

# Elektrokoagulation – Vom Abwasser Interdisziplinäre Forschung zur nachhaltigen Lösung der Frischwasserknappheit

# F

Frischwasser ist, wie die verschiedenen Metalle, ein wichtiger Rohstoff für die Metallindustrie, da ohne dieses fast kein Prozess der Metallverarbeitung betrieben werden kann. Zwei Drittel der Erde sind mit Wasser bedeckt, wovon allerdings der größte Teil Meerwasser ist, das aufgrund seines hohen Salzgehaltes für den menschlichen Gebrauch kaum geeignet ist. Laut Angaben der Vereinten Nationen, machen die zugänglichen Frischwasservorräte weniger als 0,007 Prozent der gesamten Wasservorkommen aus, siehe Bild 1. In Anbetracht dessen, sollten neue und nachhaltige Technologien für die Wiederverwendung von Wasser eingeführt werden. Dabei muss der Umgang mit dieser knappen Ressource, die das Überleben aller Lebewesen sichert, verbessert werden um so nachhaltig das Risiko einer Frischwasserknappheit zu minimieren.

In diesem Zusammenhang betreibt das Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie seit einigen Jahren intensive Forschungsarbeiten zur Entwicklung moderner Reinigungstechnologien für industrielle und kommunale Abwässer. Einer der Forschungsschwerpunkte ist die Elektrokoagulation, kurz EK. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften eignet sich diese elektrochemische Technologie für die Behandlung diverser Arten von Abwasser, da die Zugabe von Fällungs- und Flockungsmitteln zum Teil oder sogar komplett unterbunden werden kann. Darüber hinaus kann durch die alleinige Verwendung von Elektrizität die Kontamination von Wasserressourcen durch giftige Chemikalien vermieden werden. Dank des, im Gegensatz zur Elektrolyse, geringen Energiebedarfs könnte die Elektrokoagulation sogar dezentral durch erneuerbare Energien betrieben werden. Am Beispiel von kupferhaltigem Industrieabwasser werden in Bild 2 sehr vereinfacht die Potenziale der Elektrokoagulation für die Wasserwiederverwendung und das Metallrecycling dargestellt.

