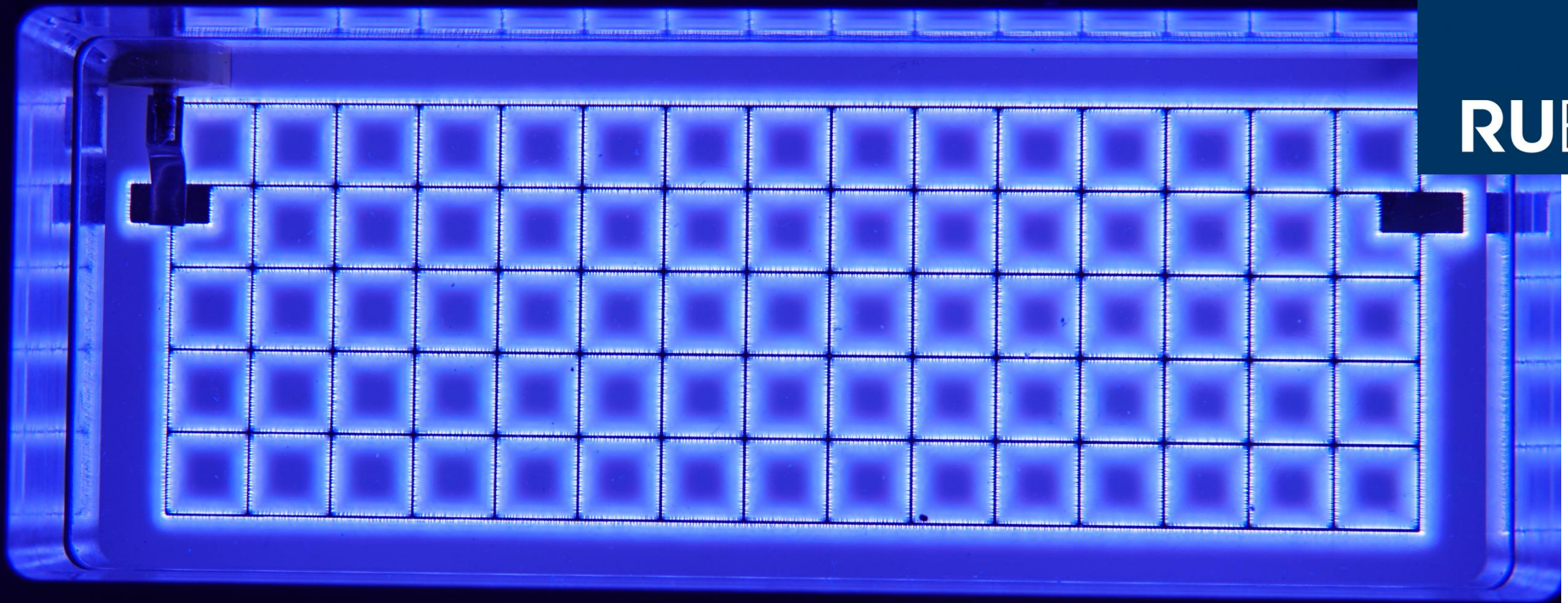


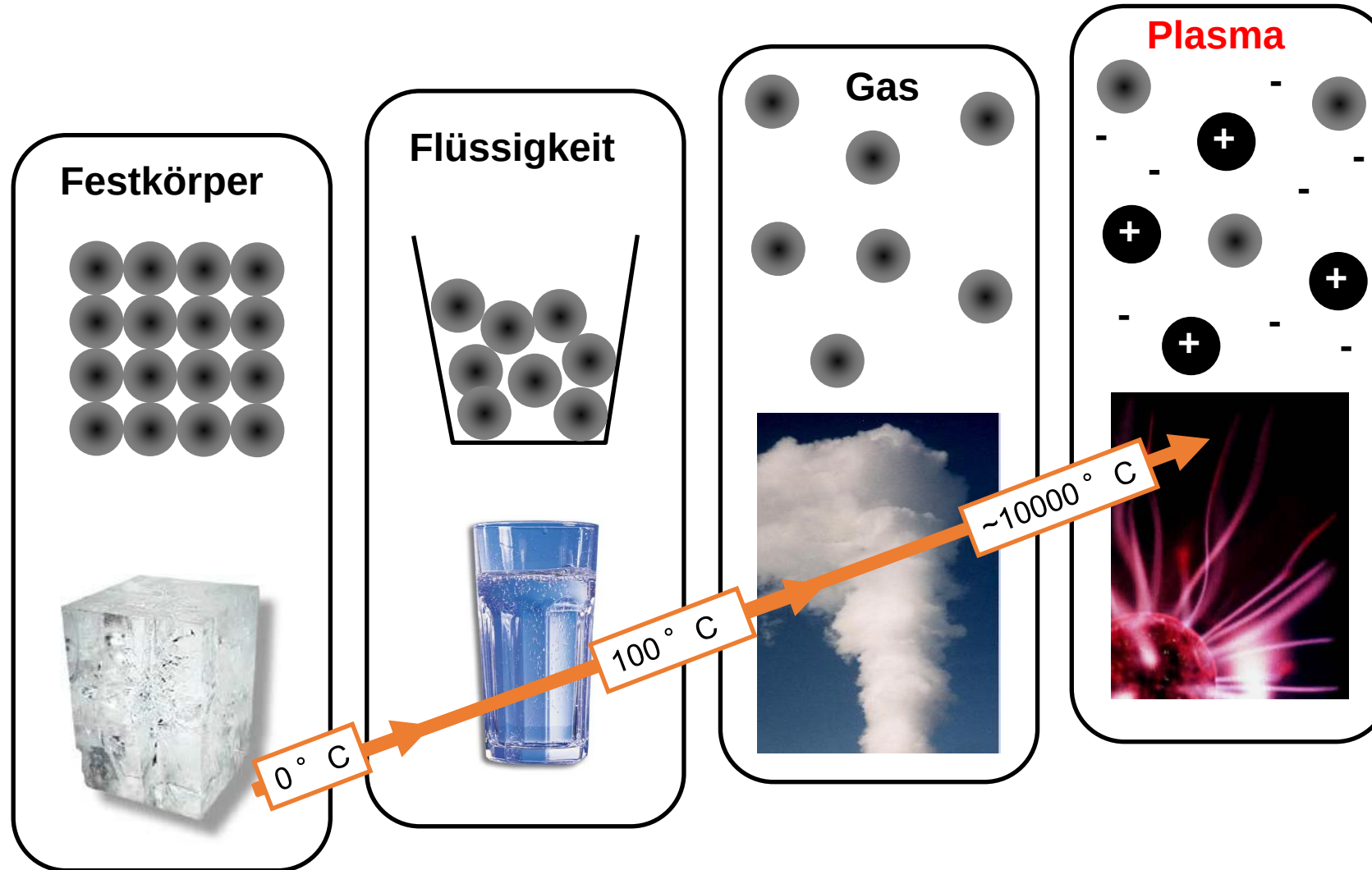


Plasmaforschung als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

Achim von Keudell, Judith Golda

Ruhr-Universität Bochum

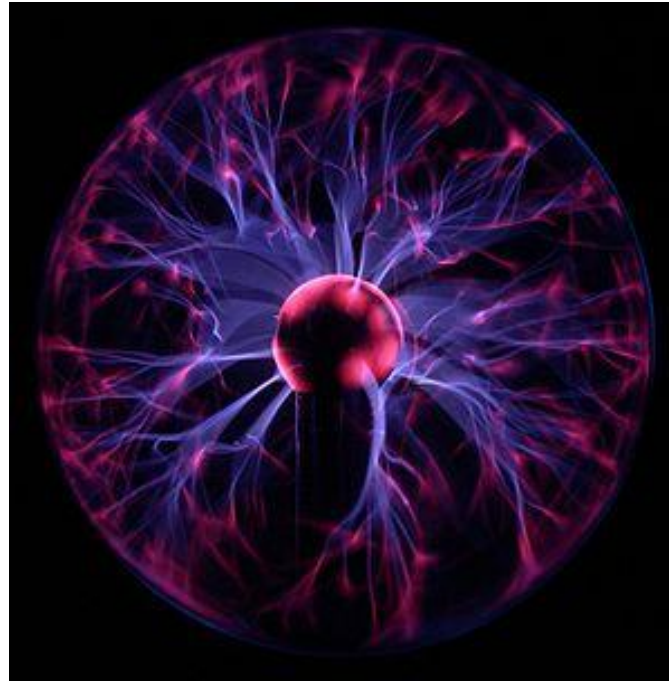
Plasmen als 4. Zustand der Materie



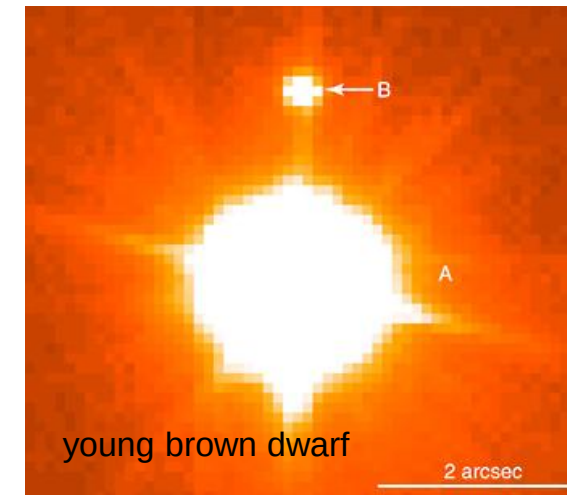
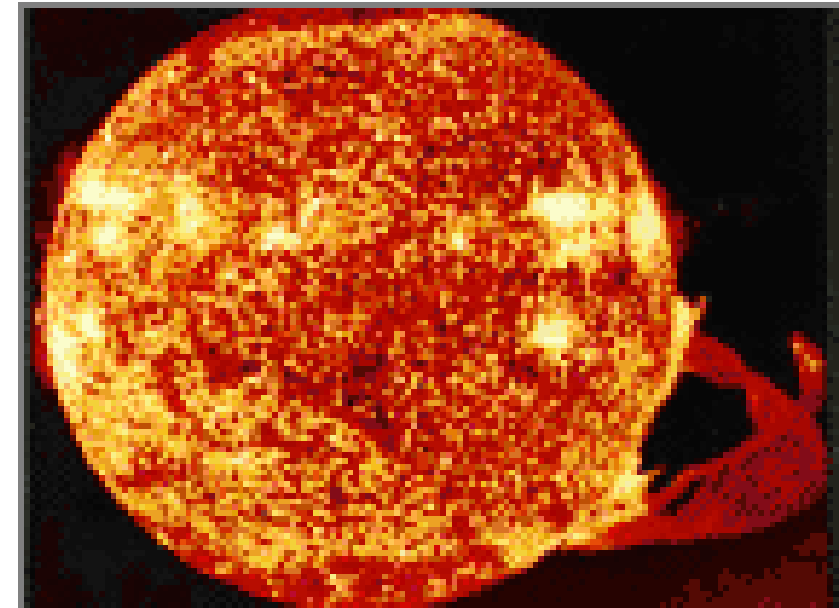
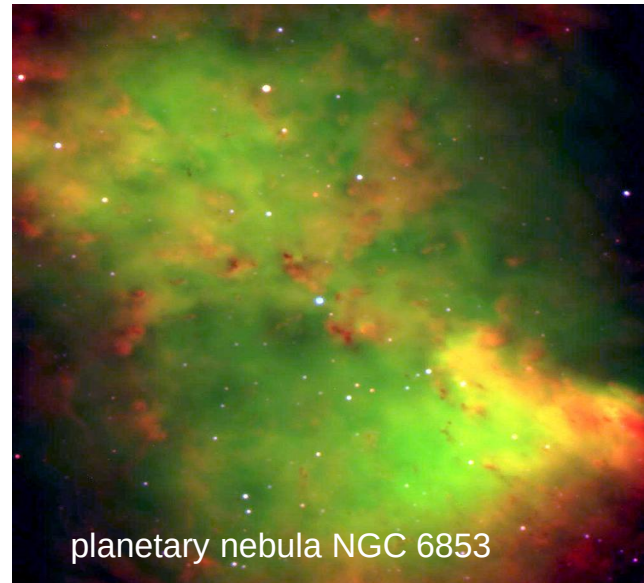
- Plasmen zum Ätzen
- Plasmen zum Beschichten
- Plasmen für die Energiewende
- Plasmen in der Schule

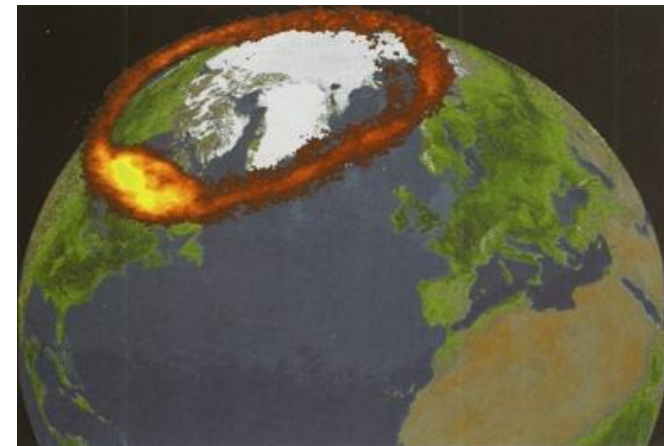
Definition

Plasma ist ein (heisses) ionisiertes Gas mit reaktiven Teilchen wie Elektronen, Ionen und Radikale



Mehr als 99% der sichtbaren Materie ist im Plasmazustand





„Blitze“ in technischen Plasmen

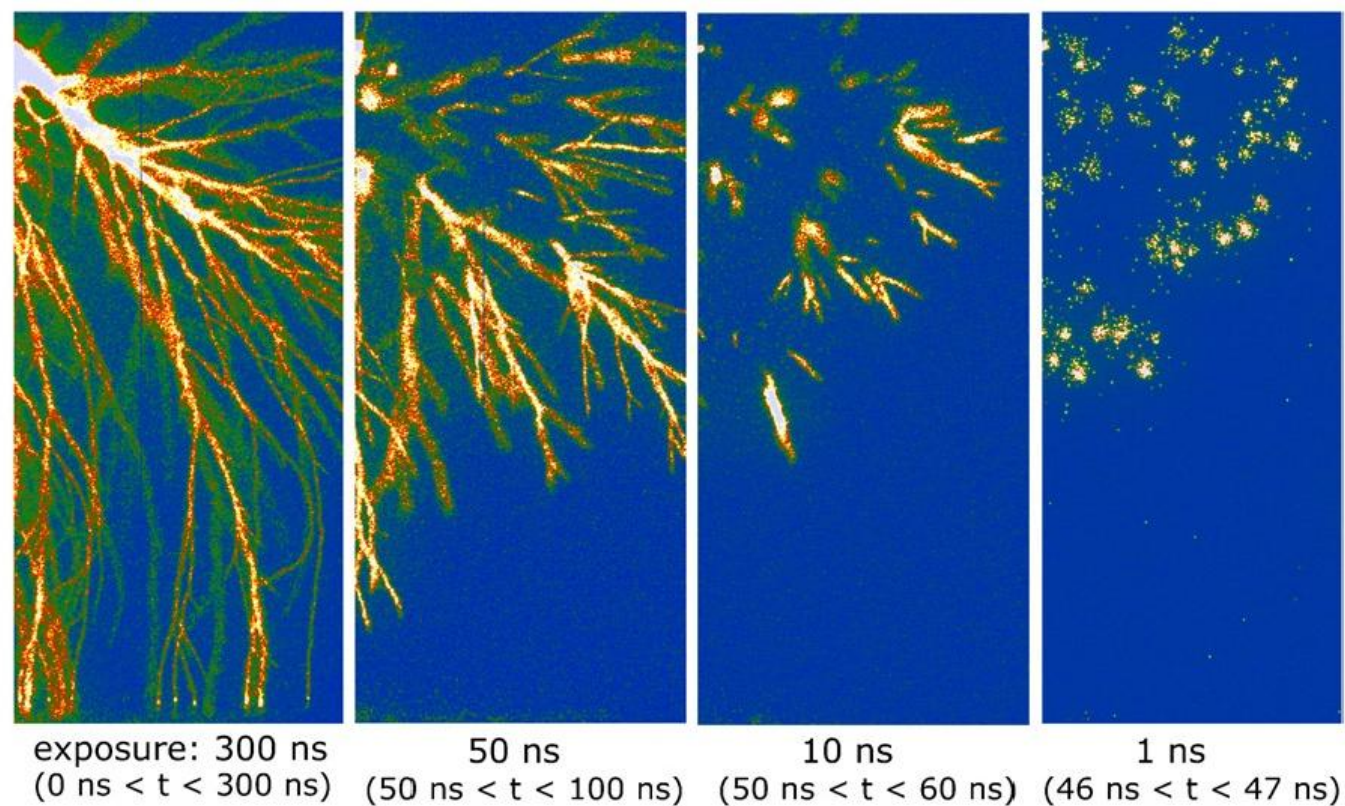
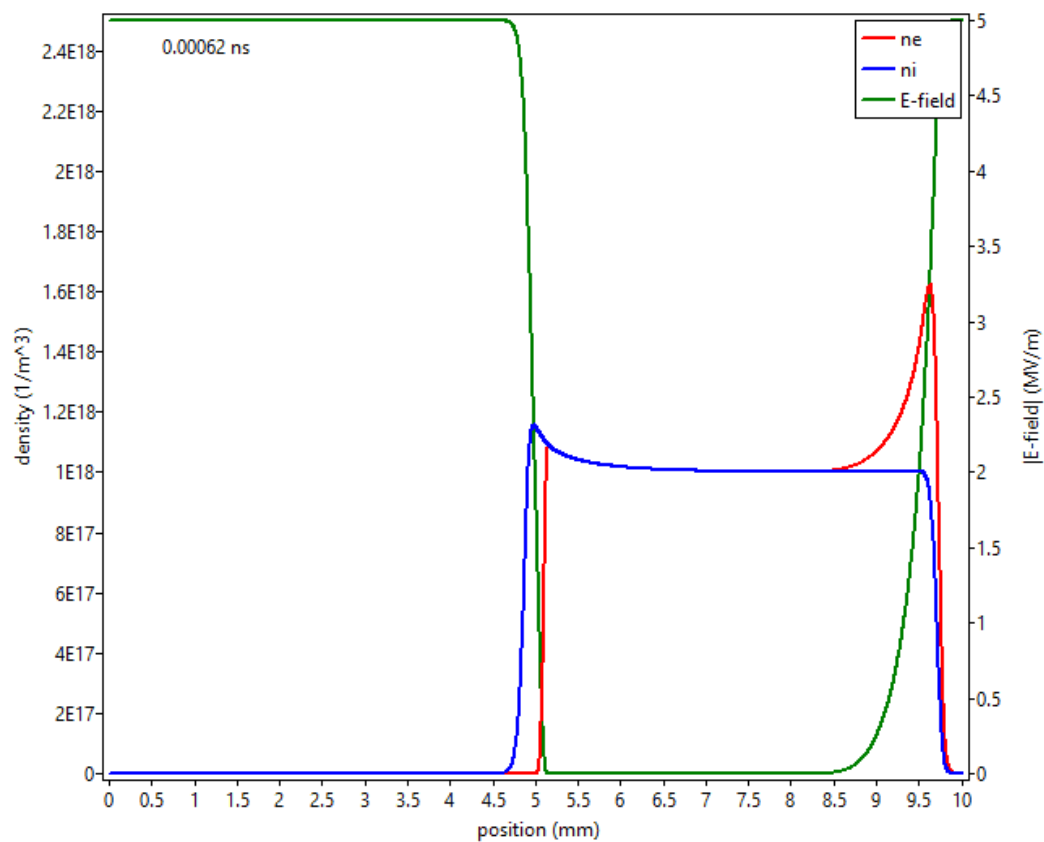


