



Abwasser wird, wie hier in Guben, zurzeit noch mit hohem Energieaufwand geklärt. In Zukunft lässt sich daraus womöglich Energie gewinnen.

FOTO: RAINER WEISFLOG

## Strom aus Dreck

Abwasser ist eine wertvolle Ressource: Daraus lassen sich Treibstoff, Dünger und Papier gewinnen. Nun bauen israelische Forscher sogar ein kleines Kraftwerk, das mit Schmutzwasser betrieben wird

VON CHRISTOPH BEHRENS

Zugegeben, es sieht alles etwas improvisiert aus, was Yair Wejsbaum da in seinem Labor bei Tel Aviv zusammenbraut. Überall pappt Klebeband, kleine Pumpen treiben eine trübe Flüssigkeit durch Schläuche. Ein Trichter sieht aus wie aus dem Baumarkt, und im Inneren eines fassförmigen Reaktors prangt ein Kabelknäuel. Am Ende des Versuchsaufbaus steht ein leerer Kaffeebehälter, in ihn tropft sauberes Wasser, obwohl Wejsbaum zu Beginn eine dreckige Brühe in die Anlage gefüllt hat. Man könnte das Endprodukt trinken, sagt der hochgewachsene Wissenschaftler. Doch das alles ist Nebensache. Der eigentliche Erfolg des Chemikers und seiner Firma Emefcy lässt sich an einem Gerät oberhalb der Versuchsanordnung ablesen: Rund ein Ampere, zeigt der Zeiger an. Wejsbaum macht Strom aus Abwasser.

Der chemische Reaktor der Israelis soll somit nicht nur energiesparend Wasser reinigen, sondern sogar Energie erzeugen. Mikrobielle Brennstoffzelle heißt diese Idee. Schon 1911 entdeckte Michael Potter von der Universität Durham, dass Bakterien beim Abbau von organischem Material – etwa Dreck im Abwasser – Elektronen und Protonen freisetzen. „Bis jetzt hat nur noch niemand einen Weg gefunden, diese Energie wirtschaftlich anzuzapfen“, sagt Yair Eldar, ein Manager bei Emefcy.

Gut 100 Jahre nach Potters Entdeckung meint das Start-up-Unternehmen, den Durchbruch geschafft zu haben. Das entscheidend Neue spielt sich dabei im Inneren von Wejsbaums Reaktor ab, der etwa so groß wie eine Regentonne ist. Die Israelis haben darin eine Art plattdruckten Schlauch untergebracht, durch den das Abwasser gut 100 Meter weit spiralförmig fließt. Die Außenhaut des Schlauchs besteht aus einer atmungsaktiven Kunststoffmembran, sie lässt Luft hinein, aber kein Wasser hinaus. Im Inneren hat Wejsbaum einen Stromkreis aufgebaut, der sich über die gesamte Länge des Schlauchs zieht. An der einen Elektrode wachsen Mikroben namens *Shewanella oneidensis* und *Geobacter sulfurreducens*; sie bauen den Schmutz des vorbeiströmenden Was-

sers ab und setzen dabei Elektronen und Protonen frei. Letztere driften durch den Schlauch zur Kathode, die an der Innenwand des luftdurchlässigen Schlauchs liegt. Indem die zugehörigen Elektronen über Kabel aus dem Schlauch hinaus- und wieder hinein führen, verrichten sie elektrische Arbeit. An der Kathode wird schließlich aus den wiedervereinigten geladenen Teilchen und Sauerstoff reines Wasser. Die freien Elektronen zu kontrollieren, gilt seit Jahren als Knackpunkt dieser Technik, denn die Ladungsträger sind nur mit Kniffen aus der Lösung herauszubekommen.

Die Industrie könnte solch eine Innovation gut brauchen, denn Wasseraufbereitung kostet derzeit viel Energie. Um auf der Welt sauberes Wasser zu erzeugen, braucht es 80 000 Megawatt, schätzen die Analysten von Global Water Intelligence, was etwa der Leistung von 80 Kernkraftwerken entspricht. Besonders viel Strom ist nötig, um in Klärbecken Sauerstoff zu den Bakterien zu pumpen. Die Technik dafür hat sich seit Jahrzehnten im Kern nicht geändert, und viele herkömmliche Anlagen sind veraltet: Experten schätzen, dass allein in den USA in den nächsten zwölf Jahren 202 Milliarden Dollar Investitionen nötig sind, um die bestehenden Kläranlagen weiter zu betreiben.

### 202 Milliarden Dollar für die Renovierung alter Kläranlagen

Dass Mikroben als Stromlieferanten diese Rechnungen völlig umkremplen und aus Schlamm- Goldgruben machen können, ist derzeit noch unwahrscheinlich. Es gebe zwar fast täglich eine neue Publikation zu dem Thema, sagt Zhen He von der Universität Wisconsin-Milwaukee – insgesamt rund 4000 Publikationen –, doch gerade an den Universitäten testen die Wissenschaftler meist nur mit sehr kleinen Wassermengen von unter einem Liter. „Das Hauptziel der Zellen muss sein, Energie zu sparen, nicht zu erzeugen“, sagt He, der seit acht Jahren an der Technik forscht.

