

Positionspapier Moorrevitalisierung und DOC



Positionspapier der AG DOC* zum Zusammenhang von Moorrevitalisierung und DOC-Einträgen in Oberflächengewässer der Einzugsgebiete von Trinkwassertalsperren

* Die AG DOC ist ein behördeninternes Gremium im Geschäftsbereich des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft mit Vertretern des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, des Staatsbetriebs Sachsenforst, der Landestalsperrenverwaltung sowie der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, zur Bündelung der Fachexpertise, mit dem Ziel, das wissenschaftliche Verständnis im Themenfeld zu vertiefen und nachfolgend Lösungsoptionen zu entwickeln.

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	6
2	Einfluss von Wiedervernässungsmaßnahmen auf DOC-Austräge aus Torfböden	7
2.1	Internationaler Kenntnisstand.....	7
2.2	Erkenntnisse sächsischer Forschungsprojekte.....	8
2.2.1	Untersuchungen zwischen 2005 und 2015	8
2.2.2	Monitoring Große Säure / Rostmoor, Großer Kranichsee	9
3	Weitere, maßgebliche Einflussfaktoren auf den DOC	10
3.1	Abnahme der atmosphärischen Säuredepositionen	11
3.2	Temperaturanstieg	11
3.3	Änderung des Niederschlagsregimes	12
3.4	Änderungen der Waldvegetation.....	13
4	Schlussfolgerungen	14
	Literaturverzeichnis	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jahresmitteltemperaturen an der DWD-Wetterstation Weitersglashütte, unweit der TS Carlsfeld	12
Abbildung 2: Jahresniederschlag an der DWD-Wetterstation Weitersglashütte, unweit der TS Carlsfeld	13

Abkürzungsverzeichnis

BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
DOC	Dissolved Organic Carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
EZG	Einzugsgebiet
FFH	Fauna-Flora-Habitate (EU-Richtlinie)
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LTV	Landestalsperrenverwaltung
N	Stickstoff
S	Schwefel
SBS	Staatsbetrieb Sachsenforst
TW	Trinkwasser
TWTS	Trinkwassertalsperren
TS	Talsperre

1 Veranlassung

In sächsischen Trinkwassertalsperren (TWTS) werden seit Anfang des 21. Jahrhunderts steigende Konzentrationen von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) in den der Talsperre zufließenden Gewässern sowie dem Talsperrenkörper selbst beobachtet. Dies führt zunehmend zu Problemen bei der Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser. Höhere Mengen an Flockungsmitteln werden benötigt und das führt zu steigenden Kosten sowie erhöhtem Schlammanfall. Dabei ist der Einsatz der Flockungsmittelmenge nach oben gesetzlich begrenzt. DOC, der nicht entfernt werden kann, geht Verbindungen mit Desinfektionsmitteln ein, was zu toxischen Desinfektionsnebenprodukten führt. Diese Nebenprodukte sind in der Trinkwasserverordnung mit Grenzwerten belegt und dürfen nicht überschritten werden. Bei weiter steigenden DOC-Konzentrationen reichen im schlimmsten Fall die erforderlichen Aufbereitungskapazitäten nicht aus und Regionen könnten nicht ausreichend mit Trinkwasser versorgt werden, was Privathaushalte aber auch Industrie und Gewerbe betrifft und zu großen wirtschaftlichen Schäden führen kann. Um dieser Situation zu begegnen und dem gesetzlichen Auftrag der Wasserversorgung in Qualität und Menge nachkommen zu können, müssten die Wasserwerke ertüchtigt werden. Diese Anpassungen in allen betroffenen sächsischen Wasserwerken würden vermutlich im zwei- bis dreistelligen Millionenbereich liegen. Die Finanzierung solcher Maßnahmen allein durch den Wasserversorger oder durch Weitergabe der Kosten an den Endverbraucher ist nicht darstellbar. Darüber hinaus müssen technologische Anpassungen bei der Trinkwasseraufbereitung auf Grundlage realistischer Prognosen der Entwicklung der DOC-Konzentration längerfristig geplant werden, was wiederum ein detailliertes Verständnis der Prozesse, die zum DOC-Anstieg führen, erfordert. Zudem sollten sämtliche Handlungen, die im Einzugsgebiet (EZG) DOC-Austräge erhöhen könnten, vermieden werden. Um die Ursachen für DOC-Anstiege zu verstehen, wurden seit Beginn des 21. Jahrhunderts verschiedene Studien mit Fokus auf sächsische TWTS-EZG durchgeführt. Deren Erkenntnisse waren oftmals aufgrund der sich überlappenden Prozesse und multifaktoriellen Einflussgrößen uneindeutig, weshalb auch jetzt noch Forschungsbedarf besteht. Als eine technische Lösung wurde die Umleitung DOC-reicher Zuflüsse um die TWTS Carlsfeld 2010 realisiert. Diese fußte auf Diskussionen im Verlauf des BMBF-Projektes 2005. Auch die Ertüchtigung der bereits vorhandenen, aber sanierungsbedürftigen Umleitung um die TS Werda wurde vor dem Hintergrund des weiterhin zu erwartenden DOC-Anstiegs betrachtet.

Nicht nur in Sachsen wird das Phänomen des DOC-Anstiegs beobachtet. Auf der gesamten Nordhemisphäre zeigen viele Gewässer erhöhte DOC-Konzentrationen (EVANS et al. 2005; GARMO et al. 2020). Das verdeutlicht, dass hierbei globale Einflussgrößen eine wichtige Rolle spielen. Dennoch sind die Trends nicht überall einheitlich und auch von den lokalen Gegebenheiten abhängig.

Bisherige Studien heben folgende Einflussfaktoren hervor:

- Temperaturanstieg durch Klimawandel
- Erhöhte Primärproduktion (durch Temperatur- und CO₂-Anstieg)
- Veränderte Niederschlagsverteilung
- Sinkende atmosphärische Stickstoff- (N) und Schwefel- (S) Depositionen → steigende pH-Werte → höhere mikrobielle Aktivität im Boden und den Humusauflagen
- Veränderte Landnutzung
- (anthropogen veränderte) Moore im Einzugsgebiet und deren Entwicklung (Regeneration / Degeneration)

Hinzu kommen in den letzten Jahren gehäuft lokale Schadereignisse wie Windwurf, Schneebruch und Waldsterben durch Borkenkäferkalamitäten mit dem Erfordernis der Beräumung z.T. auch unter nicht optimalen Bedingungen (z. B. TS Muldenberg 2017). Der Einfluss solcher Ereignisse auf DOC-Einträge in die Talsperren kann anhand der vorliegenden Daten nur schwer abgeschätzt werden.

