# Einfluss von Haldenwässern auf ein kleines Fließgewässer am Beispiel des Sulzbachs

Januar 2021 bis Januar 2022



Dipl.-Geogr. Angelika Meyer, Dipl.-Ing. (FH) Elisabeth Fünfrocken, Prof. Dr. Horst P. Beck, Prof. Dr. Guido Kickelbick, Prof. Dr. Ralf Kautenburger Universität des Saarlandes

> Institut für Anorganische Festkörperchemie 66041 Saarbrücken Tel.: 0681-302-4230

www.gewässer-monitoring.de Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz, Referat E / 2 Wasser und Abwasser

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN

- Abb. 1-1: Standorte der Messstationen (Quelle: MUV)
- Abb. 2.1-1: Schematische Darstellung einer mobilen Messstation
- Abb. 2.2.2-1: Prozess der Pyritverwitterung (ferrous iron = zweiwertiges Eisen; acid = Säure; ferric iron = dreiwertiges Eisen; iron hydroxide = Eisenhydroxid) (aus [4])
- Abb. 2.3.2-1: Räumliche Lage des Kohlelagers Mellin (rot schraffierte Fläche) (Quelle: Zora, Maßstab ca. 1:11000)
- Abb. 2.3.2-2: Verlauf des Lochwiesbachs (Quelle: Zora, Maßstab ca. 1:5200)
- Abb. 2.3.3-1: Standort der Messstation in *Sulzbach* (gelber Punkt) und Entnahmestellen der manuellen Beprobungen an Sulzbach (rote Kreise) und Lochwiesbach (grüne Kreise) (Quelle: Zora, Maßstab ca. 1:3700)
- Abb. 3.1.1-1: Einträge von Ammonium, ortho-Phosphat und TOC aus einer Mischwasserentlastung (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (6. bis 11. November 2021)
- Abb. 3.1.1-2: Einträge von Ammonium, ortho-Phosphat und TOC aus einem Regenüberlaufbauwerk (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (12. bis 20. November 2021)
- Abb. 3.1.1-3: Einträge von partikelgebundenem Phosphor und TOC über Oberflächenabfluss (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (12. bis 20. November 2021)
- Abb. 3.1.1-4: Korrelation von Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat (Messstation *Sulzbach*) über den gesamten Messzeitraum
- Abb. 3.1.1-5: Eintrag von Nitrat über Zwischenabfluss (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (27. November bis 18. Dezember 2021)
- Abb. 3.1.2-1: Sauerstoff-Gehalte bei Einträgen von Ammonium und TOC (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (30. Juli bis 9. August 2021)
- Abb. 3.1.2-2: Sauerstoff-Gehalte in Abhängigkeit von den Wassertemperaturen (Messstation *Sulzbach*), über den gesamten Messzeitraum (oben) und vom 6. bis 25. März 2021 (unten)
- Abb. 3.1.2-3: Luft- und Wassertemperaturen sowie Sauerstoff-Gehalte (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) über den gesamten Messzeitraum
- Abb. 3.1.3-1: Sulfatkonzentrationen (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (29. April bis 8. Mai 2021)

- Abb. 3.1.3-2: Sulfat- im Vergleich zu Nitratkonzentrationen aus Zwischenabfluss (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (30. November bis 12. Dezember 2021)
- Abb. 3.1.3-3: Sulfatkonzentrationen und Leitfähigkeit (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst), Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (1. Oktober 2021 bis 31. Januar. 2022)
- Abb. 3.1.3-4: Sulfatkonzentrationen und Leitfähigkeit (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst), Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (1. Oktober 2021 bis 31. Januar. 2022) (LWB = Lochwiesbach)
- Abb. 3.1.3-5: pH-Werte (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) über den gesamten Messzeitraum
- Abb. 3.1.3-6: Sulfat- und TIC-Konzentrationen (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (23. November bis 26. Dezember 2021)
- Abb. 3.1.3-7: Zusammenhang zwischen Sulfat- und TIC-Konzentrationen (oben) sowie Sulfatgehalten und Leitfähigkeit (unten) (Messstation *Sulzbach*) über den gesamten Messzeitraum (n jeweils 6874)
- Abb. 3.2.1-1: Verlauf der Frachten von Ammonium und TOC während einer Mischwasserentlastung (Station *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (20. bis 26. Juni 2021)
- Abb. 3.2.1-2: Anstieg der Frachten von Gesamt-Phosphor und TOC durch Erosion (Station *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (22. bis 24. Juli 2021)
- Abb. 3.2.1-3: Maximum der Nitrat-Frachten (Station *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (29. Dezember 2021 bis 7. Januar 2022)
- Abb. 3.2.2-1 Verlauf der Frachten von Sulfat und TIOC (Station Sulzbach) über den gesamten Messzeitraum
- Abb. 3.3-1: Sulfatkonzentrationen (oben), Leitfähigkeit (Mitte) und TIC-Gehalte (unten) in den manuellen Proben oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbach (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses
- Abb. 3.3-2: pH-Werte der manuellen Proben oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbach (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses
- Abb. 3.3-3: Säurekapazität (KS<sub>4,3</sub>) der manuellen Proben oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbach (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses
- Abb. 3.3-4: Konzentrationen von Calcium (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)
- Abb. 3.3-5: Konzentrationen von Kalium (1), Magnesium (2), Natrium (3) und Mangan (4) (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)

- Abb. 3.3-6: Konzentrationen von Chlorid (oben) und Nitrat (unten) (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)
- Abb. 3.3-7: Konzentrationen von Kupfer (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)
- Abb. 3.3-8: Rot-braune Färbung des Lochwiesbachs durch Verockerung am Stollenaustritt (links) und Eisengehalte der manuellen Beprobung entlang des Lochwiesbachs und an der Mündung in den Sulzbach (Rohr) (rechts)
- Abb. 3.3-9: Correlationplots der Konzentrationsdaten der drei Probenahmepunkte (links: Sulzbach oberhalb Lochwiesbach; Mitte: Lochwiesbach im Rohr; rechts: Sulzbach unterhalb Lochwiesbach) (Dim = Hauptkomponente) (April/Mai/Juni 2021)
- Abb. 6-1: Lage der Halden im Saarland (Quelle: Zora, Maßstab ca, 1: 100.000)
- Abb. 6-2: Messstation am Sulzbach in Sulzbach auf dem Gelände der freiwilligen Feuerwehr
- Abb. 6-3: Probenentnahme für die Messstation am Sulzbach in Sulzbach
- Abb. 6-4: Vergleich der Leitfähigkeit in der Messstation und an der Brücke ca. 100 m unterhalb der Messtation in Sulzbach (23. April bis 12. Juni 2021)
- Abb.6-5: Box-whisker-plots der Stundenmittelwerte des Sulzbach in Sulzbach vom 26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022: a: Leitfähigkeit; b: pH-Wert, Sauerstoff, Temperatur; c: Ammonium, ortho-Phosphat, Gesamt-Phosphor, d: Nitrat und TOC, e: Sulfat und TIC
- Abb.6-6: Box-whisker-plots der Frachten des Sulzbachs in *Sulzbach* vom 26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022: a: Ammonium, b: ortho-Phosphat, Gesamt-Phosphor, c: Nitrat und TOC, d: Sulfat und TIC
- Abb.6-7: Sauerstoffgehalte, pH-Wert und Leitfähigkeit während der manuellen Beprobungen des Lochwiesbachs
- Tabelle 3.1.4-1: Mittelwerte, Mediane, Minima und Maxima der Stundenmittelwerte des Sulzbachs in Sulzbach (26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022), die jeweilige Anforderung der OGewV [11], der betreffenden Fischregionen [12] bzw. der Schwellenwert des Methodenhandbuchs [6] sowie die Anzahl der zugrundeliegenden Stundenmittelwerte
- Tabelle 3.2.3-1: Mittelwerte, Mediane, Minima und Maxima der Frachten der Stundenmittelwerte der Nährstoffe und des Abflusses sowie Gesamtfracht am Sulzbach in Sulzbach über den gesamten Messzeitraum (26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022)
- Tabelle 6-1: Messparameter, Messbereiche und -methoden in den Messstationen
- Tabelle 6-3: Übersicht über die Ergebnisse der manuellen Beprobungen des Lochwiesbachs (ober Teil: die Analysen erfolgten jeweils an einer filtrierten Probe über Ionenchromatographie, für Eisen mittels Röntgenfluoreszenz
- Tabelle 6-3: Mittelwerte, Minima und Maxima der Messdaten des LUA im Jahr 2004 (Messstelle Nr. 2040, Sulzbach-Altenwald, uh. KA Ruhbachtal)

Wir möchten an dieser Stelle denjenigen recht herzlich danken, die uns während des Messzeitraumes fachlich und praktisch bei der Durchführung des Projektes unterstützt haben:

Herrn Naumann, Herrn Dr. Götzinger und Herrn Becker
vom Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz;
Frau Kaiser, Herrn Dr. Haybach, Herrn Stoffels und Herrn Rigoll
vom Landesamt für Umwelt - und Arbeitsschutz;

Frau Dr. Brix und Frau Dr. Baur von der Arbeitsgruppe WASTe der Universität des Saarlandes, der Freiwilligen Feuerwehr Sulzbach.

## INHALT

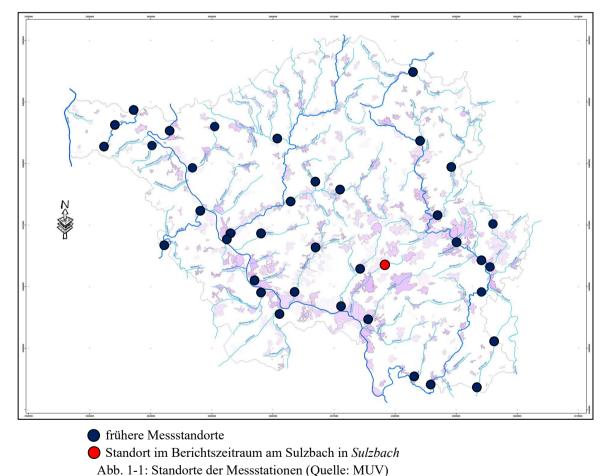
1. EINLEITUNG	1
2. GRUNDLAGEN	2
2.1 TECHNISCHE GRUNDLAGEN	2
2.2. Thematischer Hintergrund	3
2.2.1 DER BERGBAU IM SAARLAND	3
2.2.2 EINFLÜSSE DES (NACH-)BERGBAUS AUF DIE AQUATISCHE UMWELT	3
2.3 Untersuchungsraum und Standort	4
2.3.1 DAS EINZUGSGEBIET DES SULZBACHS	4
2.3.2 DAS KOHLELAGER MELLIN/LOCHWIESBACHSCHACHT	5
2.3.3 Messstandort und Datenerhebung	$\epsilon$
3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION	7
D. D	,
3.1 Online erhobene Konzentrationen	8
3.1.1 Nährstoffe	8
3.1.2 TEMPERATUR UND SAUERSTOFF	11
3.1.3 SULFAT UND WEITERE INDIKATOR-PARAMETER FÜR BERGBAU-WÄSSER	14
3.1.4 TABELLARISCHE ÜBERSICHT ÜBER DIE KONZENTRATIONEN SOWIE TEMPERAT	
LEITFÄHIGKEIT UND PH-WERT	20
3.2 Online ermittelte Frachten	22
3.2.1 Nährstoff-Frachten	22
3.2.2 FRACHTEN VON SULFAT UND TIC	24
3.2.3 TABELLARISCHE ÜBERSICHT ÜBER DIE FRACHTEN	24
3.3 ERGEBNISSE DER MANUELLEN BEPROBUNGEN	25
4. FAZIT UND AUSBLICK	34
TAZII OND RESDEICK	
5. LITERATUR	35
6. ANHANG	36

## 1. Einleitung

Zeitlich hoch aufgelöste Messungen, welche Messdaten in einer Frequenz von wenigen Minuten liefern, erlauben nicht nur die Erstellung eines genauen Abbilds der Konzentrationsverläufe in einem Fließgewässer. Sie ermöglichen zudem eine Differenzierung zwischen punktuellen und diffusen Einträgen sowie die Ermittlung ihrer Eintragspfade.

Mit Hilfe der von der Arbeitsgruppe GEWÄSSERMONITORING der Universität des Saarlandes im Rahmen eines EU-LIFE-Projektes<sup>1</sup> konzipierten mobilen Messstationen können Nährstoffparameter wie Phosphor, TOC und Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium sowie weitere Messgrößen wie Wassertemperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und Trübung in sehr hoher zeitlicher ermittelt werden. Diese Stationen werden seither Auflösung in Ergänzung Überwachungsprogramme zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (MUV) in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz des Saarlandes (LUA) im Rahmen eines investigativen Monitorings eingesetzt.

Die im Folgenden dargestellte Karte des Saarlandes (Abb. 1-1) zeigt die Standorte, an denen bereits gemessen wurde (blau), sowie den Messstandort der vorgestellten Machbarkeitsstudie am Sulzbach in *Sulzbach* (rot).



<sup>1</sup> LIFE00 ENV/D/000337: "Ferngesteuerte Kontrolle des eutrophierenden Eintrags aus diffusen Quellen in der Region SAAR-LOR-LUX" (EUTROPH MONITOR) in den Betrachtungsräumen Nied und Attert (2001 – 2004)

1

## 2. Grundlagen

### 2.1 Technische Grundlagen

Zur hochfrequenten Erfassung von Gewässergütedaten wurden mehrere Messstationen als mobile Anhänger konzipiert und mit verschiedenen Messgeräten ausgestattet.

Eine Tauchpumpe, welche im Gewässer installiert wird, fördert kontinuierlich Flusswasser in den in der Messstation befindlichen Probentopf; über ein weiteres Rohrsystem wird der Überlauf des Probentopfes ins Gewässer zurückgeleitet (Abb. 2.1-1). Im Probentopf selbst befinden sich die Messsonden zur Erfassung von Nitrat, Trübung, Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert und Leitfähigkeit sowie die Entnahme-Einheiten der online-Photometer für die Bestimmung der Konzentrationen von Ammonium (mit vorgeschaltetem Filter), Phosphor als ortho-Phosphat und Gesamt-Phosphor sowie TOC und TIC (Total Organic/Inorganic Carbon, Gesamter Organischer/Anorganischer Kohlenstoff). Im vorliegenden Falle wurde zudem ein Analysator mit Filtersonde für die Bestimmung von Sulfat integriert (siehe unten).

Je nach Messmethode können so sehr kurze Messintervalle zwischen wenigen Sekunden und zehn Minuten realisiert werden. Die Messwerte werden im Fünfminuten-Rhythmus von einem Datenlogger erfasst und von dort mit Hilfe eines Mobilfunk-Modems übertragen.

