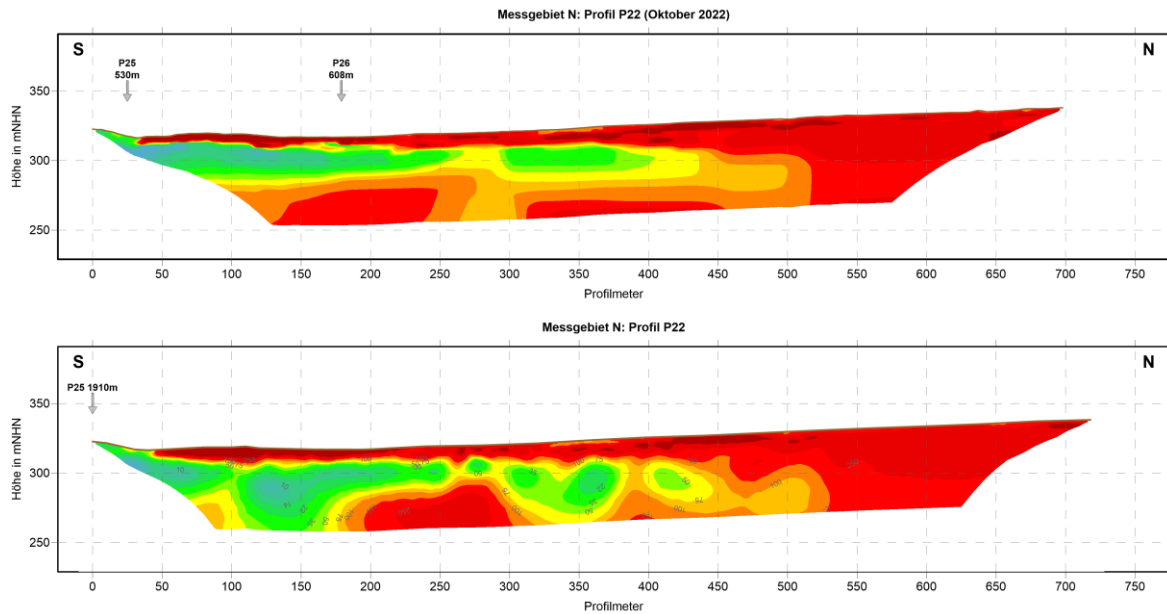


Abbildung 38: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P22 (nördlich der Halde entlang des Alte Wiese-Tals) in 2022 (oben) und 2024 (unten). Der Bereich erhöhter Leitfähigkeit erscheint in 2022 noch auf eine Schicht zwischen ca. 290 bis 310 m ü. NN beschränkt zu sein, während er 2024 auch in Tiefen von bis zu 250 m ü. NN hinabreicht. Die horizontale Ausbreitung scheint sich in diesem Zeitraum nicht verändert zu haben. (GGL, 2024)

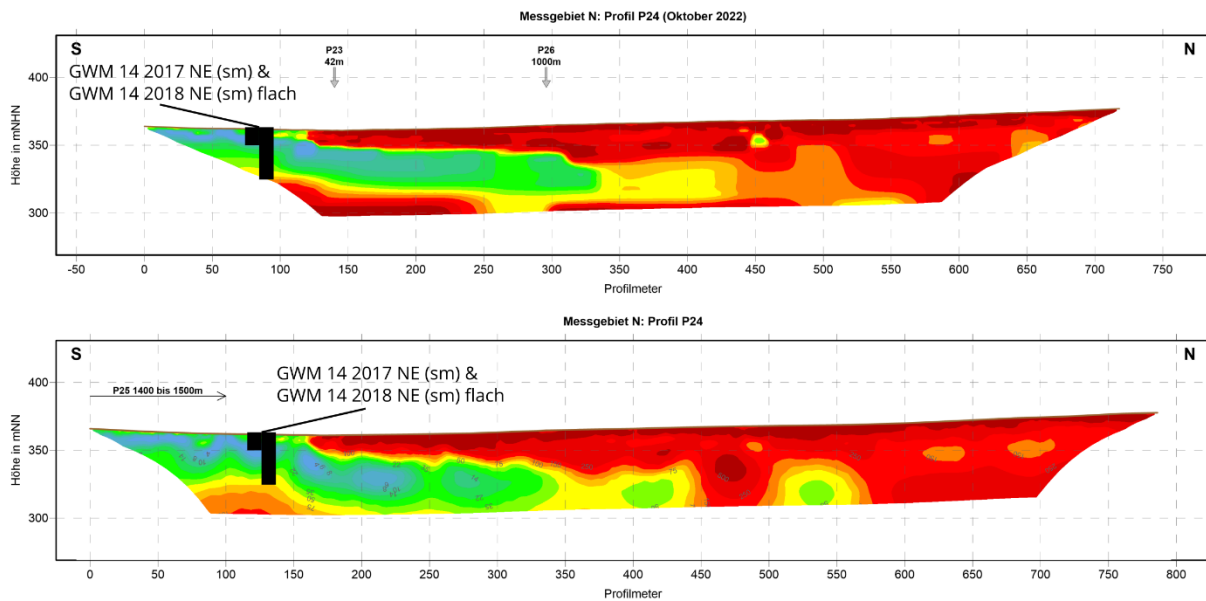


Abbildung 39: Vergleich der geoelektrischen Ergebnisse am Profil P24 (nördlich der Halde östlich des Alte Wiese-Tals) in 2022 (oben) und 2024 (unten). Die beiden eingezeichneten Grundwassermessstellen befinden sich nicht genau auf dem Profil, sondern ca. 150 m westlich. Der Bereich erhöhter Leitfähigkeit erscheint in 2022 noch auf eine Schicht zwischen ca. 320 bis 350 m ü. NN beschränkt zu sein, während er 2024 auch in Tiefen von ca. 300 m ü. NN hinabreicht. Die horizontale Ausbreitung scheint in diesem Zeitraum ebenfalls leicht zugenommen zu haben. (GGL, 2024)

Entwicklung an Grundwassermessstellen

Insgesamt befinden sich im Umfeld der Halde über zwanzig Messstellen, die größtenteils regelmäßig beprobt und hydrochemisch untersucht werden. Darüber hinaus befinden sich in 18 dieser Grundwassermessstellen Sohldrucksonden, die (dichtekorrigiert) die Druckhöhe messen und somit eine beständige Aktualisierung des in Abbildung 21 dargestellten Grundwassergleichensplans erlauben. Dies erlaubt einen Vergleich hydrochemischer und geoelektrischer Untersuchungen.

In Abbildung 40 ist die Entwicklung der Gesamtmineralisation an der Grundwassermessstelle GWM8/2013 (Lage Messstelle in der Karte in Abbildung 33, Profil und Messstellenaufbau in Abbildung 41) aus dem Jahresbericht 2024 (K+S, 2025a) aufgezeigt. Die Messstelle liegt in der Nähe des vorher betrachteten Profils P04(SW).

Ähnlich wie an den Quellen in Abbildung 23 - Abbildung 25 lässt sich eine jahreszeitliche Variation erkennen mit einem Minimum in der ersten und einem Maximum in der zweiten Jahreshälfte. Orientiert man sich an der Gesamtmineralisation und nimmt eine Maximalsättigung von ca. 360.000 mg/l an, so schwankt die Gesamtmineralisation vor 2018 jedes Jahr zwischen <1 % und 20-30 %. In den Jahren 2018 – 2022 finden sich ähnliche Maxima im Herbst, jedoch fallen die Ionenkonzentrationen im Frühling höher aus als in den Jahren zuvor und sinken nur selten unter 10 % Gesamtmineralisation ab. Ab dem Jahr 2022 bleibt die Gesamtmineralisation kontinuierlich auf >40 %. Dies bestätigt das in der Geophysik (siehe Abbildung 34 und Abbildung 35) bereits beobachtete Phänomen einer zunehmenden elektrischen Leitfähigkeit in diesem Bereich.

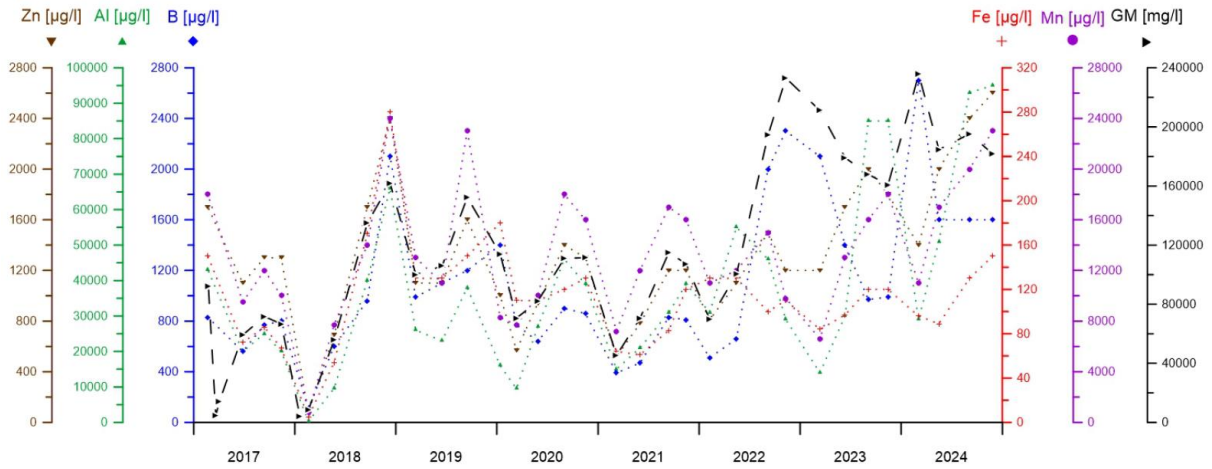


Abbildung 40: Entwicklung der Gesamtmineralisation und der Konzentrationen von Zn, Al, B, Fe und Mn in der Grundwassermessstelle GWM8/2013 (K+S, 2025a)

