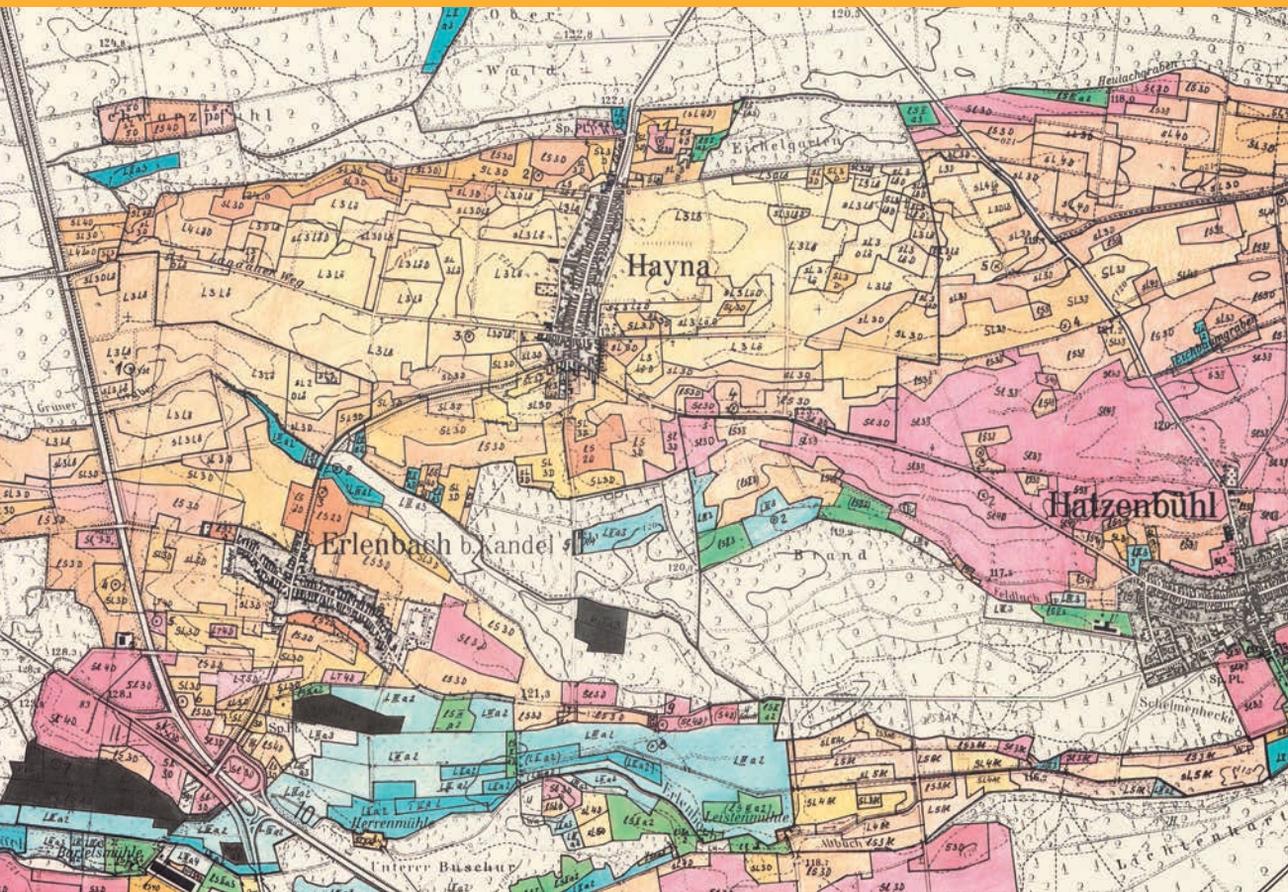


MAINZER GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN



LANDESAMT
FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU
RHEINLAND-PFALZ



Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen – Band 51
228 Seiten, 66 Abb., 16 Tab., 10 Taf., 2 Anh., Mainz 2023
ISSN 0340-4404

MAINZER GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN



ISSN 0340-4404



Die in diesem Band veröffentlichten Beiträge erscheinen unter der Lizenz Creative-Commons-Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0), siehe Lizenztext unter:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de>.

Die Bedingungen zur Nutzung des Werkes (durch den Verlag oder Dritte) ergeben sich aus dieser Lizenz. Sie erlaubt es jedermann, das Werk beliebig zu vervielfältigen, zu verbreiten, zu bearbeiten und öffentlich wiederzugeben. Voraussetzung ist (u. a.), dass bei jeder Nutzung der Name des Autors/der Autorin genannt und Hinweise auf die Rechteinhaberschaft nicht verändert werden. Wird das Werk genutzt, kommt automatisch ein Nutzungsrechtsvertrag unter den Bedingungen der CC-Lizenz zwischen Autor und jeweiligem Nutzer zustande.

The articles published in this volume are licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY 4.0), see license text at:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de>.

The conditions for using the work (by the publisher or third parties) result from this license. It allows anyone to freely reproduce, distribute, edit and publicly reproduce the work. The prerequisite is (among other things) that the name of the author is mentioned each time it is used and that references to the ownership of the rights are not changed. If the work is used, a usage right contract is automatically concluded between the author and the respective user under the conditions of the CC license.

Schriftleitung: ROGER LANG

Redaktion: KARIN BRAUN, ROGER LANG

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autorinnen und Autoren allein verantwortlich.

EDV-Satz: ROGER LANG

Druck und Verarbeitung: LM DRUCK + MEDIEN GmbH, Freudenberg

Printed in Germany / Imprimé en Allemagne

Herausgeber und Vertrieb:

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

Emy-Roeder-Straße 5

D-55129 Mainz

E-Mail: vertrieb@lgb-rlp.de

Tel. 06131 9254-175

Titelbild: Ausschnitt der Bodenarten-/Bodengütekarte im Maßstab 1:10.000, Blatt 6815 SW (Herxheim bei Landau) von 1980 (vgl. Beitrag v. WIESNER, S. 153-172).

Inhalt

Editorial	5
Fachbeiträge	
MIRCO ALBERTI <i>Devononeseuretus beichti</i> n. gen., n. sp., der Erstdnachweis eines Calymeniden (Trilobita) aus dem Hunsrückschiefer	7
ULRICH FLICK & HEINER FLICK Trilobitenfunde am Lagergang vom Wasenbachtal (südwestliche Lahnmulde) – Neue Vertreter der Otariioninae RICHTER & RICHTER, 1926 aus den Rupbach-Schiefern des Nordbruchs	21
PETER SCHÄFER, DIETRICH KADOLSKY †, BETTINA REICHENBACHER, JÜRGEN SCHWARZ & ERICH WIESNER † Untermiozäne Fossilgemeinschaften der Wiesbaden-Formation aus einem Tertiärprofil in Mainz (Mainz-Gruppe, Mainzer Becken, Deutschland). 1. Artenbestand, Paläoökologie, feinstratigraphische Einstufung	39
DIETRICH KADOLSKY † Untermiozäne Fossilgemeinschaften der Wiesbaden-Formation aus einem Tertiärprofil in Mainz (Mainz-Gruppe, Mainzer Becken, Deutschland). 2. Mollusken	89
OLDŘICH FEJFAR Untermiozäne Fossilgemeinschaften der Wiesbaden-Formation aus einem Tertiärprofil in Mainz (Mainz-Gruppe, Mainzer Becken, Deutschland). 3. Säugetiere.	127
PETER MÜLLER & GERHARD HAHN † Erstdnachweis von <i>Devonaster</i> SCHUCHERT, 1914 im deutschen Unter-Devon (Asteroidea, Echinodermata)	135
THOMAS WIESNER Prof. Dr. Willy Theodor Stöhr – Pionier der Bodenkundlichen Landesaufnahme in Rheinland-Pfalz	153
GEORG H.E. WIEBER, PETER QUENSEL & ROXANE HENN Ermittlung von Hintergrundwerten für Grubenwässer des Steinkohlenbergbaus im Saarland	173
KLAUS-WERNER WENNDORF Neue Erkenntnisse zur Rhynchonelliden-Gattung <i>Xahetomus</i> (Brachiopoda) aus dem Unterdevon der Mittelrhein-Region	193
Nachrichten / Informationen / Hinweise	
Autorenrichtlinien	223

Ermittlung von Hintergrundwerten für Grubenwässer des Steinkohlenbergbaus im Saarland

GEORG H.E. WIEBER, PETER QUENSEL & ROXANE HENN

Kurzfassung: Am Beispiel der Grubenwässer des Saarlandes wurden für die einzelnen Steinkohlengruben Hintergrundwerte mittels der Wahrscheinlichkeitsnetzmethode abgeleitet. Obwohl es sich bei den Grubenwässern um Mischwässer handelt, ist die Ableitung nach dieser Methode technisch möglich und liefert plausible Ergebnisse. Bei einigen Bergwerken wurden insbesondere für die Parameter elektrische Leitfähigkeit und Chlorid zwei Populationen festgestellt. Die Grubenwässer westlich der Saar sind gegenüber denen nordöstlich des Vorfluters durch höhere Mineralisationen gekennzeichnet.

Abstract: Using the example of the mine waters of the Saarland, background values were derived for the individual coal mines using the probability network method. Despite the fact that the mine waters are mixed waters, deriving values using this method is technically feasible and yields plausible results. In some mines, two populations were identified, particularly for the parameters of electrical conductivity and chloride. The mine waters west of the Saar River are characterized by higher mineralizations compared to those located northeast of the watercourse.

1. Einführung

Zur Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Problemstellungen, die in Verbindung mit bergbaulichen Einwirkungen stehen, müssen Kenntnisse und Sachverhalte der Lagerstätten, der Hydrogeologie und der Hydrologie verknüpft werden. Mit Beendigung des Bergbaus ist eine sukzessive Einstellung der energieintensiven Wasserhaltung verbunden. Derzeit ist hingegen immer noch eine direkte oder indirekte Einleitung des Grubenwassers in Fließgewässer erforderlich. Damit diese Einleitung umweltverträglich geregelt werden kann, sind Kenntnisse über die Beschaffenheit und die Mengen des anfallenden Grubenwassers Voraussetzung. Mit der Bearbeitung der Grubenwässer und der Darstellung der hydrochemischen Verhältnisse ergeben sich auch neue Blickwinkel auf die hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse im mittleren und auch tieferen Untergrund.

