



Bioplastik aus Abwasser gewinnen

21. Februar 2023 | Claudia Carle
Themen: Abwasser

Kläranlagen können mehr als Abwasser reinigen. In Zukunft sollen sie auch Ressourcen zurückgewinnen. Ein Ansatz, den Forschende der Eawag verfolgen, ist die Umwandlung des im Abwasser enthaltenen organischen Kohlenstoffs in Bioplastik mit Hilfe von Bakterien.

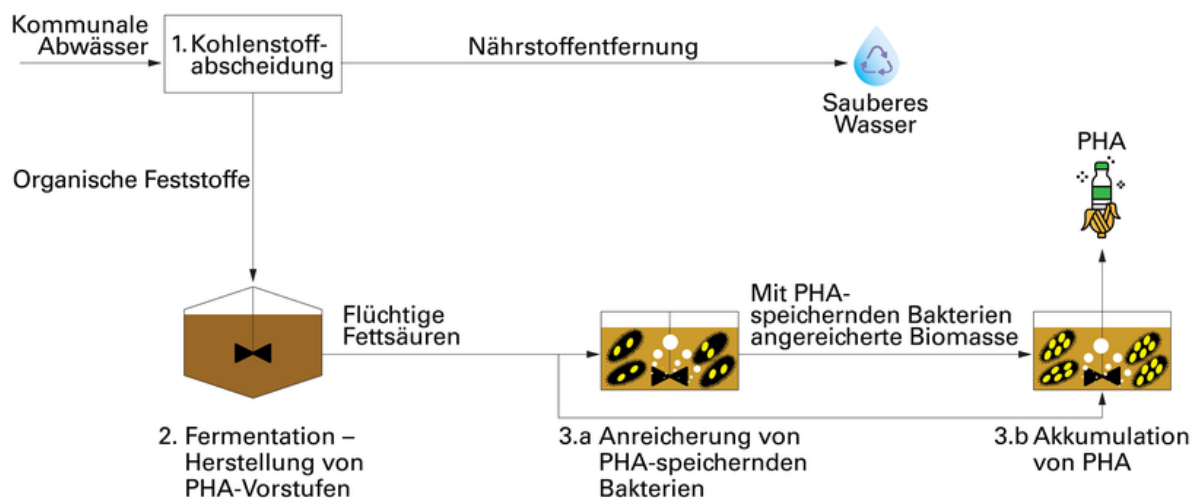
Die Reinigung von Abwasser zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Gewässer ist nach wie vor die primäre Aufgabe von Kläranlagen. Daneben wird auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft aber auch die Rückgewinnung von Ressourcen immer wichtiger. Abwasser enthält beispielsweise viel organischen Kohlenstoff, der häufig in Methan zur Energieerzeugung umgewandelt wird. Antoine Brison und Nicolas Derlon von der Abteilung Verfahrenstechnik der Eawag haben nun untersucht, ob und wie sich aus dem organischen Kohlenstoff stattdessen Biokunststoff als höherwertiges Produkt gewinnen liesse. Sie arbeiten dafür mit Bakterien, die organischen Kohlenstoff in Form von Polyhydroxyalkanoaten (PHA) speichern können. Diese Biopolymere dienen den Bakterien als Energie- und Kohlenstoffquelle. Sie können aus den Bakterienzellen extrahiert und zu biologisch abbaubarem Kunststoff weiterverarbeitet werden.

Liesse sich Bioplastik aus Abwasser gewinnen, böte das einige Vorteile gegenüber der heutigen Herstellung. PHAs werden derzeit aus Primärrohstoffen wie Zucker oder Pflanzenölen unter sterilen Bedingungen produziert. Das führt zu hohen Produktionskosten, weshalb PHA-Bioplastik trotz seiner attraktiven Eigenschaften bisher nicht mit Kunststoffen auf Erdölbasis konkurrieren kann und daher ein Nischenprodukt bleibt. Die Verwendung von organischem Kohlenstoff aus Abwasser, das kostenlos zur Verfügung steht, sowie die Verwendung von mikrobiellen Mischkulturen, die keine energieintensiven, sterilen Bedingungen erfordern, sind daher ein vielversprechender Ansatz.

Für die Produktion dieser Biokunststoffe aus Abwasser braucht es drei Schritte: Zuerst muss möglichst viel des organischen Kohlenstoffs aus dem Abwasser gewonnen werden. Anschliessend muss dieser

Kohlenstoff zu flüchtigen Fettsäuren vergoren werden, den Vorstufen der PHA. In dem Fettsäure-reichen Substrat können die Forschenden schliesslich gezielt PHA-Speicher-Bakterien züchten.