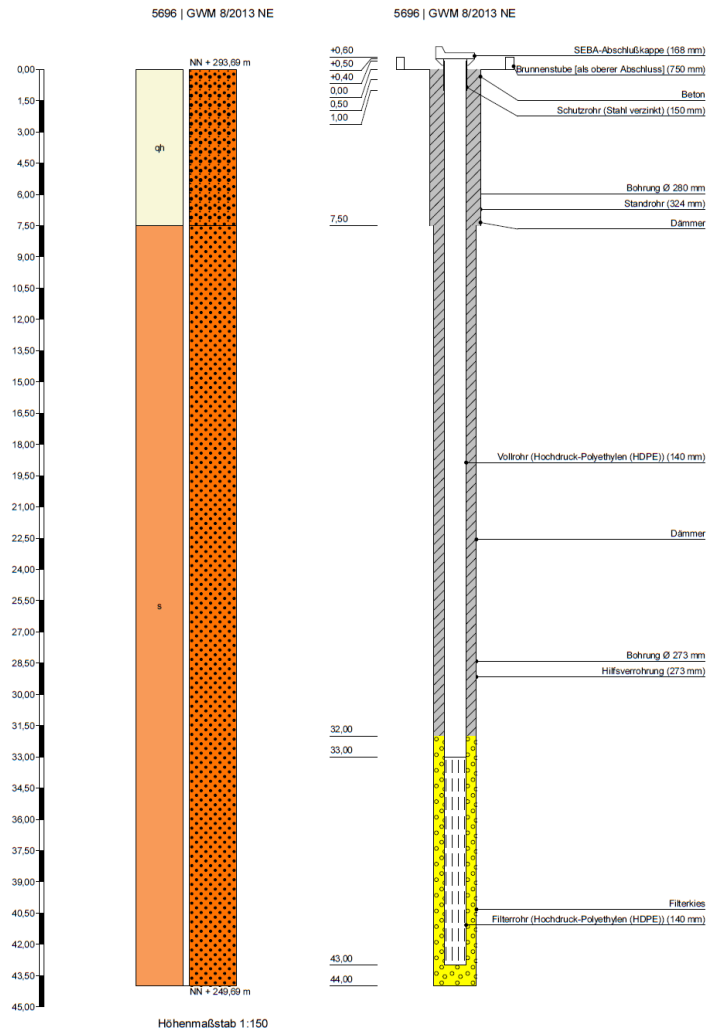


Abbildung 41: Profil und Aufbau der Messstelle GWM8/2013 (K+S, 2025a)

In der Nähe des Profils P04(O) gibt es zwei Messstellen, wobei die flachere GWM11/2017(sm) in 12 m Teufe im Volpriehausen-Sandstein verfiltert ist, während die tiefere GWM11/2017(su) in 80 m Teufe im unteren Buntsandstein verfiltert ist, und damit deutlich tiefer als die Messungen der Geoelektrik (Profile und Aufbau der Messstellen in Abbildung 43 und Abbildung 45/Abbildung 29).

In Abbildung 44 ist die Entwicklung der Gesamtmineralisation und verschiedener Spurenelemente für die tiefere GWM11/2017(su) dargestellt. Vergleicht man die Gesamtmineralisation (GM) in den Proben mit der Vollsättigung (ca. 360.000 mg/l), so wird deutlich, dass das Wasser in diesem Brunnen im Jahr 2024 nur zu weniger als 0,4 % gesättigt ist ($GM < 1000$ mg/l) und somit fast keine Beeinflussung durch Salz (mehr) aufweist. Interessant ist aber, dass es noch in 2017 offenbar eine leicht erhöhte Salzkonzentration von > 5000 mg/l (ca. 1,5 % Vollsättigung) gab, die seit 2017 abnahm. Worauf diese zurückzuführen ist, ist leider unklar.

Die flache Messstelle GWM11/2017(sm) weist eine allgemein höhere Gesamtmineralisation von phasenweise fast 10 % ($GM \approx 30.000$ mg/l) und deutlich stärkere jahreszeitliche Schwankungen auf, die in den Frühlingsmonaten meist auf < 3 % der Vollsättigung ($GM < 10.000$ mg/l) zurückgehen. Der benachbarte Rippbach weist an der Quelle der ehemaligen Gemeinde Dorfborn (siehe Abbildung 24) Schwankungen in ähnlicher Größenordnung auf. Auch die Quelle Kirschbach zeigt ähnliche Mineralisationsgehalte. Dies kann auf eine enge Verbindung zwischen dem flachen Grundwasser und dem Oberflächengewässer hinweisen.

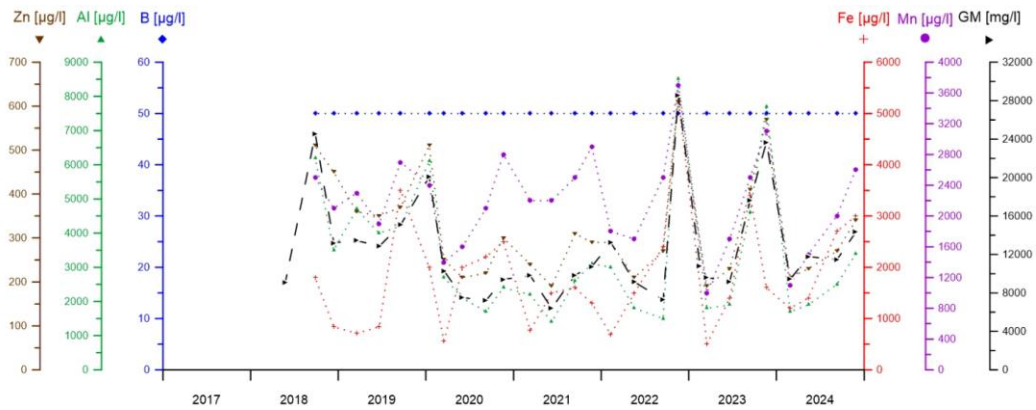


Abbildung 42: Entwicklung der Gesamtmineralisation und der Konzentrationen von Zn, Al, B, Fe und Mn in der Grundwassermessstelle GWM11/2017(sm) (K+S, 2025a)

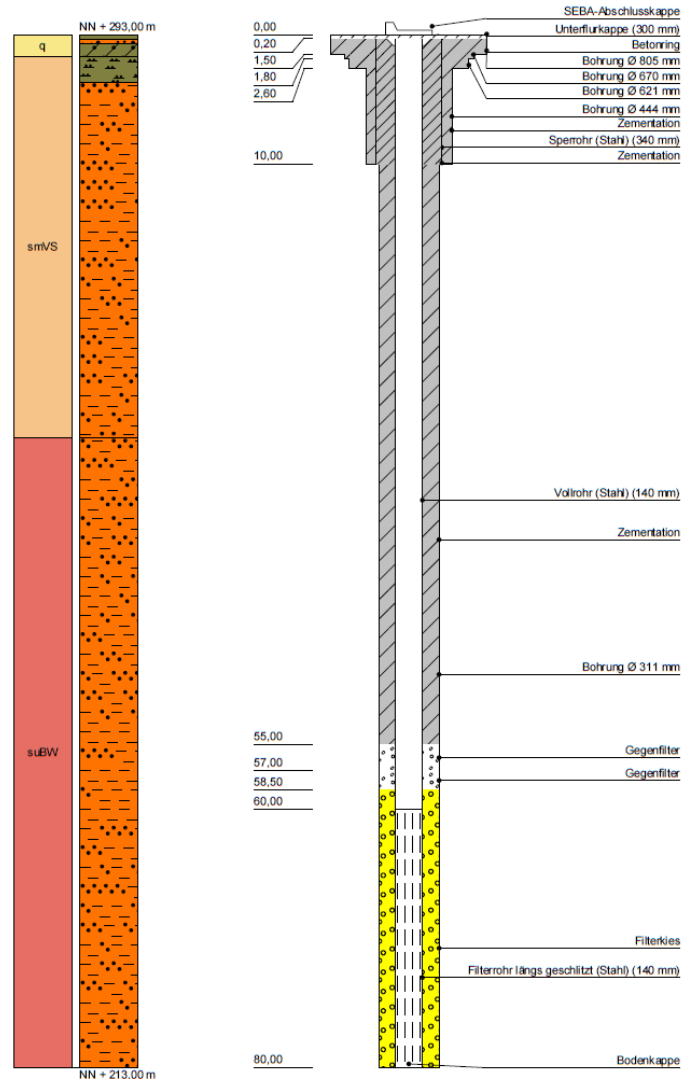


Abbildung 43: Aufbau der Messstelle GWM11/2017(su) (K+S, 2025a)

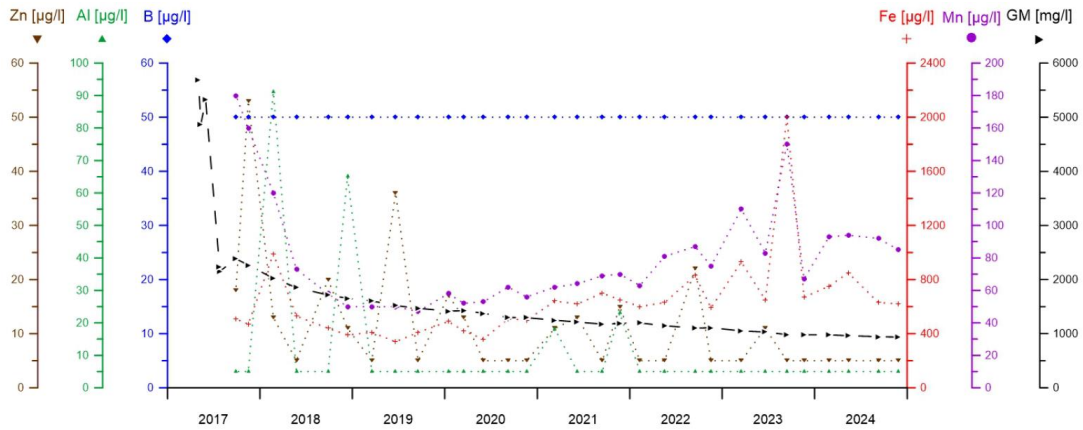


Abbildung 44: Entwicklung der Gesamtmineralisation und der Konzentrationen von Zn, Al, B, Fe und Mn in der Grundwassermessstelle GWM11/2017(su) (K+S, 2025a)

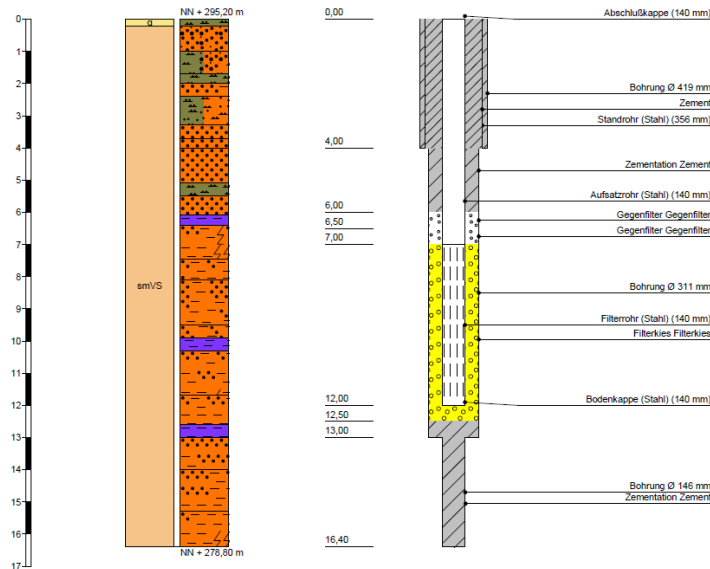


Abbildung 45: Aufbau der Messstelle GWM11/2017(sm) (K+S, 2025a)

Für die beiden Messstellen „GWM 14/2017 NE (sm)“ und „GWM 14/2018 NE (sm) flach“, deren Salinitätsentwicklung bereits in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt wurde, und die mit den Salinitäten in der Alte Wiese-Quelle zusammenhängen könnten, sind die Profile in Abbildung 46 und Abbildung 47 dargestellt.

