

POSITIONSPAPIER

Zum Problem verstärkter Huminstoffeinträge in Oberflächengewässer (Trinkwassertalsperren) im Erzgebirge

1 Phänomen Anstieg der Huminstoffeinträge

Ein erheblicher Anteil der Bevölkerung Deutschlands und ein noch größerer Anteil der Europäer (ca. 70 %) beziehen gegenwärtig und zukünftig ihr Trinkwasser aus Oberflächengewässern. In Sachsen beträgt der Anteil der Oberflächenwasserversorgung 61 %. Regional gibt es große Unterschiede. Beispielsweise werden im Erzgebirge über zwei Drittel der Bewohner durch Talsperrenwasser versorgt. Die Einzugsgebiete der etwa 20 Trinkwasserspeicher im Erzgebirge, überwiegend in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts angelegt, waren und sind vorrangig forstwirtschaftlich genutzt. Die Qualität der Rohwässer entscheidet über Aufwand und damit Kosten der Wasseraufbereitung.

In den Mittelgebirgsregionen Zentraleuropas ist seit Anfang der 90er Jahre der Trend zu verstärkten Huminstoffeinträgen in die Oberflächengewässer zu verzeichnen. Indikatoren dafür sind die wachsenden Spektralen Absorptionskoeffizienten im UV-Bereich bei 254 nm (SAK_{254}), die Färbung bei 436 nm (SAK_{436}) und die erhöhten Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC). Diese, den Huminstoffanteil des Wassers charakterisierenden Parameter, basieren auf den chemisch-strukturellen Eigenschaften dieser höhermolekularen Komponenten. Der Anstieg der Huminstoff-Konzentrationen betrifft die Talsperrenzuflüsse, aber auch die Speicher, das Roh- und das aufbereitete Wasser. Am Beispiel des SAK_{254} des Wassers der Talsperre Eibenstock im Westerzgebirge (Abb. 1) wird darüber hinaus deutlich, dass selbst bei jahreszeitlich bedingten Rückgängen das Ausgangsniveau von Anfang der 90er Jahre nicht annähernd erreicht wird.

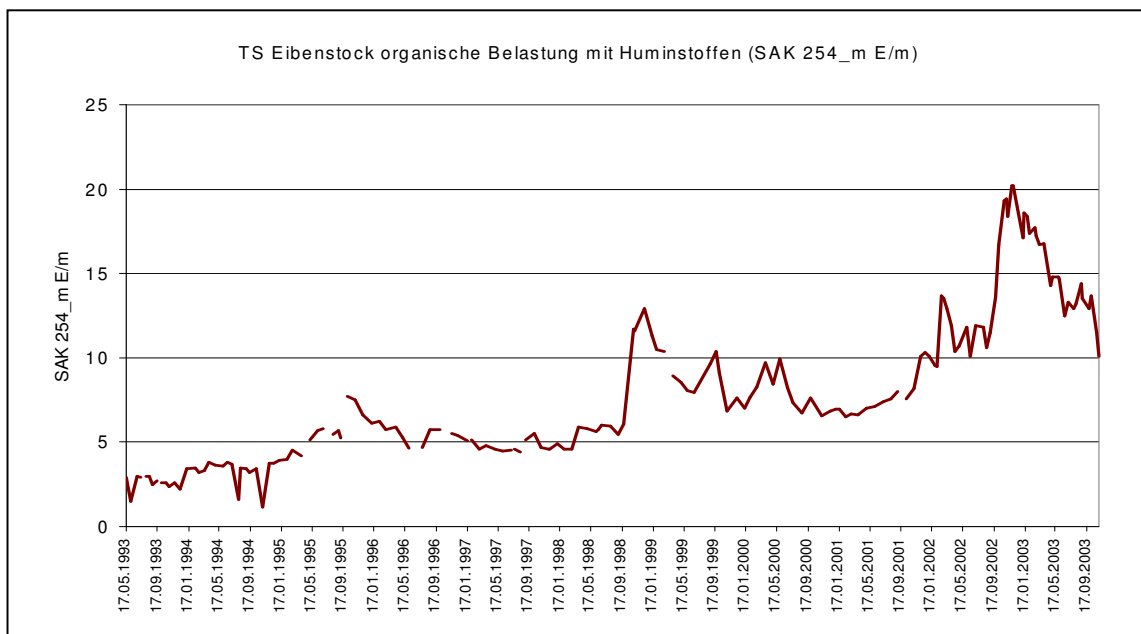


Abb. 1: SAK_{254} -Werte der Jahre 1993-2003 am Beispiel des Rohwassers der Talsperre Eibenstock (Quelle LTV)

2 Bedeutung der Huminstoffe

Zur organischen Substanz der Böden (OBS oder SOM – „Soil Organic Matter“) zählt man alle in und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe und deren organische Umwandlungsprodukte. Streustoffe, v.a. Laub- und Nadelstreu, sind nicht oder nur schwach umgewandelt und enthalten im Wesentlichen die Stoffgruppen Lipide, Proteine, Polysaccharide und Lignine. Im Gegensatz dazu sind Huminstoffe im Boden stark umgewandelte, z.T. hochmolekulare Substanzen, die gegen Mineralisierung stabilisiert sind. Ihre Umsatzrate im Boden ist demzufolge niedrig, die Verweilzeit hoch. Ein Teil der festen organischen Substanz kann mobilisiert werden und tritt im Bodenwasser als gelöste organische Substanz auf.

Zur Beschreibung und Bewertung der im Wasser gelösten organischen Materie haben wir zwei Bezeichnungen gewählt: 1. ein Grundbegriff (NOM) und 2. ein Parameter zur analytischen Erfassung der mit dem Grundbegriff gemeinten Stoffe (DOC). Gegenstand der Arbeiten sind die huminstoffbürtigen natürlichen organische Stoffe, die im Wasser in gelöster Form vorliegen. Diese Stoffe werden unter dem Grundbegriff "Natural Organic Matter - NOM" zusammengefasst. Der nach DIN EN 1484 bestimmte gelöste organische Kohlenstoff im Wasser (DOC) erfasst den Anteil der gelösten NOM im Wasser, die einen Membranfilter mit der Porenweite von 0,45 µm passieren.

Huminstoffe (HS) kommen in Böden und Gewässern ubiquitär vor. In den oberen Lagen des Erzgebirges bildeten sich unter kühlen Temperaturen und relativ hohen Niederschlägen zahlreiche Hochmoore bzw. anmoorige Böden aus. Die sauren Bodenbedingungen, der hohe Nadelwaldanteil sowie geringe Retentionszeiten in den Einzugsgebieten und Gewässern begünstigen naturgemäß hohe NOM-Gehalte in den Oberflächengewässern.

HS beeinflussen alle chemischen und biologischen Prozesse. Lösliche organische Substanzen (DOC) fungieren als Carrier für Schadstoffe. HS spielen eine fundamentale ökologische und hygienische Rolle in Ökosystemen.

3 Hintergrund: global-regionale Wandelprozesse

Für die Tendenz des Anstiegs der NOM in Oberflächengewässern existierten bisher nur hypothetische Erklärungen. Die zur Aufklärung des Phänomens erforderlichen systematischen langjährigen Messreihen waren meistens lückenhaft, weil sie nicht auf dieses Problem zugeschnitten wurden. Sicher ist, dass die Ursachen sehr komplexer Natur sind.

