



**Fischsterben in den  
Marschgewässern des  
Elbe-Weser Dreiecks infolge der  
Dürresommer 2018 und 2019**

Autor: Maximilian Völlinger, NLWKN-Stade



**Niedersachsen**



## INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung und Problematik.....	4
2. Sulfatsaure Böden.....	5
2.1 Entstehung.....	5
2.2 Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna.....	6
2.3 Vorkommen.....	6
3. Datenauswertung.....	7
3.1 Methodik.....	7
3.2 Ergebnisse der Datenauswertung.....	8
4. Fazit.....	10
Literaturverzeichnis.....	11

## 1. EINFÜHRUNG UND PROBLEMATIK

Das vergangene Jahrzehnt kann man als Jahrzehnt der klimatologischen Superlative bezeichnen. Nachdem im Jahr 2014 zum ersten Mal eine Jahresmitteltemperatur im zweistelligen Bereich beobachtet wurde, gilt das Jahr 2018 mit einer Gebietsmitteltemperatur von 10,5 °C als das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1881 (Friedrich & Kaspar, 2019). Das Jahr 2019 setzt diesen Trend mit 10,3 °C fort (Kaspar & Friedrich, 2020). Weiterhin liegen neun der zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen in den letzten 20 Jahren (Kaspar & Friedrich, 2020).

Im Jahr 2018 wurde ein Niederschlagsdefizit von 200 mm beobachtet. Niederschläge im Januar und März 2019 konnten die Bodenwasserspeicher nur marginal auffüllen. Als Folge resultierte eine Trockensituation, welche durch die Hitzeperiode im Sommer 2019 noch verschärft wurde (Meinert, et al., 2019).

Parallel zu dieser klimatischen Entwicklung konnte in den Herbst- und Wintermonaten 2018 und 2019 ein Fischsterben in den Landkreisen Cuxhaven und Stade beobachtet werden. Besonders deutlich trat dies im Hadelner und Kehdinger Land auf.



Abbildung 1: Fischsterben (Emmrich, 2019)

Das Fischsterben ging einher mit der Messung von stark erhöhten Sulfatwerten in den Oberflächengewässern sowie niedrigen pH-Werten. Dieses Phänomen trat 2018 zum ersten Mal in der Region auf und ist auf sulfatsaure Böden zurückzuführen. Hierbei handelt es sich um pyrithaltige Böden, welche durch Oxidation große Mengen an Säure und Sulfat freigegeben (Heumann, 2018). Hierdurch entsteht ein hohes Gefährdungspotential für u.a die aquatische Flora und Fauna. Die extreme Versauerung (< pH 4,0) führt zu Pflanzenschäden und hemmt deren Wachstum. Weiterhin steigt die Aluminium- und Schwermetalllöslichkeit bzw. -mobilität, was zum Einen aufgrund der Toxizität die aquatische Flora und Fauna bedroht und zum Anderen die Verockerung von Dränrohren und Gräben durch Eisenaustrag begünstigt (Heumann, 2018).

Der vorliegende Bericht soll den Zusammenhang zwischen den Dürresommern und dem Fischsterben näher erläutern und einen Überblick über die Situation auf Basis der Daten des Gewässerüberwachungsnetzes Niedersachsen (GÜN) bieten.

## 2. SULFATSAURE BÖDEN

### 2.1 Entstehung

In den letzten 8000 Jahren haben sich im Bereich der norddeutschen Küsten- und Niederungsgebieten auf natürliche Weise Eisensulfide in marinen Sedimenten gebildet, wobei Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) die am häufigsten vorkommende Verbindung ist. Der Schwefel gelang hierbei als Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) mit Meer- und Brackwasser in die holozänen Ablagerungen. Aufgrund der reduzierenden Bedingungen

im wassergesättigten Bereich der Böden reduziert sich das Sulfat zu Sulfid. Eine entscheidende Rolle hierbei spielt der Schwefelkreislauf. Für die Pyritbildung müssen folgende Bedingungen vorhanden sein (Berner, 1984):

- Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
- Organische Substanz
- Reaktives Eisen
- Bakterien zur Reduktion von Sulfat und zur Reduktion von Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ )

