

2019

Steckbriefliche Zusammenfassung von
Projektergebnissen im Rahmen des
Projekt Vita-Min

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Einführung, Hintergrund und Zielstellung

Erhöhte Konzentrationen an Eisen und Sulfat sowie niedrige pH-Werte in den Fließgewässern führen oft zu Beeinträchtigungen der Gewässerbiozönose. Infolgedessen kann ein guter ökologischer Zustand der Gewässer gemäß europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) nicht erreicht werden. Weiterhin wirken sich erhöhte Konzentrationen negativ auf die Trübung der Gewässer, die Bausubstanz von Bauwerken an den Gewässern, Nutzung der Tagebaurestseen als Badegewässer oder die Trinkwassergewinnung aus Uferfiltraten aus. Insbesondere betrifft dies die sächsischen Braunkohlegebiete, sowie in geringerem Maße auch die Erzbergbauggebiete. Quellen der Belastungen können natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein.

Sulfat kommt natürlicherweise in den Grund- und Oberflächenwässern vorwiegend aufgrund der Zersetzung organischen Materials und atmosphärischer Deposition vor. Die natürlich bedingten Sulfatkonzentrationen können in Fließgewässern im Bereich zwischen 10 und 150 mg/L liegen. Anthropogene Sulfatquellen sind neben der Landwirtschaft, Abwasser, Verkehr und Industrie vorwiegend der Braunkohlebergbau. Diese führen zu Sulfatkonzentrationen von bis zu 2000 mg/L. Die Haupteintragsquellen für Sulfat aus dem Bergbau in das Oberflächenwasser sind:

- Grubenwasserreinigungsanlagen,
- Ausleitungen aus Bergbaufolgeseen,
- Abflüsse aus Entwässerungsstollen stillgelegter Bergwerke,
- diverse Entwässerungsgräben und
- diffuse Grundwasserzutritte.

Da Sulfat ein konservativer Wasserinhaltsstoff ist, erfolgt praktisch kein Abbau in den Fließgewässern. Die Sulfatkonzentrationen können durch Verdünnung, Versickerung in das Grundwasser, Wasserüberleitungen in andere Flussgebiete und in geringem Maße durch Sulfatreduktion gesenkt werden.

Eisen ist zum überwiegenden Teil fest in Mineralen gebunden und zunächst immobil. Durch chemische Verwitterungsprozesse von eisenhaltigen Sulfiden und Silikaten wird Eisen gelöst und freigesetzt. Natürliche Eiseneinträge in Fließgewässer sind in Gebieten mit Vorkommen von Eisensulfid führenden magmatischen und metamorphen Gesteinen sowie sulfidhaltigen Kohle und Tone führenden sedimentären Gesteinen zu beobachten. Haupteintragsursache sind die Bergbautätigkeiten in den sächsischen Braunkohleregionen. Der Eiseneintrag in Fließgewässer kann sowohl diffus als auch punktuell stattfinden. Im Gegensatz zu Sulfat ist Eisen ein sehr reaktiver Stoff. Die natürlichen Eisenkonzentrationen betragen bis zu 1 mg/L und mehreren hundert mg/L Gesamteisen in den Fließgewässern. Eisen liegt überwiegend in Form von organischen Eisenkomplexen und feindispersen Eisenoxid/-hydroxid und nicht gelöst im Wasser vor.

In dieser Studie wurden mögliche Zutrittspfade von Eisen- und Sulfatbelastungen auf Grundlage langjähriger Messreihen untersucht und nach Eintragsquelle unterschieden. Ziel war es, die Einflüsse aus Industrie, Siedlungstätigkeit, Verkehr, Bergbau und Landwirtschaft auf die Stofffrachten zu quantifizieren und in einer „Gefährdungs“karte die Zutrittsorte sowie Best-Practice-Verfahren zur Eisen- und Sulfatabreicherung darzustellen.