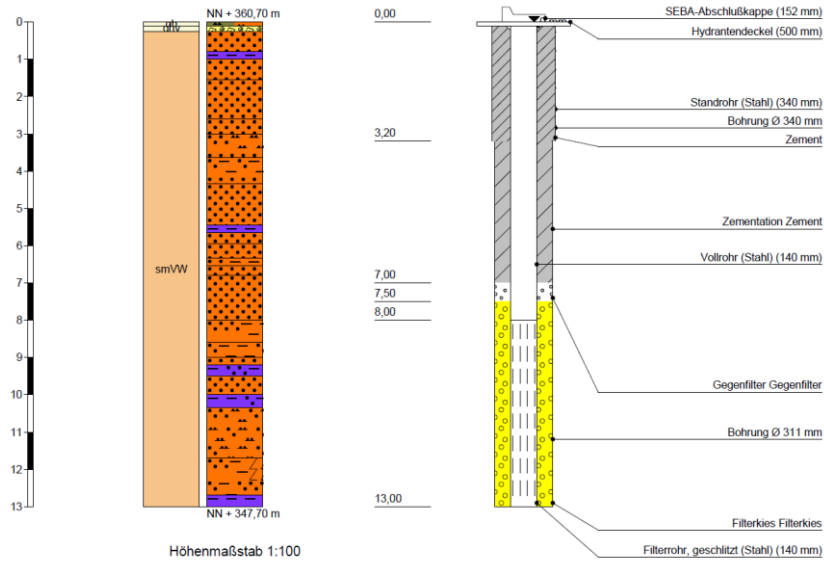


Abbildung 46: Aufbau der Messstelle GWM14/2018 NE(sm) flach (K+S, 2025a). Die Entwicklung der Gesamtmineralisation findet sich in Abbildung 28.

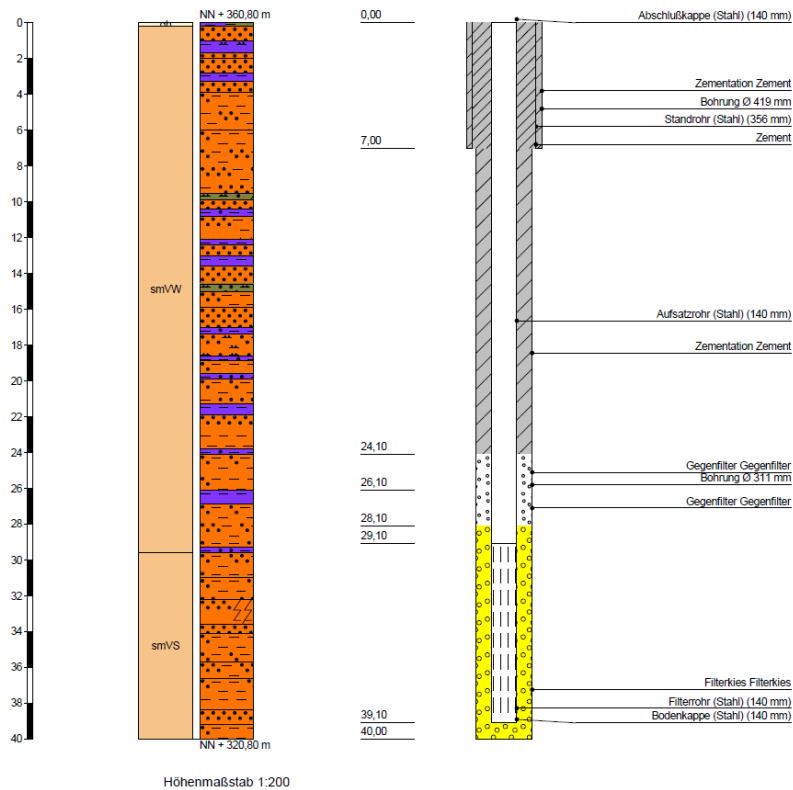


Abbildung 47: Aufbau der Messstelle GWM14/2017 NE(sm) (K+S, 2025a). Die Entwicklung der Gesamtmineralisation findet sich in Abbildung 29.

Versenkung salzhaltiger Abwässer in den Plattendolomit

Erhöhte Salinitäten im Grundwasser des Buntsandsteins müssen nicht zwangsläufig aus dem Sickerwasser der Halde stammen, sondern könnten lokal auch auf andere potentielle Zuströme von aufmineralisiertem Wasser zurückzuführen sein. Ein Beispiel dafür stellt die von 1985 bis 2008 durchgeführte Versenkung salzhaltiger Produktionsabwässer in das Leine-Karbonat (den sog. „Plattendolomit“) dar (K+S, 2018). In Abbildung 48 ist die Stratigraphie des Zechsteins in Nordhessen dargestellt, die sich in leicht variierte Form auch im Raum um Neuhoﬀ-Ellers wiederfindet. Der Plattendolomit ist über weite Strecken sowohl im Hangenden als auch im Liegenden durch undurchlässige tonig-anhydritische Schichten begrenzt und wurde deshalb als geeigneter Speicherhorizont für die salzhaltigen Produktionsabwässer sowohl am Werk Neuhoﬀ-Ellers als auch am Werk Werra angesehen.

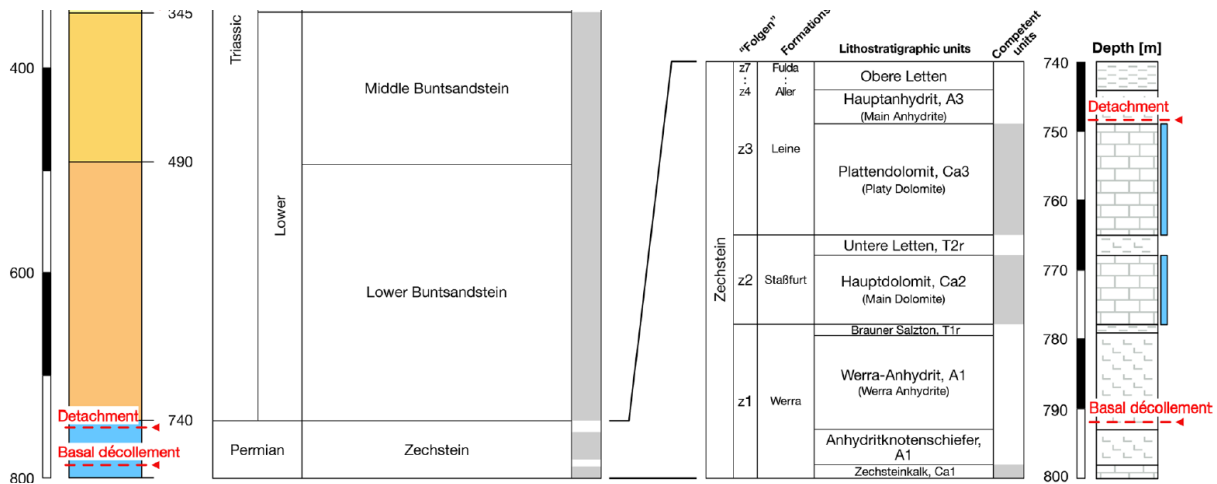


Abbildung 48: Stratigraphie des Zechsteins und Einordnung des Plattendolomits in Nordhessen (Bolz & Kley, 2021)

Die Menge der versenkten Wässer an den Einzelbrunnen im Raum Neuhoﬀ-Ellers ist in Tabelle 5 dargestellt. Insgesamt ist davon auszugehen, dass im Zeitraum von 20 Jahren ca. 11.000.000 m³ versenkt wurden. Nach 2008 wurde die Versenkung am Standort Neuhoﬀ-Ellers eingestellt, das Monitoring wird jedoch bis heute fortgeführt (K+S, 2018; K+S, 2025a).

Tabelle 5: Versenkmengen an salzhaltigem Abwasser im Plattendolomit (in Anlehnung an K+S, 2018)

Versenkbohrung	Versenkzeitraum		Versenkmenge
	von	bis	
Dorfborn 3	1989	2005	4.100.000 m ³
Dorfborn 4	1989	2005	2.100.000 m ³
Kerzell 2	1985	2008	2.000.000 m ³
Tiefengruben 4	1987	2008	1.500.000 m ³
Neuhoﬀ 2	2000	2007	1.400.000 m ³
Rommerz 1A	2005	2008	200.000 m ³
Flieden 1	2007	2008	60.000 m ³
Gesamtmenge			ca. 11.360.000 m³

In einer nachträglichen hydrogeologischen Untersuchung der Versenkung (K+S, 2018) wurden mit Hilfe einer Kreuzkorrelation der Zeitreihen in den Grundwassermessstellen sowie der Versenkmengen und

durch Auswertung eines Pumpversuches aus dem Jahr 2005 sowie einer SkyTEM-Erkundung im Jahre 2013 hierbei 3-4 teilweise miteinander hydraulisch in Verbindung stehende Blöcke identifiziert, die sich entlang des Salzhanges erstrecken (siehe Abbildung 49). Diese Interaktion scheint allerdings nach K+S (2018) fast ausschließlich innerhalb des Plattendolomits stattzufinden, sodass die meisten Grundwassermessstellen im Buntsandstein unbeeinflusst blieben. Die einzige Ausnahme hier stellte die Messstelle Dorfborn 5 dar, wobei die Beeinflussung lokal sehr eng begrenzt erscheint (K+S, 2018). Auch bei der Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten für den Brunnen Dorfborn 3 in unmittelbarer Nähe zur Messstelle Dorfborn 5 wurde von Fritzsche (2016) keine Beeinflussungen der Wasserqualität an den Entnahmestellen festgestellt. Eine hydraulische Verbindung größeren Ausmaßes zwischen dem Plattendolomit und dem Buntsandstein würde sich darüber hinaus in einer Korrelation der Druckverhältnisse der Messstellen in den beiden Schichten widerspiegeln, was in K+S (2018) nicht erkannt werden konnte.

Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die Versenkung salzhaltiger Produktionswässer im Plattendolomit, welche 2008 eingestellt wurde, kaum relevanten Einfluss auf die Hydrochemie des Buntsandsteins hat und erhöhte Salinitäten im Grundwasser hier nicht darauf zurückgeführt werden können.