Neben einem globalen/regionalen Temperaturanstieg als ein entscheidender Faktor für verstärkte Huminstoffeinträge müssen die Bedeutung und Sensitivität weiterer Variablen beachtet werden. Dazu gehören insbesondere:

- veränderte Stoffdepositionen (u.a. Abnahme der SO₂-Einträge, Anstieg der NO_x-Einträge);
- Versauerungstendenzen der Böden (z.B. signifikante Absenkung der Boden pH-Werte und der Basensättigung in den letzten 30 Jahren);
- Waldschäden (Aufflichtung, höherer Strahlungsgenuss der Flächen, Vergrasungserscheinungen);
- Waldumbau (u.a. Einbringung von Laubgehölzen);
- Kalkungsmaßnahmen (Anregung der biologischen Aktivität, pH-Anstieg in der Humusauflage);
- Entwässerung/Wiedervernässung der Moor-Anmoor-Komplexe

In den Einzugsgebieten der Talsperren im Erzgebirge vollziehen sich gegenwärtig gravierende Wandelprozesse. Bis Mitte der 80er Jahre, lokal auch bis zum Ende der 80er Jahre, wurde in den zentraleuropäischen Mittelgebirgen ein stetiger Anstieg der Deposition vor allem säurebildender Substanzen beobachtet. Im Erzgebirge nahm das Waldsterben drastische Ausmaße an. Daran waren Störungen der biogeochemischen Abläufe in den Böden gekoppelt. Die Folge war u.a. die stete zusätzliche Versauerung der Waldböden. Dieses Ungleichgewicht führte zwangsweise zu Anpassungsleistungen der Bodenlebewesen und

der bodeninternen Stoffumsatzprozesse – einschließlich der Huminstoffbildungsprozesse. Seit Mitte der 80er Jahre bzw. deren Ende geht diese Stoffdeposition schneller zurück, als sie sich aufgebaut hat. Der Protonenpool, der im Boden gespeichert wurde, wird allerdings nur sehr langsam freigesetzt. Dieser Prozess wird von veränderten Witterungsbedingungen wie höheren Temperaturen und der Zunahme der Bioproduktion überlagert. Der massive Rückgang der Sulfatkonzentration im Oberboden, aber auch Kalkungen führen insbesondere für Sickerwässer zu einem Anstieg der pH-Werte. Darüber hinaus dürfte die Bodenmikrobiologie aufgrund des generellen Temperaturanstiegs und anhaltender N-Einträge angekurbelt werden. Zugleich steigen durch die höheren Metabolismusraten der Bodenlebewesen (v.a. Mikroben) die Bildungsraten für Huminstoffe, die mit dem Sickerwasser ausgetragen werden können.

Im sauren Milieu liegen die Humin- und Fulvinsäuren in der protonierten Form vor. Infolge der dadurch bedingten Abnahme der Polarität der Moleküle verringert sich ihre Löslichkeit in Wasser und damit die Dynamik des Stoffaustausches. Ein Anstieg des pH-Wertes bewirkt eine Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichtes. Infolge der damit einhergehenden Deprotonierung des Säurerestes werden die Wasserlöslichkeit und Mobilität der Moleküle erhöht. Insgesamt muss für die Ökosysteme rezent eine hohe biogeochemische Dynamik konstatiert werden.

4 Folgen für die Trinkwasserproduktion

Hohe NOM-Konzentrationen in Trinkwassertalsperren, angezeigt durch hohe DOC-Werte, können die Qualität des Wassers nachhaltig beeinträchtigen. Zu den wesentlichsten und am häufigsten bemerkten Folgen können gehören:

- Erhöhung der Zehrung der Desinfektionsmittel
- Erhöhung der Desinfektionsnebenproduktbildung
- Störung der Flockungs- und Sedimentationsprozesse
- Verkürzung der Filterlaufzeiten
- Erhöhter Anfall von Aufbereitungsrückständen (Flockungsschlämme)
- Erhöhung des Wiederverkeimungspotentials im Trinkwasserverteilungsnetz
- Beeinträchtigung von Färbung, Geschmack und Geruch des Trinkwassers

Es ist unbestritten, dass die Technik heute in der Lage ist, jedes, d.h. also auch ein stark belastetes Wasser qualitätsgerecht aufzubereiten. Andererseits ist die Wasseraufbereitung ein Prozess, der kostendeckend von den Verbrauchern getragen werden muss. Ein stetiger Anstieg der Belastung eines beträchtlichen Teils der zur Verfügung stehen Rohwasserressourcen belastet nicht nur die Kosten der Wasseraufbereitung, sondern stellt die Wasserwerke vor ein zunehmendes Problem, den im Verlauf der Aufbereitung anfallenden Schlamm zu deponieren bzw. zu entsorgen.

Aus den Daten in Tab. 1 geht beispielhaft hervor, dass die für eine qualitätsgerechte Trinkwasseraufbereitung relevanten Parameter SAK₂₅₄, Farbe (SAK₄₃₆) und DOC in den Zuflüssen jährlich im Mittel um etwa 3 – 9 % sowie im Speicher selbst (Entnahmehorizont des Rohwassers) um 8 – 26 % zunehmen. Der jährliche Anstieg im Rohwasser ist demnach mehr als doppelt so hoch als in den Zuflüssen. Diese Situation ist neu. In der Vergangenheit lagen die absoluten Werte im Rohwasserentnahmehorizont stets deutlich unter dem Niveau der Zuflüsse.

Tab. 1: Mittlere jährliche Anstiege (absolut und relativ, bezogen auf 1994) der organischen Summenparameter SAK₂₅₄, Farbgrad und DOC im Einzugsgebiet und Rohwasser einer ausgewählten Trinkwassertalsperre im Erzgebirge, Sachsen. (Datenbasis: Jahresmediane 1994 – 2003, mindestens 12 Messungen im Jahr)

	Zuflüsse		Rohwasser	
	Anstieg absolut	Anstieg relativ	Anstieg absolut	Anstieg relativ
SAK ₂₅₄	0,47 m ⁻¹	5 %	0,86 m ⁻¹	8 %
Farbgrad	0,07 m ⁻¹	9 %	0,13 m ⁻¹	26 %
DOC	0,12 mg/L	3 %	0,31 mg/L	8 %

Diese Daten können aufgrund ihrer hohen Anzahl und Dichte als repräsentativ angesehen werden. Sie spiegeln am Beispiel lokaler Einzugsgebiete einen globalen Trend wider, der in Deutschland in allen Mittelgebirgsregionen (Erzgebirge, Bayerischer Wald, Schwarzwald, Harz u.a.) und in Europa besonders in Skandinavien, dem Baltikum, den Beneluxstaaten und den Britischen Inseln beobachtet wird. Weiterhin betroffen sind Südafrika, Australien und Kanada.

Aus früheren Arbeiten ist zu entnehmen, dass in der Regel die Trinkwasserspeicher infolge speicherinterner Prozesse stets niedrigere Konzentrationen an Huminstoffen aufwiesen als die Zuflüsse. Jüngste Untersuchungen zeigten, dass in den Speichern während der letzten 10 Jahre die für die Wasserwerke problematischen Huminstofffraktionen überproportional anstiegen.

Die Auswirkungen auf die Trinkwasseraufbereitung werden anhand der Abb. 2 zusammenfassend erläutert.

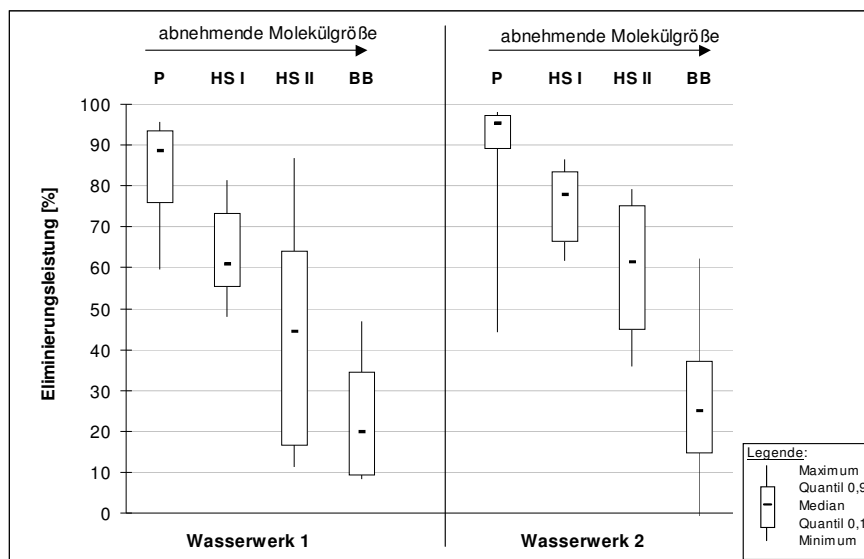


Abb. 2: Statistische Kennwerte der Entfernungsleistung von Fraktionen des DOC in zwei ausgewählten Wasserwerken im Erzgebirge, Sachsen. (Datenbasis: Wasserwerk 1: 01.2002 – 04.2004; n = 24; Wasserwerk 2: 04.2002 – 04.2004, n = 22). Fraktionen: P = Polysaccharide, HS I = hochmolekulare Huminstoffe, HS II = mittelmolekulare Huminstoffe, BB = Building Blocks (Huminstoffhydrolysate)