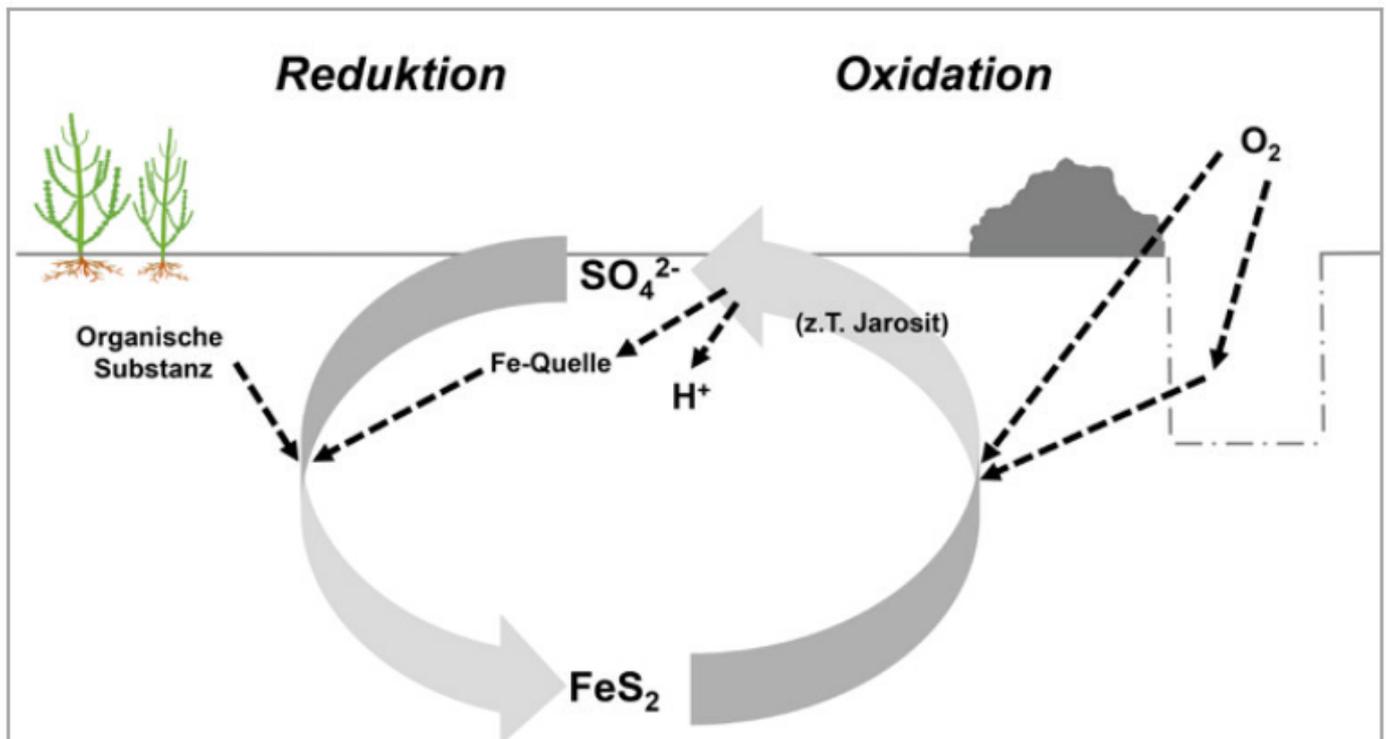


Abbildung 2: Darstellung der Pyritbildung ( $\text{FeS}_2$ ) mittels Reduktion von Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sowie Pyritoxidation aufgrund von Belüftung (z.B. durch Austrocknung oder Bodenaushub) (Heumann, 2018)

Das Sulfat wird hierbei durch sulfatreduzierende Bakterien (*Desulfovibrio desulfuricans*) unter Zuhilfenahme von metabolischer, organischer Substanz zu Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) reduziert (vgl. Abbildung 1). Über einen Zwischenschritt, wobei zum einen Eisenmonosulfid ( $\text{FeS}$ ) und zum anderen elementarer Schwefel ( $\text{S}_0$ ) entstehen, reagieren diese zu Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ). Diese Vorgänge müssen

zwingend in einem anoxischen Milieu ablaufen. Weiterhin ist die Bildung von Pyrit auch abhängig vom pH-Wert. Bei sehr sauren Umgebungen bildet sich Markasit, welches die selbe Summenformel  $\text{FeS}_2$  wie Pyrit besitzt, allerdings eine andere Symmetrie in der Kristallstruktur vorweist. Erst ab einem pH-Wert von  $< 6,0$  entsteht nur noch Pyrit (van der Veen, 2003).