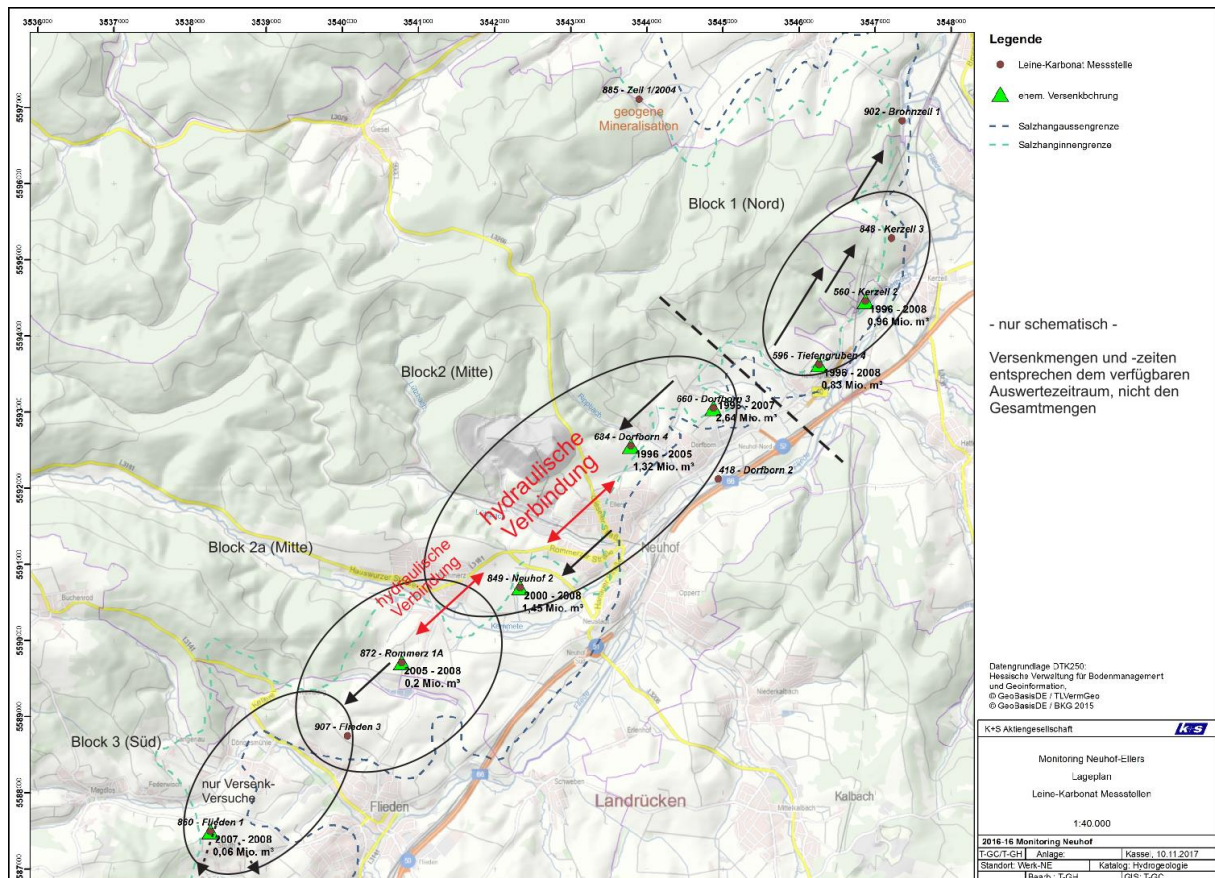


Abbildung 49: Hydraulische Verbindung der Blöcke im Plattendolomit (K+S, 2018)

Entnahmebrunnen

Aufgrund erhöhter Salinitäten im Routinemonitoring an Grundwassermessstelle 2 und der Quelle Typhusbrunnen erfolgten u.a. geoelektrische Untersuchungen und weiterführende Messungen im vermuteten Einflussbereich (K+S, 2024b). Dabei wurden u.a. erhöhte elektrische Leitfähigkeiten, niedrige pH-Werte und erhöhte Schwermetallgehalte festgestellt. Zum Schutz des Lützbachs wurde daraufhin die Quellschüttung des Typhusbrunnens teilweise in die Entsorgung des Werkes aufgenommen und nicht mehr in den Lützbach abgeschlagen. Zusätzlich wurde in Abstimmung mit den zuständigen Behörden, auch unter Nutzung eines vereinfachten 2D-Modells, ein Entnahmebrunnen im Alte Wiese Tal südlich der Halde geplant (K+S, 2024b). Es wurde eine angestrebte Förderrate von 50 m³/Tag festgelegt (RP Kassel, 2024a). Dies entspricht umgerechnet 18.250 m³/a, was 5-15 % der vermuteten Restinfiltration entsprechen könnte (siehe Prozessraum 2). Die Wirksamkeit der Maßnahme soll über ein Messstellenkonzept mit einer Messstelle im Oberflächenwasserbereich und im Grundwasser erfolgen (K+S 2024c, ergänzt durch RP Kassel, 2024b).

In K+S (2024c) wurden die geoelektrischen Messungen im betroffenen Bereich, um die geeignete Lage des Entnahmebrunnens und der Beobachtungsmessstellen zu verifizieren. Diese befinden sich insbesondere an Stellen verringerter elektrischer Widerstände der Geoelektrik und damit vermuteter starker Salzwasserbeeinflussungen, jeweils entsprechend der Tiefenlage der Salzwasserbeeinflussung (siehe folgende Abbildung). Darüber hinaus kam ein numerisches 2D-Modell zum Einsatz, das für diesen Bericht aber nicht vorlag.

Grundsätzlich erscheint die Errichtung von Entnahmebrunnen in Bereichen mit erhöhter Salinität im Grundwasser als durchaus geeignet, um (analog zur Tiefendrainage) die Auswirkungen der Restinfiltration zu begrenzen. Allerdings stellen sich bei dieser Option neue Fragen bzgl. Positionierung und Aufbau der Brunnen, Förderraten, sowie Entsorgung der geförderten Wässer.

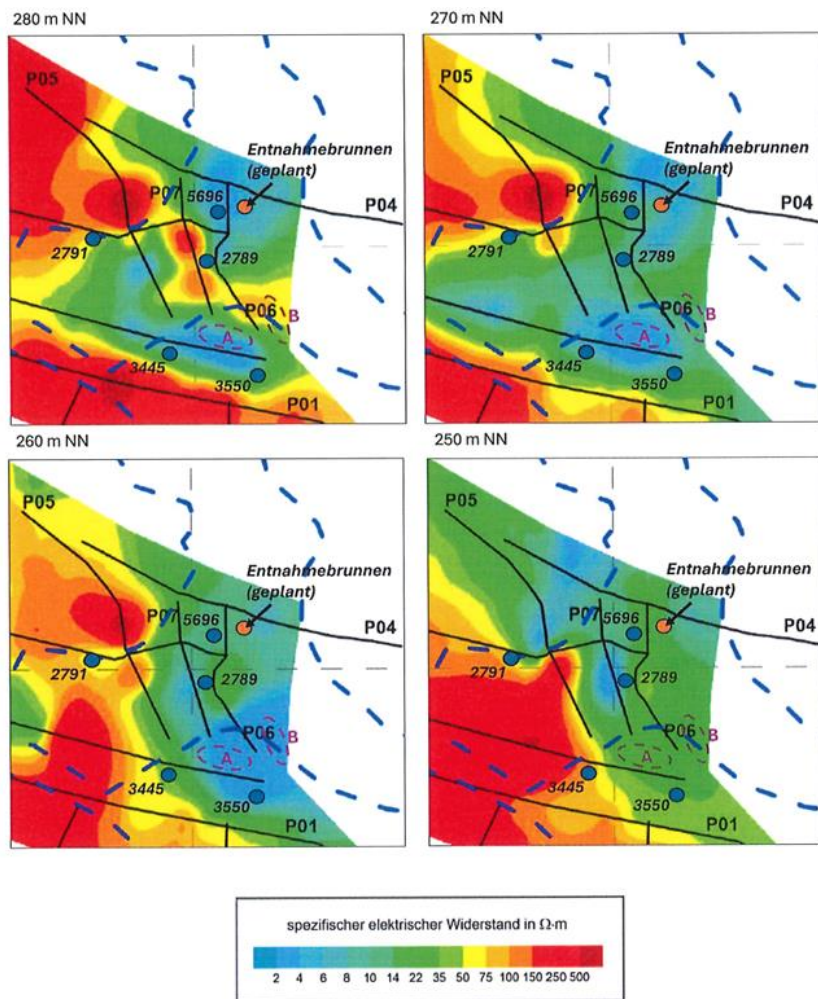


Abbildung 50: Geoelektrik-Ergebnisse (Horizontalschnitte 250-280 m NN, Jahr 2022 südwestlich der Halde mit der ungefähren Lage des geplanten Entnahmebrunnens, der vorhandenen Messstellen des Mess- und Beobachtungsplans und der geplanten Messstellen „A“ und „B“. aus K+S (2024c)

Prozessraum 4

Die Fließwege des salzhaltigen Abwassers sind in Abbildung 51 dargestellt. Hierbei wird neben dem Haldenwasser (und dem Wasser aus der Tiefendrainage) auch das Produktionsabwasser aus der Fabrik und das salzhaltige Grubenwasser in drei Rückhaltebecken mit insgesamt ca. 49.000 m³ Stapelvolumen gesammelt (K+S, 2023). Darüber hinaus existiert ein kleinerer Salzwasserteich, der ausschließlich das auf dem Betriebsgelände anfallende Salzwasser sammelt. Teilweise erfolgt eine Wiederverwendung des Wassers in der Fabrik.

Das gefasste Quellwasser aus der Alte Wiese-Quelle wird teilweise in einem Brauchwasserteich zur Verwendung in der Fabrik gesammelt, wobei überschüssige Wässer in den Lützbach abgeschlagen werden.

Die Entsorgung der salzhaltigen Wässer erfolgt nach K+S (2023):

- In die Fliede, sofern Abflussverhältnisse und Witterungsbedingungen die Einhaltung gesetzlicher Zielwerte ermöglichen. Die wasserrechtliche Erlaubnis ist aktuell bis 30.11.2029 befristet.
- Über eine 62,5 km lange Fernleitung (DN300) zum Werk Werra in ein weiteres Stapelbecken mit 90.000 m³. Von hier werden die salzhaltigen Wässer aus den beiden Werken in die Werra eingegeben, wobei die in der Einleitung bereits beschriebenen Zielwerte am Pegel Gerstungen eingehalten werden müssen.
- Darüber hinaus finden bei Bedarf Transporte mit der Bahn statt.