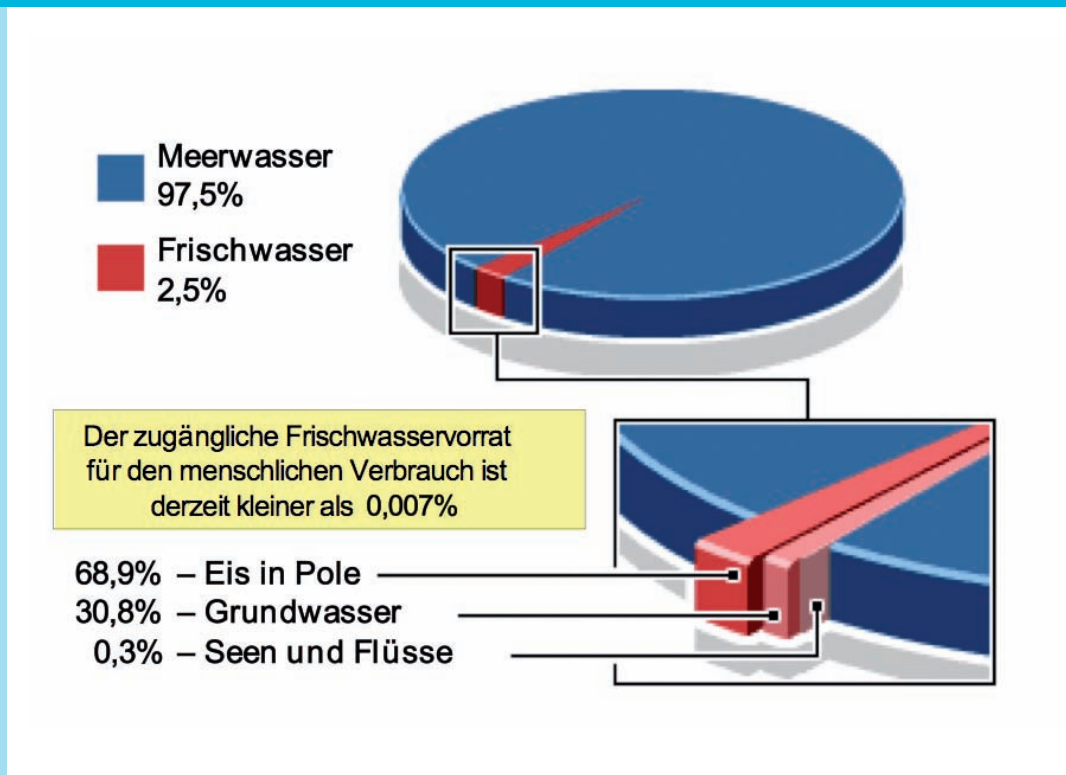


Bild 1: Weltweite Frischwasservorräte.  
Quelle: UNEP

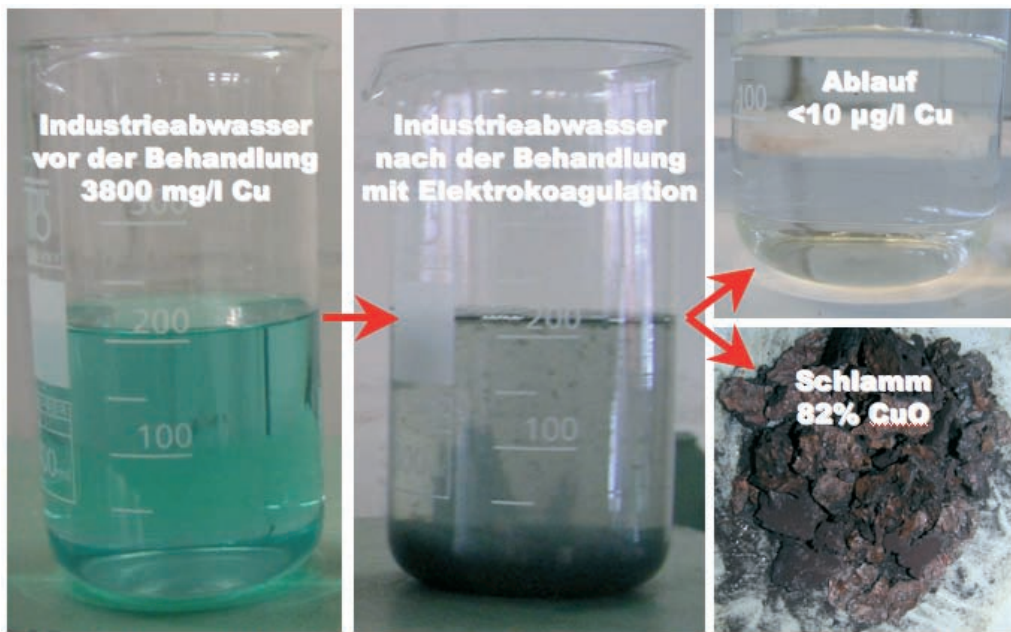
Als nachhaltiger Abwasserreinigungsprozess eignet sich die Elektrokoagulation nicht nur für den industriellen, sondern auch für den kommunalen Bereich. Obwohl dieses Verfahren nicht für den Abbau biologischer Belastungen konzipiert wurde, haben aktuelle Untersuchungen am Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie gezeigt, dass sowohl gelöste anorganische Substanzen wie Phosphor als auch suspendierte organische Belastungen in einem einfachen Schritt flotiert und so schnell und effektiv aus dem Kommunalabwasser entfernt werden können. Bild 3 zeigt das Erscheinungsbild kommunaler Abwässer vor und nach der Behandlung, sowie einen repräsentativen Wiederverwendungstest, der am Beispiel von Bohnensamen durchgeführt wurde. Da-

bei ist anhand der Morphologie und der Farbe der Blätter, der mit dem Kommunalabwasser gegossenen Pflanze der Eutrophierungseffekt aufgrund des hohen Anteils an Nährstoffen wie Phosphor oder Stickstoff leicht zu erkennen. Während die mit elektrokoagulierte Wasser gegossenen Bohnensamen eine bessere und gesündere Entwicklung zeigen.

Aber wie funktioniert die Elektrokoagulation? Zunächst wird das Abwasser in den EK-Reaktor geleitet, in dem die Reinigung stattfindet. Ein EK-Reaktor besteht aus einer Anordnung von Metallelektroden, an denen elektrischer Strom einen so genannten REDOX-Vorgang, kurz für REDuktion-Oxidation, herbeiführt. An der positiv geladenen Elektrode (Anode) wird aufgrund des Elektronenaustausches ein rascher

Oxidationsvorgang hervorgerufen und das Elektrodenmaterial geht als Metallhydroxid in Lösung, so dass es als Flockungsmittel wirkt. An der negativ geladenen Elektrode (Kathode) hingegen entsteht Wasserstoff, der zur Reduktion von gelösten Metallen (Kationen) beiträgt. Bild 4 zeigt das Schema des Elektrokoagulationsprozesses zur Abwasserreinigung mit integriertem Überwachungssensor, der am Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie im Rahmen eines vom Deutschen Akademischen Austauschdienst geförderten Forschungsprojektes gemeinsam mit der Fakultät für Elektrotechnik der Pontificia Bolivariana Universität in Kolumbien entwickelt wurde. Mit Hilfe dieses elektromagnetischen Sensors wird der Energiebedarf des EK-Reaktors geregelt, um so bei minimalem Energieeinsatz die Ent-

# zum Nutzwasser



**Elektrokoagulation = Wasserwiederverwendung + Metallrecycling**

Bild 2: Reinigung von Industrieabwasser und Metallrecycling am Beispiel von Elektrokoagulation.