Die genannten Faktoren beeinflussen sich gegenseitig und führen dazu, dass der DOC-Anstieg ein multifaktorielles Phänomen ist, das in verschiedenen Einzugsgebieten unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Die Prozesse, die an den südwestsächsischen, besonders stark betroffenen TWTS hauptverantwortlich sind, gilt es, zu identifizieren.

Im Erzgebirge befinden sich viele Moore in schlechtem ökologischen Zustand aufgrund langjähriger Entwässerung durch vom Menschen angelegte Meliorationsgräben. Bei fortschreitender Degradierung verliert das Moor nicht nur sein einzigartiges, geschütztes Arteninventar, sondern auch seine ökologischen Funktionen als Kohlenstoffsенke, Wasserspeicher und -filter. Aus natur-, boden- und klimaschutzfachlicher Sicht ist eine Revitalisierung von Mooren daher notwendig, um fortschreitende Degradierung zu verhindern.

Vor dem Hintergrund der äußerst angespannten Situation in einigen Wasserwerken südwestsächsischer TWTS treten Differenzen zwischen Zielen des Naturschutzes (Umsetzung der Ziele der FFH-Richtlinie) zur Revitalisierung und Wiedervernässung degradierter Moorstandorte und denen der Wasserversorgung auf. Negative Auswirkungen einer Moorwiedervernässung in TWTS-EZG auf die Rohwasserqualität werden befürchtet. Bis zum heutigen Tag konnte trotz verschiedener Forschungsprojekte nicht sicher herausgearbeitet werden, welchen Einfluss die Wiedervernässung degradierter Moorstandorte auf DOC-Austräge aus diesen Gebieten hat. Bereits die Möglichkeit, dass Wiedervernässungsmaßnahmen im TWTS Einzugsgebiet die DOC-Konzentration erhöhen könnten, stellt naturschutzfachlich hoch relevante Vorhaben in Frage. Deshalb ist das Ziel dieses Positionspapiers, auf Grundlage internationaler Literatur wie auch lokal durchgeführter Studien den aktuellen Kenntnisstand herauszuarbeiten, welchen Einfluss Maßnahmen zur Wiedervernässung auf die DOC-Fracht aus den vernässten Gebieten haben können.

2 Einfluss von Wiedervernässungsmaßnahmen auf DOC-Austräge aus Torfböden

2.1 Internationaler Kenntnisstand

In einem aktuellen Review-Artikel von WILLIAMSON et al. (2022) werden Studien zum Einfluss von Wiedervernässungsmaßnahmen von Torfböden auf die DOC-Konzentrationen und -Frachten zusammengefasst.

Hierbei wird deutlich, dass auf lokaler Skala, d. h. in dem Moorwasser selbst und in anschließenden Gräben häufig eine Verringerung der DOC-Konzentrationen oder -Frachten beobachtet werden konnte. Dies hatte jedoch in keiner der Autoren bekannten Studie Einfluss auf die Wasserqualität eines anschließenden Wasserreservoirs oder größeren Fließgewässers. Das bedeutet, dass in Trinkwasserreservoirs durch lokale Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes eines Moores in deren EZG keine Auswirkungen zu erwarten sind, weder positive noch negative. Dies muss jedoch mit weiterführenden Studien unterlegt werden, da hier eine große Wissenslücke aufgrund des hohen Aufwands solcher großskaligen Untersuchungen besteht.

Auf kleinskaliger Ebene weist die Mehrzahl aller in WILLIAMSON et al. (2022) zusammengefassten Studien auf positive, also DOC-verringende, Auswirkungen der Moorwiedervernässung hin: Im Porenwasser der Moorböden kam es bei Betrachtung aller bekannten Studien zu einer durchschnittlichen Reduzierung des DOC-Gehalts um 34 % (WALLAGE et al. 2006; HOLL et al. 2009; HAAPALEHTO et al. 2014; STRACK et al., 2015; MENBERU et al. 2017). Auch eine deutsche Studie beobachtete verringerte DOC-Konzentrationen im Moorwasser eines renaturierten Standortes im Harz (OSTERLOH 2016).

Für die Abflussgräben der Moore zeigt die internationale Literatur ein variables Bild: während einige Studien einen starken Anstieg des DOC in den Gräben nachwiesen (aus WILLIAMSON et al. 2022: WORRALL et al., 2007: 100 % nach 7 Monaten; HAAPALEHTO et al., 2014: 50-75 % Anstieg nach 10 bzw. 5 Jahren), wurde in anderen Studien keine Veränderung (z.B. GIBSON et al. 2009 und WILSON et al. 2011) oder ein Absinken der Konzentrationen (TURNER et al. 2013, STRACK et al. 2015, ARMSTRONG et al. 2010) beobachtet. In Reaktion auf den Verschluss von Entwässerungsgräben kam es in weiteren Studien zu einer Reduzierung der DOC-Fracht um bis zu 24 %, was jedoch im Wesentlichen auf den Wasserrückhalt und damit verringerte Wasserflüsse zurückzuführen war.

Während die Mehrzahl internationaler Studien demnach positive Auswirkungen der Moorwiedervernässung auf die Wasserqualität herausarbeitet, kommt es in einigen Gebieten nach Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen zu kurzfristigen DOC-Anstiegen (NIEMINEN et al. 2020: bis zu 25 % im ersten Jahr nach Wiedervernässung, allerdings erfolgte hier ein Kahlschlag und es lag bereits eine hohe Degradation des Torfes vor). Insbesondere ein solcher beobachteter initialer, lokaler Peak schürt Befürchtungen im Hinblick auf die regionale Wasserqualität. Es ist jedoch festzuhalten, dass aktuell aus der internationalen Literatur keine Studie bekannt ist, die eine Veränderung der Wasserqualität durch Moorrevitalisierungsmaßnahmen auf Einzugsgebietsebene, beispielsweise in nachfolgenden Wasserreservoirs, nachweisen konnte.

