



# Aktivkohle für die Abwasserreinigung Made in Switzerland?

Nikolas Hagemann<sup>1,2</sup>, Ralf Kägi<sup>3</sup>, Marc Böhler<sup>3</sup>, Christa McArdeil<sup>3</sup>, Hans-Peter Schmidt<sup>2</sup>, Thomas Bucheli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: Agroscope, Zürich. <sup>2</sup>: Ithaka Institut, Arbaz (VS) und Freiburg (Brsgr). <sup>3</sup>: Eawag, Zürich

## Agroscope

### Ausgangslage

Die Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) in der erweiterten Abwasserreinigung mittels Aktivkohle oder Ozon ist eine wichtige Massnahme für einen vorbeugenden Schutz der Gewässer und der Trinkwasserressourcen. Relevante Schweizer Kläranlagen sind verpflichtet, innerhalb der nächsten 25 Jahren EMV einzuführen. Während der Einsatz von Ozon mit hohem Energieverbrauch einhergeht, generiert der Einsatz von Aktivkohle

andernorts negative Umweltauswirkungen, da die Aktivkohle zum Teil aus fossilen Ausgangsstoffen wie Stein- oder Braunkohle hergestellt wird und zudem über weite Strecken transportiert werden muss. Aktivkohlen mit sehr guten Eliminationsleistungen können aber auch aus erneuerbaren Roh- und Reststoffen «vor Ort» hergestellt werden.

**1 t Aktivkohle**

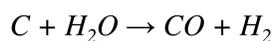
=

**11-18 t CO<sub>2</sub>**

Äquivalent-Emissionen durch Bereitstellung aus fossiler Kohle

### «Physikalische» Aktivierung

Pflanzkohle wird durch Pyrolyse/Karbonisierung bei 350-900°C unter weitgehendem Ausschluss von Sauerstoff hergestellt. Bei der sog. «physikalischen» Aktivierung wird bei >850 °C und unter Zugabe eines gasförmigen Oxidationsmittels (Dampf, CO<sub>2</sub>) ein Teil des Kohlenstoffs der Kohle oxidiert und dadurch die Oberfläche vergrößert aber auch chemisch verändert.



Die Chemi-Sorption von Wasserstoff auf der Kohle verhindert das unkontrollierte Abbrennen.

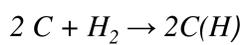


Abb. 1: Pilotanlage «PYREKA». Der Reaktor ist 1 m lang. (Fa. Pyreg)



Abb. 2: Altholz, Hochtemperatur-Pflanzkohle (900 °C) und Aktivkohle (Dampfaktivierung, 900 °C)

### Bedeutung der Dampf-Dosierung

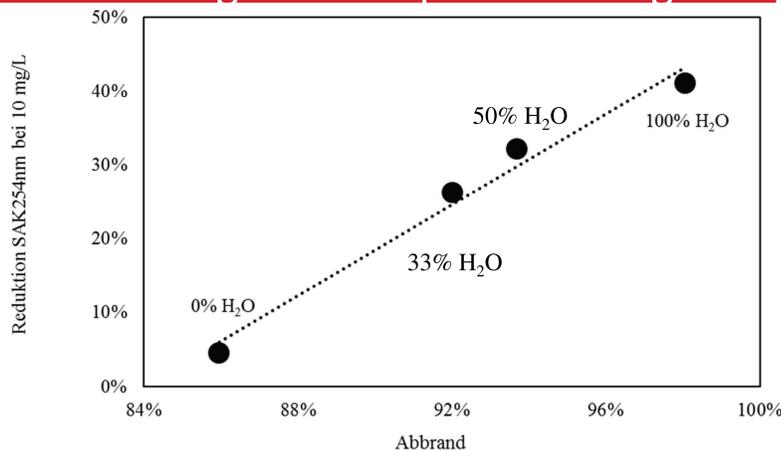


Abb. 4: Die Reduktion der SAK254nm im Eliminationsversuch mit Abwasser Werdhölzli als Funktion des Abbrands (Massenverlust) durch die Aktivierung von Buchenholz bei 900 °C. Die SAK254nm dient als Ersatzkennwert für die Elimination von Mikroverunreinigungen. Die Prozent-Werte geben das molare Verhältnis von Dampf zum Kohlenstoff im Ausgangsmaterial an (100 % = 1 mol Dampf/H<sub>2</sub>O zu 1 mol Kohlenstoff).