Die Darstellung zeigt beispielhaft die in zwei modernen, in den 90er Jahren rekonstruierten Wasserwerken erzielten Eliminierungsleistungen organischer Substanzen. Zum Zweck einer qualitativen Klassifizierung des DOC wurde dieser mit Hilfe einer gelchromatographischen Trennung nach der Molekülgröße in verschiedene Fraktionen unterteilt. Die statistische Auswertung der Daten verdeutlicht eine Verringerung der Entfernbarkeit mit abnehmender Molekülgröße. Zudem müssen die Wasserwerke auch bei weitestgehend konstanten verfahrenstechnischen Parametern der Aufbereitung mit einer größeren, nicht kalkulierbaren Streubreite bei der Eliminierung besonders der mittel- und niedermolekularen organischen Wasserinhaltsstoffe rechnen. Dies beeinflusst die Sicherheit der Trinkwasseraufbereitung deutlich negativ, da mit einer Erhöhung des Gehaltes an Huminstoffen im Reinwasser die Gefahr der Entstehung gesundheitsschädlicher Desinfektionsnebenprodukte wie z.B. der Trihalogenmethane wächst.

5 Bilaterales Forschungsprojekt (2001-2005)

Zur wissenschaftlichen Erkundung des Phänomens der NOM-Anstiege im Erzgebirge wurde das Forschungsprojekt „Bilaterale Untersuchungen und modellgestützte Prognosen von Huminstoffeinträgen in Oberflächengewässer aufgrund veränderter Ökosystemzustände in Mittelgebirgen und deren Relevanz für die Trinkwasserproduktion“ installiert (BMBF-Förderkennzeichen 02WT0172). Hauptziele waren die

Erarbeitung mittelfristiger Prognosen für die Roh- und Trinkwasserbeschaffenheit unter dem Aspekt verstärkter NOM-Einträge in Oberflächengewässer sowie die Aufstellung eines Maßnahmenkatalogs für Einzugsgebiete, Speicher und die Trinkwasseraufbereitung.

Das Teilprojekt I „Erfassung und Relevanz der Huminstoffeinträge für die Trinkwasserproduktion“ wurde federführend vom Technologiezentrum Wasser (TZW) bearbeitet, das Teilprojekt II „Huminstoffeintragsmodellierung“ durch die TU Dresden, Inst. für Geographie (TUD). Die Landestalsperrenverwaltung Sachsen (LTV), die Gemeinschaft der Trinkwassertalsperren Deutschlands (ATT) sowie die Wasserversorgungsunternehmen aus Chemnitz (Südsachsen Wasser GmbH), Dresden (Stadtwerke Dresden GmbH) und dem mitteldeutschen Raum (Talsperrenbetrieb des Landes Sachsen Anhalt und Fernwasserversorgung Elbaue Ostharz) unterstützten das Forschungsvorhaben. Die tschechischen Partner VUV (Wasserforschungszentrum) Prag und TU Prag, Institut für Siedlungswasserbau (TUP), waren den Teilprojekten I bzw. II als Unterauftragnehmer zugeordnet. Mittels der deutsch-tschechischen Kooperation war nicht nur ein Know-how Transfer, sondern auch die vergleichende Bearbeitung von Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen gegeben.

6 Vorgehen, Methodik

Als Untersuchungsobjekte dienten Einzugsgebiete von Trinkwassertalsperren, die aufgrund ihrer geoökologischen Ausstattung in unterschiedlicher Intensität von steigenden NOM-Gehalten betroffen sind. Um die Situation und Dynamik von den Ursachen bis zu den Auswirkungen ganzheitlich beurteilen zu können, wurden die technischen Systeme der Wasseraufbereitung mit in die Betrachtung einbezogen. Zusammenfassend ist die Herangehensweise in Abb. 3 schematisiert.

I. Beschreibung der Systeme	<ol style="list-style-type: none"> 1. NOM in Einzugsgebieten (Quellen, Pfade, Faktoren, Fraktionen) 2. NOM in Speichern (Konzentrationen, Zusammensetzung, Verteilung) 3. NOM in Wasserwerken (Konzentrationen, Zusammensetzung, Varianz)
II. Beschreibung der Einflussgrößen	<p>Experimente: Einflussgrößen auf NOM in den Teilsystemen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quellen (Streu, Boden, Torf, Sedimente) 2. Abbauprozesse (biologisch, photolytisch) 3. Umwandlungsprozesse (Desinfektion, THM-Bildungspotenzial)
III. Auswertung/- Interpretation	<p>Einzugsgebiete</p> <ul style="list-style-type: none"> – Huminstoffeintrag bestimmende Faktoren – Ursachen des Anstiegs des Huminstoffeintrags – Modellierung und Szenarioberechnungen <p>Speicher</p> <ul style="list-style-type: none"> – Erklärung der zeitlich-räumlichen Verteilung der NOM <p>Wasserwerk</p> <ul style="list-style-type: none"> – Berechnung der Eliminierungsleistung für die Fraktionen – Auswirkung der Desinfektion – Szenarien der Rohwasserentwicklung
IV. Ableitung von Handlungsempfehlungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bewirtschaftungsstrategien für Einzugsgebiete 2. Speicherbewirtschaftung 3. Roh-/Trinkwasseraufbereitung

Abb. 3: Bearbeitungsschema „Huminstoff-Projekt“

7 Ergebnisse

7.1 Huminstoffeintrag bestimmende Faktoren und Ursachen für den Anstieg

Durch vergleichende Ökosystemanalysen (Felduntersuchungen, Laborexperimente, Analogieschlüsse und Literaturoberprüfung) konnte der Wirkungskomplex der Huminstoffeintrag bestimmenden Faktoren für die Einzugsgebiete im Erzgebirge näher beleuchtet werden.

Die verantwortlichen Faktoren und Prozesse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Gebirgsmoore, Moor-, Anmoorstaugleye und Humusaufgaben sind die Hauptlieferanten von verlagerbaren Huminstoffen. Intensität und Dynamik des Huminstofftransfers hängen vom Flächenanteil der Nassstandorte und der Vegetationsbedeckung im Einzugsgebiet ab (1: hoher Mooranteil = hohe NOM-Austräge; 2: hoher Mooranteil + geringe Bedeckung mit Wald = große Schwankungsbreite im Austrag). Je nach Baumart entsteht Streu mit unterschiedlicher NOM-Mobilisierbarkeit und -Zusammensetzung. Die Gebirgsmoore und Moorstaugleye werden seit Jahrzehnten (bzw. Jahrhunderten) über Gräben entwässert und sind meist forstwirtschaftlich genutzt. Die langjährigen Eingriffe haben einerseits die Wasserressourcen in den Torfen zugänglich gemacht, andererseits zur irreversiblen Degradation der Torfe geführt (Zersetzung, Abbau). Die Torfzersetzung ist neben den hydrologischen Bedingungen von der Temperatur und der mikrobiellen Aktivität abhängig (Phenoxidation, Enzyme). Aus den stark zersetzten Torfschichten sind generell große Mengen an DOC und Huminstoffen mobilisierbar. Die Umweltbedingungen beeinflussen den Huminstoffaustrag aus den Torfen unmittelbar (ereignisbezogen) sowie zeitlich verzögert (Hysterese). Die Auswirkungen von exogenen Veränderungen auf die Torfe überlagern sich. Bei Starkregen und während der Schneeschmelze werden große Mengen an Huminstoffen ausgewaschen. In sommerlichen Dürreperioden fallen die Moorwasserstände auf ein niedriges Niveau. Sind in den Folgejahren die Wasserspiegel wieder nahe der Mooroberfläche, kommt es zu verstärkten Huminstoffausträgen. Steigen die Wasserspiegel in degradierten Mooren aufgrund des Zuwachsens bzw. Verfalls der Entwässerungsgräben wieder an, steigt auch die Huminstoffkonzentration im Moor- und Grabenwasser. Niedrige pH-Werte und hohe Schwefelionenkonzentrationen in Niederschlag und Bodenwasser unterdrücken die Desorption von (niedermolekularen) Huminstoffen. Kehren sich die Milieubedingungen um, ist mit verstärkter Mobilisierung zu rechnen. Gelangt Stickstoff über den Niederschlag in die Moore, kommt es zu deren Eutrophierung und verstärkten mikrobiellen Umsätzen. Ferner nimmt mit steigenden CO₂-Konzentrationen in der Luft die Primärproduktion zu. Beide Prozesse können zu erhöhten NOM-Austrägen führen.

