Jürgen Wiese, Nachhaltiges Wasser-management und Infrastrukturen

KICKSTARTWEBINAR

Verborgene Schätze

Wie Abwasser zur Energie- und Rohstoffquelle wird

Online, 21.3.2025

Fraunhofer IFF

1. Einleitung

Abwasser als Rohstoffquelle – (K)Eine neue Idee!?

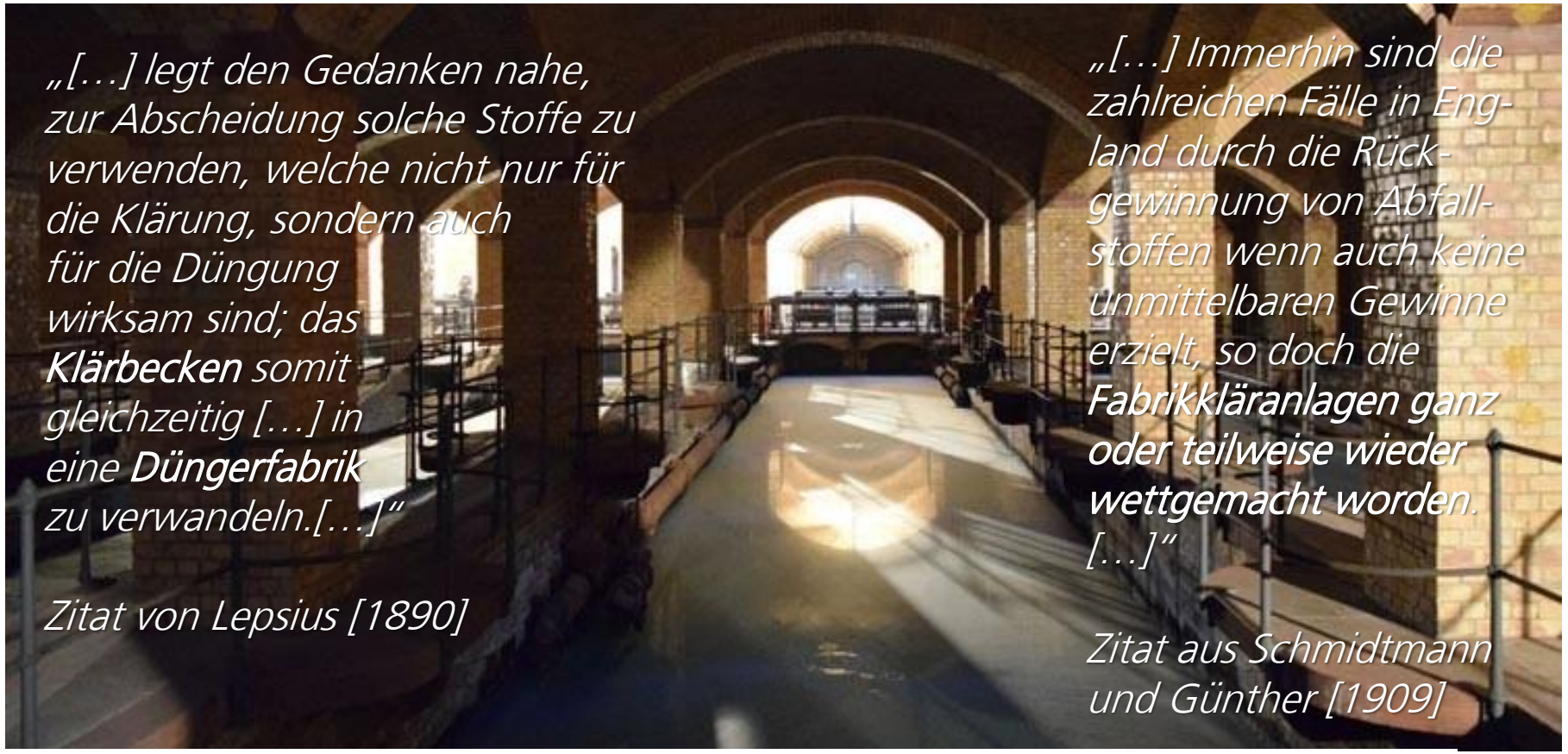


Bild: Historische Kläranlage der Stadt Frankfurt am Main von 1887
(Bildquelle: Hessisches Landesamt für Denkmalpflege)

1. Einleitung

Warum wurden diese Ansätze nicht weiterverfolgt?

- Das 20. Jahrhundert war durch günstige und scheinbar unbegrenzte Ressourcen geprägt.
- Heute haben wir eine andere Situation:
  - Energie ist teuer
  - Viele Rohstoffe sind teuer und nicht mehr unbegrenzt verfügbar
  - Die deutsche Wirtschaft ist abhängig von Import zahlreicher Rohstoffe.
  - Der Klimawandel stellt uns vor neue Herausforderungen (z. B. begrenzte Wasserverfügbarkeit in Trockenphasen, CO_2-Neutralität bis 2045).
  - Viele Stakeholder legen Wert auf Ressourceneffizienz.
  - Viele Ideen waren ihrer Zeit voraus! → Wir haben heute Techniken zur Verfügung, von denen unsere Vorfahren nur träumen konnten.
- These: **Abwasser ist wieder eine interessante Rohstoffquelle!**

© Fraunhofer

2. Energie aus Abwasser

Potentiale zur Abwasserwärmenutzung

- Viele Unternehmen produzieren warmes Abwasser (bis 70 °C), das manchmal sogar mit Energieaufwand heruntergekühlt werden muss.
- Diese Abwärme kann jedoch mittels Wärmetauschern/-pumpen genutzt werden (z. B. in Niedertemperaturtrockner).
- **Beispiel:** Das Abwasser einer Papierfabrik verfügt über eine Wärmerückgewinnungspotential von ca. 40 GWh/a.
  → Hier gibt es Schnittstellen zur kommunalen Wärmeplanung, wenn die Energie nicht selber genutzt werden kann.