Abbildung 2.14: Photographie einer Streamerentladung bei unterschiedlichen Belichtungszeiten. [U. Ebert et al. *The multiscale nature of streamers*, Plasma Sources Science and Technol. 15, S118 (2006)]

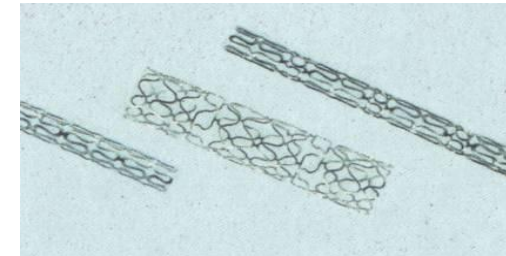
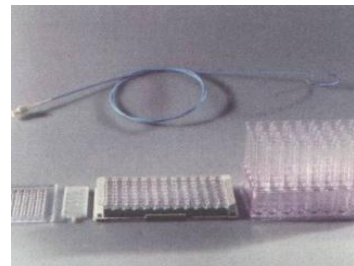
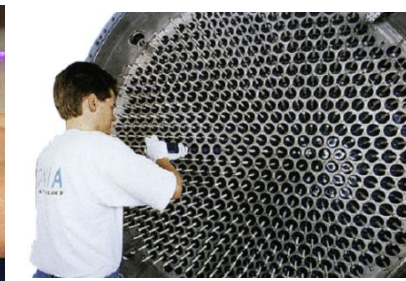
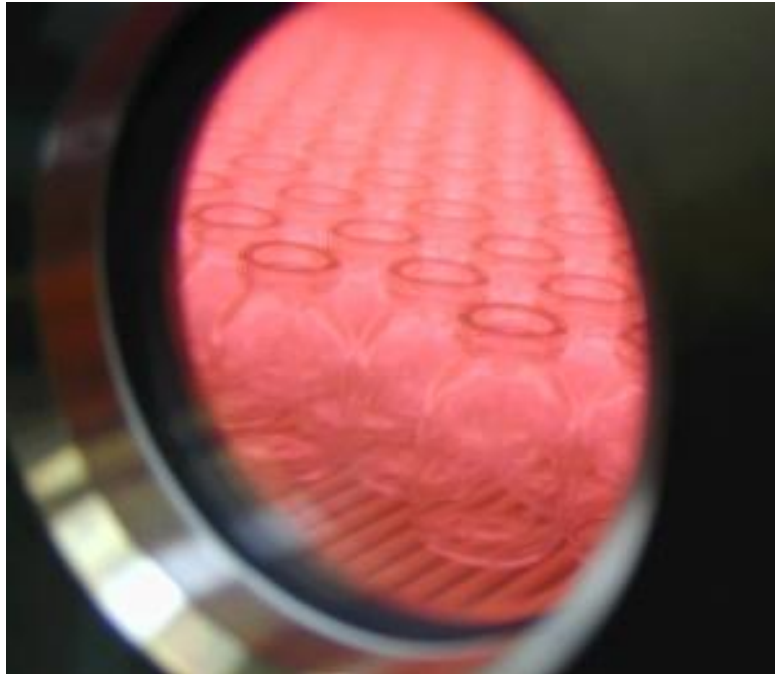
Plasmen im täglichen Leben



<http://www.nap.edu/catalog/11960.html>

Plasmen für biomedizinische Anwendungen

- Implantate – plasmabeschichtet
- Katheder – plasmabeschichtet
- Stents – plasmabeschichtet
- Sterilisation





Kaltplasmatherapie für reine und strahlende Haut

LÖWEN-DEAL: Jetzt 40€ sparen - Code: LÖWE40

Zum Glim Skin GLIM90



Käuferschutz

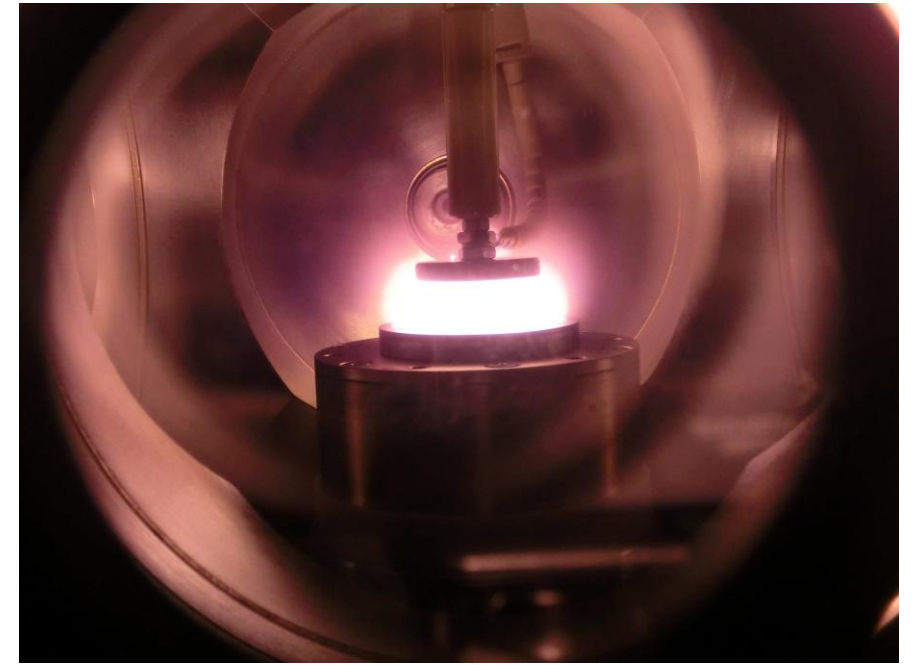
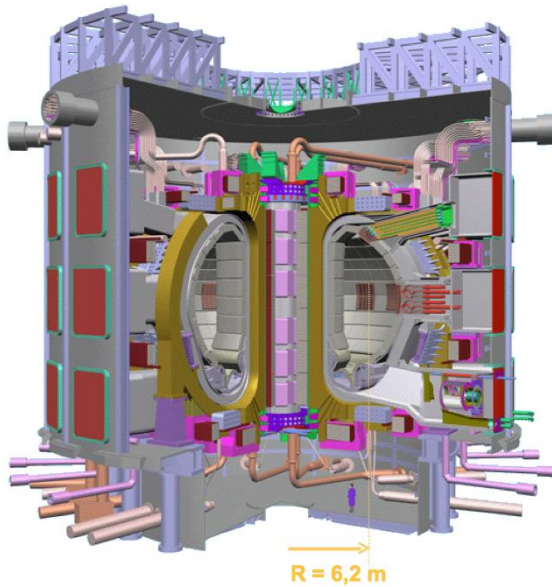
★★★★★

4,92

Sehr gut

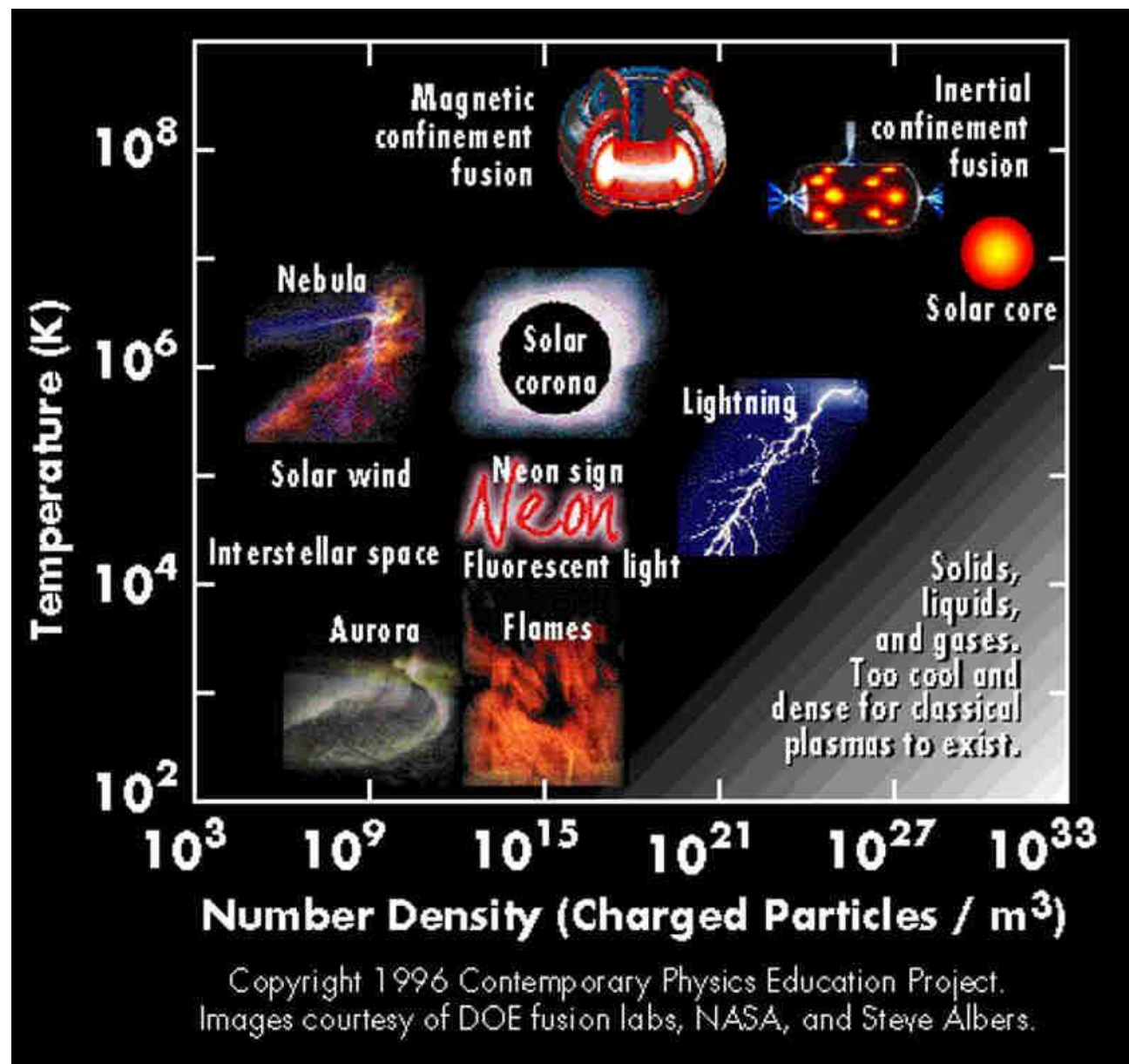
A promotional image featuring two women in a bathroom setting. The woman on the left, wearing a black blazer over an orange top, is holding the Glim Skin device and demonstrating its use. The woman on the right, wearing a blue blazer, is also holding the device. The background includes a white sink, a mirror, and various bathroom items on a shelf.

- Plasmaschalter (Kraftwerke)
- Solarzellen
- Kernfusion
 - W 7-X, IPP Greifswald
 - ITER, Cadarache (Frankreich)



Unterschiedliche Plasmen

Temperatur vs. Elektronendichte

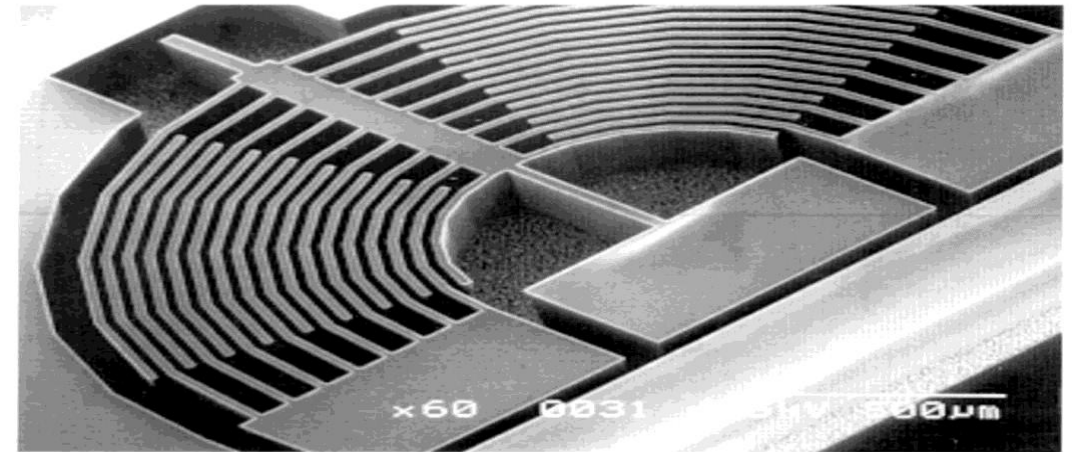
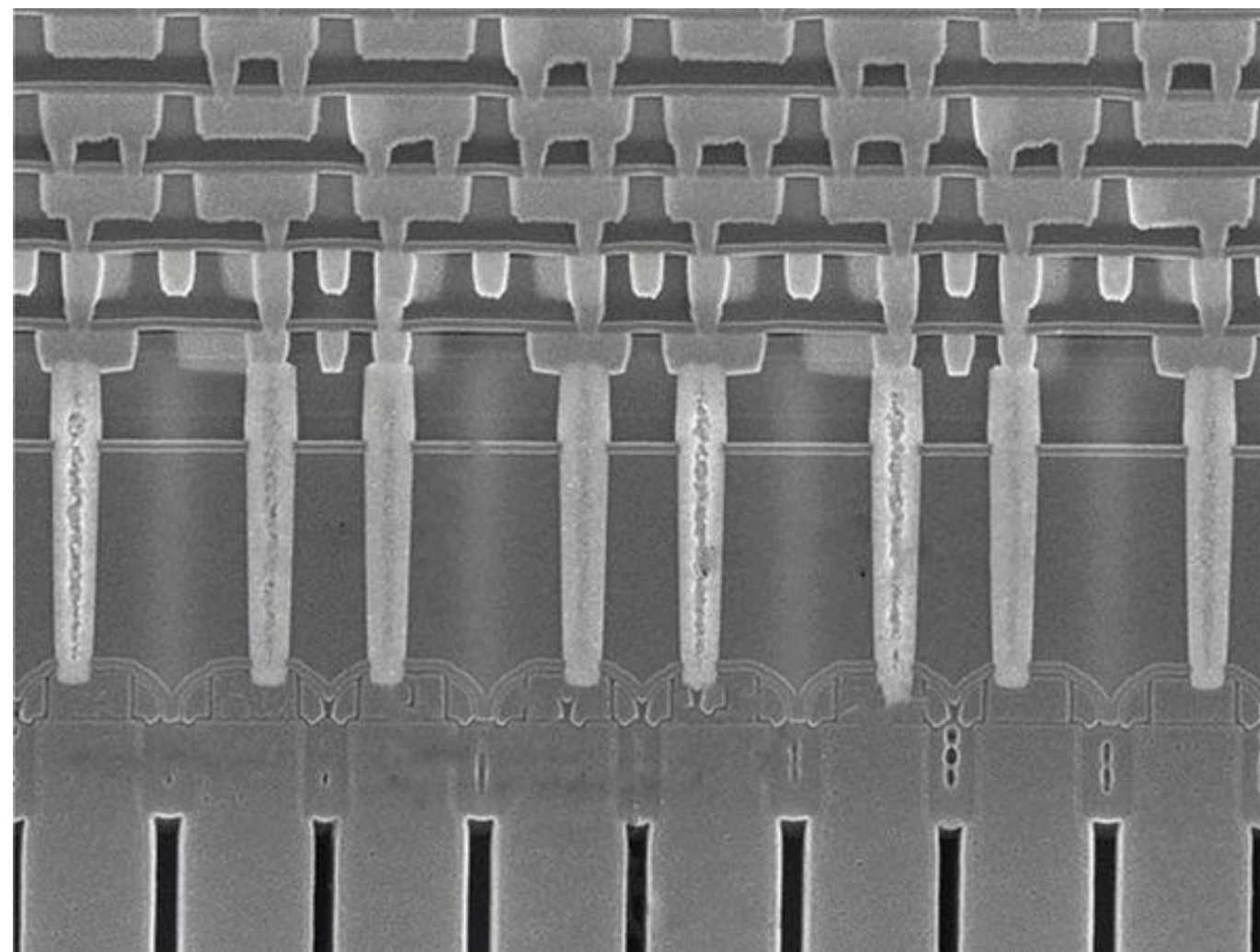




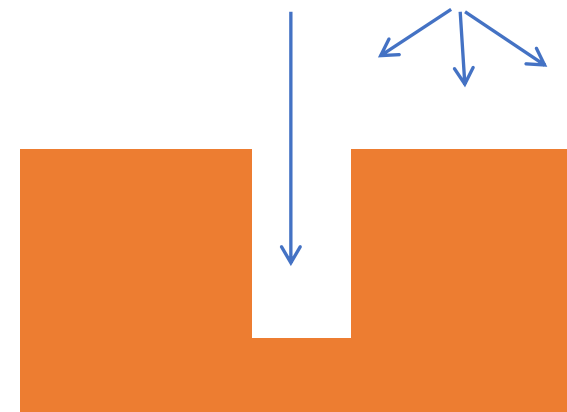
Plasma =
reaktive Teilchen in der Plasmaphase

Bearbeitung/Beschichtung
von empfindlichen Oberflächen

Plasma vor einer Oberfläche – das Geheimnis des anisotropen Ätzens

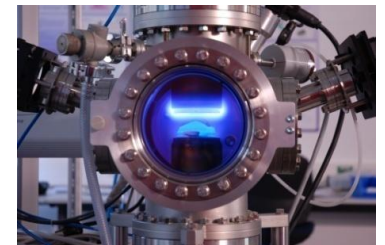
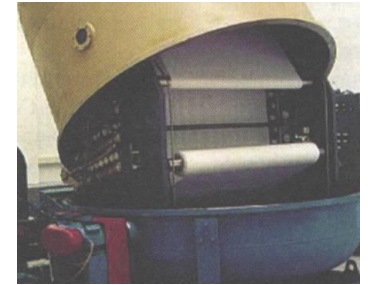
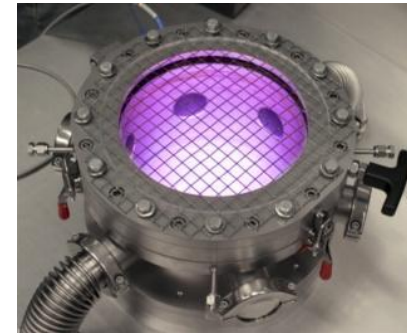
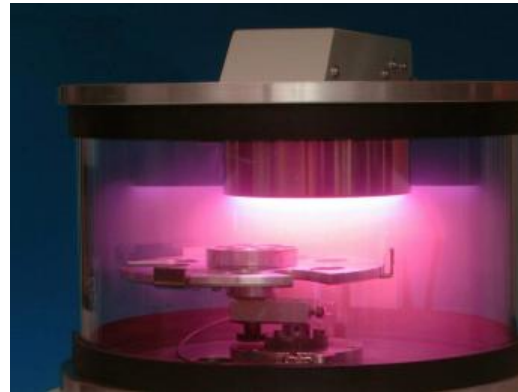


