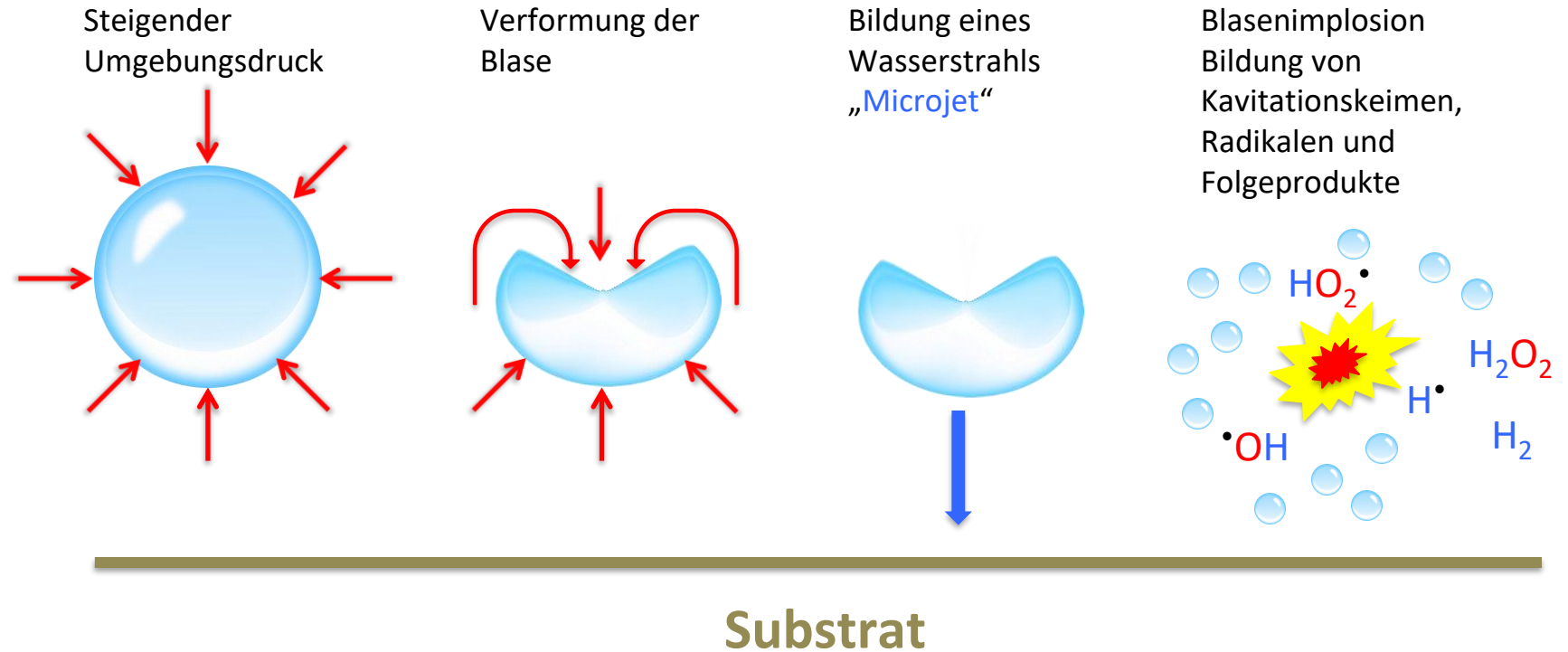
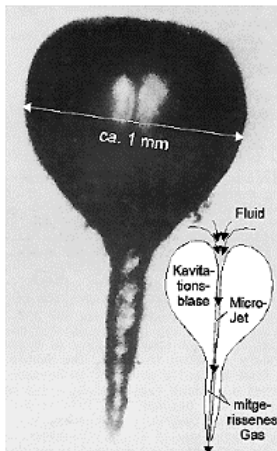
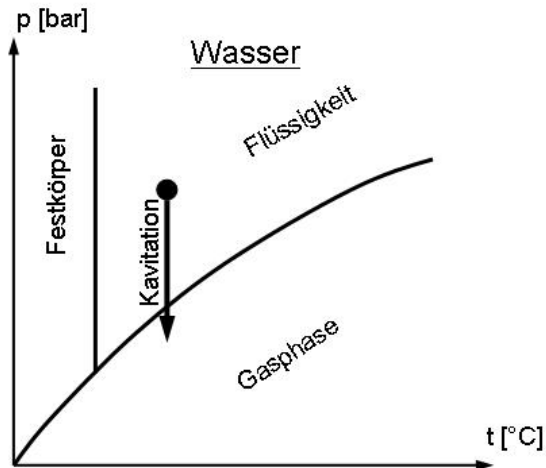




Hydrodynamisch erzeugte Kavitation zur Elimination von Inhaltsstoffen in der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung

Schmid Andreas

Kavitation

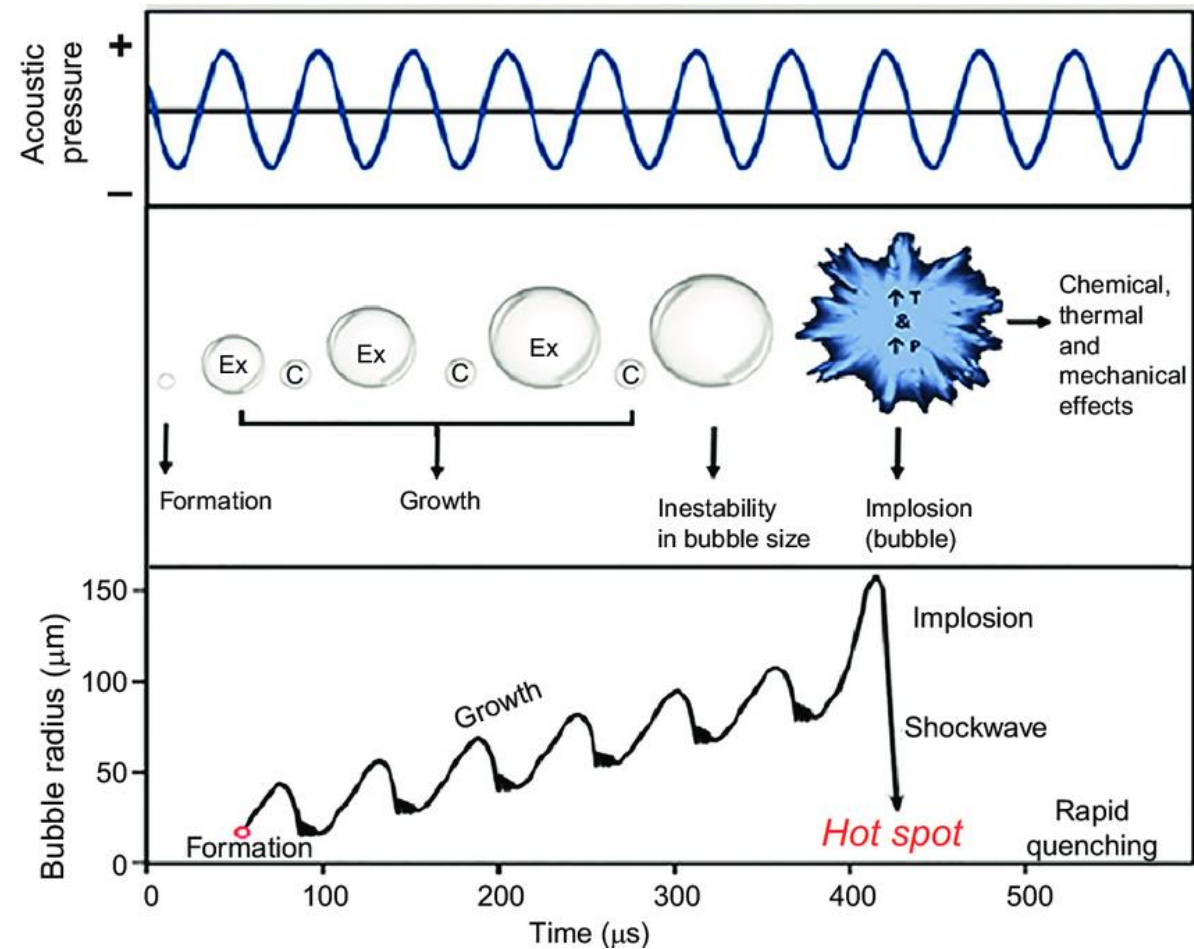


→ Hohe Drücke (induzierte Scherfelder durch Druckwellen), Temperaturen (thermische, superkritische Oxidation & Plasmareaktionen), Radikale ($\text{OH}^\bullet$, $\text{H}^\bullet$, $\text{O}_2^{\bullet-}$, ...) und reaktive Sauerstoffspezies (H_2O_2 , O_3 , $^1\text{O}_2$, ...) wirken unspezifisch auf die Inhaltsstoffe ein

Bildung von Kavitationsblasen durch Ultraschall

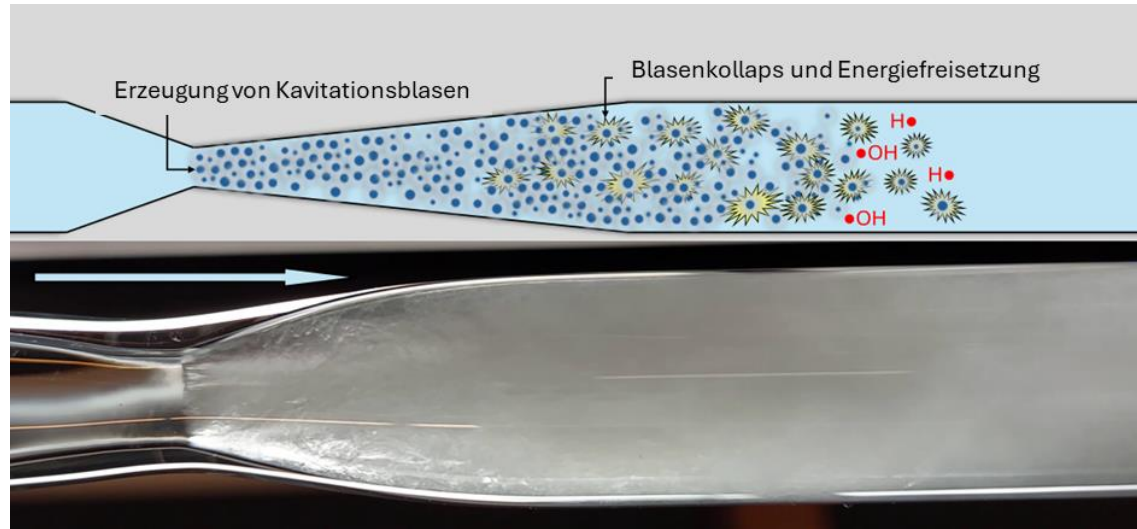


Ultraschall – Sonotrode. (Quelle: www.Hielscher.com)

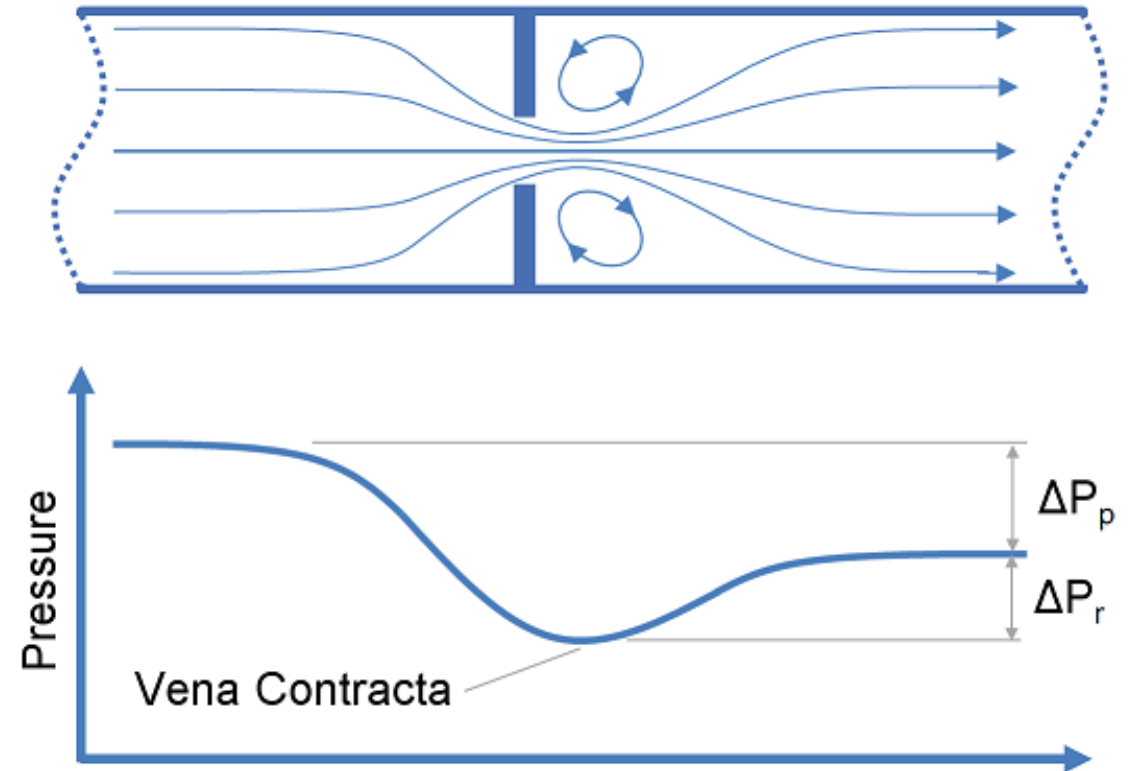


Ultraschall – Kavitationsblasenentwicklung (Quelle: www.Researchgate.net)