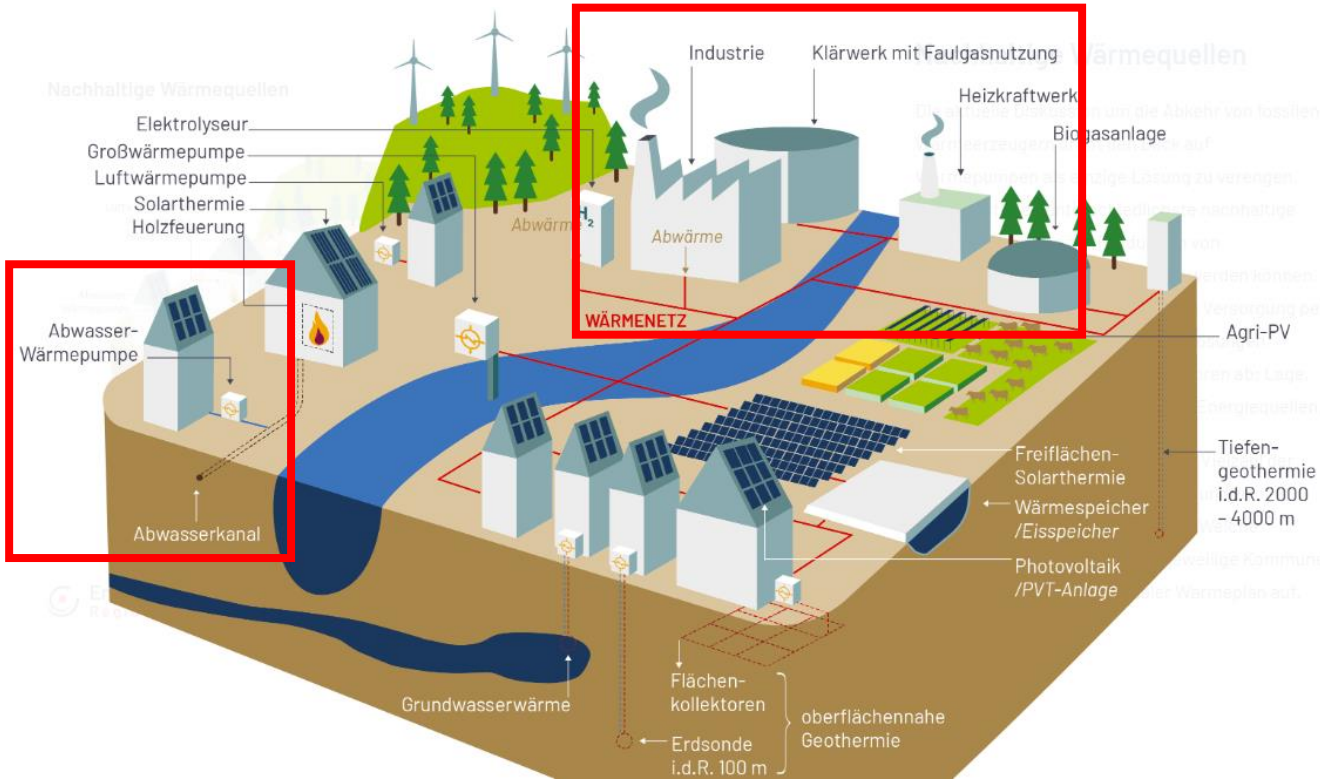


Bild: Nachhaltige Wärmequellen
(Bildquelle: Energieagentur Regio Freiburg)

© Fraunhofer

2. Energie aus Abwasser

Beispiel für Abwasserwärmenutzung

Bild: Drei je 2-stufige Wärmepumpe auf Basis von Abwasserwärme zur Versorgung eines Fernwärmenetzes (Bildquelle: Wiese)

- Das Abwasser einer Kläranlage mit 50.000 Einwohnerwerten ist wegen eines hohen Industrieanteils ganzjährig warm.
- Durch eine Temperaturabsenkung von 10 Kelvin kann eine 10 MW-Großwärme-pumpe 66 GWh/a Wärme erzeugen.
- Mit der 1-Stufe wird die Temperatur auf 45 °C angehoben. In der 2-Stufe wird ein Temperaturniveau von 75 °C erreicht, die für das Wärmenetz benötigt wird. (Datenquelle: Kalundsborg Forsyning)

© Fraunhofer

2. Energie aus Abwasser

Potentiale: Biogas aus Abwasser & organischen Reststoffen

- Viele Industrien verursachen bei der Produktion kohlenstoffreiche Abwässer sowie feste oder pastöse organische Reststoffe.
- **Beispiele:**
  - In der Lebensmittel- und Chemieindustrie gibt es Abwässer, die einen chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) von mehreren Gramm pro Liter enthalten. → Das Abwasser wird dennoch häufig stromintensiv mit O_2-basierten Verfahren behandelt.
  - Es gibt heute technische Lösungen („Anaerobe Verfahren"), die bereits ab 1,5 g/l CSB einsetzbar sind und mehr Energie produzieren als sie verbrauchen.
    Faustformel: 4 kg $CSB_{abbaubar}$ ≈ 1 kg CH_4 ≈ 13,9 kWh Heizwert
  - Manche organische Reststoffe enthalten ein Biogaspotential von mehr als 500 kWh pro Megagramm.