„GEFÄHRDUNG“ IM SINNE DER LAWA: *In diesem Kontext ist von einer „Gefährdung“ auszugehen, wenn die von der LAWA (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) festgelegten gewässertypspezifischen Orientierungswerte überschritten und damit die Zielerreichung nach Wasserrahmenrichtlinie nicht erreicht wird.*

Methodik

Betrachtet wurden alle Wasserkörper in Sachsen. Allerdings wurde die statistische und explorative Analyse der Messreihen nur für die Regionen des Erz- und Altbraunkohlebergbaus (669 Oberflächen- und 71 Grundwasserkörper) durchgeführt. Für die in der Zuständigkeit der LEAG und LMBV befindlichen Bereiche wurden die umfassenden Analysen und Ergebnisse dieser Unternehmen herangezogen. Um die natürlichen und anthropogenen Zutrittspfade zu identifizieren, wurden mehrere aufeinander aufbauende Arbeitsschritte umgesetzt:

- Abgrenzung der Grund- und Oberflächenwasserkörper
- Identifizierung geogen beeinflusster Gebiete
- Identifizierung anthropogen beeinflusster Gebiete
- Recherche verfügbarer Messreihen
- Beschreibende statistische Auswertung der Messdaten
- Explorative Statistik
- Recherche Best-Praxis-Verfahren
- Ableitung und Schlussfolgerungen

Um eine Einschätzung der Eintrittspfade der Eisen- und Sulfatbelastung vornehmen zu können, wurden zunächst auf Grundlage verschiedener Geodaten (Geologie, Landnutzung) die Grund- und Oberflächenwasserkörper hinsichtlich geogener und anthropogener Beeinflussung abgegrenzt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die natürlichen und anthropogenen Eintragsquellen für Eisen und Sulfat in Fließgewässer.

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

Tabelle 1: Eintragsquellen für Eisen und Sulfat in Fließgewässer

	Eisen	Sulfat
Natürliche Quellen	<ul style="list-style-type: none"> • in Gebieten mit Vorkommen von Eisensulfid führenden magmatischen und metamorphen Gesteinen • in Gebieten mit Vorkommen sulfidhaltigen, Kohle und Tone führenden sedimentären Gesteinen mit geringer Pufferkapazität 	<ul style="list-style-type: none"> • geogener Hintergrundwert des Grundwassers, z. B. bei sulfathaltigen Nebengesteinen • Zersetzung organischen Materials • atmosphärische Deposition • Abbauprodukte tierischer und pflanzlicher Eiweiße • mikrobielle Oxidation von Sulfiden
Anthropogene Quellen	<ul style="list-style-type: none"> • bergbauliche Aktivität (v. a. Braunkohlentagebau) • Sanierungsbergbau • in geringerem Maße durch (Alt-)erzbergbau 	<ul style="list-style-type: none"> • in Landwirtschaft eingesetzte Düngemittel • großflächige Moorentwässerungen • verkehrs- oder industriell bedingte luftgetragene Schwefeldepotion • Einleitungen aus industriellen und kommunalen Abwässern • Braunkohlenbergbau (Grubenwasserreinigungsanlagen, Ausleitungen aus Bergbaufolgeseen, Entwässerungsgräben, Grundwasseraustritte) • Abflüsse aus Entwässerungsstollen stillgelegter Bergwerke

Für die anschließende statistische Auswertung der Beschaffenheitsdaten wurden an den repräsentativen Messstellen des staatlichen Messnetzes folgende Kriterien vorausgesetzt:

- räumlich möglichst gleichmäßige Verteilung im gesamten Bearbeitungsgebiet
- möglichst zweckunabhängige Beprobung
- Beprobung über lange Zeit in regelmäßigen zeitlichen Abständen
- frei verfügbare Daten.

800 repräsentative Oberflächenwassermessstellen und ca. 2900 Grundwassermessstellen erfüllen diese Kriterien. Weitere 1400 Messstellen für Ermittlungszwecke unterstützen die statistischen Auswertungen. Damit wird jeder Oberflächenwasserkörper durch mindestens eine repräsentative Messstelle charakterisiert, die relativ gleichmäßig über das Bearbeitungsgebiet verteilt sind.

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

Die Grundwassermessstellen hingegen sind deutlich ungleichmäßiger verteilt. Deswegen musste das Betrachtungsgebiet in kleinere Teileinzugsgebiete gegliedert werden, um hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit homogene Grundwasserteileinzugsgebiete zu erhalten.

Es wurden ca. 20 Parameter für die Jahre 2000 bis 2017 ausgewertet, die für die Beschreibung des Chemismus des Wassers wesentlich sind (z. B. pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Redoxpotenzial, Leitfähigkeit) sowie Parameter, die Auskunft über die anthropogene Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit geben können (Nitratgehalt, Phosphatgehalt, einige Schwermetalle).