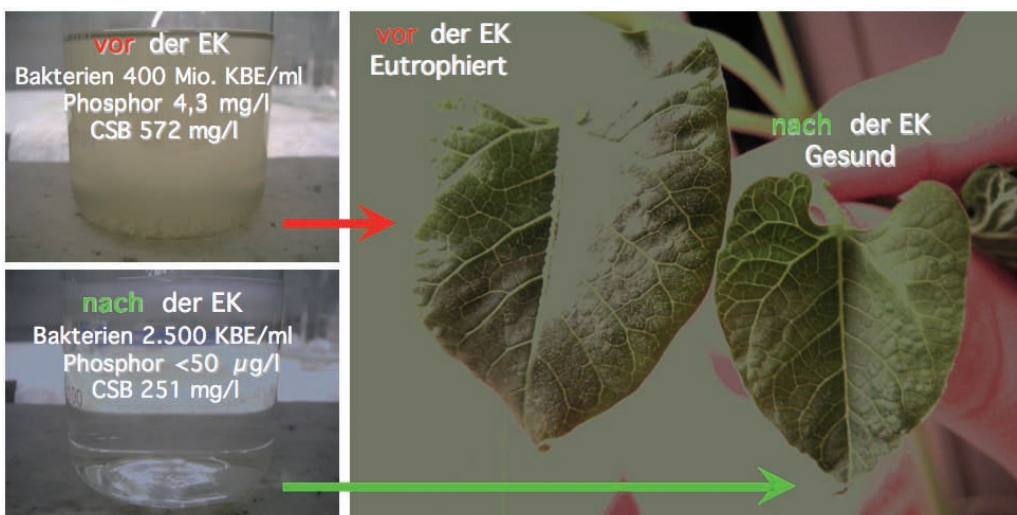


Bild 3: Reinigung von Kommunalabwasser durch Elektrokoagulation und Wasserwiederverwendungstest.

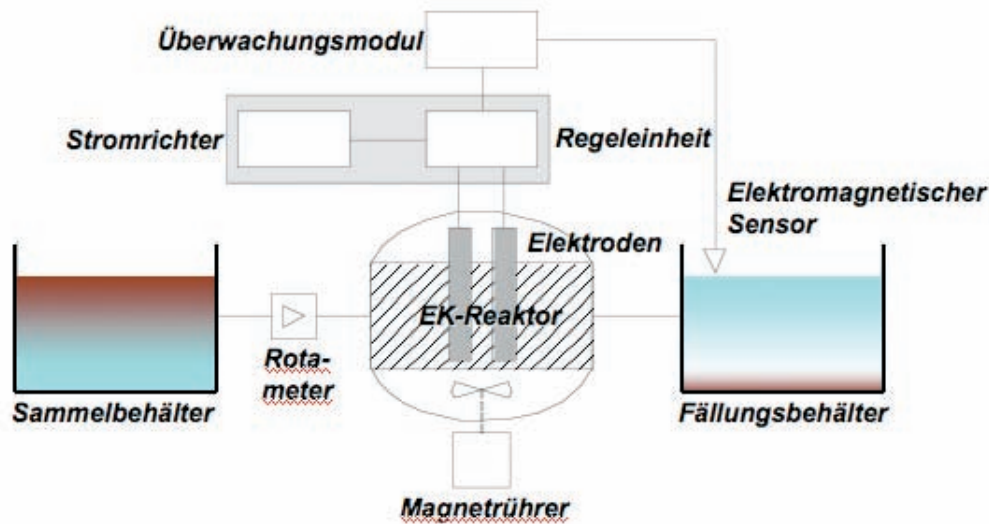


Bild 4: Prozessschema der Elektrokoagulation zur Abwasserreinigung mit integriertem Überwachungssensor.

Bild 5: Am Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie werden moderne elektrochemische Abwasserreinigungstechnologien entwickelt, geprüft und ihre Nachhaltigkeit bewertet. Foto: Peter Winandy

68

fernung sowohl von metallischen als auch von nichtmetallischen Schadstoffen aus Abwasser zu optimieren und so eine effizientere Überwachung zum Schutz der Umwelt zu gewährleisten.