### Test der Aktivkohlen

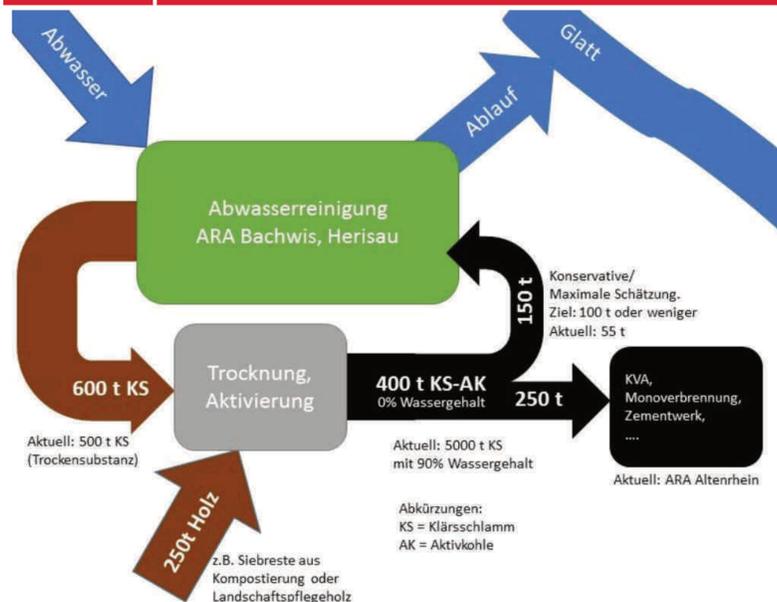
- Aktivkohlen wurden auf <200 µm vermahlen und in Zinn-Kapseln eingewogen.
- Biologisch gereinigtes Abwasser (Ablauf Nachklärbecken) wurde in der ARA Werdhölzli beprobt.
- Schüttelversuch:
  - 24 h
  - 10 und 30 mg L<sup>-1</sup> Aktivkohle
- Bestimmung von
  - SAK254nm (UV Absorption)
  - Gelöster organischer Kohlenstoff
  - 12 Mikroverunreinigungen mit LCMS



### Eliminationsleistung ausgewählter Kohlen bei 14 mg L<sup>-1</sup>

Ausgangsmaterial	Gas	Potentielle Oxidation	Ertrag	BET [m <sup>2</sup> ]	UV	DOC	12 MV
Donau Carbon Carbopal AP: vermutlich fossile Kohle			n/a	804	20%	40%	60%
Norit SAE Super: vermutlich Torf, Holz, ggf. fossile Kohle			n/a	912	20%	40%	60%
Buchenholz, pyrolysiert, nicht aktiviert		0%	14%	345	20%	40%	60%
Buchenholz	Dampf	50%	6%	780	20%	40%	60%
Buchenholz	Dampf	100%	2%	913	20%	40%	60%
Buchenholz	Dampf, CO <sub>2</sub>	100%	4%	899	20%	40%	60%
Pflanzkohle (600 °C) aus Fichte und Tanne	Dampf	~50%	9%	741	20%	40%	60%
Fichten- und Tannenholz	Dampf	100%	5%	1235	20%	40%	60%
Holziges Siebüberkorn einer Kompostierung	Dampf	~50%	9%	945	20%	40%	60%
Borke/Rinde von Nadelhölzern	Dampf	50%	17%	549	20%	40%	60%
Mischholz / Holz hackschnitzel	Dampf	100%	8%	826	20%	40%	60%
Klärschlamm Herisau (enthält 13% Carbopal) mit Mischholz (1:1.2 TM)	Dampf	~50%	16%	190	20%	40%	60%
Klärschlamm Herisau (enthält 13% Carbopal)	Dampf	~50%	59%	106	20%	40%	60%
Faulschlamm Werdhölzli	Dampf	~50%	50%	65	20%	40%	60%

### Konzept für Holz-Klärschlamm-AK



### AK-Austrag mit dem Klärschlamm

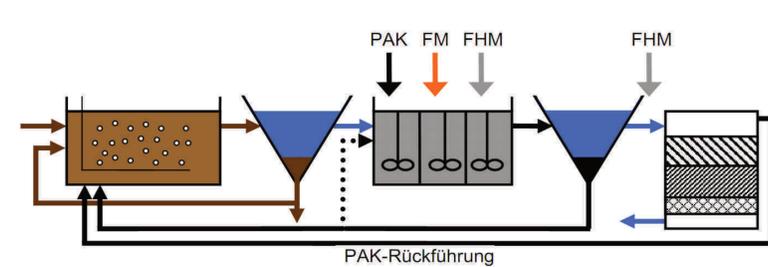


Abb. 3: Einsatz von Pulveraktivkohle in der Abwasserreinigung am Beispiel des sog. Ulmer Verfahrens. Aktivkohle wird mit dem Klärschlamm ausgetragen. (Bild: Abschlussbericht MIKROFlock, Pinnekamp/Bornemann, RWTH Aachen/Wupperverband, 2015)

- Holz-Aktivkohlen zeigen ähnliche oder gar bessere Eliminationsleistung wie kommerzielle Aktivkohlen
- Holzqualität (Stammholz vs. holzige Reststoffe) spielt vergleichsweise geringe Rolle → auch aus günstigen Sortimenten können gute Aktivkohlen erzeugt werden
  - CHF 50 für Fichte und Tanne,
  - CHF 10-20 für aufbereitetes holziges Siebüberkorn oder Altholz
- Klärschlamm-Sorbentien können durch Zusatz von Holz verbessert werden

#### References:

Hagemann N, Spokas K, Schmidt H-P, Kägi R, Böhler MA, Bucheli TD. Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs. Water 10, 182 (2018).  
Boehler M, Zwicknagl B, Hollender J, Ternes T, Joss A, Siegrist H. Removal of micropollutants in municipal wastewater treatment plants by powder-activated carbon. Water Science and Technology 66, 2115-2121 (2012).