Neben der beschreibenden statistischen Auswertung der Messwerte fand eine explorative Statistik Anwendung. Mit Hilfe der beschreibenden Statistik wurden die Mittelwerte, Streuung, Quantile, etc. für die Konzentrationen auf unterschiedlichen Bezugsebenen (Messstellen, Wasserkörper, Einzugsgebiete) berechnet. Die explorative Statistik stellt den Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und den gemessenen Gehalten an Eisen und Sulfat im Grund- und Oberflächenwasser her. Betrachtet wurden die Einflüsse aus Industrie, Siedlungstätigkeit, Verkehr, Bergbau und Landwirtschaft.

Von der Quelle bis zur Mündung verändert sich die Wasserbeschaffenheit und Stofffracht durch geogene und anthropogene Einträge über den Fließweg. Eine überproportionale Zunahme der Stofffracht lässt auf Einträge in die Fließgewässer schließen. Um die Stoffquellen zu identifizieren, wurde geprüft, inwiefern ein Vergleich der Stoffkonzentrationen und -frachten über den Fließweg von langen Fließgewässern Rückschlüsse auf Stoffquellen zulässt. Dazu wurde der mittlere Durchfluss der mittleren Stoffkonzentration an ausgewählten Messstellen gegenübergestellt. Durch multiplizieren der beiden Größen lässt sich die Stofffracht abschätzen. Wird diese Stofffracht auf die Flächengröße des Gesamteinzugsgebietes bezogen, ergibt sich eine Verhältniszahl ähnlich der Abflusspende. Ziel war eine Bilanzierung der Stofffracht von der Quelle bis zum Gebietsauslass anhand der Verhältniszahl, um auffällige Änderungen in der Stofffracht zu bestimmen. Dazu wurden sogenannte Debilanzen berechnet.

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

Ausgehend von der explorativen Statistik konnten wenig beeinflusste und anthropogen beeinflusste Beschaffenheiten sowie mögliche Ursachen für die erhöhten Eisen- und Sulfatgehalte in den Grund- und Oberflächenwasserkörpern ermittelt werden. Dabei können die Differenzen zwischen den wenig beeinflussten Konzentrationen und den mittleren Konzentrationen als Maß für den anthropogenen Einfluss herangezogen werden. Zusammenfassend wurden aus der umfangreichen statistischen Analyse folgende Schlüsse gezogen:

- Unmittelbare Erhöhungen der **Eisenkonzentration** aufgrund anthropogener Tätigkeit können selten festgestellt werden
- Sicher ist eine Erhöhung der Eisengehalte aufgrund der Beeinflussung durch Moore
- deutlich erhöhte **Sulfatkonzentration** aufgrund der Ackernutzung
- Sulfat im Oberflächenwasser bei Bergbaueinfluss erhöht, hier gemeinsam mit anderen typischen Parametern wie As, Pb, Zn
- Erhöhung des Sulfatgehaltes durch allgemeine anthropogene Beeinflussung (Siedlung, Industrie, Gewerbe...)
- Sulfatgehalt geht mit zunehmendem Einfluss durch Moore zurück

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die anthropogen wenig beeinflussten Konzentrationen von Eisen und Sulfat im Oberflächenwasser. Im Kontext der Studie bedeutet wenig beeinflusst nahezu anthropogen unbeeinflusst, da für den geogenen Anteil an Eisen und Sulfat lediglich Schätzungen bestimmt werden konnten. Eine konkrete Quantifizierung des geogenen Anteils für ganz Sachsen kann im Rahmen dieser Studie nicht erbracht werden.

Aus den Abbildungen 4 und 5, die die anthropogenen Konzentrationserhöhungen bei Eisen und Sulfat im Oberflächenwasser verdeutlichen, ist erkennbar, dass die überwiegenden Flächen anthropogen beeinflusst sind. Bereits aufgrund der Ackerbewirtschaftung ist vom Erzgebirgsvorland bis zum Tiefland eine anthropogene Beeinflussung der Fließgewässerbeschaffenheit gegeben.