Kommt pyritreicher Boden mit Luftsauerstoff in Kontakt, beispielsweise durch eine Absenkung des Grundwasserspiegels oder Bodenaushub bei einer Baumaßnahme, oxidieren die Eisensulfide. Hierbei entstehen pro Mol Pyrit vier Mol Säure (Gröger, 2009):



Sobald das Säurebildungspotential die Säureneutralisationskapazität übersteigt, wird der Boden als „potentiell sulfatsauer“ bezeichnet. Hierbei sind die im Boden vorhandenen Eisensulfide noch nicht oder nur begrenzt oxidiert und es gilt ein pH-Wert > 4,0. Die Säureneutralisationskapazität wird primär durch Carbonate (Kalk), austauschbare Basen und leicht verwitterbare Silikate bestimmt, wobei die beiden letztgenannten eine eher untergeord-

## 2.2 Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna

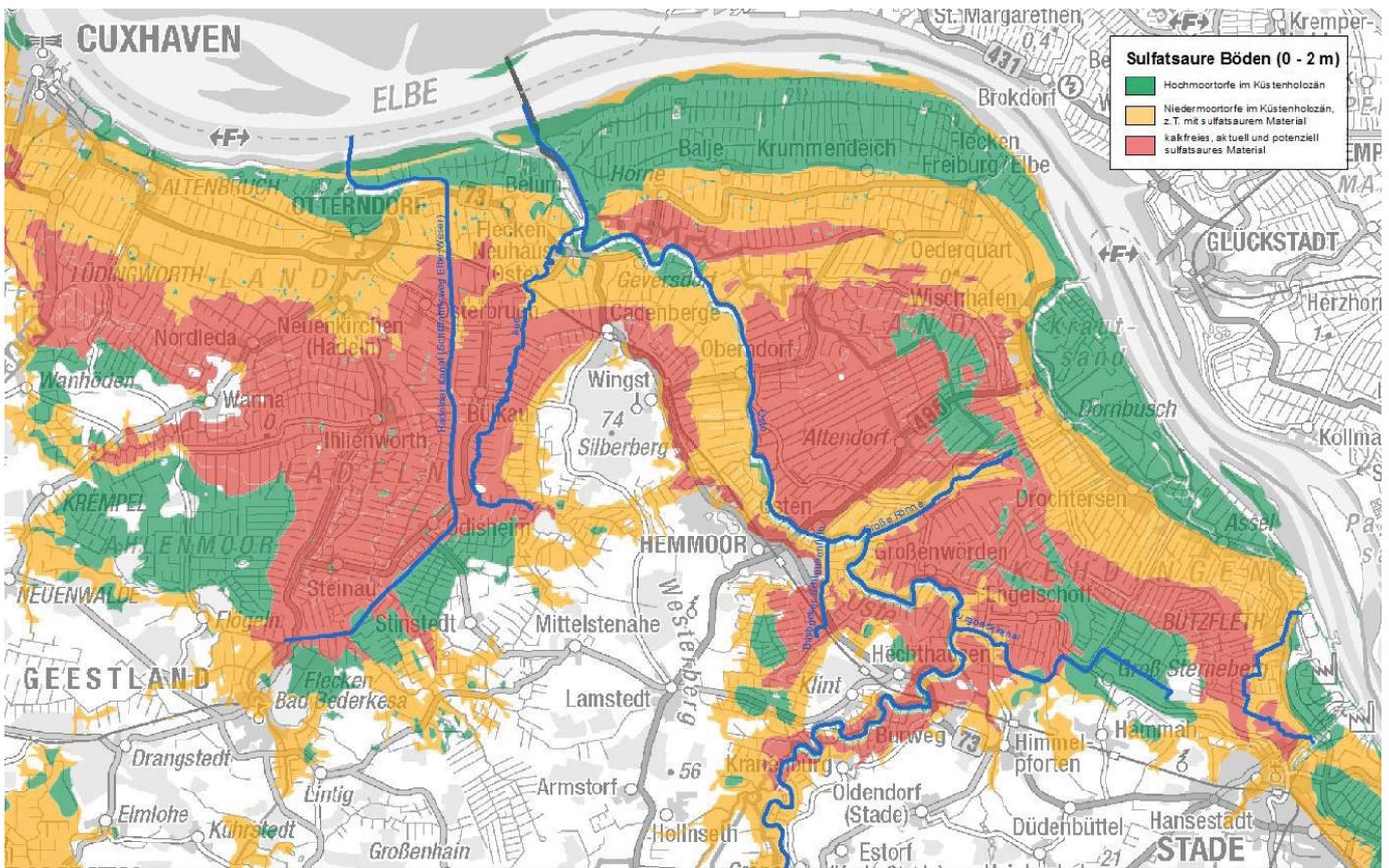
Ein großes Problem bei der Versauerung von Böden ist die erhöhte Löslichkeit von Metallen und Schwermetallen. Im vorliegenden Fall liegt hierbei ein besonderes Augenmerk auf dem fischgiftigen Aluminium, welches das am häufigsten in der Erdkruste anzutreffende Metall ist. Ab einem pH-Wert von 4,2 im Boden wird vermehrt Aluminium durch z.B. den Zerfall von Tonmineralien freigesetzt. Dieses kann dann über das Grundwasser oder bei Niederschlägen in die umliegenden Gewässer gelangen. Erhöhte Aluminiumkonzentrationen können zu einer weitreichenden Schädigung von Fischpopulationen, Bodenorganismen und Pflanzenwachstum führen (NLWKN, 2018).

