

# Simulation der MacGyver-Idee gegen Schadstoffe

Mikroverunreinigungen in miniaturisierten Kläranlagen aus CDs photokatalytisch abbauen



Die meisten herkömmlichen Wasseraufbereitungsanlagen sind nicht in der Lage, Mikroverunreinigungen zu entfernen.



Rachel Keatley,  
Content Writer bei Comsol

Jeden Tag gelangen Mikroverunreinigungen in die Seen, Flüsse und Bäche der Welt. Viele herkömmliche Kläranlagen sind nicht in der Lage, diese potenziell gefährlichen chemischen Rückstände aus dem Abwasser zu entfernen. Eden Tech, ein Deeptech-Unternehmen mit Sitz in Paris, Frankreich, setzt Multiphysik-Simulationen ein, um ein Gerät zu entwickeln, das bei diesem Problem helfen kann.

Die Fernsehserie MacGyver aus dem Jahr 1985 zeigte das Leben des Geheimagenten Angus MacGyver, der Probleme mit Gegenständen löste, die er gerade zur Hand hatte. In einer Folge baute er z.B. einen Hitzeschild aus gebrauchten Kühlschrankschichten. In einer anderen bastelte er einen Angelköder aus einem Bonbonpapier. Das Verb „to MacGyver“, etwas auf behelfsmäßige oder kreative Weise zu entwerfen, wurde 2015 in das Oxford English Dictionary aufgenommen.

Stellen Sie Ihre MacGyver-Fähigkeiten auf die Probe: Wenn Sie ein paar CDs bekämen, was würden Sie daraus machen? Reflektierende Wanddekoration, Mosaikornamente

oder vielleicht ein Windspiel? Wie wäre es mit einer miniaturisierten Wasseraufbereitungsanlage?

Damit befasst sich ein Team von Ingenieuren und Forschern bei Eden Tech, einem Unternehmen, das sich auf die Entwicklung von Mikrofluidik-Technologie spezialisiert hat. In der F&E-Abteilung Eden Cleantech entwickeln sie ein kompaktes, energiesparendes Wasseraufbereitungssystem, das dazu beitragen soll, die zunehmende Ausbreitung von Mikroverunreinigungen im Abwasser zu bekämpfen. Um die Leistung des AKVO-Systems, das aus CDs besteht, zu analysieren, nutzte Eden Tech die Multiphysik-Simulation von Comsol.

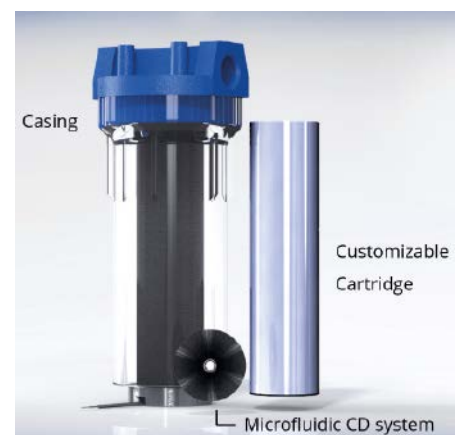


Abb. 1: AKVO-System und seine Komponenten.

**Neu auftretende Schadstoffe**

„Es gibt viele Möglichkeiten, wie Mikroverunreinigungen in das Abwasser gelangen“, sagt Wei Zhao, leitender Chemieingenieur und Chief Product Officer bei Eden Tech. Die Zunahme dieser mikroskopisch kleinen chemischen Stoffe im Abwasser ist eine Folge der täglichen menschlichen Aktivitäten. Neben Haushaltsabfällen sind auch Verschmutzungen aus der Landwirtschaft und Industrieabfälle für den Anstieg der Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern verantwortlich. Leider sind viele konventionelle Kläranlagen nicht dafür ausgelegt, solche Schadstoffe zu entfernen. Daher gelangen sie oft wieder in verschiedene Gewässer und sogar ins Trinkwasser.

**Eine nachhaltige Methode der Abwasserbehandlung**

Jeder AKVO-CD-Kern hat einen Durchmesser von 15 cm und eine Dicke von 2 mm. Eine AKVO-Kartusche besteht aus gestapelten CDs unterschiedlicher Anzahl, die zu einer miniaturisierten Fabrik kombiniert werden. Ein AKVO-Kern mit 10.000 CDs kann circa 0,5 bis 2 m<sup>3</sup> Wasser pro Tag filtern. Ein einzelnes AKVO-System (Abb. 1) besteht aus einer anpassbaren Kartusche, die mit gestapelten CDs gefüllt ist, auf denen jeweils ein Mikrokanalnetz eingraviert ist. Es entfernt unerwünschte Elemente im Abwasser, wie Mikroverunreinigungen, indem es das Wasser in seinen Mikrokanalnetzen zirkulieren lässt. Diese Netze sind energiesparend, da sie nur eine kleine Pumpe benötigen, um große Wassermengen umzuwälzen und zu reinigen. Die Kartuschen des Systems können leicht ausgetauscht werden, und Eden Tech kümmert sich um ihr Recycling.

