

UltraStaRK

Ultraschallunterstützter Stator-Rotor-Kavitationsreaktor zur oxidativen Entfernung von Mikroschadstoffen aus Wasser

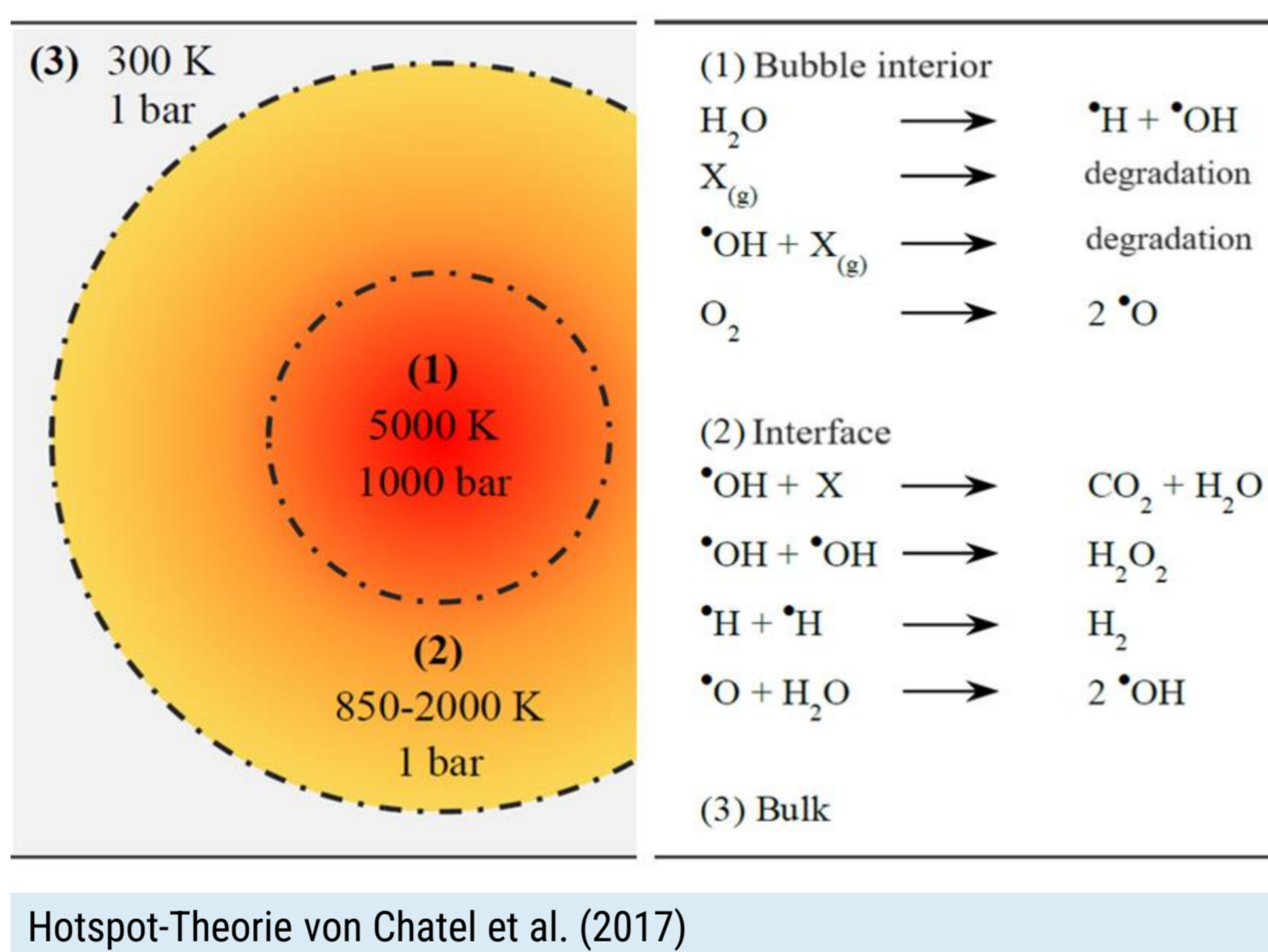
Innovationsfeld
„Wasser Reinigen“

Einleitung

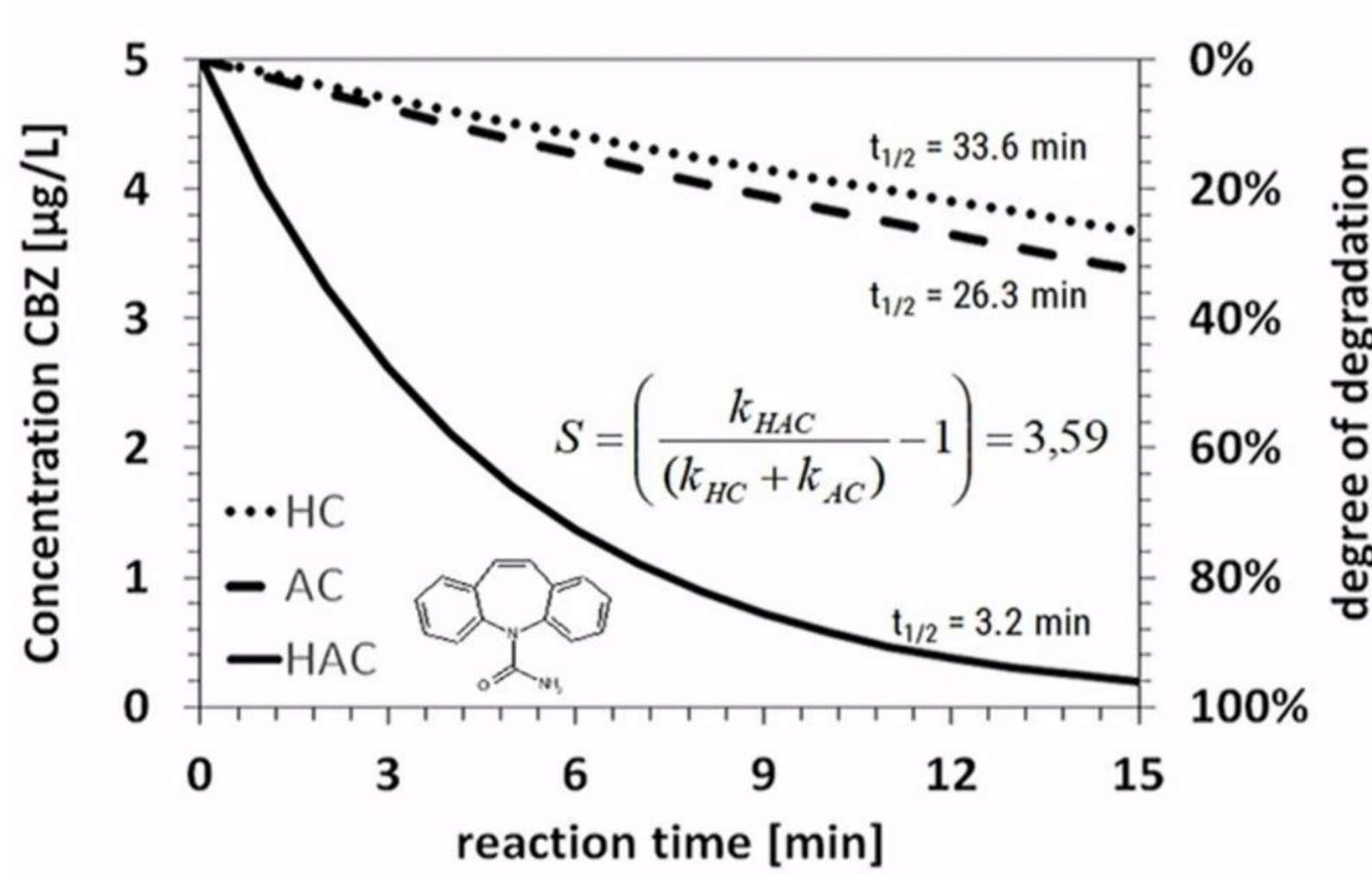
Steigende Herausforderungen durch Wasserknappheit und den zunehmenden Eintrag umweltschädlicher Chemikalien in Gewässer unterstreichen die dringende Notwendigkeit für nachhaltige und effizientere Abwasserreinigungstechnologien. Im Rahmen des Projekts UltraStaRK wird untersucht, wie sich der Energieverbrauch durch die Integration von Ozonung mit akustischer und hydrodynamischer Kavitation reduzieren lässt. Dabei liegt der Fokus auf der Entwicklung und Optimierung eines innovativen Rotor-Stator-Systemes zur Erzeugung von Kavitation.