nete Rolle spielen. Um 1,0 Gew.-% säurebildender Schwefel zu neutralisieren benötigt es ca. 3,1 Gew.-% Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) (Schäfer, 2010). Im niedersächsischen Küstenholozän liegt der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt zwischen 0 und 20 Gew.-%. Dem gegenüber variieren die Gew.-% von säurebildendem Schwefel in sulfatsauren Böden zwischen 2,0 bis 3,0, wobei auch schon Werte von 9,0 Gew.-% gemessen wurden (Dellwig, 1999).

Im Vergleich zu potentiell sulfatsauren Böden ist bei effektiv sulfatsauren Böden die Säurefreisetzung aufgrund partieller oder vollständiger Oxidation bereits eingetreten. Durch mangelnde Säureneutralisationskapazitäten sinkt der pH-Wert auf  $\leq 4,0$  und kann im weiteren Verlauf der Oxidation noch weiter sinken.

## 2.3. Vorkommen

In Niedersachsen konzentriert sich das Vorkommen von sulfatsauren Böden vor allem auf die Marsch-, Moor- und Wattenlandschaften in den Küstengebieten. Die dargestellte Karte in Abbildung 3 zeigt die Situation im Bereich der Unterelbe zwischen Stade und Cuxhaven in einer Tiefe von 0 bis 2 m. Das niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) hat auf Basis der „Bodenkarte von Niedersachsen“ 1:50.000 (BK50) eine Grundlagenkarte der sulfatsauren Böden für Tiefen von 0 bis 2 m ausgearbeitet, welche die Lage und Gefährdungspotential der Böden aufzeigt. Hierbei werden die Böden in drei Hauptkategorien mit diversen Unterkategorien (Entstehung, Gestein, etc.) unterteilt. Das Gefährdungspotential wird in die Kategorien Rot (Sehr hoch bis hoch), Gelb (mittel) und Grün (gering) unterteilt. Detaillierte Infos zu den Einstufungen finden sich in Heumann et al. (2018).



**Abbildung 3: Sulfatsaure Böden an der Unterelbe zwischen Stade und Cuxhaven, Tiefenbereich 0-2 m, bearbeitet ( NIBIS® Kartenserver , 2014)**