Die im Saarland verbreiteten mächtigen Schichten des Oberkarbons stellten ergiebige Steinkohlenlagerstätten dar, die in zahlreichen Bergwerken abgebaut wurden. Keltischer Steinkohlenbergbau an der Saar ist bereits aus dem 6./7. Jahrhundert v. Chr. durch den Fund einer Perle aus Kännelkohle belegt (RAG 2012). Die erste urkundliche Erwähnung stammt aus dem Jahre 1357. Im Jahre 2012 ging die Ära des Steinkohlenbergbaus an der Saar, der über Jahrhunderte das Land und seine Bewohner entscheidend geprägt hat, mit Schließung des Bergwerks Saar zu Ende. Spätestens mit der Schließung der letzten Grubenanlage ist auch der Träger der saarländischen Bergwerke mit den Ewigkeitsaufgaben des Bergbaus beschäftigt. Darunter fallen die Wasserhaltung inkl. eines Grubenwasserkonzeptes und der damit verbundenen Folgen für die Region. Für die Saarkohle wurde ein Grubenwasserkonzept aufgestellt, der Anstieg des Grubenwassers auf zunächst 600 m unter Geländeoberfläche beantragt und durch die zuständige Bergbehörde genehmigt. Die behördliche Genehmigung ist jedoch beklagt. Durch den Bergbau wurden die geologisch - hydrogeologischen Verhältnisse des Untergrundes stark verändert, mehrere geolo-

gische Barrieren überwunden sowie Verwitterungsprozesse erheblich beschleunigt und auch die oberflächennahen Wasserregime beeinflusst.

Natürliches Tiefenwasser ist rein geogen geprägt (SCHÖPEL 2019). (Grund-)Wasser, welches dem Untertagebau zufließt, kann allerdings stark verändert werden. Es bilden sich Zuflüsse aus Sicker- und Kluftwässern, daneben finden Lösungsprozesse aus dem umgebenden Gestein (WIEBER & STEMKE 2021) statt. Eine genaue Zuordnung der Herkunft der Anteile der unterschiedlichen Wässer ist sehr schwierig.

Im Fokus dieser Arbeit stehen die Grubenwässer selbst. Diese sind definiert als „alles Wasser, das mit Tief- und Tagebauten in Kontakt steht oder stand“ (BURGHARDT et al. 2017). In der folgenden Ausarbeitung sollen die Grubenwässer des Saarlandes betrachtet und ihre Hintergrundwerte abgeleitet werden. Die ursprünglichen, rein geogenen Stoffkonzentrationen werden als Hintergrundwerte bezeichnet (BLA-GEO & LAWA 2015). Diese zeigen den Ursprungszustand der Wässer an und werden als Referenz für Konzentrationsänderungen eingesetzt, um den anthropogenen Einfluss auf den Chemismus beschreiben zu können. Als Grundlage zur Bewertung dient die EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000). Diese setzt den Hintergrundwert des Wassers einer Region als das 90. Perzentil der Verteilung des zu prüfenden Stoffes an (BLA-GEO & LAWA 2015). Die Berechnung erfolgt unter Verwendung eines Wahrscheinlichkeitsnetzes (LEPELTIER 1969), das dazu dient, die „Hintergrundwerte“ statistisch zu erfassen. Ziel der Arbeit ist die Prüfung, ob eine Ableitung von Hintergrundwerten nach der Methode von WALTER (2008) auch für Grubenwässer anwendbar ist und zu sinnvollen Ergebnissen führt.

2. Geologisch-Hydrologische Grundlage des Untersuchungsgebietes

2.1 Geografie

Das Untersuchungsgebiet liegt im Süd-Westen des Saarlandes (Abb. 1), unweit der französischen Grenze. Die Saar teilt den Betrachtungsraum in einen südwestlichen Bereich mit dem

- Bergwerk **Warndt** bei Großrosseln, westlich Forbach
- und einen nordöstlichen Bereich mit den Bergwerken
- Bergwerk **Saar**, ehemals Duhamel, Saarlouis-Fraulautern,
- Grube **Viktoria** in Püttlingen,
- Grube **Luisenthal** in Völklingen-Luisenthal,
- Grube **Camphausen** in Quierschied,
- Grube **Reden** in Schiffweiler bei Neunkirchen.

Die Abbildung 1 zeigt die räumliche Beziehung der Anlagen sowie die korrespondierenden Vorfluter der Saar. Diese Bergwerke bilden den Rest einer ehemals deutlich größeren Bergbauregion (Abb. 2).

2.2 Geologie

Über dem kristallinen Sockel wird das Grundgebirge aus Gesteinen des Devons, des Karbons und des Perms aufgebaut. Diese umfassen circa 60 % der Gesamtfläche. Vor allem die limnisch-fluviatilen, kohleführenden Schichten aus Oberkarbon und Unterperm (Rotliegend) nehmen den Großteil der Sedimentgesteinsdecke ein (Abb. 2, 3). Gesteine der Trias bilden das dis-

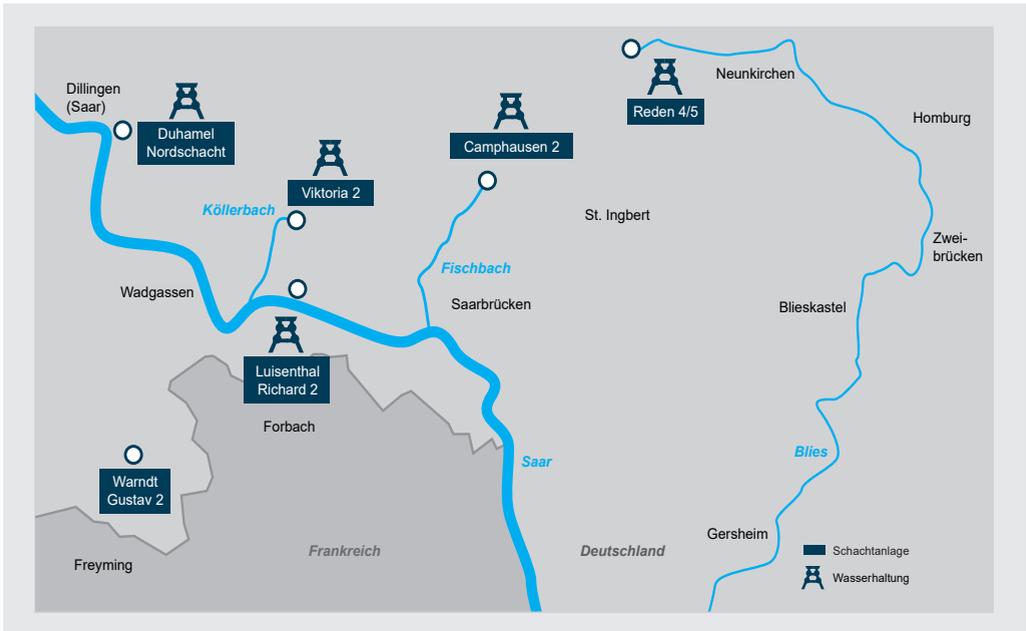


Abb. 1: Bergwerke im Saarland mit Wasserhaltungen, Stand 2019 (aus MELCHERS et al. 2019).

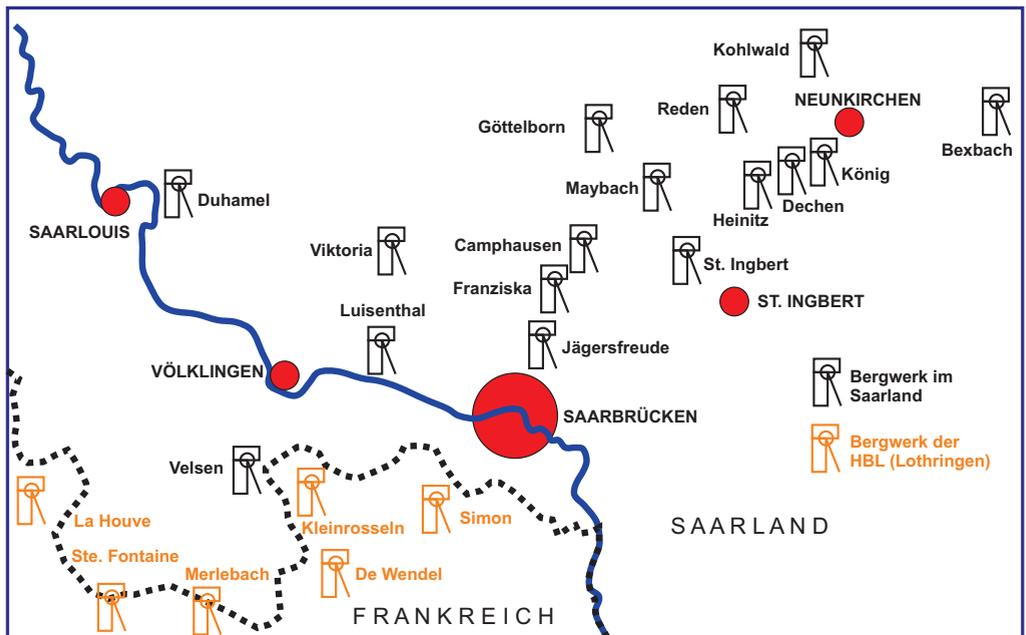


Abb. 2: Förderstandorte der Saarbergwerke im Jahr 1957 (nach <http://www.saar-nostalgie.de/Saargruben.htm>).

kordant dem Paläozoikum aufliegende Deckgebirge. Die Ablagerungen des Quartärs stellen die Lockergesteinsdecke dar (DECKERT et al. 2011, SCHNEIDER 1991). Zwischen Pfälzer Wald im Süden und dem Hunsrück im Norden taucht die Oberfläche der karbonischen Sedimentgesteine, die im Pfälzer Sattelgewölbe noch aufgeschlossen sind, nach Norden unter die jüngeren Gesteine ab.