Ions (CF_x^+) Neutrals (CF_x , F)



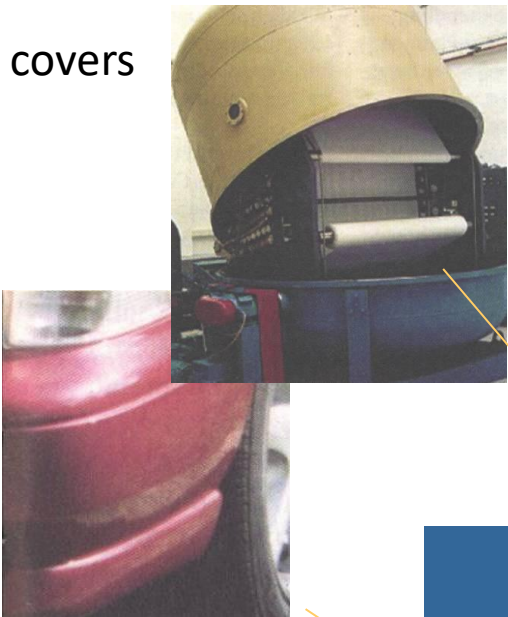
Plasamethoden

- Lichterzeugung (Plasmalampen)
- Plasmaätzen in der Mikroelektronik (Computerchips)
- Plasma basierte Beschichtung (PECVD)
- Plasma Spray
- Oberflächenmodifizierung
(z.B. Härtung von Metallen, Textilbehandlung, Plastik)
- Oberflächensterilisation



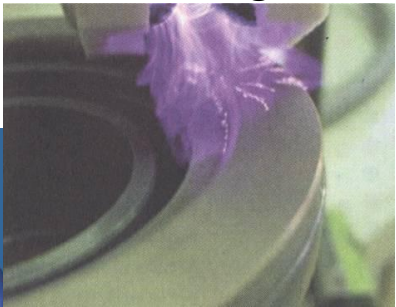
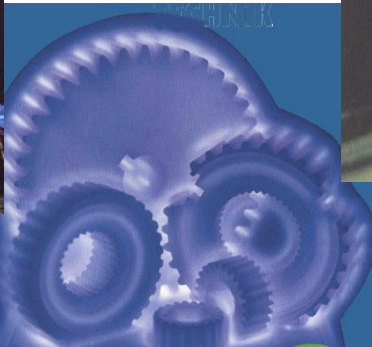
Automobilsektor

seat covers

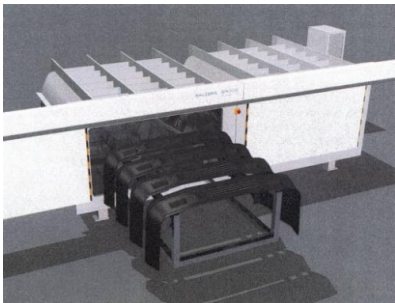
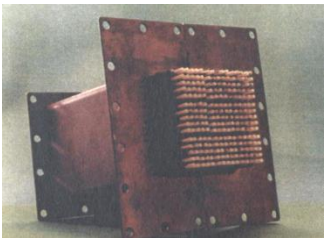


welding

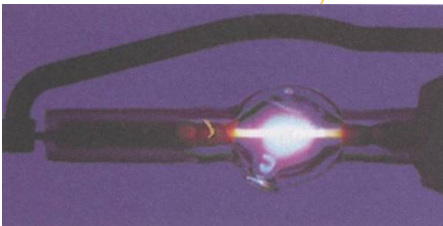
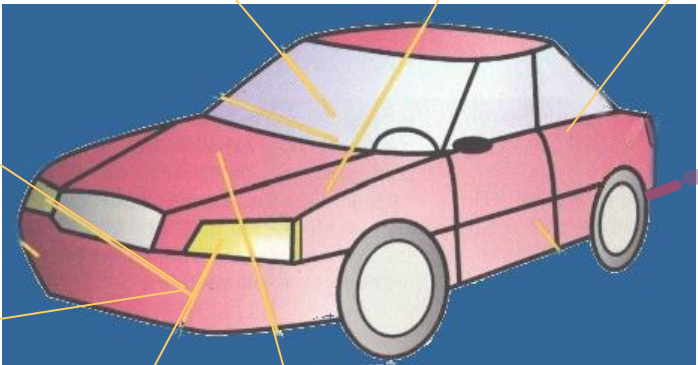
surface hardening



soot removal



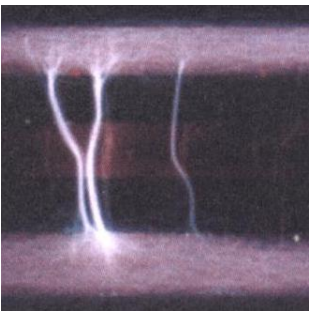
colored plastic parts
pasting



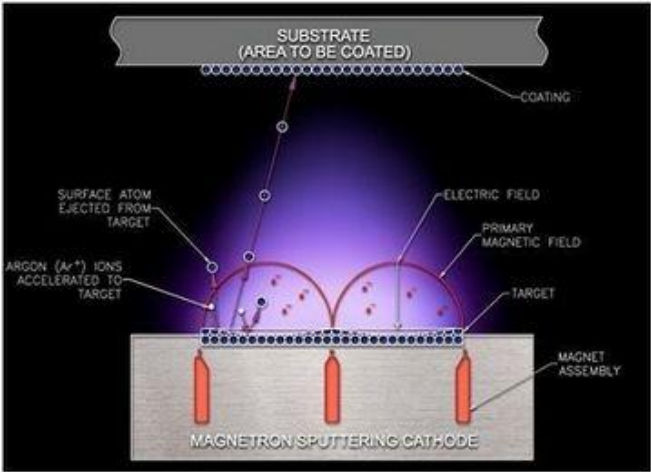
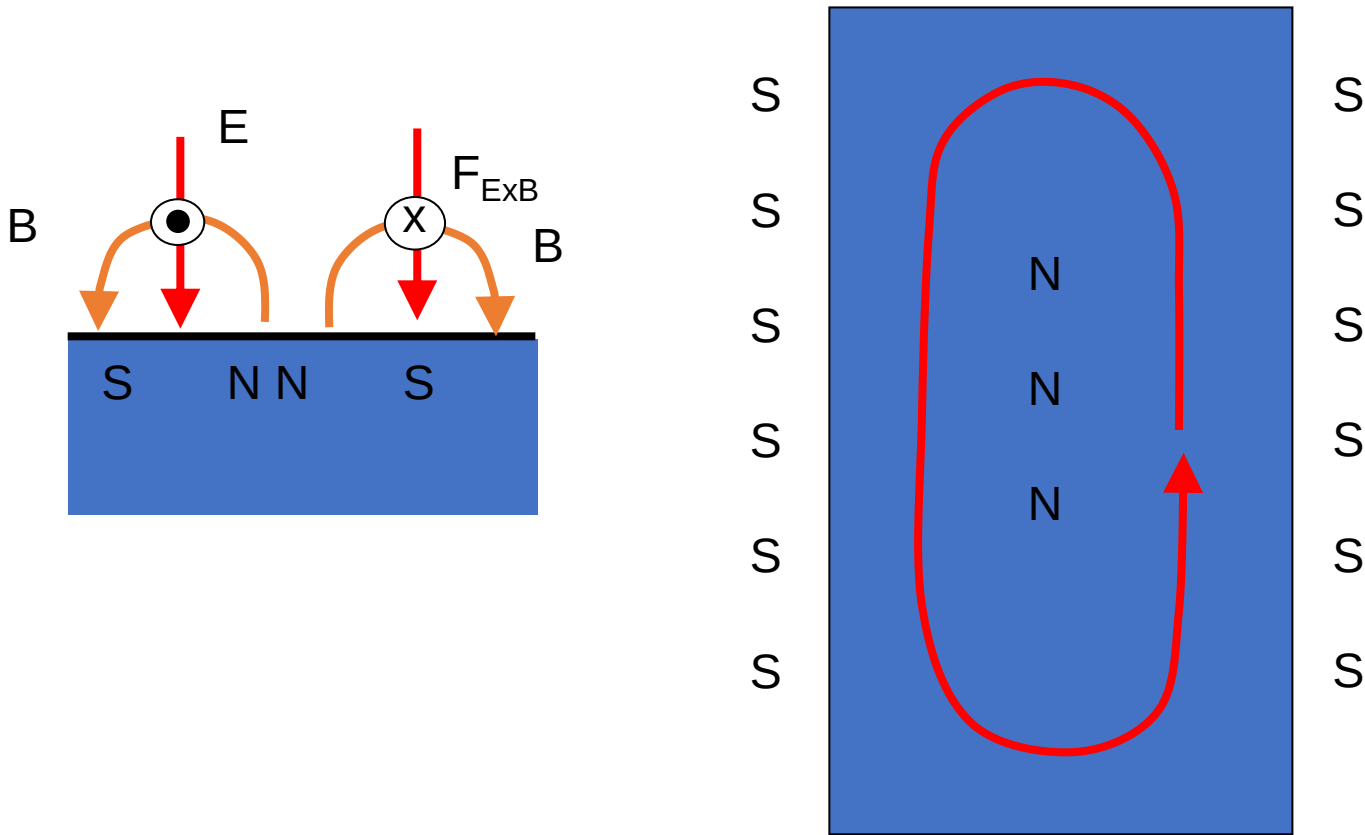
lamps



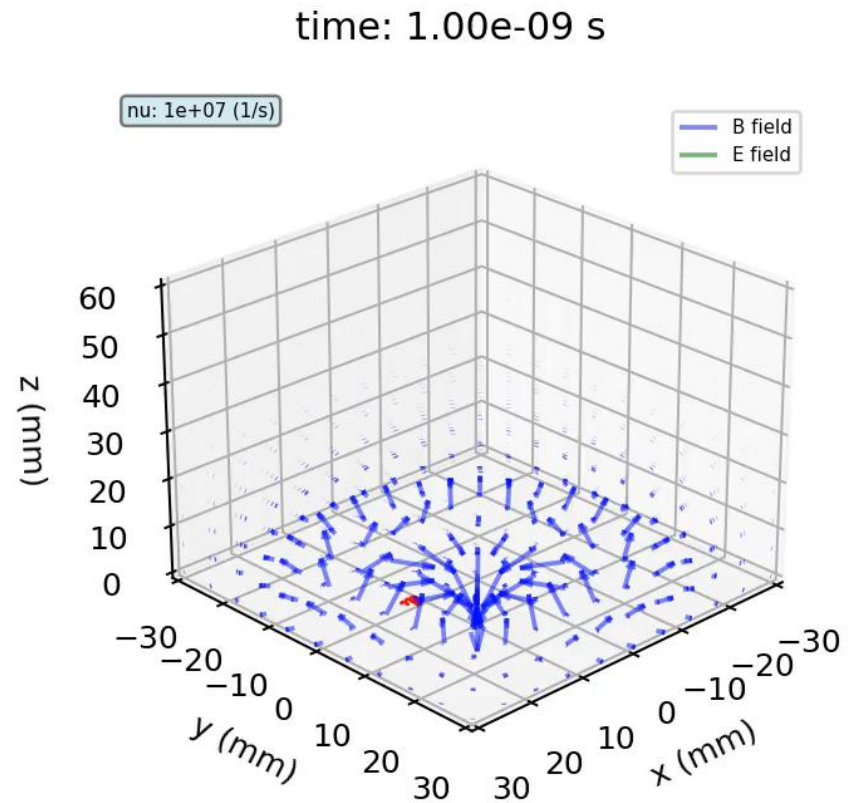
ignition

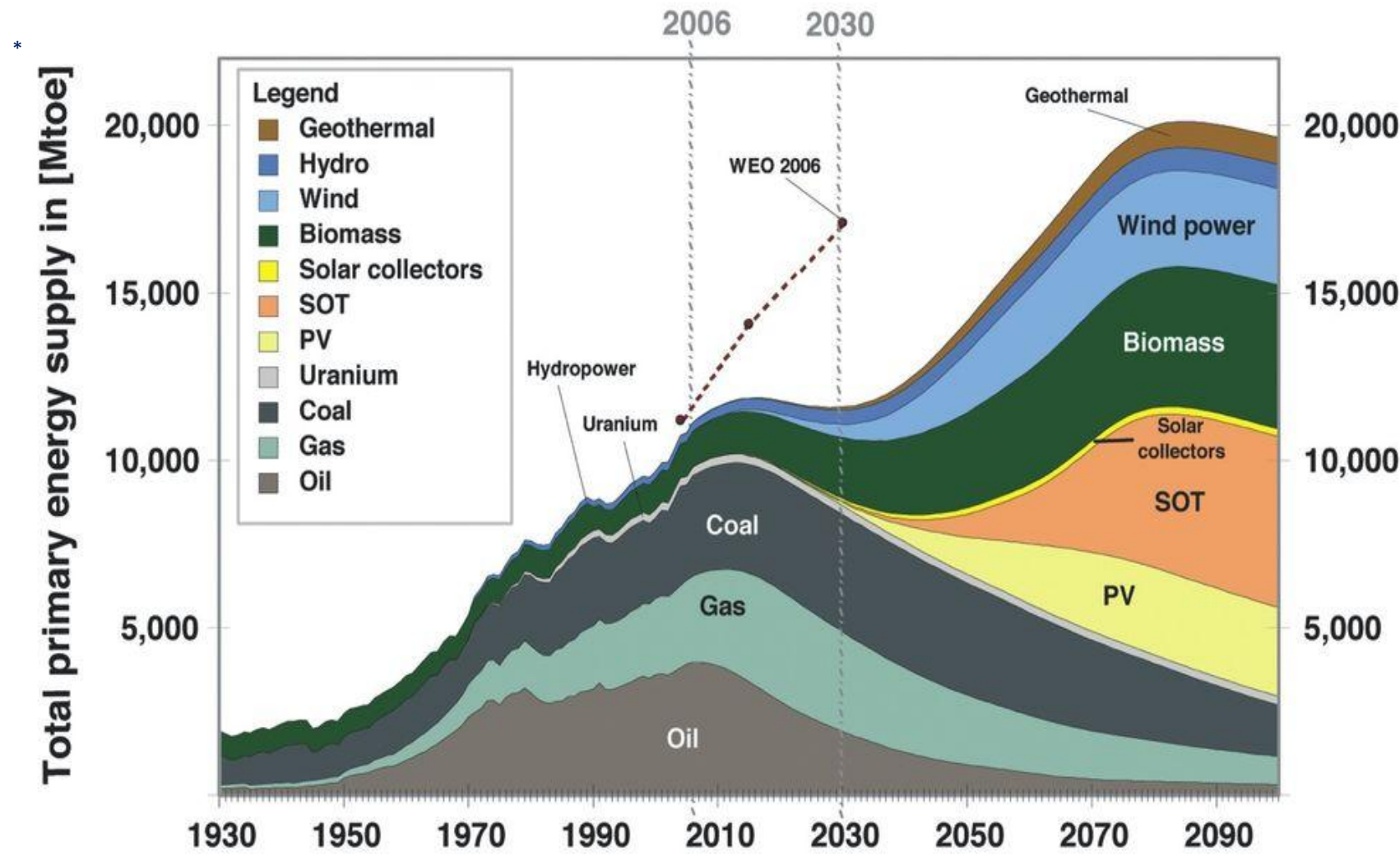


Einschluss in einem Magnetfeld für ein Beschichtungsplasma



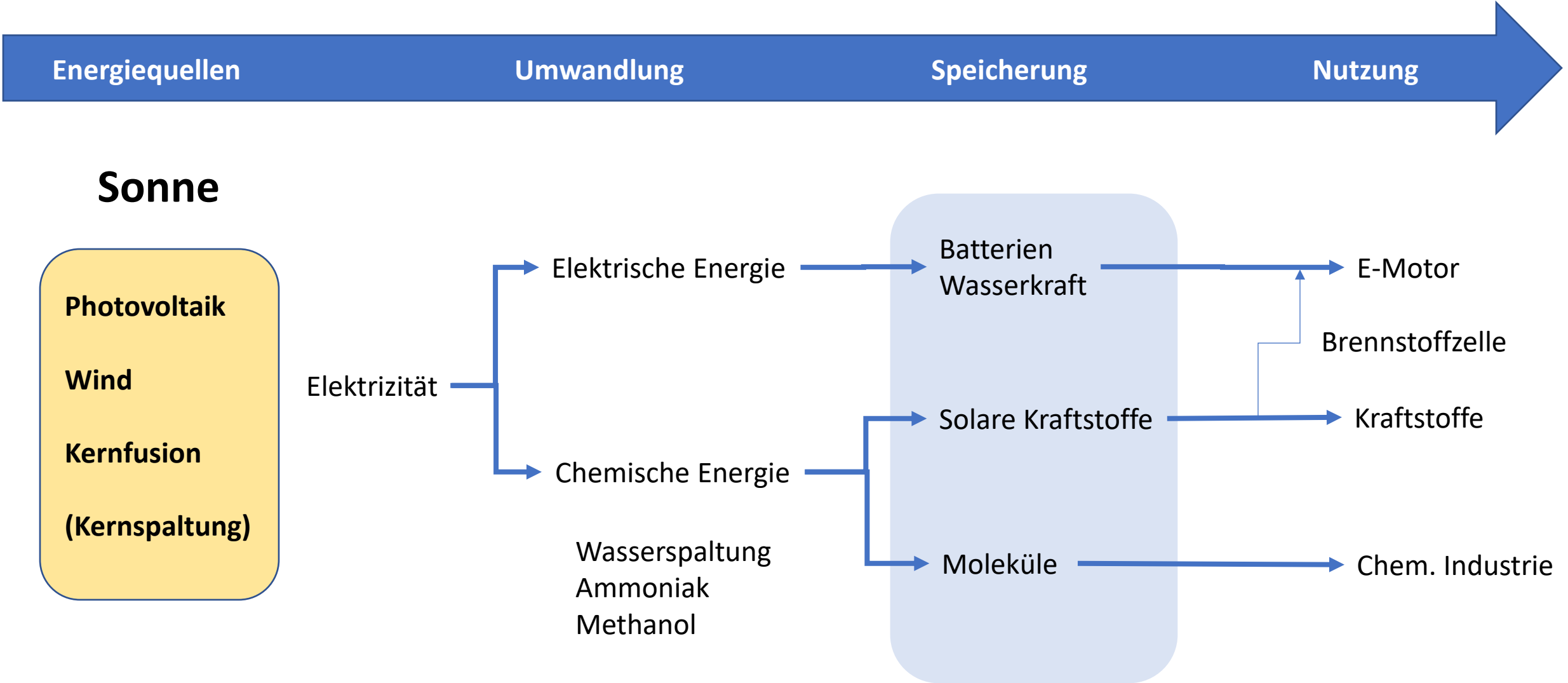
Einschluss in einem Magnetfeld für ein Beschichtungsplasma