2.2 Erkenntnisse sächsischer Forschungsprojekte

2.2.1 Untersuchungen zwischen 2005 und 2015

Seit 2005 fanden mehrere Forschungsvorhaben statt, die in verschiedenen sächsischen TWTS-EZG die Entwicklung der DOC-Konzentrationen sowie die möglichen Gründe für die Beobachtungen herausgearbeitet haben. Dabei lag der Fokus zunächst stärker auf lokalen Prozessen, wie der Abnahme des sauren Regens und den damit einhergehenden Veränderungen der N- und S- Depositionen auf dem Erzgebirgskamm, ebenso wie die zunehmenden Vorhaben zur Vernässung der ehemals von Entwässerungsgräben durchzogener Torfböden.

In einer Studie von 2004 betrachtete Grunewald verschiedene Fließgewässer im und nahe des EZG der TS Muldenberg sowie ein Gewässer an der TS Carlsfeld (GRUNEWALD et al. 2004). Die Studie konnte eindeutig herausarbeiten, dass hohe Torfmächtigkeiten einen stärkeren DOC-Anstieg bedingen und dass ein hoher Zersetzungsgrad des Torfs zu höheren DOC-Konzentrationen im Moorwasser führt. Hier wurde die Vermutung geäußert, dass Torfböden, die durch Grabenberäumung trocken gehalten werden, geringere DOC-Austräge zeigen

als solche, deren Gräben nicht gepflegt werden und dadurch langsam zuwachsen. Die unterschiedlichen Eigenschaften der betrachteten Torfböden (Mächtigkeit, Zersetzungsgrad etc.) sowie fehlende Wasserstandsmessungen lassen sichere Aussagen dazu jedoch nicht zu.

Vergleichende Untersuchungen an den TS Flaje, Rauschenbach, Muldenberg und Carlsfeld mit gekoppelten Laborversuchen konnten das Mobilisierungspotential von DOC aus verschiedenen Quellen herausarbeiten (GRUNEWALD und SCHMIDT 2005). Am höchsten ist das DOC-Freisetzungspotential bei organischen Auflagen, frischer Streu und degradierten Nassstandorten. Zudem korreliert der Anteil organischer Nassstandorte im EZG positiv mit der DOC-Konzentration in den Gewässern. Einzugsgebiete mit einem hohen Anteil solcher Standorte zeigen stärkere DOC-Anstiege als andere EZG mit geringerem Anteil an organischen Nassstandorten.

Mit Abnahme der atmosphärischen Stoffdeposition, v.a. des Schwefeldioxids, stieg das N/S-Verhältnis im Boden an und führte insbesondere bei Überschreiten des N/S-Verhältnisses von 1 zu starken DOC-Anstiegen. Ebenso verringerte sich die Versauerung der Böden und mit steigenden pH-Werten erhöhte sich einerseits die mikrobielle Aktivität und damit das Potential zur DOC-Bildung und andererseits die Mobilität von DOC in organischen Böden. Die Studie zeigte, dass insbesondere degradierte Torfböden auf diese Änderungen sehr empfindlich reagieren.

Auch in folgenden Veröffentlichungen standen Teil-Einzugsgebiete der TS Carlsfeld im Fokus (GRUNEWALD et al. 2011). Grundsätzlich zeigten die Beobachtungen, dass höhere Niederschläge zu einer stärkeren Verlagerung von DOC und anderen Ionen (z. B. Fe, Al, P) führen. Der mobilisierbare DOC-Pool wird demnach überwiegend während der Schneeschmelze und bei Sättigungsabfluss in Richtung TS transportiert. Die degradierten Torfböden stellen im Gegensatz zu Mooren mit wachsenden Torfschichten demnach aktuell keine Senke für Kohlenstoff dar, denn das ausgetragene DOC scheint überwiegend aus der Zersetzung von jungem, frisch abgestorbenem Pflanzenmaterial der letzten 1-2 Jahre zu stammen und nicht aus der Zersetzung vorhandener, alter Torfschichten, wie die Untersuchung des DOC-Alters in den Gewässern zeigte.

Beim Vergleich von unterschiedlich bewirtschafteten Torfböden (ebenfalls durch GRUNEWALD et al. 2011) konnte abgeleitet werden, dass Gebiete, die einer natürlichen Regeneration und Grabenverlandung überlassen werden, stark schwankende Wasserspiegel in den Torfböden zeigen und dadurch höhere DOC-Austräge verursachen. Im Gegensatz dazu kann die Beräumung von Entwässerungsgräben zu einer zeitweisen hydrologischen Abkopplung der C-haltigen oberen Bodenschichten führen, was zu niedrigeren DOC-Austrägen führt. Deshalb wurden Maßnahmen zur Grabenberäumung hier als positiv bewertet. Gleichzeitig führt die zunehmende Austrocknung der Torfböden durch fortdauernde Entwässerung zur Oxidation der organischen Substanz und stellt demnach eine potentielle Quelle für DOC-Austräge dar, die bei einer hydrologischen Ankopplung zu besonders starken DOC-Austrägen führen kann.

Die These, dass eine Grabenberäumung zu einer Verringerung des DOC-Austrages führte, wurde durch die LTV im Zeitraum 2007-2016 im Teil-EZG Bach von Südost untersucht und im Rahmen des Grunduntersuchungsprogrammes der Zuflüsse messtechnisch begleitet. Die Auswertung der Daten ließ keine signifikanten Effekte erkennen, sodass vor dem Hintergrund des Aufwandes die Grabenberäumung seit 2017 nicht weiterverfolgt wird. Zudem ist eine aktive Räumung von Gräben oder deren Neuanlage in gesetzlich geschützten Biotopen wie z. B. Mooren nach Naturschutzrecht nicht mehr zulässig und somit auch keine reaktive oder vorbeugende Handlungsoption.

2.2.2 Monitoring Große Säure / Rostmoor, Großer Kranichsee

Im Einzugsgebiet des Hauptzuflusses zur TS Carlsfeld, der Wilzsch, befinden sich zum einen zwei Flächen, in denen aktive Wiedervernässungsmaßnahmen stattgefunden haben (Große Säure: 2007-2011, Rostmoor: 2018), zum anderen das Hochmoor und Naturschutzgebiet Großer Kranichsee, welches einer langsamen Degradation, jedoch

bisher keinen nennenswerten Revitalisierungsmaßnahmen unterliegt. Prozesse innerhalb dieser Gebiete wurden durch mehrere Gutachten ausgewertet (DITTRICH et al. 2013; GEISEN und SEMMLING 2022; KESSLER et al. 2016).