Bild: Pellet-förmige anaerobe Mikroorganismen aus einem UASB-Reaktor (Bildquelle: Wiese)

2. Energie aus Abwasser

Beispiel: Erdgasproduktion aus biogenen Gasen

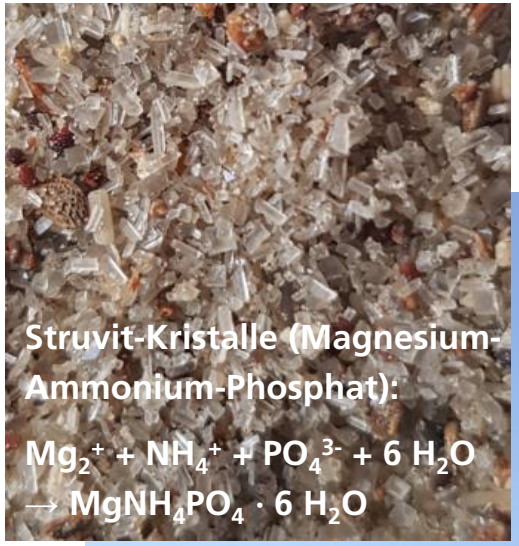
- Bisher nutzen wir Biogas meist zur Strom- und Wärmeproduktion in Kraft-Wärme-Kopplungs-anlagen. → Energetisch ist dies oft nicht optimal!
- Biogene Gase können aber auch auf Erdgasqualität aufbereitet werden.
- Einsatzmöglichkeiten für Bio-Erdgas (Auswahl):
  - Substitution von Erdgas
  - Kraftstoff
  - Energiespeicherung
  - Rohstoff für Chemieindustrie

Bild: BioErdgasaufbereitung (Druckwechseladsorption) der Biothan GmbH mit fast 50 GWh/a (Bildquelle: Wiese)

3. Phosphorrückgewinnung

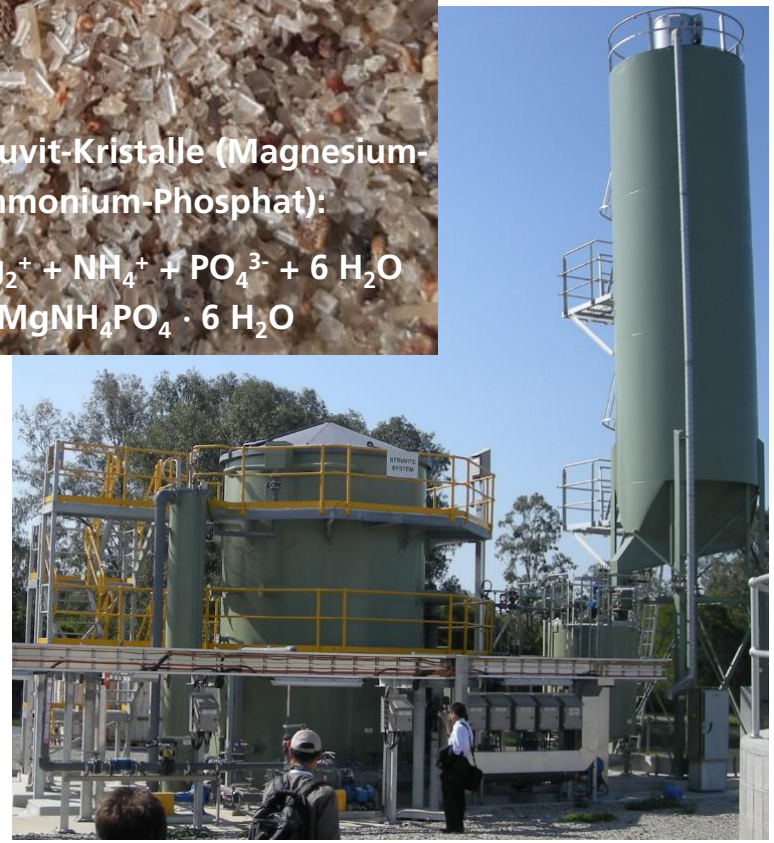
Problem: Deutschland hat keine Phosphorressourcen

- Deutschland ist von Phosphorimporten abhängig.
- Problem: Die Krisen der letzten Jahrzehnte zeigen, dass der Phosphorpreis bei Marktstörungen explodiert.
- Der Staat verpflichtet Betreiber von größeren kommunalen Kläranlagen dazu, ab 2029 Phosphor zu recyceln.
- Auch manche Industrien (z. B. Milch- & Papierfabriken, Schlachthöfe) weisen hohe Phosphorrückgewinnungs-potentiale bei Abwässern und organischen Reststoffen auf.
- Hinweis: Es gibt relativ einfache Ansätze, die zwar nicht den Vorgaben der kommunalen Klärschlammverordnung entsprechen, für industrielle Zwecke aber ausreichend und günstiger sind.