Vom Abwasser zum Biokunststoff PHA



Vom Abwasser zum Biokunststoff PHA (Grafik: Eawag)

Platzsparende Mikrosiebe zum Abscheiden des Kohlenstoffs

Für die Abscheidung des organischen Kohlenstoffs aus dem Abwasser verglichen die Forschenden zwei verschiedene Methoden: Zum einen die in den meisten Kläranlagen vorhandenen Vorklärbecken, zum anderen Mikrosiebe als alternative Abscheidetechnologie. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Methoden organischen Kohlenstoff gleichermassen effizient aus dem Abwasser abscheiden können. Besonders hoch war die Ausbeute, wenn dem Abwasser zuvor Flockungsmittel zugesetzt wurde, so dass sich kleinere Partikel zu grösseren zusammenklumpten und damit besser abgeschieden werden konnten. Auf diese Weise konnten rund 60% des im Abwasser enthaltenen organischen Kohlenstoffs gewonnen werden.

Bei der Fermentation des mit den beiden Abscheidetechnologien gewonnenen Kohlenstoffs, entstanden Substrate, die eine ähnliche Zusammensetzung und Menge an Fettsäuren aufwiesen und sich daher gleichermassen für die Produktion von PHA-Kunststoff eignen. Ein grosser Vorteil von Mikrosieben ist jedoch, dass sie deutlich kleiner sind – ihr Platzbedarf beträgt nur etwa 10 bis 15 % desjenigen von Vorklärbecken. Das hat auch einige Schweizer Kläranlagen überzeugt, wie etwa die Kläranlage Sihltal (Zürich), die ab 2023 Mikrosiebe einsetzen werden.



Mit diesen Mikrosieben lässt sich der organische Kohlenstoff genauso effizient aus dem Abwasser abscheiden wie in den bisher üblichen Vorklärbecken, nur brauchen die Siebe deutlich weniger Platz. (Foto: Huber)

PHA-Speicher-Bakterien in nährstoffarmen Milieus im Vorteil

Für die Produktion von PHA-Kunststoffen muss auf dem Fettsäure-reichen Ausgangssubstrat eine Biomasse gezüchtet werden, die viele PHA-Speicher-Bakterien enthält. Die Forscher untersuchten daher, unter welchen Bedingungen diese Bakterien am besten wachsen und sich gegenüber anderen, nicht PHA-speichernden Bakterien durchsetzen können. Da PHA Speicherstoffe sind, die Bakterien nur bei erschwerten Wachstumsbedingungen bilden, etwa wenn ein wichtiger Nährstoff wie Phosphor fehlt, lag die Vermutung nahe, dass Nährstoffmangel ein Selektionsvorteil für PHA-Speicher-Bakterien sein könnte. Die Forscher experimentierten daher in der Eawag-Versuchshalle mit synthetischem Abwasser mit unterschiedlichen Verhältnissen von Kohlenstoff zu Phosphor. Sie stellten fest, dass der Anteil der PHA-Speicher-Bakterien in der mikrobiellen Gemeinschaft tatsächlich zunahm, wenn die Phosphor-Verfügbarkeit abnahm. Im optimalen Fall dominierten die PHA-Speicher-Bakterien mit über 90%, bildeten gleichzeitig auch am meisten PHA-Kunststoff und reinigten das Abwasser komplett von Kohlenstoff und Phosphor.

Anschliessend wurden die Versuche mit realem Abwasser durchgeführt, dessen Zusammensetzung im Laufe des 150 Tage dauernden Versuchs schwankte. Obwohl die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff dadurch nicht durchgehend limitierend waren, lagen am Schluss des Versuches bis zu 70% der Biomasse in Form von PHA vor.

Einsatzmöglichkeiten von Bioplastik aus Abwasser

Noch braucht es weitere Untersuchungen, um die Prozesse zur Gewinnung von Biokunststoff aus Abwasser besser zu verstehen und zu optimieren, bevor Pilotversuche in öffentlichen Kläranlagen stattfinden können.