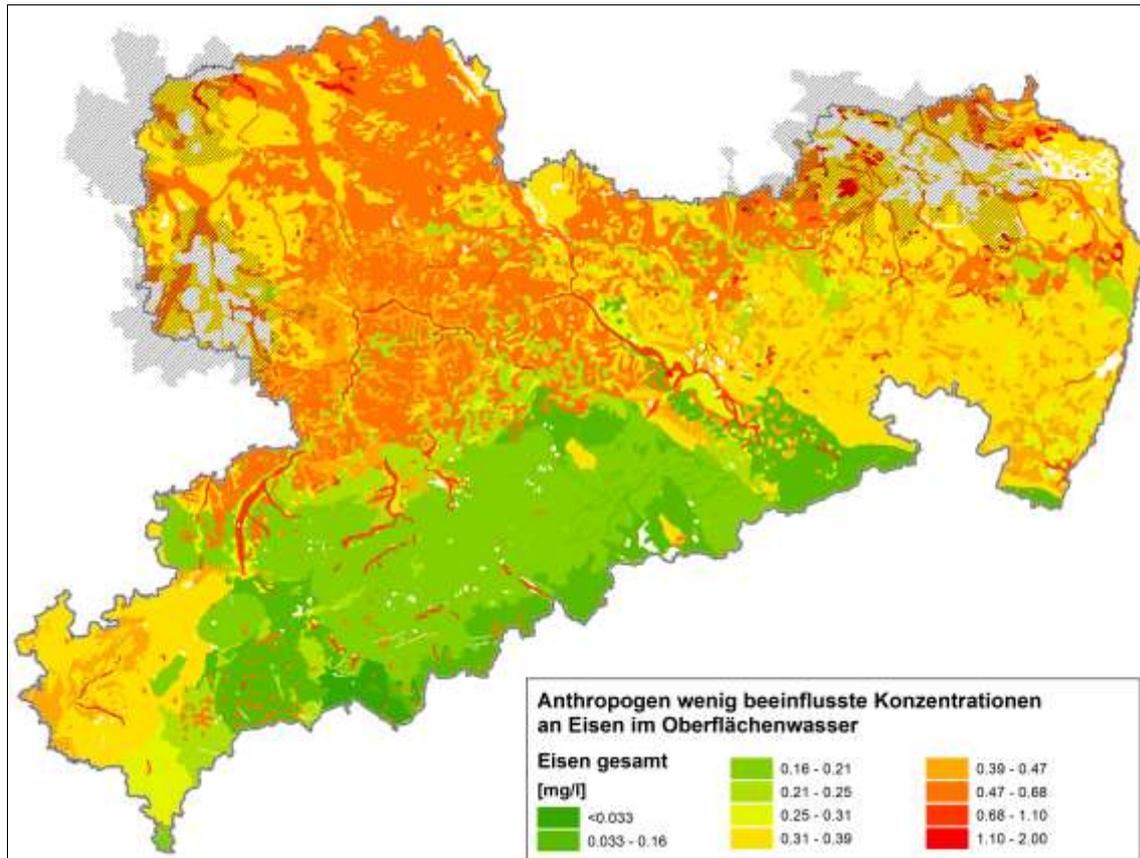


Abbildung 2: anthropogen wenig beeinflusste Gesamteisenkonzentrationen im Oberflächenwasser