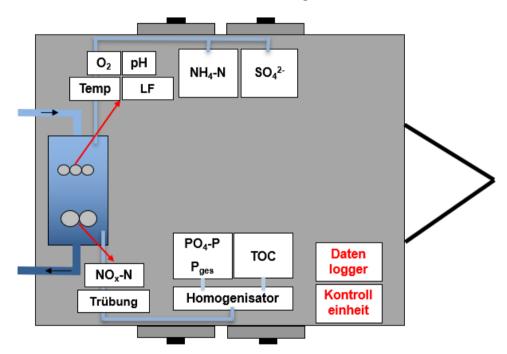


Abb. 2.1-1: Schematische Darstellung einer mobilen Messstation

Um die Funktionalität der einzelnen Messgeräte zu überprüfen, werden etwa alle sieben bis zehn Tage Vergleichsproben analysiert und den online ermittelten Werten gegenübergestellt. Dabei werden auch die Gehalte von Nitrit gemessen. Abschließend erfolgt eine Interpretation der gewonnenen Datenreihen unter Berücksichtigung von Klimadaten und Abflüssen sowie von Informationen über die geologische Ausstattung des Einzugsgebietes, Landnutzung, Einleiter etc.

## 2.2. Thematischer Hintergrund

## 2.2.1 Der Bergbau im Saarland

Das Saarland wurde und wird nach wie vor durch den Kohlebergbau geprägt. Erste Aktivitäten konnten auf das 7. Jahrhundert v. Chr. zurückdatiert werden. Im Laufe der Jahrhunderte entstanden so zahlreiche Schürfe und kleine Minen, in denen zunächst verschiedene Erze und später auch Steinkohle abgebaut wurden.

Durch die Verstaatlichung der Kohleminen im Jahr 1751 durch Wilhelm Heinrich, Fürst von Nassau-Saarbrücken begann "eine systematische und rationelle Gewinnung von Steinkohle an der Saar." [1]. Im Zuge der Industrialisierung konnten die Effizienz der Förderungen weiter erhöht und neue Absatzmärkte erschlossen werden. Im Zuge dieser Expansionen nahm neben der Fördermenge auch die Anzahl der Beschäftigten zu<sup>2</sup> [1].

Nach dem 2. Weltkrieg allerdings ging in Folge der Kohle- und Strukturkrisen die Förderung der Kohle und damit auch die Zahl der Bergleute an der Saar drastisch zurück.

Im Jahr 1997 einigten sich Bund, Nordrhein-Westfalen, das Saarland, RAG und IG BCE "auf einen schrittweisen Abbau von Subventionen des Bundes und der Kohleländer für die Zeit bis 2005" [1].

Mit der Schließung des letzten in Betrieb befindlichen Bergwerks in *Ensdorf* wurde der Bergbau im Saarland im Jahr 2012 endgültig beendet; die Zeit des Nachbergbaus begann.

Laut Haldenatlas des Saarlandes existieren im Saarland 83 Halden, welche den 6 Minen und 2 Kraftwerken<sup>3</sup> zugeordnet sind. Die Halden sind vornehmlich im Saarkohlewald (Karbon) und Warndt (Buntsandstein) zu finden (Abb. 6-1 im Anhang), ihre Flächen variieren zwischen 0,4 und 28 ha, die Gesamtfläche beläuft sich auf ca. 542 ha, also ca. 0,2% der Landesfläche.

## 2.2.2 Einflüsse des (Nach-)Bergbaus auf die aquatische Umwelt

Die meisten Schadstoffe, die durch bergbauliche Aktivitäten in die Umwelt gelangen, stammen aus sog. diffusen Quellen, was bedeutet, dass sie nicht eindeutig lokalisierbar sind.

Direkte Einträge (aus sog. Punktquellen) beschränken sich im Zusammenhang mit bergbaulicher Aktivität hauptsächlich auf Einleitungen von Grubenwässern, die entweder durch den natürlichen Abfluss entstehen oder zwecks Trockenhaltung der Grubenbaue aus den Stollen gepumpt werden. Im Saarland findet derzeit noch an 5 Stellen eine Förderung von Grubenwasser und dessen Einleitung in ein Oberflächengewässer statt<sup>4</sup>.

Während derartige Einträge gut zu überwachen sind, gestaltet sich das Monitoring diffuser Belastungsquellen als schwieriger. Das in den Halden abgelagerte Material beginnt unter atmosphärischem Einfluss zu verwittern. Durch das eindringende bzw. oberflächlich ablaufende Regenwasser gelangen die während der Verwitterungsprozesse freigesetzten Substanzen dann in die Umwelt. Besonders der Verwitterung von Pyrit kommt in diesem Zusammenhang eine relevante Bedeutung zu. Pyrit ist das am häufigsten vorkommende sulfidische Mineral und findet sich in fast allen Gesteinen, Erzen und auch in Kohle [3].

Bei der Verwitterung von Pyrit handelt es sich um eine Serie von verknüpften geochemischen und mikrobiologisch bedingten Reaktionen, durch die Schadstoffe mobilisiert werden, die in den

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 1860: 13.000 Bergleute (unter Tage) - 2 Mio. t Kohle p.a.; 1900: 42.000 Mitarbeiter - 9,4 Mio. t Kohle p.a.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Reden, Camphausen, Luisenthal, Warndt, Göttelborn und Ensdorf bzw. St. Barbara und Weiher

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> in *Duhamel (Ensdorf)* und *Luisenthal* in die Saar, in *Reden* in den Klinkenbach/Sinnerbach, in *Camphausen* in den Fischbach und in *Viktoria* (im Ort *Köllerbach*) in den Köllerbach [2]

aquatischen Kreislauf gelangen. Durch die Anwesenheit von Eisen-oxidierenden Bakterien kann dieser Prozess sehr stark beschleunigt werden [4].

Ein schematischer Überblick über die wichtigsten Schritte der Pyrit-Verwitterung ist in Abb. 2.2.2-1 gegeben.

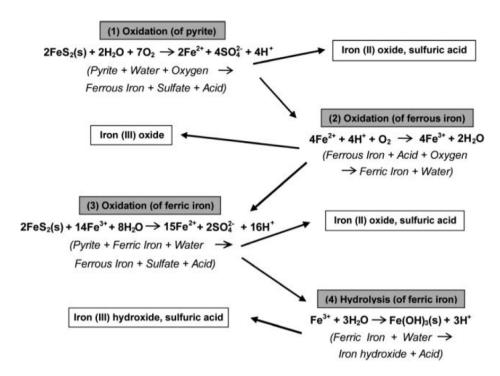


Abb. 2.2.2-1: Prozess der Pyritverwitterung (ferrous iron = zweiwertiges Eisen; acid = Säure; ferric iron = dreiwertiges Eisen; iron hydroxide = Eisenhydroxid) (aus [4])

In Haldenkörpern des Steinkohletagebaus kommt es durch die Oxidation des vorhandenen Pyrits zur Bildung von großen Mengen an Sulfat, welches daher als sog. Indikator-Parameter für die Bewertung von Einträgen aus Gruben und Halden dienen kann. Im aktuellen Bewirtschaftungsplan des Saarlandes ist Sulfat als solcher auch für diejenigen Gewässer, welche Einflüssen aus Halden unterliegen, als Untersuchungskriterium definiert [5], [6].

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Pyrit-Verwitterung ist zudem die Bildung von Säuren und die dadurch bedingte Versauerung der austretenden Wässer. Diese Versauerungsprozesse bedingen die Freisetzung von Metallen (vornehmlich Eisen und Mangan, bisweilen auch Arsen und Aluminium) [3], [4], [7]. Die gelösten Metalle werden durch das (saure) Wasser mobilisiert und gelangen so in die Umwelt. Dieses Phänomen stellt in bergbaulich geprägten Regionen weltweit ein Problem dar und wird in der Fachliteratur als Acid Mine Drainage (AMD für Wässer aus Gruben) bzw. Acid Rock Drainage (ARD für Wässer aus Gesteinen und Halden) bezeichnet [3], [4], [7].

#### 2.3 Untersuchungsraum und Standort

## 2.3.1 Das Einzugsgebiet des Sulzbachs

Der Sulzbach entsteht im *Sulzbacher* Ortsteil *Altenwald* durch den Zusammenfluss von Ruhbach und Moorbach (Abb. 2.3-1). Er entwässert über 16,6 km Fließstrecke das im Saarkohlenwald befindliche Einzugsgebiet von insgesamt 38,1 km² und mündet in *Saarbrücken* von rechts kommend in die Saar [5].

Das Einzugsgebiet ist stark durch Urbanisierung geprägt und der Sulzbach in weiten Teilen begradigt bzw. verrohrt. Nur auf insgesamt 1% der Fläche wird Landwirtschaft betrieben, 39 % der Fläche sind mit Siedlungen und 50% mit Wald bedeckt. Etwa 11% der Flächennutzung ist mit "Sonstiges" angegeben, worunter auch ehemalige Bergbau-Standorte fallen. Es gibt insgesamt 111 Direkteinleiter, der Großteil davon sind Mischwasserentlastungsbauwerke (Quelle: MUV).

Im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurde der Sulzbach dem Betrachtungsraum III Mittlere Saar zugeordnet und als Oberflächenwasserkörper (OWK) III-3.1 und III-3.2 (Oberlauf) kategorisiert [5]. Der Sulzbach zählt zum Fließgewässertyp 5.1, den feinmaterialreichen, silikatischen Mittelgebirgsbächen [8]. Die Zielerreichung für den guten chemischen Zustand wurde im aktuellen Bewirtschaftungsplan auf 2021, die Erreichung des guten ökologischen Zustands auf 2027 terminiert [5]. Aufgrund der unverhältnismäßigen Kosten sowie natürlicher Gegebenheiten im Einzugsgebiet wurden für den Sulzbach weniger strenge Umweltziele im Hinblick auf organische und anorganische Belastungen sowie den ökologischen Zustand definiert [5].

### 2.3.2 Das Kohlelager Mellin/Lochwiesbachschacht

Die Fläche, deren Einfluss auf den Sulzbach betrachtet werden soll, "wurde in der Zeit von 1888 bis 1961 als Lagerfläche für Berge und Flotationsschlämme der Grube Mellin genutzt. Das derzeitige Planum, das Anfang 1960er Jahre hergestellt wurde, liegt bis zu 30 m über der ursprünglichen Geländeoberfläche" (Abb. 2.3.2-1). Zwischen 1961 und 1982 wurde das Gelände als Kohlelager für verschiedene Gruben genutzt, danach stillgelegt. [9]

Die Fläche hat eine Gesamtgröße von rund 24 ha und ist im Nordwesten durch Autobahn, im Südosten durch Bahnlinie, im Nordosten durch Waldflächen, im Westen durch das Schul- und Sportzentrum *Sulzbach*, im Südwesten durch den Gewerbepark Mellin begrenzt. Das Gelände weist ein Nord-Süd-Gefälle auf, dessen tiefste Lage der Sulzbach ist. [9]

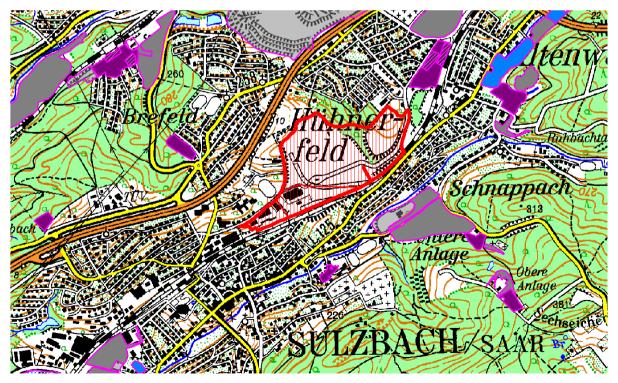


Abb. 2.3.2-1: Räumliche Lage des Kohlelagers Mellin (rot schraffierte Fläche) (Quelle: Zora, Maßstab ca. 1:11000)

Der Lochwiesbachstollen durchquert das gesamte Gelände in annährend nordöstlich-südwestlicher Richtung. Des Weiteren existiert in der Südwestecke der Mellinstollen, der mit dem Lochwiesbachstollen zusammenläuft und zur Abwasserführung genutzt wird. "Die über 100jährige industrielle Nutzung des Geländes hat somit zur vollständigen Überprägung des natürlichen Geländes geführt, in deren Folge der Lochwiesbach als natürliche Vorflut vollständig kanalisiert und bis zu 30 m überschüttet ist." [9]

Der in dem heute geschlossenen Kanal unterhalb der Auffüllungen verlaufende Lochwiesbach fließt nach seinem Austritt aus dem Stollen etwa 350 m offen durch eine bewaldete Strecke, bevor er in einer Verrohrung unter der Straße hindurchgeleitet wird und nach weiteren 150 m direkt aus diesem Rohr in den Sulzbach entwässert (Abb. 2.3.2-2 und Abb. 6-3 im Anhang).



Abb. 2.3.2-2: Verlauf des Lochwiesbaches (Quelle: Zora, Maßstab ca. 1:5200)

## 2.3.3 Messstandort und Datenerhebung

Um hochfrequente Gewässer-Daten im Einzugsbereich der Halde Mellin erheben zu können, wurde eine Messstationen mit einem online-Analysator für Sulfat nachgerüstet (vgl. Kapitel 2.2.2) und vom 26. Januar 2021 bis zum 31. Januar 2022 am Sulzbach in *Sulzbach* auf dem Gelände der Freiwilligen Feuerwehr (Koordinaten: R 2577618 H 5463106) betrieben. Die Entnahmepumpe wurde dabei so im Gewässer positioniert, dass auch die Einleitung des im Ortsbereich von *Sulzbach* weitestgehend kanalisierten Lochwiesbachs im Gewässer miterfasst werden konnten (Abb. 2.3.3-1 und Abb. 6-2 und 6-3).

Zur Qualitätssicherung der online erhobenen Daten wurden wöchentlich vor Ort Vergleichsmessungen der elektrochemischen Parameter durchgeführt sowie Proben entnommen und auf Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphor, TOC und Sulfat untersucht.

Zusätzlich zu den online erfassten Daten wurden auch manuelle Proben entnommen, um die Grundbelastung des Sulzbaches vor dem Zufluss des Lochwiesbachs beurteilen und um Veränderungen des Lochwiesbachs nach dessen Austreten aus dem Stollen abschätzen zu können. (Abb. 2.3.3-1).

Die Proben wurden im Labor unter anderem mit Hilfe von Ionenchromatographie (IC) und Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS<sup>5</sup>) auf weitere Parameter und Elemente im Spurenbereich untersucht.

Zur Interpretation aller Messwerte wurden die Daten der Wetterstationen *Homburg* und *Blieskastel* sowie die Abfluss-Daten des Pegels *Jägersfreude* herangezogen. Um den realen Abfluss in *Sulzbach* zu berechnen, wurde auf die Messwerte des Pegels *Jägersfreude*, welcher sich ca. 6 km flussabwärts vom Standort der Messstation befindet, ein Gebietsfaktor von 0,666 sowie ein Zeitversatz von 2 Stunden angewandt. Die so für den Messstandort berechneten Abflussdaten werden in den Abbildungen als "Abfluss SB" bezeichnet. Die Wetter- und Pegel-Daten wurden durch das Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz des Saarlandes (LUA) erhoben.