**Kombination von Mikrofluidik und Photokatalyse**

Das revolutionäre Design kombiniert Photokatalyse und Mikrofluidik in einem kompakten

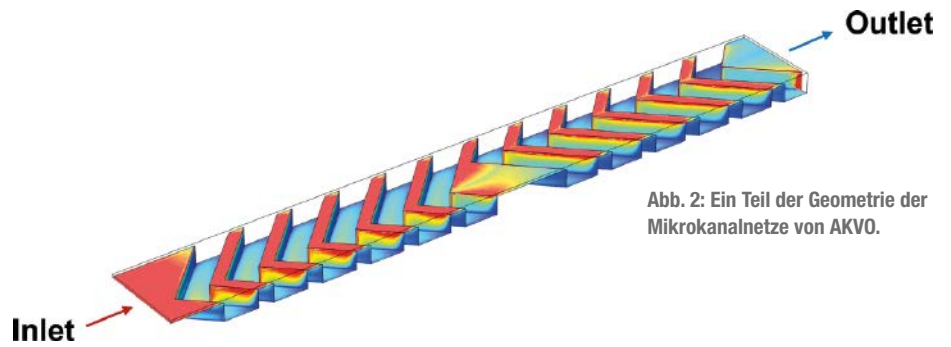


Abb. 2: Ein Teil der Geometrie der Mikrokanalnetze von AKVO.

System. Die Photokatalyse (AOP, advanced oxidation process) ist eine schnelle und wirksame Methode, um Mikroverunreinigungen aus Abwässern zu entfernen. Im Vergleich zu anderen AOPs gilt sie als sicherer und nachhaltiger, da sie mit einer Lichtquelle betrieben wird. Bei der Photokatalyse wird das Licht von Photokatalysatoren absorbiert, die in der Lage sind, freie Hydroxylradikale zu erzeugen. Diese reagieren mit den Zielschadstoffen und können sie abbauen.

Die Kombination von Photokatalyse und Mikrofluidik für die Abwasserbehandlung wurde bisher noch nie angewandt. „Es ist ein sehr ehrgeiziges Projekt“, sagt Zhao. „Wir wollten eine innovative Methode entwickeln, um eine umweltfreundliche und effiziente Art der Abwasserbehandlung zu ermöglichen.“

**Designherausforderungen meistern**

Bei der Anwendung werden ein chemischer Wirkstoff (Katalysator) und das Abwasser durch die Mikrokanalwände von AKVO dispergiert. Der Zweck des Katalysators, in diesem Fall Titandioxid, ist es, mit den Mikroverunreinigungen zu reagieren und dazu beizutragen, sie im Prozess zu entfernen. Die schnelle Fließgeschwindigkeit im AKVO-System erschwert diesen Vorgang jedoch. „Das große Problem ist, dass AKVO über Mikrokanäle mit schnellen Durchflussraten verfügt, und wenn wir den

chemischen Wirkstoff in eine der Kanalwände einbringen, können die Mikroverunreinigungen im Abwasser manchmal nicht effizient mit dem Wirkstoff reagieren“, erläuterte Zhao. Um die Kontaktmöglichkeiten zwischen den Mikroverunreinigungen und dem immobilisierten Katalysator zu erhöhen, entschieden sich Zhao und sein Team beim Design der AKVO-Mikrokanäle (Abb. 2) für einen gestaffelten Fischgräten-Mikromischer (SHM, staggered herringbone micromixer). Zhao nutzte die Software Comsol Multiphysics, um die Leistung des SHM-Designs zur Unterstützung chemischer Reaktionen für den Abbau von Mikroverunreinigungen zu analysieren.