Kavitationsblasen in Verengungen

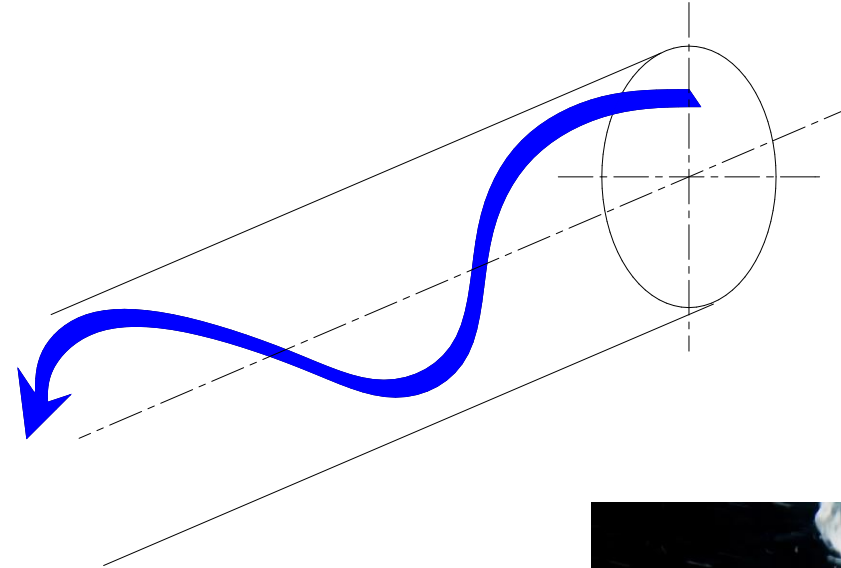
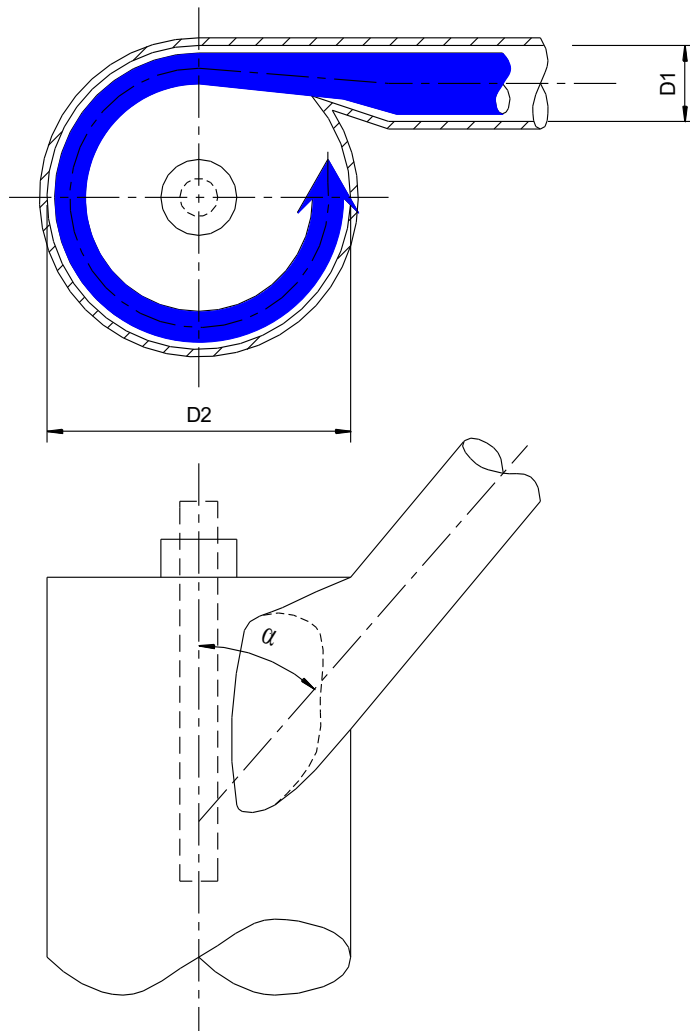


Venturi-Düse – Unterdruckerzeugung. (Quelle: DOI 10.2166/wpt.2025.005)



Blende – Unterdruckerzeugung. (Quelle: www.Neutrium.net)

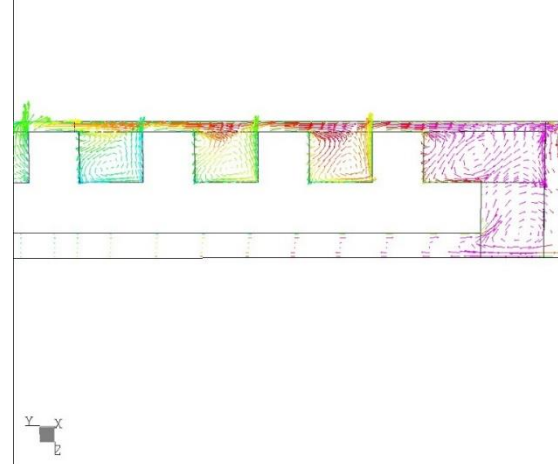
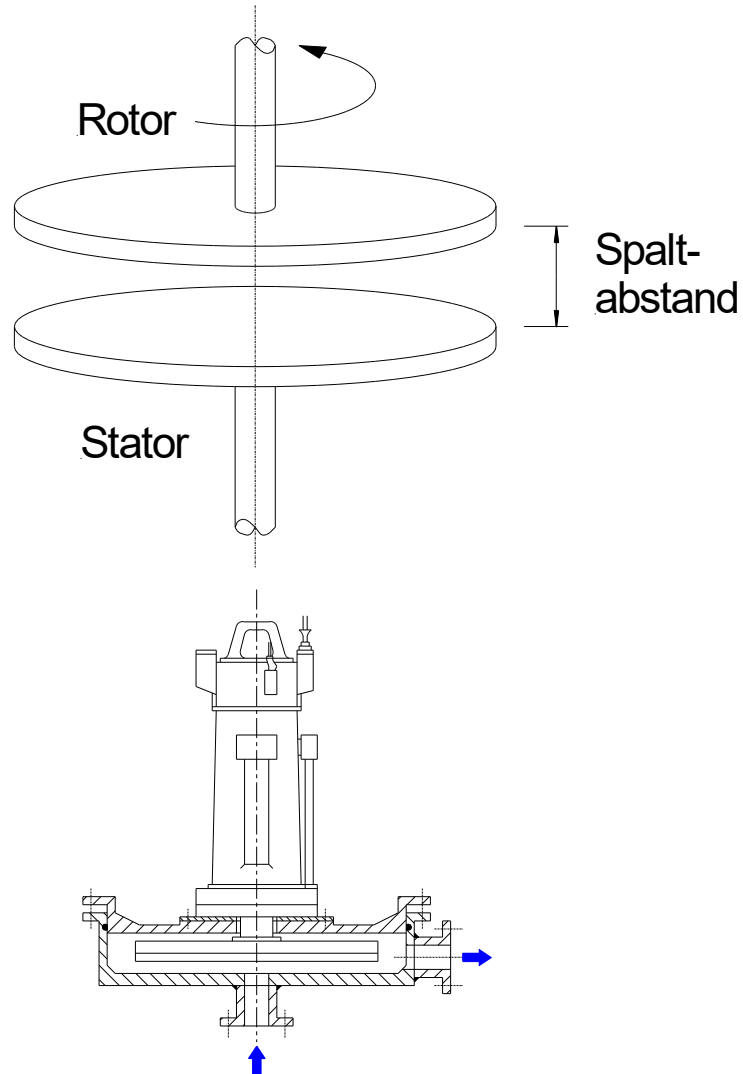
Kavitations-Generierung in einem tangentialen Strömungsfeld – Vortex-Kavitation



Quelle: <https://www.tbk-hygiene.com/services/vortex-kavitation/>

Quelle: Schmid A.: Unit introducing liquid or gas into liquid, e.g. in wastewater treatment plant, includes supply discharging into section of pipe at angle, to set up helical flow with cavitation. DE102004027398A1, 2004.

Kavitations-Generierung in einem Rotor-Stator-System

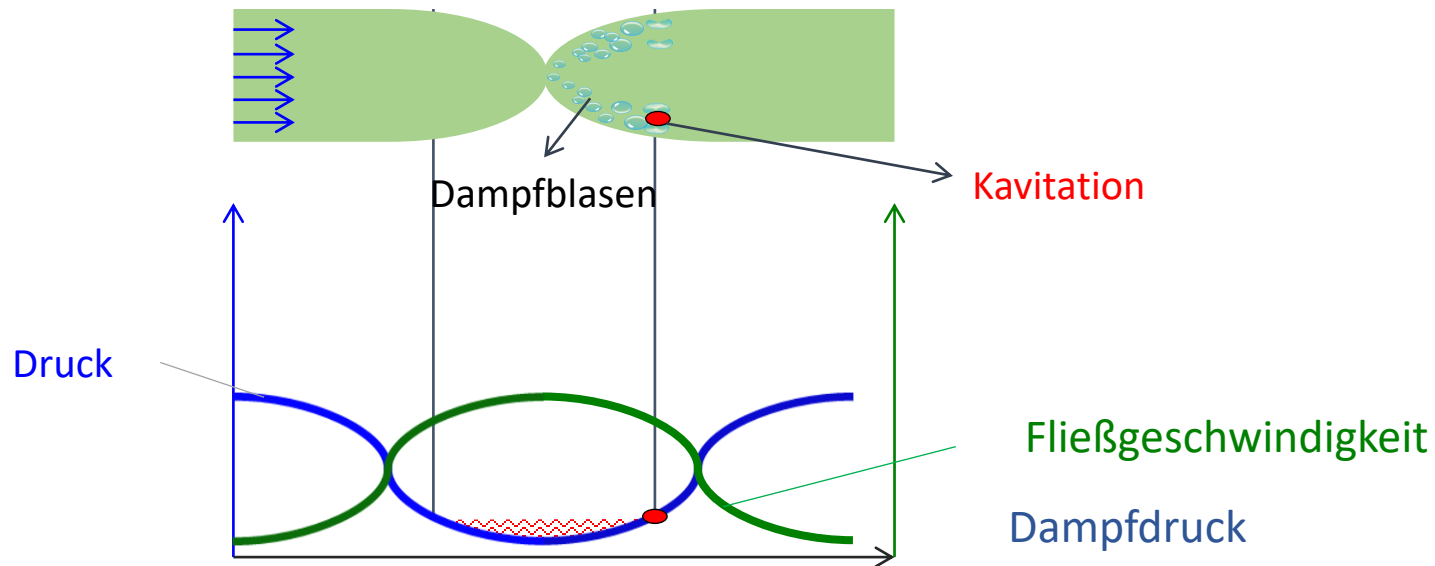
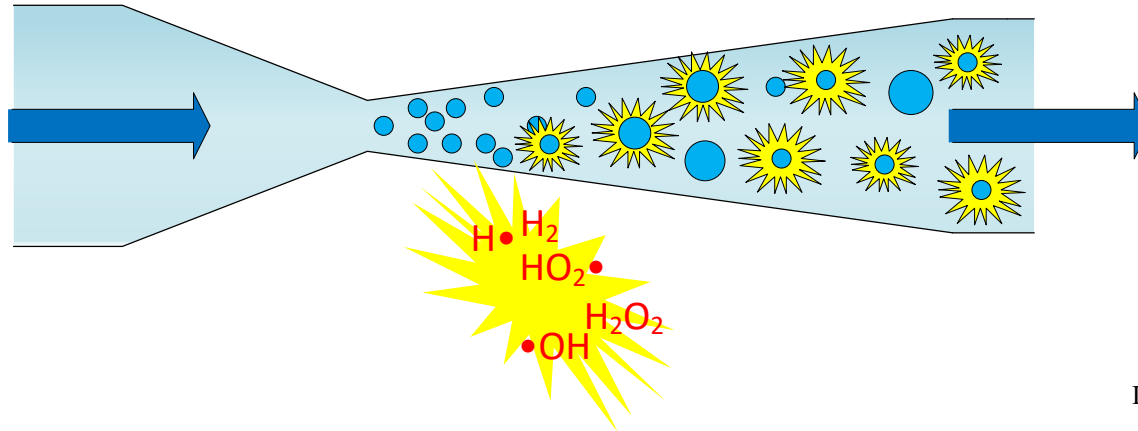


Quelle: Schmid A.: Apparatus and method for treating a medium such as sewage, sewage sludge or the like. DE10343602A1, 2003.