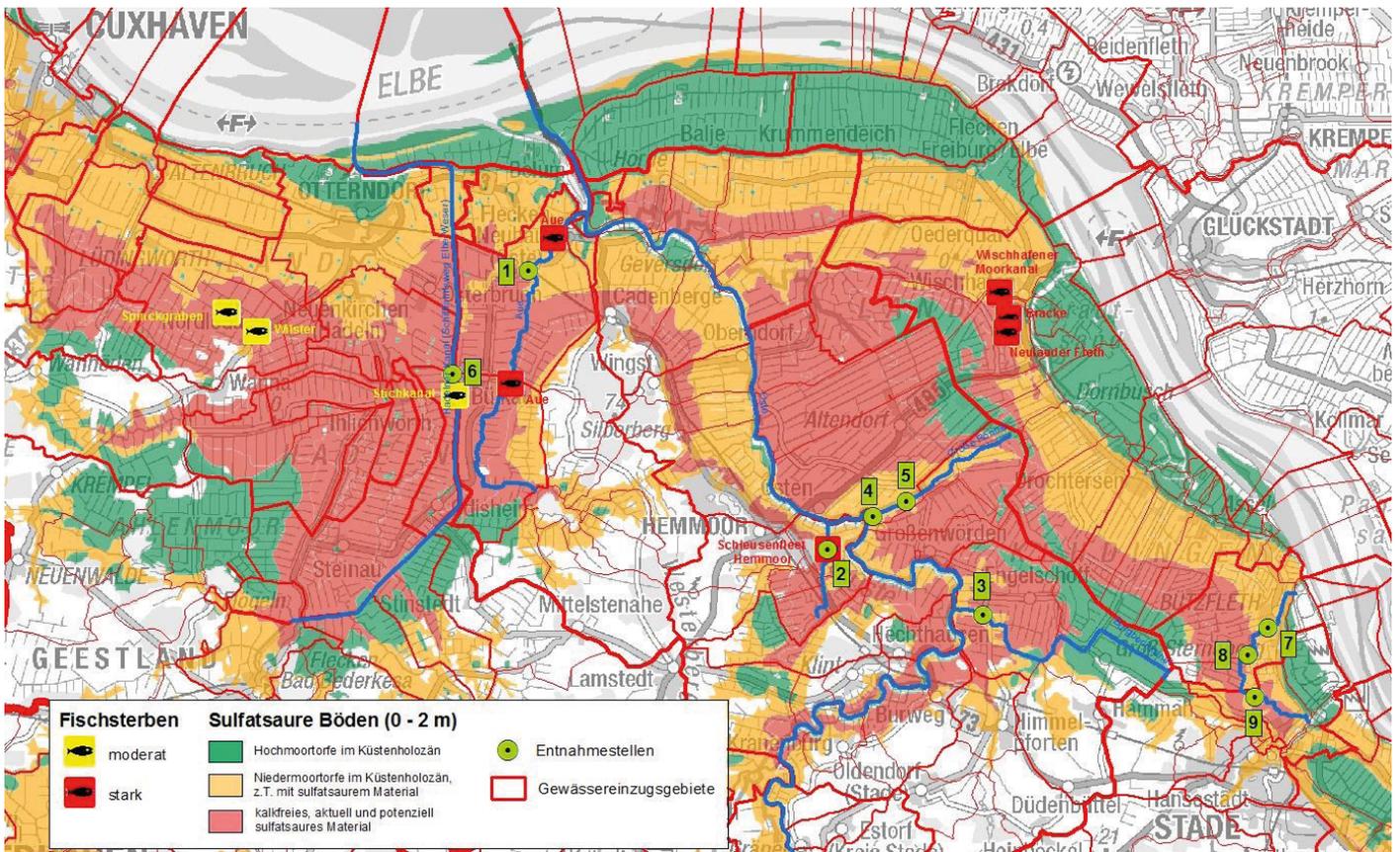
### 3. Datenauswertung

Die verwendeten Daten wurden im Rahmen des Gewässerüberwachungssystems Niedersachsen aufgenommen, welches seit 1979 besteht. Das Messnetz erstreckt sich auf alle niedersächsischen Fließgewässer und stehende Gewässer. Hierbei werden kontinuierlich physikalische und chemische Parameter analysiert, als auch aquatische Kleinstlebewesen (Makrozoobenthos) und Pflanzen untersucht.

#### 3.1 Methodik

Bei der Auswertung der Daten liegt der Fokus auf Gewässern, welche im Laufe der letzten fünf Jahre einen pH-Wert von 5,0 oder niedriger aufweisen. Die betroffenen Messstellen werden im Anschluss mit den Orten, an denen ein Fischsterben dokumentiert wurde, abgeglichen (vgl. Abb. 4). Diese Daten wurden freundlicherweise vom Angelverband Niedersachsen zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um eine statistische Erhebung der Fischbestände, welche mittels Elektrofischen durchgeführt wurde.

In Abbildung 4 sind die ausgewählten GÜN-Messstellen und die verorteten Fischsterben auf der Bodenkarte dargestellt. Über die dargestellten Gewässereinzugsgebiete lassen sich mögliche Rückschlüsse auf den Eintrag des Sulfats und des Aluminiums ziehen.



**Abbildung 4: Übersicht der Messpunkte, der verorteten Fischsterben und der Gewässereinzugsgebiete; Hintergrundkarte: Sulfatsaure Böden (Quelle: NIBIS®)**