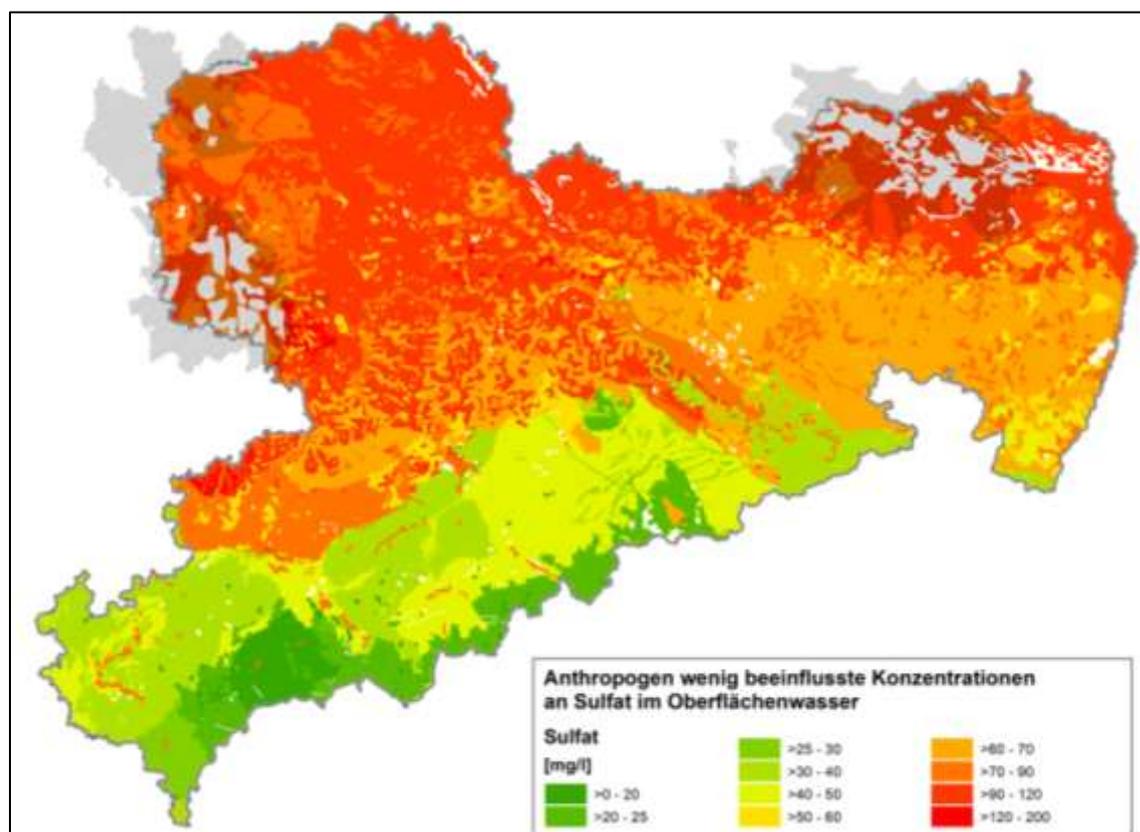


Abbildung 3: anthropogen wenig beeinflusste Sulfatkonzentration im Oberflächenwasser