Die Ursachen für verstärkte Huminstoffeinträge in die Oberflächengewässer im Erzgebirge lauten somit (zum aktuellen Kenntnisstand):

In den letzten 15 - 20 Jahren sind gravierende Umweltveränderungen zu beobachten: Rückgang der Sulfat-Schwefel-Einträge (von Mitte bis Ende der 90er Jahre auf ¼), Anstieg des Niederschlags-pH (über 1 Einheit), Zunahme der Bedeutung der Stickstoffdeposition. Klima und Witterung sind gegenwärtig und laut Prognosen auch zukünftig Veränderungen ausgesetzt: Zunahme von langen Trockenphasen (siehe Sommer 2003), mildere Winter, Temperaturanstieg, Verlängerung der Vegetationsperiode, häufigere Extremereignisse (siehe Starkregen 2002). Zudem unterlag die (meist forstliche) Landnutzung einem Wandel: Extensivierung der Bewirtschaftung von Nassstandorten (Grabenverfall), Waldsterben und Wiederaufforstung (zwischenzeitlich keine Waldbedeckung). Die organische Substanz der Torfe selbst war veränderten moorinternen Prozessen ausgesetzt: veränderter Ionenfluss (und somit -austausch), Austrocknung und Wiederbefeuchtung (Zersetzung und unspezifische Stoffspeicherung), Schrumpfung und Quellung (Hydraulik).

7.2 Eintrag und Verteilung von NOM in Talsperren

Die Verteilung des gelösten organischen Kohlenstoffes in einer Talsperre ist eng mit den temperaturbedingten Schichtungsverhältnissen des Wasserkörpers verbunden. In den untersuchten Talsperren wurden in den Monaten der Zirkulation im Tiefenprofil in allen Schichten gleiche NOM-Konzentrationen gemessen.

Während der Stagnationsphasen wird das NOM-Verteilungsmuster im Wesentlichen von drei Faktoren beeinflusst:

- 1) vom Eintrag organischer Substanzen über den Zufluss
- 2) von biologisch und photolytisch bedingten Umwandlungs- und Abbauprozessen
- 3) von der Rücklösung organischer Materie aus dem Sediment

(1) Die Wasserqualität der Zuflüsse mit organischem Kohlenstoff aus dem Einzugsgebiet spielt eine Schlüsselrolle für die Qualität des Talsperrenwassers. Der Huminstoffgehalt der Zuflüsse lag in den meisten Fällen über dem der jeweiligen Talsperre. Bei Betrachtung der langjährigen Tendenzen wird jedoch deutlich, dass die Unterschiede immer geringer wurden. Somit liegt der tendenzielle Anstieg im Speicher über dem der Zuflüsse.

Im Sommer bildete sich bei den betrachteten Talsperren mit dem Aufbau der stabilen Temperaturschichtung im unteren Hypolimnion ein Horizont erhöhter DOC-Konzentrationen aus. In diesen Schichten dominierten die hoch- und mittelmolekularen Huminstoffe. Zu Zeiten der Bodengefrorenis wurden in den Zuflüssen deutlich erniedrigte NOM-Konzentrationen gemessen. Diese Wässer schichteten sich unmittelbar unter der Oberfläche ein, so dass sich dort eine Schicht geringer NOM-Konzentrationen ausbildete.

(2) Im Wasserkörper unterliegt der organische Kohlenstoff Ab- und Umbauprozessen, die vor allem durch UV-Strahlung und biologischen Abbau initiiert werden. Die mit Beginn der Sommerstagnation eintretende Schichtung der Huminstoffe ist durch einen Konzentrationsgradienten von der Oberfläche bis zum Grund gekennzeichnet, für den in erster Linie der Abbau hochmolekularer Huminstoffe zu Building Blocks und niedermolekularen Säuren bis hin zur vollständigen Mineralisierung durch UV-Bestrahlung verantwortlich ist. Eine Bestätigung dieser Aussage gibt die Verteilung der Building Blocks, die in den Sommermonaten im Bereich des Epilimnions erhöhte Konzentrationen aufwiesen.

Neben dem Abbau durch UV-Strahlung unterliegt der organische Kohlenstoff dem biologischen Abbau. Ergebnisse von Laborversuchen belegten, dass der biologische Abbau der Fraktionen der Huminstoffe mit 5-9 % jedoch vergleichsweise klein ist. Die für diesen Abbau betroffenen Fraktionen sind überwiegend die der zumeist algenbürtigen Polysaccharide, aus denen wiederum niedermolekulare Säuren entstehen. Diese unterliegen weiterhin einem biologischen Abbau.

Durch den Einfluss der UV-Strahlung ist im Epilimnion ein ständiger Nachschub an leicht abbaubaren organischen Materialien wie niedermolekularen Säuren vorhanden. Folglich sind der photolytische und der biologische Abbau der Huminstoffe für die während der Sommermonate im Epilimnion erniedrigten DOC-Werte mit vergleichsweise geringeren durchschnittlichen Molekülgrößen verantwortlich.

(3) Im gesamten Jahresverlauf fungiert das Talsperrensediment sowohl als Senke als auch als Quelle für organischen Kohlenstoff. In Extraktionsversuchen konnte gezeigt werden, dass pro Gramm Sediment bis zu 0,6 mg DOC freigesetzt werden können, wobei dieser DOC einen Huminstoffanteil zwischen 30 % und 70 % aufweisen kann. Allerdings ist die Sedimentation hochmolekularer bzw. komplexierter organischer Materie insgesamt größer als die Rücklösung, was aus dem jährlichen Sedimentzuwachs in den Talsperren zu schließen ist. Damit spielt das Sediment als Quelle von Huminstoffen im Speicher eine untergeordnete Rolle.

Bei der Analyse der für die Verteilung des DOC und dessen Fraktionen in der Talsperre verantwortlichen Quellen und Prozesse wurde deutlich, dass diese einer Dynamik unterliegen, was sich in einer deutlich veränderten Differenz zwischen dem organischen Kohlenstoffgehalt der Zuflüsse und dem des Speichers widerspiegelt. Die Auswertung langjähriger Datenreihen zeigte, dass die anfangs großen DOC-Unterschiede

zwischen den Zuflüssen und dem Speicher ($\text{DOC}_{\text{Zufluss}} > \text{DOC}_{\text{Speicher}}$) im Laufe der Jahre immer geringer wurden. Die Ursachen für diese Entwicklung konnten bisher noch nicht vollständig geklärt werden. Ungeachtet dessen zeugt diese Entwicklung von einer sukzessive Verringerung des Selbstreinigungsvermögens der Talsperren in Bezug auf die organischen Wasserinhaltsstoffe.