Datenauswertungen vom LfULG zeigten, dass der Abfluss aus dem Hochmoor Großer Kranichsee die höchste Spannweite an DOC-Konzentrationen aufweist, das Wasser aus dem Kranichseegebiet die DOC-Konzentration der Wilzsch jedoch zumeist verdünnt. Bereits bei einer Datenauswertung 5 Jahre nach Beginn der Revitalisierung der Großen Säure (2008) wurde festgestellt, dass die Daten keinen Hinweis auf mögliche Änderungen der Fließgewässerchemie aufgrund der Maßnahmen zeigen. Die Trends aus dem Abfluss des maßnahmenfreien Gebiets mit denen aus dem Maßnahmengebiet waren vergleichbar. Insgesamt steigen in beiden Fällen insbesondere die Spitzenkonzentrationen in den Abflüssen an (DITTRICH et al. 2013). Die Autoren schlussfolgern, dass bei - im Vergleich zum Gesamt-EZG- kleinen Maßnahmenflächen keine negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität, langfristig sogar eher positive Entwicklungen zu erwarten sind. Dabei ist hervorzuheben, dass die Hauptsteuergrößen der DOC-Freisetzung überregionale Prozesse wie Witterung und abnehmende atmosphärische Säuredepositionen sind.

Auch in den folgenden Auswertungen bestätigte sich die Beobachtung, dass durch den Bau von Grabenstauen keine kurzfristigen Anstiege der DOC-Konzentration erfolgen, auch nicht nach den Maßnahmen im Rostmoor (KESSLER et al. 2016; GEISEN und SEMMLING 2022). Hierbei erfolgten im Vorfeld von Revitalisierungsmaßnahmen intensive Abstimmungen zwischen Forst-, Wasserwirtschafts- und Naturschutzbehörden auf der Grundlage hydrogeologischer Gutachten. In der Folge wurden viele Staue, die großflächige Auswirkungen gehabt hätten, nicht genehmigt und die genehmigten Staue wurden angepasst und nach dem Stand der Technik ausgeführt.

Am von Maßnahmen unbeeinflussten Fließgewässer „Bach von Ost“ ist der steigende DOC-Trend zwischen 2006 und 2021 ebenso messbar wie an dem von den Maßnahmen beeinflussten Gewässer Wilzsch (Anstieg um 3,0 bzw. 3,4 mg/L, GEISEN und SEMMLING 2022).

Des Weiteren wird im Moorwasser einer Regenerationsfläche mit aktivem Torfmooswachstum im Gebiet der Großen Säure ein Rückgang der DOC-Konzentrationen beobachtet, was die Hypothese unterstützt, dass ein dauerhaft hoher Wasserspiegel, wie er durch Revitalisierungsmaßnahmen erreicht werden soll, auch eine Verbesserung der Wasserqualität herbeiführen kann. Nach mehreren außergewöhnlich heißen und trockenen Jahren (2018-2020) konnte zudem herausgestellt werden, dass besonders meteorologische Phasen einen hohen Einfluss auf die DOC-Konzentrationen im Moorwasser und Fließgewässer haben. Danach führen länger anhaltende Trockenperioden mit hoher Temperatur und Evapotranspiration zu sinkenden Moorwasserständen und höherer DOC-Bildung, jedoch ohne Austrag. Bei nachfolgenden Niederschlagsereignissen wird die zuvor umgesetzte organische Substanz verstärkt als DOC im Moorwasser gelöst und (teilweise) in die Fließgewässer transportiert.

3 Weitere, maßgebliche Einflussfaktoren auf den DOC

Seit den 1980er Jahren wird ein Anstieg der DOC-Konzentrationen in Oberflächengewässern Amerikas und Nordeuropas beobachtet (EVANS et al. 2005). Dies zeigt, dass auch der Anstieg in den sächsischen Oberflächengewässern durch überregionale Faktoren angetrieben sein muss. Die wichtigsten globalen Steuergrößen sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

3.1 Abnahme der atmosphärischen Säuredepositionen

Von steigenden DOC-Austrägen sind insbesondere (wenn auch nicht ausschließlich) Regionen betroffen, die vormals durch industrielle Abgase mit hohen atmosphärischen Säuredepositionen geprägt waren (PORCAL et al. 2009). Seit Rückgang dieser N- und/oder S-haltigen Depositionen erholen sich die Böden und die Vegetation von der Versauerung, sodass einerseits Biomasseproduktion und der mikrobielle Abbau (und damit DOC-Bildung) erhöht, andererseits aber auch der DOC-Transport aus den Böden in die Fließgewässer verstärkt werden. Dies wurde und wird als eine der Hauptursachen für steigende DOC-Einträge benannt (WILLIAMSON et al. 2022) und führt zum sogenannten „Re-Browning“ der Gewässer, d. h. zu einer Rückkehr zu einem Zustand wie vor der großen Luftverschmutzungsphase im Zuge der Industrialisierung. STRIFFLER (2015) konnte für vier fichtenbestockte Waldbeobachtungsflächen (Level-II) im Erzgebirge durch seine Zeitreihenanalysen signifikante Zusammenhänge zwischen pH-Werten, Sulfat- und DOC-Konzentrationen in Bodenlösung und Quellwässern belegen. Dieser Effekt sollte sich nach Einstellen des natürlichen Zustandes langsam abschwächen. Aktuell wird das an den sächsischen TS jedoch nicht beobachtet; ggf. ist ein naturnaher Ökosystem- inkl. Bodenzustand noch nicht erreicht. Für die zunehmenden DOC-Konzentrationen sind zudem höchstwahrscheinlich noch weitere Treiber verantwortlich.

3.2 Temperaturanstieg

Bedingt durch den Klimawandel kommt es weltweit zu einem Anstieg der mittleren Jahrestemperatur. Dies ist auch an der TS Carlsfeld zu beobachten (Abbildung 1). Steigende Temperaturen und die Verlängerung der Vegetationsperiode führen zu erhöhter Biomasseproduktion und dadurch zu steigender Streu- und Humusbildung. Auch der Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration erhöht die Biomasseproduktion (NEFF und HOOPER 2002). Zusätzlich wird die mikrobielle Aktivität durch höhere Temperaturen verstärkt, sodass auch der Abbau verstärkt gebildeten organischen Materials zu DOC beschleunigt wird (CHRIST und DAVID 1996). Dadurch steht potentiell mehr DOC zum Transport in Fließgewässer bereit, wenn er nicht durch beispielsweise Sorptionsprozesse in der Bodenmatrix gebunden wird.