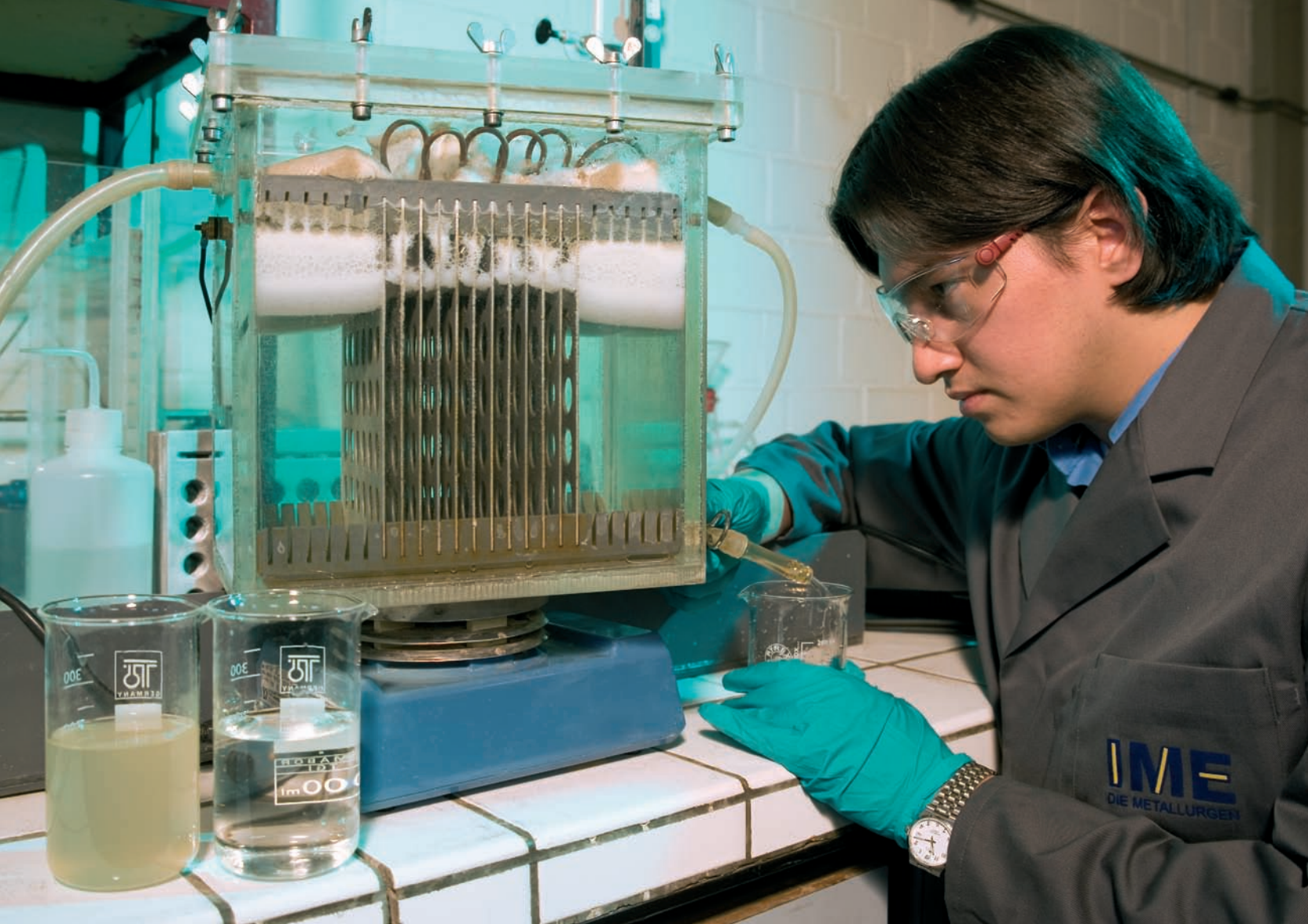
Die REDOX-Synergie der Elektrokoagulation trägt dazu bei, dass die Entfernung von Schwermetallen sowie anderer Schadstoffe aus dem Abwasser viel effektiver ist als bei der konventionellen Fällung mit Alkali oder Metallsalzen, da deren Abscheidung unabhängig vom pH-Wert erfolgt und so keine umweltschädlichen Salzfrachten oder schwefelsäurehaltige Rückstände hinterlässt. Darüber hinaus zeigen aktuelle Ergebnisse, dass die Schwermetallkonzentrationen unterhalb der aktuellen gesetzlichen Anforderungen bis in den ppb-Bereich ( $\mu\text{g/l}$ ) gesenkt werden können. Dabei besteht auch die prinzipielle Möglichkeit, bis zu 50 Prozent des eingesetzten Energieverbrauchs in Form eines elektrolytisch hergestellten Wasserstoffgases zu recyceln, was einen zusätzlichen Aspekt der Nachhaltigkeit bildet. Das Konzept einer zukünftigen Unter-

stützung der Etablierung der Wasserstoffökonomie zeigt Bild 6. Im Rahmen der neuen EU-Politik zur „Zero-Waste Entrepreneurship“ bietet die Elektrokoagulation der Metallindustrie eine nahezu 100-prozentige Wiederverwendung des Wassers im geschlossenen Kreislauf, was aufbauend auf den vorhandenen Ergebnissen unter Heranziehung der konventionellen Umkehrosmose realisiert werden kann. Darüber hinaus stellt dieser Weg einen nachhaltigen Pfad mit großen ökologischen Vorteilen für die Umwelt dar und bietet auch wirtschaftliche Vorteile durch eine Kosteneinsparung bei Fällungsmitteln und die Erhöhung der Effizienz gegenüber anderen Prozessen der Metallverarbeitung.