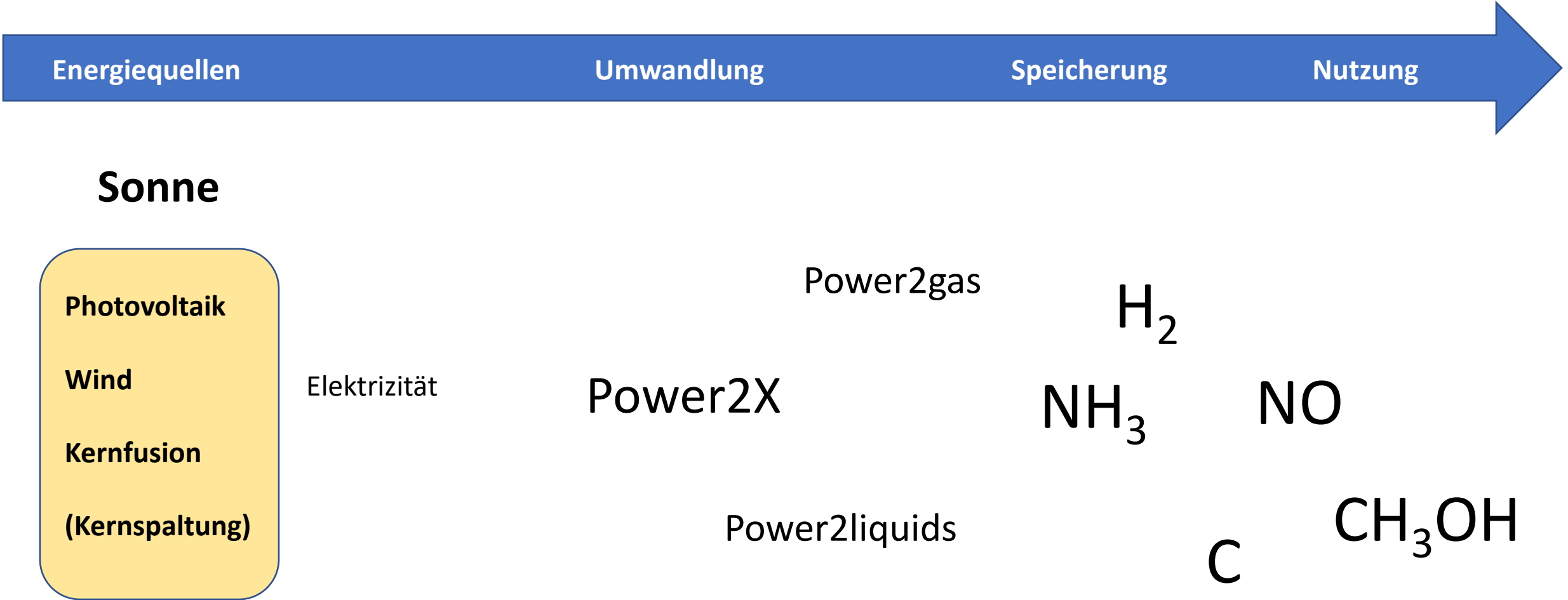




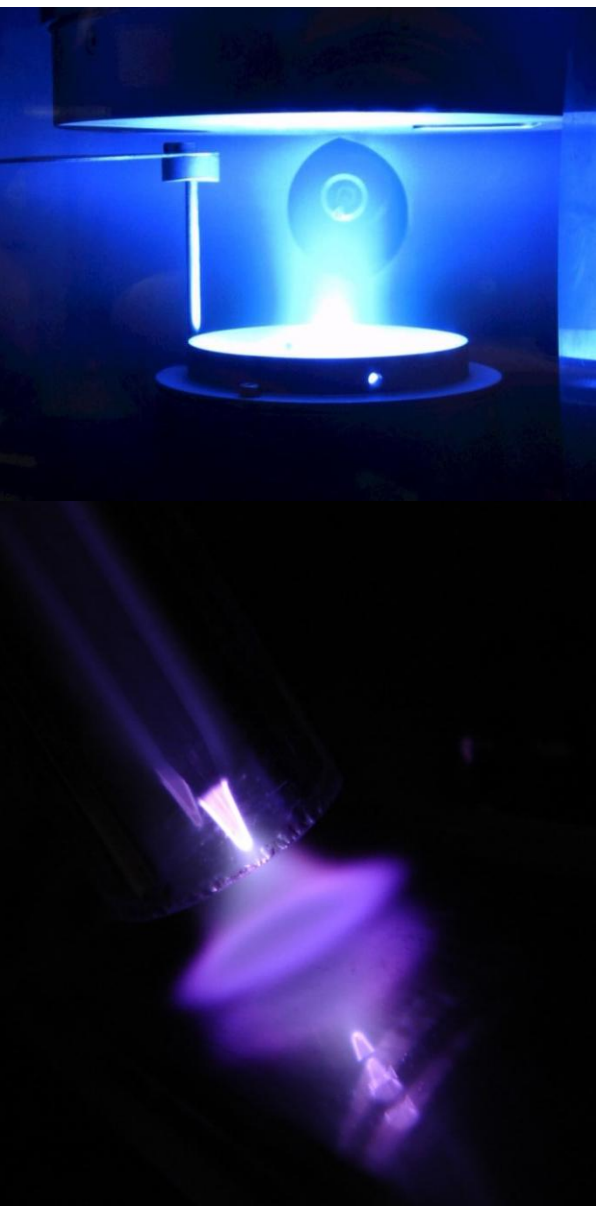
Source Ludwig Bölkow Foundation

*Mtoe (Megat ton Oil Units)



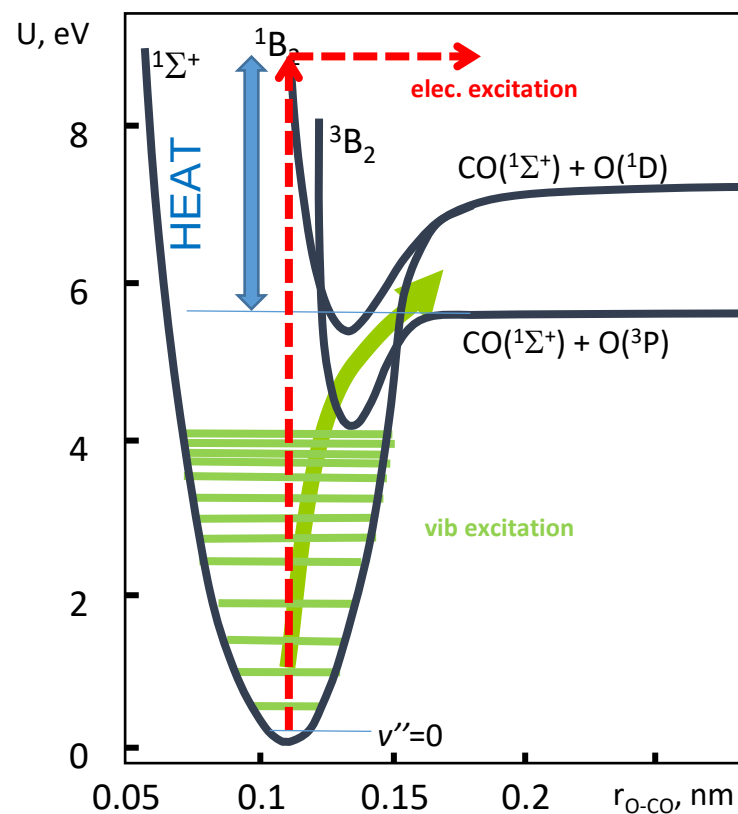


Warum Plasmen ?



Plasma = teilweise ionisiertes Gas,

Elektrizität > Chemie



3 Beispiele

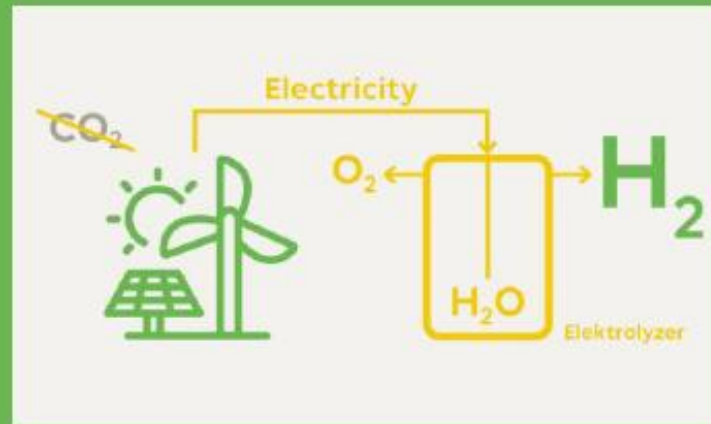
- **Produktion von H_2 aus CH_4 (ohne CO_2 Bildung)**
- **Umwandlung von Gasströmen**
- **Kombination von Plasmen mit der Elektrolyse**

Beispiel 1: H₂ Technologie

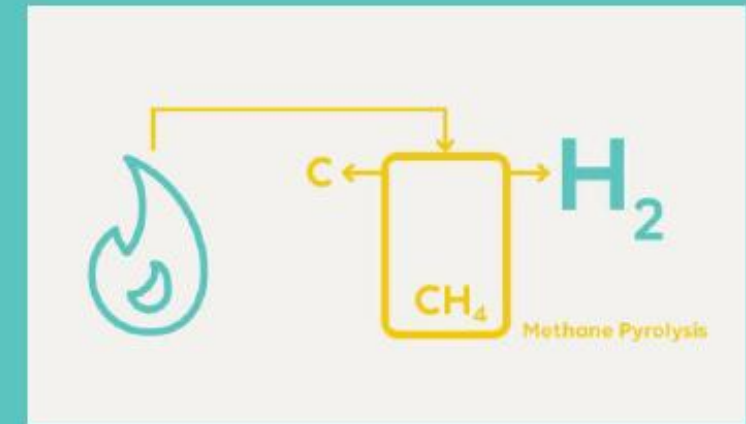
Wasserstoff als

- Energieträger/Brennstoffzelle
- Reduktion von Eisenerz
- Ausgangsprodukt der Ammonikasynthese