Dennoch ist der Temperaturanstieg nicht der einzige Faktor, der zum DOC-Anstieg führt, sondern erklärt einer Modellstudie von WORRALL und BURT (2004) zufolge nur 12 % des beobachteten Anstiegs. Zudem ist die Auswirkung des Temperaturanstiegs abhängig von der mit dem Klimawandel einhergehenden Änderung des Niederschlagsregimes: wird es feuchter, führen wärmere Temperaturen langfristig vermutlich zu erhöhten DOC-Austrägen, insbesondere der DOC-Frachten (siehe 3.3), während abnehmende Niederschläge unter Umständen trotz steigender Temperaturen das Gegenteil bewirken (PORCAL et al. 2009).

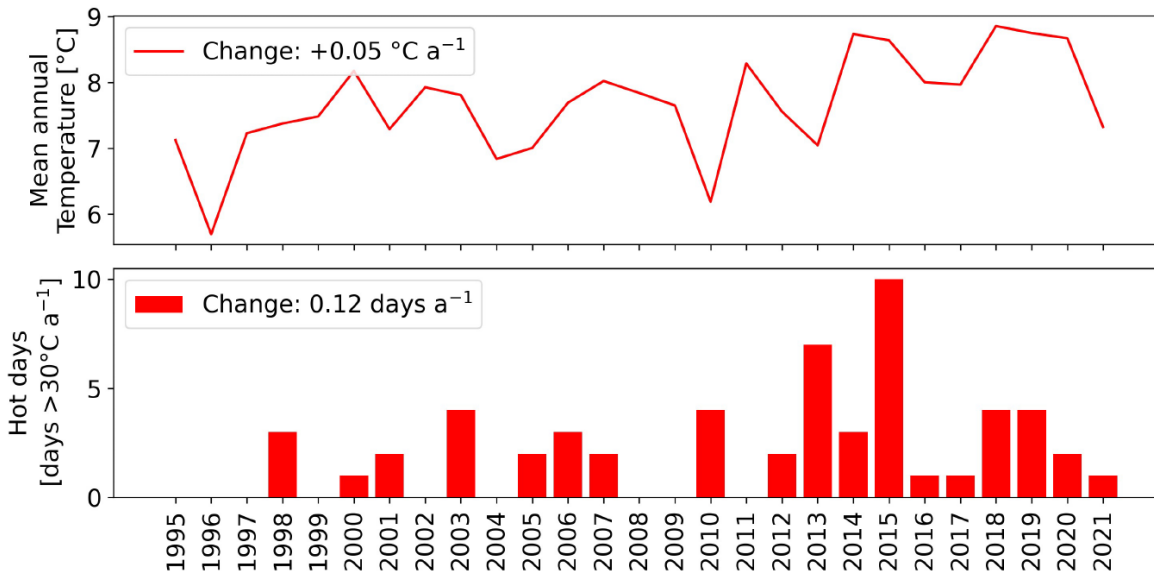


Abbildung 1: Jahresmitteltemperaturen (oben) und Hitzetage (unten) an der DWD-Wetterstation Weitersglashütte, unweit der TS Carlsfeld

3.3 Änderung des Niederschlagsregimes

Die lokalen hydrologischen Eigenschaften eines Gebietes regulieren den Transport von DOC in Fließgewässer und Trinkwasserspeicher (DILLON und MOLOT 1997). Aus diesem Grund ist die Menge und Verteilung von Niederschlägen von entscheidender Bedeutung für den Eintrag von DOC in die Talsperrenzuflüsse. Das Niederschlagsregime wird sich, bedingt durch klimatische Änderungen, auch in den sächsischen TWTS EZG ändern; wie genau, lässt sich aktuell schwer vorhersagen. An der Klimastation Carlsfeld werden seit 1995 leicht abnehmende Niederschlagsmengen beobachtet (Abbildung 2). Während zunehmende Niederschläge zu steigendem Abfluss und damit zu höheren Frachten von DOC führen, kann mit sinkenden Niederschlägen eine Abnahme der DOC-Fracht einhergehen. Andererseits führen extreme Dürreperioden zu einem stärkeren Abbau von Torfen in Moorböden und damit einem Anstieg der DOC-Konzentrationen im Anschluss an die Trockenphase (WORRALL und BURT 2007: 0,45-0,88 t C*km⁻²*a⁻¹). Die außergewöhnlich trockenen Sommer 2018-2020 sowie 2022 im Westerzgebirge stützen diese Beobachtung: nach geringen DOC-Einträgen während der Trockenperiode sind bei anschließenden Niederschlagsereignissen häufig DOC-Spitzenkonzentrationen gemessen worden.

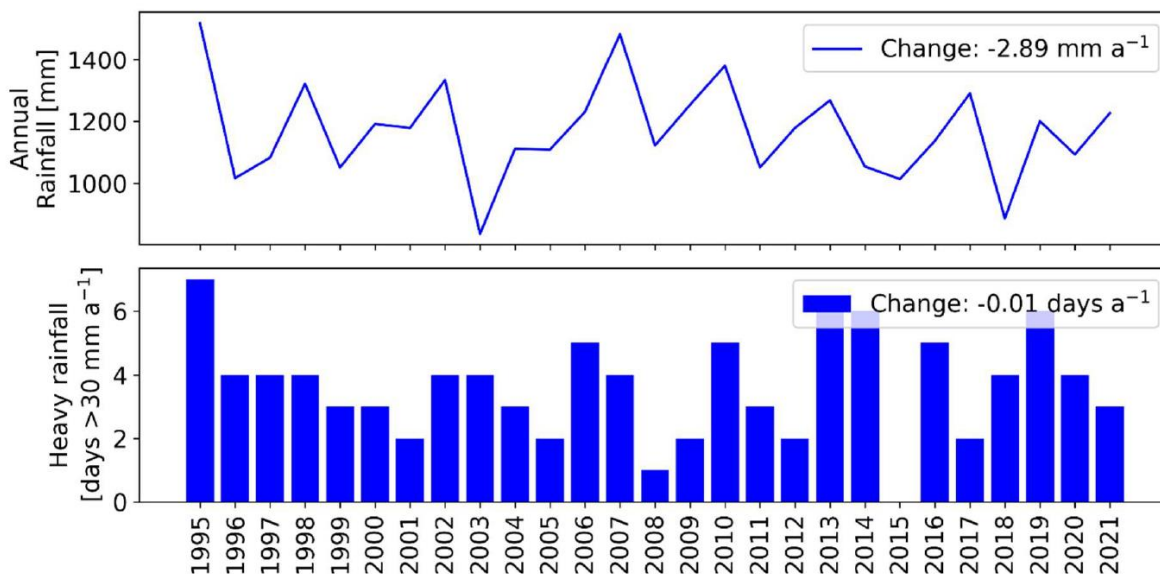


Abbildung 2: Jahresniederschlag (oben) und Tage mit Starkregen > 30 mm (unten) an der DWD-Wetterstation Weitersglashütte, unweit der TS Carlsfeld