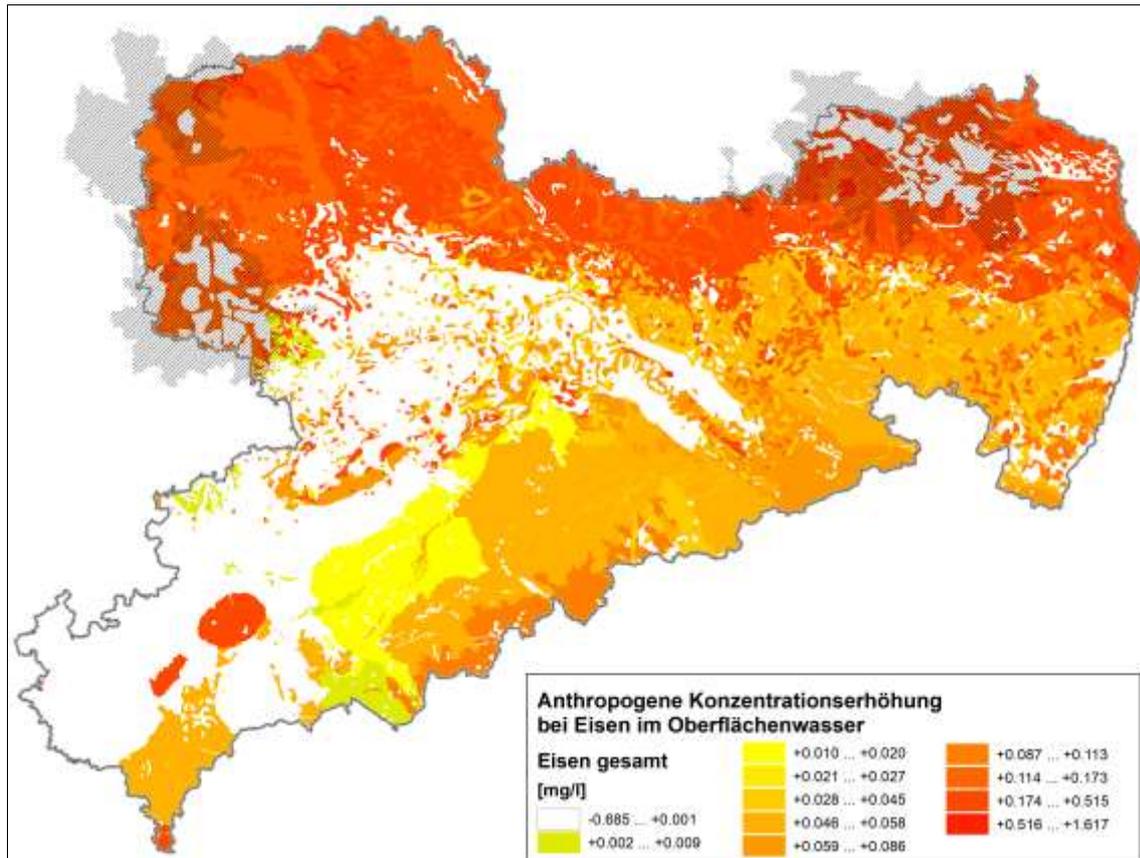


Abbildung 4: Anthropogener Anteil an der Eisenkonzentration im Oberflächenwasser

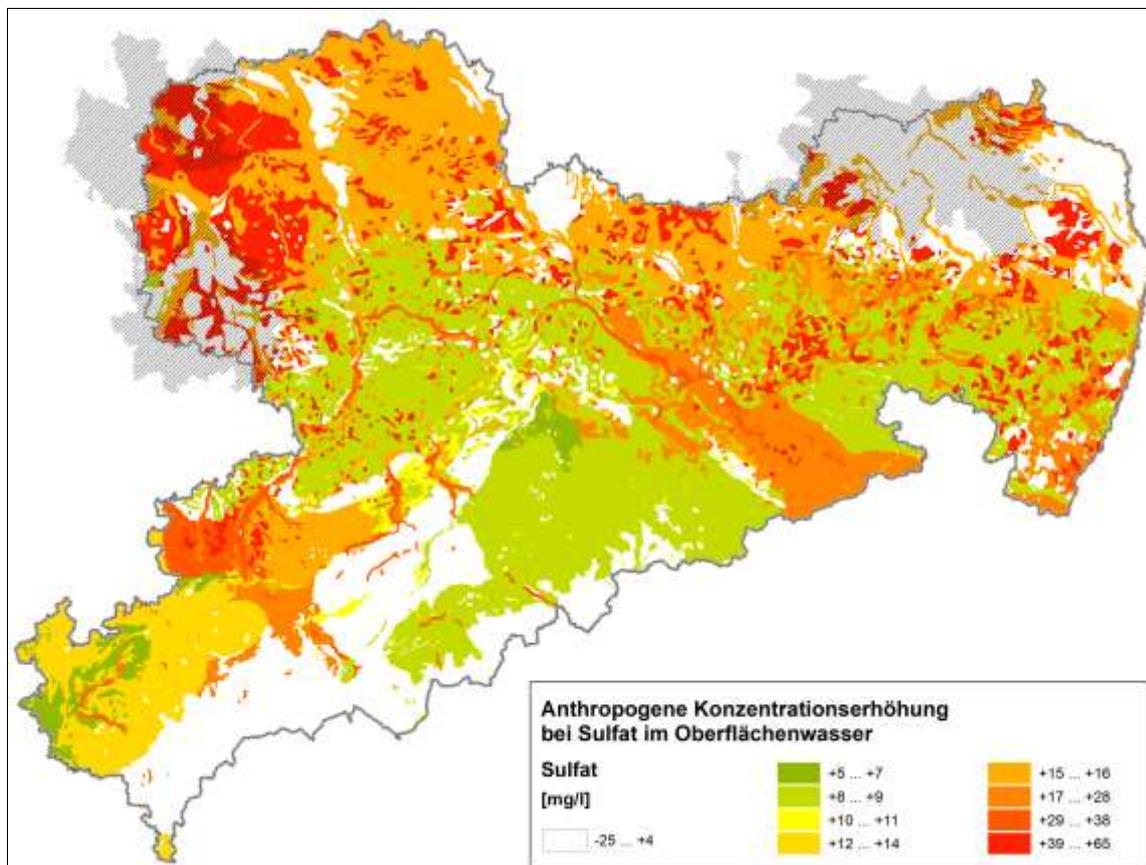


Abbildung 5: Anthropogener Anteil an der Konzentration an Sulfat im Oberflächenwasser

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

überblicksmäßig in Tabelle 2 dargestellt. Die Verfahren zur Eisenabreicherung werden vorrangig zur weitestgehenden Enteisung in der Trink-, Brauch- und Tränkwasserherstellung in beliebigen Maßstäben eingesetzt. Für die Sanierung von Fließgewässern und Grundwasser kommt oftmals eine Kombination aus Kalkmilchfällung, Belüftung und Sedimentation zur Abtrennung des Eisens zum Einsatz, wobei die Art der Vermischung, der Belüftungssysteme und auch der Abtrennung des Eisenschlammes herstellereispezifisch und in Abhängigkeit der geforderten Reinigungsziele sehr stark variieren können.