Theorie

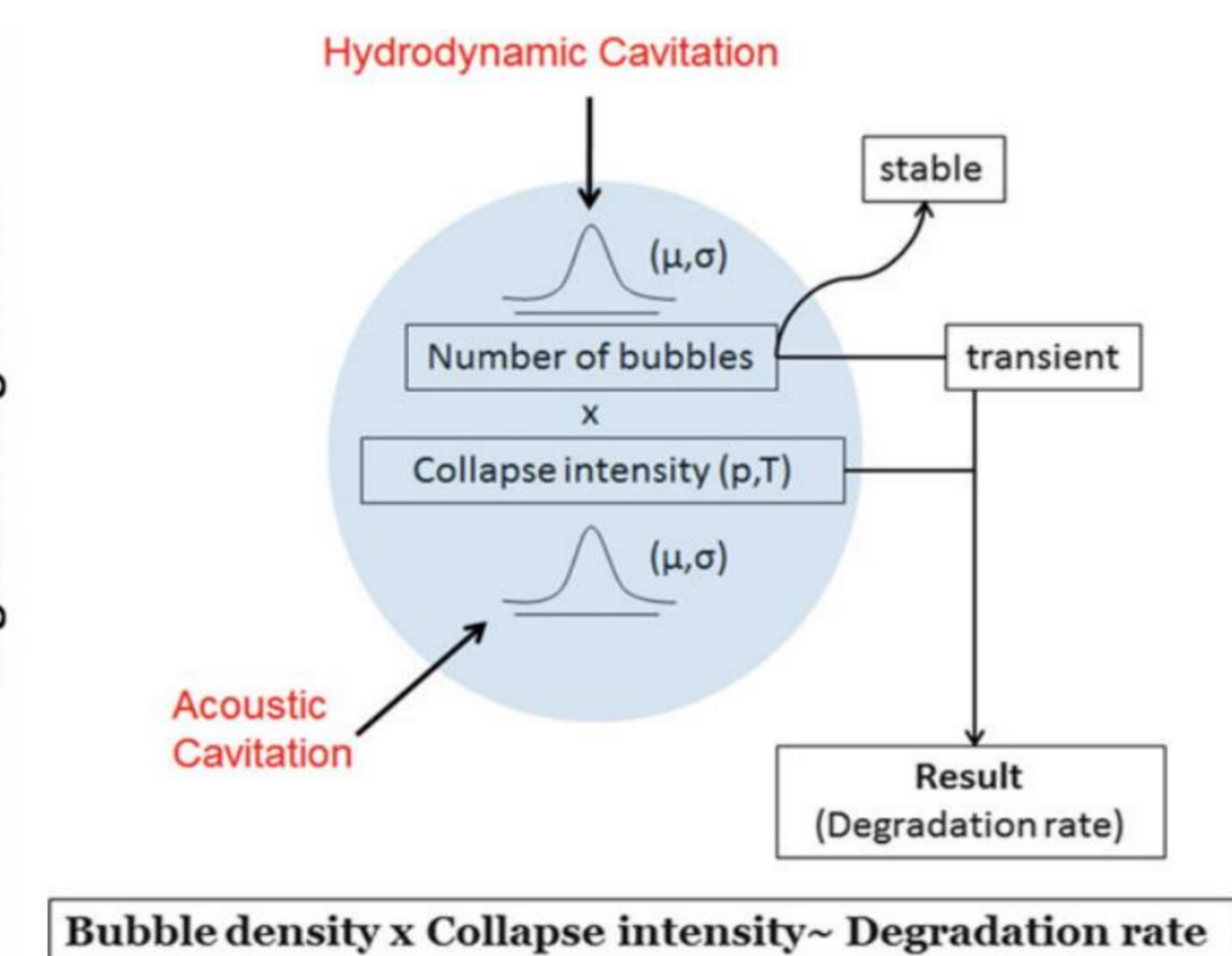
Kavitation beschreibt die Bildung, das Wachstum und den Kollaps von dampfgefüllten Blasen in Flüssigkeiten, ausgelöst durch einen kritischen Druckabfall. Dieser Prozess erzeugt lokal extreme Temperaturen und Drücke, die chemische Reaktionen und physikalische Effekte hervorrufen, die in der Abwasserreinigung genutzt werden. In Rotor-Stator-Kavitationsreaktoren entsteht Kavitation durch schnelle Rotation, wobei speziell gestaltete Oberflächen am Rotor und Stator die Effizienz steigern. Optimierungen an diesen kavitationsbildenden Einheiten (CGUs) können die Kavitationsausbeute weiter erhöhen.