Doch auch He betont vorsichtig die Vorteile: So entstehe in biologischen Brennstoffzellen auch bis zu 80 Prozent weniger bakterieller Klärschlamm, der für einen

Teil des hohen Energieverbrauchs verantwortlich ist, weil er im Nachhinein entfernt werden muss. Da man in Brennstoffzellen einen Teil der freien Ladungsträger abzapft, können sich Bakterien dort nicht so gut vermehren und Klärschlamm bilden.

Doch bei der wichtigen Frage, wie viel Strom die Mikroben liefern können, streiten die Experten noch. „Biologische Brennstoffzellen können niemals zu großen Energieproduzenten werden“, ist He überzeugt. „Das sehen wir total anders“, widerspricht Yair Eldar von Emefcy. Allein in den vergangenen drei Wochen habe seine Firma die Energieausbeute fast verdoppeln können. Wie genau, verrät er nicht. Das Geheimnis scheint wohl im Material zu liegen, das die Elektronen einfängt – eine Art Kohlenstofffaser. „Wir sprechen über Strommengen, die man auch an Energieanbieter weiterverkaufen könnte“, sagt Eldar. Da es sich um umweltfreundlich erzeugten Strom handelt, ist das besonders in Deutschland interessant – denn für die Einspeisung könnten Betreiber zusätzlich Subventionen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) erhalten. Vorsichtig geschätzt könnte eine mittelgroße Anlage wohl rund zwei Kilowatt Strom liefern, etwa so viel wie drei bis fünf Einfamilienhäuser mit Photovoltaik-Modulen.

Die Technik hat sicher ihre Grenzen – die Brennstoffzellen eignen sich eher für die Landwirtschaft oder die Nahrungsmittelindustrie als für große Städte. Doch zumindest scheint der Stein ins Rollen gekommen zu sein, denn Emefcy ist nicht allein: Auch Siemens investiert seit einigen Jahren verstärkt in die kleinen Stromlieferanten und baut kaum beachtet an einer Pilotanlage; ein Team von Craig Venter Institute tüftelt ebenfalls daran. Hinter Emefcy selbst steht ein Konsortium um General Electric als Investor. Bereits 2007 zeigte der Ingenieur Jurg Keller von der australischen Queensland Universität, dass die Mikroben auch in größerem Maßstab Strom liefern: Er rüstete die Abwasseranlage der Brauerei Foster's mit einer Mikroben-Brennstoffzelle aus.

Antrieb für die Investoren ist vor allem der neue Gedanke, Abwasser als Ressource zu betrachten. „Es gibt sehr viel Wertvol-

les, das man im Abwasser finden kann“, erklärte der Stanford-Professor Craig Criddle schon 2009. Das muss nicht unbedingt Strom sein: Auch die Grundstoffe für Zellulose lassen sich mit recht einfachen Mitteln aus der Brühe herausfiltern – die israelische Firma Applied Cleantech stellt daraus seit diesem Jahr Papier her. Aus Nährstoffen wie Phosphaten und Nitraten im Abwasser macht Ostara Nutrient Recovery Technologies in Kanada umweltschonenden Dünger; die Bakterien selbst verarbeitet ein US-Unternehmen zu Fischfutter.

### 280 Liter Biodiesel aus 400 Kilogramm alter Butter

Selbst Treibstoff kann man aus Abwasser erzeugen. Basis dafür ist Fett, das zum Beispiel Restaurants in den Abguss kippen. Um dies zu demonstrieren, wagten die Ingenieure von Blackgold Biofuels aus den USA ein Experiment: Eine aus Butter gebaute, 400 Kilogramm schwere Statue von Benjamin Franklin blieb 2007 auf der Landwirtschaftsmesse des US-Bundesstaats Pennsylvania übrig, die Veranstalter wussten nichts damit anzufangen. Blackgold verwandelte das Fett öffentlichkeitswirksam in 280 Liter Biodiesel, durch eine recht einfache chemische Spaltung mithilfe von Methanol. Auch Fette und Öle im Abwasser können so zu Sprit werden. Mittlerweile setzt etwa die Stadt San Francisco das System von Blackgold ein.

Doch auch ohne Energieerzeugung könnten Bioreaktoren Erstaunliches leisten. So entdeckte Emefcy eher per Zufall, dass allein ihre atmungsaktive Membran einen Fortschritt darstellt: „Wenn man die Energieerzeugung weglässt, haben wir immer noch etwas, das niemand vorher probiert hat“, sagt Eldar. Das Abwasser allein durch die Membran zu schicken, erzeuge zwar keinen Strom, brauche aber auch bis zu 90 Prozent weniger als bisher. Weil die Membran so dünn und durchlässig sei, reiche schon der Atmosphärendruck aus, um den Bakterien darin Luft zu liefern; die hohen Kosten für die Sauerstoffpumpen fallen weg. Allein mit der rudimentären Hülle der mikrobiellen Brennstoffzelle baut die Firma nun drei Anlagen.