**Simulation chemischer Reaktionen für den Abbau von Mikroverunreinigungen**

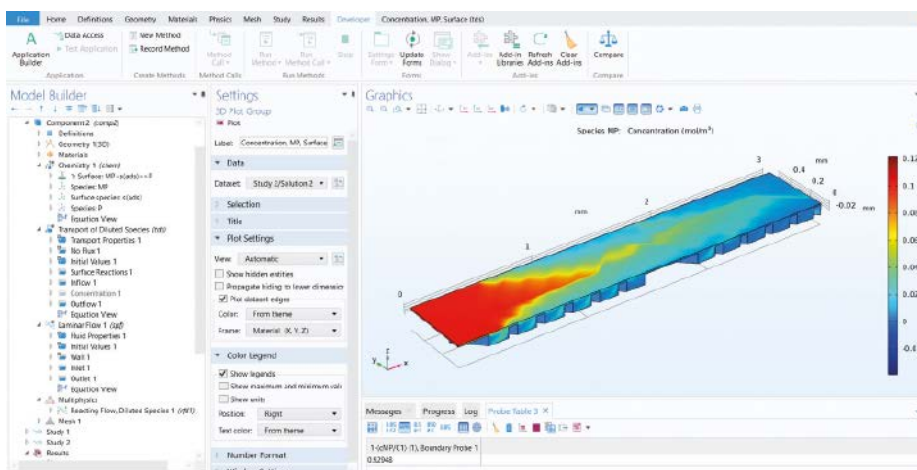
In seiner Arbeit erstellte Zhao zwei verschiedene Modelle in der Simulationssoftware (Abb. 3): das Explicit Surface Adsorption (ESA)-Modell und das Converted Surface Concentration (CSC)-Modell. Diese beiden Modelle berücksichtigen chemische und fluidtechnische Phänomene.

In beiden Modellen stellte Zhao fest, dass die SHM-Struktur Wirbel in der Strömung erzeugt, die sich durch sie hindurch bewegen. Dadurch haben die Mikroverunreinigungen und der chemische Wirkstoff eine längere Kontaktzeit und der Stoffaustausch zwischen den einzelnen Flüssigkeitsschichten wird verbessert. Die Ergebnisse des ESA-Modells zeigten jedoch, dass das Design nur etwa 50 % der zu behandelnden Mikroverunreinigungen beseitigte, weniger als Zhao erwartet hatte.

Im Gegensatz zum ESA-Modell (Abb. 4) wird beim CSC-Modell davon ausgegangen, dass es keine Adsorptionsbeschränkung gibt. Solange eine Mikroverunreinigung auf die Oberfläche eines Katalysators trifft, findet eine Reaktion statt, was in der Literatur bereits diskutiert wurde [1].

In diesem Modell analysierte Zhao, wie das Design für den Abbau von sechs verschiedenen Mikroverunreinigungen funktionierte, darunter Gemfibrozil, Ciprofloxacin, Carbamazepin, Clofibrinsäure, Bisphenol A und Acetaminophen (Abb. 5). Die Ergebnisse dieses Modells entsprachen den Erwartungen von

Abb. 3: In Comsol Multiphysics verwendete Zhao die Interfaces Chemistry, Transport of Diluted Species, Laminar Flow sowie Reacting Flow, Diluted Species.



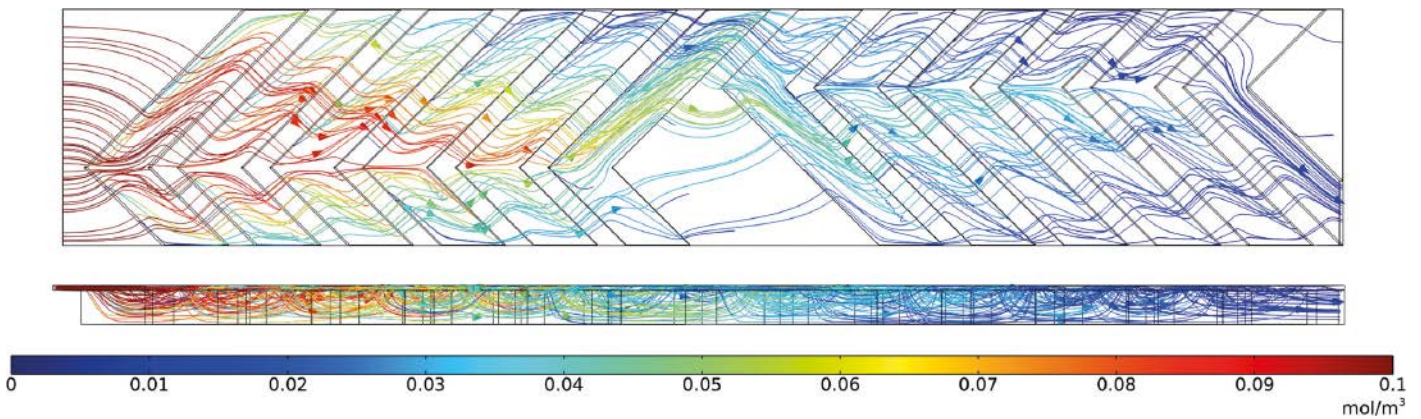


Abb. 4: Ergebnisse des ESA-Modells.

Zhao, denn mehr als 95 % der Mikroverunreinigungen wurden behandelt.

„Wir sind sehr zufrieden mit den Ergebnissen von Comsol Multiphysics. Meine nächsten Schritte werden sich auf Labortests [des AKVO-Prototyps] konzentrieren. Wir gehen davon aus, dass unser erster Prototyp Anfang 2022 fertig sein wird“, sagte Zhao. Der Prototyp soll später in Krankenhäusern und Wasseraufbereitungsanlagen in Südfrankreich getestet werden.