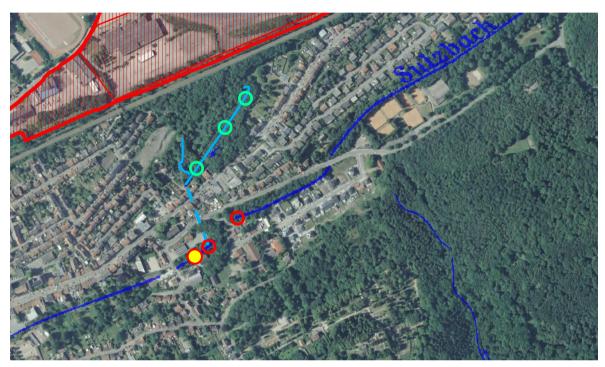


Abb. 2.3.3-1: Standort der Messstation in *Sulzbach* (gelber Punkt) und Entnahmestellen der manuellen Beprobungen an Sulzbach (rote Kreise) und Lochwiesbach (grüne Kreise) (Quelle: Zora, Maßstab ca. 1:3700)

## 3. Ergebnisse und Diskussion

In den folgenden Kapiteln werden einige signifikante Beobachtungen beschrieben, die mit Hilfe der mobilen Messstation innerhalb des Messzeitraumes vom 26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022 sowie durch manuelle Beprobungen an Sulzbach und Lochwiesbach gewonnen werden konnten.

Den Abbildungen in den Kapiteln 3.1 bis 3.4 liegen, soweit nicht anders vermerkt, die Stundenmittelwerte der erhobenen Messdaten zugrunde, da sich diese direkt mit den vom LUA zur Verfügung gestellten Stundenmittelwerten der Abflüsse sowie den Stundensummen der Niederschläge vergleichen lassen und zudem ein hoch aufgelöstes Bild der Konzentrationsverläufe wiedergeben.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> englisch: inductively coupled plasma mass spectrometry

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Mitteilung LUA

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die online erhobenen Messergebnisse hierbei zunächst in die Unterkapitel "Nährstoffe", "chemisch-physikalische Messgrößen" und "Sulfat und weitere Indikator-Parameter für Bergbau-Wässer" untergliedert. Die Betrachtung erfolgt dabei jedoch keineswegs losgelöst voneinander, sondern immer auch im Hinblick auf die Veränderungen der übrigen, gleichzeitig erhobenen Messgrößen sowie Abflusssituationen, Niederschläge etc. (s.o.).

Die auf Basis der online gemessenen Konzentrationsdaten ermittelten Frachten werden in Kapitel 3.4 diskutiert.

Abschließend werden in Kapitel 3.5 die Ergebnisse der manuellen Beprobungen vorgestellt, die im Messzeitraum an unterschiedlichen Messorten am Sulzbach und Lochwiesbach gewonnen werden konnten.

### 3.1 Online erhobene Konzentrationen

#### 3.1.1 Nährstoffe

Über längere Zeiträume liegen die Konzentrationen der Nährstoffe am Messpunkt im Sulzbach unter den jeweils geforderten Grenzwerten<sup>7</sup>. Allerdings konnten häufig Einträge beobachtet werden, welche im Hinblick auf ihre Zusammensetzung und ihr Muster auf kommunales Abwasser hindeuten. Die Nährstoff-Konzentrationen steigen dadurch im Gewässer an; vor allem für Ammonium<sup>8</sup> und TOC werden sehr hohe Werte erreicht. Kurzfristige, sprunghafte Einträge sprechen für Einleitungen aus Mischwasserentlastung infolge von Regenereignissen (Abb. 3.1.1-1).

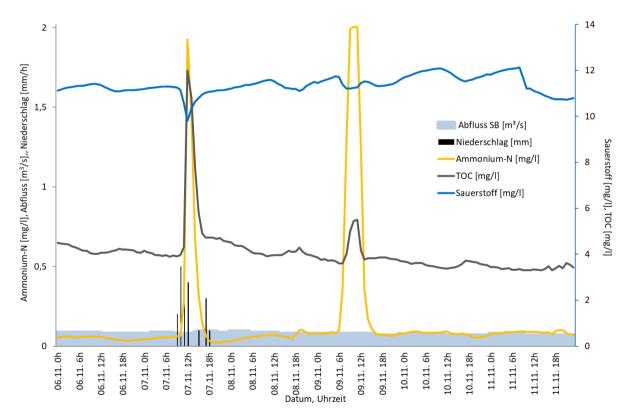


Abb. 3.1.1-1: Einträge von Ammonium, ortho-Phosphat und TOC aus einer Mischwasserentlastung (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (6. bis 11. November 2021)

8

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Diese sind: 0,1 mg/l für Ammonium-N; 0,1 mg/l Gesamt-Phosphor; 0,07 mg/l ortho-Phosphat-P; 7 mg/l TOC

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Im Falle von Ammonium wurde die Messbereichsobergenze des Gerätes von 2mg/l sehr oft überschritten.

Noch häufiger konnten länger anhaltende Einträge beobachtet werden, deren Verlauf sich durch tageszeitliche Schwankungen auszeichnet (Abb. 3.1.1-2). Derartige Eintragsmuster werden durch im Tagesverlauf schwankende Abwassermengen verursacht und sind auf Einleitungen aus Kläranlagen oder auf Defekte bei Mischwasserentlastungsanlagen zurückzuführen. Letzteres war auch die Ursache für diese hohen Nährstoff-Konzentrationen im Sulzbach. Durch eine Funktionsstörung eines Regenüberlaufbauwerks gelangte nach einem Regenereignis weiterhin ungeklärtes Abwasser aus dem Kanal in den Lochwiesbach und somit in den Sulzbach<sup>9</sup> und verursachte dort eine enorme stoffliche Belastung mit sehr hohen Ammonium-Gehalten. In dem in Abb. 3.1.2-2 dargestellten Beispiel wird ersichtlich, dass die Einträge in der Nacht vom 13. auf den 14. November durch Regenfälle verdünnt wurden, nach deren Abklingen jedoch rasch wieder dasselbe Konzentrationsniveau erreichten.

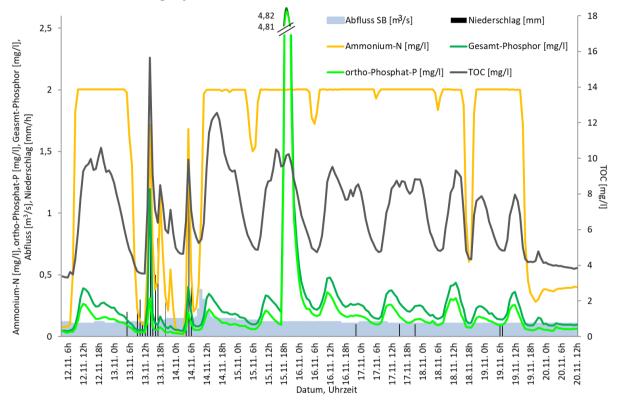


Abb. 3.1.1-2: Einträge von Ammonium, ortho-Phosphat und TOC aus einem Regenüberlaufbauwerk (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (12. bis 20. November 2021)

Während des Messzeitraumes von einem Jahr konnten insgesamt 4 solcher Ereignisse aufgezeichnet werden, wobei jedes Ereignis etwa 10 Tage andauerte.

Einträge aus diffusen Quellen konnten hingegen nur selten beobachtet werden. In Abb. 3.1.1-3 ist der einzige Zeitraum dargestellt, in dem es zu einem Eintrag einer größeren Menge an partikelgebundenem Phosphor kam. Der an Partikel gebundene Phosphor ist die Differenz zwischen Gesamt-Phosphor und dem Anteil an gelöstem ortho-Phosphat. Diese Phosphor-Fraktion stammt meist aus phosphorhaltigen Düngemitteln, die im Einzugsgebiet ausgebracht wurden. Der Phosphor lagert sich an Bodenpartikel an und wird mit diesen bei Regenfällen mit dem Oberflächenabfluss ins Gewässer eingespült. Im Allgemeinen steigt bei diesen Erosions-Ereignissen auch der TOC-Gehalt im Gewässer an, Ammonium wird im Gegensatz zu den oben beschriebenen punktuellen Einleitungen nicht eingetragen.

9

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Wann immer diese Belastungen auftraten, wurde unverzüglich der EVS darüber informiert, damit der Schaden behoben werden konnte.

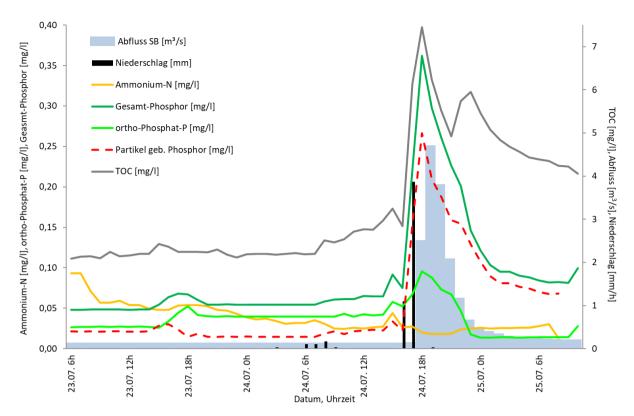


Abb. 3.1.1-3: Einträge von partikelgebundenem Phosphor und TOC über Oberflächenabfluss (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (12. bis 20. November 2021)

Der größte Anteil des Phosphors am Standort rührt jedoch von Einleitungen kommunalen Abwassers her. Dies zeigt sich durch den hohen Zusammenhang zwischen Gesamt-Phosphor und dem abwasserbürtigen ortho-Phosphat in Abb. 3.1.1-4. Eine Korrelation zwischen anderen Nährstoffen lässt sich nicht feststellen.

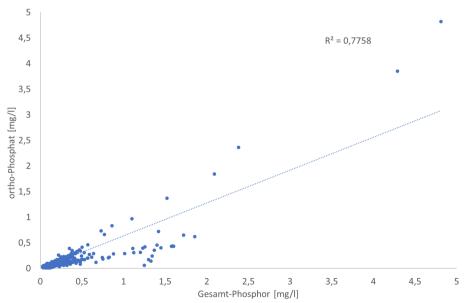


Abb. 3.1.1-4: Korrelation von Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat (Messstation *Sulzbach*) über den gesamten Messzeitraum

In Bezug auf Nitrat hingegen konnten des Öfteren Einträge aus diffusen Quellen erfasst werden. Das leicht lösliche Nitrat wird bei Regenfällen mit dem sog. Zwischenabfluss zunächst lateral durch den Boden transportiert und erreicht daher mit einer gewissen Zeitverzögerung das Gewässer. Dies äußert sich in einem zeitlichen Versatz zwischen der Abflusskurve und der Konzentrationskurve des Nitrats. Da das Nitrat aus verschiedenen Flächen und über weitere Strecken aus dem Einzugsgebiet in das Gewässer transportiert wird, kann es über eine längere Zeit "nachgeliefert" werden, weshalb die Gehalte nur langsam abnehmen (Abb. 3.1.1-5)

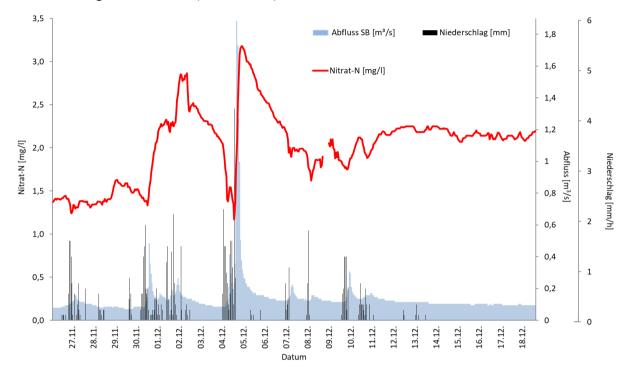


Abb. 3.1.1-5: Eintrag von Nitrat über Zwischenabfluss (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (27. November bis 18. Dezember 2021)

#### 3.1.2 Temperatur und Sauerstoff

Die Sauerstoff-Gehalte werden am Standort Sulzbach besonders im Sommer durch die Einleitungen von Abwasser beeinträchtigt. Wie in Abb. 3.1.2-1 ersichtlich hat vor allem Ammonium einen negativen Einfluss auf den Sauerstoff-Haushalt. Es ist davon auszugehen, dass einerseits eine Sauerstoff-Zehrung infolge der Belastung des Gewässers durch die organischen Einleitungen stattfindet, und andererseits diese Einleitungen aufgrund ihrer geringen Sauerstoffgehalte zusätzlich zu einer Verdünnung der Sauerstoff-Konzentrationen im Gewässer führen.

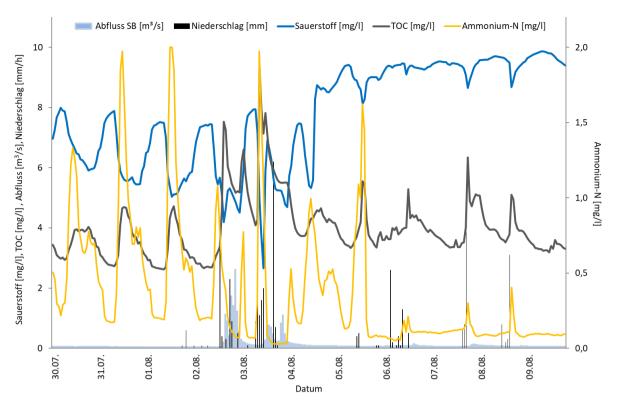


Abb. 3.1.2-1: Sauerstoff-Gehalte bei Einträgen von Ammonium und TOC (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (30. Juli bis 9. August 2021)

Trägt man die Sauerstoff-Konzentrationen gegen die entsprechenden Wassertemperaturen auf, so lassen sich die Phasen der Sauerstoff-Defizite gut erkennen (Abb. 3.1.2-2). Generell lässt sich festhalten, dass es nur selten zur Übersättigung des Gewässers mit Sauerstoff kommt. Auch im März, wenn während des Entwicklungsmaximums der Algen tagsüber viel Sauerstoff produziert und nachts konsumiert wird, konnten derartige Übersättigungszustände nicht beobachtet werden (in Abb. 3.1.2-2 rot gekennzeichnet). Dies ist ein Hinweis darauf, dass das Gewässer am Standort in *Sulzbach* aufgrund der normalerweise vorhandenen geringen Mengen an Nährstoffen nicht eutrophiert ist.