Unter anderem haben frühere Projekte der Arbeitsgruppe gezeigt, dass die Kombination mehrerer Kavitationsverfahren, insbesondere in Verbindung mit Ozonisierung, synergetische Effekte erzeugt. Diese Kombination verspricht eine höhere Energieeffizienz, wodurch sie eine vielversprechende Lösung für nachhaltigere Abwasserreinigungstechnologien darstellt.



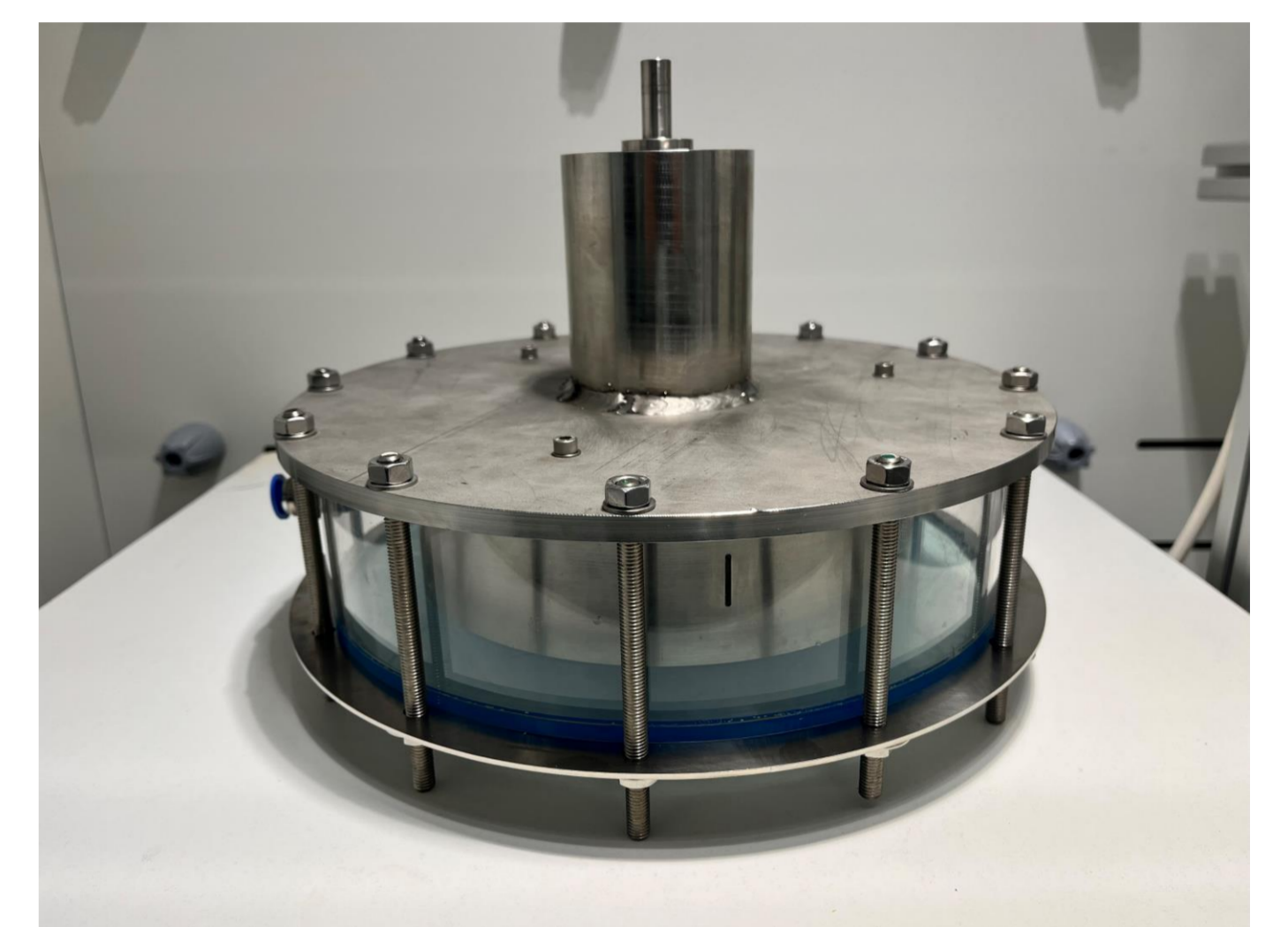
Synergetische Effekte durch die Kombination von verschiedenen Kavitationsformen