Bewertungsmatrix verschiedener Formen der Kavitationserzeugung

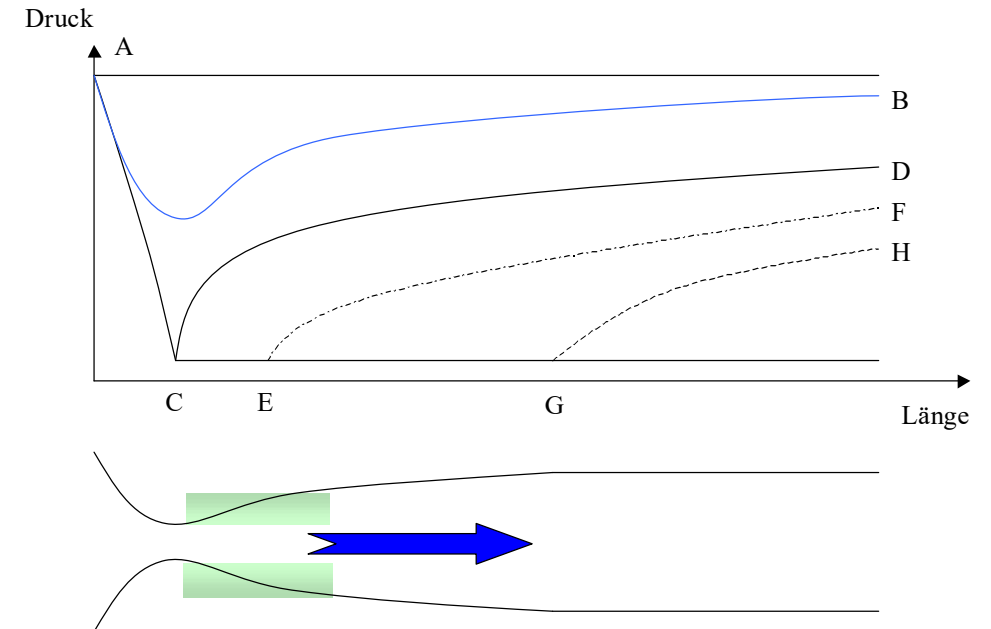
	Ultraschall	Blende	Venturidüse	Vortex	Rotor-Stator
Hohe Volumenströme [mehrere m³/h]	nein	nein	ja	moderat eher nein	ja
Superkavitation	nein	sehr gering	hoch	gering	nein
Scale-up in Großtechnik	schwierig	schwierig	ja	ja	ja
Erosion, Korrosion, Verschleiß	keine Aussage möglich	hoch	gering	gering	sehr hoch
Komplexe Technologie	ja	nein	nein	nein	ja
Anforderungen an Anwender	hoch	gering	gering	gering	hoch
Investitionskosten	hoch	gering	gering	gering	hoch
Betriebskosten	sehr hoch	hoch	gering	gering	sehr hoch

Kavitation in Düsenströmungen - Venturi



Druckverteilung in einem Diffusor vor und nach Einsetzen von Kavitation

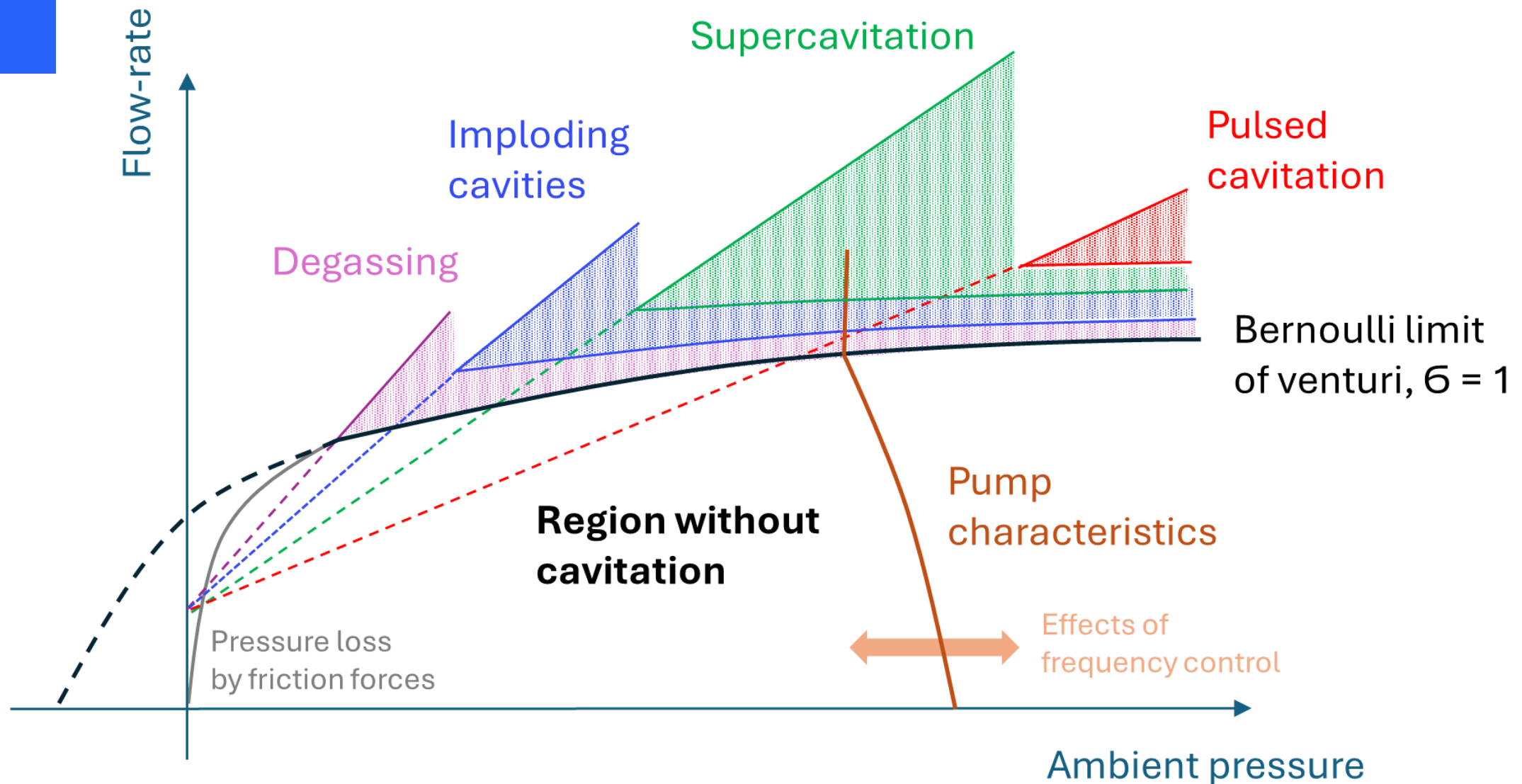
Nach Eck B.: Technische Strömungslehre. 3. Auflage. Springer Verlag, 1949.



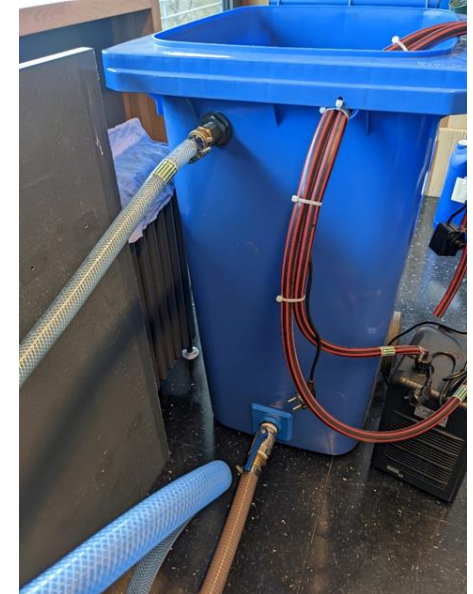
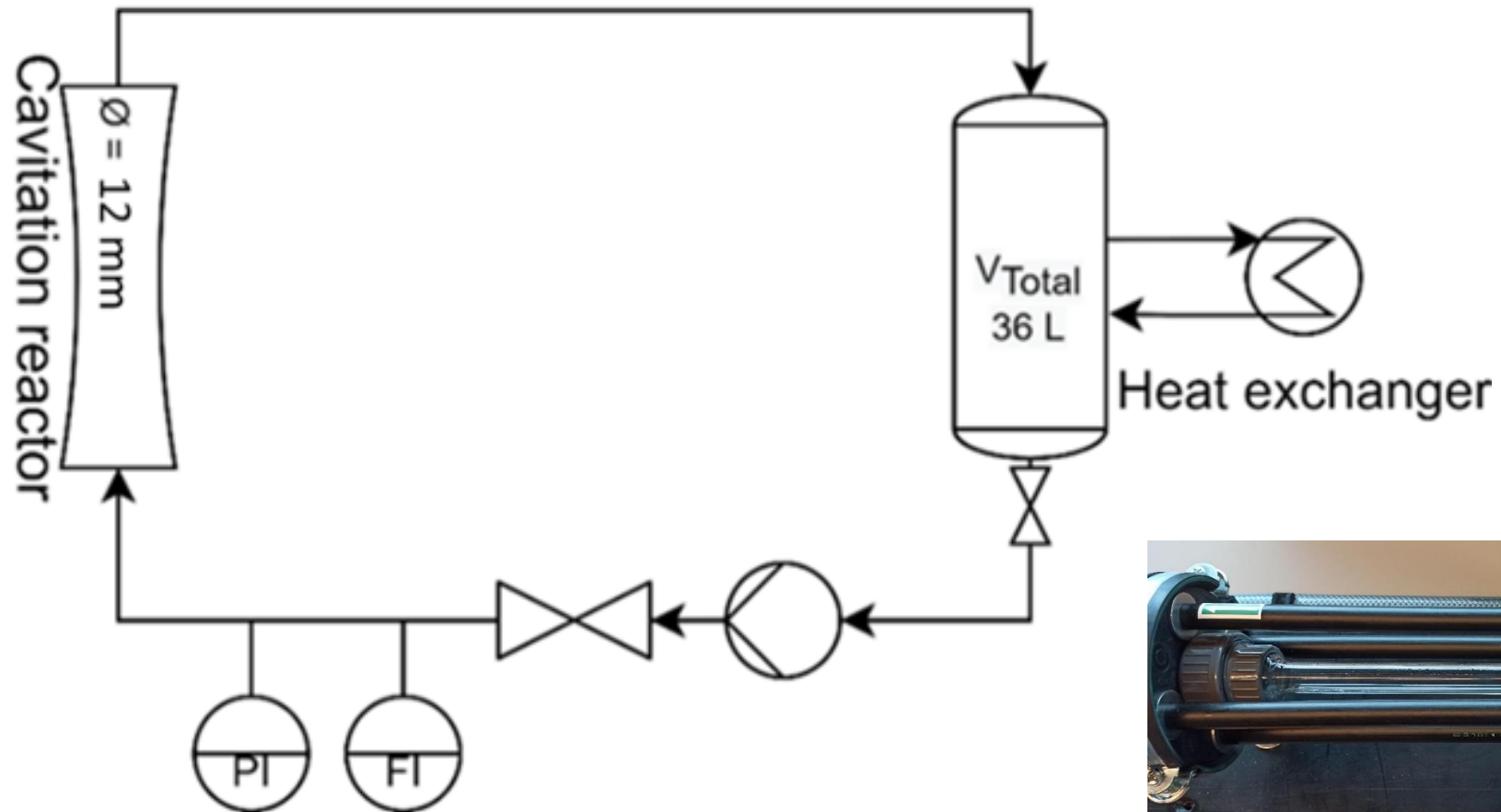
Hydrodynamisch erzeugte Kavitation



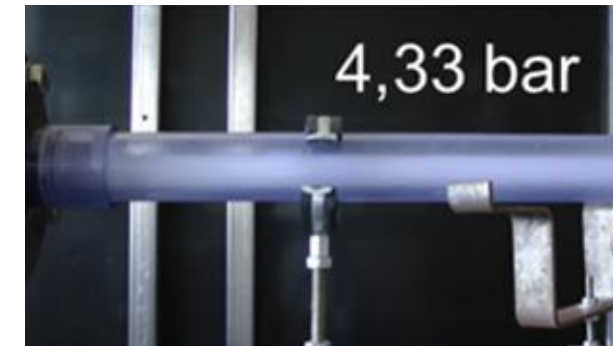
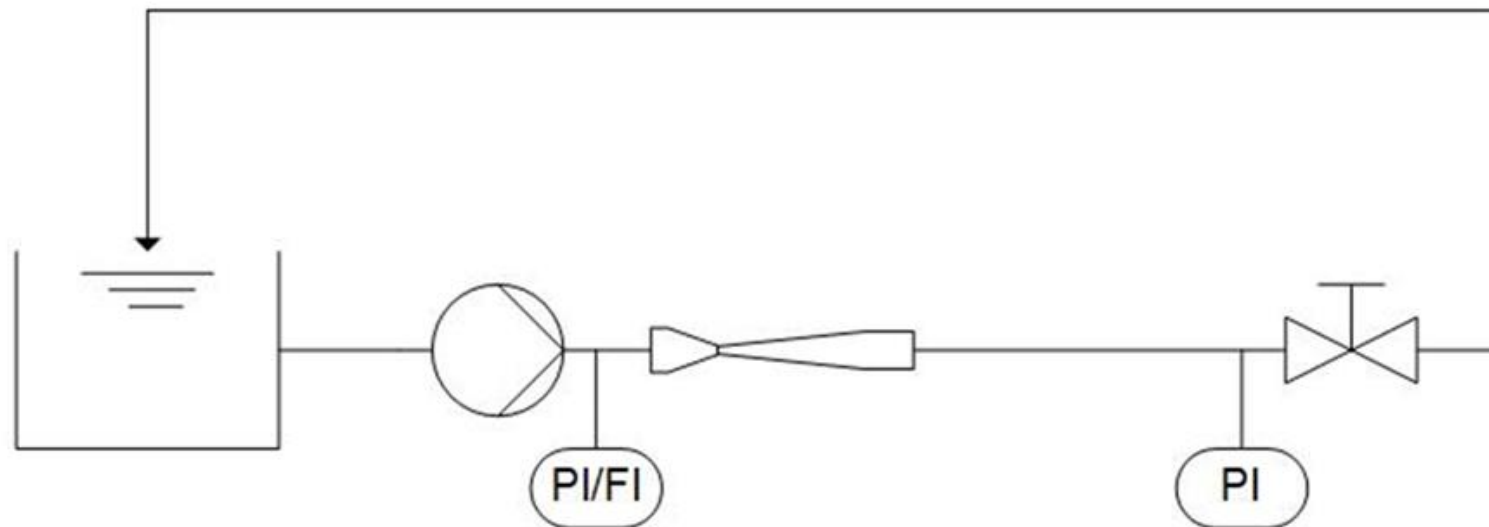
Charakteristik eines hydrodynamischen Kavitations-Rohrreaktors