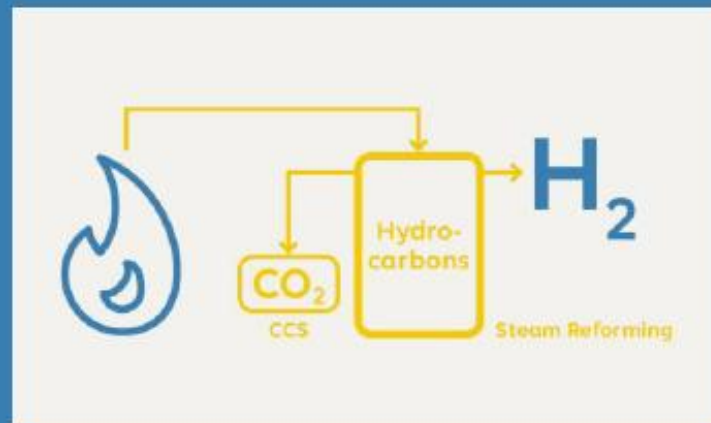
Green Hydrogen



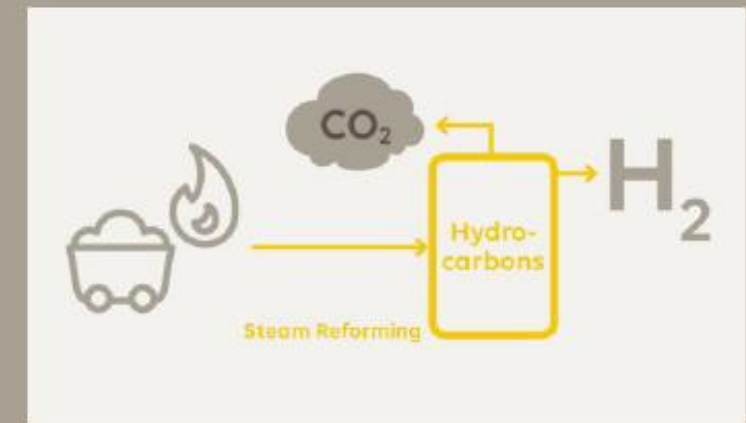
Turquoise Hydrogen



Blue Hydrogen

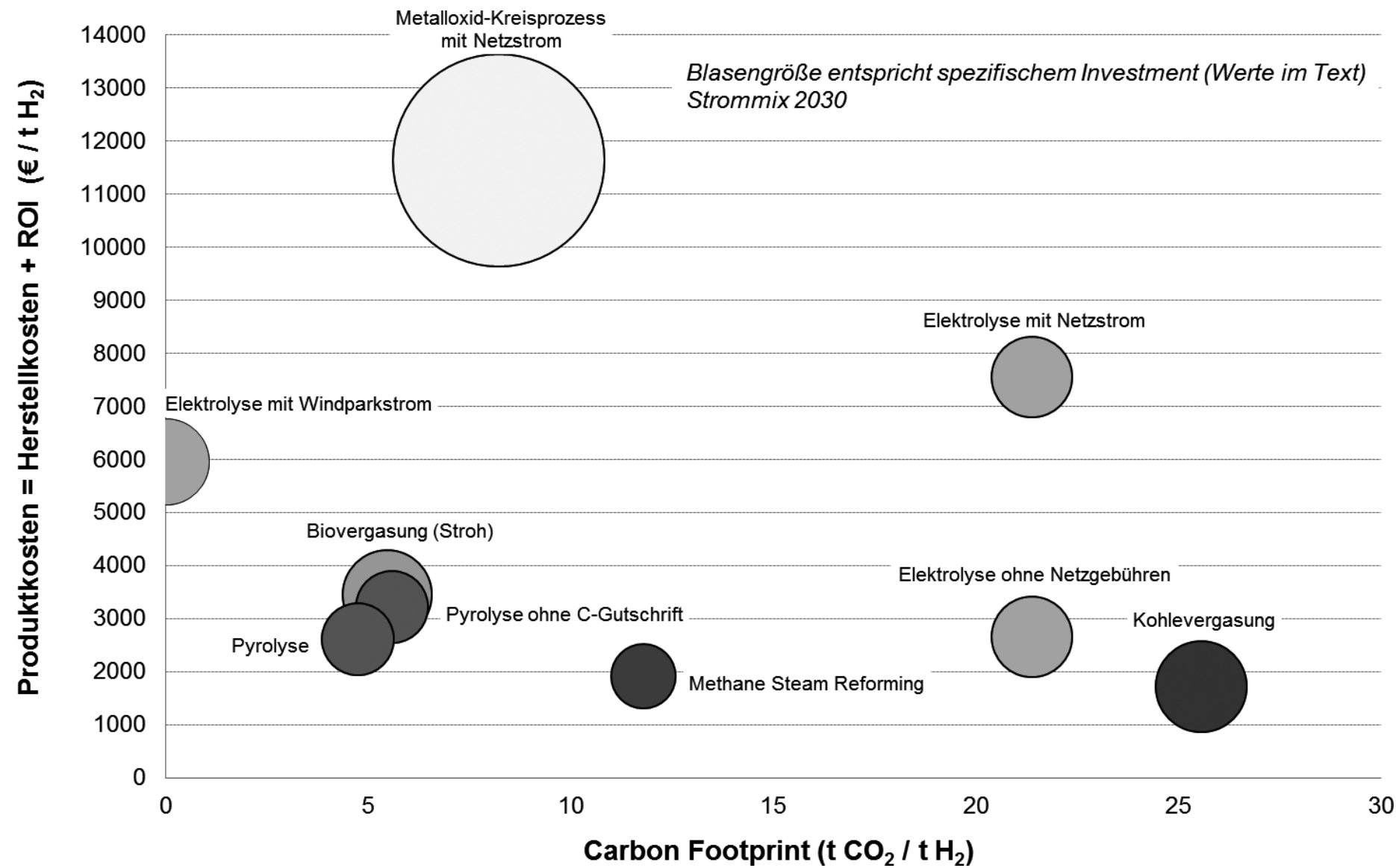


Grey Hydrogen



<https://www.ewe.com/en/shaping-the-future/hydrogen/the-colours-of-hydrogen>

Herstellungskosten H₂ und CO₂ footprint

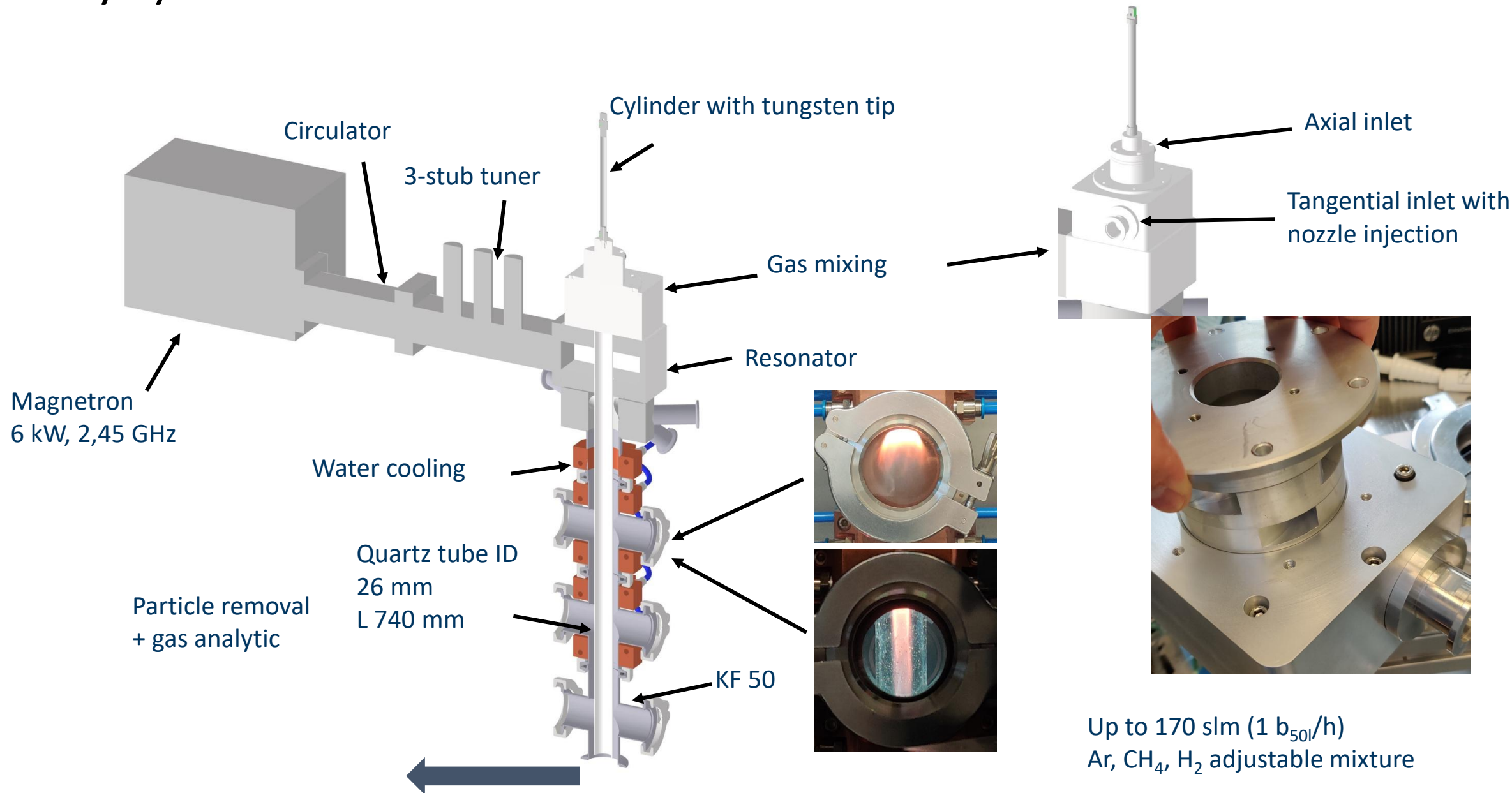


O. Machhammer, Chemie Ingenieur Technik, 87: 409-418 (2015)

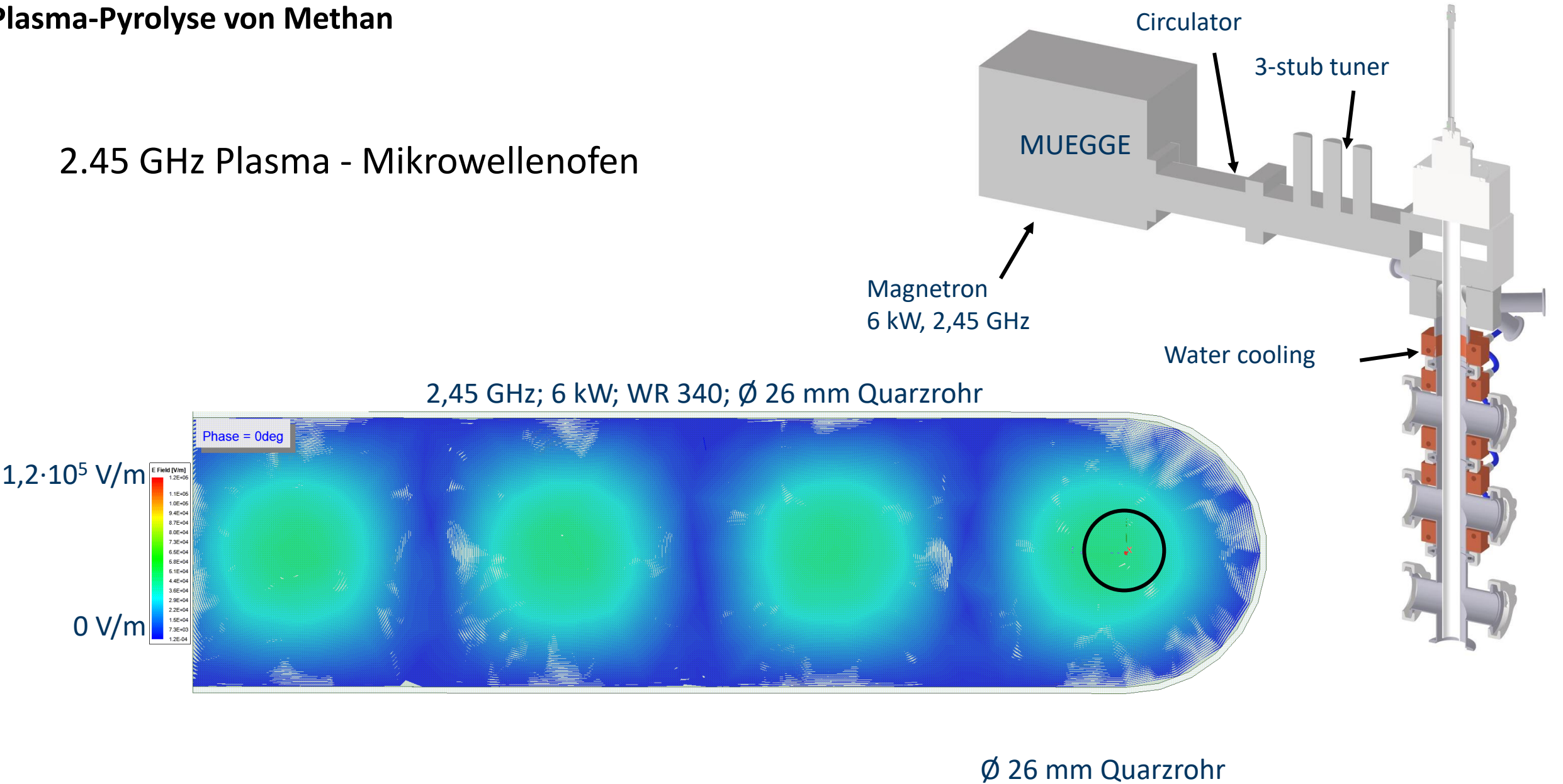
Plasma-Pyrolyse von Methan



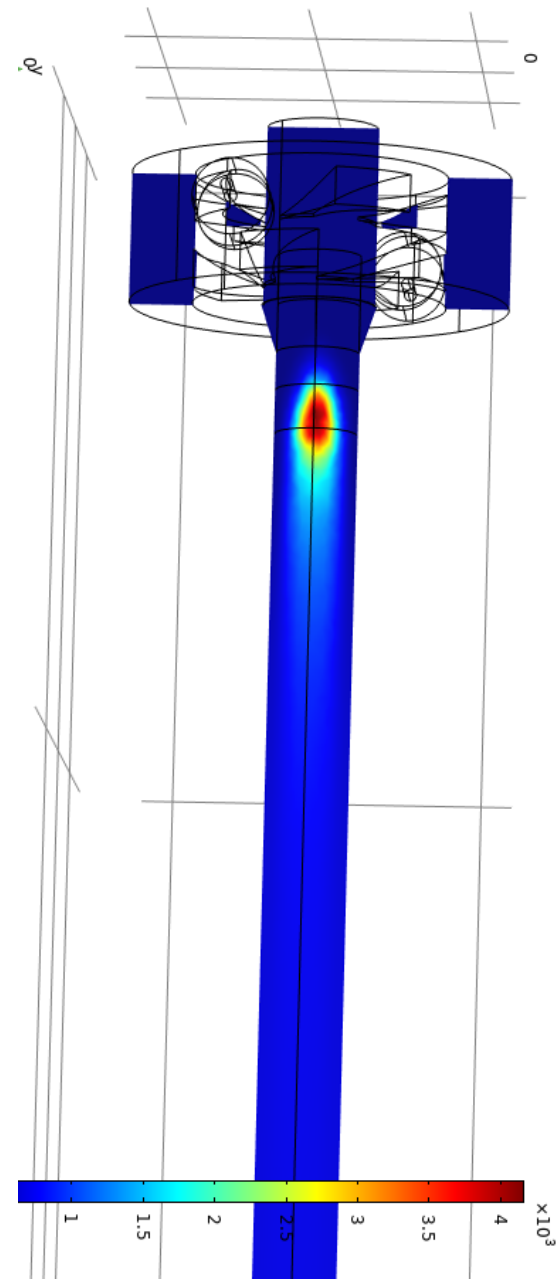
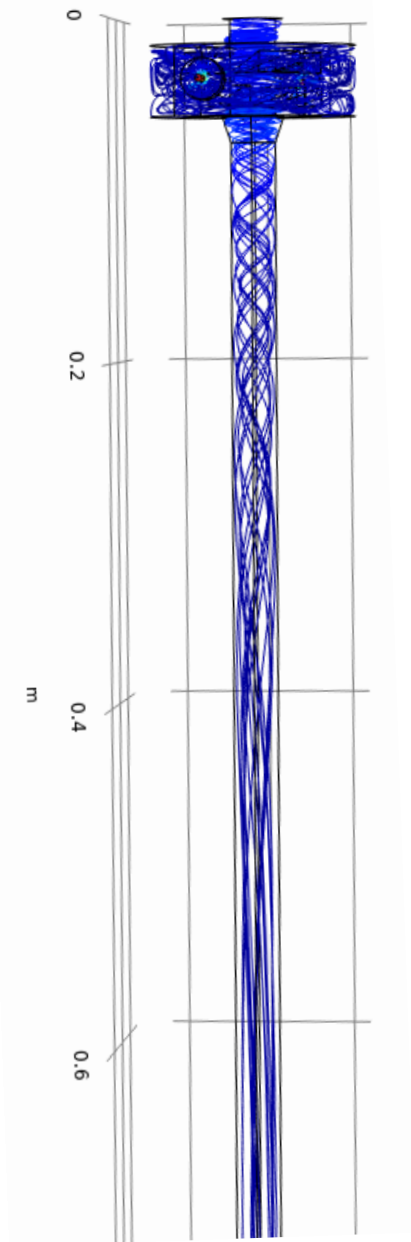
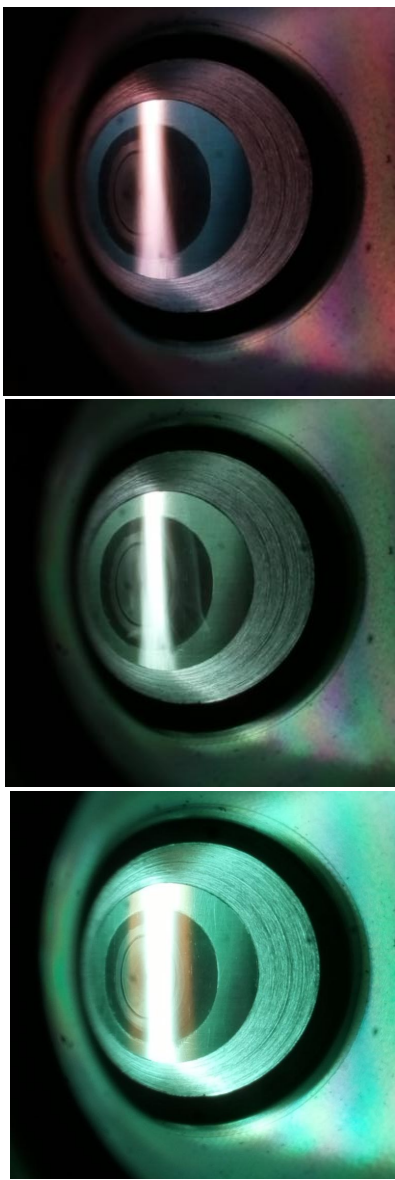
Plasma-Pyrolyse von Methan



2.45 GHz Plasma - Mikrowellenofen

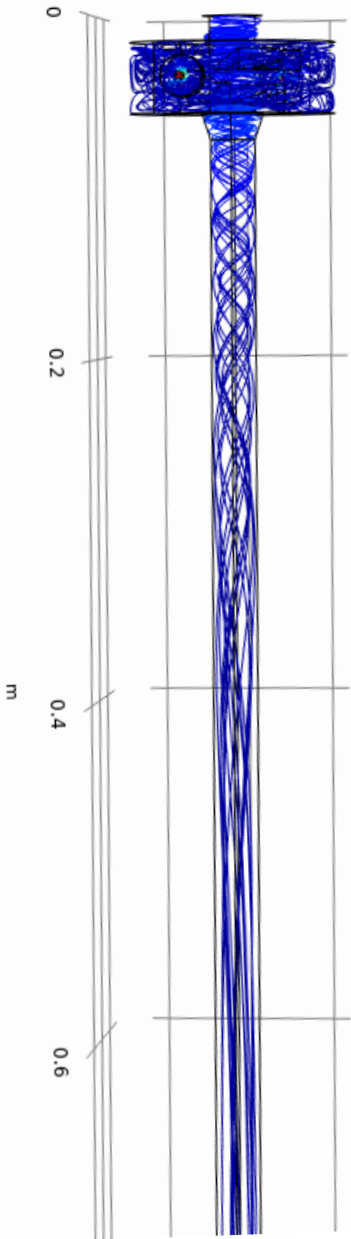
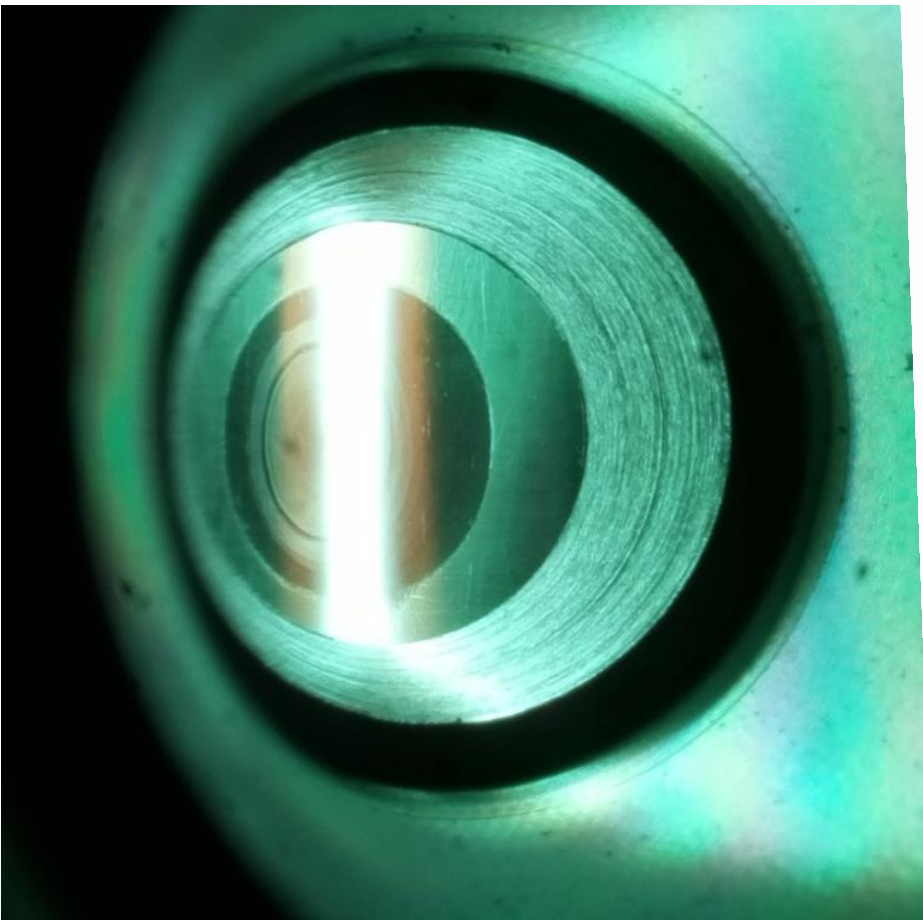
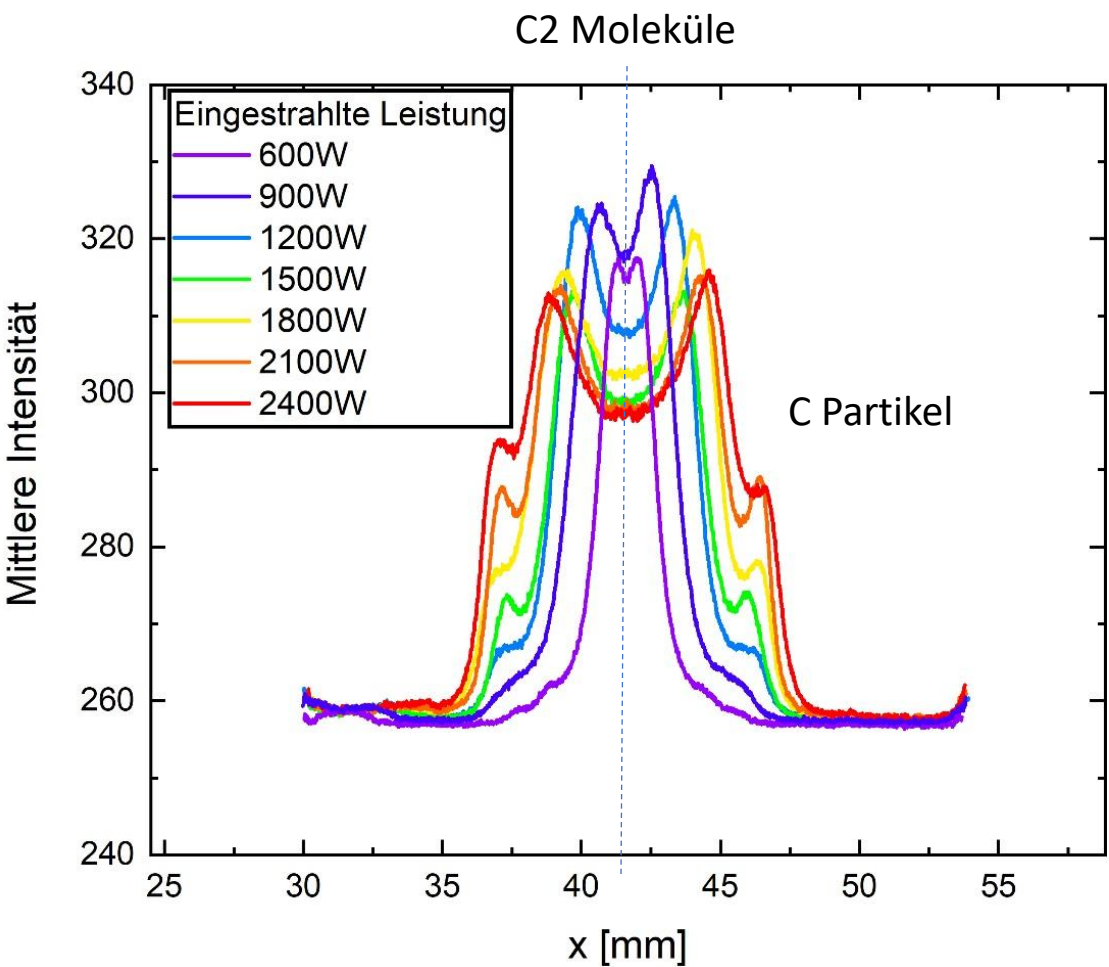


Plasma-Pyrolyse von Methan

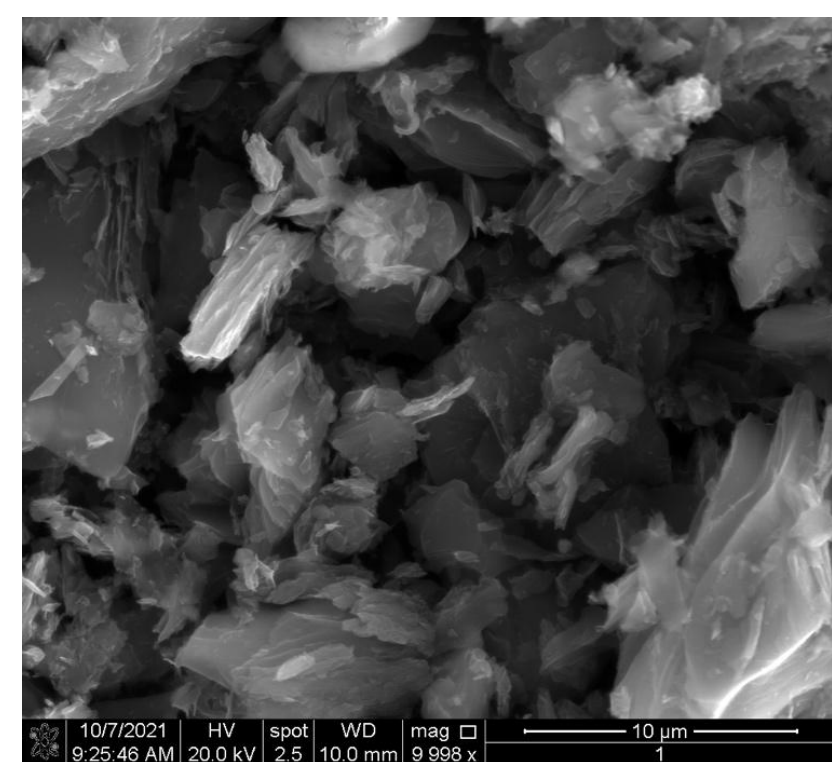


Plasma-Pyrolyse von Methan

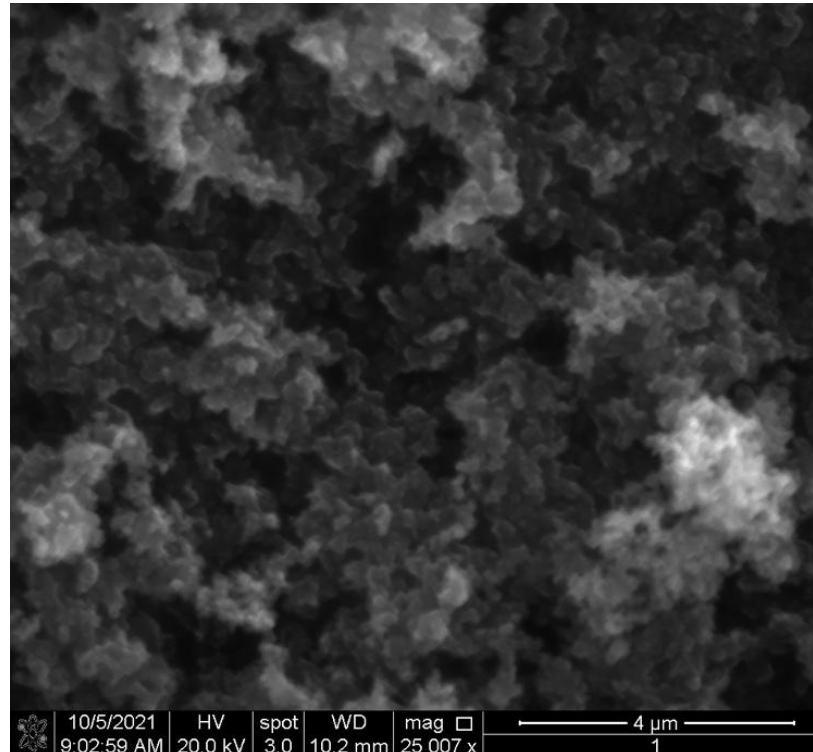
Chemischer Tornado für 4000 K und 2000 K