Struvit-Kristalle (Magnesium-Ammonium-Phosphat):

$Mg_2^+ + NH_4^+ + PO_4^{3-} + 6\ H_2O \rightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6\ H_2O$



Bilder: Anlage zur Rückgewinnung von Phosphor aus Schlammwasser & Struvit-Kristalle (Bildquelle: Wiese)

4. Salzrückgewinnung

Problem: Hohe Salzfrachten im Abwasser & Gewässer

- Einige Gewässer (z. B. Saale, Weser) weisen hohe Salzfrachten auf, die u.a. eine Folge industrieller Nutzung sind.
- **Beispiele:**
  - Salzbergbau
  - Entsalzungsanlagen in der Lebensmittelindustrie
  - Einsatz von Salz- und Schwefelsäure in der Chemieindustrie
- Die hohen Salzfrachten führen zu einer Nichteinhaltung der Vorgaben der seit 2001 gültigen EU-Wasserrahmenrichtline.
- **Konsequenz:** Der Druck auf die Industrie steigt, die Salzfrachten in die Gewässer deutlich zu senken.

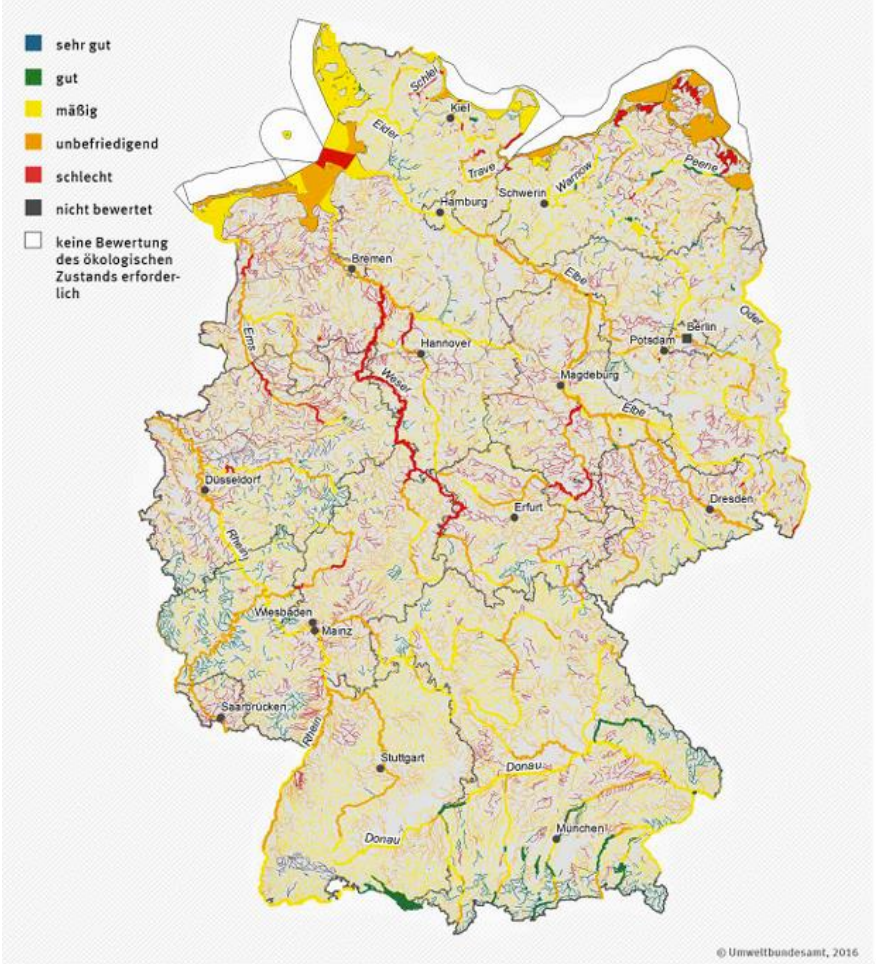


Bild: Ökologischer Zustand der Oberflächenwasserkörper in Deutschland (Bildquelle: Umweltbundesamt)

4. Salzrückgewinnung

Beispiele: Verfahren der Salzentfernung

- Es gibt zahlreiche Verfahren, Salze aus Abwasser zu entfernen (Auswahl):
  - Membrandestillation
  - Umkehrosmose
  - Ionenaustauscher
  - Kristallisationsverfahren
  - Vakuumverdampfer
  - … und viele weitere.

Jedes Verfahren hat Vor- und Nachteile!

- Aber: Das Salz sollte nicht nur entfernt werden, sondern nach Möglichkeit auch wieder-verwendet werden (z. B. für die Chlor-Alkali-Elektrolyse, Gipsprodukte).