Experimenteller Aufbau im Labor-Maßstab

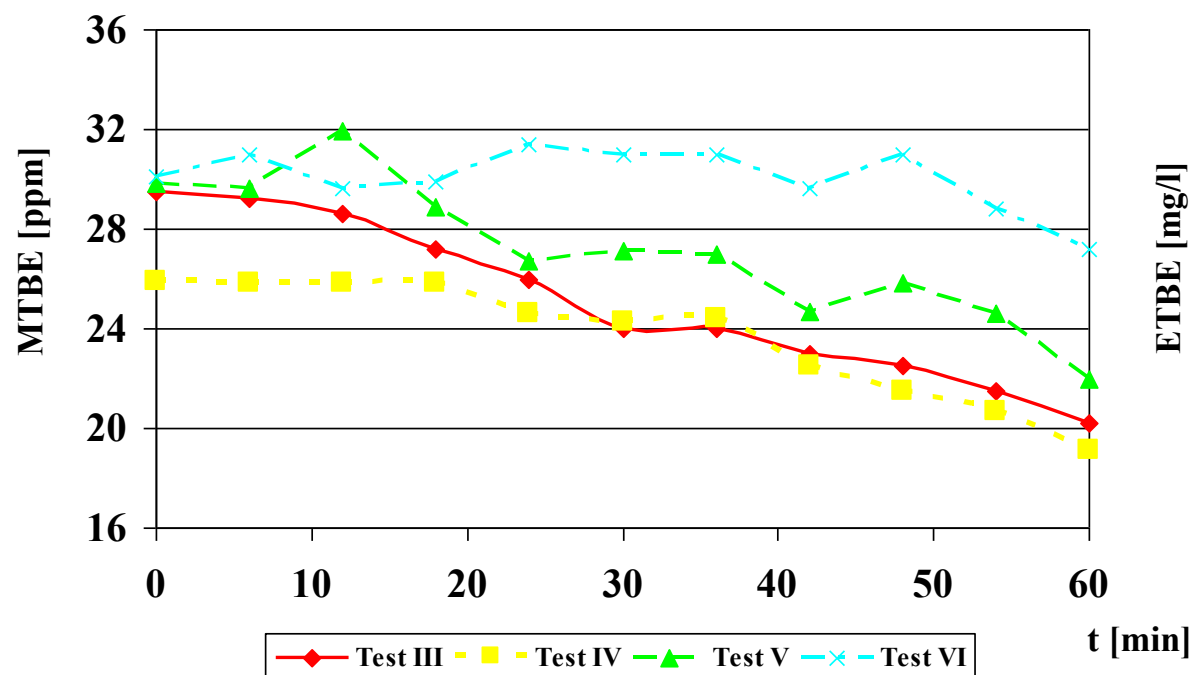


Experimenteller Aufbau im Pilot-Maßstab

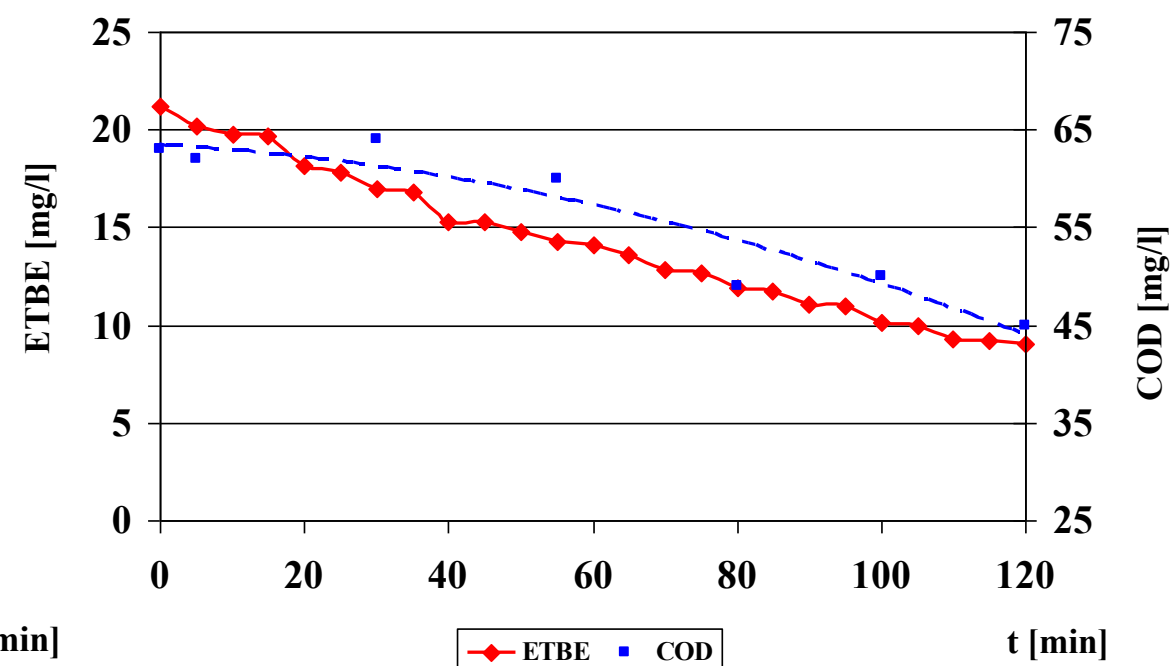


Abbau diverser Inhaltsstoffe im Pilot-Maßstab

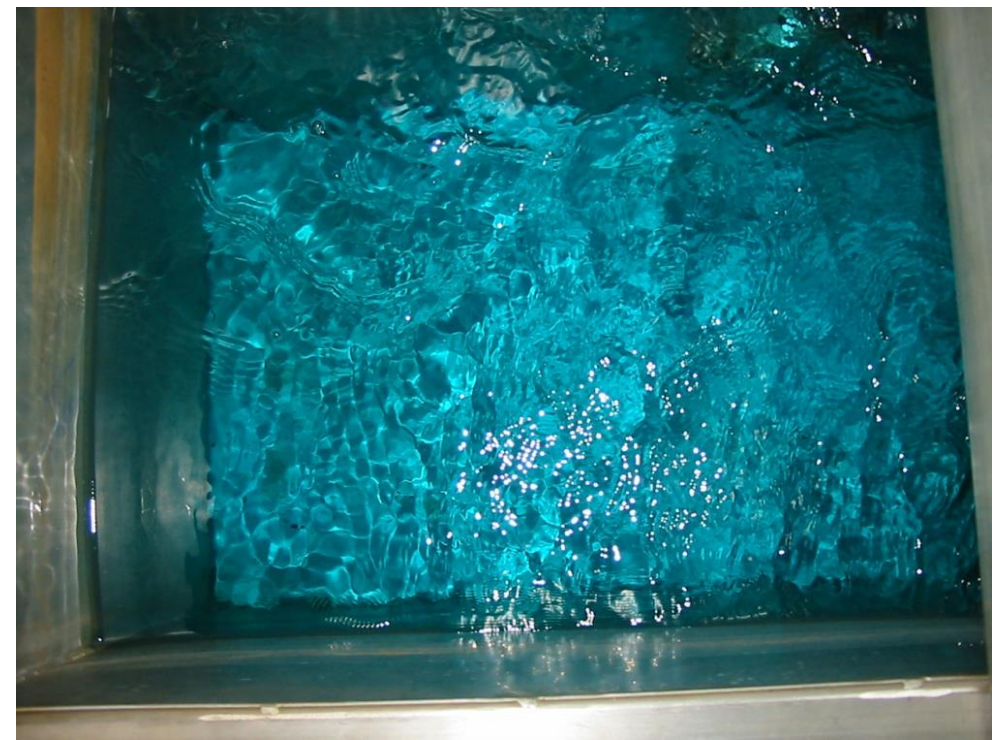
MTBE-degradation under cavitation



ETBE-degradation under cavitation

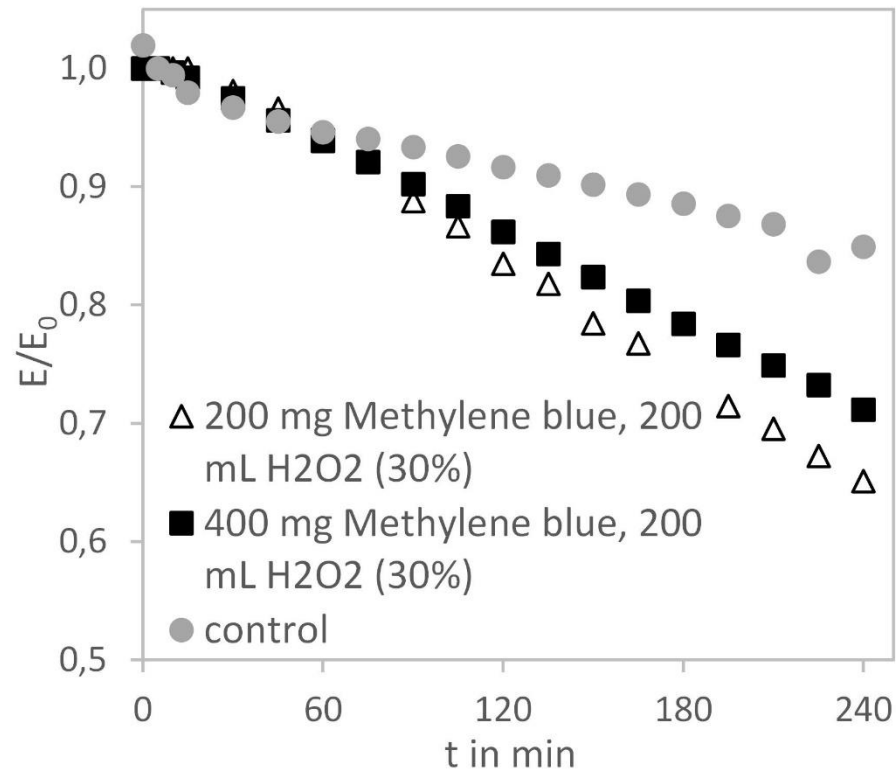


Entfärbungsversuch von Methylenblau im Pilot-Maßstab

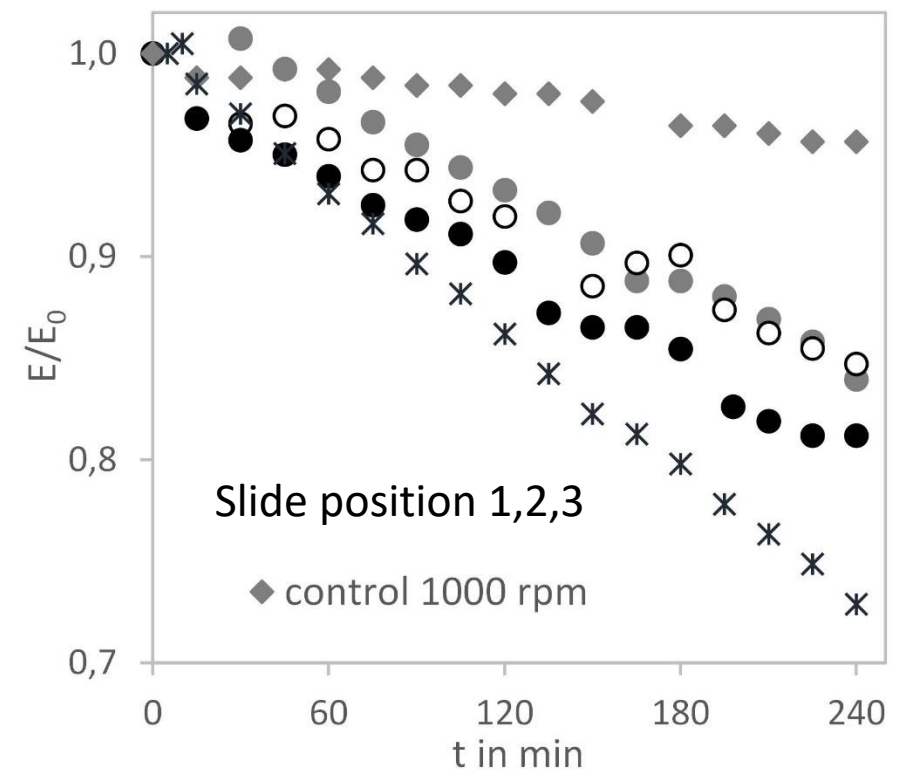


Abbau von Methylenblau und Aceton im Pilot-Maßstab

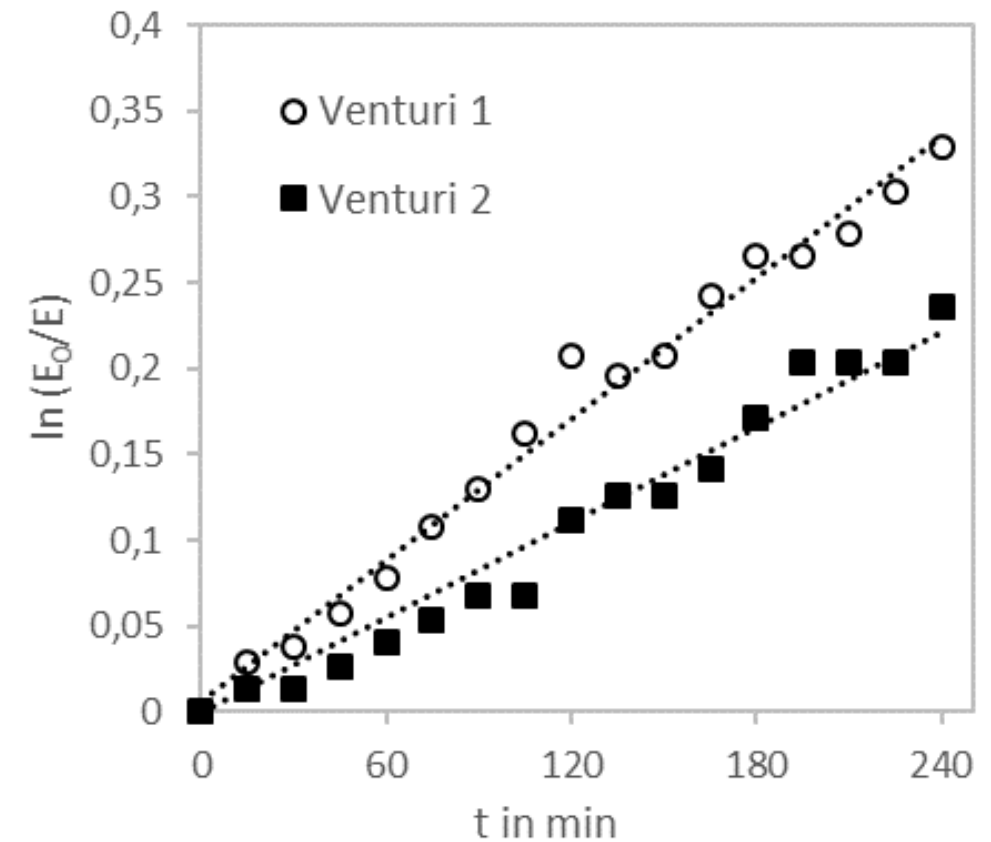
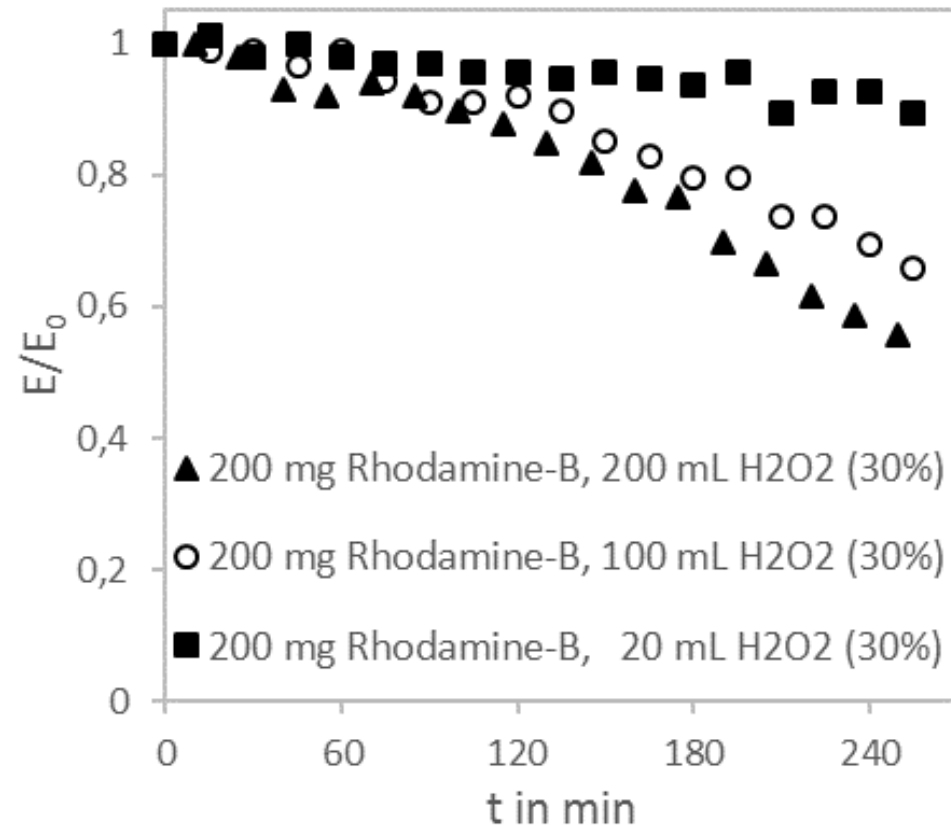
Methylenblau



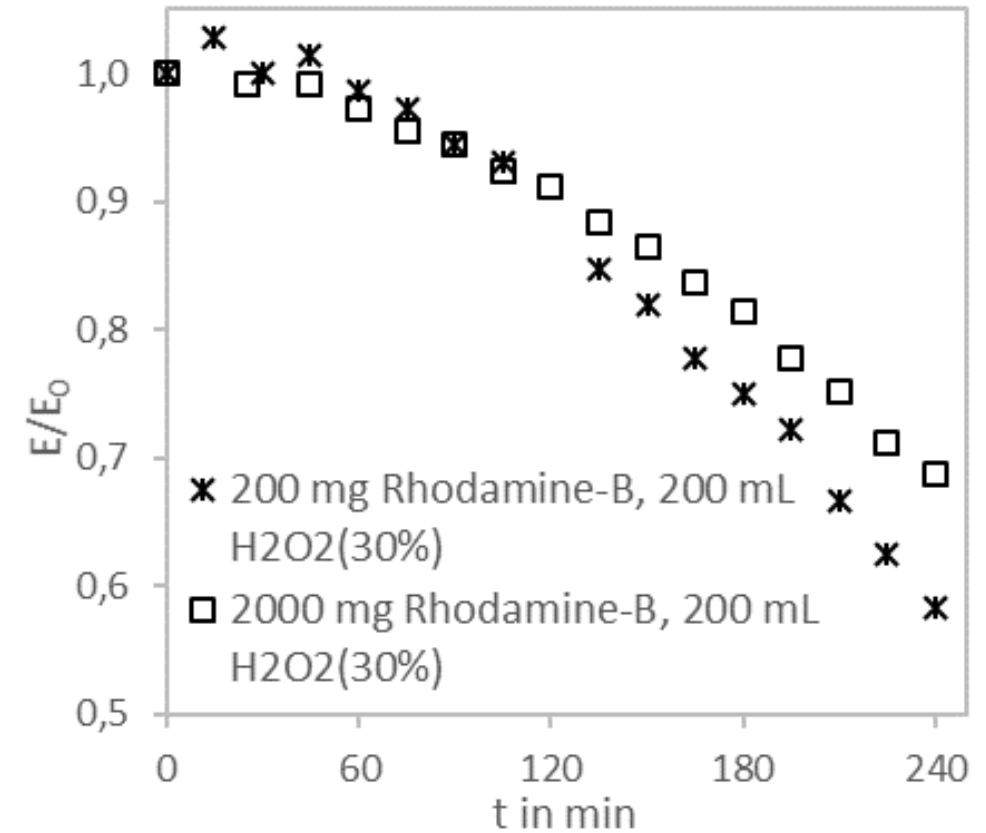