Laboraufbau



Reaktor, Gehäusegestell, Motor und Controller im Laborabzug



Reaktor, Gehäusegestell, Motor und Controller im Laborabzug

Der Laborreaktor ist noch im Aufbau, jedoch wurden das Gestell und die Kontrollsysteme bereits installiert. Mit dem Eintreffen der verbleibenden Komponenten wird erwartet, dass die ersten Testversuche in den kommenden Wochen beginnen können.

Simulationen

Zur Optimierung der Reaktorgeometrie in Bezug auf die erzeugte hydrodynamische Kavitation wurden Ansys Fluent Simulationen durchgeführt. Zunächst wurden die Einflussfaktoren Drehzahl, Rotor- und Statorschlitzbreite, Rotor- und Statordicke und die Spaltbreite mit Hilfe von Design of Experiment optimiert. Die DoE-Analyse ergab ein signifikantes Modell zur Vorhersage des logarithmierten Gaspeaks. Signifikante Einflussfaktoren sind Drehzahl, Rotorschlitzbreite, Spaltbreite und die Interaktion von Rotor- und Statorschlitzen ($p < 0,05$).

ANOVA eines reduzierten 2FI-Modells mit den Faktoren Drehzahl, Rotor- und Statorschlitzbreite, Rotor- und Statordicke und Spaltbreite