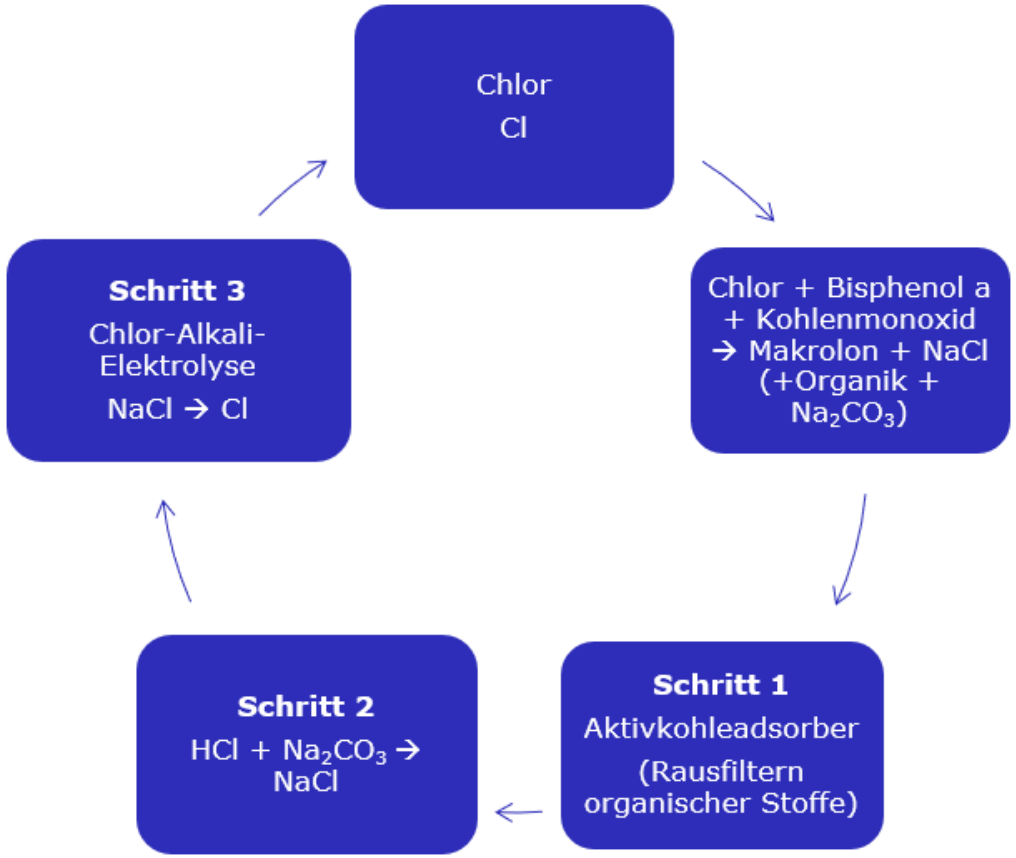


Bild: Kreislauf für salzhaltige Abwässer aus der Kunststoffherstellung (Quelle: Covestro [2016])

5. Wasserrecycling

Problem: Nutzungskonkurrenz um Wasser

- Der Wassermangel führt mancherorts bereits zu Verteilungskämpfen zwischen Trinkwasserversorgern und Industrie. → Vorrang der Trinkwasserversorgung!
- Viele Unternehmen erkennen, dass eine Reduzierung ihres Wasserverbrauchs nicht nur ihr Image verbessern kann, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll ist.
- Manche Branchen können ihre Kreislaufführung aber nicht erhöhen, da sich ansonsten einzelne Schadstoffe (z. B. AOX, EDTA) aufkonzentrieren.
- Es gilt daher, bestimmte Stoffe zielgerichtet zu entfernen.

FOCUS-online-Reportage: Grünheide

Tesla bekommt Wasser für 30.000 Menschen – dafür sollen die Anwohner sparen

Teilen Pocket 138

Baustelle der Batteriefabrik von Tesla in Grünheide. Im Vordergrund links unten steht klein das Schild: Wasserschutzgebiet. Patrick Pleul/dpa

FOCUS-online-Redakteur **Julian Piepkorn**

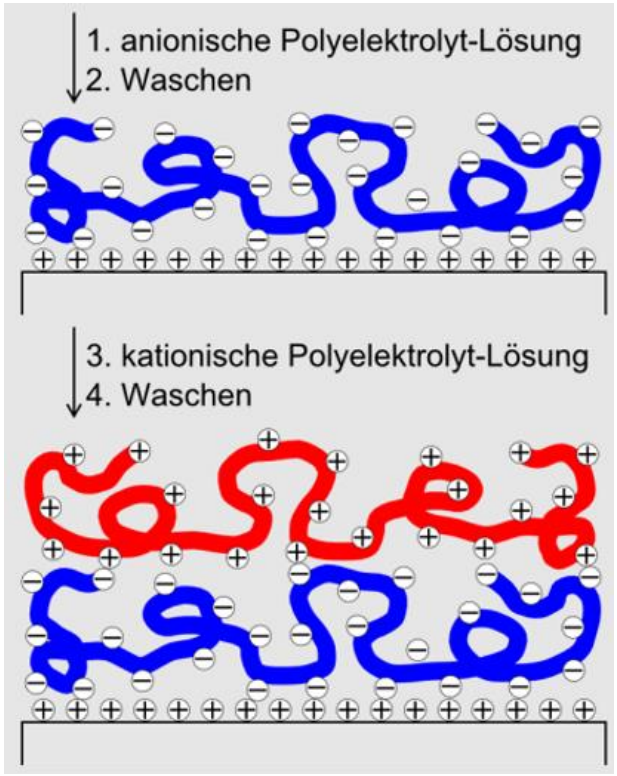
Montag, 13.02.2023, 17:13

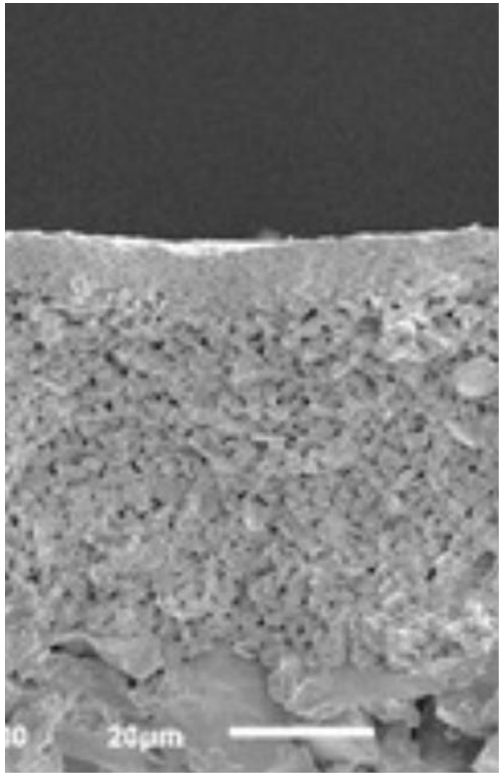
Tesla-Chef Elon Musk treibt den Ausbau seiner Gigafactory in Grünheide bei Berlin voran. Der Preis für die Menschen, die dort leben, ist hoch: kein Wasser, kein Wald, keine Tiere. Ein Ortsbesuch im trockenen Ostbrandenburg, wo fast 200 Hektar Wald abgeholzt