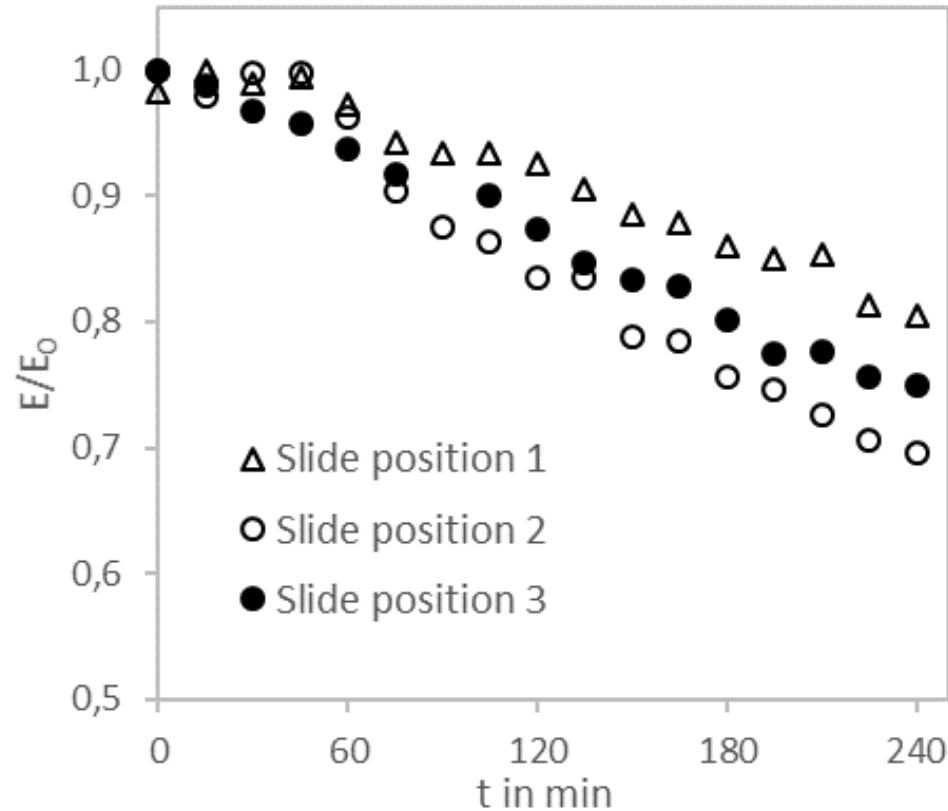
Aceton



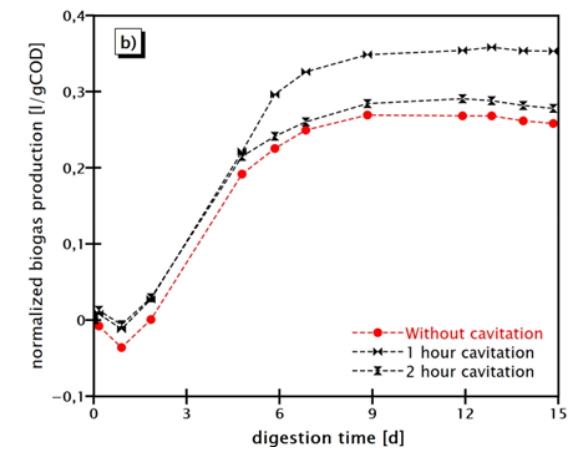
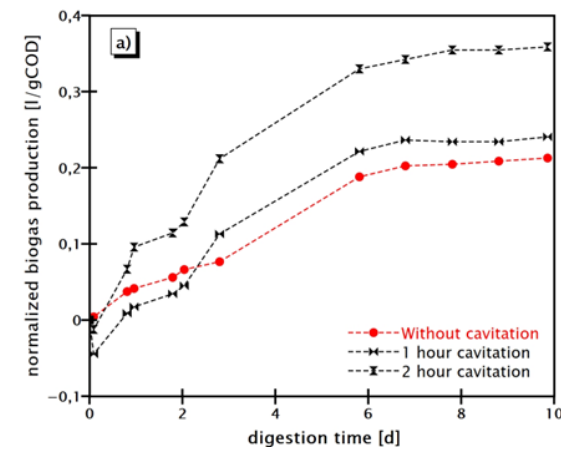
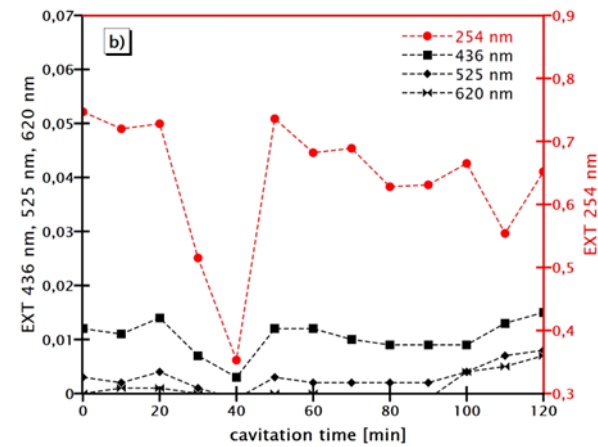
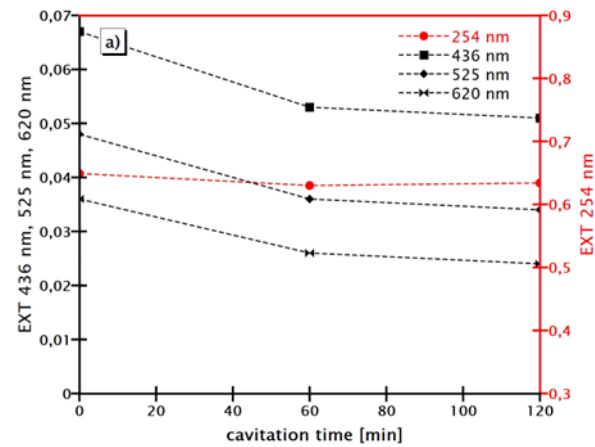
Abbau von Rhodamine-B im Pilot-Maßstab



Abbau von Rhodamine-B im Pilot-Maßstab



UV-Vis-Spektrum & spezifische Biogasproduktion von Wäschereiabwässern durch Kavitationseinwirkung im Labor-Maßstab



Quelle: Schmid A., Simek O., Acosta-Carrascal P., Wolfram A.: Influencing Biogas Synthesis-rate of Laundry Wastewater by Hydrodynamic Cavitation. Water Practice and Technology, wpt2025005, 2025. DOI: 10.2166/wpt.2025.005