Plasma-Pyrolyse von Methan

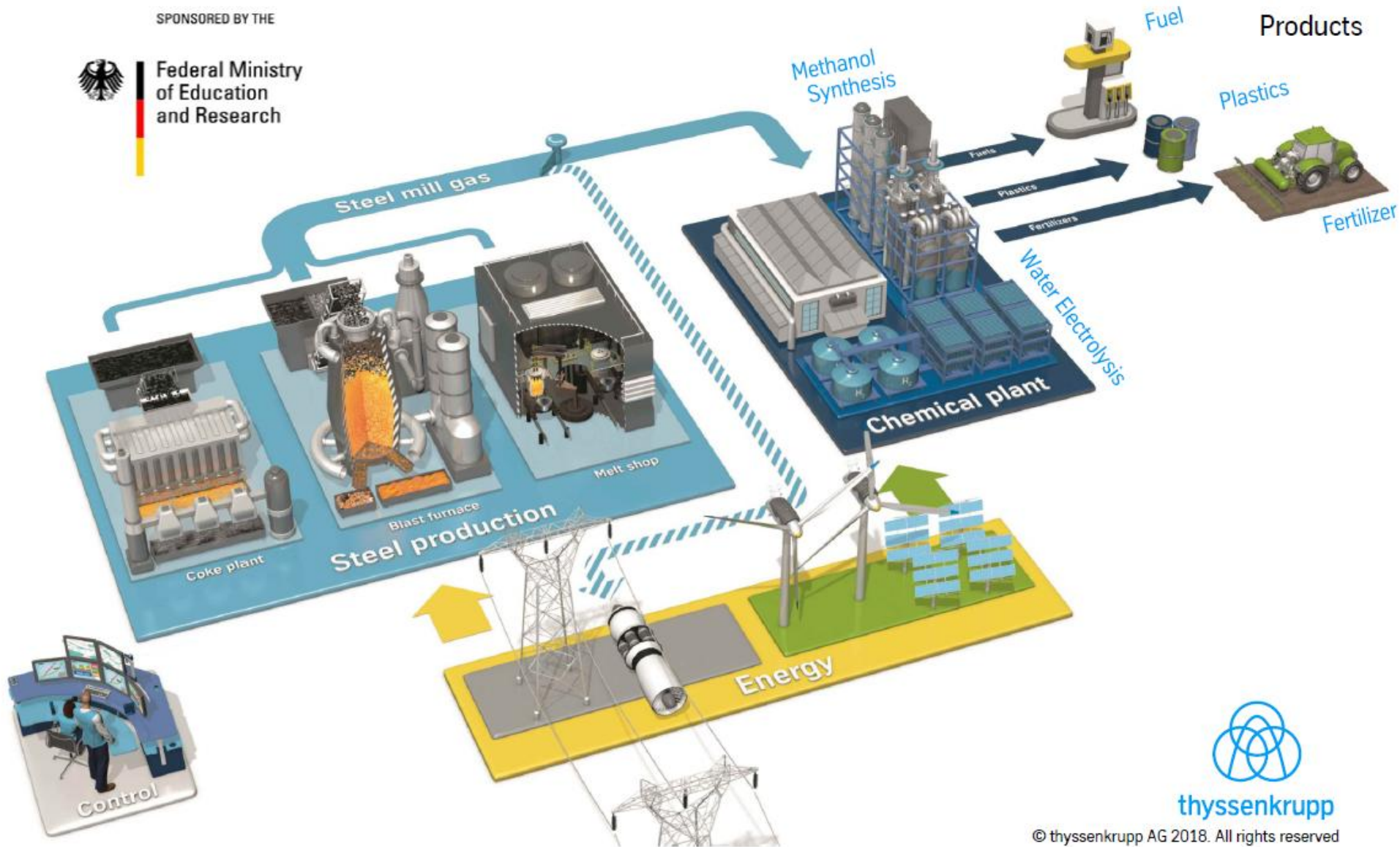


Herkömmlicher Russ



Kohlenstoff Nanoteilchen aus der Plasma Pyrolyse



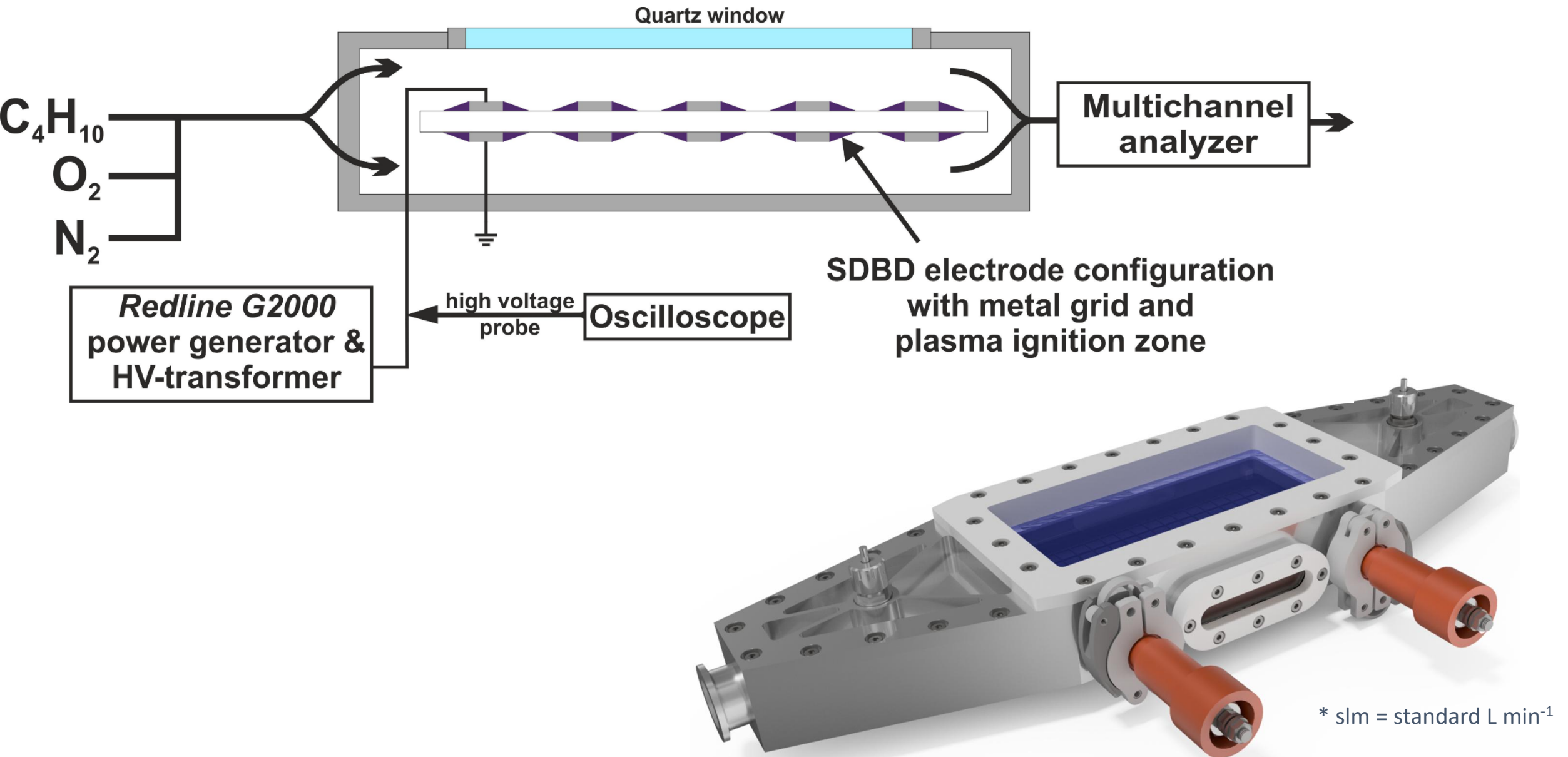


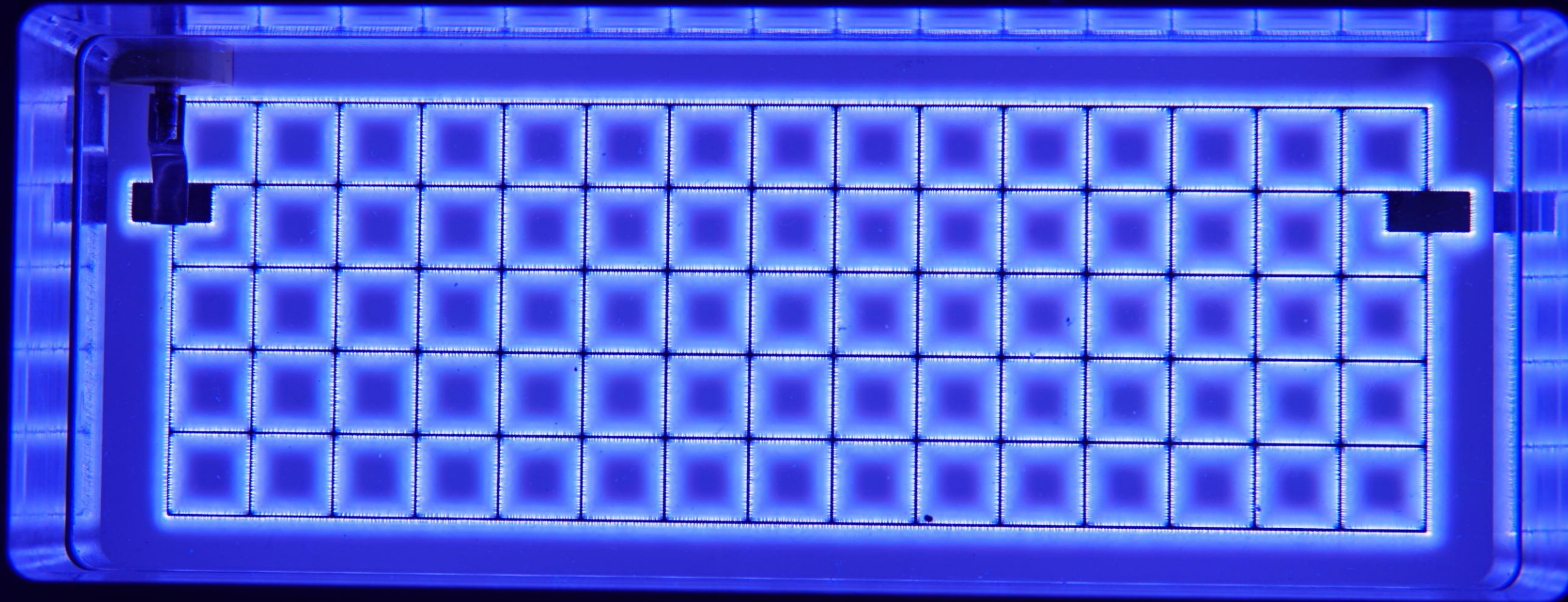
Beispiel:
Abgas Hochofen

Beispiel:
Stahlherstellung
Pro 1 t Stahl, 1.8 t CO₂

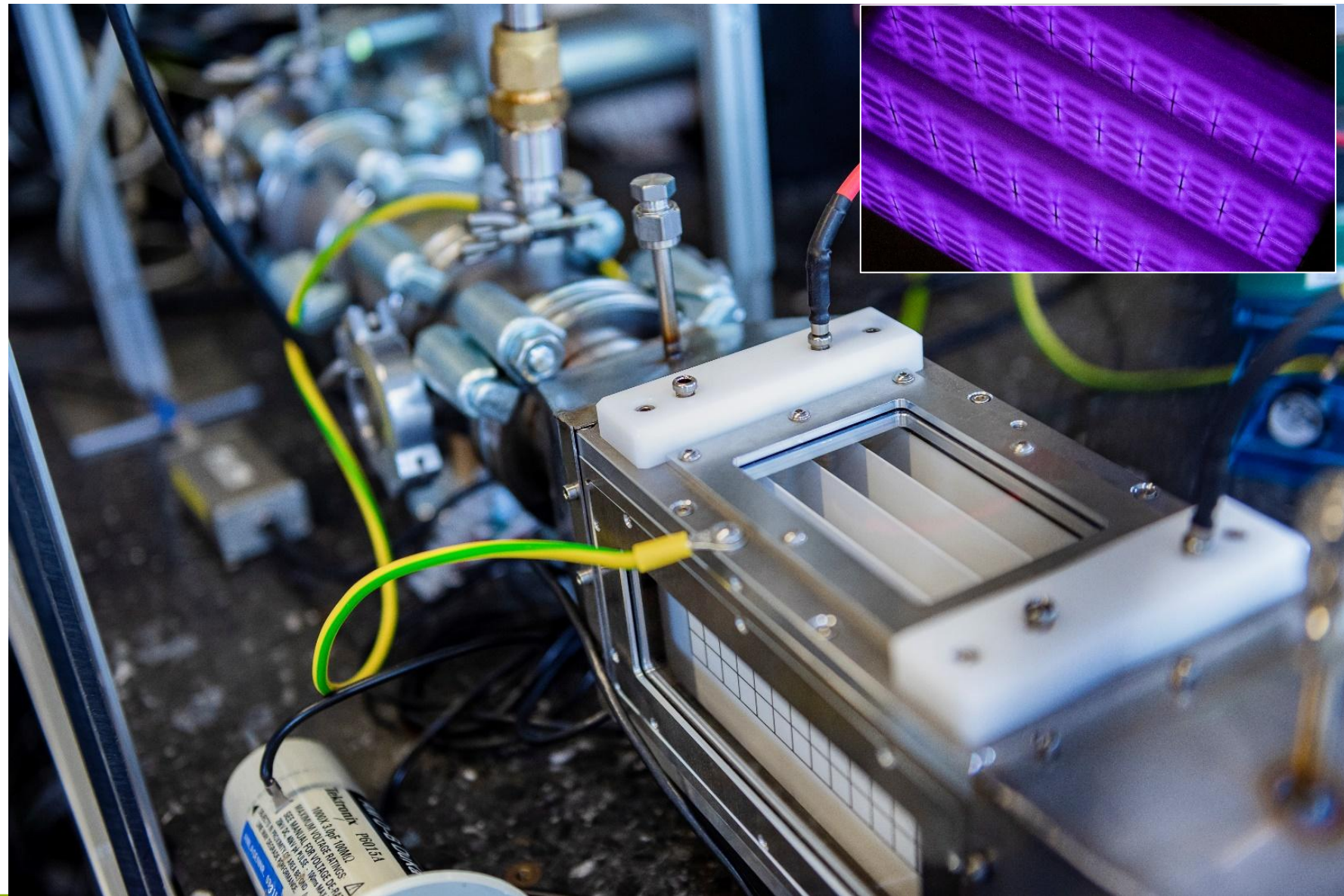
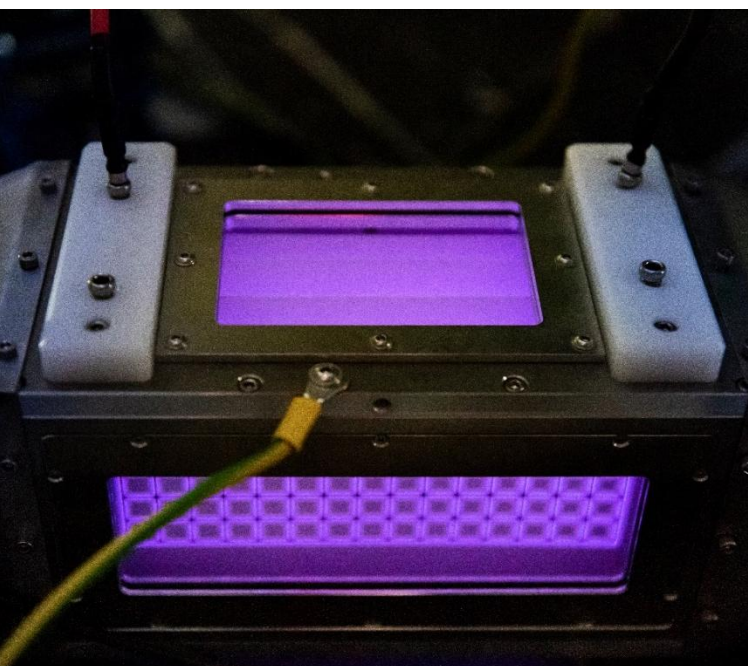
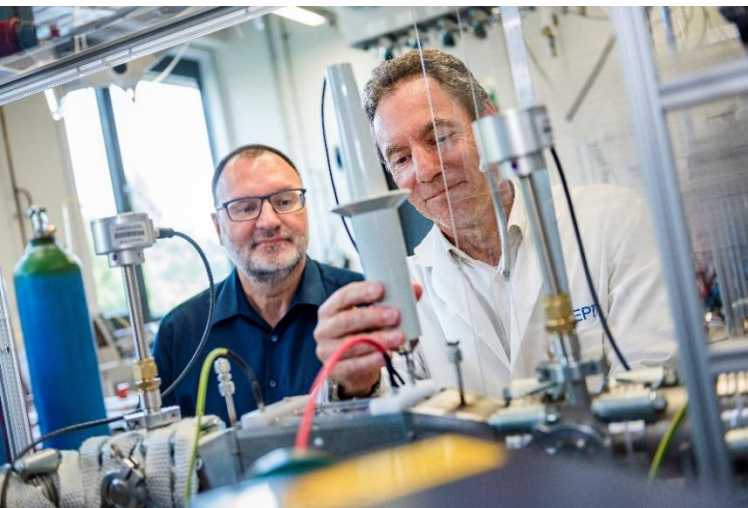
8% der weltweiten
CO₂ Erzeugung