Der Einsatz der Simulation für dieses Projekt hat dem Eden Tech-Team Zeit und Geld gespart. Die Entwicklung eines Prototyps für ein mikrofluidisches System wie AKVO ist kostspielig. Um Mikrokanalnetzwerke auf jede der 4-Zoll-CDs aufzudrucken, wird eine Mikrokanal-Fotomaske benötigt. Laut Zhao würde die Herstellung einer Fotomaske etwa 3.000 EUR (3.500 USD) kosten. Daher ist es sehr wichtig,

dass sie sich vor der Herstellung vergewissern, dass ihr System gut funktioniert

### Pionier in der Behandlung von Mikroverunreinigungen

Im Jahr 2016 hat die Schweiz ein Gesetz eingeführt, das vorschreibt, dass Kläranlagen Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernen müssen. Ihr Ziel? Über 80 % der Mikroverunreinigungen in mehr als 100 Schweizer Kläranlagen herauszufiltern. Nach dem Vorbild der Schweiz überlegen viele andere Länder derzeit, wie sie mit der wachsenden Ausbreitung dieser Schadstoffe in ihren Gewässern umgehen wollen. AKVO hat das Potenzial, einen kompakten, umweltfreundlichen Weg zu bieten, um dieses anhaltende Problem einzudämmen.

### Die Autorin

Rachel Keatley, Content Writer bei Comsol

### Quelle

[1] C. S. Turchi, D. F. Ollis, "Photocatalytic degradation of organic water contaminants: Mechanisms involving hydroxyl radical attack," Journal of Catalysis, Vol. 122, p. 178, 1990.

MacGyver ist ein eingetragenes Warenzeichen von CBS Studios Inc. Comsol AB und seine Tochtergesellschaften und Produkte sind nicht mit CBS Studios Inc. verbunden, werden nicht von CBS Studios Inc. gesponsert oder unterstützt..

Bilder © COMSOL

Diesen Beitrag können Sie auch in der Wiley Online Library als pdf lesen und abspeichern:

<https://dx.doi.org/10.1002/citp.202200118>

### Kontakt

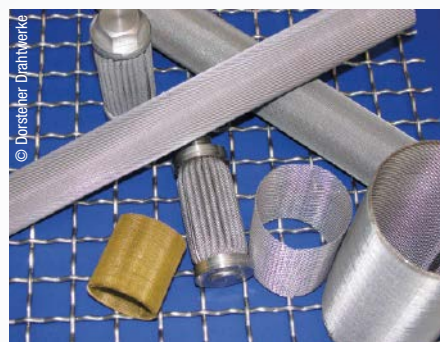
Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen

Tel.: +49 551 99721 0

info@comsol.de · www.comsol.de

## Siebe und Filter aus Metall zum Trennen von Pulvern und Flüssigkeiten

Für die Filtration im Bereich der Verfahrenstechnik, die nicht ohne Metallgewebe denkbar ist, haben die Dorstener Drahtwerke verschiedenste Leinen-, Köper- und Tressenbindungen entwickelt, die sich sowohl für die Fest-/Flüssigtrennung als auch für die Filtration von Gasen eignen. In Verbindung mit korrosions- und hitzebeständigen Materialien bilden diese die Basis für zahllose Filterelemente und Filterplatten. Auf Grund ihrer hohen Präzision werden Gewebe insbesondere als stabiler und strömungsführender gesinterter Verbund für Trennaufgaben ab 2 µm zur Filtration von Flüssigkeiten eingesetzt. Gesinterte Gewebelaminare lassen sich zudem gut mechanisch bearbeiten und sind schweißbar. In großflächigen Filtern – etwa Luftfiltern – werden feine Drahtgewebe als drahtgittergestütztes und gewelltes



Sandwich eingesetzt. So sind trotz ihrer Größe eine hohe Stabilität und ein großer Durchlass des Filtermaterials gewährleistet. Die Kombination mit anderen Filtermedien wie Metallfaservliesen oder textilen

Materialien ermöglicht hier das Anpassen der Filtereigenschaften an die gewünschte Anwendung. Bei der Auslegung von Trennprozessen müssen häufig Eigenschaften wie präzise Trennschärfe, Stabilität, Beständigkeit gegen Medien, Langlebigkeit und Recyclebarkeit berücksichtigt werden. In häufigen Fällen können Gewebe aus Metalldrähten diese Anforderungen in hohem Maße erfüllen.

### Kontakt

DORSTENER DRAHTWERKE

H.W. Brune & Co. GmbH, Dorsten

Tel.: +49 2362 209920

ft@meshart.de · www.dorstener-drahtwerke.de