7.3 Relevanz steigender Huminstoffgehalte für die Trinkwasserproduktion

Mit Hilfe der zwischen 2002 und 2004 parallel zu den Standardverfahren durchgeführten gelchromatographischen Fraktionierung konnten Beziehungen zwischen den Parametern aufgedeckt werden, die es zulassen, die Entwicklung der Konzentration der Huminstofffraktionen anhand der durch die Wasserwerke routinemäßig bestimmten SAK- und DOC-Werte nachzuvollziehen. Die Auswertung dieser berechneten Datenreihen zeigten, dass bei Annahme eines linearen Trends die Konzentration an hochmolekularen Huminstoffen (Fraktion I) mit $0,11 \text{ mg/L} \cdot \text{a}$ (TS-1) bzw. $0,3 \text{ mg/L} \cdot \text{a}$ (TS-2) deutlich schneller ansteigt als die der mittelmolekularen, die beim derzeitigen, linear angenommenen Trend jährlich um $0,05 \text{ mg/L}$ (TS-1) und um $0,12 \text{ mg/L}$ (TS-2) zunimmt. Die Fortsetzung dieses Trends würde eine Verstärkung der Dominanz der hochmolekularen Huminstoffe im Wasserkörper der Talsperren zur Folge haben.

Die Möglichkeit, hohen Huminstoffkonzentrationen in der Talsperre durch einen Wechsel des Entnahmehorizontes auszuweichen, sind begrenzt, da sowohl die Reichweite des Entnahmerohres als auch sich gegenseitig ausschließende Qualitätsparameter innerhalb des Speichers Grenzen setzen. In den Sommermonaten könnte theoretisch eine Verbesserung der Rohwasserqualität bezüglich hochmolekularer Huminstoffe durch einen Wechsel des Entnahmehorizontes erzielt werden. Allerdings würde sich die Rohwasserqualität durch diese Verbesserung der organischen Belastung gleichzeitig bezüglich anderer, noch vorrangig zu beachtender Parameter, wie vor allem Temperatur und Trübung, verschlechtern. In den Wintermonaten ist die Schichtung der Huminstoffe nicht so stark ausgeprägt. Niedrige Konzentrationen sind vor allem direkt unter der Oberfläche (Eisschicht) zu erwarten, die aus technischen Gründen als Rohwasserentnahmehorizonte nicht in Frage kommen. Insgesamt ist festzustellen, dass die Möglichkeiten, die Rohwasserqualität durch die Wahl des Entnahmehorizonts zu verbessern bzw. zu steuern, weitestgehend im Rahmen der technischen Möglichkeiten bereits realisiert werden.

In den Wasserwerken ist die Eliminierungsleistung von verschiedenen Ausgangs- und verfahrenstechnischen Faktoren abhängig. Die Gegenüberstellung der Rohwasserkonzentration, der Flockungsmitteldosis und der Eliminierungsleistung macht deutlich, dass sich letztere sowohl mit steigender DOC-Konzentration im Rohwasser und gleichbleibender Flockungsmittelkonzentration als auch mit steigender Flockungsmitteldosis bei gleichbleibender DOC-Konzentration im Rohwasser erhöht.

Bezüglich der Fraktionen konnten die höchsten und konstantesten Eliminierungsleistungen trotz schwankender Rohwasserqualität und wechselnden Aufbereitungsbedingungen im Fall der höhermolekularen Fraktionen erzielt werden. Mit der Abnahme der Molekülgröße sank die Eliminierungsleistung (HS I: 64% bzw. 77% ; HS II: 42% bzw. 59% ; BB: 21% bzw. 25%) bei gleichzeitigem Anstieg der Schwankungsbreite der erzielten Effizienz. Die am schlechtesten eliminierbare Fraktion war die der niedermolekularen Building Blocks.

Die eindeutigste Abhängigkeit der Eliminierbarkeit von der Flockungsmittelkonzentration und der Ausgangskonzentration im Rohwasser konnte im Fall der hochmolekularen Huminstoffe (vgl. Abb. 4) und bedingt der mittelmolekularen Huminstoffe nachgewiesen werden. Bei den Building Blocks war insbesondere im WW I keine Regelmäßigkeit erkennbar (vgl. Abb. 5).

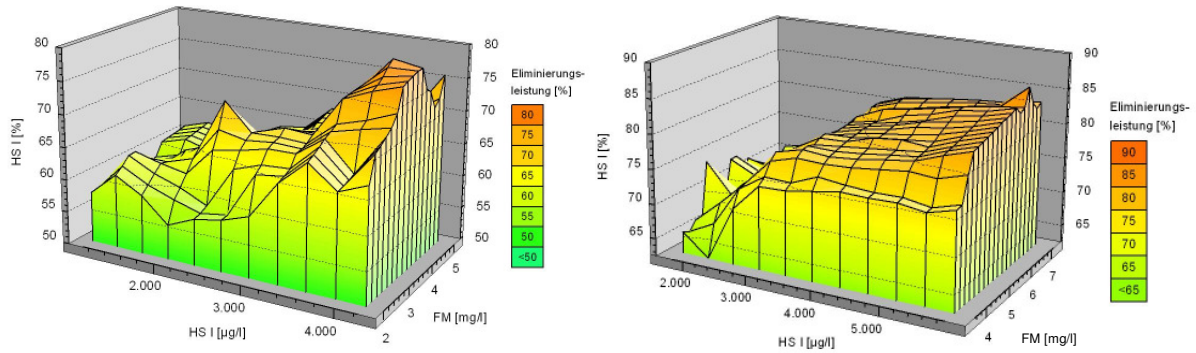


Abb. 4: Abhängigkeit der Eliminierungsleistung bezüglich der **hochmolekularen Huminstoffe** von der Konzentration im Rohwasser und der Flockungsmitteldosierung im Wasserwerk I (links) und II (rechts).

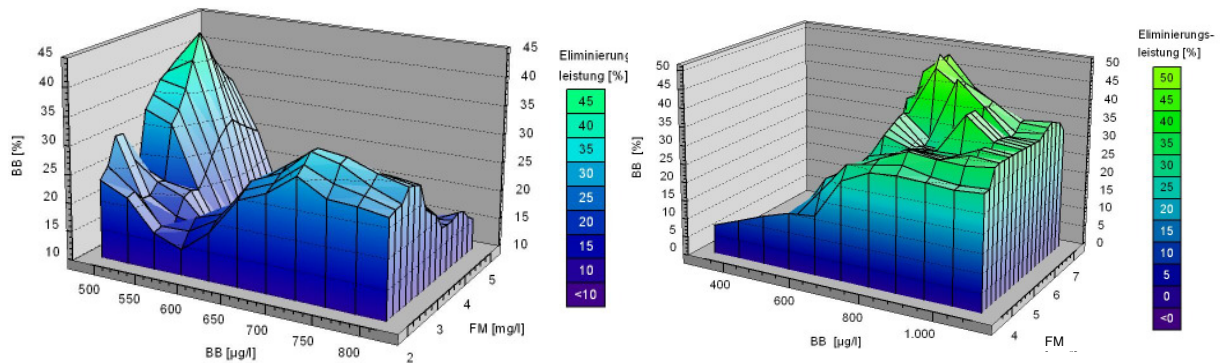


Abb. 5: Abhängigkeit der Eliminierungsleistung bezüglich der **Building Blocks** von der Konzentration im Rohwasser und der Flockungsmitteldosierung im Wasserwerk I (links) und II (rechts).

Im Fall der hochmolekularen Huminstofffraktion HS I besteht eine vergleichsweise gute Abhängigkeit zwischen dem Wirkungsgrad der Entfernung dieser Stoffe und dem SAK/OC-Verhältnis. Dies bedeutet, dass bei der höhermolekularen Fraktion mit zunehmender Aromatizität höhere Eliminierungsleistungen zu erwarten sind. Bei den Fraktionen HS II und BB konnte diese Abhängigkeit nicht gefunden werden.

Die Fraktion der hochmolekularen Huminstoffe konnte als diejenige identifiziert werden, die den höchsten Beitrag zur Färbung des Wassers leistet. Der Beitrag der Huminstofffraktion II und der Building Blocks zur Färbung ist demgegenüber gering. Eine niedrige Eliminierungsleistung beider Fraktionen birgt somit kein Risiko für eine Verfärbung des Wassers.

Die Entfernung der biologisch abbaubaren Anteile des DOC im Wasseraufbereitungsprozess ist maßgeblich für die Sicherung der mikrobiellen Stabilität im Verteilungsnetz verantwortlich. Die Auswertung der Messdaten zeigte, dass die Entfernung des BDOC im Prozess der Trinkwasseraufbereitung zeitlichen Schwankungen unterlag. Die Effizienz der BDOC-Entfernung lag im WW I im Mittel mit 67 % niedriger als im WW II (77 %). Insgesamt zeigten die Messreihen, dass die Entfernung des BDOC bei hohen Ausgangskonzentrationen effektiver betrieben werden kann.