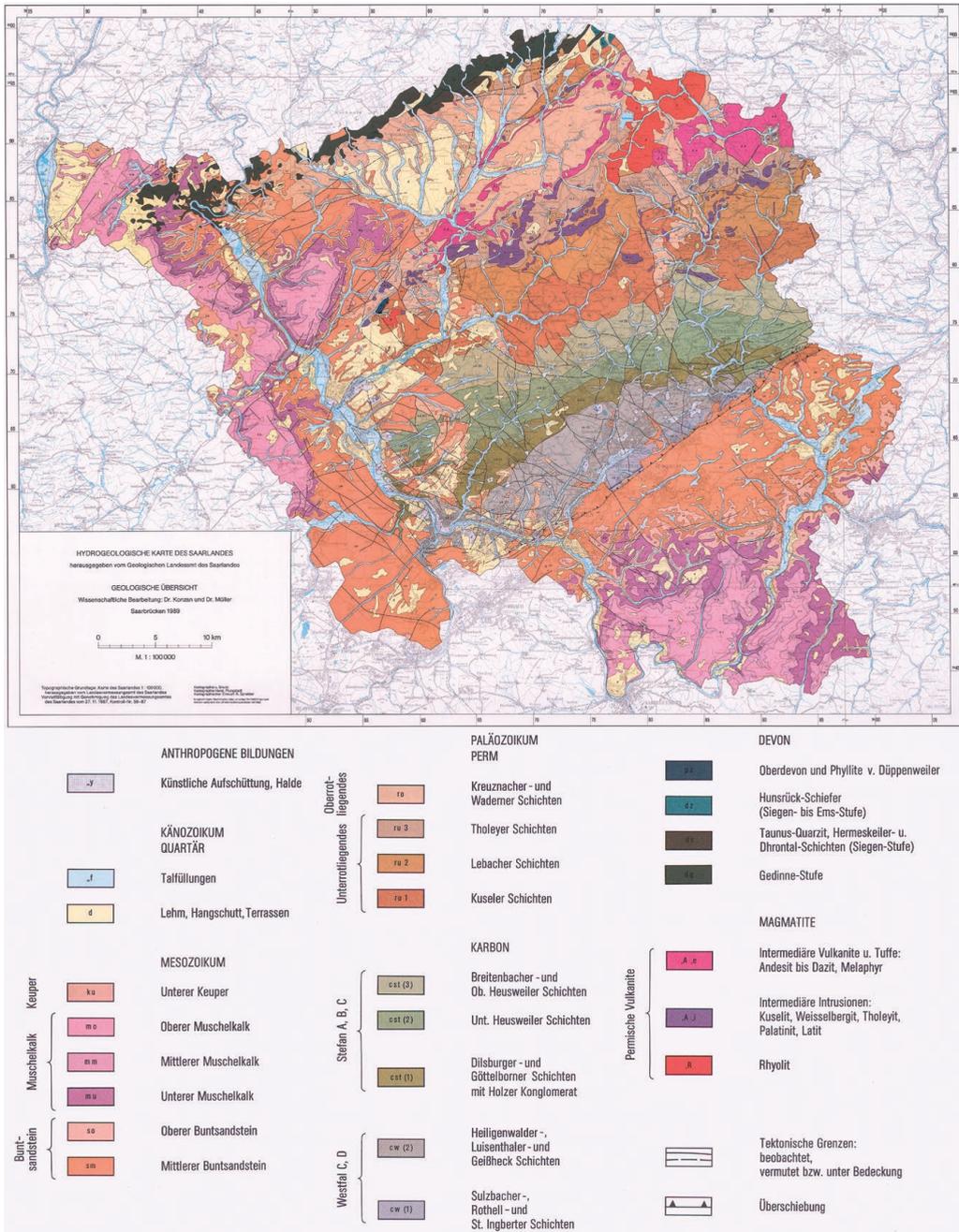


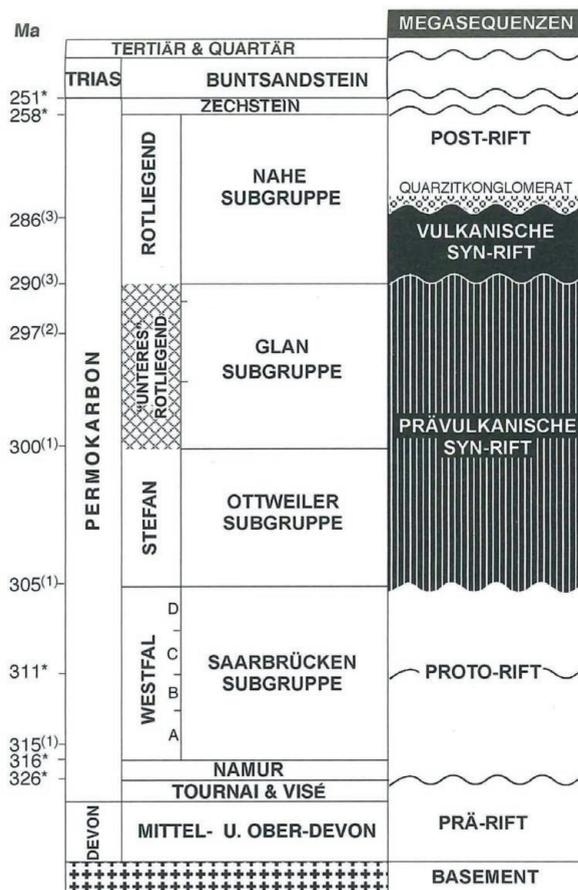
Abb. 3: Geologische Übersichtskarte des Saarlandes (nicht maßstäbig, Originalmaßstab 1:100.000, bearb. v. KONZAN & MÜLLER) zur Hydrogeologischen Karte des Saarlandes (GEOLOGISCHES LANDESAMT DES SAARLANDES (Hrsg.) 1989). Die Legende wurde zur besseren Lesbarkeit angepasst und neu positioniert. Die Lithostratigraphische Nomenklatur entspricht dem Stand bis 1989).

Petrografisch besteht das Grundgebirge (Kristallin) aus einem oberordovizischen Albitgranit, der in Tiefen zwischen 4000 – 6000 m ansteht. Im Hangenden folgen Gesteine des Devons. Im nördlichen Saarland sind vor allem Gesteine des Unterdevons (Gedinne-, Siegen- und Ems-Stufe) in Form von Tonschiefern und Quarziten anzutreffen. Im Süden sind mittel- und oberdevonische Plattform- und Flachwasser-Karbonate, sowie Sandsteine und Knollenkalke (SCHNEIDER 1991) verbreitet.

Im Hangenden folgen Alaunschiefer mit Mächtigkeiten von bis zu 50 m als vorherrschendes Gestein des Unterkarbons. Das ehemals bergbaulich bedeutende Oberkarbon bildet mit der Westfal- (heute Saarbrücken-Subgruppe) und der Stefan-Stufe (heute Ottweiler-Subgruppe; STD 2016) ein 4000 bis 5000 m mächtiges Steinkohlengebirge. Das darunter liegende Namurium zeigt lediglich eine Mächtigkeit von bis zu 35 m. Die Kohlenflöze werden von Sand-, Silt- und Tonsteinen mit teils konglomeratischer Basis überdeckt (DECKERT et al. 2011).

Die Schichten des Oberkarbons streichen nördlich des Saarbrücker Hauptsattels in SW-NE-Richtung (SCHNEIDER 1991) und fallen mit 20° bis 40° nach NW ein. Sie werden im Norden und Osten von den Schichten des Rotliegenden (Unterperm) überdeckt. Im Süden und Westen bilden Gesteine des Buntsandsteins (Trias) die Überdeckung. Sedimentgesteine des Muschelkalks und des unteren Keupers sind ebenfalls vorhanden (DECKERT et al. 2011).

Die paläozoischen Folgen werden als Prä-, Syn- und Post-Rift-Ablagerungen gedeutet (s. Abb. 4, Boy et al. 2012)



Neben dem Kohlenbergbau wurde bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts auch Erzabbau im Saarland im Bereich des Saarbrücker Hauptsattels betrieben. Es wurden hauptsächlich Eisen-, aber auch Kupfererze abgebaut (SCHRÖDER, 1936). Bei den Eisenerzen handelte es sich überwiegend um Toneisensteine aus dem produktiven Karbon. Teilweise wurde auch Brauneisenstein aus dem Buntsandstein-Deckgebirge gewonnen. Nördlich des Untersuchungsgebietes ging ebenfalls Bergbau auf Eisenerz um. Dort wurden Toneisensteine des "Lebacher Typs", die sogenannten "Lebacher Eier" aus Tonsteinschichten des Unterrotliegenden abgebaut.

Abb. 4: Lithostratigraphie und Tektonostratigraphie des Saar-Nahe Beckens (aus Boy et al. 2012).

2.3 Hydrogeologie

Das Deckgebirge des Saarlandes zählt zum Hydrogeologischen Raum 61 (Trias) des Großraumes 6 - Süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland. Das Grundgebirge aus Perm und Karbon bilden mit der Saar-Nahe-Senke den Raum 82 (BGR).

Die Hauptgrundwasserleiter des Saarlandes werden aus den Gesteinen des mittleren Buntsandsteins sowie den Sandsteinen der Kreuznach Gruppe (Rotliegend) aufgebaut (Abb. 5; Tab. 1). Durch ihre hohen Porositäten stellen diese Gesteine sehr ergiebige Grundwasserleiter mit durchschnittlichen Mächtigkeiten von 350 m und Permeabilitäten zwischen 0,4 und 4×10^{-5} m/s dar (ANTEA 2003). Zurückzuführen ist dies auf eine intensive Klüftung der Festgesteine und weniger auf die Durchlässigkeit der Porenräume des Sandsteines (SCHNEIDER 1991).

Tabelle 1 stellt die hydraulischen Durchlässigkeiten aus dem Modellansatz mit Einteilung in stratigraphische Einheiten des Saarlandes und die Durchlässigkeiten aus der HÜK 200 gegenüber.

Tab. 1: Durchlässigkeiten der saarländischen Gesteine (nach WAGNER & KÖNIG 2009).