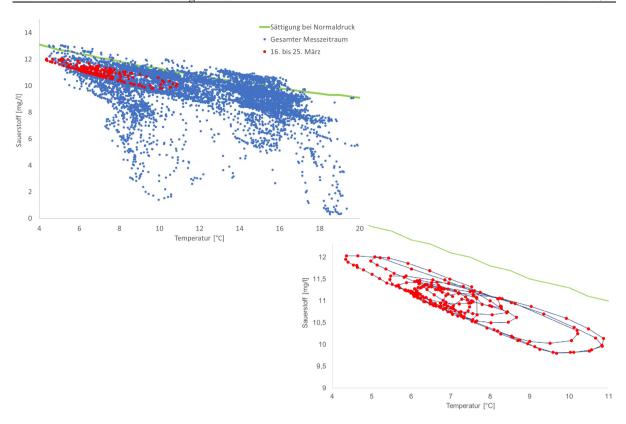


Abb. 3.1.2-2: Sauerstoff-Gehalte in Abhängigkeit von den Wassertemperaturen (Messstation *Sulzbach*), über den gesamten Messzeitraum (oben) und vom 6. bis 25. März 2021 (unten)

Die Wassertemperaturen überschritten in den Wintermonaten nur vereinzelt das gesetzlich vorgegebene Maximum von 10°C; im Sommer bewegten sie sich trotz hoher Lufttemperaturen unter dem Anforderungswert von 20°C (Abb. 3.1.2-3)

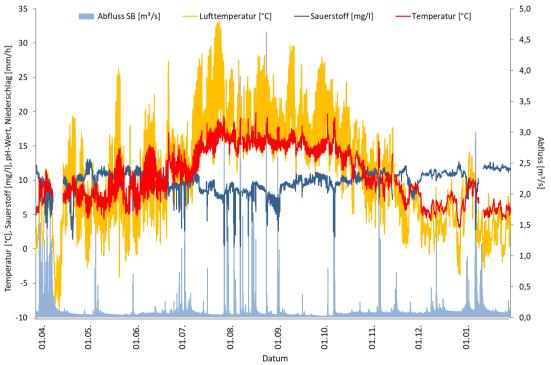


Abb. 3.1.2-3: Luft- und Wassertemperaturen sowie Sauerstoff-Gehalte (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) über den gesamten Messzeitraum

### 3.1.3 Sulfat und weitere Indikator-Parameter für Bergbau-Wässer

Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, kann Sulfat als Indikator-Parameter für Einträge aus bergbaulicher Aktivität bzw. dem Nachbergbau dienen. Um die Sulfatkonzentrationen kontinuierlich erfassen zu können, wurde daher ein Analysator auf Basis der Barium-Chlorid-Methode in der Messstation installiert, welcher die Messung einer zuvor filtrierten Probe innerhalb von 30 Minuten gewährleistet. Grundsätzlich ist zu sehen, dass die Sulfatgehalte durch Regenfälle unmittelbar verdünnt werden (Abb. 3.1.3-1).

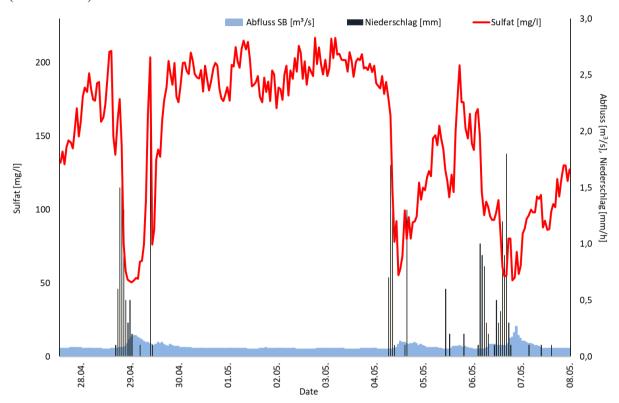


Abb. 3.1.3-1: Sulfatkonzentrationen (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (29. April bis 8. Mai 2021)

Während Nitrat vornehmlich über Zwischenabfluss eingetragen wird (vgl. Abb. 3.1.1-5), konnten derartige Eintragsmuster für Sulfat nicht festgestellt werden, wie der Vergleich der Konzentrationskurven in Abb. 3.1.3-2 verdeutlicht. Die in der Abbildung zu sehenden Konzentrationsanstiege sind auf den Rückgang der Wassermenge, also auf eine zurückgehende Verdünnung der Sulfatgehalte zurückzuführen. Es konnten also am Standort in *Sulzbach* keine Hinweise darauf gefunden werden, dass ein Transport über Zwischenabfluss aus der Halde stattfindet.

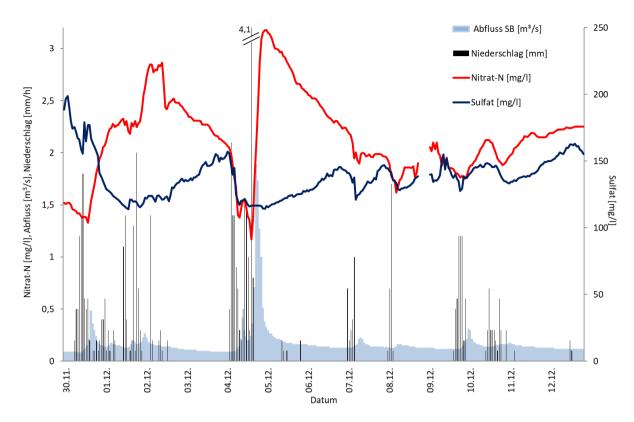


Abb. 3.1.3-2: Sulfat- im Vergleich zu Nitratkonzentrationen aus Zwischenabfluss (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (30. November bis 12. Dezember 2021)

Da die Sulfat-Gehalte die Leitfähigkeit beeinflussen, ist die Leitfähigkeit erwartungsgemäß am Standort in *Sulzbach* sehr hoch. Bisweilen zeigt sich zwar ein paralleler Verlauf der Sulfat-Konzentrationen, es gibt aber auch Phasen, in denen die Leitfähigkeit maßgeblich durch andere Salze geprägt wird. So lassen sich die Spitzen in der Leitfähigkeitskurve sowie auch die maximalen Konzentrationen auf Einleitungen von Streusalzen im Winter zurückführen (Abb. 3.1.3-3). Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit und den Sulfatgehalten lässt sich an diesem Standort jedoch nicht feststellen, da die Leitfähigkeit auch durch andere Salze wie z.B. Chlorid im Gewässersystem beeinflusst wird (vgl. Abb. 3.1.3-7).

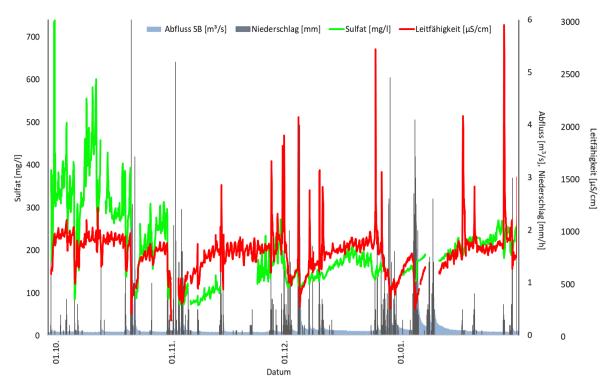


Abb. 3.1.3-3: Sulfatkonzentrationen und Leitfähigkeit (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst), Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (1. Oktober 2021 bis 31. Januar. 2022)

Zusätzlich zu der Messung der Leitfähigkeit in der Messstation wurden sog. Stand-Alone-Sonden für die Erfassung der Leitfähigkeit an 3 weiteren Messpunkten eingebracht, an denen auch die manuellen Beprobungen im Sulzbach durchgeführt wurden (vgl. Abb. 2.3.3-1). Eine Sonde wurde daher etwa 50 m oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs in den Sulzbach eingebracht, eine Sonde wurde direkt im Rohr (Lochwiesbach) und eine letzte etwa 100m unterhalb an einer Brücke installiert. Der Vergleich der Verlaufskurven der Messonden oberhalb des Lochwiesbachs, im Rohr und in der Messstation zeigt deutlich, wie groß der Unterschied der Leitfähigkeit im Lochwiesbach und im Sulzbach ist (Abb. 3.1.3-4). Die Salzgehalte im Lochwiesbach werden bei Regenfällen zudem sehr viel stärker verdünnt, die Leitfähigkeit reagiert daher sehr viel unmittelbarer auf den Regen als dies im Sulzbach der Fall ist. Letzterer weist eine Basis-Leitfähigkeit um 400 µS/cm auf, während die Leitfähigkeit im Lochwiesbach um ca. ein Vierfaches höher liegt. Ob die oberhalb der Einleitung gemessenen Werte als geogener Hintergrund bezeichnet werden können ist fraglich, da das obere Einzugsgebiet des Sulzbachs (Ruhbach und Moorbach) bereits von bergbaubedingten Einträgen beeinflusst ist (vgl. auch Kapitel 3.3).

Wegen der räumlichen Gegebenheiten am Standort war es nicht möglich, die Messstation etwas weiter flussabwärts zu errichten. Daher stellte sich die Frage, ob an dem sich dadurch zwangsläufig ergebenden Entnahmepunkt für die Messstation die Durchmischung von Sulzbach und Lochwiesbach bereits als vollständig angesehen werden kann. Um dies zu überprüfen, wurde die 3. Messsonde an der Brücke in das Gewässer eingebracht (s.o.) und die dort gemessene Leitfähigkeit mit der in der Messstation erfassten verglichen. Wie in Abb. 6-4 (im Anhang) ersichtlich zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Verlaufskurven der beiden Standorte. Dies lässt den Schluss zu, dass aufgrund der Turbulenzen im Gewässer sowie der meist geringen Wasserführung bereits am Entnahmepunkt für die online-Messungen das Gewässer vollständig durchmischt wird und die Probestelle daher repräsentativ für die Abbildung der Einleitung ist.

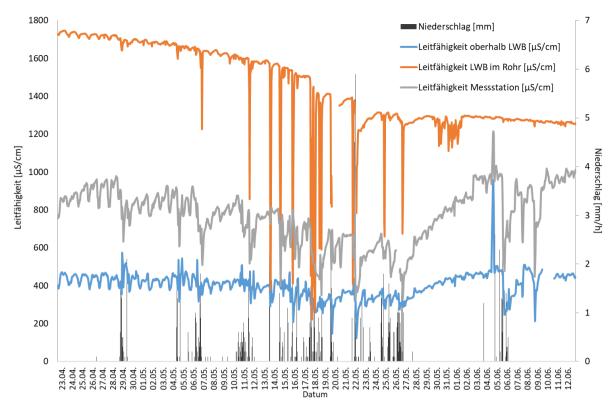


Abb. 3.1.3-4: Sulfatkonzentrationen und Leitfähigkeit (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst), Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (1. Oktober 2021 bis 31. Januar. 2022) (LWB = Lochwiesbach)

Die bisher beschriebenen Beobachtungen lassen insgesamt auf eine intensive Pyritverwitterung im Haldenkörper schließen. Damit einhergehend ist oft ein hoher Versauerungsgrad der austretenden Wässer (vgl. Kapitel 2.2.2). Am Standort in *Sulzbach* konnten keine Anzeichen für eine Versauerung festgestellt werden. Die pH-Werte bewegten sich zwischen 7,6 und 8,5; Verringerungen der pH-Werte erfolgten lediglich kurzfristig infolge von Regenereignissen (Abb. 3.1.3-5).

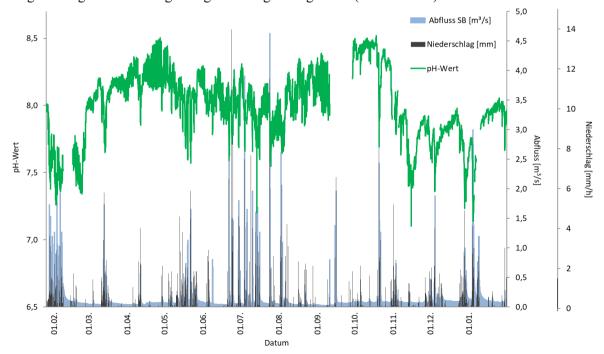


Abb. 3.1.3-5: pH-Werte (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) über den gesamten Messzeitraum

Eine Übersicht mit den anderen online erhobenen Messgrößen zeigt zudem einen recht parallelen Verlauf der Sulfatkonzentrationen und der TIC-Werte (Abb. 3.1.3-6). Der TIC ist ein Summenparameter, welcher den Anteil an anorganischem Kohlenstoff erfasst und spiegelt in der Hauptsache die Gehalte an Kohlendioxid, Carbonaten und Hydrogencarbonaten im Gewässer wider.

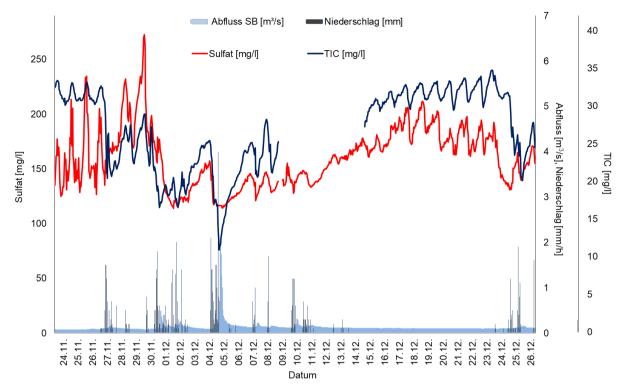


Abb. 3.1.3-6: Sulfat- und TIC-Konzentrationen (Messstation *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (23. November bis 26. Dezember 2021)

Wie bei Sulfat und Leitfähigkeit ( $R^2 = 0,286$ ) lässt sich ebenso zwischen den Sulfat- und den TIC-Gehalten ( $R^2 = 0,416$ ) kein statistisch signifikanter Zusammenhang belegen (Abb. 3.1.3-7). Dennoch ist vor allem für die Korrelation von Sulfat und TIC eine parallele Tendenz erkennbar. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Streuung der Sulfat-Messwerte, welche u.a. durch die Messmethode selbst bedingt sind, ein Grund für ist, dass dieser Zusammenhang nicht mathematisch abgesichert werden kann. Es steht allerdings außer Zweifle, dass es sich bei den Sulfat- und TIC-Gehalten an dieser Stelle um gekoppelte Systeme handelt (vgl. Kapitel 3.3).

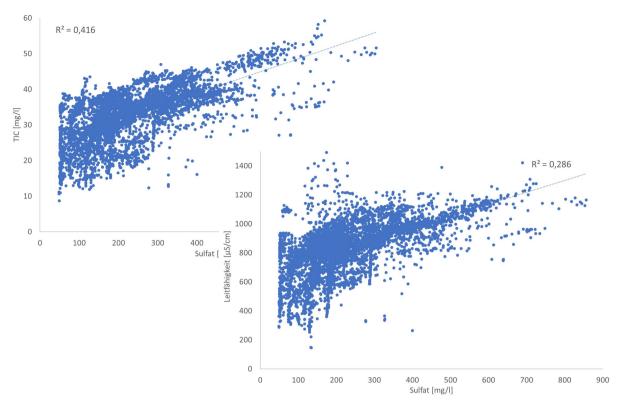


Abb. 3.1.3-7: Zusammenhang zwischen Sulfat- und TIC-Konzentrationen (oben) sowie Sulfatgehalten und Leitfähigkeit (unten) (Messstation *Sulzbach*) über den gesamten Messzeitraum (n jeweils 6874)

Die beschriebenen Beobachtungen legen den Schluss nahe, dass es sich im vorliegenden Fall um sog. Bulk-Wässer handelt. Schöppke & Preuss [10] beschreiben, dass Zänker et al. (2000) und Zänker & Richter (2001) die Grubenwässer in zwei Gruppen unterteilen: zum einen die "Hochmineralisierten Porenwässer mit pH-Werten von 1 bis 3 (…)" und auf der anderen Seite sog. "Bulk-Wässer: reduziertes, hochmineralisiertes Stollenwasser mit pH-Werten um 7".