Auch im kommunalen Bereich lassen sich Synergien bezüglich Wasser-, Abfall- und Energiewirtschaft feststellen, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beisteuern könnten. Da heute immer noch mehr als 50 Prozent der Weltbevölkerung über keine adäquate Technik für die Reinigung ihrer Abwässer verfügen – dieser Zustand ist besonders akut in Ent-

wicklungsländern – könnte die Elektrokoagulation als dezentral einsetzbare Technologie für die Verbesserung der Lebensqualität von Milliarden Menschen in besonders gefährdeten Regionen der Welt beitragen. Bild 6 präsentiert das Konzept zur energetisch autarken Behandlung von kommunalen Abwässern, beispielsweise eines Dorfes, als geschlossenen Kreislauf von Abfall, Energie und Wasser mit der Elektrokoagulation als Kernkomponente.

Seitens der metallurgischen Prozesstechnik ist die Elektrokoagulation eine einfache Technologie, deren erfolgreiche Umsetzung – auch in sozialer Hinsicht – das Wissen von vielen Fachgebieten erfordert. Aus diesem Grund ist die interdisziplinäre Forschung eine wichtige Komponente im Rahmen der aktuellen Arbeiten. Neben unserer Kooperation mit internationalen Konzernen der Metallindustrie agieren wir insbesondere mit Forschungseinrichtungen der RWTH Aachen, um zukünftige Abwassertechnologien für die Wasserwiederverwendung im industriellen und kommunalen Bereich zu gestalten. Bild 7 zeigt ei-



Anzeige



## International besser ankommen.

Überall an Ihrer Seite: die Sparkassen und ihr weltweites Netzwerk.

 Sparkasse  
Aachen

Regional verankert, international erfolgreich – mit der Sparkasse Aachen als Partner! Wir stehen Ihnen mit unserem Know-How und unseren Kontakten auf der ganzen Welt zur Seite. Mit den Beratungs- und Finanzierungslösungen unseres internationalen Netzwerks kennt Ihr Erfolg keine Grenzen. Mehr dazu bei Ihrem Berater oder auf [www.sparkasse.de/international](http://www.sparkasse.de/international). **Wenn's um Geld geht – Sparkasse.**