Stratigraphie		Durchlässigkeiten	
		Modellansatz	HÜK
Quartär	q	1×10^{-4} m/s	1×10^{-6} bis 1×10^{-4} m/s
Oberer Keuper	ko	9×10^{-6} m/s	$< 1 \times 10^{-5}$ m/s
Mittlerer Keuper	km		
Unterer Keuper	ku	5×10^{-6} m/s	
Oberer Muschelkalk (C)	mo2		
Oberer Muschelkalk (T)	mo1	5×10^{-5} m/s	1×10^{-5} bis 1×10^{-3} m/s
Mittlerer Muschelkalk	mm	5×10^{-8} m/s	1×10^{-9} bis 1×10^{-7} m/s
Unterer Muschelkalk	mu	1×10^{-5} m/s	1×10^{-6} bis 1×10^{-4} m/s
Oberer Buntsandstein	so		1×10^{-6} bis 1×10^{-4} m/s
Mittlerer Buntsandstein	sm	5×10^{-5} m/s	1×10^{-5} bis 1×10^{-3} m/s
Kreuznach-Formation (Nahe-Subgruppe)	ro		1×10^{-6} bis 1×10^{-4} m/s
Nahe-Subgruppe (Rotliegend)	ro	5×10^{-6} m/s	$< 1 \times 10^{-5}$ m/s
Glan-Subgruppe (Rotliegend)	ru		
Ottweiler-Subgruppe (Stefan; Oberkarbon)	cst		
Saarbrücken-Subgruppe (Westfal; Oberkarbon)	cw	5×10^{-7} m/s	
Devon	d	5×10^{-7} m/s	

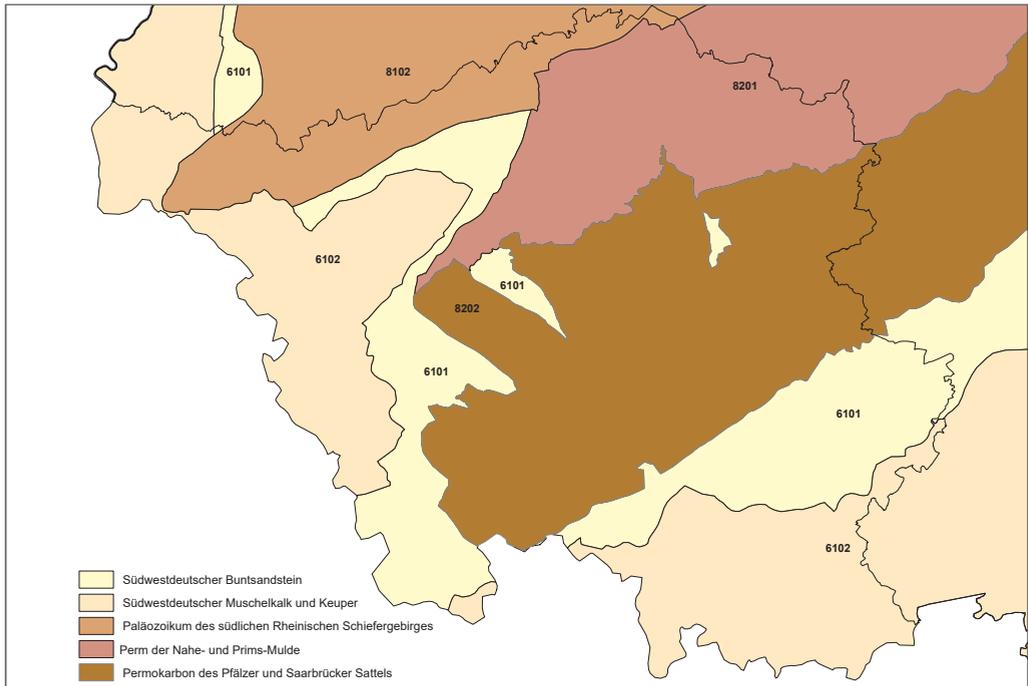


Abb. 5: Hydrogeologische Teilräume des Saarlandes (Datenquelle: HYRAUM v32, © BGR & SGD 2015).

Die im Liegenden folgenden Gesteine des Karbons sind hingegen als Grundwasserstauer bzw. -geringleiter einzustufen (Tab. 1). Die Wasserwegsamkeiten beruhen fast ausschließlich auf Trennfugen wie Schichtgrenzen, Klüften oder Störungen. Da das Karbon nur über ein äußerst geringes Hohlraumvolumen verfügt, leisten diese Gesteine einen sehr geringen Beitrag zum Wasserhaushalt (WALTER et al. 2010). Der als Grenzlette bezeichnete tonige Verwitterungshorizont des Karbons wirkt zudem als hydraulische Sperre zwischen wasserführendem Deckgebirge (Buntsandstein) und dem nichtleitendem Steinkohlengebirge (DECKERT et al. 2011).

Über die Tiefenperkolation, also Wasserbewegungen in der Tiefenstufe des Kohlebergbaus, liegen keine Daten vor. Inwieweit Wasserwegsamkeiten und hydraulische Potenziale zwischen den Gebieten links und rechts der Saar bestehen, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Hingegen ist die Beschaffenheit der Wässer aus diesem Tiefensegment schon jetzt von wasserwirtschaftlichem Interesse.

Im Saarland beträgt der mittlere Niederschlag in den Wintermonaten ca. 510 mm, in den Sommermonaten liegt er bei ca. 450 mm. Die Grundwasserneubildung lässt sich mit ca. 160 mm/a (Median 150 mm/a) ansetzen.

2.3.1 Bergwerkshydrogeologie

Durch den Kohlenbergbau wurden die natürlichen hydrogeologischen Verhältnisse erheblich verändert. Mit dem Abbau und der damit einhergehenden Massenverlagerung hat der Mensch massiv in die geo- und hydrodynamischen Vorgänge eingegriffen. Auflockerungs-, Verwitterungs-

rungs-, Erosions- und Sedimentationsprozesse wurden beschleunigt (WIEBER 1994). Als Folge treten teils irreversible Veränderungen der Umwelt auf.

Während des aktiven Kohleabbaus musste der Grundwasserspiegel bis unter das Abbauniveau abgesenkt werden. Nach Einstellung des aktiven Abbaus werden derzeit die saarländischen Kohlenbergwerke (teil-)geflutet. Die Grundwasserströmungen finden in gefluteten Bereichen dabei zu wesentlichen Anteilen in Stollen und Schächten sowie in den aufgelockerten Bereichen im Liegenden und Hangenden der Strecken statt (WOLKERSDORFER 1996; WIEBER 1999; MELCHERS et al. 2019).

Innerhalb der überwiegend nur gering permeablen karbonischen Kluftgrundwasserleiter wurden mit den Stollen und Schächten sowie den verfüllten Abbaubereichen Wegsamkeiten geschaffen, in denen das Grundwasser mit hohen Geschwindigkeiten zirkulieren kann. Dazu bilden diese Hohlräume noch ein hohes zusätzliches Speichervolumen. Hydraulisch entstand so eine Situation, die vereinfacht als überdimensionale Tiefendrainage mit Ausdehnungen von bis zu mehreren Quadratkilometern und Teufen von bis über 1.000 m angesehen werden kann (WIEBER 1999).

Grubenwässer setzen sich hydrogeologisch aus Wässern verschiedener Herkunft und variierenden Beschaffenheiten zusammen (WIEBER & STEMKE 2021), wobei sich mit unterschiedlichen Anstiegsniveaus die Mischungsverhältnisse im gehobenen Wasser ändern (können).

3. Ableitung von Hintergrundwerten - Methodische Grundlage

Zur statistischen Ermittlung der Hintergrundwerte für Grubenwasser wird auf die von WALTER (2008) entwickelte und auf der Tabellenkalkulationssoftware Excel basierende Anwendung für Grundwasser zurückgegriffen. Diese findet bereits in der Untersuchung von oberflächennahen Grundwässern aus gleichen geologischen Einheiten Anwendung. Im Rahmen dieser Arbeit soll geprüft werden, ob unter Beachtung der Datengrundlage sich auch Mischwässer sowie Wässer unterschiedlicher Herkunft wie Grubenwasser klassifizieren lassen. Grubenwässer bestehen aus Wässern unterschiedlicher Herkunft, Genese und Beschaffenheit (WIEBER & STEMKE 2021).

Grundlage der Auswertung und damit der Abgrenzung ist eine Excel-Anwendung, die die Labor- und Probenahmedaten aus einer externen Excel-Datei einliest und mit einer duplizierten Sicherheitsdatei weiterverarbeitet. Die Daten werden der Größe nach sortiert und automatisch ausgewertet. Als Grundlage dient die Auswertung nach LEPELTIER (1969). Anhand eines Wahrscheinlichkeitspapiers werden neben den allgemeinen Kennwerten wie der Probenanzahl, Minimum, Maximum, Mittelwert und Median ebenso Perzentile und Quartile (5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 %) angegeben. Außerdem wird die Verteilung anhand des d'Agostino-Pearson-K²-Test zur Schiefe und Kurtosis geprüft. Darüber hinaus liefert die Güte der Anpassung ein weiteres Bewertungskriterium.

Die Anwendung zeigt zudem grafisch die Verteilung der Daten auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Es kann zwischen normalverteilter (Gaußsche Normalverteilung) oder lognormalverteilter Population gewechselt werden (Abb. 6). Stammen alle Werte aus einer einzigen Population (Grundmenge der Wasseranalysen), so kann eine Gerade (blau) gebildet werden. Das gesetzte Alpha (0,05%) zeigt gegebenenfalls durch Geraden der Standardabweichung (rot) die Anomalien der Population an. Gehören die Werte mehreren Populationen an, so ist dies in der Grafik

durch Knickpunkte in der Verteilung zu erkennen. Die Populationen weisen somit verschiedene Steigungen auf. Es wird eine verkürzte Gerade angezeigt, Werte anderer Populationen werden dementsprechend als Anomalien gekennzeichnet. Weichen die Populationen stark voneinander ab, werden diese durch zwei Knickpunkte und einer dazwischenliegenden Mischpopulation (Mischwässer zweier Grubenwässer) getrennt. Ein Datensatz kann mehrere Populationen beziehungsweise Mischpopulationen aufweisen, die über die Veränderung der chemischen Beschaffenheit auf Vererzungszone, auf Tiefenperkolation oder laterale Zuflüsse hinweisen können. Zur Auswertung einzelner Populationen müssen diese abgegrenzt werden, was anhand von Schiebereglern zur Löschung von störenden bzw. ungültigen Werten auf der linken beziehungsweise rechten Seite der Verteilung möglich ist.

Berücksichtigt werden müssen auch Analysen, deren Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze liegen. Bei einem großen Anteil solcher Daten ist es möglich, sie entweder mit einer Konzentration entsprechend der halben Nachweisgrenze miteinzuberechnen, diese Werte mit einem Minus zu versehen oder sie gänzlich zu entfernen. Die Anwendung erkennt mit einem Minus versehene Werte als die Nachweisgrenze an und berechnet diese auf Wunsch mit. Derart miteinbezogene Werte haben einen Einfluss auf die Steigung der Population und müssen daher mit Augenmaß eingesetzt werden.

Alle Berechnungen können als Excel-Tabelle zur weiteren Verwendung ausgegeben werden.