Prinzip der Abwasserentsorgung Werk NE

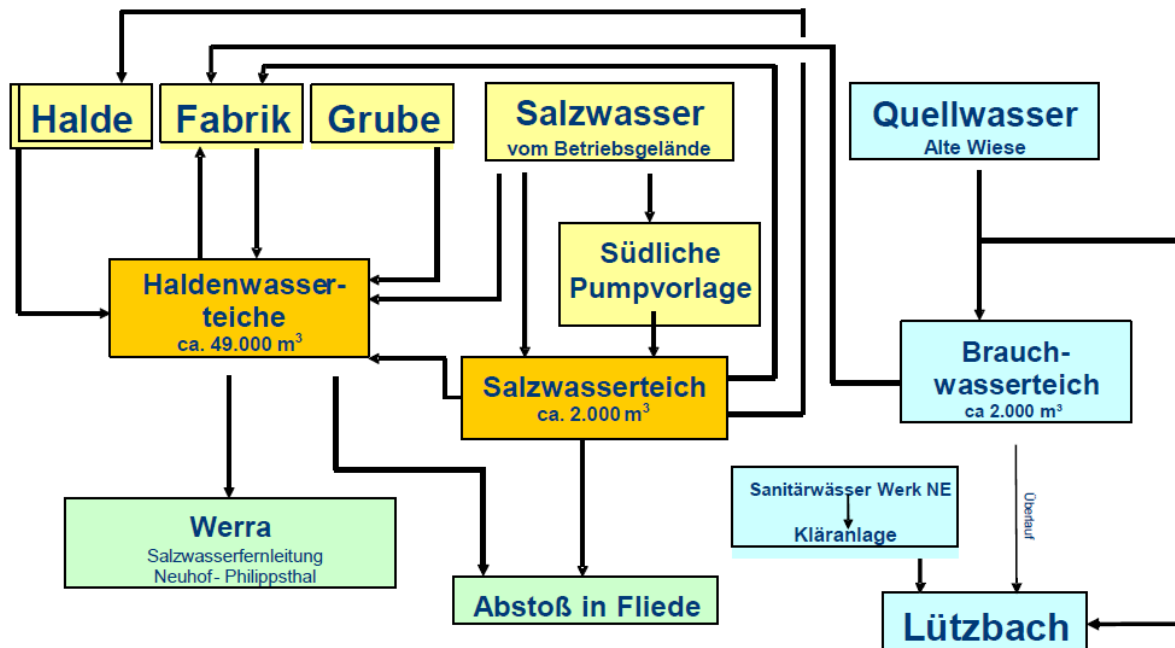


Abbildung 51: Fließschema der Abwasserentsorgung (ohne Bahntransporte) am Werk NeuhoF-Ellers (K+S, 2023). Die stärker salzhaltigen Wässer erscheinen gelb/orange, die weniger salzhaltigen Wässer blau. Laut persönlicher Kommunikation am 17.10.2025 mit K+S findet kein Überlauf aus dem Brauchwasserteich in den Lützbach statt.

Die Einleitung von Prozessabwässern in die Werra ist laut detailliertem Bewirtschaftungsplan (FGG Weser, 2021a) ab 2027 nicht mehr vorgesehen. Für die Einleitung von Haldenwasser wird eine sukzessive Abnahme angenommen.

Als Alternative zur Einleitung in die Werra stand die Errichtung eines sog. „Werra-Bypasses“ im Raum (FGG Weser, 2015), bei dem das Salzwasser nicht in die Werra eingegeben, sondern parallel zum Fließgewässer in einer Verrohrung geführt und erst im Bereich der Oberweser ins Fließgewässer eintreten würde, wo ein deutlich höheres Verdünnungspotential vorhanden ist. Die Maßnahme wurde allerdings im detaillierten Maßnahmenplan (2021c) aufgrund eines Beschlusses der Weser-Ministerkonferenz im August 2019 in Frage gestellt. Die Maßnahme wird im Bewirtschaftungsplan nur dann vorgesehen, wenn „die Zielwerte nicht mit anderen Maßnahmen erreicht werden können“ (FGG Weser 2021c S.8).

In der Vergangenheit gab es auch Überlegungen zur Überleitung in den ca. 50 km entfernten Main, der wegen 5-6x höherer Wasserführung als die Werra ein deutlich höheres Verdünnungspotential aufweist (TABERG, 2000), was allerdings in den vorliegenden Unterlagen nicht näher beleuchtet wurde.

Wissenslücken

Niederschlags- und Evaporationsmessungen

Die Niederschlagsmessungen, welche von K+S seit 2019 am Haldenfuß und auf der Halde durchgeführt wurden, sind grundsätzlich plausibel und vergleichbar mit anderen Messstationen in der Region. Die Messungen in den Jahren davor sind mit größeren Unsicherheiten behaftet, insbesondere für das Jahr 2014. Darüber hinaus scheinen die Jahre seit 2020 generell niederschlagsreicher geworden zu sein. Es wird deshalb empfohlen, diese veränderten Randbedingungen bei einer Neuberechnung der Haldenwasserbilanz zu berücksichtigen.

Die bisherigen Ansätze zur Bestimmung der Evaporationsraten auf der Halde sind (zumindest in der vorliegenden Form) für eine Einbeziehung in die Haldenwasserbilanz ungeeignet. Die Lysimetermessung im Labor bildet die Verhältnisse auf der Halde nur unzureichend nach. So sind die höheren Evaporationsraten im Winter (43,1 %) im Vergleich zu niedrigen Evaporationsraten im Sommer (13,9 %) möglicherweise auf Änderungen des Raumklimas im Labor zurückzuführen (Heizung, Lüftung, etc.). Darüber hinaus werden Einflussgrößen wie Sonneneinstrahlung und Windverhältnisse nicht berücksichtigt. Die von upi (2021) durchgeführten Lysimetermessungen auf der Halde scheinen grundsätzlich geeignet für die Evaporationsbestimmung, allerdings zeigten sich hier große Schwankungen und der Fokus der Untersuchung lag auf dem Vergleich von IES und Nullvariante und nicht auf der Bestimmung durchschnittlicher Evaporationsraten auf der Halde.

Aufgrund der Relevanz dieses Terms für eine quantifizierende Haldenwasserbilanz wird deshalb eine genauere Bestimmung der realen Verdunstung empfohlen. Dies wäre z.B. mithilfe der bereits auf der Halde installierten Lysimeter im Rahmen einer mehrjährigen Studie möglich, bei der die in upi (2021) dokumentierten Unsicherheiten aufgrund drainierender Restfeuchte beseitigt werden könnten.

Damit einher geht auch eine systematische Betrachtung des Faktors der Kondensation/Deliquescenz, und dadurch verursachte evtl. bisher nicht berücksichtigter Wassereinträge in den Haldenkörper. Dies bedeutet u.a. eine genaue Bestimmung der deliquescenzrelevanten Parameter an der Haldenoberfläche. Der von upi (2020) durchgeführte Lysimeterversuch deutet auf einen sehr hohen Anteil an Halit (neben den unlöslichen Bestandteilen) an der Haldenoberfläche hin (siehe Abbildung 15), aber auch potentielle Rekristallisationsprodukte gilt es zu prüfen. Dies könnte eine Errechnung theoretisch möglicher Deliquescenzwassermengen und deren Kinetik an den Salzen der Haldenoberfläche erlauben, was im Anschluss mit tatsächlich beobachteten Deliquescenzen abgeglichen werden sollte. Auch zu diesem Zweck sollten die auf der Halde installierten Lysimeterstationen grundsätzlich geeignet sein. Darüber hinaus könnte man Proben sowohl frischer als auch älterer Haldenoberflächen genauer auf ihre Hydrophilie prüfen.

Mit einer besseren Abschätzung der Niederschlags-, Deliquescenz- und Evaporationsraten am Haldenkörper ließe sich die nicht gefasste Restinfiltration mithilfe der Haldenwasserbilanz deutlich genauer bestimmen als es aktuell möglich erscheint.

Hydraulische Abschätzung der Restinfiltration

In upi (2020) wurden bei der Errechnung des hydraulischen Gradienten zwar Evaporation und Aufsalzungsfaktor berücksichtigt, nicht aber die erhöhte Dichte des salzgesättigten Wassers, die auch den hydraulischen Gradienten um knapp 30 % erhöhen würde. Darüber hinaus wird das Dargebot in

eine geschlossene Wassersäule umgerechnet, obwohl es ja im Porenraum des Haldenkörpers (der in Haldenkern, Übergangszone und Haldenmantel unterschiedlich groß sein kann) vorliegt. Je nach Porosität resultiert ein bestimmtes Wasservolumen also in einer deutlich höheren Wassersäule, die als dementsprechender Gradient auf die Haldenaufstandsfläche wirkt. Bei einer durchflusswirksamen Porosität von 10 % – laut K+S (1996) der Wassergehalt – würde sich somit ein zehnmal höherer hydraulischer Gradient ergeben. Ferner wird nicht erläutert, warum der hydraulische Gradient ausschließlich vom Niederschlag im selben Betrachtungsjahr abhängen sollte. Durch Speichereffekte (siehe Prozessraum 1 und 2) könnte sich ein Aufstau auch über mehrere Jahre akkumulieren. Aufgrund oben genannter Bedenken wird eine Neuberechnung der hydraulischen Abschätzung der Restinfiltration empfohlen, bei der auch die potenzielle Wirkung grundsätzlich möglicher hydraulischer Fenster (siehe Prozessraum 2 und 3) in der Haldenaufstandsfläche berücksichtigt werden.

Auch die flächig wirksame hydraulische Leitfähigkeit der Haldenaufstandsfläche spielt eine wichtige Rolle. Während sie von upi (2020) mit den in Tabelle 4 genannten Werten ($k_f=10^{-8} - 10^{-9}$ m/s) angenommen wird, benennt K+S (2025b) und Quellen darin im unvergüteten Bereich eine hydraulische Leitfähigkeit in der Größenordnung von 10^{-7} m/s. Auch die Annahme, dass sich auf der Gesamtaufstandsfläche des Haldenkerns (>55 ha) kein (relevanter) hydraulische Gradient ausbilden könnte und es deshalb zu keiner (relevanten) Infiltration in diesem Bereich käme, ist allein auf die Ergebnisse der Bohrung aus dem Jahr 1996 zurückzuführen. Hierbei wurden die Erkenntnisse aus dem Salzkörper auf die Trennfläche Haldenkörper-Auflagefläche an der Basis übertragen, ohne dies gesondert zu prüfen. Für diese Annahme wären weitere vor-Ort-Untersuchungen der ungestörten hydraulischen Eigenschaften analog K+S (1996) im aktuellen Zustand der Halde angebracht.