Um diese Erkenntnisse weiter abzusichern und weitere, nicht online messbare Parameter mit in die Betrachtungen einbeziehen zu können, wurden in den Monaten April bis Juni intensive manuelle Beprobungen an den 3 Messstellen im Sulzbach sowie entlang des Lochwiesbachs nach dessen Austritt aus dem Stollen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3.3 näher erläutert.

## 3.1.4 Tabellarische Übersicht über die Konzentrationen sowie Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert

In der folgenden Tabelle 3.1.4-1 sind die Mittelwerte, die Mediane sowie die Minima und Maxima der während des Messzeitraumes (26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022) erhobenen online-Messdaten als Stundenmittelwerte aufgeführt. Die entsprechenden Werte werden im Text mit den Anforderungen verglichen, welche in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) [11] für den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potenzial in Bezug auf die jeweiligen Parameter festgelegt wurden. Für Nitrat und Nitrit gelten diejenigen Werte, die im aktuellen Bewirtschaftungsplan für das Saarland (Anhang VI – Methodenhandbuch) [6] als Schwellenwerte der ökologischen Zustandsklasse 2 ("gut") als unterstützende Qualitätskomponente für die Auswertung des ökologischen Zustands definiert wurden 10.

Zur Bewertung der Wassertemperatur wird das absolute Maximum der Messwerte zum Vergleich mit den Anforderungen angewandt, wobei zwischen Sommer- und Wintermonaten<sup>11</sup> unterschieden wird und unterschiedliche Anforderungen für die verschiedenen Fischregionen bestehen [12]. Zur Bewertung der Sauerstoffgehalte ist generell der niedrigste, beim pH-Wert der niedrigste und der höchste gemessene Wert zum Vergleich mit den Anforderungen bzw. den Schwellenwerten heranzuziehen, für die übrigen Parameter ist der Mittelwert entscheidend (jeweils in der Tabelle fett gedruckt). Für Leitfähigkeit und TIC sind keine Anforderungen definiert. Die Werte für Ammoniak wurden rechnerisch aus den Ammoniumkonzentrationen, den Wassertemperaturen und den pH-Werten ermittelt und sind daher kursiv geschrieben, die Werte für Nitrit wurden nicht online erfasst und sind daher grau unterlegt.

"Im Rahmen von Immissionsbetrachtungen sind beim Ammonium-Stickstoff (...) Jahresmittelwerte häufig nicht zielführend, deshalb wird hier als Überwachungswert zusätzlich das 90er Perzentil angegeben" [6], für Sauerstoff werden ebenfalls die entscheidenden Perzentile (90er und 10er) im Text angeführt.

Eine weitere Übersicht der Messdaten in Form von Boxplots findet sich im Anhang (Abb. 6-5).

Während des Messzeitraumes überschritten im Sulzbach in *Sulzbach* die Werte für Nitrat insgesamt bei weniger als 6% der Messungen den Schwellenwert gemäß Methodenhandbuch (s. Tabelle 3.3-1). Die Konzentrationen von Ammonium lagen hingegen in 30% der Messungen über der Anforderung der OGewV (90er Perzentil: 0,741 mg/l NH<sub>4</sub>-N)<sup>12</sup> [11] Die TOC-Gehalte lagen lediglich in 5% über der Anforderung, die Gehalte von Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat überschritten diese in 14 bzw. in 8% der Messungen.

Die Temperaturen lagen in den Wintermonaten (s.o.) in 4% der Messungen über dem gesetzlich vorgegebenen Maximum von 10°C, im Sommer immer unter der Anforderung von 20°C. Die pH-Werte bewegten sich grundsätzlich innerhalb der geforderten Bereiche. Hingegen lagen die Sauerstoff-Konzentrationen in 11% der Fälle unter der Anforderung, das 90er-Perzentil der Sauerstoff-Messungen (P90) der Sauerstoff-Gehalte beträgt 11,4 mg/l, das 10er-Perzentil (P10) 7,84 mg/l.

überschritten wurde und daher die Ermittlung des Mittelwertes, des Medians und des 90er Perzentils nicht genau

erfolgen kann. Der Maximalwert kann ebenfalls nur mit > 2mg/l angegeben werden.

 $<sup>^{10}</sup>$  2,48 mg/l Nitrat-N im Gegensatz zu 11 mg/l Nitrat-N in der OGewV; 30  $\mu g/l$  Nitrit-N im Gegensatz zu 50  $\mu g/l$  Nitrit-N in der OGewV

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Sommermonate: April bis November, Wintermonate: Dezember bis März

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Zu beachten ist, dass im Fall von Ammonium die Messbereichsobergrenze des Gerätes (2mg/l) oft

Tabelle 3.1.4-1: Mittelwerte, Mediane, Minima und Maxima der Stundenmittelwerte des Sulzbachs in *Sulzbach* (26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022), die jeweilige Anforderung der OGewV [11], der betreffenden Fischregionen [12] bzw. der Schwellenwert des Methodenhandbuchs [6] sowie die Anzahl der zugrundeliegenden Stundenmittelwerte

	NO <sub>3</sub> -N [mg/l]	NH4-N [mg/l]	NH3-N [μg/l]	NO <sub>2</sub> -N [μ/l]	PO <sub>4</sub> -P [mg/l]	P <sub>ges</sub> [mg/l]
Mittelwert	1,62	0,256	4,79	47,3	0,047	0,081
Median	1,52	0,057	1,11	43,0	0,036	0,060
Minimum	0,69	nn <sup>13</sup>	nn	7,01	nn	0,029
Maximum	3,18	> 2	116	103	4,81	4,82
Anforderung /Schwellenwert	≤ 2,48	≤ 0,1	≤1	≤ 30	≤ 0,07	≤ 0,1
Anzahl Messwerte	7430	7040	6631	39	6754	6934

	TOC [mg/l]	TIC [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> - [mg/l]
Mittelwert	3,97	31,9	231
Median	3,44	32,9	201
Minimum	2,09	8,15	48,7
Maximum	37,1	59,2	856
Anforderung / Schwellenwert	≤7	-	75
Anzahl Messwerte	8048	8048	5789

	pH- Wert	Sauerstoff Temperatur [mg/l] [°C]		Leitfähigkeit [µS/cm]	
Mittelwert	8,00	9,77	10,8	827	
Median	8,02	10,1	10,0	836	
Minimum	7,17	0,316	3,09	146	
Maximum	8,52	13,049	19,9	2951	
Anforderung	6,5 – 8,5	> 8	≤ 10 bzw. ≤ 20	-	
<b>Anzahl Messwerte</b>	8069	8508	8508	8061	

21

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> nn: Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze des entsprechenden Messgerätes

#### 3.2 Online ermittelte Frachten

Konzentrationsdaten aus einer kontinuierlichen Erfassung in Verbindung mit online erhobenen Abflussdaten liefern auch ein zeitlich hoch aufgelöstes Bild der im Gewässer transportierten Frachten und erlauben zudem eine genaue Abschätzung der Gesamt-Frachten im Gewässer.

#### 3.2.1 Nährstoff-Frachten

Die höchsten Frachten treten dann auf, wenn durch Mischwasserentlastung große Mengen an Nährstoffen und Wasser eingetragen werden. Die tageszyklischen Belastungen, die durch die Einleitungen von ungeklärtem Abwasser aus dem Regenüberlaufbauwerk verursacht werden, wirken sich nicht so gravierend auf die Fracht aus, da diese nicht notwendigerweise mit Regen und einem Anstieg der Wassermenge einhergehen, und, im Gegenteil, durch auftretende Regenfälle sogar verdünnt werden. Die Spitzen der mengenmäßigen Belastungen dauern daher zwar nicht lange an, die auftretenden Maxima sind hingegen extrem hoch. So wurden einem Mischwasserentlastungsereignis in einer Stunde fast 9kg Ammonium-N und über 330 kg TOC ins Gewässer gespült.

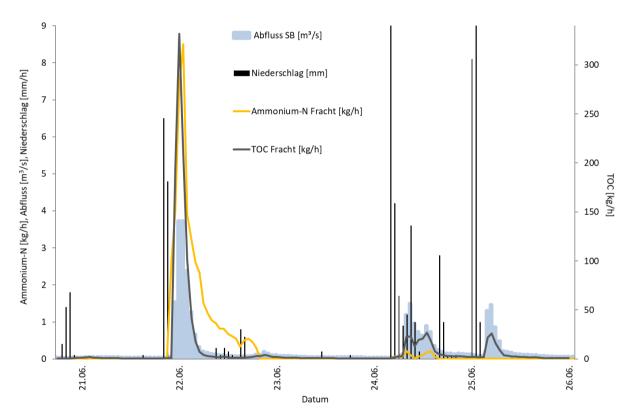
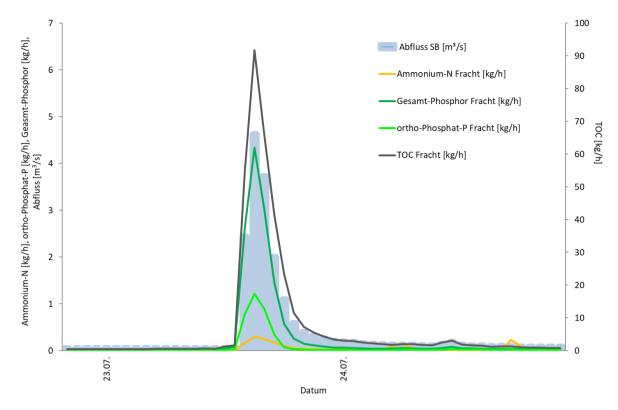


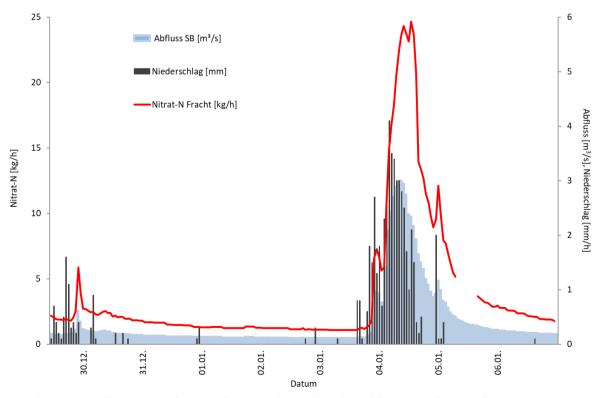
Abb. 3.2.1-1: Verlauf der Frachten von Ammonium und TOC während einer Mischwasserentlastung (Station *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (20. bis 26. Juni 2021)

Die maximale Fracht an Gesamt-Phosphor wurde bei dem beschriebenen Erosionsereignis aufgezeichnet (vgl. Abb. 3.1.1-3).



3.2.1-2: Anstieg der Frachten von Gesamt-Phosphor und TOC durch Erosion (Station *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (22. bis 24. Juli 2021)

Während des Beobachtungszeitraums beliefen sich die Spitzenwerte der Nitratfrachten auf fast 25 kg/h (Abb. 3.2.1-3). Es zeigt sich zudem, dass die Belastungen sehr viel länger andauern als die sehr kurzfristigen Anstiege der Frachten der übrigen Nährstoffe.



3.2.1-3: Maximum der Nitrat-Frachten (Station *Sulzbach*), Abfluss (Pegel *Jägersfreude*, angepasst) und Niederschlag (Wetterstation *Homburg*) (29. Dezember 2021 bis 7. Januar 2022)

#### 3.2.2 Frachten von Sulfat und TIC

Die mengenmäßig größten Frachten weist Sulfat mit einem Maximum von 1807 kg/h auf (Abb. 3.2.2-1)<sup>14</sup>. Erwartungsgemäß erreichen in diesem Zeitraum auch die Frachten von TIC den Höchstwert des Messzeitraumes.

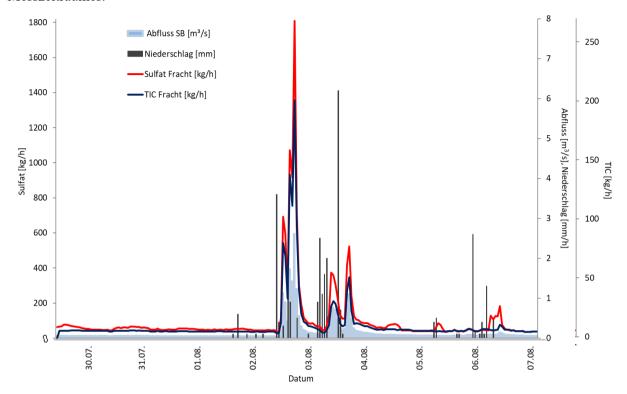


Abb. 3.2.2-1 Verlauf der Frachten von Sulfat und TIC (Station Sulzbach) über den gesamten Messzeitraum

Die Kenntnis der Sulfat-Fracht, also der Menge an transportiertem Sulfat, ermöglicht Rückschlüsse auf die Verwitterungsrate des Pyrits. Da jedoch keine Abfluss-Mengen vom Lochwiesbach erhoben werden konnten und zudem nur punktuelle Sulfat-Messungen vorliegen, kann an dieser Stelle keine valide Abschätzung über die Verwitterungsrate des Pyrits vorgenommen werden.

#### 3.2.3 Tabellarische Übersicht über die Frachten

Eine Übersicht über die Mittelwerte, Mediane, Minima und Maxima der Frachten der Nährstoffe, die für den gesamten Messzeitraum 2018/2019 in Sulzbach für den Sulzbach ermittelt wurden, findet sich in Tabelle 3.2.3-1. sowie in Form von Box-Whisker-Plots im Anhang (Abb. 6-6).

Zu betonen ist, dass über den Messzeitraum, also ein Jahr, über 390t Sulfat am Standort erfasst wurden. Geht man davon aus, dass die Grundgehalte an Sulfat im Sulzbach etwa 40 mg/l betragen (vgl. Tabelle 6-3), so ergibt sich unter der Annahme des Abflussmittelwertes (0,124 m³/s, s. Tabelle 3.2.3-1) für den Basisabfluss bereits eine jährliche Sulfat-Fracht von 156 t, demnach entfallen noch 235 t Sulfat pro Jahr auf Einträge aus der Halde. Dies bedeutet einen Flächenfaktor von annähernd 10 t pro ha Haldenfläche.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Dabei ist zu bedenken, dass es sich bei dieser enormen Menge um die Gesamt-Summe über eine ganze Stunde handelt. Rechnet man den Stundenmittelwert der Sulfatkonzentration (192 mg/l) in eine Sekunden-Fracht um, so beträgt diese 500g Sulfat, die in 2610l Wasser (Abfluss von 2,61 m3/s) gelöst ist.