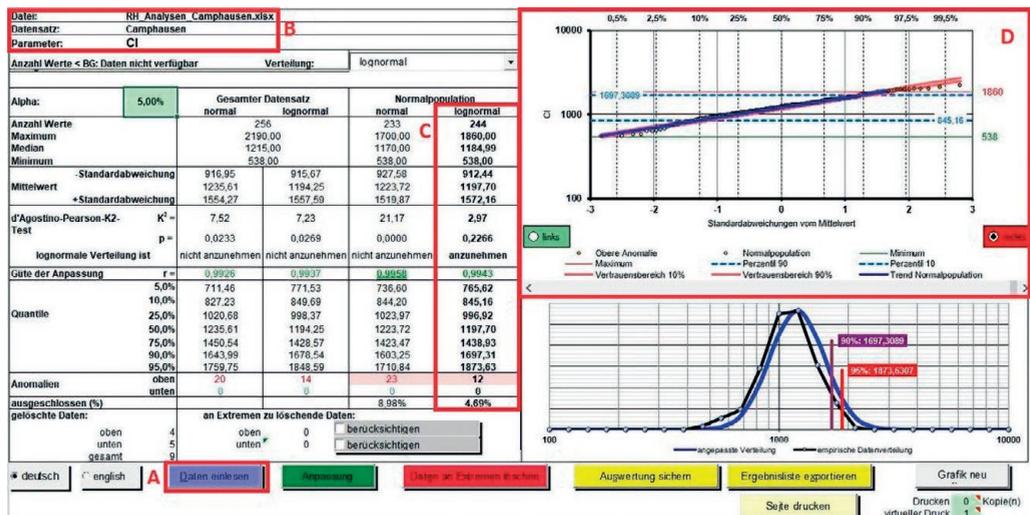


Abb. 6: Beispiel der Worksheet-Oberfläche. Links: Datensatz und Steuerelemente, rechts oben: Datensatz auf Wahrscheinlichkeitspapier, rechts unten: Datensatz in Gaußscher Normalverteilung.

4. Datengrundlage

Zur Untersuchung der Hintergrundwerte von Grubenwässern im Saarland stehen Daten aus den sechs Bergwerken Duhamel, Viktoria, Luisenthal, Camphausen, Reden und Warndt (Abb. 1) zur Verfügung. Zusammengekommen liegen Analysenergebnisse von 1473 Wasserproben vor, wobei der Parameterumfang allerdings stark variiert. Die meisten Untersuchungen wurden von der Ruhrkohle AG auf Grund regelmäßiger Eigenkontrollen beziehungsweise im Rahmen der

Beweissicherung vorgenommen. Zu beachten ist die Klassifizierung der Wässer. Es handelt sich hierbei um gehobene Grubenwässer, also Mischwässer verschiedener Endteufen und Pumpniveaus (Abb. 7). Daneben wurden aber auch untergeordnet punktuelle Einzelproben analysiert (z.B. JENAL 1985).

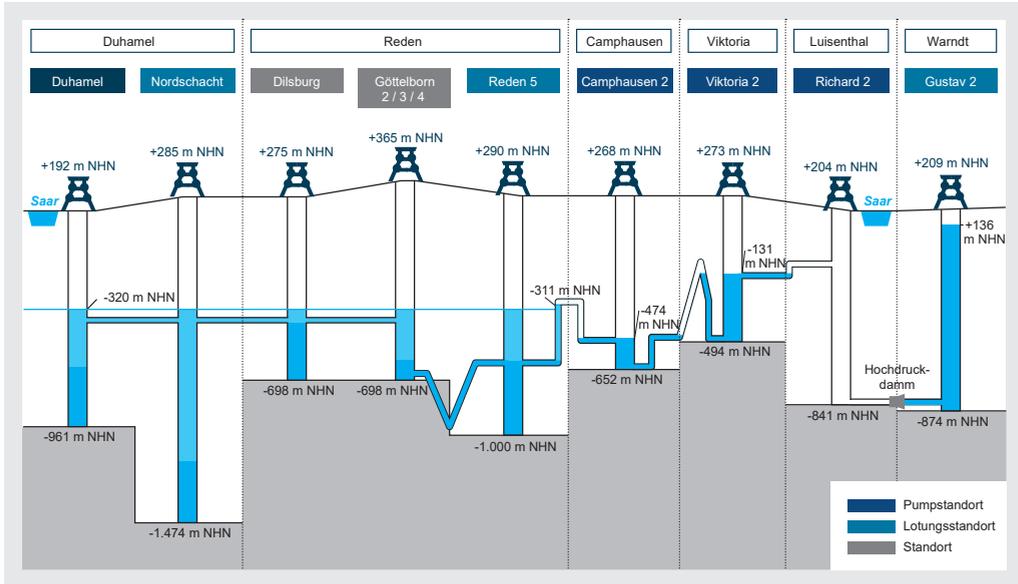


Abb. 7: Geplanter Grubenwasseransteig im Saar-Revier in der genehmigten Phase 1 (aus MELCHERS et al. 2019).

5. Hydrogeochemische Hintergrundwerte für Grundwasser

Mit Blick auf die Hydrogeochemischen Hintergrundwerte (HGW) für Grundwässer räumlich ausgegrenzter Grundwasserkörper lassen sich Abweichungen untersuchter Wässer von diesen Normwerten bestimmen und beurteilen. Als Grundlage dient dazu die HÜK200-Karte, die unter Zuhilfenahme der berechneten Hintergrundwerte eine einfache Darstellungsoption bildet. Sowohl die oberflächlichen geologischen Einheiten als auch die einzelnen Elementgehalte können dargestellt werden. Somit zeigt der Vergleich der Hintergrundwerte bergbaulich veränderter Wässer mit den Werten der oberflächennahen Grundwässer eine Abschätzung, inwiefern diese beeinflusst bzw. verändert sind.

Das Saarland ist in insgesamt 12 hydrogeologische Einheiten unterteilt worden (Abb. 8). Dabei überwiegen vor allem die Klastite des Rotliegenden (Einheit 08P2), gefolgt vom Buntsandstein (ungegliedert, Einheit 06M11) und dem karbonatisch-klastischen Muschelkalk (ungegliedert, Einheit 06M9). Die sechs hier betrachteten Bergwerke korrespondieren ebenfalls mit den Einheiten 08P2 (Rotliegend) und 06M11 (Buntsandstein).

Dieser Gliederung folgt nun auch die Einteilung der Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwasserkörper, die in Tabelle 2 aufgelistet sind. Hierbei wird das 90. Perzentil der Verteilung als Hintergrundwert angenommen. Für die Einheit 08V3 (Rotliegend-Vulkanite) und 11Ka liegen keine Hintergrundwerte vor, sie sind daher auch nicht in Tabelle 2 übernommen worden.

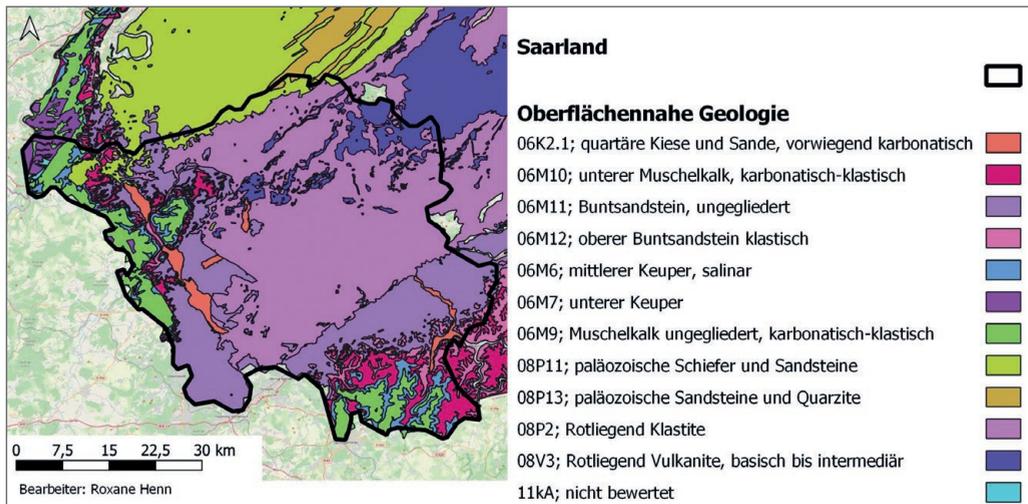


Abb. 8: Hydrogeochemische Einheiten des Saarlandes (Fachdaten BGR).

Die Leitfähigkeit (LF) ist in $\mu\text{S}/\text{cm}$ angegeben, alle Elementgehalte in mg/l . Die Hintergrundwerte für die Grundwässer des Saarlandes (Tab. 2) sind durch neutrale bis schwach basische pH-Werte sowie überwiegend geringe elektrische Leitfähigkeiten ($< 1.250 \mu\text{S}/\text{cm}$) charakterisiert. Lediglich für die Grundwässer des salinaren Keupers, der allerdings nicht im Untersuchungsraum ansteht, beträgt der Hintergrundwert der elektrischen Leitfähigkeit $2090 \mu\text{S}/\text{cm}$. Die Konzentrationen der Hauptkationen und -anionen liegen i.d.R. auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau (Tab. 2). Höhere Gehalte werden nur für die Grundwässer des salinaren Keupers für Calcium ($392 \text{ mg}/\text{l}$) sowie für Sulfat ($952 \text{ mg}/\text{l}$) angegeben. Ebenso sind die Sulfatgehalte in den Grundwässern des saarländischen Muschelkalks ($162 \text{ mg}/\text{l}$) sowie des Rotliegenden ($137 \text{ mg}/\text{l}$) moderat erhöht (Tab. 2).

Tab. 2: Hintergrundwerte (90%-Perzentile) der hydrogeochemischen Einheiten nach BLA-GEO &LAWA.