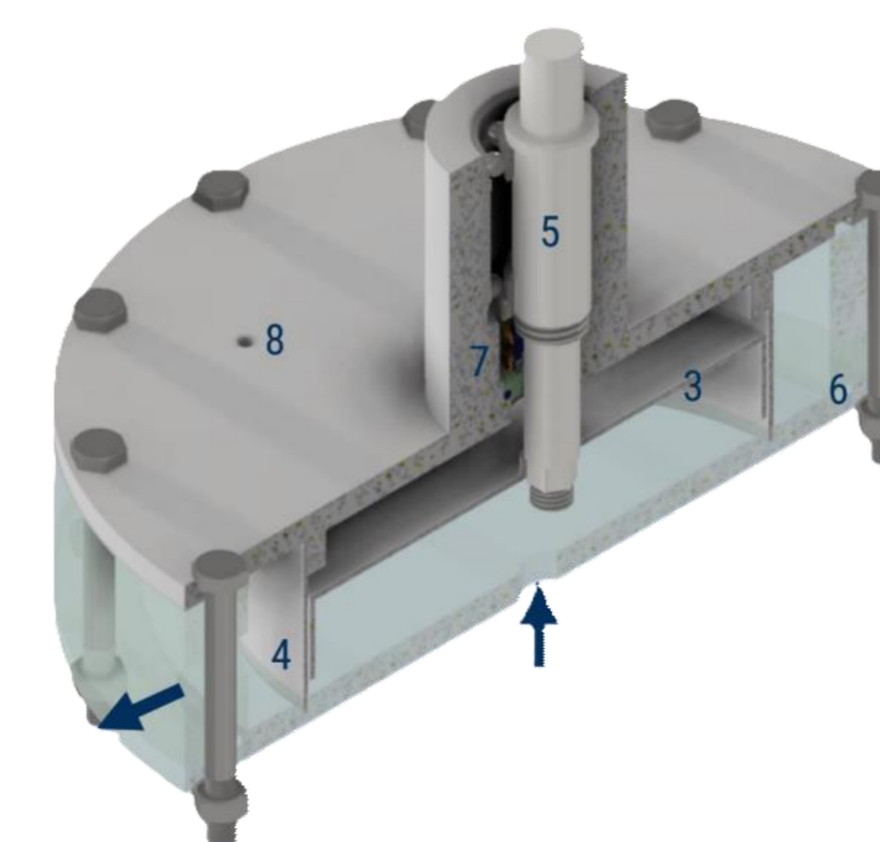
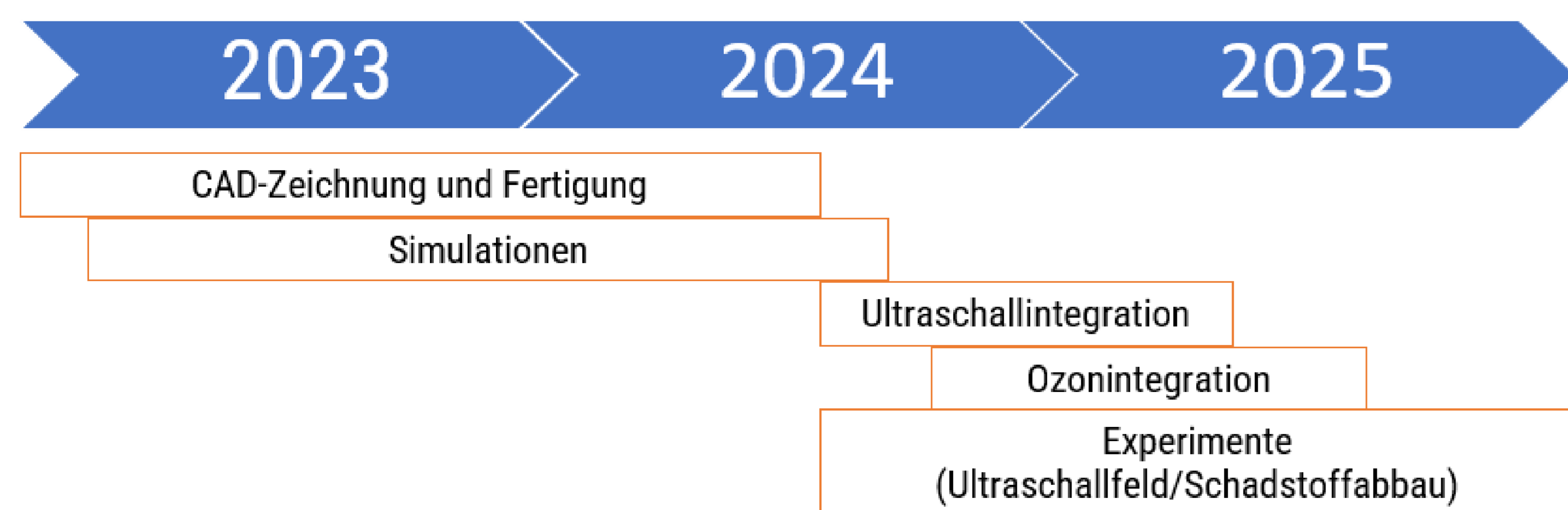
Faktor	ln(Gaspeak)	p-value
Mittelwert	-16,931	
A: Drehzahl	1,320	1,87E-09
B: Schlitzbreite Rotor	0,4797	0,0013
C: Schlitzbreite Stator	-0,1771	0,1815
D: Rotordicke	0,1368	0,2976
F: Spaltbreite	-1,0477	8,13E-08
AC	-0,2662	0,0505
BC	0,3781	0,1511
BD	0,2630	0,0078
Std. Dev.	0,7642	R ² 0,8902
Mean	-16,93	Adjusted R ² 0,8520
C.V. %	4,51	Predicted R ² 0,7875
		Adeq Precision 16,2242

Anschließend wurde die Anzahl der Rotor- und Statorschlitze durch eine weitere DoE-Analyse untersucht. Hier zeigte sich, dass vor allem die Statorschlitze und deren quadratische Komponente einen signifikanten Einfluss haben. Außerdem zeigt die nicht-lineare Interaktion zwischen Rotor- und Statorschlitzen eine hohe Signifikanz für das berechnete Modell.