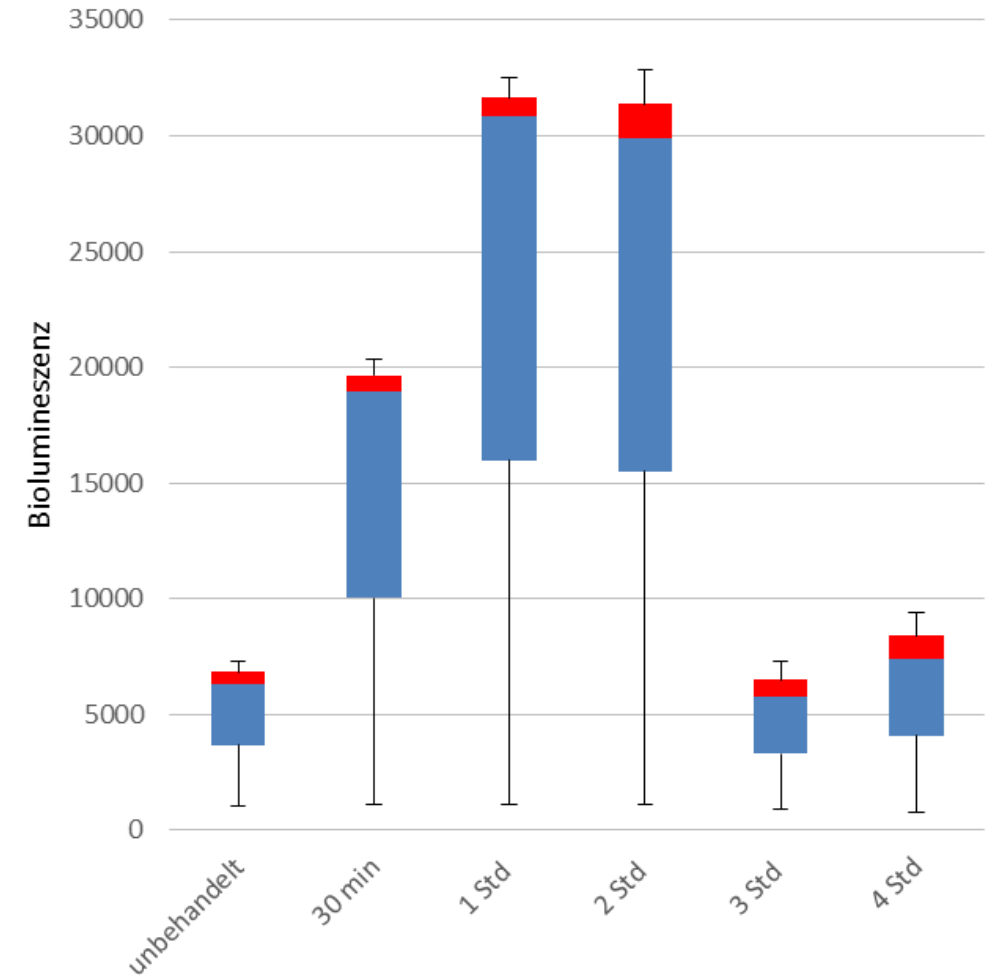
Effekt der Kavitationseinwirkung auf die biologische Aktivität und Biogaserzeugung der Klärschlammfermentation im Pilot-Maßstab



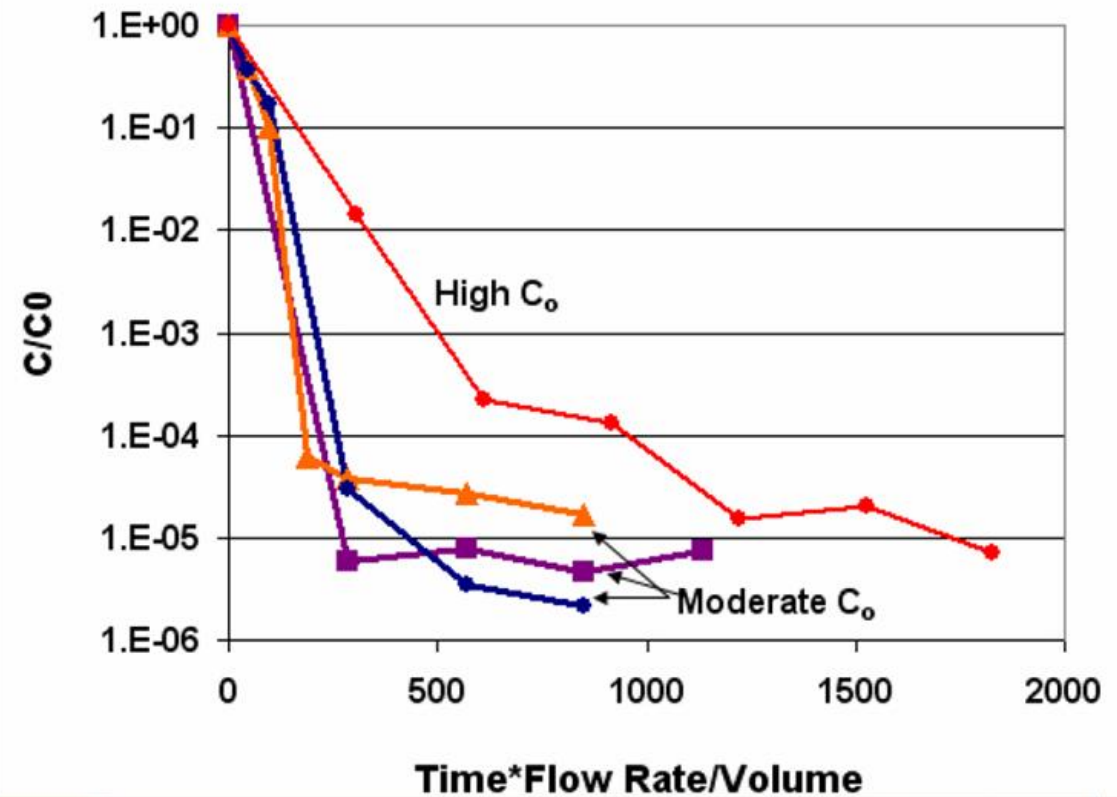
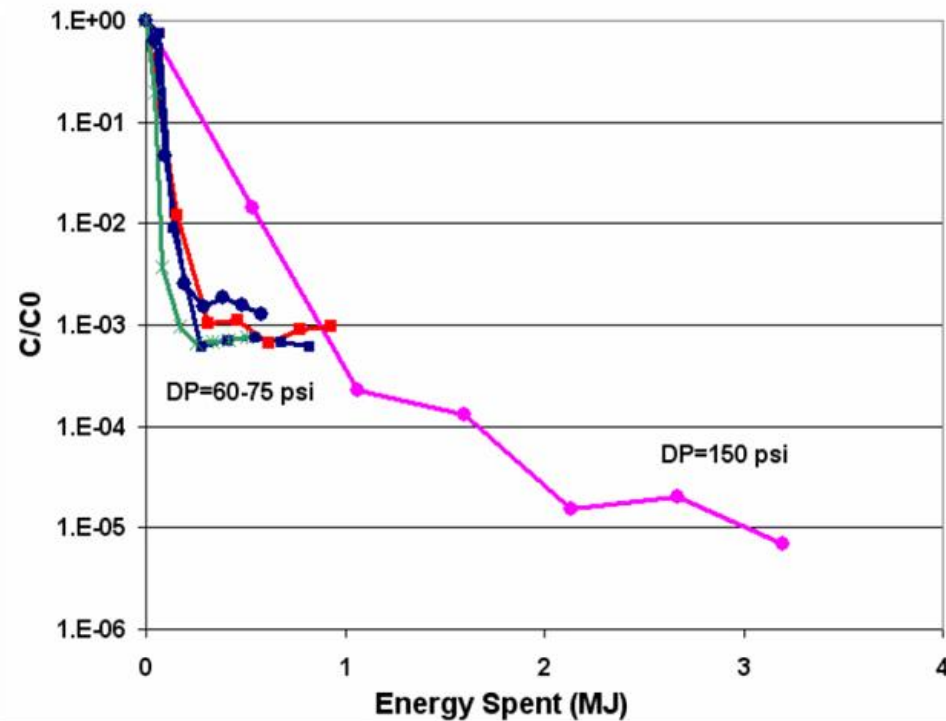
Substrate Parameter	Thickened sludge with cavitation
Optimum residence time	3 hours
Energy consumption	3,1 kWh/m ³
Increase of biogas formation	+ 21%

Quelle: Schmid A., Decker S.: Leistungssteigerung der Biogasproduktion durch Vorversäuerung in Kombination mit Substratvorbehandlung. Korrespondenz Abwasser, 66, 7, 558 - 562, 2019.

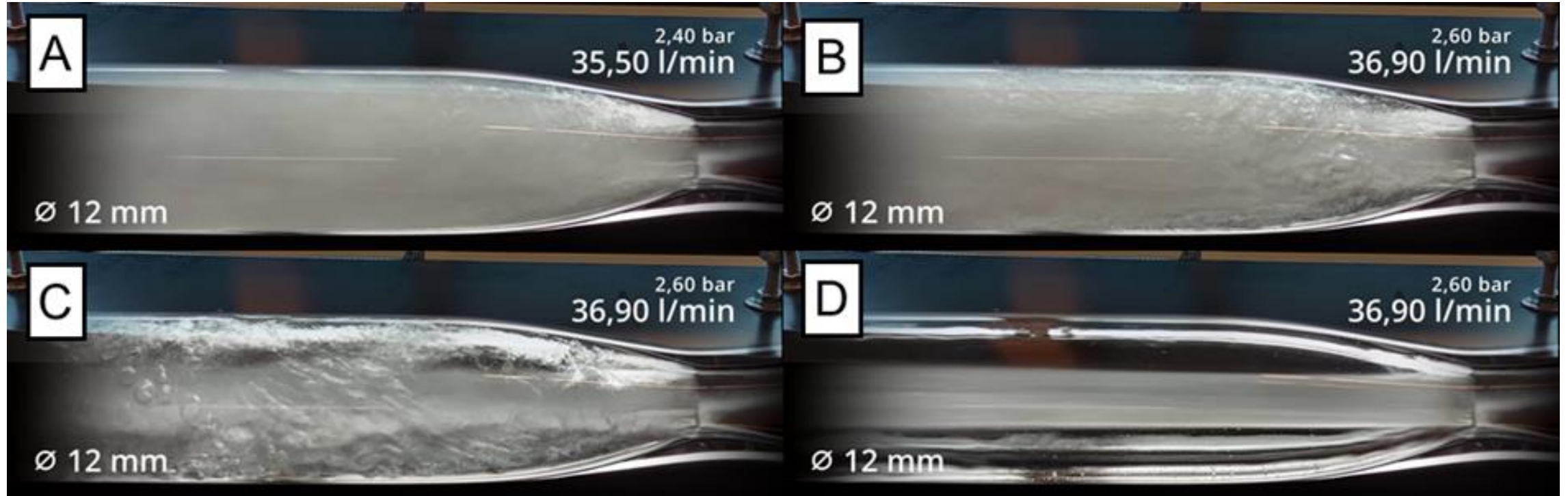
Schmid A.: Method and apparatus for increasing anaerobic decomposition by extending or adapting the preliminary acidification stage. EP3398912A1, 2017.



Keimzahl-Reduktion von *E-Coli* durch hydrodynamisch erzeugte Kavitation



Ausbildung von Superkavitation



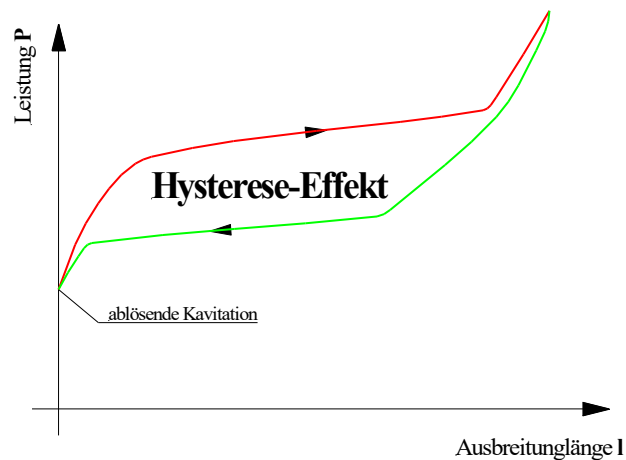
Ausbildung von Superkavitation.

A: Implodierende Kavitationsblasen, $\sigma = 0.528$. **B:** Übergang zu Superkavitation, $\sigma = 0.530$. **C:** Erste Ausbildung von Superkavitation, $\sigma = 0.530$. **D:** Superkavitation, $\sigma = 0.530$

Kavitation / Superkavitation im Pilot-Maßstab

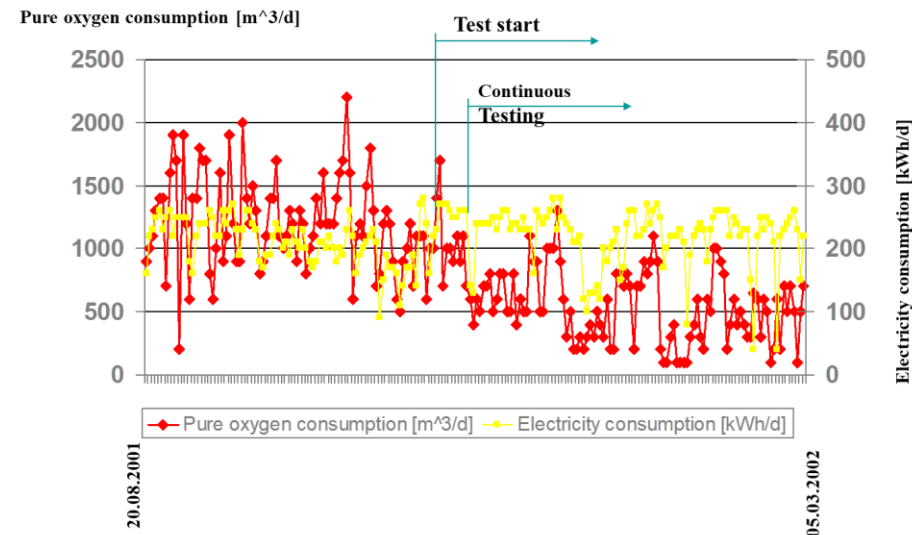
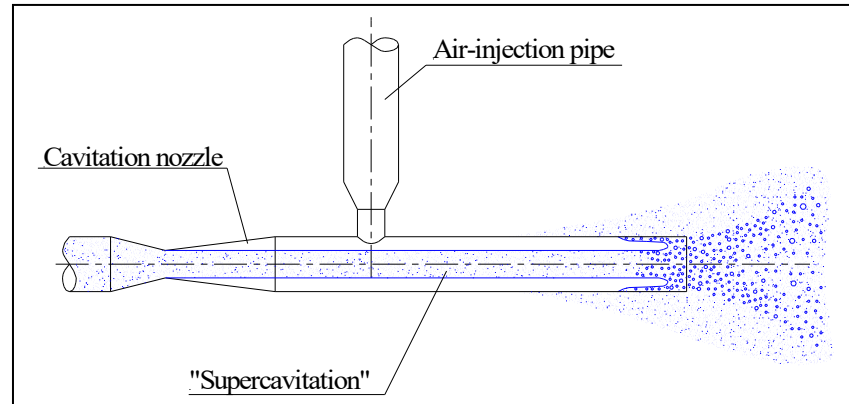