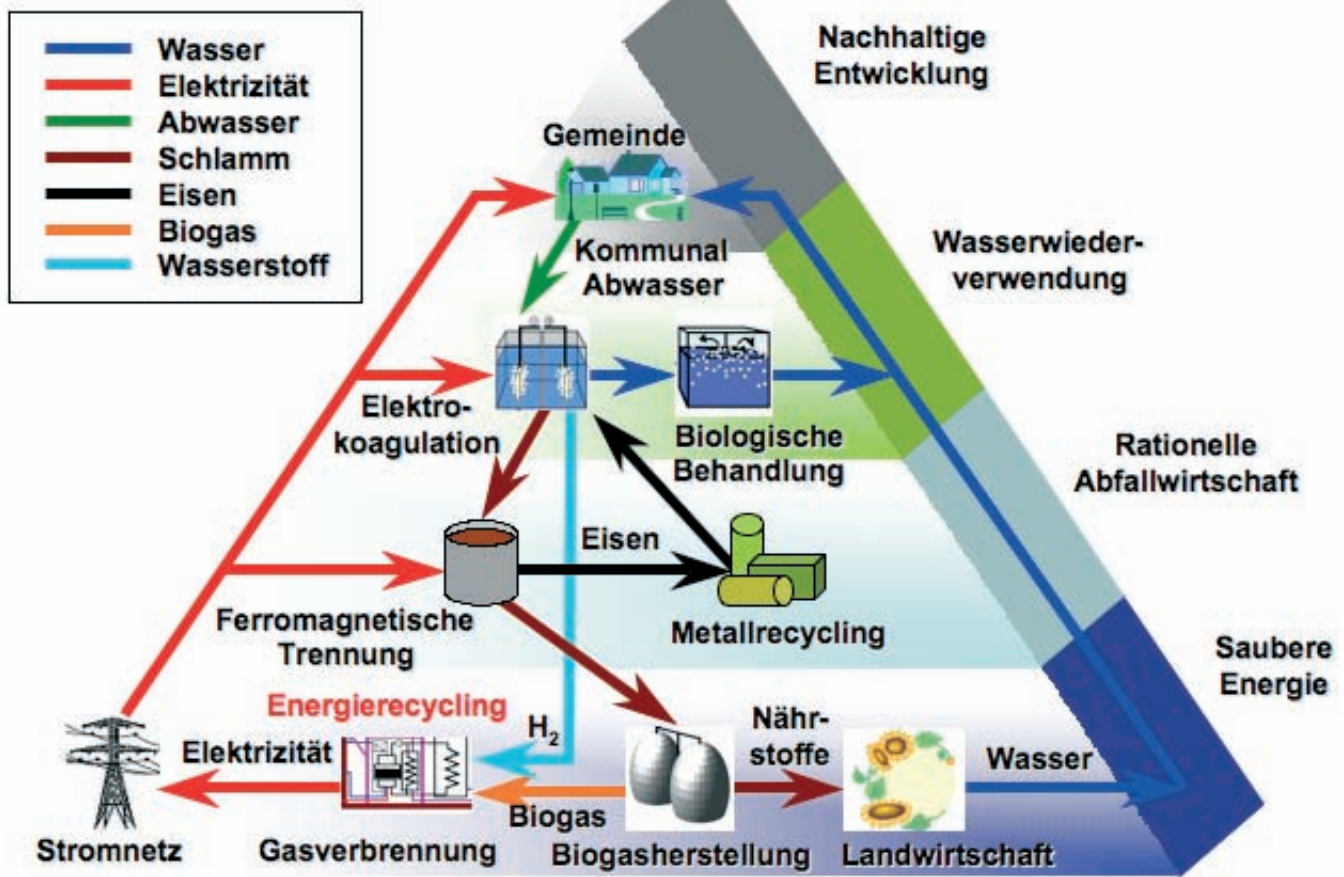


Bild 6: Konzept zur autarken Behandlung kommunaler Abwässer als geschlossener Kreislauf von Abfall, Energie und Wasser mit der Elektrokoagulation als Kernkomponente.

ne schematische Darstellung der wichtigsten Synergien unserer interdisziplinären Forschungsgebiete in Richtung auf den Entwurf, die Erprobung und Umsetzung von vielversprechenden Maßnahmen, um nachhaltige Lösungen für einen bewussten Umgang mit Wasserressourcen bewerten zu können. Dafür ist es entscheidend, Synergien zwischen technischen aber auch politischen und sozialen Bereichen zu schaffen. In diesem Sinn werden am Institut für Politische Wissenschaft, am Beispiel von unterentwickelten Ländern, die benötigten soziopolitischen Rahmenbedingungen analysiert, um den Transfer von nachhaltigen Technologien wie die Elektrokoagulation zu ermöglichen. Diese Forschung ist ein Teil des Programms der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit zur Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung in kleinen und mittleren Städten Boliviens, kurz PROAPAC.

Im Kontext des dezentralen Abwasserreinigungskonzeptes zum Schutz von Umwelt und Wasserressourcen in Regionen mit mangelnder Infrastruktur und Katastrophengebieten forscht das Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie daher gemeinsam mit dem Institut für Hygiene und Umweltmedizin im Bereich der Desinfektion von kommunalem Abwasser im Verbund mit der Kläranlage Aachen-Soers des Was-

serverbands Eifel-Ruhr. Im Vordergrund steht hier die Effizienz der Elektrokoagulation zur Entfernung mikrobiologischer Belastungen wie Bakterien oder Viren aus häuslichem Abwasser, damit wir uns auch zukünftig keine Sorgen über die Wiederverwendung von Wasser in unseren Haushalten machen müssen.

Bild 8 zeigt das Vorhandensein von Fekalbakterien in Kommunalabwasser nach unterschiedlichen Behandlungsdauern durch Elektrokoagulation. Nach zehn Minuten Behandlung zeigt sich eine mehr als 100.000-fache Reduktion der anwesenden Bakterien, gemessen als sogenannte koloniebildende Einheiten pro Milliliter, KBE/ml. Diese Gesamtkeimzahl darf nach der deutschen Trinkwasserverordnung nicht über 100 KBE/ml für leitungsgeführtes Trinkwasser aus Brunnen und nicht über 1000 KBE/ml für vorübergehend in Tanks aufbewahrtes Trinkwasser betragen. Die mit den bisherigen Experimenten zur elektrochemischen Reinigung mittels Elektrokoagulation erreichten Keimzahlen liegen mit 2500 KBE/ml dicht über dem Grenzwert für Trinkwasser, dennoch kann sie als vielversprechende Technologie zur Desinfektion von Kommunalabwasser für die Wiederverwendung als Nutzwasser angesehen werden.