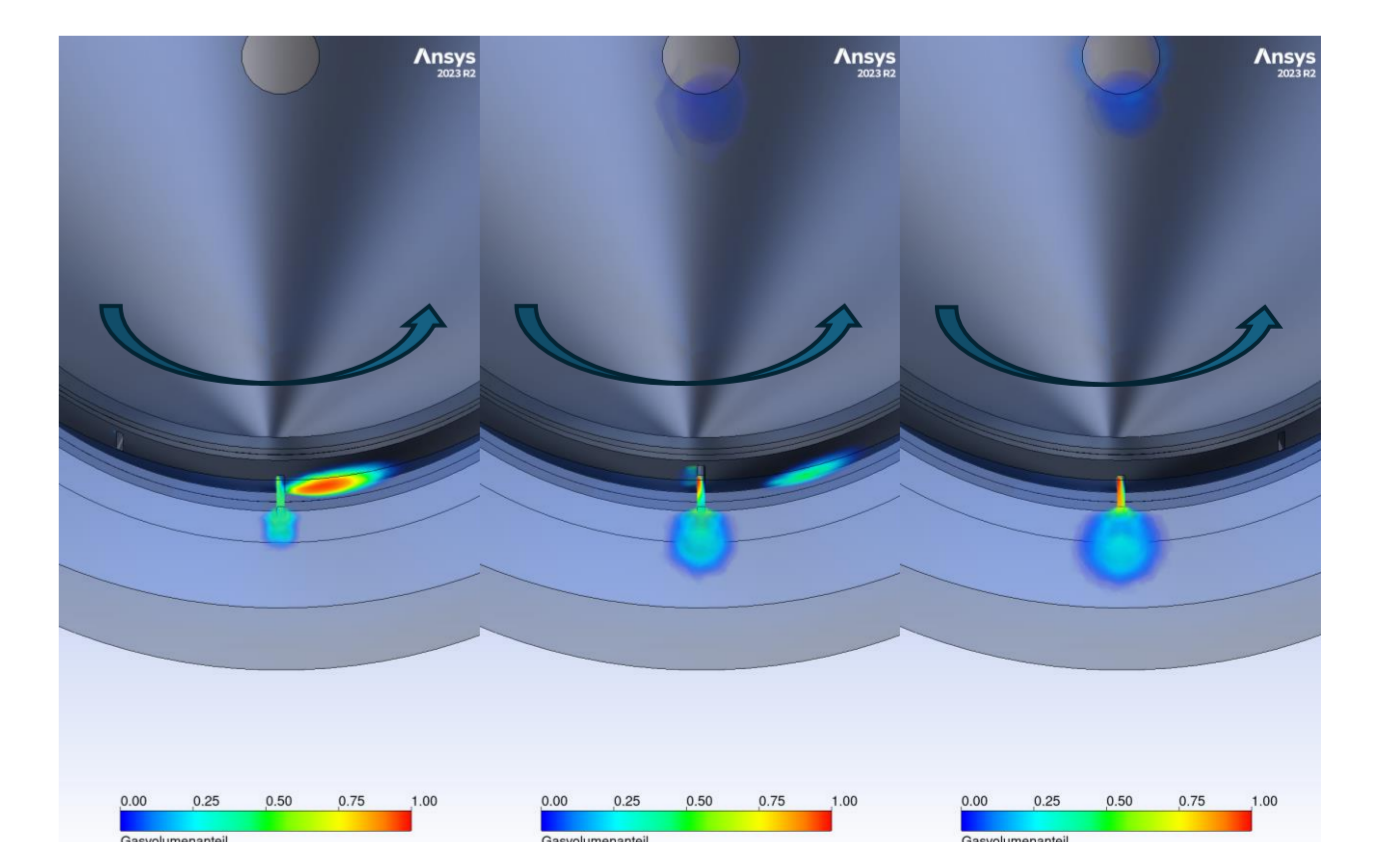
ANOVA eines reduzierten kubischen Modells mit den Faktoren Rotor- und Statorschlitzanzahl

Faktor	Log ₁₀ (Gaspeak)	p-value
Mittelwert	-7,762	
A-Rotorschlitze	-0,715	0,0539
B-Statorschlitze	-0,655	0,0052
AB	0,409	0,0968
B ²	-1,191	0,0094
AB ²	1,380	0,0093
Std. Dev.	0,4978	R ² 0,8865
Mean	-8,50	Adjusted R ² 0,8156
C.V. %	5,85	Predicted R ² 0,5974
		Adeq Precision 11,4604

Timeline



CAD-Modell des Reaktors



Gasentwicklung im simulierten Reaktor