Dazu kommt, dass die Rolle der erhöhten Natriumkonzentrationen auf die Bodenstruktur der Auflagefläche in den bisherigen Untersuchungen weitgehend unbeachtet blieb und wenigstens durch Literatur- oder Laborstudien berücksichtigt werden sollte.

Durch eine Kombination des hydraulischen Ansatzes mit einer gut dokumentierten Haldenwasserbilanz ließe sich das Prozessverständnis mit Blick auf die Restinfiltration deutlich verbessern, was weitere Untersuchungen der Ausbreitungsprozesse im Untergrund erleichtern würde.

Alte Wiese-Tal

Die zuvor genannten Fragen bekommen eine besondere Bedeutung für den Untergrund im Alte Wiese-Tal, wo keine flächige Abdichtung erfolgen konnte, sondern vermutlich abgedichtete, drainierte Gräben angelegt wurden. Eine nähere Analyse der Schüttungsmengen aus den Drainagen dieser einzelnen Gräben könnte erste Schlussfolgerungen zum Fließverhalten in diesem Bereich erlauben – Bjørnsen (1988) prognostizierte ursprünglich die Abführung von knapp 58.600 m³ Salzwasser über diese Drainagen pro Jahr. Diese Kalkulation für das Alte Wiese-Tal ist aufgrund der veränderten Rahmenbedingungen fortzuschreiben. Die tatsächlichen Mengen aus den Drainagen sollten dieser Neukalkulation gegenübergestellt werden. Dies würde auch eine Bewertung erlauben, inwiefern die Drainagen ihre Funktion vollständig erhalten konnten.

Die von Bjørnsen (1988 & 1989) geplanten Maßnahmen zeigen ein für damalige Verhältnisse angemessenes Bild. Letztlich sollte jedoch mit Blick auf die hier vorliegenden Planungsunterlagen Folgendes geprüft und in Bezug auf Handlungserfordernisse bewertet werden:

- Welche der genannten Planungsvarianten wurde gewählt? Wurde die Steilwand der Schubgräben abdichtet? Hier besteht einerseits Potenzial zur Interaktion mit damals unbekanntem schwebenden Grundwasserleitern, andererseits das Risiko bei einem Aufstau innerhalb des Grabens Sickerwasser durch diese Steilwand zu verlieren.
- Lässt sich (z.B. über geophysikalische Methoden) ein möglicher Aufstau von nicht abgeführtem Haldenwasser in den Schubgräben und/oder in der Talaue selbst erkennen?
- Für welche Auflast wurden die damals verlegten Drainagen ausgelegt und wie funktional sind sie heute noch? Wieviel Haldenwasser wird in den einzelnen Strängen gefasst?

Quelle Alte Wiese

Die von HGN (2024) angesetzten Einzugsgebiete sollten überprüft werden. Insbesondere ist nicht näher aufgeführt, warum die rheinische und die herzynische Kluft als nordwestliche, bzw. nordöstliche Grenze des unterirdischen Einzugsgebietes angesehen werden, wenn sie nach gängiger Darstellung (Fritsche 2016) eher als Areale mit bevorzugter Durchlässigkeit angenommen werden können. Die rheinische Kluft verläuft darüber hinaus direkt an der Quelle vorbei, was vermuten lässt, dass ein Großteil des Zustroms zur Quelle durch diese Kluft verlaufen könnte.

Ein weiteres Indiz für die dominante Rolle der Klüfte beim Zustrom zu den Quellen findet sich am Rippbach, wo erhöhte Salinitäten erst in der Quelle der ehemaligen Gemeinde Dorfborn auftreten. Dies ist genau die Stelle, in der die herzynische Kluft, die HGN (2024) als Begrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes ansieht auf den Rippbach trifft (siehe Prozessraum 3). Darüber hinaus gilt es den Untergrund auf weitere, bisher unbekannte Klüfte und ihren Einfluss auf die Grundwasserhydraulik zu untersuchen. Ganz allgemein könnte z.B. der Knick im Rippbachtal nordöstlich der „Quelle der ehem. Gemeinde Dorfborn“ auf eine solche Störung hindeuten (siehe Abbildung 32).

Die Hypothese des schwebenden Grundwasserleiters als Ursprung des Salzeintrages in die Alte Wiese-Quelle gilt es zu prüfen und mit einer möglichen Ausbreitung des Salzwassers im Hauptgrundwasser abzugleichen. Eine entsprechende hydrogeologische Studie zur Betrachtung der Einzugsgebiete könnte sich dieser Frage widmen. Diese sollte stärker als HGN (2024) die Rolle der Klüfte miteinbeziehen und die Korrelationen zwischen Quelle Dorfborn und Alte Wiese näher untersuchen. Hierfür wären Tracerversuche und/oder Isotopenuntersuchungen zusätzlich zu den hydrochemischen Analysen denkbar.

Bedeutung der Untergrundheterogenität sowie Strömungs- und Transportmodell

Das Gebiet um die Halde zeigt sich hydrogeologisch als komplex und sowohl lateral als auch vertikal heterogen (siehe Kapitel zur Hydrogeologie des Untersuchungsgebiets und zu Prozessraum 3). Dies lässt vor allem im Zusammenspiel mit den vielfältigen Randbedingungen (Klüftungen, Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion, diverse Quellen, hydraulische Wirkung der Halde) und temporären Variabilität des hydraulischen Regimes im Untergrund ein System entstehen, bei welchem Transportprozesse nicht durch raumzeitlich isolierte Messungen allein beschrieben werden können.

Analytische und numerische Modellbetrachtungen, auch wenn diese mit Unsicherheiten verbunden sind, erlauben es, verschiedene mögliche Kombination an Einflüssen zu simulieren und mit Messungen zu vergleichen. Dies erlaubt eine genauere Identifikation von Informationslücken, welche dann gezielt mit Messungen und Beobachtungen geschlossen werden können. Dies resultiert im besten Falle in verbessertem Prozessverständnis. Darüber hinaus ermöglichen analytische und numerische

Simulationswerkzeuge, bei erfolgreicher Kalibrierung, eine Prognose, welche mittels Parameter- und Unsicherheitsanalysen eine potenzielle Bandbreite zukünftiger Entwicklungen zur Ausbreitung von Stoffen im Untergrund abschätzt.

Messstellen im oberflächennahen Untergrund

Um die Halde existieren diverse Messstellen, welche vor allem im mittleren und unterem Buntsandstein verfiltert sind. Aufgrund der Möglichkeit diverser Strömungs- und Transportprozesse in den oberflächennahen Bereichen (siehe Prozessraum 3: Lockergesteinsansammlungen, schwebende Grundwasserleiter) ist eine gezielte Beobachtung dieser in Bereichen vermuteter Relevanz (u.a. Alte Wiese-Tal nördlich und südlich der Halde, ggf. Lützbachtal und im Nord-Osten der Halde) anzuraten. Dies kann über flache Grundwassermessstellen, welche für Wasserstands- und Qualitätsfragen genutzt werden können. Insbesondere für die Ableitung geeigneter Maßnahmen, wie z.B. den durch K+S vorgesehenen Entnahmebrunnen im Kapitel zum Prozessraum 3, können weitere Daten aus dem oberflächennahen Bereich hilfreich sein.

Darüber ist anzuraten, die Dichte der Messstellen im Norden der Halde zu erhöhen, einerseits für hydraulische Messungen, um den Grundwassergleichenplan zu verfeinern, andererseits um die Ausbreitung erhöhter Salinitäten in diesem Bereich klarer abzugrenzen und Hypothesen über Versickerungs- und Ausbreitungsphase zu prüfen.

Referenzen

BAUGRUND INSTITUT (2020): DAS BAUGRUND INSTITUT – Dipl.-Ing. Knierim GmbH: Geotechnisches Gutachten – Erweiterung der Rückstandshalde Werk Neuhoof – Kontrollprüfungen der Haldenaufstandsfläche, Haldenflächenvorbereitung bis 2021, Teilabschnitt Nord. Projekt Nr.: 135/03-G20.

Bergamt Bad Hersfeld (1988): Scheiben vom 05.08.1988 mit Betreff: Rückstandshalde – hier: Anlegen von Schub- und Randgräben sowie von Drainageleitungen mit Verdichtung des Untergrundes im Bereich der nordwestlichen Haldenflanke. Az.: 76d 40-11-303/15/61

BfG (2025) BfG Wasserkörpersteckbrief Grundwasserkörper 3. Bewirtschaftungsplan: https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/WKSB_2021/index.html?lang=de (Zugriff am 15.09.2025)

Björnsen (1988): Björnsen Beratende Ingenieure: Entwässerung am Haldenfuß und Abdichtung des „Alte Wiese“-Tals – Vorentwurf. März 1988, 87172/Wi/BP/F7/S

Björnsen (1989): Björnsen Beratende Ingenieure: Verrohrung der nördlichen Haldenfußentwässerung auf der Dichtung im Talgrund „Alte Wiese“ – Ergänzungsentwurf. Mai 1989, Wi/sch/J12-2

Bolz & Kley (2021): Bolz J, Kley J. (2021): Emplacement of “exotic” Zechstein slivers along the inverted Sontra Graben (northern Hessen, Germany): clues from balanced cross sections and geometrical forward modeling. Solid Earth, 12, 1005–1024, 2021. <https://doi.org/10.5194/se-12-1005-2021>

DWD (2025): Deutscher Wetterdienst – Climate Data Center: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/annual/more_precip/historical/ (Zugriff am 11.09.2025)

FGG Weser (2016): Detailliertes Maßnahmenprogramm 2015 bis 2021 für die Flussgebietseinheit Weser bzgl. der Salzbelastung in Ergänzung zum Maßnahmenprogramm 2015 bis 2021 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß § 82 WHG. https://www.fgg-weser.de/component/rsfile/download-file/files?path=EG-WRRRL%252Fmnp%2Fsalz2015_weser_final_160318.pdf&Itemid=111 (Zugriff am 12.09.2025)

FGG Weser (2021a): Detaillierter Bewirtschaftungsplan 2021 bis 2027 für die Flussgebietseinheit Weser bzgl. der Salzbelastung in Ergänzung zum Bewirtschaftungsplan 2021 bis 2027 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß § 83 WHG. https://fgg-weser.de/downloads/bwpsal2021_weser_2021_textteil_mit_anhang_final.pdf (Zugriff am 12.09.2025)

FGG Weser (2021b): Maßnahmenprogramm 2021 bis 2027 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß §82 WHG. https://fgg-weser.de/downloads/mnp2021_weser_inkl_anhang.pdf (Zugriff am 12.09.2025)

FGG Weser (2021c): Detailliertes Maßnahmenprogramm 2021 bis 2027 für die Flussgebietseinheit Weser bzgl. der Salzbelastung in Ergänzung zum Maßnahmenprogramm 2021 bis 2027 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß § 82 WHG. https://fgg-weser.de/downloads/mnpsal2021_weser_textteil_mit_anhaengen_final.pdf (Zugriff am 12.09.2025)