Der AOC lag im Rohwasser des Wasserwerkes I bei 29 ac-C eq/L, im Wasserwerk II bei 44 ac-C eq/L. Durch den Aufbereitungsprozess wurde er um 17 % bzw. 43 % verringert. Eine weitere Reduktion (um 63 bzw. 36 %) wurde durch die Desinfektion erzielt.

8 Modellierung / Prognose

8.1 Huminstoffeintragsmodell

Der entwickelte Modellansatz betrachtet das Einzugsgebiet (zur Zeit) als kleinste Flächeneinheit mit einem quantifizierbaren Vorrat an im Boden und in den Auflagen verfügbarem Kohlenstoff. Im innerjährlichen Verlauf wird je nach Witterungsbedingungen (temperaturgesteuert) ein Anteil des verfügbaren C-Pools mikrobiologisch mobilisiert und zwischengespeichert. Der Bereitstellungsprozess basiert auf der Vorstellung, dass die mikrobiologische Aktivität mit der Temperatur (T) exponentiell zunimmt. Beschrieben wird die DOC-Produktion in der Fläche durch die Berechnung der Produktionsrate ($p(T)$) von potenziell mobilem DOC nach einem Ansatz von KIRSCHBAUM (2000) (Abb. 6).

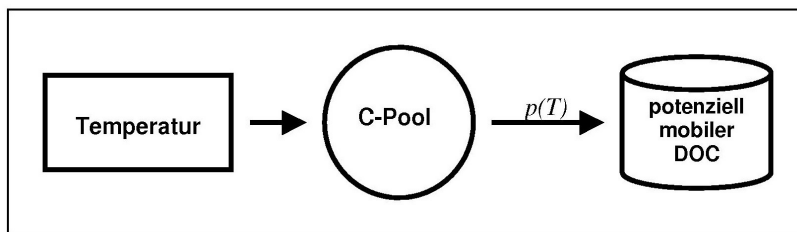


Abb. 6: Produktion von potenziell mobilem DOC im Einzugsgebiet

Der Austrag des potenziell mobilen organischen Kohlenstoffs ist abhängig von den Speichereigenschaften des Einzugsgebietes (abstrakte Indizierung von Sorptions- und Desorptionsbedingungen) sowie der zum Stofftransfer verfügbaren Menge an Wasser. Im Modell wird dies durch einen Speicheransatz in Abhängigkeit von der Zeit (t) und einer jeweils spezifischen Speicherkonstante (K) mathematisch erfasst (Abb. 7).

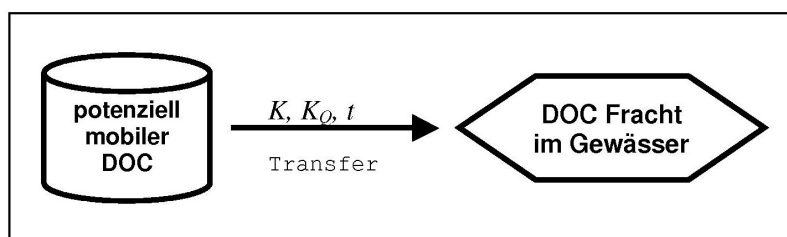


Abb. 7: Transfer ins Gewässer

Als Indikator für die zum Transfer zur Verfügung stehende Wassermenge ist ein Faktor (K_Q) eingeführt worden, der den Einfluss des Transportmediums Wasser auf den Austrag steuert. Der Austrag von potenziell verfügbarem, mobilisiertem organischen Kohlenstoff unterliegt einer zeitlichen Verzögerung. Im Rauschenbacheinzugsgebiet beispielsweise ergab sich die beste Anpassung von Modell- und Messwerten für den Zeitraum von 1994 bis 2003 bei einer Zeitdifferenz von 55 Tagen. Die mittlere Höhe der Frachten ist stark von der Größe des C-Pools im Einzugsgebiet abhängig, wobei die Torfe den größten Anteil stellen.

Für das Rauschenbachgebiet wurden mit dem beschriebenen Modellansatz die DOC-Frachten im Gewässer von 1994 bis 2003 berechnet, wobei eine Modellgüte für monatliche Zeitschritte von $R^2 = 0,7$ für den

Gesamtzeitraum erreicht wurde. In den einzelnen betrachteten Jahren variiert die Modellgüte je nach den klimatischen Bedingungen von $R^2 = 0,32$ (1997) bis $R^2 = 0,99$ (2001). Es hat sich gezeigt, dass die Frachten im Allgemeinen vom Modell unterschätzt werden. Besonders die Tauperioden werden noch nicht adäquat erfasst (Abb. 8).

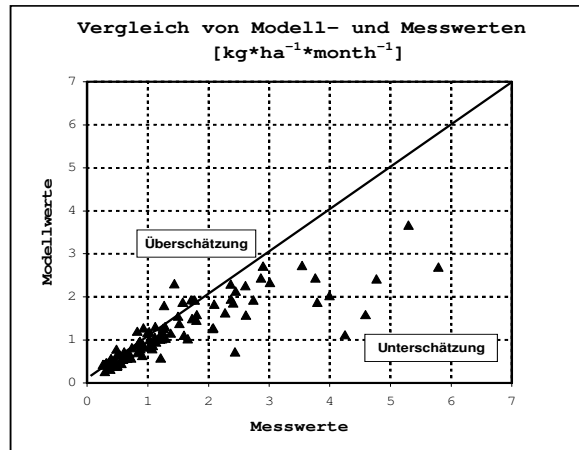


Abb. 8: Vergleich von Modell- und Messwerten (DOC-Fracht) für das Einzugsgebiet Rauschenbach

Die Berechnung des Anteils der einzelnen Fraktionen des gelösten organischen Kohlenstoffs erfolgt im Modell nach aus Messwerten abgeleiteten logarithmischen Funktionen der Form $a * \ln(DOC) + b$ unter der Voraussetzung, dass bei hohen DOC-Konzentrationen der gelöste organische Kohlenstoff zu hohen Anteilen aus den Huminstofffraktionen I und II zusammengesetzt ist.

Der Ansatzpunkt für die Simulation von veränderten Umweltbedingungen ist der Einfluss der in Frage kommenden Parameter auf die Produktionsrate von potenziell mobilem DOC. So wurde neben der Temperatur als weiterer Einflussfaktor auf die DOC-Bereitstellung der pH-Wert des Niederschlags aus der Kronentraufe als Indikator für Stoffdepositionen (SO_4 ; NO_x) eingeführt. Die Änderungsrate wurde aus Laborexperimenten abgeleitet und zunächst als lineare Einflussgröße angenommen (Abb. 9).

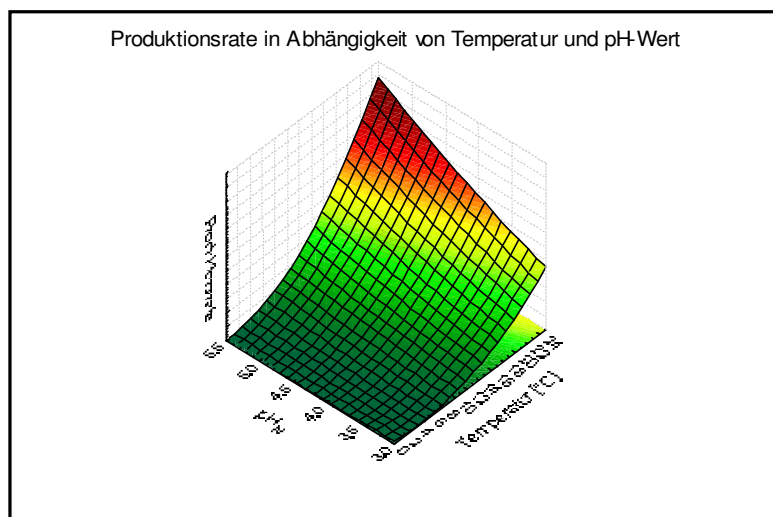


Abb. 9: Modellvorstellung vom Einfluss der Temperatur und des Niederschlags-pH-Wertes auf die Produktionsrate des mobilen DOC.