Tabelle 2: Best-Practice-Verfahren zur Eisen- und Sulfatabreicherung

Typ	Gruppe	Eisenabreicherung	Sulfatabreicherung
Aktive Verfahren	Chemisch	<ul style="list-style-type: none"> Fällung mit Kalkhydrat und Kalkmilch Eisenfällung durch Sulfid Eisenfällung durch Phosphat 	<ul style="list-style-type: none"> Fällungsverfahren mit Kalk Fällungsverfahren mit Kalk und Aluminiumverbindungen (Ettringitfällung) Fällungsverfahren mit Bariumsalzen High density sludge
	Physikalisch	<ul style="list-style-type: none"> Belüftung Katalytische Enteisung Eisen(II)- bzw. Mangan(II)-Filtration über basisches Filtermaterial Eisen(II)-Eisen(III)-Filtration Eisen(III)-Filtration Eisen(II)-Filtration über inertes Filtermaterial 	<ul style="list-style-type: none"> Umkehrosmose Nanofiltration Ionenaustauscherverfahren Elektrochemische Verfahren (Rodosan) Elektrodialyse Vakuumverdampfung
	Biologisch	<ul style="list-style-type: none"> Biologische Fe-II-Entfernung (angepasstes Ferrobakterium) 	<ul style="list-style-type: none"> mikrobiologische Sulfatreduktion Thiopaq HLSR
Passive Verfahren		<ul style="list-style-type: none"> Aerobe wetlands Anaerobe wetlands 	<ul style="list-style-type: none"> anaerobe Wetlands RAPS (Reducing and alkalinity producing systems) reaktive Barrieren

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

Die angewandte Methodik ist begrenzt und lässt lediglich abgeschätzte Aussagen über die Quantität der Stoffeinträge zu. Zur Ausweisung anthropogener Quellen ist eigentlich die Verwendung des natürlichen (geogenen) Quotienten Stofffracht/Fläche bei der Bilanzierung notwendig. Da dieser nicht bekannt ist, kann nur ein bereits anthropogen beeinflusster Quotient verwendet werden. Bei der durchgeführten Bilanzierung wurde dieser meist aus den oberstrom liegenden Bilanzabschnitten auf den aktuellen Gewässerabschnitt übertragen. Im Ergebnis können damit nur außergewöhnliche Stoffquellen und -senken erkannt werden, die über das mittlere Maß der Stoffeinträge hinaus gehen. Als mittleres Maß werden dabei jedoch nicht nur geogene, sondern auch anthropogene Stoffquellen berücksichtigt.

Weiterhin kann anhand der durchgeführten Bilanzierung nur schwer auf konkrete Quellen geschlossen werden, da in den betrachteten Fließgewässerabschnitten mehrere Quellen in Betracht kommen können. Hier gilt dasselbe wie bei der Unterscheidung zwischen geogener und anthropogener Herkunft. Zur Quantifizierung konkreter Stoffeinträge müssten alle anderen Stoffzugänge bekannt sein.

Eine weitere notwendige Einschränkung bezüglich der Ergebnisse ergibt sich, da die einmündenden Fließgewässer nicht bezüglich ihrer Stofffrachten bewertet wurden. Eine Bewertung erfolgte nur für die Bilanzgewässer selbst.

Zusammenfassung und Ausblick

In der Studie wurde eine umfangreiche beschreibende und explorative Statistik der Eisen- und Sulfatkonzentrationen in Sachsen durchgeführt. Ziel war die Eintragsquellen zu quantifizieren und in natürliche und anthropogene Ursachen zu differenzieren. Für die Ableitung der Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit an den Messstellen und der Zusammenhänge der Belastung und Umwelt wurden verschiedene Geodaten verwendet. Tabelle 3 stellt die recherchierten und bewerteten Beeinflussungen der Eisen- und Sulfatgehalte im Grund- und Oberflächenwasser und deren Berücksichtigung im Rahmen der statistischen Auswertung dar.