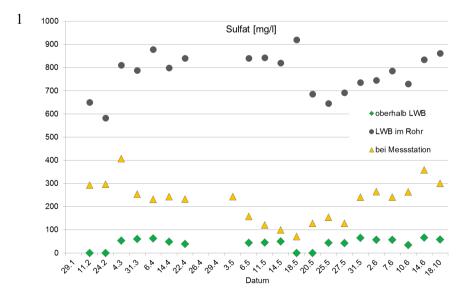
Tabelle 3.2.3-1: Mittelwerte, Mediane, Minima und Maxima der Frachten der Stundenmittelwerte der Nährstoffe und des Abflusses sowie Gesamtfracht am Sulzbach in *Sulzbach* über den gesamten Messzeitraum (26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022)

Fracht	NO <sub>3</sub> -N [kg/h]	NH <sub>4</sub> -N [kg/h]	NH <sub>3</sub> -N [g/h]	P <sub>ges</sub> [kg/h]	davon PO <sub>4</sub> -P [kg/h]	TOC [kg/h]	TIC [kg/h]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [kg/h]	Abfluss [m³/s]
Mittel	0,771	0,079	1,07	0,050	0,024	2,36	11,5	67,5	0,124
Median	0,385	0,016	0,321	0,015	0,010	0,931	8,89	58,6	0,077
Minimum	0,110	nn <sup>15</sup>	nn	0,004	nn	0,203	1,90	6,82	0,019
Maximum	24,7	8,43	224	4,34	1,33	332	268	1807	4,63
Gesamt	5,73 t	0,555 t	224 kg	0,351 t	0,162 t	19,1 t	92,6	391 t	-

## 3.3 Ergebnisse der manuellen Beprobungen

Wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben, wurden auch zahlreiche manuelle Beprobungen durchgeführt. Die Entnahme erfolgte im Sulzbach oberhalb der Einleitung des Lochwiesbachs, direkt aus dem Rohr (Lochwiesbach) sowie unterhalb des Zuflusses (vgl. Abb. 2.3.3-1).

Dabei zeigten sich für die Sulfatkonzentrationen, die Leitfähigkeit und die TIC-Gehalte untereinander vergleichbare Muster (Abb. 3.3-1). Die jeweiligen Messwerte der direkt aus dem Lochwiesbach (im Rohr) entnommenen Proben sind um ein Vielfaches höher als die oberhalb des Zuflusses. Für die Sulfatkonzentrationen wurden Werte zwischen 600 und 900 mg/l ermittelt, die Leitfähigkeit bewegte sich - bis auf sehr regenreiche Tage – zwischen 1500 und 2000  $\mu$ S/cm. Die TIC-Gehalte lagen zwischen 60 und 90 mg/l, im Gegensatz dazu oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs lediglich um 20 mg/l TIC.



<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> nn: Fracht nicht ermittelbar, da Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze des entsprechenden Messgerätes

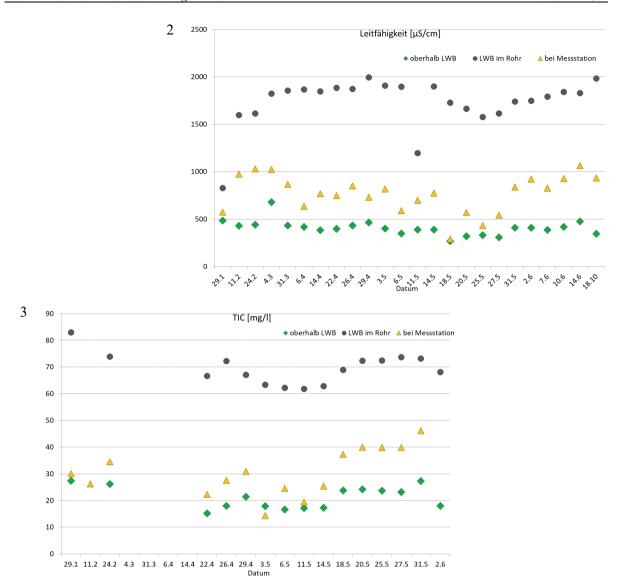


Abb. 3.3-1: Sulfatkonzentrationen (1), Leitfähigkeit (2) und TIC-Gehalte (3) in den manuellen Proben oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbach (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses

Bei den pH-Werten konnten hingegen keinerlei Unterschiede zwischen den 3 Standorten festgestellt werden, es wurden ausschließlich Werte im neutralen und leicht basischen Bereich gemessen (Abb. 3.3-2).

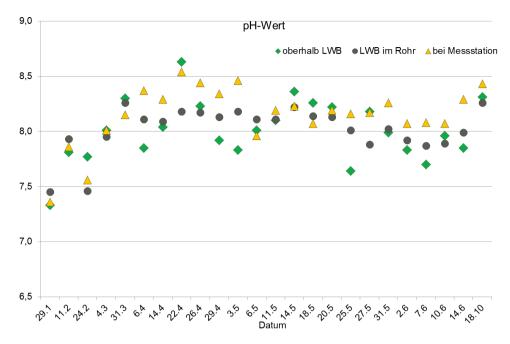


Abb. 3.3-2: pH-Werte der manuellen Proben oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbach (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses

An einigen Beprobungstagen wurde zudem die Säurekapazität (auch Säurebindungsvermögen) ermittelt<sup>16</sup>. Die Säurekapazität gibt an, welche Menge Säure einem Wasser bis zum Erreichen eines bestimmten pH-Wertes zugegeben werden kann (Pufferkapazität). In Oberflächengewässern bedingen in der Regel gelöste Karbonate und Hydrogenkarbonate die Pufferkapazität, je mehr davon vorhanden ist, desto höher ist das Puffervermögen des Wassers.

Wie bereits im Zusammenhang mit den TIC-Gehalten zu vermuten ist, sind auch die Werte der Säurekapazität im Lochwiesbach sehr viel höher als im Sulzbach selbst (Abb. 3.3-3)

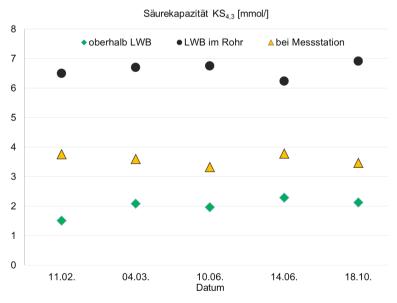


Abb. 3.3-3: Säurekapazität (KS<sub>4,3</sub>) der manuellen Proben oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbach (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses

Trotz der intensiven Pyritverwitterung, welche zu hohen Sulfatgehalten führt, entspricht die Belastung nicht dem Typus des AMD (vgl. Kapitel 2.2.2). Es kann angenommen werden, dass das auf der Halde

abgelagerte Gestein eine große Menge an Carbonaten enthält. Diese werden durch die bei der Pyritverwitterung entstehende Säure gelöst und bedingen so die hohen Carbonatkonzentrationen (TIC) im Lochwiesbach. Dies führt wiederum zu dem hohen Puffervermögen im Wasser, so dass die pH-Werte im neutralen bis leicht basischen Bereich gehalten werden können. Da die Calcium-Konzentrationen im Lochwiesbach sehr hoch sind, kann davon ausgegangen werden, dass es sich um das sehr häufig vorkommende Mineral Calcit (Calciumcarbonat) handelt (Abb. 3.3-4)

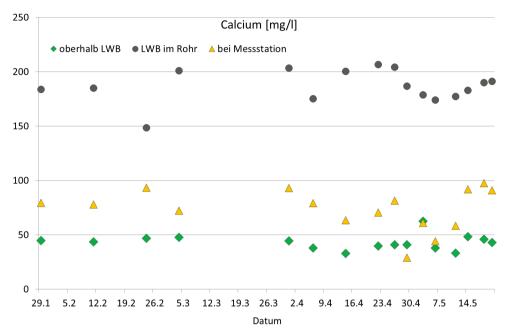
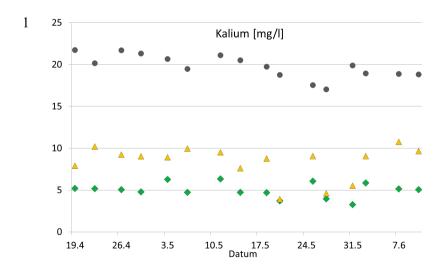


Abb. 3.3-4: Konzentrationen von Calcium (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)

Auch andere Alkalimetalle sowie das Übergangsmetall Mangan zeigen ein ähnliches Verteilungsmuster (Abb. 3.3-5). Die Natrium-Gehalte im Lochwiesbach liegen um ein Dreifaches, die Kalium-Gehalte um ein Vierfaches und die Magnesium- sowie die Mangan-Gehalte um ein Zehnfaches über den entsprechenden Konzentrationen im Sulzbach (oberhalb Einleitung).

#### ◆ oberhalb LWB ● LWB im Rohr △ bei Messstation



<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Die Bestimmung wurde bis pH-Wert 4,3 durchgeführt (KS<sub>4,3</sub>).

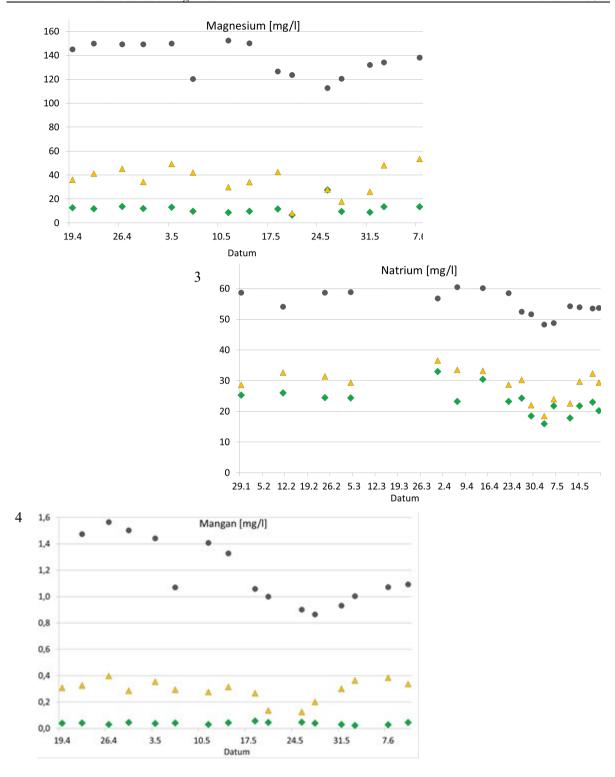


Abb. 3.3-5: Konzentrationen von Kalium (1), Magnesium (2), Natrium (3) und Mangan (4) (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)

Bei Chlorid und Nitrat liegen im Lochwiesbach im Vergleich zum Sulzbach ebenfalls erhöhte Konzentrationen vor (Abb. 3.3-6). Die Nährstoffe werden bisweilen im Lochwiesbach durch die punktuellen Belastungen und im Sulzbach durch punktuelle und diffuse Einträge beeinflusst (vgl. Kapitel 3.1). Ammonium und Phosphor konnten im Lochwiesbach daher ausschließlich während solcher Einleitungen nachgewiesen werden.

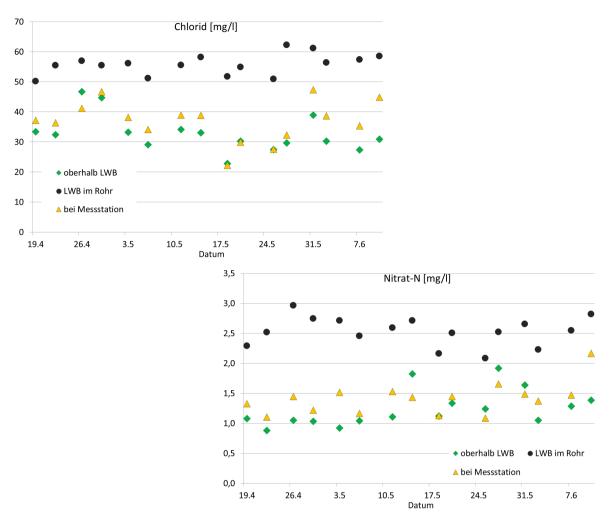


Abb. 3.3-6: Konzentrationen von Chlorid (oben) und Nitrat (unten) (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)

Weitere Analysen der manuellen Beprobungen zeigen zudem, dass die üblicherweise mit einer Versauerung im AMD einhergehenden Auswaschungen von Metallen nicht auftreten, wie am Beispiel von Kupfer in Abb. 3.3-7 verdeutlicht.

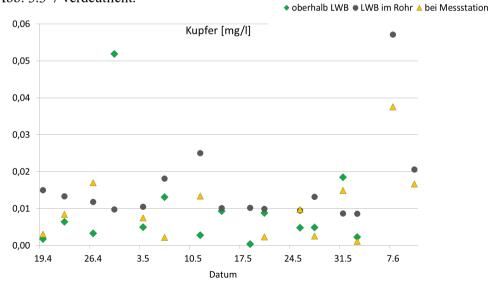


Abb. 3.3-7: Konzentrationen von Kupfer (manuelle Proben im Sulzbach oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs (LWB), im Rohr und unterhalb des Zuflusses)

Im Lochwiesbach selbst wurden ebenfalls Beprobungen durchgeführt. Zum einen wurde das Gewässer direkt am Austritt aus dem Stollen beprobt, dann an zwei weiteren Stellen flussabwärts, jeweils in einem Abstand von ca. 150 m, bevor es in die Verrohrung fließt (vgl. Abb. 2.3.3-1). Es zeigten sich auch hier neutrale bis leicht basische pH-Werte, dazu sehr hohe Sulfatkonzentrationen<sup>17</sup> und Leitfähigkeitswerte (Abb. 6-7 sowie Tabelle 6-2 im Anhang). Alle gemessenen Parameter (Chlorid, Nitrat, Sulfat, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen) zeigen einen leichten Rückgang im Bachverlauf sowie eine Abnahme über die Zeit. Letztere ist auf die Zunahme der Niederschläge während des Beobachtungzeitraums und die damit ansteigende Wassermenge und den so erhöhten Verdünnungseffekt zurückzuführen.

Besonders hervorzuheben sind die Eisengehalte im Lochwiesbach, da dieser im Bereich des Stollen-Austritts eine rötlich-braune Verfärbung durch sog. Verockerung aufweist (Abb. 3.3-8 links). Diese entsteht, wenn gelöstes zweiwertiges Eisen in Kontakt mit Sauerstoff zu dreiwertigem Eisen oxidiert wird. Dieses bildet einen schwerlöslichen Niederschlag, der als rötlich-braune Färbung sichtbar wird. Die Analyse der filtrierten Wasserprobe ergab beim Austritt aus dem Stollen die höchsten Eisen-Konzentrationen, im Bachverlauf fällt weiteres Eisen aus, so dass die Konzentrationen an gelöstem Eisen an der Mündung des Lochwiesbachs in den Sulzbach (Rohr) relativ gering sind 18 (Abb. 3.3-8 rechts).