Hydrogeochemische Einheit	pH	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Ca [mg/l]	Cl [mg/l]	HCO_3 [mg/l]
06K2.1; quartäre Kiese und Sande, vorwiegend karbonatisch	7,61	910	119	54,7	426
06M10; unterer Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	7,72	829	131	31,9	484
06M11; Buntsandstein, ungliedert	7,52	680	85,7	31,9	334
06M12; oberer Buntsandstein klastisch	7,80	634	75,8	57,4	421
06M6; mittlerer Keuper, salinar	7,50	2090	392	74,6	516
06M7; unterer Keuper	7,57	1160	159	139	495
06M9; Muschelkalk ungliedert, karbonatisch-klastisch	7,55	1050	162	75,8	468
08P11; paläozoische Schiefer und Sandsteine	7,47	689	69,5	27,2	243
08P13; paläozoische Sandsteine u. Quarzite	7,31	724	59,4	27,3	197
08P2; Rotliegend, Klastite	7,80	1250	137	63,3	501

Hydrogeochemische Einheit	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	SO ₄ [mg/l]
06K2.1; quartäre Kiese und Sande, vorwiegend karbonatisch	4,82	31,7	7,19	81,2
06M10; unterer Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	4,63	49,8	8,47	62
06M11; Buntsandstein, ungegliedert	5,16	27,3	9,81	61,8
06M12; oberer Buntsandstein, klastisch	< NWG	31,4	24,2	43,2
06M6; mittlerer Keuper, salinar	11	81,6	27,1	952
06M7; unterer Keuper	4,59	65,1	15,7	88,3
06M9; Muschelkalk ungegliedert, karbonatisch-klastisch	4,73	55,7	17,3	169
08P11; paläozoische Schiefer und Sandsteine	2,91	22	19,2	49,1
08P13; paläozoische Sandsteine und Quarzite	2,89	14,5	12,5	48,7
08P2; Rotliegend, Klastite	8,62	47,7	43,2	156

6. Ergebnisse der Hintergrundwert-Berechnungen

Für die Berechnungen der Hintergrundwerte der Gruben Camphausen, Duhamel/Saar, Reden, Luisenthal und Viktoria liegen Analysen von Januar 2000 bis Ende 2019 vor. Analysenergebnisse gezielter Einzelproben konnten nur untergeordnet ermittelt werden (z.B. JENAL, 1983). Dabei ist aber die genaue Verortung und Einstufung des Wassertyps (Sickerwasser, Tiefengrundwasser etc.) häufig nicht eindeutig möglich. Der Betrieb der Grube Warndt wurde im August 2006 eingestellt, sodass danach keine Analysen mehr zur Verfügung stehen. Durchgängig sind vor allem die Parameter Temperatur, pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit gemessen worden, daraus resultiert ein deutlich größerer Probenumfang. In den Tabellen 3 bis 8 sind die Berechnungen der statistischen Kennwerte und der Hintergrundwerte für jeden Parameter angegeben.

Für das in der Grube Camphausen gehobene Wasser lässt sich für alle Parameter nur eine Population feststellen, die vorliegenden Messwerte sind daher nur einer Verteilung zuzuordnen (Tab. 3). Die abgeleiteten Hintergrundwerte betragen 7,76 (pH Wert), 6899 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (elektrische Leitfähigkeit), 147 mg/l (Calcium), 1697 mg/l (Chlorid), 1032 mg/l (Hydrogencarbonat), 34,6 mg/l (Kalium), 166 mg/l (Magnesium), 1188 mg/l (Natrium) sowie 587 mg/l (Sulfat).

Anders sieht es für das in der Grube Duhamel geförderte Grubenwasser aus. Hier lassen sich deutlich zwei Populationen für die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Calcium, Chlorid, Kalium, Magnesium und Natrium unterscheiden mit teils massiv voneinander abweichenden Stoffkonzentrationen. Dies äußert sich in deutlich unterschiedlichen pH-Werten (7,1 – 7,5) sowie den Leitfähigkeiten von 4117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 17720 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Natrium- und Chloridgehalte betragen 894 mg/l Cl bzw. 531 mg/l Na (Population 1), in der 2. Population hingegen 6128 mg/l Cl bzw. 3134 mg/l Na (Tab. 4). Für die Parameter Calcium (197 mg/l – 850 mg/l), Kalium (23,1 mg/l – 44,2 mg/l), Magnesium (123,5 mg/l – 531,5 mg/l) lassen sich ebenfalls 2 Populationen differenzieren. Die Verteilungen der Hydrogencarbonat- (618 mg/l) und Sulfatkonzentrationen (451 mg/l) sind hingegen lognormal verteilt und weisen keine relevanten Knickpunkte auf.

Auch für die Verteilung der Wasseranalysen in der Grube Luisenthal (Tab. 5) lassen sich für die Parameter elektrische Leitfähigkeit (5140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 15690 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Chlorid (973 mg/l – 5376 mg/l) sowie Sulfat (509 mg/l – 963 mg/l) zwei unterschiedliche Populationen differenzieren. Lediglich einer Population zuzuordnen sind die vorliegenden Analysenergebnisse von pH-Wert, Calcium, Hydrogencarbonat, Kalium, Magnesium, Natrium und Sulfat mit den Hintergrundwerten von 143 mg/l Ca, 1057 mg/l HCO_3 , Kalium 37,0 mg/l, Natrium 699 mg/l und SO_4 963 mg/l.

Bei den Wasseranalysenergebnissen der Grube Reden (Tab. 6) lassen sich bei den Parametern pH (7,7 – 8,1) – und Sulfat (246 mg/l – 334 mg/l jeweils zwei Populationen unterscheiden. Lediglich einer Verteilung zuzuordnen sind die Analysenergebnisse für elektrische Leitfähigkeiten (HGW) 2477 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Calcium 80,8 mg/l, Chlorid 261 mg/l, Hydrogencarbonat 1061 mg/l, Kalium 18 mg/l, Magnesium 93,9 mg/l sowie Natrium 357 mg/l.

Die Analysenergebnisse der Grube Viktoria (Tab. 7) zeigen lediglich beim Parameter Chlorid Knickpunkte, die auf zwei Populationen hinweisen. Die entsprechenden Hintergrundwerte (HGW) betragen 175 mg/l bzw. 387 mg/l. Die Analysenergebnisse für die übrigen Parameter sind nur einer Population zuzuordnen. Für sie wurden folgende Hintergrundwerte über das 90. Perzentil abgeleitet: pH-Wert von 7,0, elektrische Leitfähigkeit 3135 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Calcium 89,1 mg/l, Hydrogencarbonat 989 mg/l, Kalium 27,9 mg/l, Magnesium 148 mg/l, Natrium 402 mg/l und Sulfat 523 mg/l.

Für die Grubenwässer der Grube Warndt (Tab. 8) liegen nur für die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat ausreichende Analysenergebnisse vor, um daraus Hintergrundwerte abzuleiten. Für den Parameter Chlorid weisen Knickpunkte auf zwei Populationen mit den Hintergrundwerten von 3379 mg/l bzw. 7337 mg/l hin. Die Hintergrundwerte für die übrigen Parameter betragen 7,5 (pH Wert), 20422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (elektrische Leitfähigkeit) sowie 137 mg/l (Sulfat).

Tab. 3: Hintergrundwertberechnung Bergwerk Camphausen.

Parameter	pH	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Ca [mg/l]	Cl [mg/l]	HCO_3 [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	SO_4 [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	268	284	245	244	240	229	242	246	226
Verteilung:	normal	log-normal	log-normal	log-normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal	lognormal
Korrelationskoeffizient	0,99	1,00	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00
Mittelwert	7,5	5229	119,1	1198	936,7	29,0	140,3	864,2	411,7
Standardabweichung	0,2	1,2	1,2	1,3	74,2	1,1	1,1	1,3	1,3
Median	7,52	5240	120	1185	946	29	140	858	412
Minimum	7,07	2930	65	538	720	19	92	394	225
Maximum	7,81	7450	152	1860	1056	36	170	1300	648
90-Perzentil	7,76	6899	147,2	1697	1032	34,57	165,7	1188	587,0

Tab. 4: Hintergrundwertberechnung Grube Duhamel.

Parameter	pH 1	pH 2	LF 1 [uS/cm]	LF 2 [uS/cm]	Ca 1 [mg/l]	Ca 2 [mg/l]	Cl 1 [mg/l]	Cl 2 [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	98	129	56	163	25	15	46	152
Verteilung:	normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal
Korrelationskoeffizient	0,98	0,99	0,96	0,99	0,98	0,98	0,98	1,00
Mittelwert	6,9	7,4	3489,1	10445,0	172,0	730,2	742,1	3244,5
Standardabweichung	0,1	0,1	1,1	1,5	1,1	1,1	1,2	1,6
Median	6,9	7,3	3674,9	10500,0	173,0	713,0	768,5	3335,0
Minimum	6,57	7,14	2910	4700	144	618	555	1100
Maximum	7,14	7,53	4260	20200	203	877	946	7200
90-Perzentil	7,1	7,5	4117	17720	196,7	850,4	894,8	6128

Parameter	HCO ₃ [mg/l]	K 1 [mg/l]	K 2 [mg/l]	Mg 1 [mg/l]	Mg 2 [mg/l]	Na 1 [mg/l]	Na 2 [mg/l]	SO ₄ [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	54	22	19	30	24	20	17	195
Verteilung:	log-normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal
Korrelationskoeffizient	0,98	0,93	0,99	0,99	0,97	0,96	0,98	0,99
Mittelwert	485,7	21,6	38,6	100,6	236,2	440,2	2592,2	362,0
Standardabweichung	1,2	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2
Median	494,4	21,5	38,0	98,5	249,0	458,0	2620,0	368,0
Minimum	305	19	32	76	130	369	2100	262
Maximum	659	23	45	130	360	537	3280	480
90-Perzentil	617,5	23,1	44,2	123,5	338,0	531,5	3134	451,3

Tab. 5: Hintergrundwertberechnung Grube Luisenthal.

Parameter	pH	LF 1 [uS/cm]	LF 2 [uS/cm]	Ca [mg/l]	Cl 1 [mg/l]	Cl 2 [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	SO ₄ 1 [mg/l]	SO ₄ 2 [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	177	126	66	52	117	59	60	54	57	58	74	109
Verteilung:	normal	normal	normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal	normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal
Korrelationskoeffizient	1,00	0,99	0,99	0,99	1,00	0,97	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99
Mittelwert	7,4	4604	11613	129,5	790,8	3105	843,3	32,9	237,2	593,0	325,9	798,5
Standardabweichung	0,1	419,0	3180	10,5	1,2	1,5	1,2	3,2	28,6	1,1	1,4	1,2
Median	7,4	4640	11550	130,0	798,0	3350	842,0	34,0	240,0	616,5	340,0	796,0
Minimum	7,0	3370	6270	100,0	552,0	1340	580,0	25,0	180,0	439,0	118,0	590,0
Maximum	7,6	5290	16300	146,0	1030	5230	1120	38,0	283,0	730,0	550,0	1010
90-Perzentil	7,6	5140	15690	142,9	973,1	5376	1057	37,0	273,8	699,3	508,6	962,7

Tab. 6: Hintergrundwertberechnung Grube Reden.