Aber wo sehen die Forschenden die Einsatzmöglichkeiten, wenn sich eines Tages tatsächlich Bioplastik aus Abwasser gewinnen lässt? «Selbst, wenn diese Kunststoffe eines Tages wirtschaftlich rentabel sind, wäre es unmöglich, sie in solchen Mengen zu produzieren, um die Nachfrage der Gesellschaft nach ihren erdölbasierten Pendanten zu decken», meint Antoine Brison. Ein gewichtiges Hindernis für die Nutzung von Biokunststoff aus Abwasser ist


```

debugger{display:block;text-align:left;background:#2a2a2a;border:1px solid #2a2a2a;box-
shadow:0 3px 0 rgba(0,0,0,.5);color:#000;margin:20px;overflow:hidden;border-radius:4px}.ext
base-debugger-floating{position:relative;z-index:999}.extbase-debugger-
top{background:#444;font-size:12px;font-family:monospace;color:#f1f1f1;padding:6px
15px}.extbase-debugger-center{padding:0 15px;margin:15px 0;background-image:repeating-
linear-gradient(to bottom,transparent 0,transparent 20px,#252525 20px,#252525
40px)}.extbase-debugger-center,.extbase-debugger-center .extbase-debug-string,.extbase-
debugger-center a,.extbase-debugger-center p,.extbase-debugger-center pre,.extbase-
debugger-center strong{font-size:12px;font-weight:400;font-family:monospace;line-
height:20px;color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center pre{background-color:transparent;margin:
0;padding:0;border:0;word-wrap:break-word;color:#999}.extbase-debugger-center .extbase-
debug-string{color:#ce9178;white-space:normal}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
type{color:#569CD6;padding-right:4px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
unregistered{background-color:#dce1e8}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered,.extbase-debugger-center .extbase-debug-proxy,.extbase-debugger-center .extbase-
debug-ptype,.extbase-debugger-center .extbase-debug-visibility,.extbase-debugger-center
.extbase-debug-scope{color:#fff;font-size:10px;line-height:12px;padding:2px 4px;margin-
right:2px;position:relative;top:-1px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
scope{background-color:#497AA2}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
ptype{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
visibility{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
dirty{background-color:#FFFFB6}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered{background-color:#4F4F4F}.extbase-debugger-center .extbase-debug-seeabove{text-
decoration:none;font-style:italic}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
property{color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
closure{color:#9BA223;}Extbase Variable Dumparray(2 items) publications => '24329,25618'
(11 chars) libraryUrl => '' (0 chars) Extbase Variable Dumparray(2 items) 0 =>
Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=24329,
pid=124) originalId => protected24329 (integer) authors => protected'Brison,&nbsp;A.;
Rossi,&nbsp;P.; Gelb,&nbsp;A.; Derlon,&nbsp;N.' (63 chars) title => protected'The capture
technology matters: composition of municipal wastewater solids d
rives complexity of microbial community structure and volatile fatty acid pr
ofile during anaerobic fermentation' (187 chars) journal => protected'Science of the Total
Environment' (32 chars) year => protected2022 (integer) volume => protected815 (integer)
issue => protected'' (0 chars) startpage => protected'152762 (13 pp.)' (15 chars) otherpage =>
protected'' (0 chars) categories => protected'volatile fatty acids; fermentation of municipal
wastewater solids; micro-sie
ve; high-rate activated sludge; thermal-alkaline pre-treatment; anaerobic mi
crobial community structure' (179 chars) description => protected'The production of
volatile fatty acids (VFAs) represents a relevant option t
o valorize municipal wastewater (MWW). In this context, different capture te
chnologies can be used to recover organic carbon from wastewater in form of
solids, while pre-treatment of those solids has the potential to increase VF
A production during subsequent fermentation. Our study investigates how VFA
composition produced by fermentation is influenced (i) by the choice of the
capture technology, as well as (ii) by the use of thermal alkaline pre-treat
ment (TAP). Therefore, the fermentation of solids originating from a primary
settler, a micro-sieve, and a high-rate activated sludge (HRAS) system was

```

investigated in continuous lab-scale fermenters, with and without TAP. Our study demonstrates that the capture technology strongly influences the composition of the produced solids, which in turn drives the complexity of the fermenter's microbial community and ultimately, of the VFA composition. Solids captured with the primary settler or micro-sieve consisted primarily of polysaccharides, and led to the establishment of a microbial community specialized in the degradation of complex carbohydrates. The produced VFA composition was relatively simple, with acetate and propionate accounting for >90% of the VFAs. In contrast, the HRAS system produced biomass-rich solids associated with higher protein contents. The microbial community which then developed in the fermenter was therefore more diversified and capable of converting a wider range of substrates (polysaccharides, proteins, amino acids). Ultimately, the produced VFA composition was more complex, with equal fractions of isoacids and propionate (both ~20%), while acetate remained the dominant acid (~50%). Finally, TAP did not significantly modify the VFA composition while increasing VFA yields on HRAS and sieved material by 35% and 20%, respectively. Overall, we demonstrated that the selection of the technology used to capture organic subst...'