Durch seine Effizienz und Zuverlässigkeit kann das entwickelte Verfahren zur Abwas-

serreinigung mittels Elektrokoagulation maßgeblich zur Verbesserung der Lebensqualität von Milliarden Menschen beitragen, insbesondere da laut Weltgesundheitsorganisation 88 Prozent der Krankheiten in den Entwicklungsländern auf unsauberes Trinkwasser und mangelnde Hygiene zurückzuführen sind. Aber auch in den entwickelten Regionen der Welt ist sauberes Frischwasser eine von Natur aus knappe Ressource, deren Verfügbarkeit in Zeiten fortschreitender Industrialisierung immer seltener wird. Deswegen müssen wir zukünftig in der Lage sein, in allen Regionen der Welt aus Abwasser wieder sauberes Nutzwasser zu generieren.

[www.ime-aachen.de](http://www.ime-aachen.de)  
[www.hygiene.ukaachen.de](http://www.hygiene.ukaachen.de)  
[www.ipw.rwth-aachen.de](http://www.ipw.rwth-aachen.de)

Autoren:  
 Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Wolfgang Dott ist Inhaber des Lehrstuhls für Hygiene und Umweltmedizin. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich ist Inhaber des Lehrstuhls für Metallurgische Prozesstechnik. Lika Gobronidze, MA. ist Doktorandin am Institut für Politische Wissenschaft. MSc.-Ing. Jackson Rodriguez ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie. Univ.-Prof. Dr.rer.pol. Ralph Rotte ist Professor am Institut für Politische Wissenschaft, Internationale Beziehungen/Politische Ökonomie.