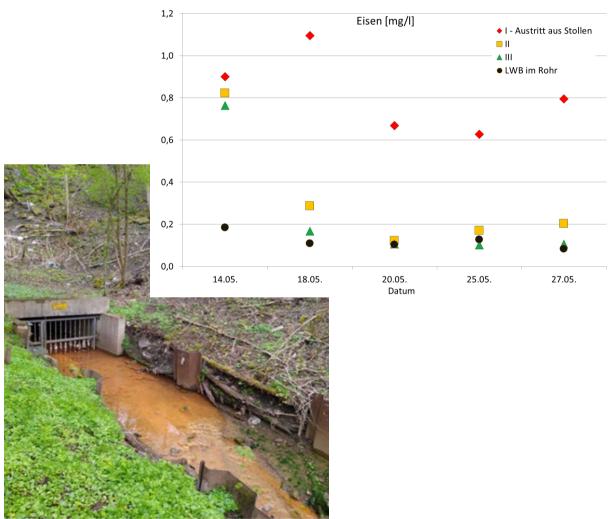


Abb. 3.3-8: Rot-braune Färbung des Lochwiesbachs durch Verockerung am Stollenaustritt (links) und Eisengehalte der manuellen Beprobung entlang des Lochwiesbachs und an der Mündung in den Sulzbach (Rohr) (rechts)

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Am Austritt aus dem Stollen im Mittel 880 mg/l.

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Orientierungswert der OGewV für Eisen: 0,7 mg/l [6]

Um die Unterschiede der Konzentrationen an den 3 Standorten genauer beurteilen zu können, wurden die gemessenen Werte für jeden Standort mittels PCA (Hauptkomponentenanalyse, engl: Principal Component Analysis) mit dem Programm Rstudio betrachtet. Die PCA gehört zu den multivariaten statistischen Verfahren, und ermöglicht es, hochdimensionale Datensätze, wie sie hier vorliegen, zu strukturieren, zu vereinfachen und dadurch graphisch übersichtlicher darzustellen, indem die Vielzahl statistischer Variablen innerhalb des Datensatzes durch eine geringere Zahl möglichst aussagekräftiger Linearkombinationen (Hauptkomponenten) abgebildet werden. So können viele Daten auf wenige statistisch abgesicherte "Informationen" reduziert werden (vgl. z.B. [13]).

Die Ergebnisse dieser statistischen Betrachtung werden in verschiedenen Darstellungen (plots) wiedergegeben. In einem Correlationplot wird die Bedeutung jedes einzelnen Parameters für jede Hauptkomponente (hier: 5, bezeichnet als Dimensionen Dim1 - Dim 5) aufgeschlüsselt. Darin markiert die Größe und Farbintensität der braunen Punkte die Bedeutung des Parameters für die jeweilige Hauptkomponente (je größer der Punkt desto höher die Bedeutung). Im Correlationplot in Abb. 3.3-9 wird ersichtlich, dass das Gewässersystem des Sulzbachs oberhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs am Standort stark von Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium und Silicium beeinflusst wird. Diese Elemente gehören zu den 10 häufigsten in der Erdkruste vorkommenden Elementen, was ein Hinweis darauf ist, dass die Zusammensetzung des Wassers an dieser Stelle noch durch den geogenen Hintergrund des Einzugsgebiets dominiert ist. Die Bedeutung von Nitrat und auch des Redox-Potentials hingegen kann auf (natürliche) biologische Aktivität im Gewässer zurückzuführen sein. Im Vergleich dazu fällt auf, dass Sulfat und TIC im Lochwiesbach eine sehr viel höhere Bedeutung haben als im Sulzbach oberhalb des Lochwiesbachs. Calcium, welches im Sulzbach zur 1. Hauptkomponente (Dim1) (geogener Hintergrund) gehört, erscheint im Lochwiesbach nicht mit den o.g Elementen zusammen, sondern allein (Dim5), d.h., dass die Calcium-Gehalte im Lochwiesbach durch andere Faktoren, nämlich durch die Verwitterung in der Halde, beeinflusst werden. Ebenso zeichnet sich für Bromid, Fluorid, Chlorid und etwas schwächer auch für Nitrat eine "eigene" Hauptkomponente (Dim3) ab. In den Ergebnissen der manuellen Beprobungen wurde bei diesen Parametern sehr viel höhere Konzentrationen als im Sulzbach gemessen (vgl. Beispiel Chlorid und Nitrat in Abb. 3.3-6). Der Correlationplot für den Standort Sulzbach unterhalb des Zuflusses des Lochwiesbachs gibt schließlich die Vermischung dieser Effekte wider.

In Abb. 3.3-9 ist auch zu sehen, dass die erste Hauptkomponente für die beiden Standorte Sulzbach oberhalb und Lochwiesbach etwa ein Viertel der Varianz der Datensätze (26,5% bzw. 24%) abbildet, für den dritten Standort sind es 33,6% (Werte in Klammern über dem Correlationplot). Insgesamt sind die Varianzen für alle Hauptkomponenten an den drei Standorten eher gering, jeder der Standorte wird also durch verschiedene "Systeme" beeinflusst und es kann kein absolut bestimmendes System für einen der Standorte ausgemacht werden.

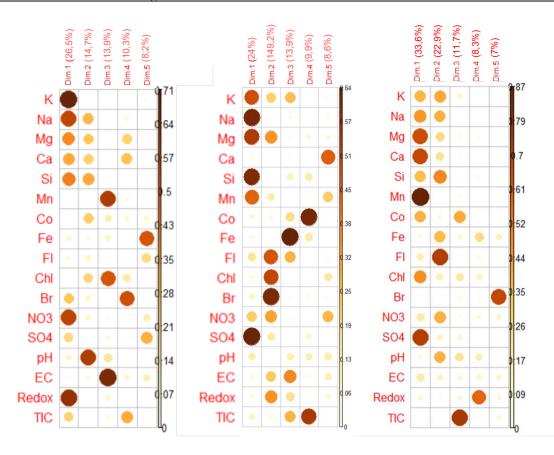


Abb. 3.3-9: Correlationplots der Konzentrationsdaten der drei Probenahmepunkte (links: Sulzbach oberhalb Lochwiesbach; Mitte: Lochwiesbach im Rohr; rechts: Sulzbach unterhalb Lochwiesbach) (Dim = Hauptkomponente) (April/Mai/Juni 2021) (K: Kalium, Na: Natrium, Mg: Magnesium, Ca: Calcium, Si: Silicium, Mn: Mangan, Co: Cobalt, Fe: Eisen, Fl: Fluorid, Chl: Chlorid, Br: Bromid, NO3 19: Nitrat, SO4: Sulfat, pH-Wert: pH-Wert, EC: elektrische Leitfähigkeit, Redox: Redox-Potential, TIC: gesamter anorganischer Kohlenstoff)

Auf eine eingehende Betrachtung der Ergebnisse an weiteren Messstellen, die durch das LUA entlang des Sulzbachs beprobt wurden, wird an dieser Stelle verzichtet, denn es gibt nur eine Messstelle, die repräsentativ für den Einfluss der Halde ist²0. Diese Messstelle am *Salzbrunnenhaus* in *Sulzbach* wurde lediglich an 6 Terminen im Jahr 2004 beprobt, wobei keine Daten zu Eisen, Mangan und anderen relevanten Parametern vorliegen. Dennoch kann festgehalten werden, dass die Mittelwerte der Daten, welche an dieser Messstelle im Jahr 2004 erhoben wurden, mit denen der in dieser Studie gewonnenen online-Daten vergleichbar sind und die o.g. Beobachtungen bestätigen. So lagen die Sulfatgehalte im Jahr 2004 im Mittel bei 178 mg/l, die Leitfähigkeit bei 772 μS/cm, der Mittelwert der Calcium-bzw. Magnesium-Konzentrationen beläuft sich auf 69 mg/l bzw. 37 mg/l. Am *Salzbrunnenhaus* zeigten sich zudem Einflüsse aus nahe gelegenen Abwasser-Einleitungen, die sich v.a. in recht hohen Ammonium- und Phosphor-Konzentrationen widerspiegeln.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> In Rstudio können keine Index- oder Exponentenziffern dargestellt werden.

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Die monatlich beprobte operative Messstelle befindet sich in *Saarbrücken*, *Dudweiler Landstraße* in der Nähe des Güterbahnhofs. Diese Stelle ist durch viele unterschiedliche Einträge aus dem Einzugsgebiet beeinflusst und daher nicht geeignet für die hier betrachtete Fragestellung.

## 4. Fazit und Ausblick

Die online-Messungen am Sulzbach in *Sulzbach* vom 26. Januar bis zum 31. Januar 2022 zeigten eine vergleichsweise geringe Grundbelastung des Gewässers an Nährstoffen, die gesetzlichen Anforderungen wurden während des Messzeitraumes meist eingehalten. Jedoch konnten immer wieder kurzfristige Einträge aus Mischwasserentlastungsbauwerken sowie einige Male auch länger anhaltenden Einleitungen aus einem an den Lochwiesbachkanal angeschlossenen, defekten Regenüberlaufbauwerk erfasst werden. Diese führten in der Regel zu sehr hohen Konzentrationen an Phosphor, Ammonium und TOC sowie zu gravierenden Sauerstoffdefiziten im Gewässer. Gelegentlich konnten zudem Einträge von Nitrat über Zwischenabfluss beobachtet werden, diffuse Einträge von Phosphor konnten hingegen nur einmal beobachtet werden.

Im Lochwiesbach und nach dessen Zufluss im Sulzbach treten äußerst hohe Konzentrationen an Sulfat auf, was auf eine entsprechend hohe Verwitterungsrate von Pyrit in der Halde schließen lässt. Hinweise auf einen Transport von Sulfat über Zwischenabfluss in der Halde gibt es nicht. Trotz der intensiven Verwitterung von Pyrit treten keine Versauerungszustände auf, die pH-Werte des Lochwiesbachs und dadurch auch des Sulzbachs bewegen sich grundsätzlich in einem leicht basischen Bereich. Ursache hierfür ist der Carbonat-Puffer, der vermutlich auf beträchtliche Mengen an Calzit in der Halde zurückzuführen ist. Dieses wird durch die bei der Pyrit-Verwitterung gebildeten Säuren gelöst und dient im System als Säurepuffer. Sowohl die hohen TIC-, also Karbonat-Gehalte, die online im Sulzbach erhoben wurden, als auch die Ergebnisse der manuellen Beprobungen im Hinblick auf Calcium und Säurekapazität bestätigen diese Theorie. Ebenso konnten durch die manuellen Beprobungen die signifikanten Unterschiede der Zusammensetzung der Wässer des Sulzbachs oberhalb des Lochwiesbachs und des Lochwiesbachs selbst in Bezug auf den Sulfatgehalt sowie die Konzentrationen an verschiedenen Alkali- und Erdalkali-Metallen aufgezeigt werden. Die grundsätzlich leicht basischen pH-Werte sowie die sehr geringen Schwermetallkonzentrationen im Lochwiesbach belegen, dass es dank des Carbonat-Puffers bisher nicht zu einer Entwicklung von ARD gekommen ist. Daher besteht insgesamt ein geringeres Umweltrisiko als in vielen anderen Bergbau-Regionen. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass während des Messzeitraumes am Standort in Sulzbach eine Gesamt-Sulfatfracht von fast 235t ermittelt wurde, welche auf den Eintrag aus der Halde zurückzuführen ist.

Es ist zwar anzunehmen, dass in der Halde mehr Calzit als Pyrit vorhanden ist, langfristig gilt es dennoch zu beobachten, ob bzw. wann sich das Calzit als Carbonat-Puffer aufgebraucht haben wird. In näherer Zukunft sollen weitere saarländische Gewässer, die von Halden beeinflusst werden, mit der vorgestellten Methode untersucht werden. Dabei sollen unterschiedliche Transportwege von Belastungen identifiziert sowie Qualität und Quantität der Einträge genauer abgeschätzt werden, um das das Umweltrisiko besser bewerten zu können. Letztendlich ist der Zweck dieser Untersuchungen die Planung passender, kosteneffizienter Maßnahmen, wobei auch eine Priorisierung erfolgen muss im Hinblick darauf, an welchen Halden durch die betreffenden Maßnahmen der größte positive Effekt auf die Umwelt zu erwarten ist.

Generelle Ziele dieser Maßnahmen sind eine Reduktion bzw. Verhinderung von Infiltration von Regenwasser und Auswaschungsprozessen, einen Reduktion bzw. Verhinderung von Versauerungsprozessen und eine Immobilisierung von Metallen und anderen Schadstoffen. Dies kann durch Oberflächenbehandlung wie z.B. Kalkung, Abdeckung (z.B. mit Geotextil), Aufbringen von Mutterboden, Begrünung/Bepflanzung geschehen sowie auch durch kontrolliertes Abführen des Oberflächenwassers in Drainagen und anschließende Reinigung (in Absatzbecken, Pflanzenbeeten, technischen Anlagen, ...). Durch das Aufbringen von sauerstoffzehrendem Material kann zudem der Verwitterungsprozess eingedämmt werden. Eine Versiegelung des Untergrundes zum Schutz des Grundwassers ist möglich, technisch jedoch sehr aufwendig.

## 5. Literatur

- [1] https://www.bergbau-unser-erbe.de/ueber-uns/was-bleibt-ist-der-wandel-ueber-260-jahre-bergbau-im-saarland
- [2] https://www.bergbau-unser-erbe.de/das-grubenwasserkonzept/
- [3] YOUNGER, P.L., BANWART, S.A. & HEDIN, R.S. (2002): Mining and the water environment. Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation. Environmental pollution volume 5. (ed. Alloway, B. J., Trevors, J. T.) 1–65 (Springer, 2002).
- [4] BYRNE, P., WOOD, P. J. & REID, I. (2012): The impairment of river systems by metal mine contamination: a review including remediation options. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 42(19), 2017-2077.
- [5] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ in Zusammenarbeit mit dem LANDESAMT FÜR UMWELT- UND ARBEITSSCHUTZ (2020): Bewirtschaftungsplan für das Saarland, Saarbrücken; Stand Dezember 2021.
- [6] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ & LANDESAMT FÜR UMWELT- UND ARBEITSSCHUTZ (2021): Anhang VI Methodenhandbuch für das Saarland Anlage zum Bewirtschaftungsplan für das Saarland, Saarbrücken; Stand Dezember 2021.
- [7] SCHÖPPKE, R. (2019): Hydrochemie bergbaubeeinflusster Wässer; https://www-docs.b-tu.de/ag-wassertechnik/public/Skripte/Vorlesung/BergbauWCh 1-3.pdf
- [8] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ in Zusammenarbeit mit dem LANDESAMT FÜR UMWELT- UND ARBEITSSCHUTZ (2021): Hintergrundpapier Aktualisierung der LAWA-Fließgewässertypen s Saarlandes zum 3. Bewirtschaftungsplan 2021 2027 zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) im Saarland HP 03-2019 (02/2021).
- [9] WPW GEOCONSULT (2012): Umwelttechnischer Bericht: Historische Erkundung zum Kohlelagerplatz Mellin, Saabrücken,
- [10] SCHÖEPPKE, R. & PREUSS, V. (2012): Bewertung der Acidität von bergbauversauerten Wässern und Anwendung auf die Sanierung, Grundwasser, Volume 17, Issue 3, pp.147-156; DOI 10.1007/s00767-012-0189-x
- [11] VERORDNUNG ZUM SCHUTZ DER OBERFLÄCHENGEWÄSSER Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 373).
- [12] LANDESAMT FÜR UMWELT- UND ARBEITSSCHUTZ (2020): Aktualisierung der Fischregionen für den 3. Bewirtschaftungsplan im Sinne der OGewV im Saarland; Berichtsnr.: 2.5 20202 04; Saarbrücken, 2020.
- [13] WOLKERSDORFER, C. & BANTELE, M. (2013): Oberbayerische Pechkohlenmulde Hydrogeochemische Untersuchungen der Grubenwässer; Grundwasser Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 2013 18:185–196; DOI 10.1007/s00767-013-0230-8