Tabelle 3: Recherchierte und bewertete Beeinflussung der Eisen- und Sulfatgehalte im Grund- und Oberflächenwasser und deren Berücksichtigung im Rahmen der statistischen Auswertung

Beeinflussung	Berücksichtigung im Rahmen der statistischen Auswertung		
Geologie	Berücksichtigung in Form der Fließgewässerlandschaften		
Bergbau: historischer Erzbergbau, historischer Steinkohlenbergbau, neuer Erzbergbau	Berücksichtigung, Beeinflussung von Bergbaugebieten	Klasseneinstufung der Messstellen	der in

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

Atmosphärische Schwefeldeposition	ubiquitäre Beeinflussung, Berücksichtigung im Rahmen der statistischen Auswertung als Einflussfaktor nicht möglich
Altablagerungen	Berücksichtigung gemeinsam mit Siedlung, Industrie, Gewerbe, Verkehr, Klasseneinstufung der Beeinflussung von Messstellen
Heiden und Moore	Berücksichtigung sowohl als numerischer Einflussfaktor anhand der Flächenanteile in den Einzugsgebieten als auch qualitativ durch Klasseneinstufung der Beeinflussung von Messstellen
Landwirtschaft	Berücksichtigung als numerischer Einflussfaktor anhand der Flächenanteile in den Einzugsgebieten
Industrielle und kommunale Abwässer	Berücksichtigung gemeinsam mit Siedlung, Industrie, Gewerbe, Verkehr, Klasseneinstufung der Beeinflussung von Messstellen

Zusammenfassend kann in Auswertung der durchgeführten Analysen festgestellt werden:

- das Oberflächenwasser ist stärker von der Landnutzung beeinflusst als das Grundwasser,
- die Sulfatkonzentration zeigt deutlichere Erhöhungen, die auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen sind, als die Eisenkonzentration,
- Eisen im Grundwasser: es sind kaum signifikante Rückschlüsse auf eine Einwirkung der Landnutzung auf die Eisenkonzentration im Grundwasser nachzuweisen.

Exakte Aussagen sind für Sulfatbelastungen im Oberflächenwasser möglich. Das Grundwasser ist hingegen weniger stark mit Stoffquellen in Beziehung zu setzen. Für Eisen sind nur unscharfe Aussagen möglich. Es kann nur ein geringer Teil der Streuung der Eisenkonzentration mit den untersuchten Landnutzungstypen in Verbindung gebracht werden.

Als Ergebnis der Studie ist zu schlussfolgern, dass in Sachsen auch außerhalb der Braunkohlenbergbaureviere eine Reihe von natürlichen und anthropogenen Einträgen von Sulfat und Eisen aus geogenen Quellen sowie der Landwirtschaft, des Bergbaus und der Industrie existiert. Die damit verbundenen Einträge führen zu großflächigen Überschreitungen der entsprechenden LAWA-Orientierungswerte. In dieser Studie wurden diese Quellen ausführlich analysiert.

Hinsichtlich der Planung von Maßnahmen ergab sich für die Bereiche außerhalb der Braunkohlenbergbauggebiete, dass es derzeit keine effizienten Verfahren zur Sulfat- bzw. Eisenanreicherung für die vorherrschenden niedrigen Sulfat- und Eisengehalte im Bereich der LAWA-Orientierungswerte bei großen

Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer (TP 1.1)

Durchflussmengen gibt. Dies gilt insbesondere angesichts der großen flächenmäßigen Verbreitung von Überschreitungen der LAWA-OW.

Die Verfahren könnten nur bei einzelnen Punktquellen angewandt werden. Bei der eingeschränkten Abtrenneffizienz insbesondere für Sulfat wäre die Wirksamkeit auf OWK- und Teilgebietsebene sehr begrenzt und würde nicht zum guten Zustand der betrachteten OWK und GWK führen.

Im Abschlussbericht sind die umfangreichen und detaillierten Analysen und Auswertungen mit weiteren Zusammenhängen beschrieben.



Impressum

Herausgabe:

Dieser Steckbrief wurde im Rahmen des Projekts Vita-Min erstellt. Das Projekt Vita-Min wurde aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Kooperationsprogramms SN-CZ 2014-2020 finanziert. Die Projektpartner sind das sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Leadpartner), die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. und die Verwaltungsbehörde des Bezirks Ústecký kraj.

Alle Teilprojekte des LfULG tragen zum Leitprojekt „Für saubere Gewässer in Sachsen“ bei.

Für Fragen und weitere Informationen zu diesem Teilprojekt kontaktieren Sie:

Ansprechpartner

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Ansprechpartner: Kathleen Lünich

Telefon: 0351/ 89284420

E-Mail: kathleen.luenich@smul.sachsen.de

Bearbeitung:

Die Ergebnisse dieses Teilprojekts wurden im Rahmen einer Vergabe durch die Firma G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH erarbeitet.

Titelfoto:

LfULG (2017): Spree in Neustadt

Redaktionsschluss:

01.10.2019

Weitere Informationen finden Sie unter
www.vitamin-projekt.eu