FGG Weser (2024a): Die wichtigen Fragen der Gewässerbewirtschaftung in der Flussgebietseinheit Weser – Anhörungsdokument 2024 zur Information der Öffentlichkeit gem. §83 Abs. 4 WHG und Art. 14, Abs. 1 (b) EG-WRRL. <https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/212885> (Zugriff am 17.11.2025)

FGG Weser (2024b): Statusbericht zum aktuellen Umsetzungsstand des Maßnahmenprogramms und zur aktuellen Gewässergüte bzgl. der Salzbelastung von Werra und Weser – Berichtsjahr 2023. https://www.fgg-weser.de/downloads/statusbericht_salz_2023.pdf (Zugriff am 17.11.2025)

Fritsche (2016): Johann-Gerhard Fritsche (2016): Gutachten zur Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Trinkwassergewinnungsanlage „Tiefbrunnen 3 Dorfborn“ in der Gemarkung Dorfborn der Gemeinde Neuhof, Landkreis Fulda. Az.: III Hef 31.2 - 79 b 06.15, WSG ID 631-160. Erstattet für: Regierungspräsidium Kassel, Abt. Umwelt und Arbeitsschutz Bad Hersfeld

GGL (2017): Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH: Ergebnisbericht – Geoelektrische Messungen im Umfeld der Rückstandshalde Neuhof-Ellers – Lützbach und Rippbach. Auftrags-Nr.: GGL 17-036. Leipzig, 08.02.2017

GGL (2025): Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH: Ergebnisbericht – Geoelektrische Messungen im südwestlichen, nördlichen und östlichen Bereich der Rückstandshalde Neuhof-Ellers der K+S Minerals and Agriculture GmbH. Auftrags-Nr.: GGL 24-028. Leipzig, 28.02.2025

GrwV (2017): Grundwasserverordnung - Verordnung zum Schutz des Grundwassers – BGBl. https://www.gesetze-im-internet.de/grwv_2010/ (Zugriff am 11.09.2025)

HGN (2024): Machbarkeitsstudie zur Ableitung des Quellgebietes „Alte-Wiese-Tal“ nördlich der Rückstandshalde Neuhof-Ellers. Projekt: Neuhof-Ellers, MB-Studie Quelle Alte-Wiese-Tal, 21-257.

HLNUG (2025): Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie – GeologieViewer, <https://geologie.hessen.de/mapapps/resources/apps/geologie/index.html?lang=de> (Zugriff am 09.09.2025)

Katzenbach (1998): Katzenbach & Giere: Prüfbericht K97022-01 Betreff: Werk Neuhof-Ellers – Schadensfall Westflanke, Geotechnische Laboruntersuchungen am Material „Steinerde“ Fa. Nüdling, Werk Billstein. Institut für Geotechnik, Technische Universität Darmstadt. 20. April 1998.

kpluss.com (Zugriff am 10.09.2025): <https://www.kpluss.com/de-de/ueber-ks/standorte/europa/neuhof-ellers/#standortfokus> (Zugriff am 09.09.2025)

K+S (1996): Kali und Salz GmbH: Westerweiterung Rückstandshalde Neuhof-Ellers: Zusammenfassende Information über Rückstandshalden-Dichtigkeit des Haldenkerns. Bearbeiter: Dr.Sessler, Juli 1996.

K+S (1998): Kali und Salz GmbH – Werk Neuhof-Ellers: Nachtrag zum Sonderbetriebsplan zur Wiedererlangung der Standfestigkeit der Halde Neuhof – Enttonung.

K+S (1999): Kali und Salz GmbH – Werk Neuhof-Ellers: Westerweiterung Rückstandshalde Neuhof-Ellers: Zur Frage des Grundwasserschutzes bei der Aufhaltung von Kalirückstandshalden. Bearbeiter: Dr. Bähge. Anlage A-3, RBPI Westerweiterung.

K+S (2018): K+S Aktiengesellschaft – Technical Center Hydro-/Environmental Geology: Systemverständnis zur ehemaligen Versenkung am Standort Neuhof-Ellers. April 2018.

K+S (2022): K+S Minerals and Agriculture GmbH – Scoping-Unterlage für die Besprechung des voraussichtlichen Untersuchungsrahmens gemäß § 15 UVPG – Dickschichtabdeckung der Rückstandshalde des Werkes Neuhof-Ellers inkl. Alternativenbetrachtung der Haldenabdeckung und Lage des RC-Platzes. Gutachter: HPC AG

K+S (2023): K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk – Werk Neuhof-Ellers: Haputbetriebsplan der Fabrik- und Tagesbetriebe einschließlich des Geltungsbereichs der Zentralen Technik sowie der Einheit Technik über Tage und Energietechnik. DVS-Nr. 3003498. Oktober 2023.

K+S (2024a): Schürfbericht zum Vermerk des Regierungspräsidiums Kassel. DVS Nr. 3000931, K+S Minerals and Agriculture GmbH, 27.09.2024

K+S (2024b): Sonderbetriebsplan DVS Nr. 3003519 Werk Neuhof-Ellers, Errichtung und Betrieb eines Entnahmebrunnens, K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Neuhof-Ellers, 27.06.2024

K+S (2024c): Konzept zur Überwachung der Wirksamkeit des geplanten Entnahmebrunnens, RPKS – 34-76 d 4011 0303/1-2019/64, DVS Nr. 3003519, K+S Minerals and Agriculture GmbH, 31.10.2024

K+S (2025a): K+S Aktiengesellschaft – Jahresbericht 2024 – Eigenüberwachung der Auswirkungen der Halde und der ehemaligen Salzabwasserversenkung des Werkes Neuhof-Ellers, K+S Minerals and Agriculture GmbH – Mai 2025.

K+S (2025b): Persönliche Kommunikation mit Dr. Karin Möller-Glock von K+S Minerals and Agriculture GmbH per Mail, 30.05.2025

K+S (2025c): Daten der Wetterstationen am Fuße der Halde und an der Lysimeterstation auf der Halde, Zugriff am 17.11.2025

Krupp (2025): Kalihalde Neuhof-Ellers: Ein Faktencheck – Gutachten im Auftrag der Bi-Umwelt Neuhof. Dr.habil. Ralf E. Krupp, 31303 Burgdorf. 21.12.2025

RP, Kassel (2024a): Schreiben des RP Kassel zu K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Neuhof Ellers, DVS Nr. 3003519 SBP: „Errichtung und Betrieb eines Entnahmebrunnens“, 15.10.2024

RP, Kassel (2024b): Schreiben des RP Kassel zum Messstellenkonzept Entnahmebrunnen Erfüllung der NB 10 Zulassung SBP Errichtung und Betrieb eines Entnahmebrunnens DVS Nr. 3003519, 18.12.2024

TABERG (2000): Rahmenbetriebsplan mit Umweltverträglichkeitsstudie gemäß §§52 (2a) und 57a BbergG zur Westerweiterung der Kalirückstandshalde Neuhof-Ellers – Technischer Erläuterungsbericht – Heft 1. KSÖ 0449 95 / KSÖ 0161 99.

Uni Jena (2017): Büchel & Engelhardt, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena: Quellkartierung am Werk Neuhof-Ellers der K+S Kali GmbH. 31.07.2017

upi (2020): UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH: Erarbeitung der Haldenwasserbilanz für die Rückstandshalde und den Standort Neuhof-Ellers der K+S KALI GmbH. 13.07.2020



upi (2021): UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH: Reduzierung von Haldenwasser der Halde Neuhof-Ellers – Betrieb eines Probefeldes und einer Lysimeteranlage auf dem Haldentop zur Etablierung und zum Nachweis einer Innovativen Erosionsschutzschicht (IES); Abschlussbericht (vorläufig) zum Probefeld- und Lysimeterbetrieb (Mai 2019 bis Juli 2021). Stendal, September 2021.

Anhänge

Anhang 1

Anfrage der Unterlagen bei K+S

Es wurden am 27.01.2025 folgende Unterlagen von K+S abgefragt:

1. Hydrologische Daten insofern am Standort bzw. in der Region erfasst: u.a. Niederschlag, Verdunstung, Temperatur, Windgeschwindigkeiten, atmosphärische Daten (ggf. Sonneneinstrahlung, Albedo, ...), ...
2. Unterlagen und Berichte zu Maßnahmen an der Oberfläche der Halde sowie zu Maßnahmen zur Stabilisierung und Aufschüttung der Halde: u.a. räumlich-zeitlicher Verlauf Aufschüttung und Umlagerungen (Volumina, Vermessungsdaten, Oberflächen), Verdichtungsinformationen, Maßnahmen zur Oberflächenbearbeitung oder -veränderung der Halde mit zeitlich-räumlichem Bezug, ggf. Maßnahmen zur Stabilisierung, Vorkommnisse mit Relevanz auf die Stabilität des Haldenkörpers und getroffene Maßnahmen, Vorkommnisse mit unbeabsichtigter Verlagerung von Haldenmaterial und getroffene Maßnahmen, ...
3. Informationen und Berichte zur Erfassung und Beschreibung der Halde selbst (in Ergänzung zu 2)) und des Haldenmaterials inkl. Halden- und Sickerwassers sowie zur weiterführenden Bewirtschaftung der Halde und des Bergwerks (letzteres nur, wenn dies Auswirkungen auf die Halde hat): u.a. Informationen zur Charakterisierung des Haldenmaterials (Porositäten, hydraulische Leitfähigkeiten, Dichten, weitere geologische, hydrogeologische und geotechnische Daten) räumlich und zeitlich aufgelöst, Erfassung Sickerwassermengen und chemische Sickerwasserzusammensetzung, ggf. Berichte zur Berechnung von Strömungs- und Transportprozessen innerhalb der Halde oder aus der Halde (numerische Modellierungen, analytische Berechnungen), ggf. Veränderungen zur Bewirtschaftung mit Einfluss auf die Beschaffenheit des ab- und umgelagerten Materials und des Sickerwassers (in Menge und Zusammensetzung), Abdichtungsmaßnahmen auf, in und unter der Halde (Sperrungen, Material, Lage, ggf. Informationen zur Wirksamkeit), ggf. weitere Maßnahmen zur Reduktion der Sickerwassermenge, Hohlraumvolumina in Halde und im Bergwerk, Informationen zum natürlichen Gestein (Geotechnik, Geologie, Hydrogeologie) direkt unter Halde und im Einflussbereich der Halde, ...
4. Unterlagen und Berichte zur Haldenwasserfassung und -aufbereitung: u.a. Lage und Charakterisierung der Haldenwasserfassungen, räumlich-zeitliche Volumina, chemische Zusammensetzung der Haldenwässer, Lage der Aufbereitung, kurze Benennung der Aufbereitungstechnologie, Abschlagsmengen in Oberflächengewässer, chemische Beschaffenheit Abschlagswasser, sonstige Abtransporte von Haldenwasser (aufbereitet und unaufbereitet), weitere bekannte Quellen und Senken von Sicker- und Haldenwasser, ...
5. Unterlagen und Berichte zur hydrogeologischen und naturschutzfachlichen Erfassung und dem zugehörigen, fortführenden Monitoring innerhalb der Halde und in der zugehörigen Region: u.a. Gewässerinformationen im Einflussbereich (Lage, Durchflüsse, hydrochemische Untersuchungen) und Maßnahmen zur Durch- und Umleitung der Halde, geologische und hydrogeologische Untersuchungen in den von Sickerwasser potenziell beeinflussten Bereichen unter und um die Halde (Grundwasser, ungesättigte Zone), Grundwasserstände, hydrochemische Analysen von Grundwässern, direkte und indirekte Ermittlung der Ausbreitung von salzhaltigen Wässern im Untergrund (z.B. Geoelektrik, ...), ggf. Erfassung Naturräume, Naturraumauswirkungen, Digitales Geländemodell und Digitales Oberflächenmodell der Region, ggf. vorhandene Berichte zu Grundwasserströmungs- und Transportberechnungen (Modellierungen) im Untergrund, der ungesättigten Zone oder im Übergangsbereich Halde zu natürlichem Material, ...
6. Vorgaben der FGG Weser zur Zielerreichung