Parameter	pH 1	pH 2	LF [uS/cm]	Ca [mg/l]	Cl [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	SO ₄ 1 [mg/l]	SO ₄ 2 [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	118	112	235	44	187	49	47	48	45	160	26
Verteilung:	normal	normal	log-normal	log-normal	normal	normal	normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal
Korrelationskoeffizient	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,98	0,94	0,97	0,99	1,00	0,99
Mittelwert	7,6	8,0	2316	73,1	214,2	963,7	16,8	83,4	322,7	193,0	307,6
Standardabweichung	0,1	0,1	1,1	1,1	36,5	76,1	0,9	8,2	1,1	1,2	1,1
Median	7,6	8,0	2310	73,0	214,5	964,0	17,0	85,0	320,0	190,0	304,5
Minimum	7,2	7,8	1960	64,0	116,0	781,0	14,0	66,0	275,0	113,0	279,0
Maximum	7,8	8,1	2520	83,0	274,0	1086,0	18,0	96,0	367,0	262,0	340,0
90-Perzentil	7,7	8,1	2477	80,8	261,0	1061	18,0	93,9	356,9	246,3	334,3

Tab. 7: Hintergrundwertberechnung Grube Viktoria.

Parameter	pH	LF [uS/cm]	Ca [mg/l]	Cl 1 [mg/l]	Cl 2 [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Na Gesamt [mg/l]	SO ₄ [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	191	214	44	105	107	49	49	47	48	208
Verteilung:	normal	log-normal	normal	normal	log-normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal
Korrelationskoeffizient	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99
Mittelwert	6,9	2148	81,2	129,7	299,3	815,2	22,9	114,6	219,1	282,5
Standardabweichung	0,1	1,3	6,2	35,5	1,2	135,6	1,2	1,2	1,6	1,6
Median	6,9	2180	81,0	127,0	295,0	812,0	23,0	118,0	247,0	296,0
Minimum	6,7	1270	70,0	54,0	202,0	536,0	17,0	75,0	96,0	78,0
Maximum	7,0	3430	91,0	187,0	416,0	1025	29,0	155,0	450,0	621,0
90-Perzentil	7,0	3135	89,1	175,2	386,9	989,0	27,9	147,6	401,6	523,4

Tab. 8: Hintergrundwertberechnung Grube Warndt.

Parameter	pH	LF [uS/cm]	Cl 1 [mg/l]	Cl 2 [mg/l]	SO ₄ [mg/l]
Anzahl Werte Normalpop.	72	59	58	11	57
Verteilung:	normal	normal	lognormal	lognormal	lognormal
Korrelationskoeffizient	1,00	0,99	0,99	0,94	0,99
Mittelwert	7,2	17964,7	6199,6	2746,8	99,2
Standardabweichung	0,2	1917,6	1,1	1,2	1,3
Median	7,2	18120,0	6294,9	2880,0	99,0
Minimum	6,8	13950,0	4420,0	2160,0	51,8
Maximum	7,5	21000,0	7560,0	3320,0	145,0
90-Perzentil	7,5	20422,2	7336,9	3378,7	137,0

Auswertung

Die Auswertung der vorliegenden Analysenergebnisse zeigt, dass nach der vorgestellten Methode Hintergrundwerte berechnet werden können. Mit diesen Hintergrundwerten kann jetzt in verschiedene Richtungen weiter gearbeitet werden. Auf der Hand liegt es, eine Zuordnung der hydrochemischen Daten auf definierbare Wasserkörper vorzunehmen, um sodann Mischungen identifizieren zu können, die bestehende Wasserwegsamkeiten bestätigen bzw. auf unbekanntete Verbindungen hinweisen. In Tabelle 9 sind die für die bearbeiteten Bergwerke ermittelten Hintergrundwerte gegenübergestellt. Zum Teil konnten die vorliegenden Analysenergebnisse unterschiedlichen Populationen zugeordnet werden.

Gegenüber den vorliegenden, oberflächennahen Hintergrundwerten für das Saarland lassen sich teilweise erhebliche Unterschiede feststellen. Insbesondere bei den Parametern elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und Natrium wurden erheblich höhere Hintergrundwerte abgeleitet. Hierfür können sicherlich geogene Gründe angenommen werden, wie z.B. der Aufstieg oder Zufluss höher chlorierter (Tiefen-) Wässer aus dem angrenzenden französischen Revier. Generell dürfte davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Teufe höher mineralisierte Wässer aufgrund längerer Kontaktzeiten verbreitet sind. Die eher niedrigen Sulfatgehalte zeigen, dass der Pyritoxidation in den saarländischen Gruben keine größere Bedeutung (mehr) zukommt. Das wird zudem auch durch die gemessenen pH-Werte untermauert, die gegenüber den saarländischen Hintergrundwerten (HGW) nur gering abweichen (7,0 bis 8,1 gegenüber 7,3 bis 7,8).

Tab. 9: Hintergrundwerte für die Steinkohlengrubenwässer des Saarlandes (Angaben in mg/l, soweit nicht anders angegeben).

Bergwerk	HGW	Camp-hausen	Duhamel	Luisen-thal	Reden	Viktoria	Warndt
pH-Wert	HGW 1	7,8	7,1	7,6	7,7	7,0	7,5
	HGW 2		7,5		8,1		
Elektr. Leitf. (µS/cm)	HGW 1	6899	4117	5140	2477	3135	20422
	HGW 2		17720	15690			
Na	HGW 1	1188	532	699	357	402	
	HGW 2		3134				
K	HGW 1	34,6	23,1	37,0	18,0	27,9	
	HGW 2		44,2				
Mg	HGW 1	166	124	274	93,3	148	
	HGW 2		338				
Ca	HGW 1	147	197	143	83,0	89,1	
	HGW 2		850				
HCO ₃	HGW 1	1032	618	1057	1061	989	
	HGW 2						
Cl	HGW 1	1697	895	973	261	175	3379
	HGW 2		6128	5376		387	7337
SO ₄	HGW 1	587	451	509	246	523	137
	HGW 2			963	334		

Aus der Abgrenzung der Hintergrundwerte lassen sich Beziehungen zwischen dem Grubenwasser, einem Mischwasser und dem Hintergrundwert (HGW) der zugehörigen Hydrogeochemischen Einheit (hier O8P2 Rotliegendklastite und O6M11 Buntsandstein) des oberflächennahen

Grundwassers erkennen. Unter dem Analysetitel HGW2 finden sich höher mineralisierte Wässer. Die Population W1 kann als Mischwasser zwischen dem originären Grubenwasser und einem perkolierenden, oberflächennäherem Grundwasser aufgefasst werden. Zur Verifizierung sind allerdings weitere eingehende lagerstätten- und bergbautechnische sowie hydrogeochemische Auswertungen erforderlich. Eine Ausnahme bildet das Untersuchungsbild der Grube Warndt. Hier scheinen die Verhältnisse umgekehrt, HGW1 kann als Grubenwasser und HGW2 als Mischwasser aufgefasst werden. Die Datenlage ist jedoch nicht ausreichend, um hier Eindeutigkeit zu schaffen. Der Einfluss höher mineralisierter Wässer aus Lothringen, gerade das Chlorid betreffend, muss betrachtet werden. Im Bewirtschaftungsplan Bearbeitungsgebiet Mosel-Saar (IKSMS 2009) werden Grundwasserkörper und auch Tiefengrundwasserkörper mit einem schlechten chemischen Zustand südlich der Saar dargestellt. Diese Einstufung bezieht sich aber auf die oberflächennahen Grundwasservorkommen.

7. Diskussion der Ergebnisse

Die Berechnung der Hintergrundwerte basiert auf den Werten der BLA-GEO und LAWA, welche für oberflächennahe Gewässer einer bestimmten hydrogeochemischen Einheit festgelegt wurde (BLA-GEO & LAWA 2015). Bei den hier vorliegenden Analysen handelt es sich allerdings, wie bereits in der Einführung beschrieben, um (stark) veränderte Wässer, die durch die Abbautiefe, also der Tiefe der Wasserhaltung, eine weitere räumliche Variable aufweisen. Ein direkter Vergleich ist ohne Kenntnis der räumlichen Herkunft (hier die Tiefe) nicht möglich oder müßig, da das Einzugsgebiet nicht bekannt ist.

Zu beachten ist die unterschiedliche Anzahl an Werten, die für jedes Bergwerk und jeden Parameter zu Verfügung stehen. Je nach Beginn, Umfang und Turnus der Beprobung entstehen Unterschiede, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander ebenfalls einschränken. Die überwiegende Anzahl der Analysen, die hier herangezogen wurden, beziehen sich auf gehobene Grubenwässer. Dies bedeutet, dass es sich um Mischwässer verschiedener Tiefen handelt. Als bekannte räumliche Variable lässt sich über die geographische Lage eine Zuordnung zu tektonischen Großeinheiten (Sättel, Mulden, Störungen) vornehmen, die nicht nur durch unterschiedliche Vererzungsintensitäten gekennzeichnet sind, sondern auch Einfluss auf die räumliche Ausprägung der natürlichen Wasserwegsamkeiten haben dürfte. Hier werden die beiden hydraulischen Systeme Kluftgrundwasser und Grubenwasser verschnitten.

Aufgrund der mit zunehmender Tiefe geringeren Teilnahme des Wassers am Wasserkreislauf kann angenommen werden, dass auch die Salinität des Wassers in der Tiefe höher liegt. Dies zeigt sich bereits in einer Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit. Vier der sechs Bergwerke zeigen hier eine circa 5-fach höhere Leitfähigkeit als oberflächennahe Wässer. Das Bergwerk Warndt weist eine 30-fach erhöhte Salzkonzentration auf. Zurückzuführen sind diese hohen Werte auf die Beprobungstiefe von bis zu -810 m NN. Im Allgemeinen liegen alle Element-Hintergrundwerte ebenfalls deutlich über dem Hintergrundwert der korrelierenden oberflächennahen hydrogeochemischen Einheit. Nur die Calcium-Werte des Bergwerks Reden liegen unterhalb der Referenz. Vor allem die Natrium- und Chlorid-Konzentrationen sind deutlich erhöht. Alle anderen Elementgehalte liegen im Durchschnitt doppelt so hoch wie die oberflächennahe Referenz. Die Mineralisation der Grubenwässer westlich der Saar – insbesondere deren Chlorid- und Natriumkonzentrationen – sind gegenüber den nordöstlich des Vorfluters gelegenen Bergwerken deutlich erhöht.