(2119 chars) serialnumber => protected'0048-9697' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.scitotenv.2021.152762' (31 chars) uid => protected24329 (integer) _localizedUid => protected24329 (integer)modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected24329 (integer)modified pid => protected124 (integer) 1 => Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=25618, pid=124) originalId => protected25618 (integer) authors => protected'Brison, A.; Rossi, P.; Derlon, N.' (48 chars) title => protected'Influent carbon to phosphorus ratio drives the selection of PHA-storing organisms in a single CSTR' (98 chars) journal => protected'Water Research X' (16 chars) year => protected2022 (integer) volume => protected16 (integer) issue => protected" (0 chars) startpage => protected'100150 (11 pp.)' (15 chars) otherpage => protected" (0 chars) categories => protected'polyhydroxyalkanoates (PHAs); dual carbon and phosphorus limitation; growth conditions; cellular phosphorus requirements; biomass PHA content; long-term selection' (162 chars) description => protected'Enriching a biomass with a high fraction of polyhydroxyalkanoate-storing organisms (PHA-storers) represents an essential step in the production of PHAs (bioplastics) from municipal wastewater using mixed microbial cultures. A major challenge is however to create selective growth conditions that are favorable to PHA-storers. Our study thus investigates to what extent the influent COD to phosphorus (COD:P) ratio can be used as a tool for the robust selection of PHA-storers in a single continuous-flow stirred-tank reactor (CSTR). Therefore, we operated five CSTRs in parallel, fed with synthetic wastewater (50% acetate - 50% propionate) with different COD:P ratios (200?1000 gCOD gP^{?1}), and performed a detailed analysis of the microbial communities over long-term (30?70 solid retention times). Our study demonstrates that efficient and robust selection of PHA-storers can be achieved in a single CSTR at high influent COD:P ratios. The selective advantage for PHA-storers increases with the influent COD:P ratio, but only if growth conditions remain limited by both C-substrate and P. In contrast, selection performance deteriorates when COD:P ratios are too high and growth conditions are li

mitted by P only. At an optimal COD:P ratio of 800 gCOD gP⁻¹, a stable microbial community consisting of >90% PHA-storers and dominated by *Pannonibacter* sp. was selected in the long-term. Finally, our results suggest that high COD:P ratios provide a selective advantage to microorganisms with low cellular P requirements, explaining why different PHA-storers (i.e., *Xanthobacter* sp. vs. *Pannonibacter* sp.) were selected depending on the influent COD:P ratio (i.e., 200 vs. 800 gCOD gP⁻¹). Overall, our results provide relevant insights for the development of a new approach for selecting PHA-storers, based on the use of a single CSTR and control of the influent COD:P ratio.' (1919 chars) serialnumber => protected'2589-9147' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.wroa.2022.100150' (26 chars) uid => protected25618 (integer) _localizedUid => protected25618 (integer)modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected25618 (integer)modified pid => protected124 (integer) Brison, A.; Rossi, P.; Gelb, A.; Derlon, N. (2022) The capture technology matters: composition of municipal wastewater solids drives complexity of microbial community structure and volatile fatty acid profile during anaerobic fermentation, *Science of the Total Environment*, 815, 152762 (13 pp.), doi:10.1016/j.scitotenv.2021.152762, Institutional Repository Brison, A.; Rossi, P.; Derlon, N. (2022) Influent carbon to phosphorus ratio drives the selection of PHA-storing organisms in a single CSTR, *Water Research X*, 16, 100150 (11 pp.), doi:10.1016/j.wroa.2022.100150, Institutional Repository

Brison, A., Rossi, P. and Derlon, N. (2023): Single CSTR can be as effective as an SBR in selecting PHA-storing biomass from municipal wastewater-derived feedstock. *Water Research X*, Vol. 18. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914723000014>

Finanzierung / Kooperationen

Eawag EPFL

Links

Langzeitdünger mit PHA-Hülle

Selbstreparierender Beton

Kontakt



Nicolas Derlon

Tel. +41 58 765 5378

nicolas.derlon@eawag.ch



Claudia Carle

Wissenschaftsredaktorin

Tel. +41 58 765 5946

claudia.carle@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/newsarchiv/archiv-detail/bioplastik-aus-abwasser-gewinnen>