Anhang 2

Anfrage an die Gemeinde und an das Ministerium

Sehr geehrte Damen und Herren,

um die Untersuchungen zur Bestandsanalyse der Halde Neuhof/Ellers und der angrenzenden Untergrundbereiche sowie Naturräume im Rahmen des Runden Tisches in Neuhof/Ellers auf eine möglichst breite Datenbasis zu stellen, bitten wir Sie im Rahmen einer Amtsbeihilfe um die Bereitstellung von Ihnen vorliegenden Unterlagen zum Themenkomplex der Hydrologie, Hydrogeologie sowie Beschaffenheit der Charakteristik der Halde und Umgebung in Neuhof/Ellers. Dazu möchten wir die gleiche Abfrage stellen, wie sie auch an einen der Auftraggeber K+S am 27.02.2025 gestellt wurde.

Sehr gern möchten wir zusätzlich darum bitten, dass die bereitgestellten Unterlagen für die Arbeit am Runden Tisch und den zugehörigen Fachgruppen uneingeschränkt genutzt werden dürfen. Bitte leiten Sie diese Anfrage gern an nachgeordnete Strukturen mit der Bitte um Zuarbeit weiter. Nur bei Gemeinde: Leiten Sie diese Nachricht auch gern an die Bürgerinitiative Umwelt Neuhof weiter, mit der Bitte uns Unterlagen, wenn verfügbar, zur freien Nutzung zuzusenden.

Sollten Daten nicht vorliegen oder nicht erfasst worden sein, bitte geben Sie uns gern eine Fehlmeldung. Die Auflistung ist jedoch allgemeiner Natur und benennt nicht alle Daten im Detail. Sollten wir daher aus Ihrer Sicht wichtige Daten in der Auflistung nicht benannt haben, bitte ergänzen Sie gern die Anfrage.

1. Hydrologische Daten insofern am Standort bzw. in der Region erfasst: u.a. Niederschlag, Verdunstung, Temperatur, Windgeschwindigkeiten, atmosphärische Daten (ggf. Sonneneinstrahlung, Albedo, ...), ...
2. Unterlagen und Berichte zu Maßnahmen an der Oberfläche der Halde sowie zu Maßnahmen zur Stabilisierung und Aufschüttung der Halde: u.a. räumlich-zeitlicher Verlauf Aufschüttung und Umlagerungen (Volumina, Vermessungsdaten, Oberflächen), Verdichtungsinformationen, Maßnahmen zur Oberflächenbearbeitung oder -veränderung der Halde mit zeitlich-räumlichem Bezug, ggf. Maßnahmen zur Stabilisierung, Vorkommnisse mit Relevanz auf die Stabilität des Haldenkörpers und getroffene Maßnahmen, Vorkommnisse mit unbeabsichtigter Verlagerung von Haldenmaterial und getroffene Maßnahmen, ...
3. Informationen und Berichte zur Erfassung und Beschreibung der Halde selbst (in Ergänzung zu 2)) und des Haldenmaterials inkl. Halden- und Sickerwassers sowie zur weiterführenden Bewirtschaftung der Halde und des Bergwerks (letzteres nur, wenn dies Auswirkungen auf die Halde hat): u.a. Informationen zur Charakterisierung des Haldenmaterials (Porositäten, hydraulische Leitfähigkeiten, Dichten, weitere geologische, hydrogeologische und geotechnische Daten) räumlich und zeitlich aufgelöst, Erfassung Sickerwassermengen und chemische Sickerwasserzusammensetzung, ggf. Berichte zur Berechnung von Strömungs- und Transportprozessen innerhalb der Halde oder aus der Halde (numerische Modellierungen, analytische Berechnungen), ggf. Veränderungen zur Bewirtschaftung mit Einfluss auf die Beschaffenheit des ab- und umgelagerten Materials und des Sickerwassers (in Menge und Zusammensetzung), Abdichtungsmaßnahmen auf, in und unter der Halde (Sperrungen, Material, Lage, ggf. Informationen zur Wirksamkeit), ggf. weitere Maßnahmen zur Reduktion der Sickerwassermenge, Hohlraumvolumina in Halde und im Bergwerk, Informationen zum natürlichen Gestein (Geotechnik, Geologie, Hydrogeologie) direkt unter Halde und im Einflussbereich der Halde, ...
4. Unterlagen und Berichte zur Haldenwasserfassung und -aufbereitung: u.a. Lage und Charakterisierung der Haldenwasserfassungen, räumlich-zeitliche Volumina, chemische Zusammensetzung der Haldenwässer, Lage der Aufbereitung, kurze Benennung der Aufbereitungstechnologie, Abschlagsmengen in Oberflächengewässer, chemische Beschaffenheit Abschlagswasser, sonstige

Abtransporte von Haldenwasser (aufbereitet und unaufbereitet), weitere bekannte Quellen und Senken von Sicker- und Haldenwasser, ...

5. Unterlagen und Berichte zur hydrogeologischen und naturschutzfachlichen Erfassung und dem zugehörigen, fortführenden Monitoring innerhalb der Halde und in der zugehörigen Region: u.a. Gewässerinformationen im Einflussbereich (Lage, Durchflüsse, hydrochemische Untersuchungen) und Maßnahmen zur Durch- und Umleitung der Halde, geologische und hydrogeologische Untersuchungen in den von Sickerwasser potenziell beeinflussten Bereichen unter und um die Halde (Grundwasser, ungesättigte Zone), Grundwasserstände, hydrochemische Analysen von Grundwässern, direkte und indirekte Ermittlung der Ausbreitung von salzhaltigen Wässern im Untergrund (z.B. Geoelektrik, ...), ggf. Erfassung Naturräume, Naturraumauswirkungen, Digitales Geländemodell und Digitales Oberflächenmodell der Region, ggf. vorhandene Berichte zu Grundwasserströmungs- und Transportberechnungen (Modellierungen) im Untergrund, der ungesättigten Zone oder im Übergangsbereich Halde zu natürlichem Material, ...
6. Vorgaben der FGG Weser zur Zielerreichung

Insbesondere bitten wir, wenn Ihnen vorliegend, um die Übergabe von folgenden Unterlagen:

- GGL Geoelektrik, 2024: Ergebnisbericht Geoelektrische Messungen im südwestlichen, nördlichen und östlichen Bereich der Rückstandshalde Neuhof-Ellers der K+S Minerals and Agriculture GmbH, GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH, 28.02.2025
- HGN, 2024: Machbarkeitsstudie zur Ableitung des Quellgebietes „Alte-Wiese-Tal“ nördlich der Rückstandshalde Neuhof-Ellers, 12.06.2024
- K+S Haldenwasserbilanz, 2020: Erarbeitung der Haldenwasserbilanz für die Rückstandshalde und den Standort Neuhof-Ellers der K+S KALI GmbH, Haldenwasserbilanz NE, upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH 13.07.2020
- K+S Jahresbericht, 2023: Jahresbericht 2023, Eigenüberwachung der Auswirkungen der Halde und der ehemaligen Salzabwasserversenkung des Werkes Neuhof-Ellers, K+S Minerals and Agriculture GmbH, 30.04.2024
- K+S Hauptbetriebsplan, 2023-2028: Hauptbetriebsplan der Fabrik- und Tagesbetriebe einschließlich des Geltungsbereichs der Zentralen Technik sowie der Einheit Technik über Tage und Energietechnik, K + S Minerals and Agriculture GmbH Werk Neuhof-Ellers, Oktober 2023
- K+S Scoping, 2022: Scoping-Unterlage für die Besprechung des voraussichtlichen Untersuchungsrahmens gemäß § 15 UVPG Dickschichtabdeckung der Rückstandshalde des Werkes Neuhof-Ellers inkl. Alternativenbetrachtung der Haldenabdeckung und Lage des RC-Platzes, K+S Minerals and Agriculture GmbH, HPC AG, Karlsruhe und Merseburg, 13.07.2022
- Uni Jena, 2017: Quellkartierung am Werk Neuhof-Ellers der K+S Kali GmbH, F.-S.-Universität Jena, 31.07.2017
- K+S Überwachungskonzept, 2024: Konzept zur Überwachung der Wirksamkeit des geplanten Entnahmebrunnens, , K+S Minerals and Agriculture GmbH, 31.10.2024
- RP, Kassel (15.10.24): Schreiben des RP Kassel zu K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Neuhoff Ellers DVS Nr. 3003519 SBP: „Errichtung und Betrieb eines Entnahmebrunnens“, 15.10.2024
- RP, Kassel (18.12.24): Schreiben des RP Kassel zum Messstellenkonzept Entnahmebrunnen Erfüllung der NB 10 Zulassung SBP Errichtung und Betrieb eines Entnahmebrunnens DVS Nr. 3003519
- K+S Schürfbbericht, 2024: Schürfbbericht zum Vermerk des Regierungspräsidiums Kassel DVS Nr. 3000931, K+S Minerals and Agriculture GmbH, 27.09.2024
- Gutachten IK1776/02, 2018: Sachverständigen-Gutachten Nr. IK1776/02, Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, 27.06.2018

Wir bedanken uns für Ihre Mühen und die Unterstützung.

Anhang 3

Niederschlagsdaten der Wetterstation an der Halde und umliegender DWD-Wetterstationen nac