Dielektrischer Barrieren-Reaktor

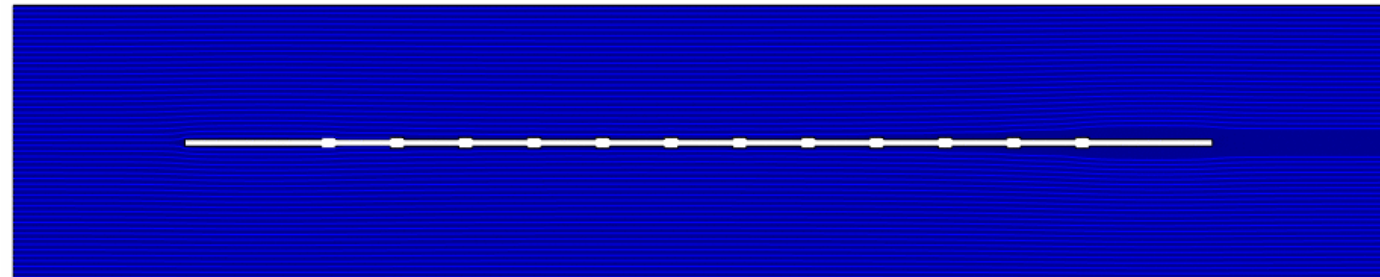
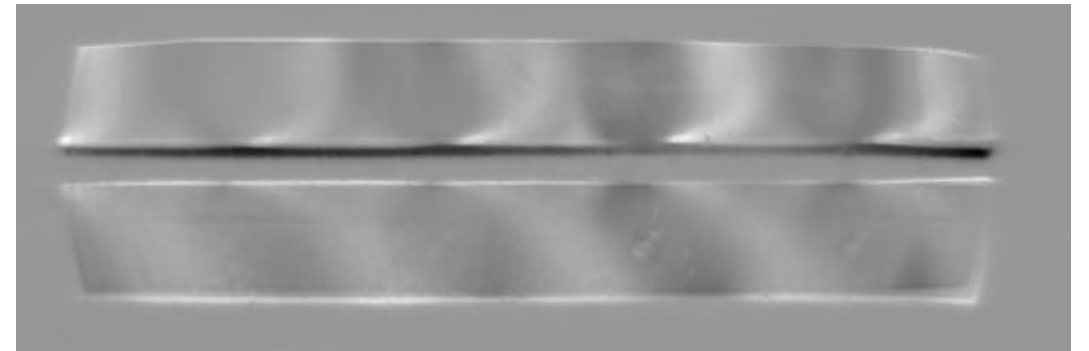
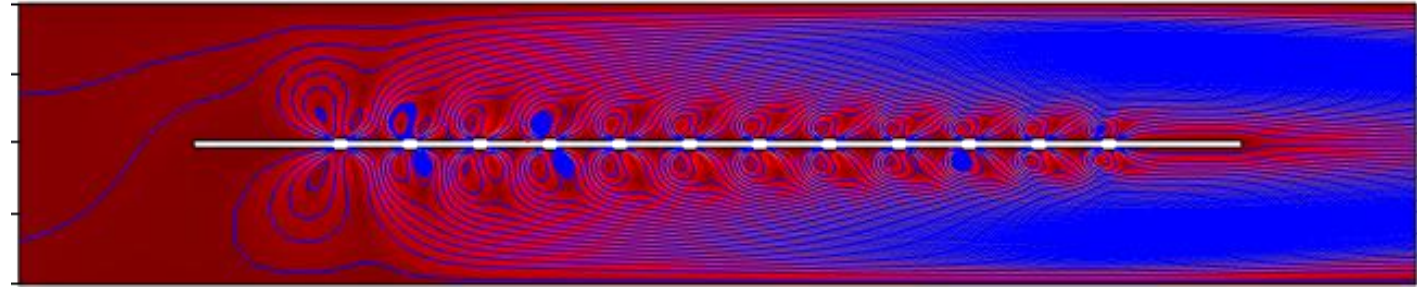
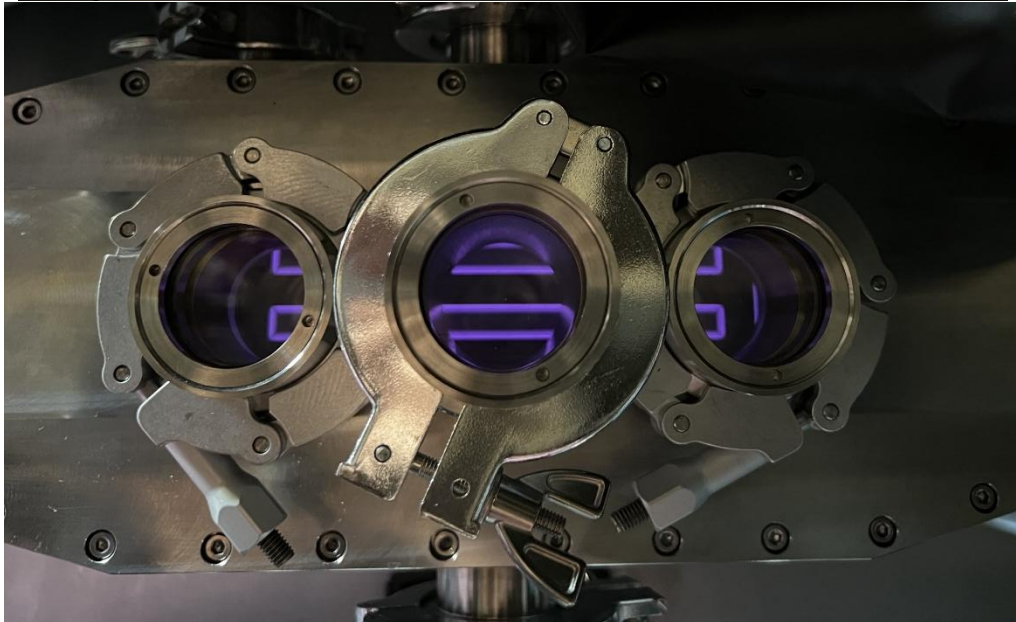
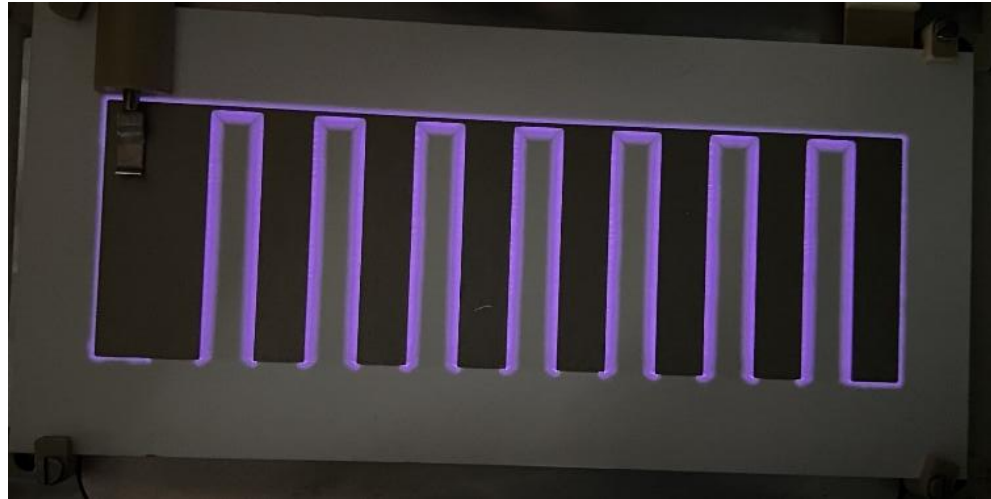




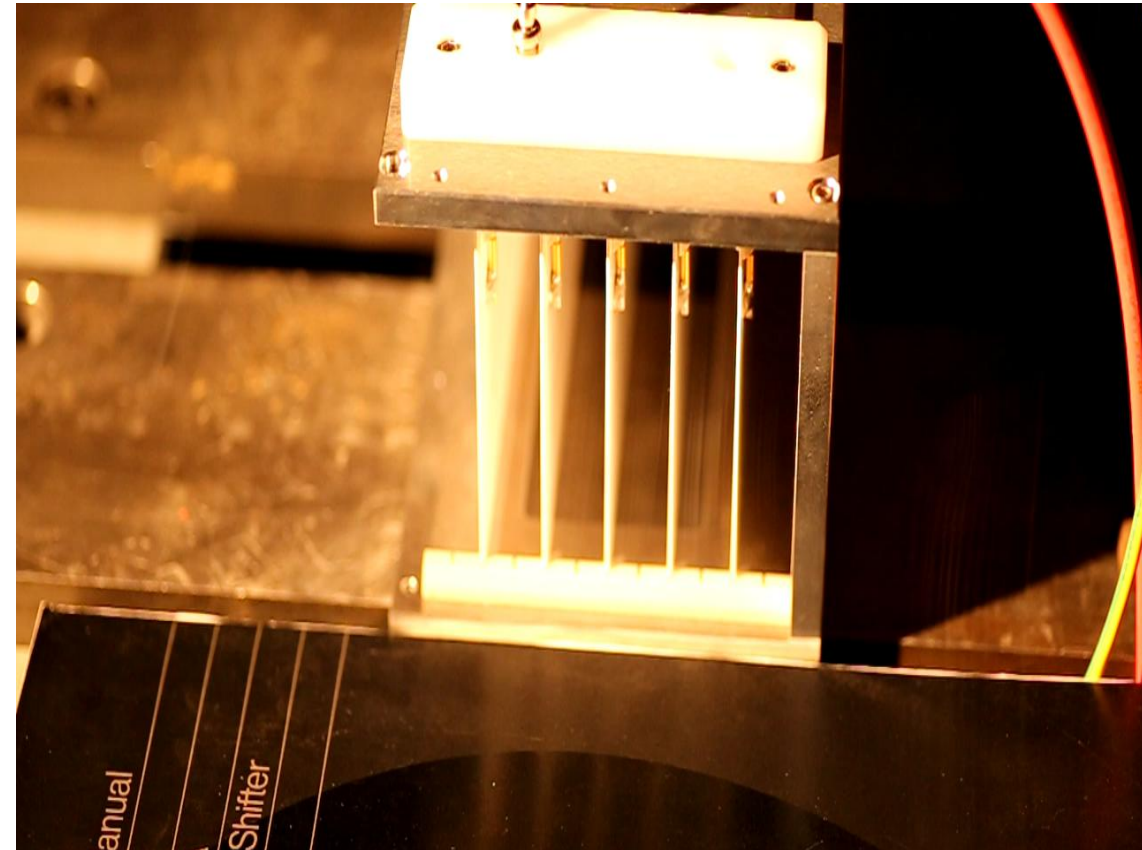
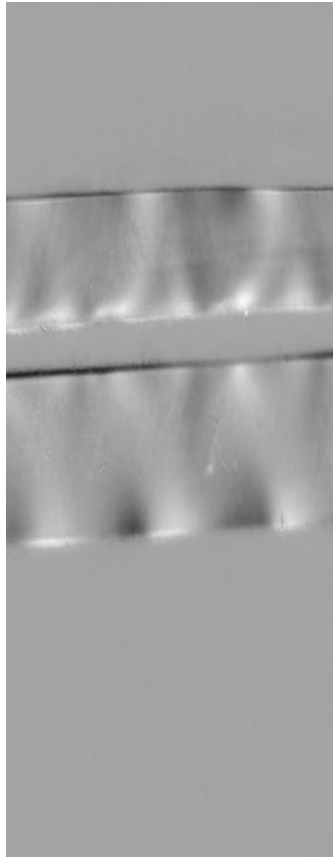
Dielektrischer Barrieren-Reaktor



Dielektrischer Barrieren-Reaktor - Plasmawindkanal



Dielektrischer Barrieren-Reaktor - Plasmawindkanal

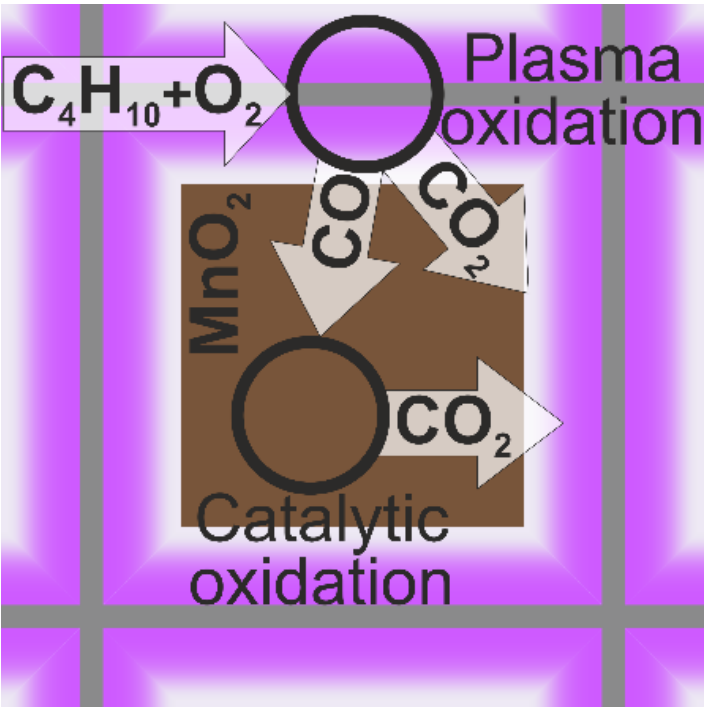
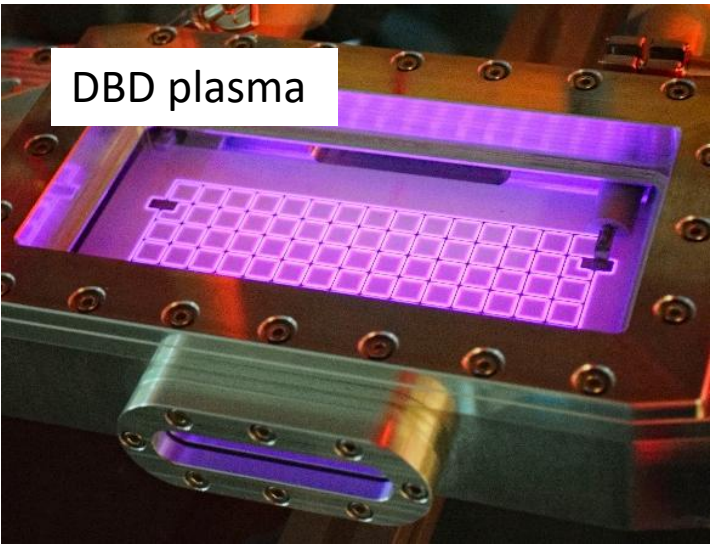
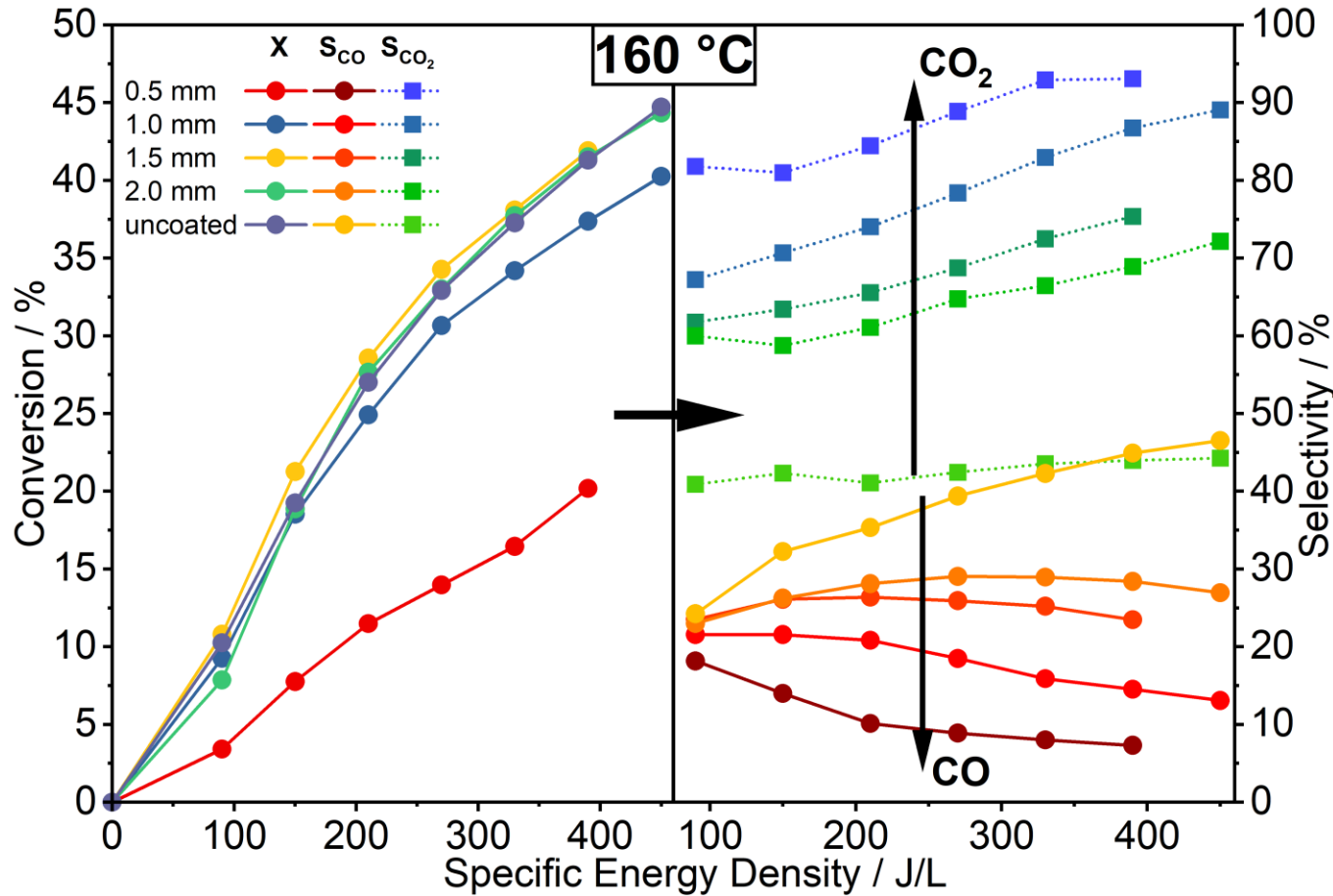