Für die Herkunft höherer Salzfrachten können verschiedene Quellen angenommen werden. Juveniles, aszendentes Wasser aus dem Kristallin, Formationswasser aus den abgelagerten Sedimentgesteinen oder meteorische Wässer, die über eine Tiefenperkolation verändert wurden. Im Rahmen dieser Problematik ist auch die Klärung der Frage, warum sich die Wässer eines Standortes in bestimmten Parameterkonzentrationen deutlich voneinander abweichen, bei anderen Stoffen aber keine Unterschiede zeigen, von Bedeutung.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den Hintergrundwerten der oberflächennahen Wässer und den bergbaulich beeinflussten Wässern eindeutige Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung bestehen. Daher ist es möglich, eine Einstufung und Beurteilung zu erwartender Elementfrachten bei der Einleitung von Grubenwasser in Oberflächengewässer vornehmen. Leider lässt es die Datenlage nicht zu, den im Raum aufgenommenen hydrogeochemischen Verhältnissen eine zeitliche Komponente an die Seite stellen und so Prognosen für die zukünftige Entwicklung stellen zu können.

8. Fazit

Mit der vorliegenden Excel-Arbeitsmappe von BLA-GEO und LAWA ist es möglich, den Hintergrundwert eines Parameters aus einer externen Datenquelle zu berechnen. Anhand dessen können einzelne Populationen sinnvoll abgegrenzt und bewertet werden. Mithilfe hydrogeochemischer Einheiten ist es gelungen, für oberflächennahe Wässer diese geogenen Hintergrundwerte zu bestimmen. Die Bestimmung der HGW für bergbaulich beeinflusste Wässer ist jedoch schwierig. Grundsätzlich können auch hier Hintergrundwerte berechnet werden, diese stammen allerdings entgegen der ursprünglichen Definition nicht aus einer einzigen hydrogeochemischen Einheit. Um hier eine fundiertere Aussage über die Hintergrundwerte treffen zu können, müssen sowohl der Probenumfang, die Beprobungstiefe und die geologischen, hydrogeologischen sowie hydrologischen Gegebenheiten jedes Standortes genauestens bekannt sein. Dann kann mithilfe des Wahrscheinlichkeitspapiers eine individuelle und detailliertere Aussage über die Hintergrundwerte getroffen werden. Weiterhin lassen sich mit Hintergrundwerten und der Ausgrenzung verschiedener Populationen Rückschlüsse auf die Interferenz von Wasserkörpern untereinander ziehen. Dies ist im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht vorgesehen, da dafür eine großräumigere Betrachtung notwendig ist.

Quellen

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland. – Geol. JB Reihe A, Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. - Geol. Jb., A **163**: 456 S., 264 Abb., Hannover.
- ANTEA (2003): Auswirkungen der Grubenstilllegung auf den Wasserkreislauf (MINWATER) – Modellierung mit Grubenwasserüberlauf“. – unveröffentlichtes Gutachten, Antea Alsace Lorraine et Franche-Comté, Vandoeuvre 2003.
- BIRK, F., DOMALSKI, R. & RÜTERKAMP, P. (1986): Bergbau und Grundwasser im Saarland – Untersuchung über die Auswirkung des Bergbaus im Saarland auf das Grundwasservorkommen im Buntsandstein. – Westfälische Berggewerkschaftskasse WBK: 111 S., Bochum (Gutachten, erstellt i.A. des Landesamtes für Umweltschutz, Naturschutz und Wasserwirtschaft Saarbrücken).

- BLA-GEO (Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung) & LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2015): Hydrochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. – 22 S., 3 Abb., 2 Tab., Anhang. https://www.lawa.de/documents/kg_sgd_lawa_hintergrundwerte_151001_1552302338.pdf
- BOY, J.A., HANEKE, J., KOWALCZYK, G., LORENZ, V., SCHINDLER, T., STOLHOVEN, H. & THUM, H. (2012): Rotliegend im Saar-Nahe-Becken, am Taunus-Südrand und im nördlichen Rheingraben. - In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Koordination und Redaktion: H. Lütznier & G. Kowalczyk für die Subkommission Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland X. Rotliegend. Teil I: Innervariscische Becken. – SDGG, 61: 254-377, Hannover.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE & STAATLICHE GEOLOGISCHE DIENSTE (2015): Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland HYRAUM. – Karte; Hannover.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE: Hydrogeologische Übersichtskarte des Saarlandes (HÜK250). – Hannover.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (1979): Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000, Blatt CC 7102 Saarbrücken. – Hannover.
- BURGHARDT, D., COLDEWEY, W. G., MELCHERS C., MESSER, J., PAUL, M., WALTER, T., WESCHE, D., WESTERMANN, S., WIEBER, G., WISOTZKY, F. & WOLKERSDORFER, C. (2017): Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft. - Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV (Hrsg.): 79 S., Neustadt/Weinstraße.
- DECKERT, H., KRIEBS, K., MÜNCH, M., STREB, CH., WIEBER, G. & MALM, F. (2011): Abschlussbericht: Erstellung einer Geothermiepotenzialanalyse für das Saarland. – 184 S., 4 Anl., Bingen.
- EG WRRL - RICHTLINIE 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Union (ABl) ABL. L 327 vom 22.12.2000, S. 1; Luxemburg.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT DES SAARLANDES (Hrsg.) (1987, 1989, 1992): Hydrogeologische Karte des Saarlandes 1:100.000, 3 Blätter – 1. Wasserleitvermögen des Untergrundes, 2. Geologische Übersichtskarte, 3. Grundwasserbeschaffenheit. Saarbrücken.
- HERRMANN, F. (2007): GIS-gestützte Modellierung der Gesamtabfluss-, Direktabfluss-, und Grundwasserneubildung für das Saarland. – Endbericht. ICG IV, 60 S.; Jülich (Forschungszentrum Jülich GmbH).
- IKSMS - INTERNATIONALE KOMMISSIONEN ZUM SCHUTZE DER MOSEL UND DER SAAR (Hrsg) (2009): Internationale Flussgebietseinheit Rhein, Internationales Bearbeitungsgebiet Mosel-Saar (Teil B) Bewirtschaftungsplan 2010-2015. – 73 S., Anh. mit 13 Karten und 8 Tab.; Trier.
- JENAL, P. (1983): Hydrogeochemische Untersuchungen an Grubenwässern des Saarkarbons. – 130 S; Saarbrücken (Dissertation).
- KONZAN, H.-P. & MÜLLER, E. (1989): Geologische Übersichtskarte des Saarlandes 1:100.000. – Geologisches Landesamt des Saarlandes (Hrsg.); Saarbrücken.
- LEPELTIER, C. (1969): A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. – Econ. Geol., 64: 538-550; Lancaster PA.
- MELCHERS, C., WESTERMANN, S. & REKER, B. (2019): Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen. – Berichte zum Nachbergbau, Heft 1: 130 S., Bochum.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2017): Bewirtschaftungsplan für das Saarland – Hintergrundpapier Bergbau zum 2. Bewirtschaftungsplan 2016-2021 zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) im Saarland. 54 S., 2 Abb., 28 Tab., 2 Anl.; Saarbrücken.
- RAG – RUHRKOHLE AG (Hrsg., 2014): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland. – 17 S.; Herne.
- RAG – RUHRKOHLE AG (Hrsg., 2012): Geschichte des Saarbergbaus. – 10 S.; Herne.

- SCHNEIDER, H. (1991): Saarland - Sammlung geologischer Führer, Bd. **84**: 271 S., Stuttgart, Gebr. Borntraeger Verlag.
- SCHRÖDER, E. (1936): Die Erzvorkommen des Saarlandes. – In: Zur Geologie des Saarlandes, Abh. d. preuß. Geol. LA, H. **171**: 115 S., 10 Abb.; Berlin.
- SCHÖPEL, M. (2019): Erbstollen des Altbergbaus auf Steinkohle und deren Auswirkung auf die Wasserqualität der unteren Ruhr unter Berücksichtigung der Grubenwassereinleitung der Ruhrkohle AG. – 54 S., 2 Anl.; Bochum.
- WAGNER, J. & KÖNIG, C. (2009): Grundwassermodell Saarland. Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsprojektes zur Erarbeitung eines numerischen Grundwassermodells für das gesamte Saarland – Abschlussbericht. Arbeitsgemeinschaft Grundwasser- und Geoforschung, Neunkirchen, Saar & delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Neunkirchen/ Saar und Witten, NRW.
- WALTER, T. (2008): Determining natural background values with probability plots. – In: EU Groundwater Policy Developments Conference 13.-15. Nov. 2008: S. 80, 1 Abb.; UNESCO, Paris (France).
- WALTER, T., BEER, A., BROSE, D., BUDZIAK, D., CLOS, P., DREHER, T., FRITSCHKE, H.-G., HÜBSCHMANN, M., MARCZINEK, S., PETERS, A., POESER, H., SCHUSTER, H.-J., WAGNER, B., WAGNER, F., WIRSING, G. & WOLTER, R. (2010): Determining natural background values with probability - In: Proceedings of the IAH-conference, 12. – 17. Sept. 2010, p. 716-717; Krakow, Poland.
- WIEBER, G. (1994): Das ehemalige Erzrevier an der Unteren Lahn – hydro- und geochemische sowie umweltgeologische Verhältnisse unter Berücksichtigung der Rückstände aus der Erzaufbereitung. – Gieß. Geol. Schr., **52**: 284 S.; Gießen (Dissertation).
- WIEBER, G. (1999): Die Grubenwässer des ehemaligen Blei-, Zink-, Kupfer- und Quecksilbererzbergbaus an Beispielen des westlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Saar-Nahe-Senke: Hydraulik, hydrochemische Beschaffenheit und umweltgeologische Bewertung. – 250 S., 69 Abb., 57 Tab.; Gießen (Habil. – Schrift).
- WIEBER, G. & STEMKE, M. (2021): Grundlagen des Grubenwasseranstiegs in stillgelegten deutschen Steinkohlebergwerken. – bbr, **04-2021**: 48-52, 8 Abb., 1 Tab.; Bonn.
- WOLKERSDORFER, C. (1996): Hydrochemische Verhältnisse im Flutungswasser eines Uranbergwerkes – die Lagerstätte Niederschlema, Alberoda. – 244 S.; Clausthal-Zellerfeld (Dissertation).

Internetquellen: <https://www.saar-nostalgie.de/Saargruben.htm>
<https://www.bergbau-unser-erbe.de/das-grubenwasserkonzept>

Manuskript eingegangen am 12.07.2023

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-habil. GEORG H.E. WIEBER

PETER QUENSEL

Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

J.-J.-Becher-Weg 21

D-55128 Mainz

E-Mail: wieber@uni-mainz.de

E-Mail: pquensel@uni-mainz.de

ROXANE HENN

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Mainzer Straße 90

D-65189 Wiesbaden