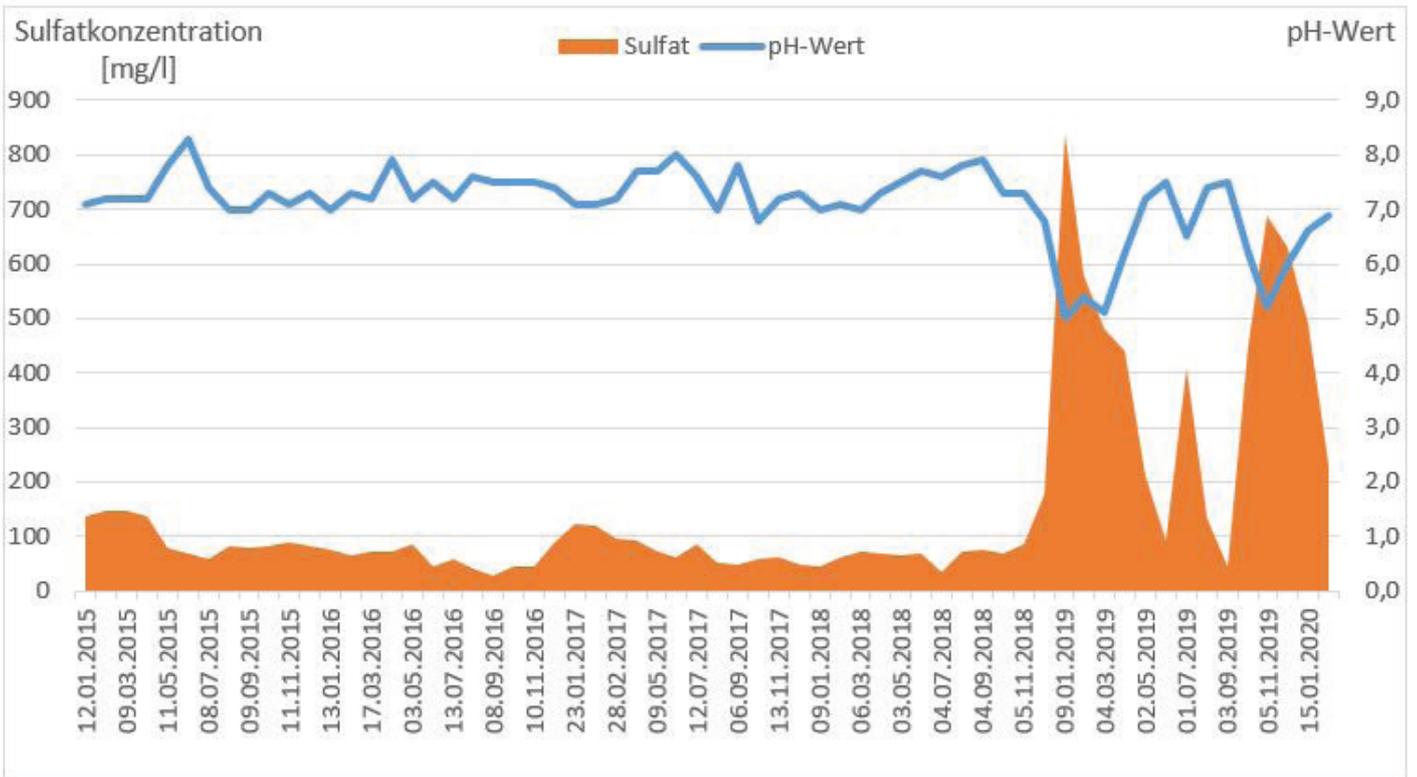
Für die Darstellung der Ergebnisse wurden die Messwerte von Messstelle 1 „Aue/Neuhaus“ und Messstelle 2 „Schleusenfleth Basbeck“ ausgewählt, da sich hier in unmittelbarer Nähe zur Messstelle ein starkes Fischsterben ereignet hat.