Bild: Focus-Online, 13.02.2023

5. Wasserrecycling

Beispiel: Spurenstoffentfernung (Projekt Napoly) (Vergara-Araya et al. [2022])





Bilder: Beschichtete Keramikmembranen (links) – Prinzip der Hybridmembranen aus Keramik und Spezialbeschichtungen (Mitte) – Beschichtung mit Polyelektrolyten (rechts) (Bildquellen: Wiese, Surflay Nanotec)

Gefördert durch

Investitionsbank Sachsen-Anhalt

EUROPÄISCHE UNION
EFRE
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Partner

h² Hochschule Magdeburg • Stendal

SURFLAY

nanostone water

5. Wasserrecycling

Beispiel: Spurenstoffentfernung (Projekt Napoly)

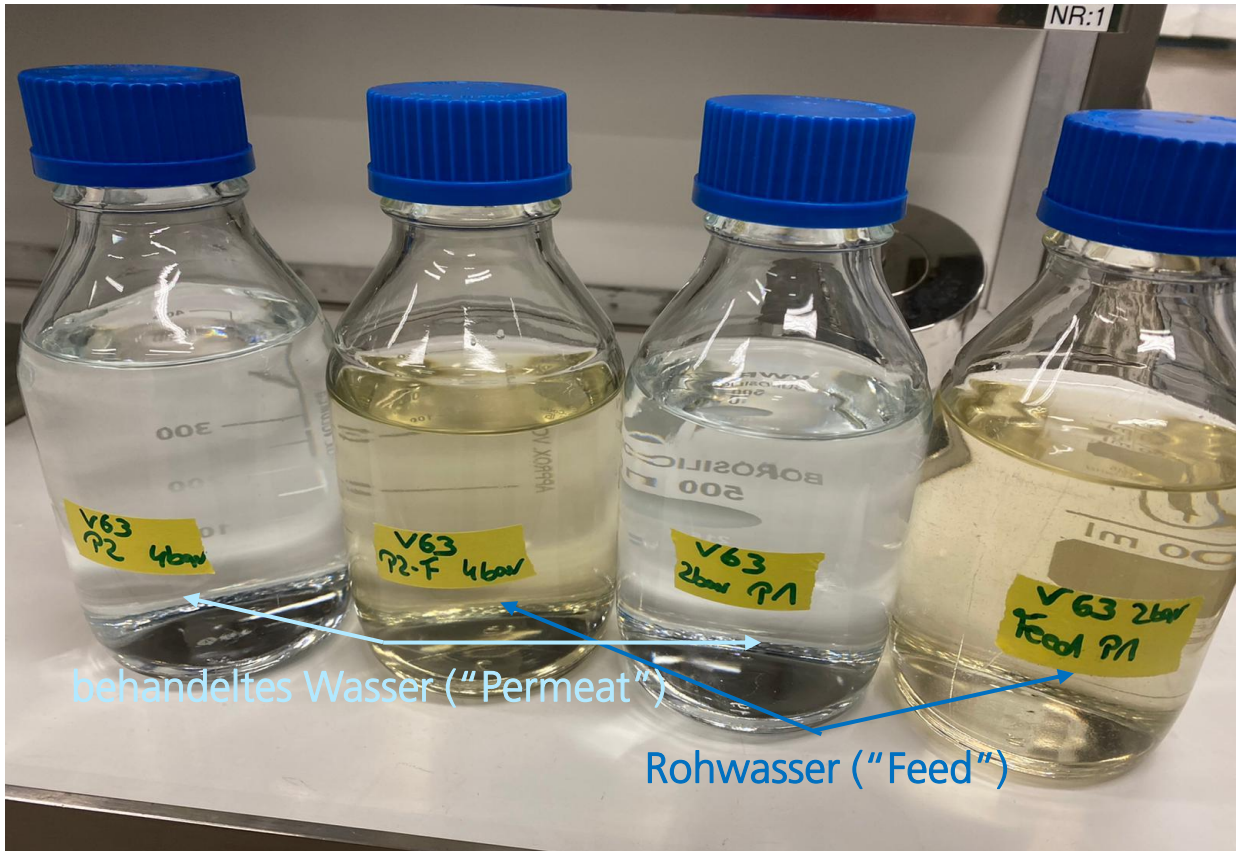


Bild: Kläranlagenablauf gefiltert mit der Hybridmembran (Bildquelle: Oeltze/h2)

Fragestellung: Lassen sich die Membrane so modifizieren, dass wir zielgerichtet bestimmte Stoffe aus Industrieabwasser entfernen können!?

Durch Beschichtungen wird aus einer Ultra- eine Nanofiltration.

Selektiver Stoffrückhalt durch konfigurierbare Beschichtungen

Niedrige Betriebs-drücke von 2 bis 4

Ggf. auch als Vorstufe für eine weitergehende Behandlung (z. B. Umkehrosmose) einsetzbar.