Konkrete Ergebnisse aus diesem Simulationsansatz folgen nach abgeschlossener Parameterableitung aus den Laborexperimenten.

Die Ergebnisse der Huminstoffeintragsmodellierung für das Einzugsgebiet des Rauschenbaches haben die Tragfähigkeit des Modellansatzes gezeigt. Eine Quantifizierung des Einflusses von veränderten Umweltbedingungen auf den Huminstoffeintrag in die Oberflächengewässer kann nur über Simulationen mit einem Modell erreicht werden. An der Präzisierung und Weiterentwicklung des Ansatzes wird bis Ende des Jahres noch gearbeitet.

8.2 Berechnung der Huminstofffraktionen

Auf der Basis empirisch gefundener Korrelationen zwischen dem SAK_{254} , dem DOC und dem BDOC auf der einen Seite und den einzelnen Fraktionen der NOM andererseits wurde ein Algorithmus zur Berechnung der einzelnen Huminstofffraktionen einschließlich deren biologisch abbaubarer Anteile unter ausschließlicher Verwendung der Routineparameter SAK_{254} und DOC entwickelt.

Die besten Korrelationen auf hohem Signifikanzniveau wurden für die hochmolekularen Huminstoffe erzielt. Im Ergebnis einer Modellevaluierung werden für die Roh- und die Reinwässer verschiedene Berechnungsansätze vorgeschlagen:

Rohwasser

Fraktionen Mittelwert der Verhältnisse $OC_{\text{Fraktion}} : SAK_{254}$

BDOC 1. Berechnung des DOC aus dem mittleren SAK:OC-Verhältnis,
2. Berechnung des BDOC über den mittleren Anteil am DOC

Reinwasser

Fraktionen 1. HSI über den Mittelwert der Verhältnisse $OC_{\text{Fraktion}} : SAK_{254}$
2. $HSII+BB$ = Differenz zwischen DOC und berechneten HSI + einem empirisch ermittelten konstanten Anteil der restlichen Fraktionen

BDOC Berechnung über den empirisch ermittelten mittleren Anteil am DOC

Grundlage der Berechnungen waren die mittleren OC/SAK-Verhältnisse, die aus dem vorhandenen Datensatz separat für die unterschiedlichen Wassertypen berechnet wurden. Die Multiplikation mit dem einzugebenden SAK-Wert ergibt eine berechnete Konzentration, deren Eintrittswahrscheinlichkeit durch das jeweilige Bestimmtheitsmaß vorgegeben ist. Um die Ergebniswiederfindung zu vergrößern, wurde die Standardabweichung in die Berechnung einbezogen, so dass als Ergebnis eine minimale und eine maximale Konzentration, d.h. ein zu erwartender Konzentrationsbereich, angegeben wird.

Der Gesamt-BDOC wurde in allen Wässern über den mittleren Anteil am DOC berechnet. Da in den Wasserwerken dieser Parameter im Rohwasser nicht routinemäßig bestimmt wird, erfolgt im ersten Schritt die Kalkulation des DOC aus dem mittleren SAK:OC-Verhältnis.

Die Modellergebnisse zeigen insbesondere bei den DOC-Fraktionen gute Übereinstimmung mit den gemessenen Daten.

Der biologisch abbaubare Anteil des DOC konnte gegenüber den DOC-Fraktionen weniger gut kalkuliert werden. Die Ungenauigkeit bei dieser Berechnung ist mit großer Wahrscheinlichkeit dem geringen Datenumfang und der Vernachlässigung des algenbürtigen DOC geschuldet. Für eine Verbesserung des Modells sollte daher der Datensatz noch erweitert werden. Zudem muss in Zukunft der algenbürtige DOC berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu den Erwartungsbereichen für die Konzentrationen der Fraktionen und des BDOC können mit Hilfe des Modells aus dem Anteil der Differenz zwischen Roh- und Reinwasser am Rohwasser die Eliminierungsleistungen bezüglich der Fraktionen HS I, HS II und BB sowie des BDOC berechnet werden.

Der Vorteil des derzeit verfügbaren Modells besteht in der Lieferung schneller Informationen zur Zusammensetzung und der Eliminierung des DOC unter ausschließlicher Verwendung der von den Wasserbereitstellern und Wasserversorgern erstellten Routineanalytik.

9 Maßnahmeempfehlungen

9.1 Handlungsoptionen in Einzugsgebieten

Die Moor-Anmoor-Komplexe stehen als Hauptquelle der Huminstoffe in den Einzugsgebieten aber auch aus naturschutzfachlicher Sicht im Blickpunkt der Betrachtung. Trinkwasser ist ein hohes Schutzgut, so dass alle Maßnahmen in Einzugsgebieten von Trinkwasserspeichern mit den Betreibern und Wasserwerken abzustimmen sind (SächsWG).

Beeinträchtigen hohe Huminstoffkonzentrationen und –frachten die Qualität des Talsperren- und Rohwassers, müssen die Quellen und Pfade des Eintrages in den EZG analysiert werden und bewertet werden. Das kurzfristige Ziel aus wasserwirtschaftlicher Sicht besteht darin, eine weitere Verschlechterung der Gewässerqualität zu stoppen. Für die Gebietsnutzer (Talsperrenbetreiber, Forstwirtschaft, Naturschutz, Kommunen u.a.) wurden Grundsätze unter dem Gesichtspunkt Huminstoffeintragsminimierung unter Beachtung der Balance Ökonomie-Ökologie formuliert. Jede Entscheidungsfindung zur Verbesserung der Wasserqualität sollte dabei einer Einzelfallprüfung unterliegen.

Da exzessive Maßnahmen zur Reduzierung von NOM-Quellen (Moorabbau, Streu- und Oberbodenbeseitigung) in den erzgebirgischen Ökosystemen einerseits abzulehnen, andererseits die Rehabilitierung des Wasserhaushaltes und weitere Boden- und Naturschutzziele ökologisch notwendig sind und gesellschaftlich zunehmend Beachtung finden, bleiben zum gegenwärtigen Kenntnisstand die Maßnahmemöglichkeiten zur Huminstoffeintragsminderung in den Einzugsgebieten relativ gering. Bei Eingriffen sollten sanfte Behandlungen den harten Maßnahmen vorgezogen werden. Dies betrifft alle Nutzer und Interessenten.

Die stoffhaushaltlichen Folgen einer großflächigen, kurzzeitigen, durch Verbaumaßnahmen unterstützten Wiedervernässung von Moor-Anmoorkomplexen können noch nicht umfassend und abschließend bewertet werden. Ebenso ist eine nachhaltige Reduzierung der Huminstoffeinträge durch Pflege der meliorativen Systeme bisher nicht quantifizierbar. Dem Konflikt von Wasser-, Forstwirtschaft und Naturschutz ist vor dem Hintergrund steigender Huminstoffeinträge im Sinne eines integrierten Einzugsgebietsmanagements insofern verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen. Weitere Aufklärung wird mittels des FuE-Projektes “Forst- und wasserwirtschaftliche Praxis unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Belange in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren mit hohem Moor- und Fichtenforstanteil im oberen Erzgebirge (Beispiel Carlsfeld)” erwartet, welches für den Zeitraum 2005-2007 zwischen Talsperrenverwaltung (LTV), Forstbehörde (LFP) und TU Dresden unter Einbeziehung der Naturschutz- und Kommunalvertreter initiiert worden ist.

9.2 Speicher und Rohwasseraufbereitung

Die Untersuchung der Verteilung von NOM in Trinkwasserspeichern brachte das Ergebnis, dass die in die Speicher eingetragene organische Materie zwar zeitweise Verteilungsmuster ausbildet, die dabei entstehenden Gradienten jedoch nur einen geringen Nutzen für die Trinkwasserwerke darstellen. Den Möglichkeiten einer Optimierung bei der Entnahme des Rohwassers sind enge Grenzen gesetzt. Maßnahmen zur Verbesserung der Rohwasserqualität müssen sich in erster Linie auf die Einzugsgebiete konzentrieren.