### 3.2 Ergebnisse der Datenauswertung

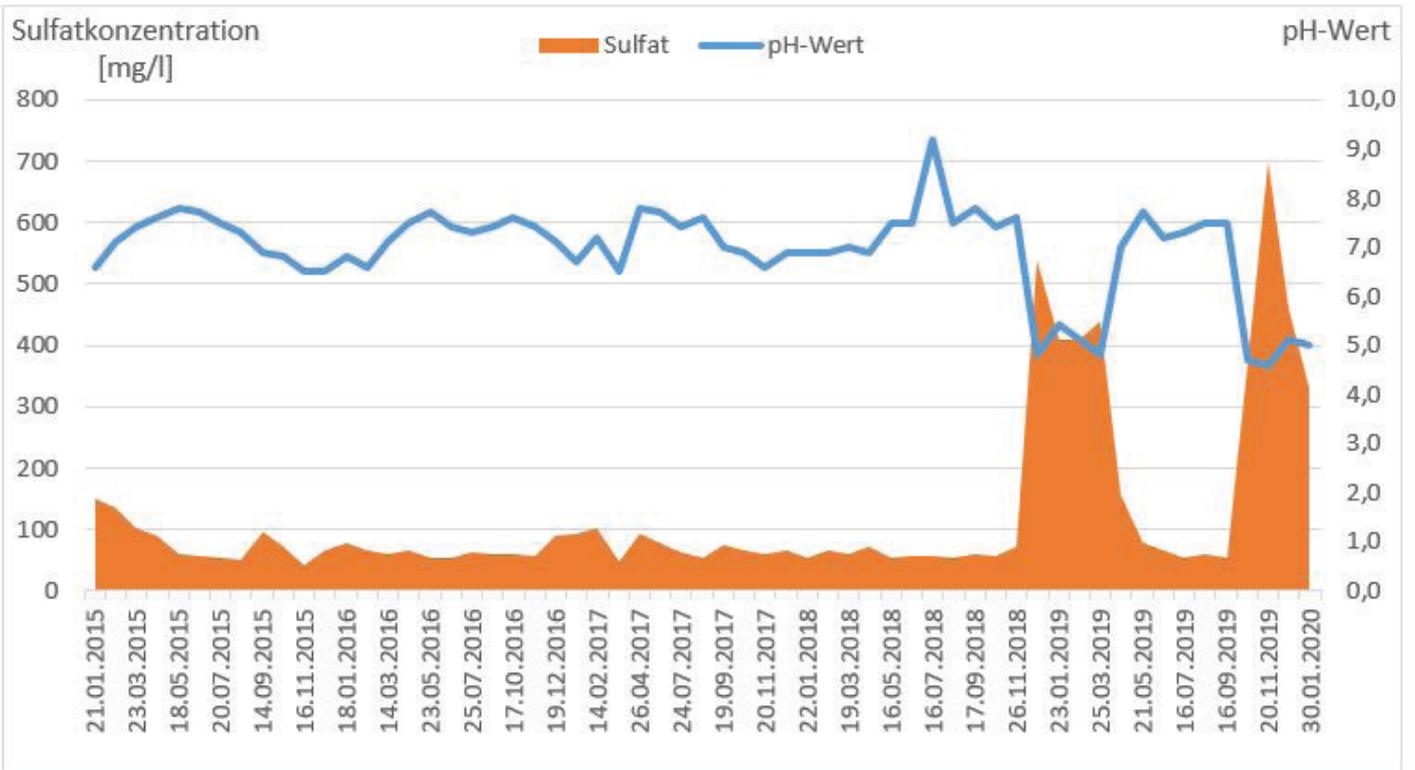
Für das Gewässer „Aue“ wurden zwei starke Fischsterben von den Angelverbänden gemeldet. Wie auf der Karte in Abbildung 3 dargestellt ist, dominieren potentielle, stark sulfatsaure Böden das Gewässereinzugsgebiet. Somit ist in diesem Gebiet mit einem erhöhten Sulfateintrag sowie erhöhten Aluminiumkonzentrationen zu rechnen. Die GÜN-Daten der Messstelle 1 „Aue/Neuhaus“ untermauern diese These. In Abbildung 5 sind die Messwerte für den pH-Wert und die Sulfatkonzentration der letzten fünf Jahre dargestellt. Ab Dezember 2018 ist ein Anstieg der Sulfatkonzentration sowie ein Abfall des pH-Werts zu beobachten. Dies gipfelt in

einer Sulfatkonzentration von 840 mg/l im Januar 2019. Gleichzeitig erreicht der pH-Wert mit 5,0 seinen niedrigsten Stand. Im Herbst 2019 wiederholt sich das Phänomen und es konnten bereits im Oktober erhöhte Sulfatkonzentrationen gemessen werden. Der maximale Wert wurde im November mit 690 mg/l festgestellt.

Das gleiche Phänomen konnte auch an der Messstelle 2 „Schleusenfleth Basbeck“ gemessen werden. Hier trat das Fischsterben in unmittelbarer Nähe zur Messstelle auf. Auch bei diesem Gewässereinzugsgebiet dominieren potentiell stark sulfatsaure Böden. In Abbildung 6 zeigt sich ein vergleichbarer Verlauf. Hier wurde Mitte Dezember 2018 eine maximale Sulfatkonzentration von 540 mg/l gemessen sowie ein pH-Wert von 4,8. Ebenso wiederholt sich das Phänomen im Herbst 2019, hierbei wurde im November eine Spitzenkonzentration von 700 mg/l gemessen. Begleitet wurde dieser Anstieg durch einen Abfall des pH-Werts auf 4,6.



**Abbildung 5: Sulfatkonzentration und pH-Wert Messstelle Aue/Neuhaus**



**Abbildung 6: Sulfatkonzentration und pH-Wert Messstelle Basbecker Schleusenfleth**

Vergleicht man beide Gewässer miteinander, so lässt sich feststellen, dass im Basbecker Schleusenfleth zwar der niedrigste pH-Wert beider Messstellen gemessen wurde, in der Aue aber ein deutlicher höherer Sulfateintrag zu verzeichnen ist. Dies könnte auf das größere Gewässereinzugsgebiet zurückgeführt werden. Die Auswertungen der Messdaten von den restlichen, in Abbildung 4 aufgeführten, Messstellen zeigen einen identischen Kurvenverlauf für die Sulfatkonzentration und den pH-Wert.