6. Utopie oder bereits Realität?

Beispiel: Kombination verschiedener Energie- und Recyclingkonzepte

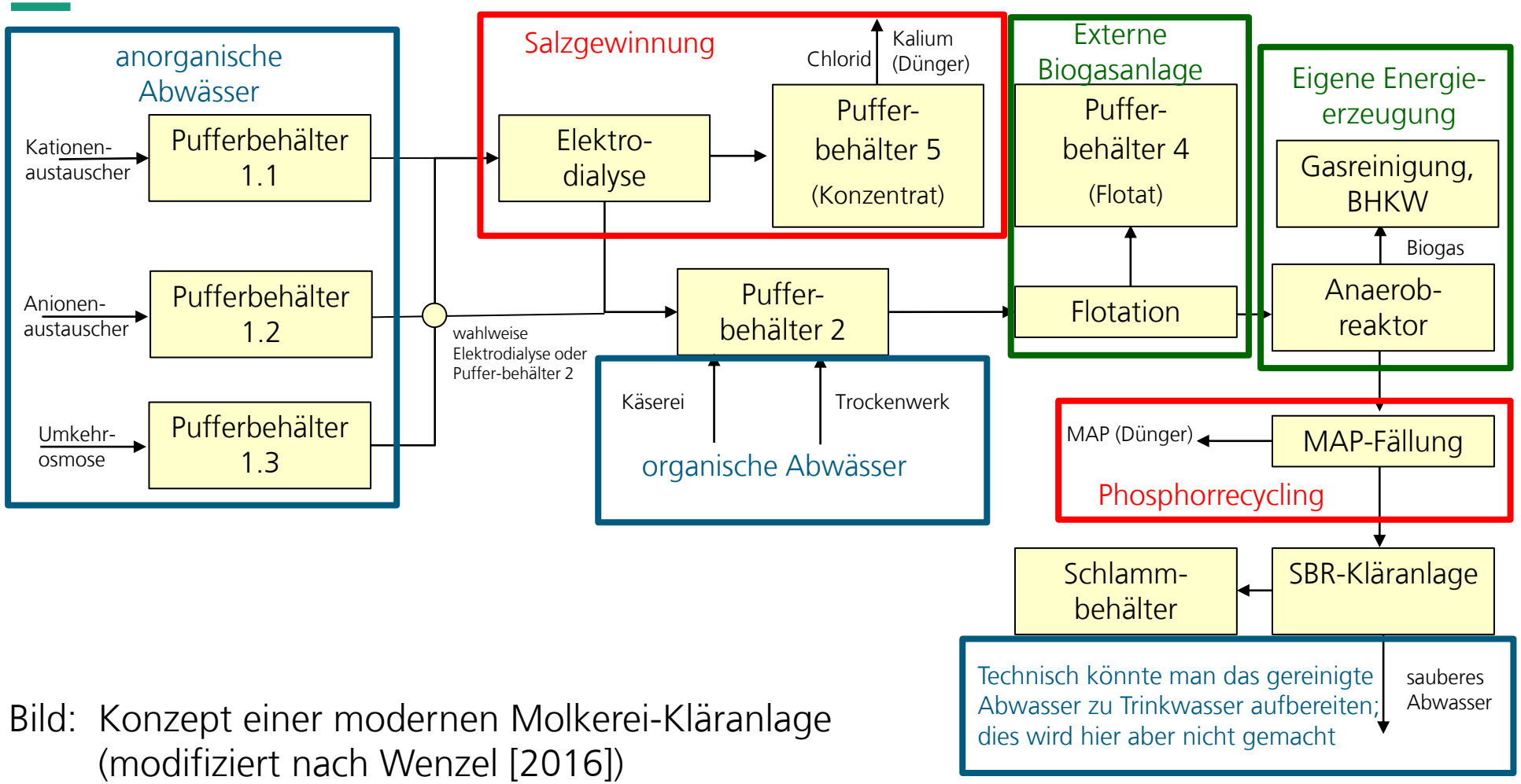


Bild: Konzept einer modernen Molkerei-Kläranlage (modifiziert nach Wenzel [2016])

6. Utopie oder bereits Realität?

Beispiel: Wie umgehen mit Altstandorten?