Ausbreitung von ablösender Kavitation
mit umhüllenden Gasmantel
in einer Rohrleitung



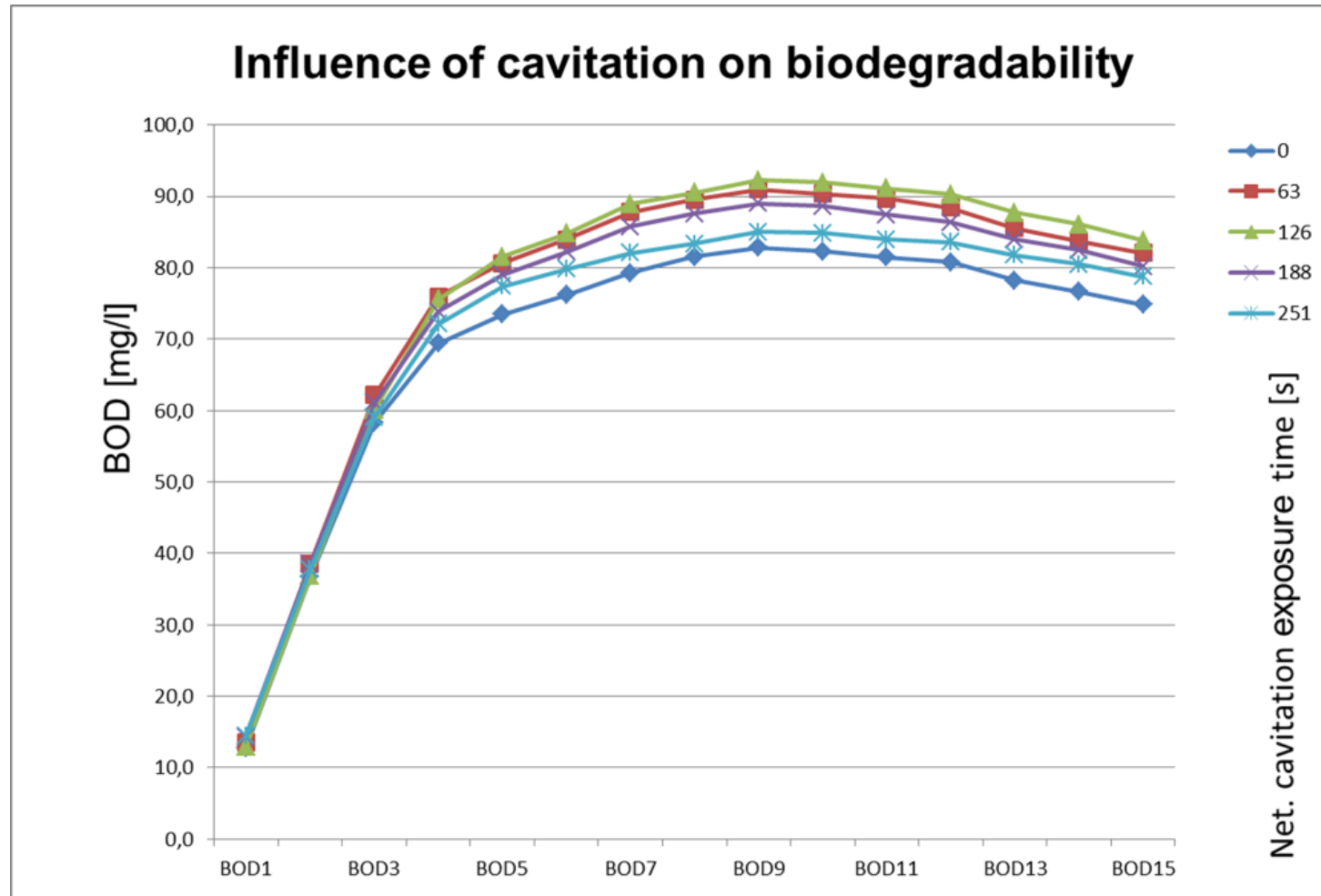
Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=5FAIqC7O5Ok>

Supercavitation in der Belüftungstechnik – großtechnischer Maßstab



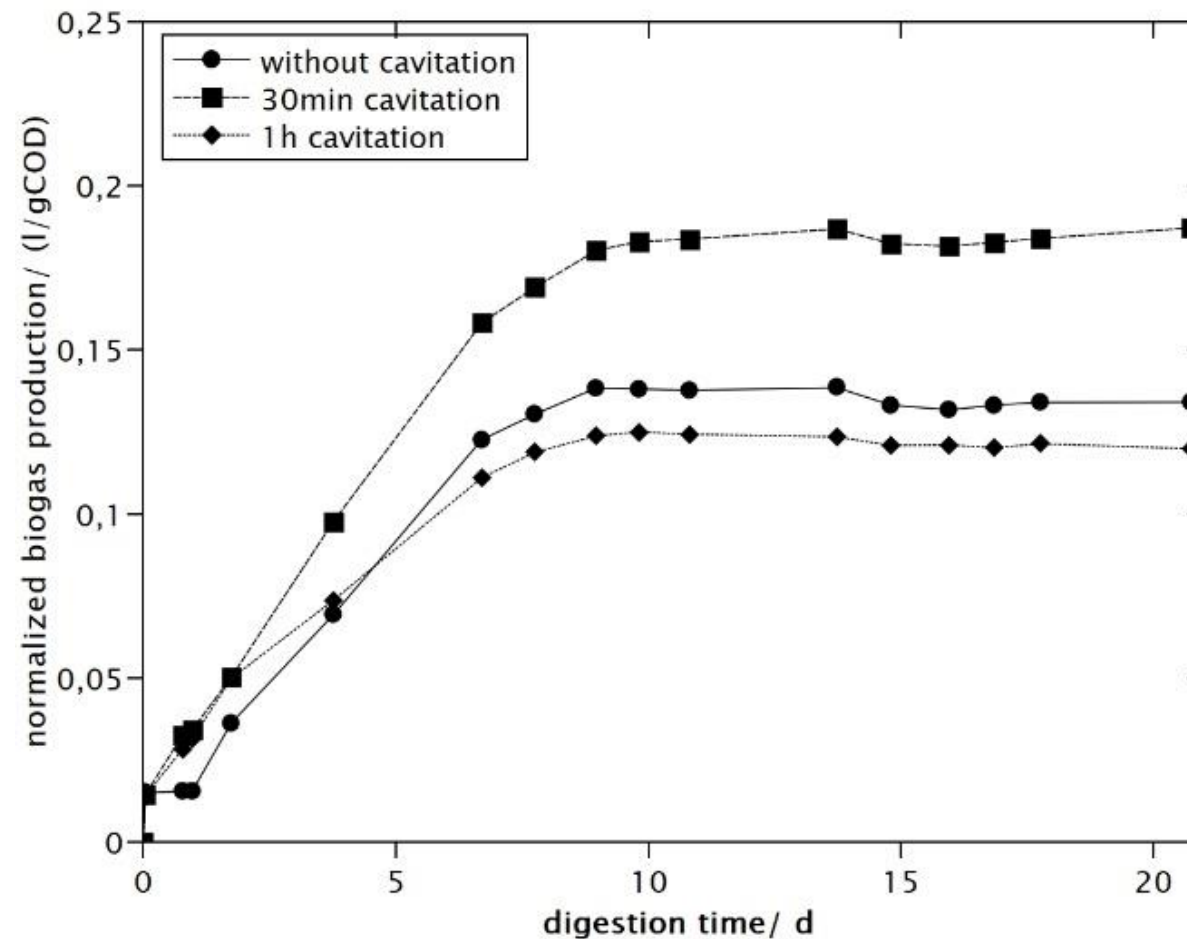
Quelle: Schmid A.: New Jet-Aeration System using “Supercavitation”. Environmental Science & Pollution Research, 17, 3, 582 – 585, 2010. DOI: 10.1007/s11356-009-0199-0
 Schmid A., Geier W.: Device and method for introducing gaseous and / or liquid medium into liquid medium. DE10320840A1, 2003.

Effekt von Superkavitation auf den biologischen Abbau von Ethan-1,2-diol im Pilot-Maßstab



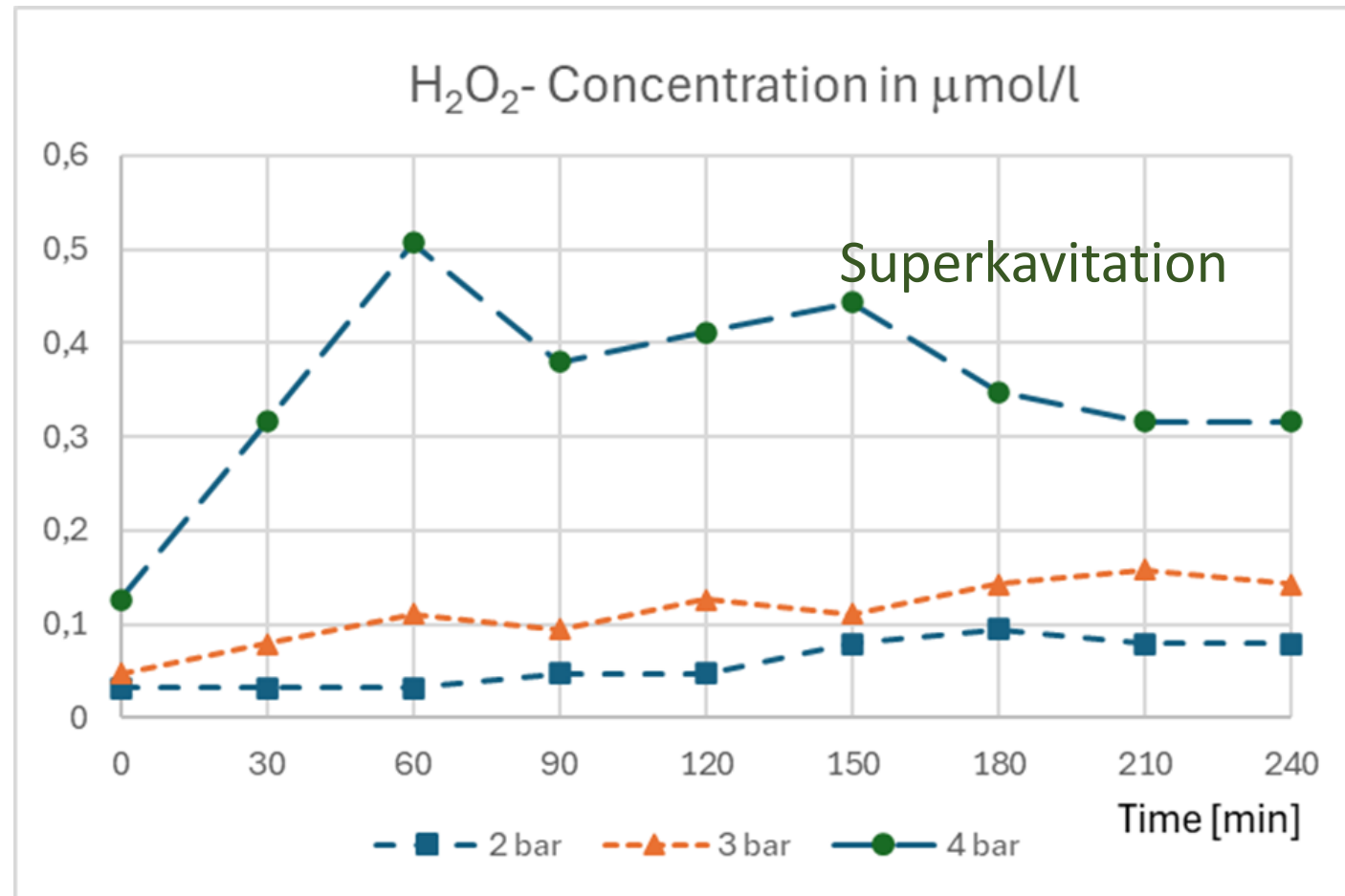
Quelle: Schmid A.: Effect of Hydrodynamic Induced Cavitation and Supercavitation on Water Pollutants. Aus: Katz J.: Proceedings of the 10th International Symposium on Cavitation (CAV2018). The American Society of Mechanical Engineers – ASME Digital Collection, 332 – 335, 2018. DOI: 10.1115/1.861851_ch64

Spezifische Biogas Produktion von Wäscherei-Abwässern nach Einwirken von Superkavitation im Labor-Maßstab