## 6. Anhang

Tabelle 6-1: Messparameter, Messbereiche und -methoden in den Messstationen

Parameter	Messbereich	Messprinzip			
Sauerstoff gelöst (O <sub>2</sub> )	0 – 20 mg/l	optisch (Lumineszenz) Bezugstemperatur: 25°C			
pH-Wert	2 – 14	elektrochemisch Bezugstemperatur: 25°C			
Wassertemperatur	0 – 50 °C				
Leitfähigkeit	$0-4000~\mu\text{S/cm}$	elektrochemisch/konduktometrisch bei 25°C Bezugstemperatur			
Trübung	0 – 100 FNU	nephelometrisch			
Nitrat (NO <sub>3</sub> bzw. NO <sub>x</sub> -N)	0,1 – 100 mg/l	direkte Absorption (UV-Bereich)			
Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	0,02 – 2 mg/l	photometrisch (Indophenolblau- Verfahren bei 655 nm )			
Gesamt-Phosphor (Pges) und	0.02 - 5  mg/l	photometrisch (Molybdänblau-			
ortho-Phosphat (PO <sub>4</sub> -P)	0.02 - 5  mg/l	Verfahren bei 880 nm )			
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	0,1 – 100 mg/l	Austreibmethode (Messung von CO <sub>2</sub> mittels IR-Detektion)			
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) und	0,1 – 100 mg/l	Differenzmethode (Messung von			
Gesamter anorganischer Kohlenstoff (TIC)	0,1 – 100 mg/l	CO <sub>2</sub> mittels IR-Detektion)			
Sulfat	100 - 1000 mg/l	Colorimetrische Trübungsmessung (450 nm) nach Barium-Fällung (Barium-Chlorid-Methode)			

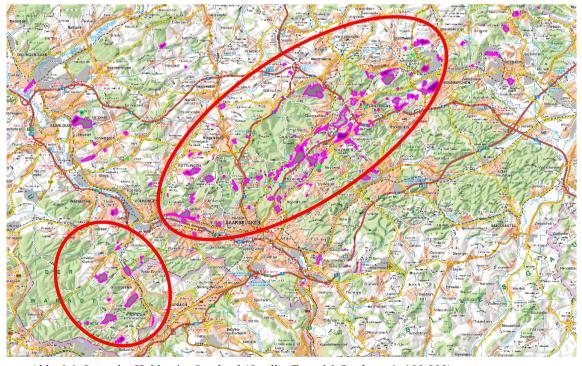


Abb. 6-1: Lage der Halden im Saarland (Quelle: Zora, Maßstab ca, 1: 100.000)



Abb. 6-2: Messstation am Sulzbach in Sulzbach auf dem Gelände der freiwilligen Feuerwehr



Abb. 6-3: Probenentnahme für die Messstation am Sulzbach in Sulzbach

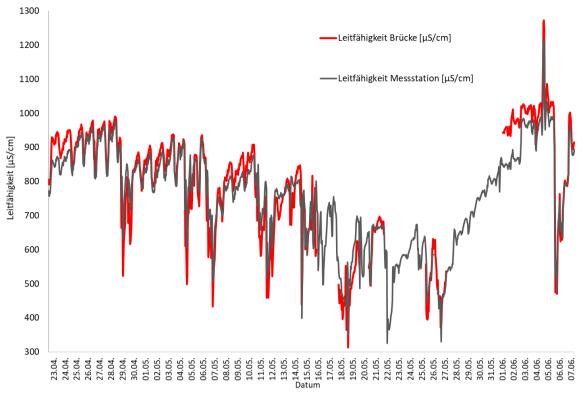
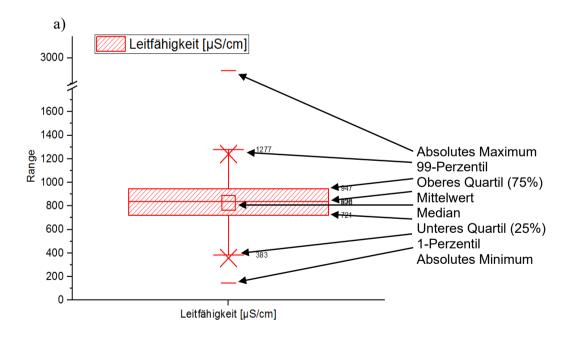
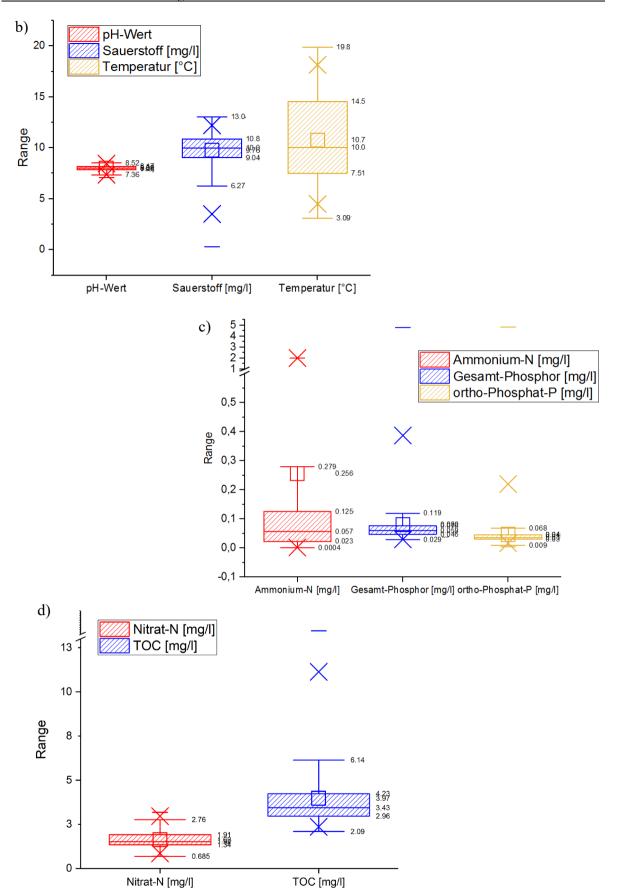


Abb. 6-4: Vergleich der Leitfähigkeit in der Messstation und an der Brücke ca. 100 m unterhalb der Messtation in *Sulzbach* (23. April bis 12. Juni 2021)





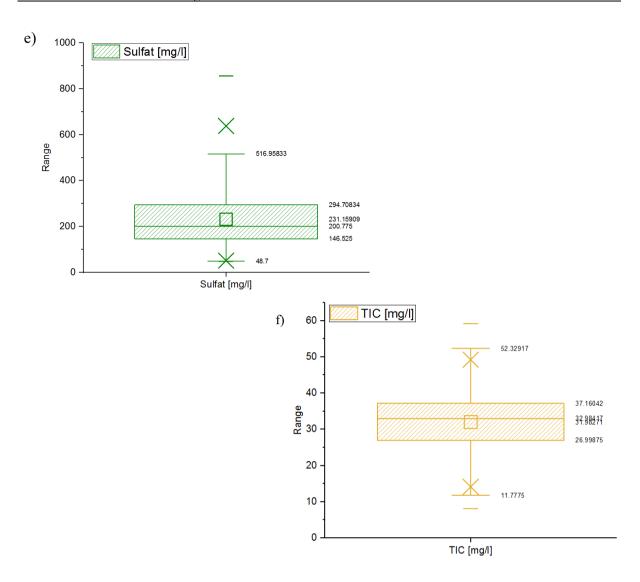
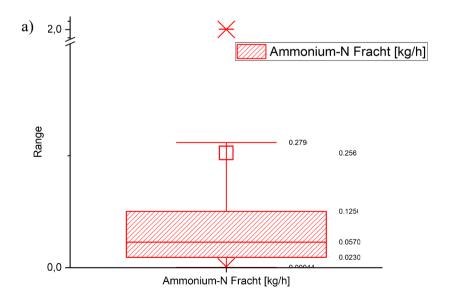
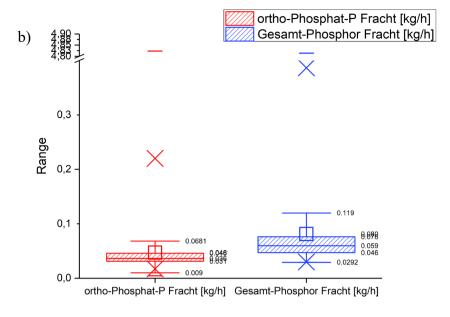
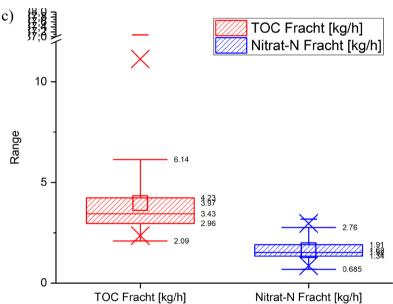
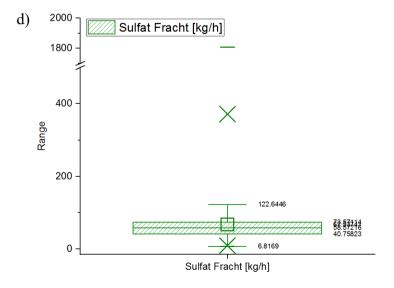


Abb.6-5: Box-whisker-plots der Stundenmittelwerte des Sulzbach in *Sulzbach* vom 26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022: a: Leitfähigkeit; b: pH-Wert, Sauerstoff, Temperatur; c: Ammonium, ortho-Phosphat, Gesamt-Phosphor, d: Nitrat und TOC, e: Sulfat, f: TIC









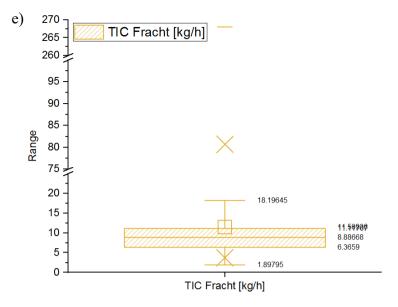
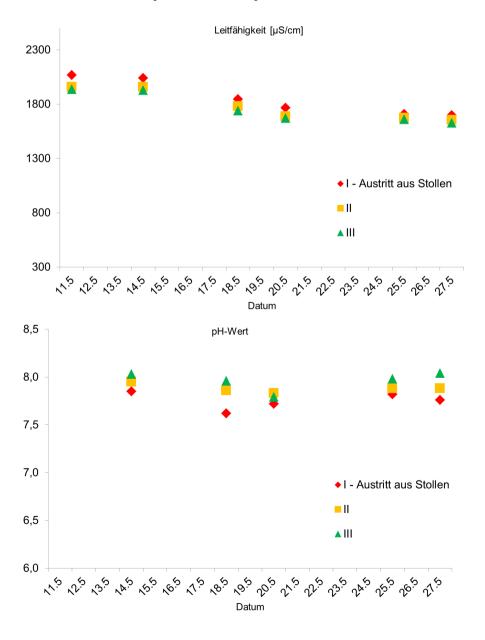


Abb.6-6: Box-whisker-plots der Frachten des Sulzbachs in *Sulzbach* vom 26. Januar 2021 bis 31. Januar 2022: a: Ammonium, b: ortho-Phosphat, Gesamt-Phosphor, c: Nitrat und TOC, d: Sulfat; e: TIC



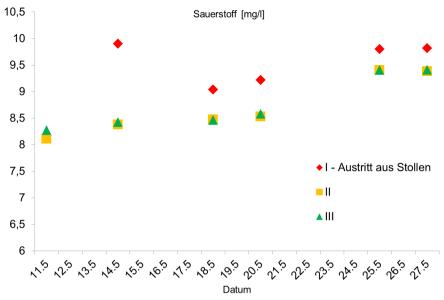


Abb.6-7: Leitfähigkeit (oben), pH-Werte (Mitte) und Sauerstoffgehalte (unten) während der manuellen Beprobungen des Lochwiesbachs

Tabelle 6-2: Übersicht über die Ergebnisse der manuellen Beprobungen des Lochwiesbachs (ober Teil: die Analysen erfolgten jeweils an einer filtrierten Probe über Ionenchromatographie, für Eisen mittels Röntgenfluoreszenz

Probenahme-datum	Chlor [mg/		Sulfat [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Calcium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Eisen [mg/l]		
I Austritt aus Stollen										
14.05.2021	77,0 13,0		1023	54,6	25,2	209	175	<b>0</b> ,901		
18.05.2021	73,0 13,2		912	50,7	24,4	200	155	1,09		
20.05.2021	70,9	12,5	839	48,9	23,1	185	147	0,669		
25.05.2021	70,8	10,5	835	48,3	21,8	180	147	0,627		
27.05.2021	68,9	10,2	793	47,2	21,7	177	141	0,796		
Mittelwert	72,1	11,9	880	49,9	23,2	190	153	0,817		
П										
14.05.2021	72,1	12,5	972	52,8	25,4	204	168	0,823		
18.05.2021	70,8	12,8	870	49,0	24,6	194	149	0,288		
20.05.2021	70,9	12,2	801	47,5	22,9	179	141	0,122		
25.05.2021	71,1	10,6	791	47,6	21,8	177	142	0,170		
27.05.2021	74,7	10,2	761	44,5	21,0	173	137	0,203		
Mittelwert	71,9	11,7	839	48,3	23,1	185	147	0,321		
				III	ı	ı	I			
14.05.2021	76,4	14,1	957	52,8	25,1	202	163	0,763		
18.05.2021	69,2	12,6	825	48,7	23,8	189	147	0,168		
20.05.2021	72,5	10,7	781	46,8	22,5	176	138	0,107		
25.05.2021	72,5	12,2	779	47,4	21,9	174	140	0,102		
27.05.2021	68,8	10,2	737	45,5	22,7	172	142	0,106		
Mittelwert	71,9	11,9	816	48,3	23,2	183	146	0,249		

Tabelle 6-3: Mittelwerte, Minima und Maxima der Messdaten des LUA im Jahr 2004 (Messstelle Nr. 2040, Sulzbach-Altenwald, uh. KA Ruhbachtal)

	pН	Leitf. [µS/cm]	KS <sub>4.3</sub> [mmol/l]	Sulfat [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Calcium [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]
Mittelwert	7,57	385	1,12	39,2	45,2	24,9	30,8	7,73	8,06	0,174	0,059
Minimum	7,27	144	0,64	9,61	9,81	9,03	8,38	2,98	2,01	0,064	0,025
Maximum	7,88	731	3,10	95,1	145	37,5	96,6	11,5	21,1	0,511	0,088