3.4 Änderungen der Waldvegetation

Die Veränderung der Standortbedingungen durch den globalen Wandel (Stoffeinträge, Klima) und die Anpassung der Waldbewirtschaftung an die gesellschaftlichen Ansprüche führen ebenfalls zu Änderungen der Waldvegetation. Durch waldbauliche Maßnahmen wird dieser Veränderungsprozess aktiv begleitet. Basierend auf den vorliegenden meteorologischen Messungen der letzten Dekade scheint derzeit der Pfad des Klimaszenarios RCP8.5 realisiert zu werden. Darauf aufbauende datenbasierte Modellierungen von Leitwaldgesellschaften (SCHLUTOW 2022) prognostizieren für die Einzugsgebiete im Westerzgebirge im Zeitraum 2041-2070 nur noch in den Kammlagen fichtendominierte Waldgesellschaften, die dann in Buchengesellschaften und in den mittleren Höhenlagen des Erzgebirges bzw. der Einzugsgebiete in Eichenwaldgesellschaften übergehen.

Im Westerzgebirge wird seit vielen Jahren die Überführung von naturfernen Altersklassenwäldern aus Fichte zu naturnäheren, strukturreichen Mischwäldern mit höherem Anteil an Laubbaumarten und Weißtanne aktiv vorangetrieben.

Dies führt - zusammen mit den bereits genannten Treibern - zum Abbau der Humusaufgabe (z.B. GALKA et al. 2014) und zu biologisch aktiveren Humusformen (ACHILLES et al. 2021). Einerseits ist anzunehmen, dass durch die Abbauprozesse vorübergehend auch ein Teil in DOC überführt wird. Andererseits führen im Vergleich zur Fichte die tiefer führenden Wurzelsysteme der anderen Baumarten zu einer besseren Infiltration in die Bodenmatrix. Damit wird der oberflächennahe Abfluss unter der organischen Auflage, in dem oft ein erhöhter DOC-Gehalt beobachtet wird, reduziert. Das Wasser wird tiefer in die mineralische Bodenmatrix geleitet, wo ein Großteil des DOC unter bestimmten Bedingungen (Podsolierung) an der Festphase gebunden werden kann. Zur Streu von Weißtanne wurde in Laborexperimenten festgestellt, dass diese einen deutlich höheren Anteil von DOC adsorbieren kann als andere Baumarten, besonders deutlich im Vergleich zu Fichte (KUPKA und GRUBA 2022).

Ein plötzliches, flächiges Absterben der Fichtenwälder bzw. des noch vorhandenen Fichtenoberstandes auf großer Fläche könnte mit Verzögerung von ein paar Jahren jedoch zu einer deutlichen Erhöhung der DOC-Konzentrationen in Talsperren führen, während mehrere kleine Schadereignisse kaum zur Veränderung der DOC-Konzentrationen beitragen (SCHMIDT et al. 2022).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass

- Ökosystemare Veränderungen im Zusammenspiel mit den veränderten Stoffeinträgen und den klimatischen Veränderungen in den nächsten Jahren einen weiteren Anstieg der DOC-Konzentrationen im Einzugsgebiet erwarten lässt;
- ein aktiver Waldumbau und die waldbauliche Steuerung ein schlagartiges Absterben der fichtengeprägten Wälder verhindern oder wenigstens dämpfen und damit auch ein überproportional hoher DOC-Anstieg vermieden werden kann.

4 Schlussfolgerungen

Das vorliegende Positionspapier fasst den nationalen wie internationalen Kenntnisstand zum Einfluss von Moorwiedervernässungsmaßnahmen auf DOC-Austräge aus diesen Gebieten zusammen und bezieht weitere, den DOC-Austrag beeinflussende Größen ein. Hierbei kann geschlussfolgert werden, dass der Verbau von Entwässerungsgräben in Moorböden die lokalen DOC-Konzentrationen und -Frachten in unterschiedlichem Maße verändert. Insbesondere im Moorwasser nehmen mit steigendem Wasserspiegel DOC-Konzentrationen ab, in benachbarten Gräben kann je nach Einzugsgebiet mit einem Anstieg, einer Reduktion oder keiner Veränderung der DOC-Konzentration gerechnet werden. Maßnahmen zur Wiedervernässung umfassen jedoch meist nur kleine Flächen. Es gibt jedoch aktuell keine Studien, die einen signifikanten Einfluss der Maßnahmen auf nachfolgende Fließgewässer und Wasserreservoir im EZG nahelegen. Dies bestätigt auch die Auswertung der Monitoringdaten der revitalisierten Mooregebiete „Große Säure“ und „Rostmoor“ (GEISEN und SEMMLING 2022). Stattdessen kann der großflächige Anstieg von DOC-Konzentrationen in Fließgewässern und Wasserreservoir durch überregionale Faktoren gut erklärt werden und auch in den sächsischen Studien zeigt sich, dass Änderungen der Witterungsverhältnisse Einflüsse von fach- und sachgerecht ausgeführten Revitalisierungsmaßnahmen auf die Entwicklung der DOC-Konzentrationen, ob positiv oder negativ, überdecken.