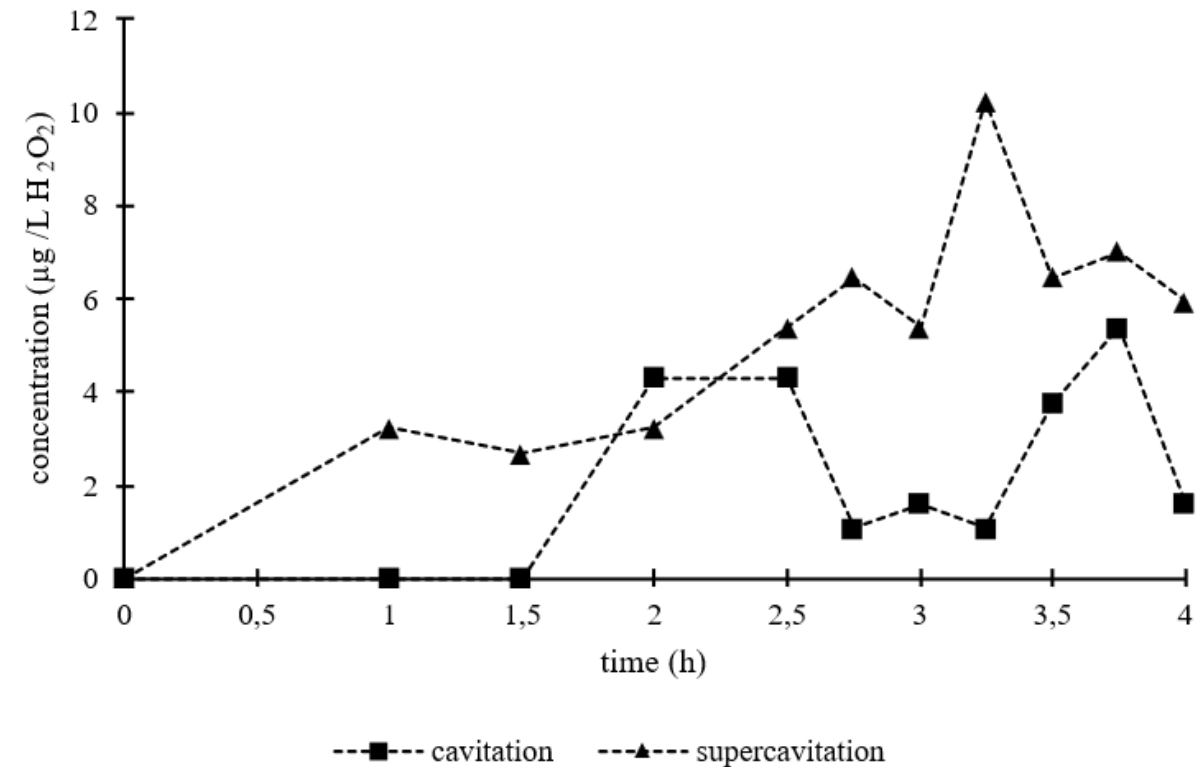
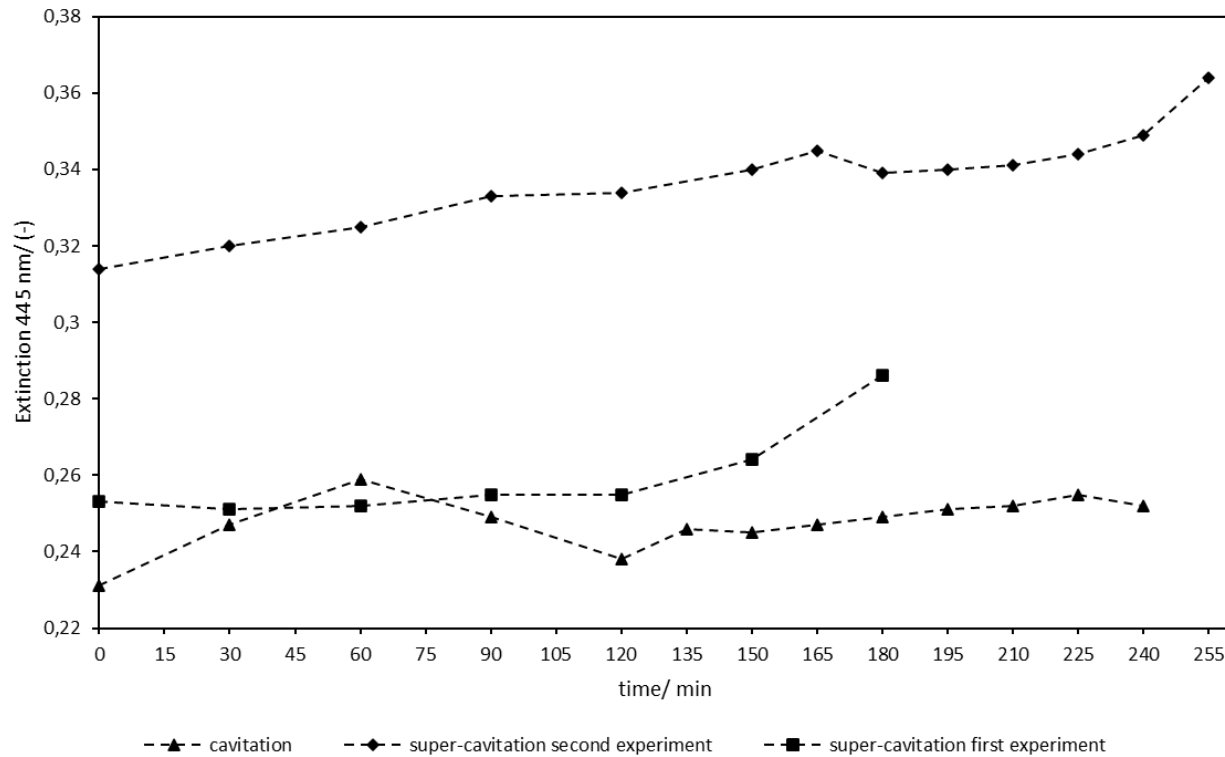
Inhibierung nach ca. 1 Stunde,
vermutlich verursacht durch
eine Akkumulation von H_2O_2 .

H₂O₂-Synthese in Trinkwasser bei verschiedenen Kavitationszuständen im Labor-Maßstab



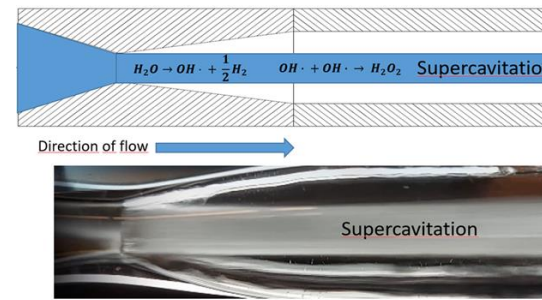
Quelle: Schmid A.: Generating strong oxidizing agents like hydrogen peroxide under hydrodynamically generated supercavitation inside a venturi. 19th Meeting of the European Society of Sonochemistry, Chania, 2026.

H₂O₂-Synthese in Trinkwasser bei verschiedenen Kavitationszuständen im Pilot-Maßstab



Quelle: Schmid A.: Generating strong oxidizing agents like hydrogen peroxide under hydrodynamically generated supercavitation inside a venturi. 19th Meeting of the European Society of Sonochemistry, Chania, 2026.

Zusammenfassung



- Im Inneren einer Venturi-Düse kann durch hydrodynamische Druckabsenkung Kavitation erzeugt werden. Man unterscheidet verschiedene Kavitationsformen - Supercavitation kann man insbesondere durch Erhöhung des Leistungseintrags generieren.
- Wenn Wasser verwendet wird, bilden sich hochreaktive Sauerstoffspezies (ROS), was zur Synthese von H_2O_2 durch $\text{OH} \cdot$ -Radikal-Rebound-Reaktionen führen kann.
- Wird Supercavitation eingestellt, werden im Vergleich zu einem Strömungsregime mit implodierenden Kavitationsblasen deutlich höhere H_2O_2 -Konzentrationen sowohl im Labor- als auch im Pilot-Maßstab erreicht.
- Wasserstoffperoxid wirkt als starkes Oxidationsmittel, bleibt über längere Zeit stabil und kann daher seine oxidierende Wirkung auf mögliche Schadstoffe im Wasser effizienter ausüben. Darüber hinaus wirkt H_2O_2 synergetisch in Kombination mit z. B. Hydroxylradikalen, was den Abbau von Schadstoffen weiter verstärkt.
- Hydrodynamisch erzeugte Kavitation / Supercavitation kann als Vorbehandlungsmethode für biologisch schwer abbaubare Substanzen zur weiteren biologischen Behandlung dienen.
- Weitere Untersuchungen der hydrodynamischen Strömungsbedingungen für Kavitation/Supercavitation sowie den damit verbundenen chemischen Effekten sind dringend geboten.



Prof. Dr.-Ing. Andreas Schmid

Institut für Wasserstoff- und Energietechnik (iwe)

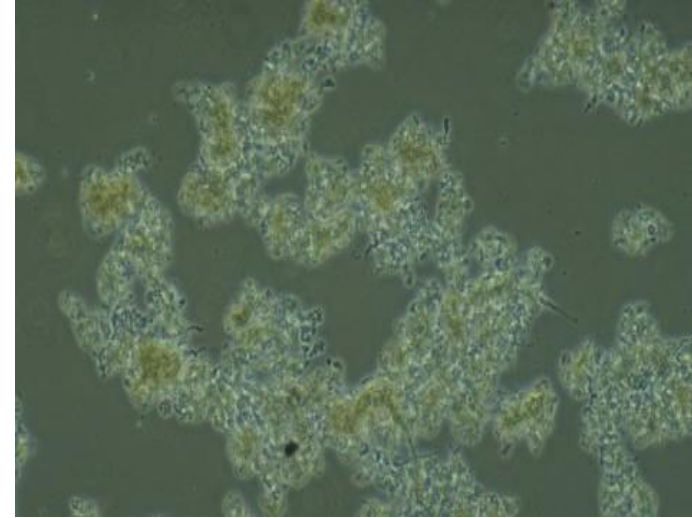
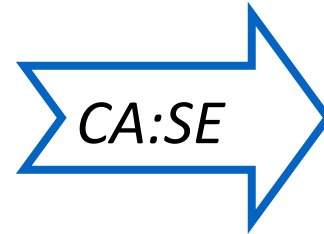
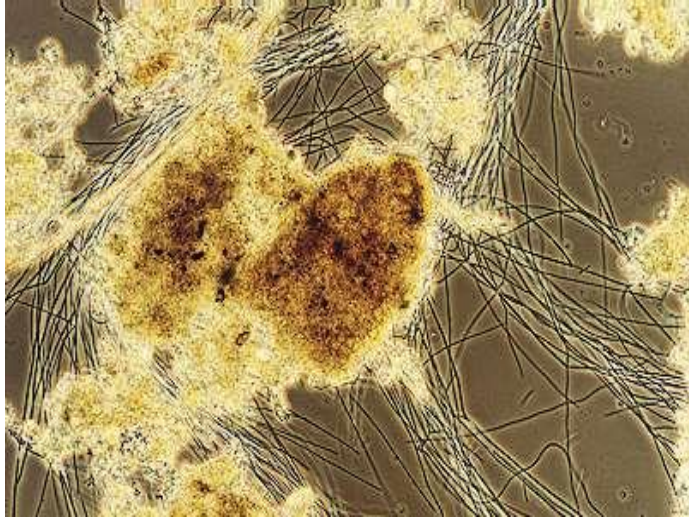
Alfons-Goppel-Platz 1

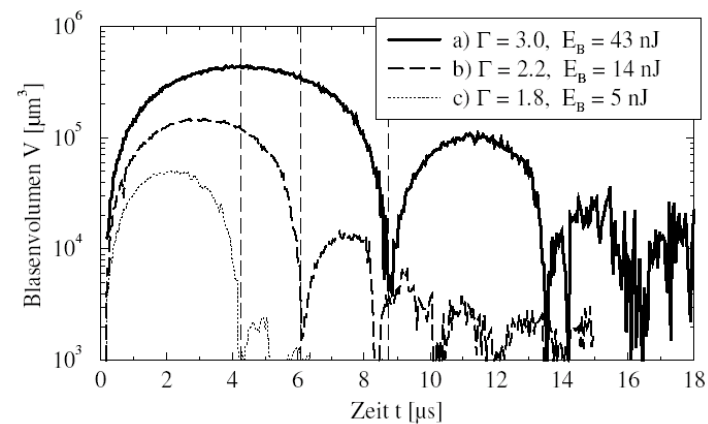
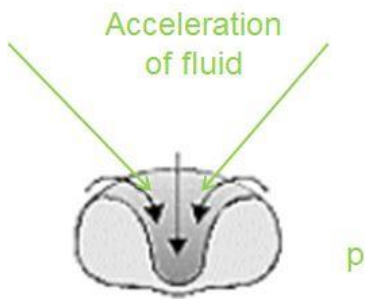
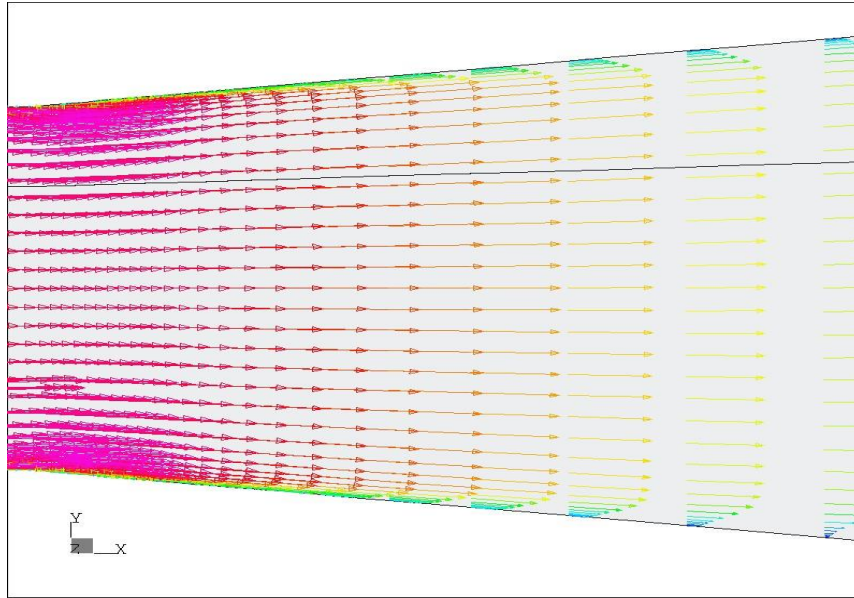
95028 Hof

Andreas.Schmid@Hof-University.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kavitations-Selektor gegen Bläh- und Schwimmschlamm





Druckdifferenzverlauf in einer Rohrleitung stromabwärts einer Kavitationsdüse