Es gilt zu bedenken, dass es sich bei einem gemessenen pH-Wert von 5,0 und 4,7 um bereits durch das Gewässer verdünnte Werte handelt. Somit muss der pH-Wert in den Böden, in welchen die Schwefelsäure entstanden ist, deutlich geringer sein. Da Aluminium ab einem pH-Wert von 4,2 im Boden gelöst wird, können somit größere Mengen dieses gelösten Aluminiums in die Gewässer gelangt sein und das Fischsterben verursacht haben. Zu der Aluminiumkonzentration in den Gewässern liegen keine Daten vor.

#### **4. Fazit**

Im Dezember 2018 ist im Land Kehdingen und im Land Hadeln erstmalig das Phänomen eines massiven Fischsterbens in den lokalen Gewässern aufgetreten. Die entsprechenden Marschgewässer sind geprägt von sulfatsauren Böden, welche bei längerer Trockenheit durch Oxidationsprozesse Schwefelsäure ausbilden. Die starke Versauerung löst u.a. fischtoxisches Aluminium aus dem Boden, welches zusammen mit der Schwefelsäure und Sulfat durch Grund- oder Oberflächenwasserabfluss in die Gewässer gelangt. Die Auswertung der GÜN-Daten bestätigen diesen Vorgang. Dort, wo von Angelverbänden stark geschädigte Fischbestände gemeldet wurden, konnten wiederum auch stark erhöhte Sulfatkonzentrationen bei gleichzeitig niedrigen pH-Werten gemessen werden. Somit lässt sich das Fischsterben in den nördlichen Marschgewässern des Elbe-Weser Dreiecks auf die Trockenheit im Sommer und die daraus resultierenden geochemischen Vorgänge in den sulfatsauren Böden zurückführen, welche letztendlich das Herauslösen des Aluminiums aus dem Boden verursacht haben. Somit kann ein Fremdverschulden bei den in Rede stehenden Fischsterben sicher ausgeschlossen werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- NIBIS® Kartenserver . (2014). Sulfatsaure Böden (Tiefenbereich 0-2 m, Auswertung BK50). Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Hannover.
- Berner, R. A. (1984). Sedimentar pyrite formation: An update. *Geochemica et Cosmochemica Acta*.
- Dellwig, O. W. (1999). High-Resolution Reconstruction of a Holocene Coastal Sequence (NW Germany Using Inorganic Geochemical Data and Diatom Inventories. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Nr. 48.
- Dent, D. (1986). Acid sulphat soils: A baseline for research and development. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement Nr 39.
- Friedrich, K., & Kaspar, F. (2019). Rückblick auf das Jahr 2018 - das bisher wärmste Jahr in Deutschland. Deutscher Wetterdienst - Abteilung für Klimaüberwachung.
- Gröger, J. H. (2009). Handlungsempfehlungen zur Bewertung des Versauerungspotentials von Aushubmaterial durch reduzierte anorganische Schwefelverbindungen . Bremen: Geologischer Dienst für Bremen.
- Heumann, S. G.-T. (2018). Geofakten 24 - Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebeiten: Entstehung, Vorerkundung und Auswertungskarten. Hannover: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.
- Kaspar, F., & Friedrich, K. (2020). Rückblick auf die Temperaturen in Deutschland im Jahr 2019 und die langfristige Entwicklung. Deutscher Wetterdienst - Abteilung für Klimaüberwachung.
- Meinert, T., Becker, A., Bissolli, P., Daßler, J., Breidenbach, J.-N., & Ziese, M. (2019). Ursachen und Folgen der Trockenheit in Deutschland und Europa ab Juni 2019. Deutscher Wetterdienst - Abteilung für Klimaüberwachung, Agrar- und Hydrometeorologie.
- NLWKN. (2018). Grundwasserbericht Niedersachsen - Sammlung Parameterblätter. Norden: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz.
- Schäfer, W. P. (2010). Geofakten 25 - Handlungsempfehlungen zur Bewertung und zum Umgang mit Bodenaushub aus (potenziell) sulfatsauren Boden. Hannover: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.
- van der Veen, A. (2003). Schwefelspeziationen und assoziierte Metalle in rezenten Sedimenten. Braunschweig: Dissertation Technische Universität Braunschweig.