In Sachsen gibt es aktuell nur unzureichend Studien, die die Auswirkungen von Renaturierungsmaßnahmen auf DOC-Konzentrationen und -Frachten belegen. Mehrere Studien verglichen die DOC-Austräge unterschiedlich genutzter Teil-EZG und stellten heraus, dass Bereiche mit hohem Flächenanteil an oftmals degenerierten Torfböden starke DOC-Quellen darstellen. Zudem sind stark schwankende Wasserspiegel nachteilig für die Wasserqualität, weshalb insbesondere Flächen, die einer „natürlichen Regeneration“ unterliegen, insbesondere nach Trockenphasen hohe DOC-Austräge zeigen. Diese Beobachtungen weisen insgesamt darauf hin, dass insbesondere bei langsamer Grabenverlandung Prozesse auftreten, die die DOC-Freisetzung erhöhen. Diese Prozessphasen gilt es demnach zu identifizieren und bei der Umsetzung von Revitalisierungsmaßnahmen zu vermeiden. Vermutlich sollte insbesondere die Übergangsphase zwischen trockengelegtem und wiedervernässtem Moor möglichst kurzgehalten werden, beispielsweise durch aktiven Grabenverbau, der für vollständige, jedoch moderate und an das Tormosswachstum angepasste Vernässung der Fläche sorgt.

Auf aktiv wiedervernässten Flächen wurden bisher nur in einem Gebiet ausreichend Daten gesammelt, um Auswirkungen des Grabenverbaus auf die Wasserqualität in Moor und Fließgewässer gesichert ableiten zu können:

Im Moorgebiet Große Säure konnte kein Effekt der Revitalisierungsmaßnahmen auf die DOC-Konzentration im Porenwasser und den Abflüssen festgestellt werden (weder Erhöhung, noch Verringerung). Schwankungen und steigende DOC-Trends sind auch hier eher mit meteorologischen Veränderungen sowie sinkender Säuredeposition in Verbindung zu bringen. Auch der gefürchtete initiale DOC-Anstieg fand bei dieser Maßnahme nicht statt, was vermutlich auf das schonende Vorgehen und die geringe Flächengröße des Moores zurückzuführen ist.

Vergleicht man Ergebnisse internationaler mit denen sächsischer Publikationen, findet man viele Gemeinsamkeiten; die wesentlichen Aussagen stimmen überein. Steigende Temperaturen und die Erholung des Bodens von der Versauerung durch industrielle Luftverschmutzung führen zu biologisch aktiveren Humusformen (stärkerer Stoffumsatz), steigender Biomasse- und Streuproduktion sowie deren Transformation zu einerseits stabilen Kohlenstoffverbindungen und andererseits Abbau zu CO₂ und DOC. Zeitgleich erhöht die geringere Versauerung und Ionenstärke die Mobilität der organischen Kohlenstoffverbindungen in organischen Böden. Der Transport des DOC hin zum Fließgewässer hängt dann maßgeblich von den hydrologischen Bedingungen (Niederschläge, Fließwege) sowie für die Sorption verfügbaren Mineraloberflächen und Bodentyp ab. Moorböden bzw. degradierte Torfböden sind Standorte, aus denen potentiell viel DOC ausgetragen werden kann. Änderungen ihres hydrologischen Zustandes durch Renaturierungsmaßnahmen führen deshalb lokal zu Änderungen der DOC-Verfügbarkeit und -Mobilität. Auf großer Skala ist jedoch der Einfluss von klimatischen Bedingungen auf diese Böden viel stärker: DOC- Austräge reagieren besonders sensibel auf Änderungen von Temperatur, atmosphärischen Depositionen und insbesondere hydrologischen Bedingungen. Einzugsgebietsweite Auswirkungen der Revitalisierungsmaßnahmen konnten bislang nicht beobachtet werden und sind aufgrund der hier zusammengefassten Kenntnislage auch nicht zu erwarten.

Für die Umsetzung von Maßnahmen in TWTS-EZG lässt sich zusammenfassen, dass bei detaillierter Vorbereitung (hydrologisch wie naturschutzfachlich, durch erfahrene Planer) und vor allem einer technologisch angepassten, sorgfältigen und vollständigen Umsetzung der geplanten Maßnahmen ein initialer erhöhter DOC-Austrag vermieden werden kann. Hierzu muss gewährleistet sein, dass - ggf. schritt- oder teilflächenweise - der optimale Wasserstand rasch erreicht wird, dauerhaft zu halten ist und Wasserspiegelschwankungen so gering wie möglich bleiben.

Etwaige negative oder positive Auswirkungen einer Revitalisierung von Mooren auf den DOC-Gehalt umliegender Fließgewässer werden durch globale, übergeordnete Treiber überdeckt, so dass sie bisher auf größerer Skala (Einzugsgebietsebene) statistisch nicht nachgewiesen werden konnten. Künftige Maßnahmenumsetzungen zur Revitalisierung von Mooren in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren sollten ein umfassendes und langfristig angelegtes hydrochemisches Monitoring integrieren, um die Erkenntnisse absichern und ergänzen zu können.