Die zukünftigen Strategien der Wasseraufbereitung müssen ungeachtet jeglicher Maßnahmen in den Einzugsgebieten folgende Prämissen berücksichtigen:

- 1) *eine sich in den nächsten Jahren weiter verändernde Rohwasserqualität,*
- 2) *die unter diesen Bedingungen verbleibenden Optionen für die Bereitstellung eines qualitätsgerechten Trinkwassers unter Beibehaltung der bisher eingesetzten Aufbereitungstechnologie*

- 3) *die möglichen Optionen erweiterter Technologien und*
- 4) *die in jedem Fall gestiegenen Anforderungen an die Überwachung und Steuerung der Prozesse.*

zu 1)

Es muss besonders bei Talsperren mit moorgeprägten Einzugsgebieten mit einem weiteren Anstieg des DOC, insbesondere der Fraktion der hochmolekularen Huminstoffe gerechnet werden. Ein Anstieg mittel- und niedermolekularer Fraktionen ist demgegenüber zwar zu erwarten, wird aber vergleichsweise deutlich geringer ausfallen. Die Wasserwerke müssen in Zukunft mit stärkeren Schwankungen der Rohwasserqualität rechnen. Diese erfordert ein flexibles Reagieren, beispielsweise bei der Festlegung der Flockungsmitteldosierung bzw. der Verwendung von Hilfsmitteln. Infolge der steigenden DOC-Konzentrationen in den Rohwässern ist mit einem zum DOC-Gehalt etwa proportionalen Anstieg der biologisch abbaubaren Fraktionen (BDOC) zu rechnen.

zu 2)

Eine Verbesserung der Eliminierungsleistung im Fall hochmolekularer Wasserinhaltsstoffe ist besonders durch die Optimierung der Flockungsmitteldosis zu erreichen. Dabei kommt es allerdings nicht immer zu einer gleichermaßen verbesserten Reduzierung der mittel- und niedermolekularen Bestandteile. Unter diesem Gesichtspunkt sind gezielte Untersuchungen zur Verbesserung der Entfernung der mittel- und niedermolekularen DOC-Fraktionen bei Beibehaltung der guten Entfernung der hochmolekularen Bestandteile wünschenswert. Diese Untersuchungen müssen als Ziel die Optimierung des gesamten Flockungsprozesses beinhalten. Dabei ist zu prüfen, in welchem Umfang die Leistungsfähigkeit der Flockung für die Huminstoffeliminierung bei gleichzeitiger Sicherung der Flockenabtrennung erhöht werden kann. Dies betrifft insbesondere die Optimierung des Flockungs-pH-Wertes sowie Art und Dosis des Flockungsmittels.

zu 3)

Können die vorhandenen Technologien nicht im erforderlichen Maß optimiert werden, ist mit einem entsprechend der Rohwasserqualität mehr oder wenig stetigen Anstieg des DOC im Reinwasser zu rechnen. Dies würde erhöhte Dosen an Desinfektionsmitteln erfordern, wodurch die Nebenproduktbildung ansteigen würde. Parallel dazu ist mit einem Anstieg des BDOC im Reinwasser zu rechnen. Über die Verwendung bzw. den vermehrten Einsatz alternativer Technologien, beispielsweise den Einsatz von Ozon und (oder) der Membranfiltration sollte dennoch erst nach vollem Ausschöpfen der Möglichkeiten der konventionellen Techniken entschieden werden. Ungeachtet dessen sollten jedoch Vorversuche im Labor- und Pilotmaßstab zum Einsatz erweiterter und alternativer Verfahren durchgeführt werden.

zu 4)

Die Rohwassersituation (durchschnittlich höhere DOC-Werte mit größeren Schwankungen) zwingt die Wasserwerke zu einer verbesserten Kontrolle und Steuerung der Verfahren. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Projektes ein Software-Paket entwickelt. Der Algorithmus zur Berechnung der Eliminierungsleistungen einzelner DOC-Fraktionen einschließlich deren biologisch abbaubaren Anteile basiert dabei auf dem SAK_{254} und dem DOC-Werten. Beides sind Größen, die im analytischen Routinebetrieb von den Wasserversorgungsunternehmen selbst erstellt werden können. Im Ergebnis dieser Modellrechnungen wird den Wasserwerken eine schnelle Information in Bezug auf die Zusammensetzung des DOC im Roh- und Reinwasser gegeben. Jegliche zu treffenden Maßnahmen können somit hinsichtlich ihrer Wirkungen und Effizienz zeitnah überprüft werden.

10 Ausblick

Der klimatisch und anthropogen gesteuerte wasser- und stoffhaushaltliche Wandel in Landschaftsökosystemen kann bisher wissenschaftlich nicht befriedigend erfasst und beschrieben werden. Für die Untersuchungsgebiete werden jedoch bereits relativ klare Szenarien prognostiziert, zu welchen besonders zählen:

- eine Erwärmung, verbunden mit einer Niederschlagsabnahme in Nordsachsen sowie eine Zunahme im West-Erzgebirge,
- mehr CO₂ und veränderte Aerosole in der Atmosphäre,
- veränderte Extrema: Zunahme Hitze-/Dürreperioden, Niederschlagsdefizite in der Vegetationsperiode,
- Verschiebung der Schneeschmelze (früher, häufiger), Zunahme der Temperatur- und Niederschlagsvariabilität bzw. –intensität u.a.
- Fortführung des Waldumbaus und der Kalkungsmaßnahmen
- Weiterführung des Programme zur Revitalisierung der (degradierten) erzgebirgischen Moore

Die Ökosysteme müssen somit enorme Anpassungsleistungen an die veränderten Bedingungen leisten. Rückkopplungseffekte zum Klimawandel und den Änderungen der Immissionen und Landnutzung sind noch relativ unklar. Für die Wasserwirtschaft sind Menge und Qualitätsmerkmale der Zuflüsse bzw. des Rohwassers entscheidend für zukünftige Bewirtschaftungsstrategien. Die steigenden Konzentrationen organischer Substanzen und des Phosphors wirken sich nachteilig auf die Rohwasserqualität und damit die Trinkwasseraufbereitung aus.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Maßnahmen zur Verringerung des NOM-Eintrages in die Trinkwassertalsperren sich auf die Einzugsgebiete konzentrieren müssen. Hier befinden sich mit den Mooren die Hauptquellen für huminstoffbürtigen DOC. Ungeachtet der kontrovers geführten Diskussion in Bezug auf das NOM-Rückhaltevermögen der Moore stellen diese Flächen ein schwer kalkulierbares Risiko für Trinkwasserspeicher dar. Im Einzugsgebiet von Trinkwassertalsperren sollte der NOM-Austrag aus Moorflächen begrenzt werden. Diesbezügliche Strategien sind noch nicht ausreichend geklärt.

Insgesamt beinhaltet die Thematik somit erhebliches Konfliktpotenzial in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren, v.a. mit hohem Mooranteil (Wasserwirtschaft-Forst-Naturschutz-Tourismus). Eine Abwägung von Handlungsoptionen, Investitionen und Restriktionen auf Basis von Modellrechnungen, Kosten-Nutzen-Bilanzen sowie Risikobewertungen sind unbedingt notwendig (Wiedervernässung von Feuchtgebieten, Hochwasserschutz, Grabenberäumung, Huminstoff- und P-Eintragsminimierung, Technologien der Trinkwasseraufbereitung etc.).

Mit dem BMBF-Forschungsprojekt “Huminstoffeinträge in Oberflächengewässer im Erzgebirge” konnten Grundlagen geschaffen werden, auf die weiterführende Untersuchungen aufbauen können.

Dresden, 6. Juli 2005

Arbeitsgruppe der TU Dresden (K. Grunewald, D. Pavlik, J. Scheithauer – k.grunewald@ifz-dresden.de)

Arbeitsgruppe des TZW Dresden (W. Schmidt, C. Fiebiger, A. Korth – schmidt@tzw.de)