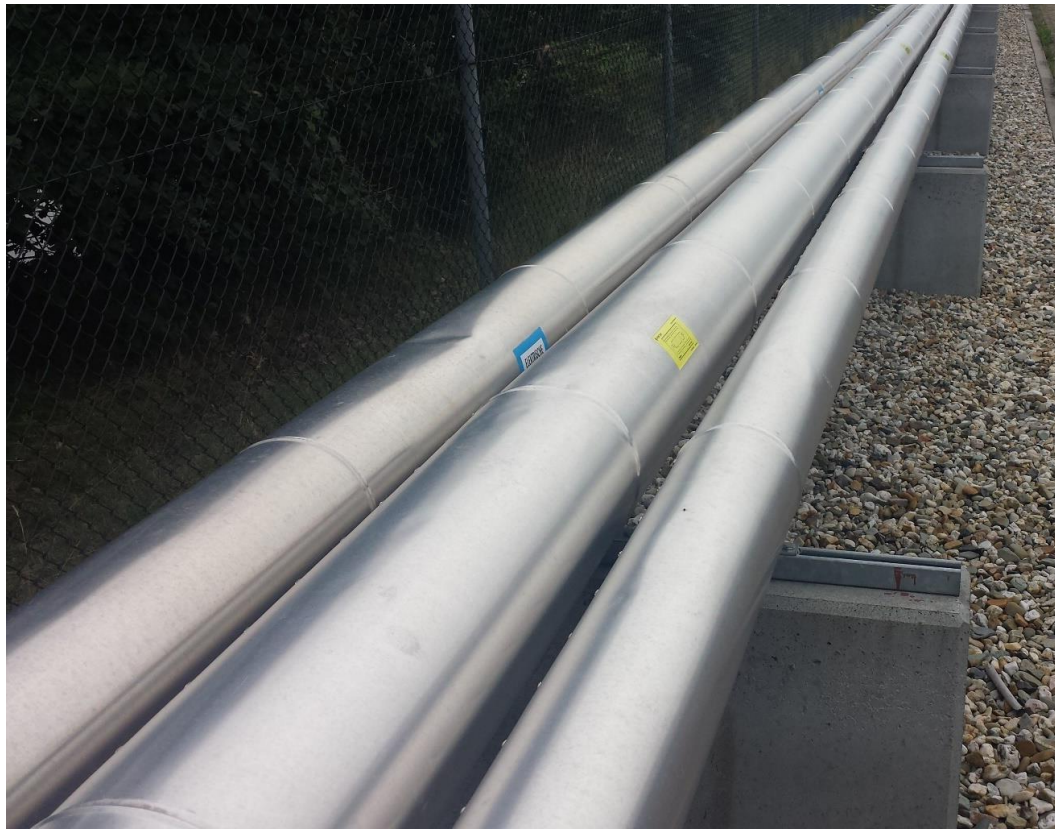


Bild: Beispiel einer oberirdischen Führung von Abwasserteilströmen (Bildquelle: Wiese)

- Kanalisationen müssen alle 10 bis 15 Jahre auf Dichtigkeit überprüft werden.
- Viele ältere Werkskanalisationen sind undicht und sanierungsbedürftig.
- Statt einer teuren Kanalsanierung hat man sich hier dazu entschieden, die Abwasserteilströme zu trennen, um sie in Zukunft auch getrennt behandeln zu können.
- Die oberirdische Leitungsführung ist nicht nur günstig, sondern erlaubt auch eine einfache Leckageerkennung.

© Fraunhofer

7. Zusammenfassung und Ausblick

- Die Kosten für Energie und Rohstoffe sind stark gestiegen.
- Damit entwickelt sich Abwasser vom lästiges Übel zur Energie- und Rohstoffquelle.
- Es gibt viele weitere Entwicklungen, wie die Erzeugung von Mikroalgen, Wasserstoff und Biokunststoffen aus Abwasser und organischen Reststoffen, die vereinzelt schon großtechnisch genutzt werden.
- Abwasserverfahren sind zudem die Grundlage für viele Recyclingprozesse (z. B. PV-Module)
- Industrie ist ein diffuser Sammelbegriff für viele unterschiedliche Branchen. → Es gibt keine allgemeingültige Lösungen für Industrieabwasser; jeder Fall muss individuell betrachtet werden!

Wir helfen Ihnen gerne bei der Lösung ihrer Probleme!

© Fraunhofer

Literaturverzeichnis

Covestro [2016]: Bundesumweltministerin eröffnet Pilotanlage in Krefeld-Uerdingen – Wiederverwendung von Prozessabwasser in Kunststoffproduktion, Pressemitteilung der Covestro AG, 30. Januar 2016, http://www.windkraft-journal.de/2016/01/30/covestro-setzt-innovatives-recycling-verfahren-ein/78608

Lepsius B. [1890]: Chemische Untersuchungen über die Reinigung der Sielwasser in Frankfurter Klärbecken sowie über die Zusammensetzung des Klärbeckenschlamms, im Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main für das Rechnungs-jahr 1888-1889, S. 61-85, C. Naumann's Druckerei, Frankfurt a.M.

Schmidtmann A. und Günther C. (Hrsg.) [1909]: Mitteilungen aus der Königlichen Prüfanstalt für Wasser-versorgung und Abwasserbeseitigung zu Berlin, Heft 11, Verlag von August Hirschwald, Berlin

Vergara-Araya M. [2022]: Operation of Hybrid Membranes for the Removal of Pharmaceuticals and Pollutants from Water and Wastewater, Membranes, Vol. 12, Issue 5, MDPI Verlag, https://doi.org/10.3390/en15082710

Wenzel [2016]: Nachhaltige Phosphorelimination am Beispiel der IAR Hünfeld, Münchner Abwassertage 2016, Tagungsband, Hach GmbH, Düsseldorf

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fraunhofer IFF

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil Jürgen Wiese
Energiesysteme und Infrastrukturen,
Leiter Nachhaltiges Wassermanagement
und Infrastrukturen
Tel. +49 391 4090-357
juergen.wiese@iff.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
www.iff.fraunhofer.de

KICKSTART LÖSUNGEN FÜR DIE PRODUKTION

Entdecken Sie unsere Webinar-Reihe!

Einmal im Monat bieten wir Ihnen in unserem Webinar am Freitag Einblicke in neueste Technologien und digitale Trends.

Unsere Expertinnen und Experten zeigen Ihnen, wie Sie Ihre Produktion wirtschaftlich und nachhaltig gestalten können.

Starten Sie innovativ in den Arbeitstag!

Jetzt anmelden zum Webinar »Qualität sichern: Assistenz- und Prüfsysteme für die manuelle Montage« am 25. April 2025!

Mehr Info unter
www.iff.fraunhofer.de/webinar

Fraunhofer IFF