Literaturverzeichnis

- ACHILLES, Florian; TISCHER, Alexander; BERNHARDT-RÖMERMANN, Markus; HEINZE, Martin; REINHARDT, Frank; MAKESCHIN, Franz; MICHALZIK, Beate (2021): European beech leads to more bioactive humus forms but stronger mineral soil acidification as Norway spruce and Scots pine – Results of a repeated site assessment after 63 and 82 years of forest conversion in Central Germany. In: *Forest Ecology and Management* 483 (12), S. 118769. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118769.
- CHRIST, Martin J.; DAVID, Mark B. (1996): Temperature and Moisture Effects on the Production of Dissolved Organic Carbon in a Spodosol. In: *Soil Biol. Biochem* (28), S. 1191–1199.
- DILLON, P. J.; MOLOT, L. A. (1997): Effect of landscape form on export of dissolved organic carbon, iron, and phosphorus from forested stream catchments. In: *Water Resources Research* (33), S. 2591–2600.
- DITTRICH, Ingo; KESSLER, Karin; KRÜGER, Annett; NEUMEISTER, Hans (2013): Auswirkung des Grabenverbaues zur Hochmoorreitalisierung auf DOC-Konzentrationen im Einzugsgebiet der Talsperre Carlsfeld. In: *TELMA* (43), S. 39–54.
- EVANS, C. D.; MONTEITH, D. T.; COOPER, D. M. (2005): Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: observations, possible causes and environmental impacts. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 137 (1), S. 55–71. DOI: 10.1016/j.envpol.2004.12.031.
- GALKA, Bernard; LABAZ, Beata; BOGACZ, Adam; BOJKO, Oskar; KABALA, Cezary (2014): Conversion of Norway spruce forests will reduce organic carbon pools in the mountain soils of SW Poland. In: *Geoderma* 213 (4), S. 287–295. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.08.029.
- GARMO, Øyvind A.; KASTE, Øyvind; ARLE, Jens; AUSTNES, Kari; WIT, Heleen; FÖLSTER, Jens et al. (2020): Trends and patterns in surface water chemistry in Europe and North America between 1990 and 2016, with particular focus on changes in land use as a confounding factor for recovery. Prepared at the ICP Waters Programme Centre, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, March 2020 (ICP-Waters Report, 142).
- GEISEN, Stefan; SEMMLING, Aaron (2022): Hydrochemische Begutachtung und Datenauswertung des Teilgebietes "Große Säure/Rostmoor" im Einzugsgebiet der Talsperre Carlsfeld. Abschlussbericht.
- GRUNEWALD, Karsten; BÖHM, Anna Katharina; SCHEITHAUER, Jörg (2004): Analyse der Auswirkungen regulierender Eingriffe in den Wasser- und Stoffhaushalt von Moor-Anmoor-Komplexen im Erzgebirge am Beispiel des Einzugsgebietes der Trinkwassertalsperre Carlsfeld. Abschlussbericht.
- GRUNEWALD, Karsten; SCHEITHAUER, Jörg; SUDBRACK, Ralf; HEISER, Anke; FREIER, Karin; ANDREAE, Henning (2011): Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt in Einzugsgebieten mit degradierten Hochmooren im oberen Erzgebirge, Talsperre Carlsfeld. In: *TELMA* (41), S. 171–190.
- GRUNEWALD, Karsten; SCHMIDT, W. (2005): Bilaterale Untersuchungen und modellgestützte Prognosen von Huminstoffeinträgen in Oberflächengewässer aufgrund veränderter Ökosystemzustände und deren Relevanz für die Trinkwasserproduktion.
- KESSLER, Karin; Gerner, ALEXANDER; BRUST, Kristina; DITTRICH, Ingo; WAHREN, Andreas (2016): Hydrochemisches Monitoring im Moorgebiet Große Säure, Einzugsgebiet der Talsperre Carlsfeld Auswertung für den Zeitraum 2006 - 2014. Abschlussbericht.

- KUPKA, Dawid; GRUBA, Piotr (2022): Effect of pH on the sorption of dissolved organic carbon derived from six tree species in forest soils. In: *Ecological Indicators* 140 (1-2), S. 108975. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108975.
- NEFF, Jason C.; HOOPER, David U. (2002): Vegetation and climate controls on potential CO₂, DOC and DON production in northern latitude soils. In: *Global Change Biol* 8 (9), S. 872–884. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2002.00517.x.
- NIEMINEN, Mika; SARKKOLA, Sakari; TOLVANEN, Anne; TERVAHAUTA, Arja; SAARIMAA, Miia; SALLANTAUS, Tapani (2020): Water quality management dilemma: Increased nutrient, carbon, and heavy metal exports from forestry-drained peatlands restored for use as wetland buffer areas. In: *Forest Ecology and Management* 465 (8), S. 118089. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118089.
- PORCAL, Petr; KOPRIVNĀK, Jean-François; MOLOT, Lewis A.; DILLON, Peter J. (2009): Humic substances-part 7: the biogeochemistry of dissolved organic carbon and its interactions with climate change. In: *Environmental science and pollution research international* 16 (6), S. 714–726. DOI: 10.1007/s11356-009-0176-7.
- SCHLUTOW, A. (2022): Ableitung von klimawandelangepassten Leitwaldgesellschaften für die Wälder im Freistaat Sachsen – Anpassung von Klimagliederung und Leitwaldgesellschaften an den Klimawandel. Abschlussbericht Ingenieurbüro Dr. Eckhof/ÖKO-DATA Gesellschaft für Ökosystemanalyse und Umweltdatenmanagement mbH im Auftrag von Staatsbetrieb Sachsenforst (unveröffentlicht)
- SCHMIDT, Susanne I.; HEJZLAR, Josef; KOPÁČEK, Jiří; PAULE-MERCADO, Ma Cristina; PORCAL, Petr; VYSTAVNA, Yuliya; LANTA, Vojtěch (2022): Forest damage and subsequent recovery alter the water composition in mountain lake catchments. In: *The Science of the total environment* 827, S. 154293. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154293.
- STRIFFLER, Timo (2015): Vergleichende Charakterisierung der DOC-Eintrags- und -Austragsdynamiken für vier Fichtenstandorte im Erzgebirge. Masterarbeit.
- WILLIAMSON, Jennifer; EVANS, Chris; SPEARS, Bryan; PICKARD, Amy; CHAPMAN, Pippa J.; FEUCHTMAYR, Heidrun et al. (2022): Understanding the impacts of peatland catchment management on DOM concentration and treatability.
- WORRALL, F.; BURT, T. P. (2007): Flux of dissolved organic carbon from U.K. rivers. In: *Global Biogeochem. Cycles* 21 (1), S. 1289. DOI: 10.1029/2006GB002709.
- WORRALL, Fred; BURT, Tim (2004): Time series analysis of long-term river dissolved organic carbon records. In: *Hydrol. Process.* 18 (5), S. 893–911. DOI: 10.1002/hyp.1321.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E- Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

AutorInnen:

Erstellt von der Unterarbeitsgruppe Moore und DOC
in Abstimmung mit der AG DOC:
Ingo Müller*, Laura Degenkolb, Anna Böhm, Maik Denner; LfULG
Rainer Petzold; SBS
Ralf Sudbrack, Karin Freier, Anke Heiser, Tilo Hegewald, Stephan Schuch; LTV
Holger Dienemann; BfUL
*Korrespondenz für das Autorenkollektiv:
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 3731 294-2810
Telefax: + 49 3731 294-2099
E-Mail: ingo.mueller@smekul.sachsen.de

Redaktion:

Ingo Müller, Annika Möller
Abteilung Wasser, Boden, Kreislaufwirtschaft
Referate Boden, Altlasten sowie Siedlungswasserwirtschaft, Grundwasser
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 3731 294-2810
Telefax: + 49 3731 294-2099
E-Mail: ingo.mueller@smekul.sachsen.de

Foto:

Annika Möller, LfULG

Redaktionsschluss:

24.01.2024

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de