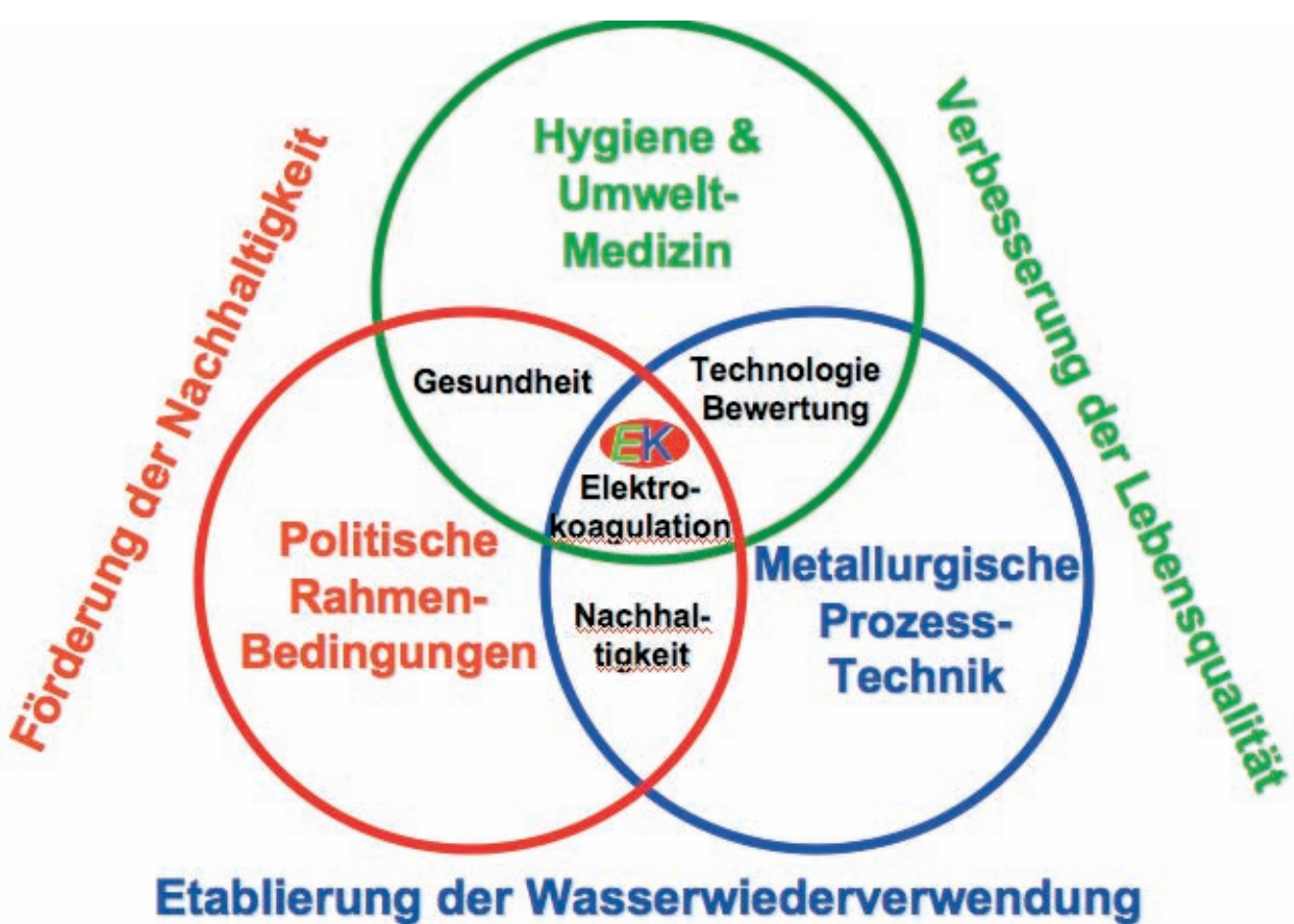


Bild 7: Synergien der interdisziplinären Forschung zur nachhaltigen Wasserwiederverwendung.

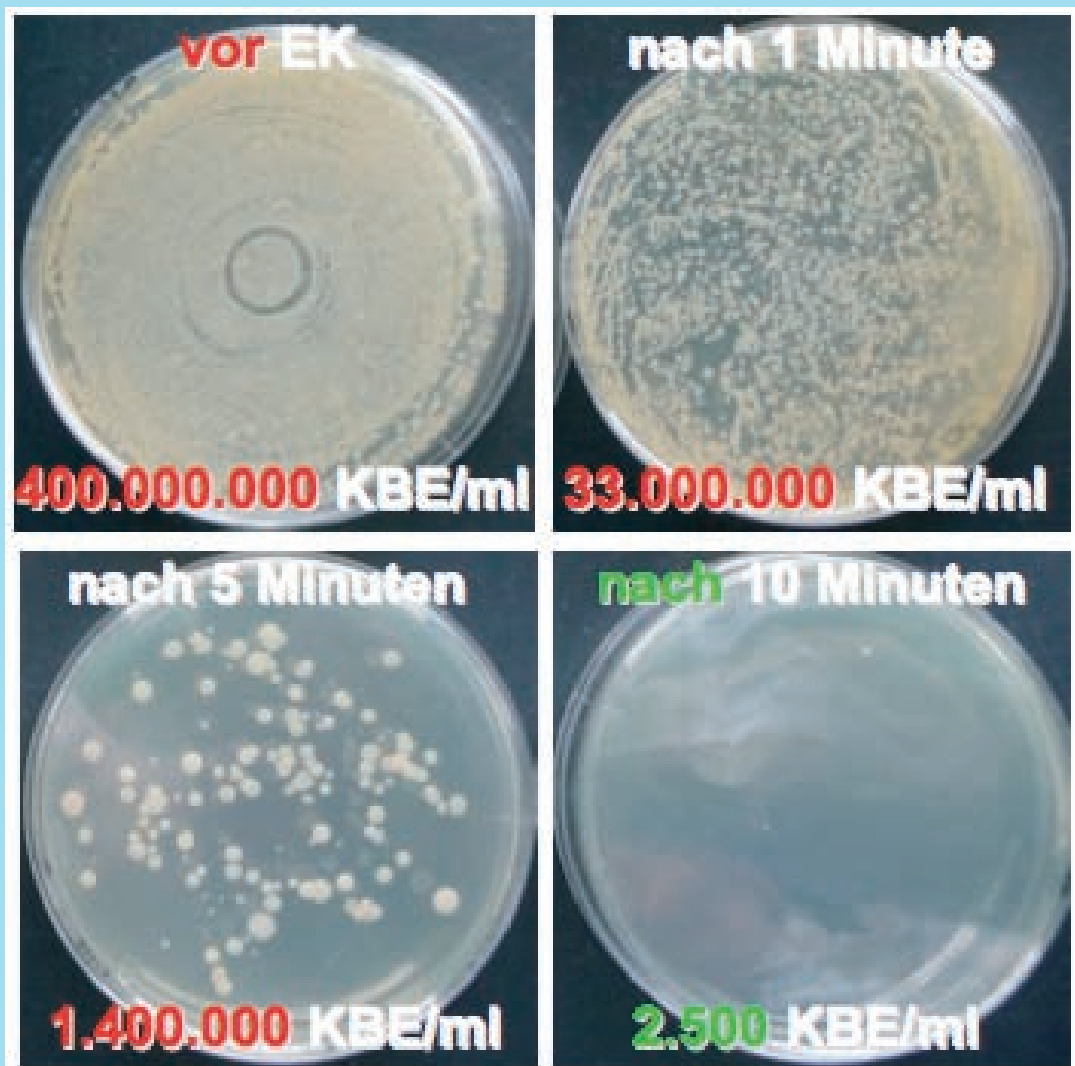


Bild 8: Nachweis von Fekalbakterien aus Kommunalabwasser nach unterschiedlichen Behandlungsdauern durch Elektrokoagulation, Anzucht auf CASO-Agar, 37°C.