A. Böddecker AEPT,
A. Tkalov, Lehrstuhl für Hydraulische Strömungsmaschinen

Dielektrischer Barrieren-Reaktor – Kombination mit der Katalyse

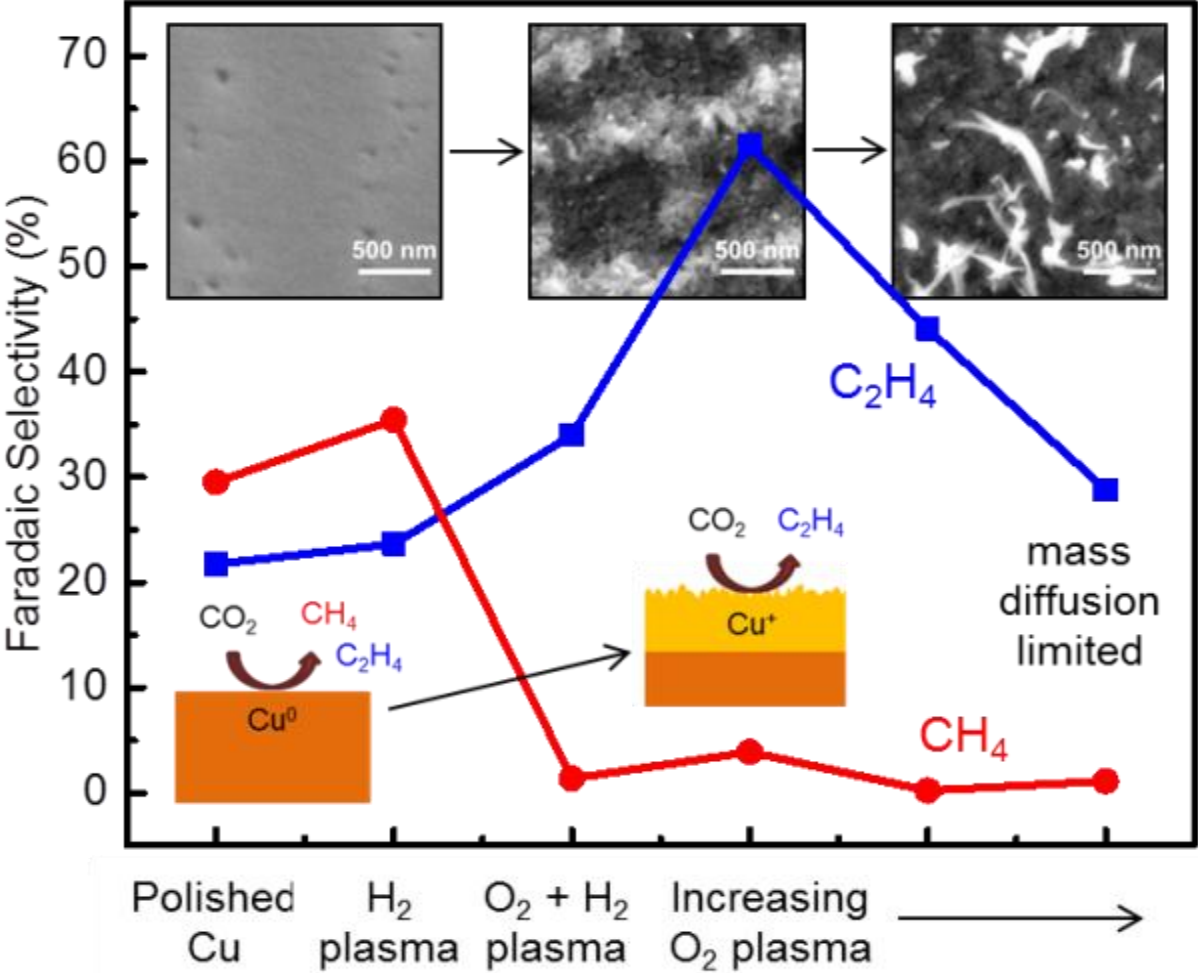
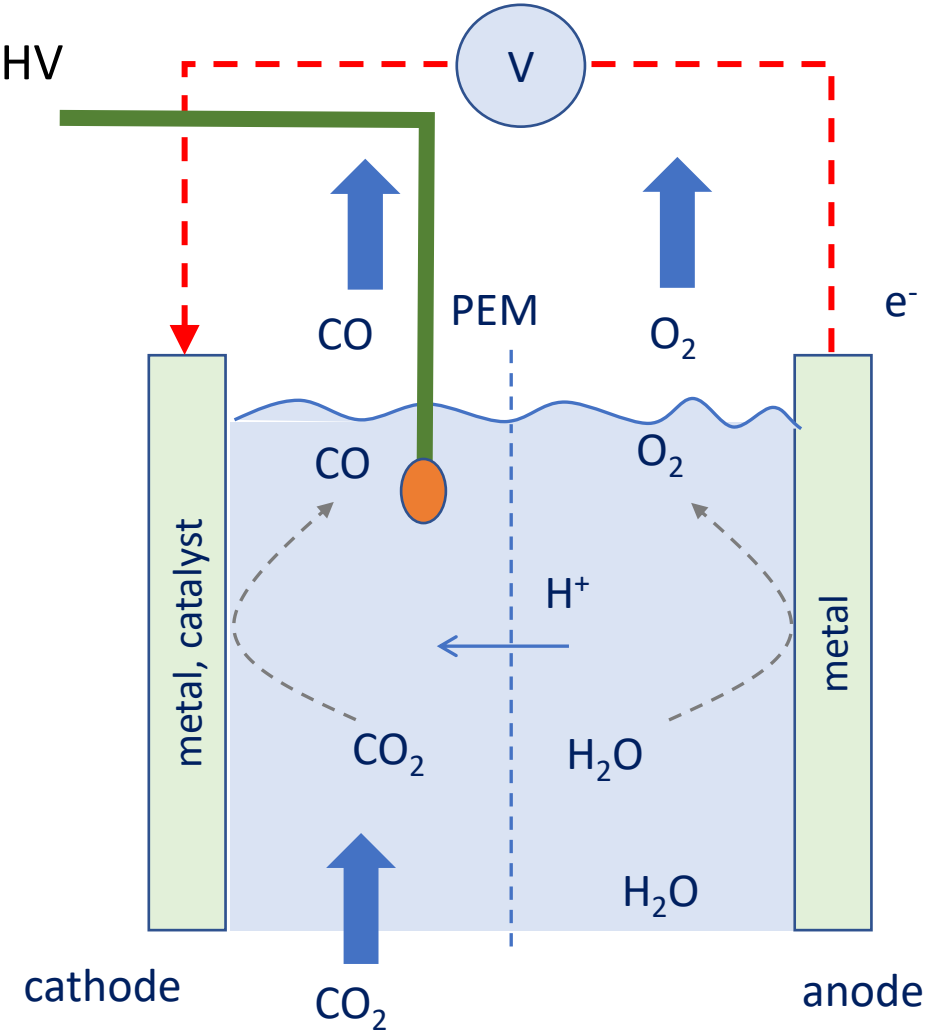
N-Butan Oxidation

Plasma n-Butan > CO, Katalysator CO > CO2



Arbeiten Gruppe M. Muhler, P. Awakowicz

Beispiel 3: Elektrolyse - Plasmen in Flüssigkeiten



H. Mistry, A. Varela, C. Bonifacio, I. Zegkinoglu, I. Sinev, Y. Choi, K. Kisslinger, E. Stach, J. Yang, P. Strasser, B. Roldan, Nature Communications 7, 12123 (2016)

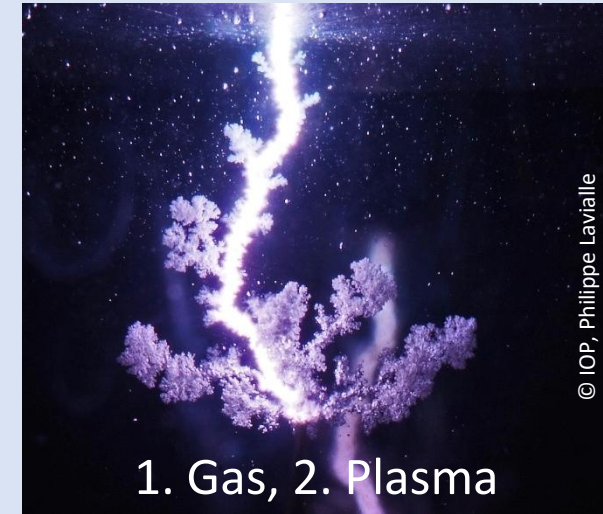
Nanosekunden Plasmen



- Nanosekunden
- Zündung direkt in der Flüssigkeit

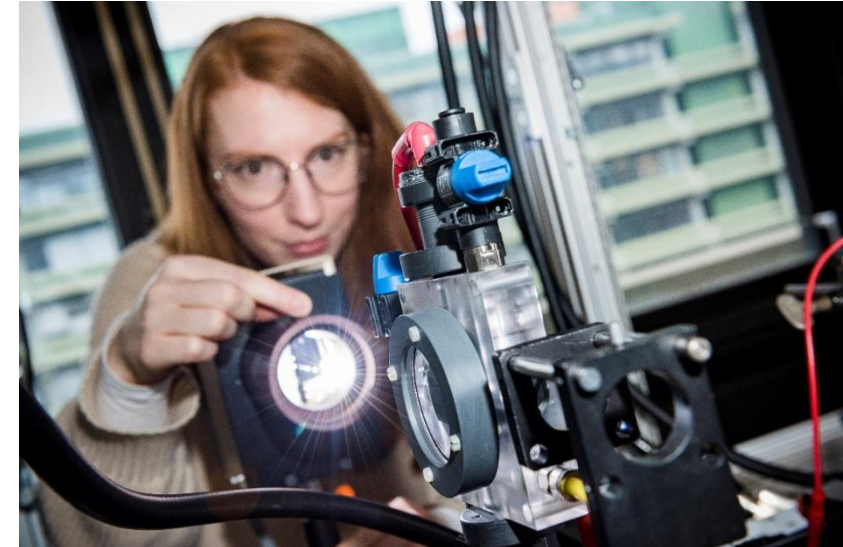
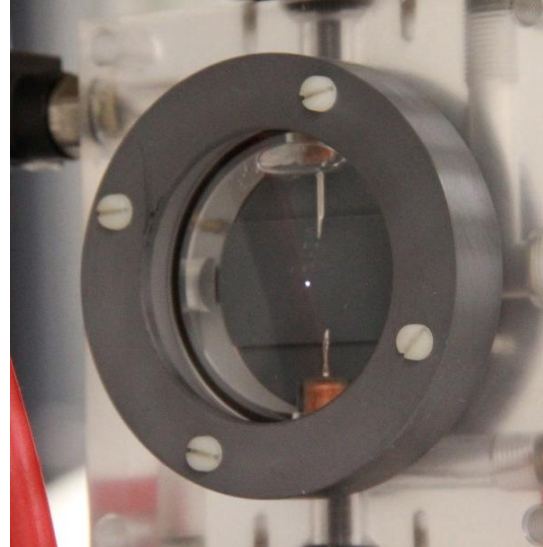
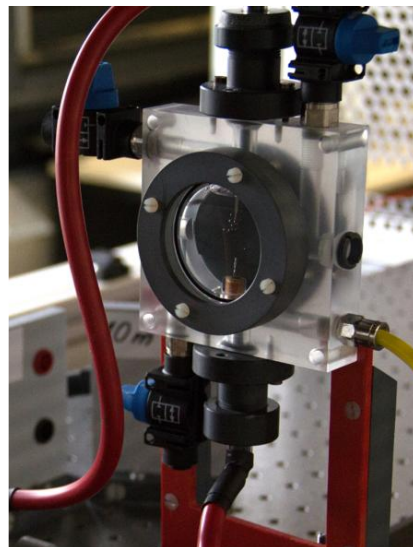
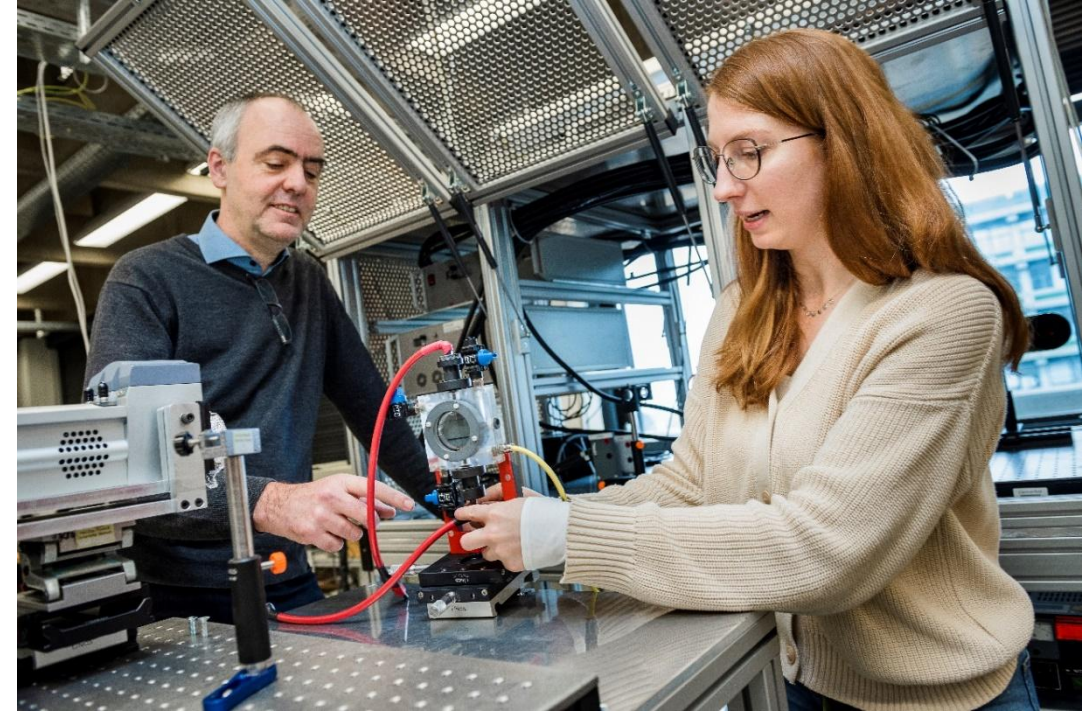
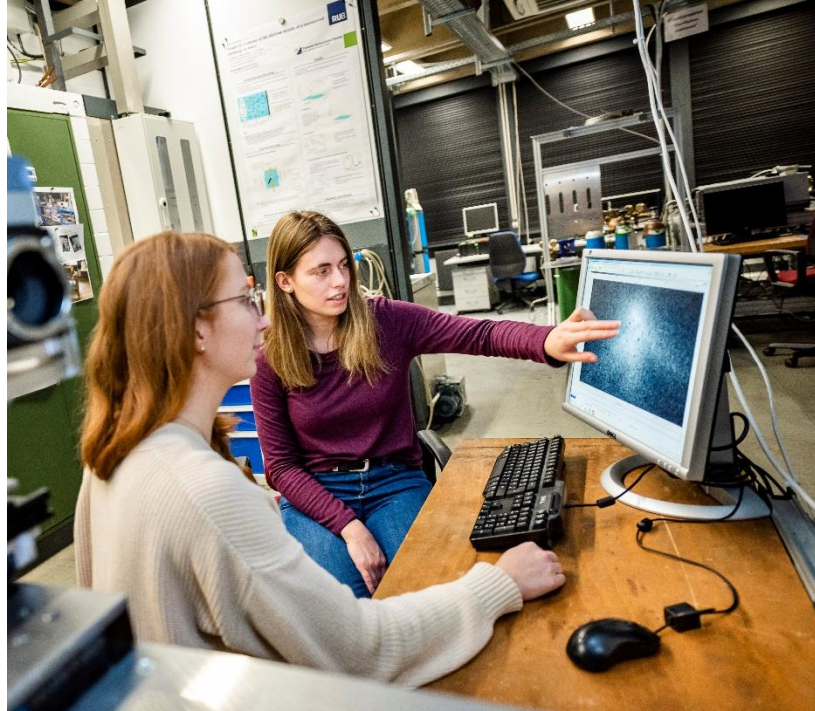
10000 bar
50000 K

Microsekunden Plasmen

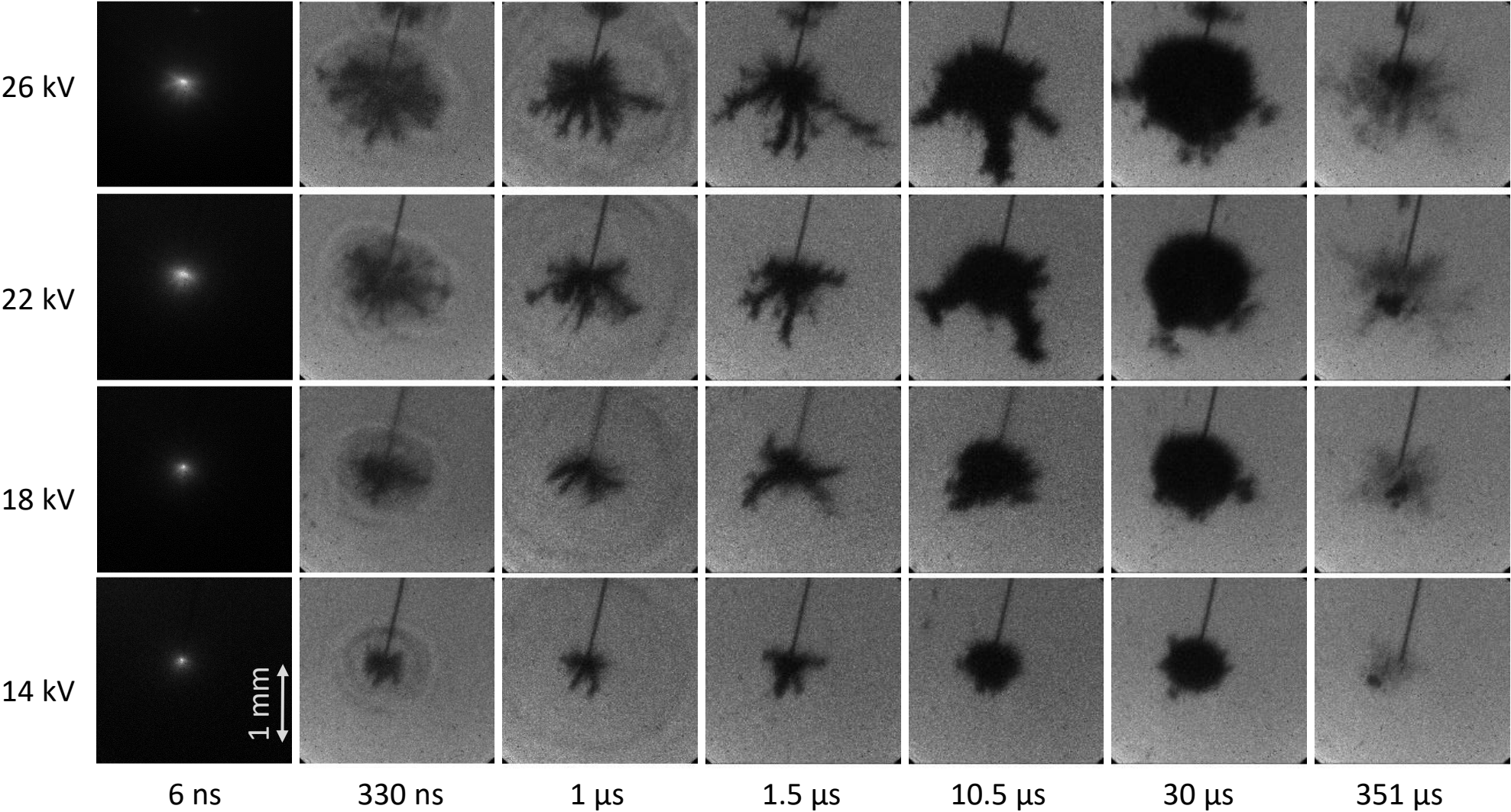


- Mikrosekunden
- Gasblasenbildung
- Zündung in dem Bläschen

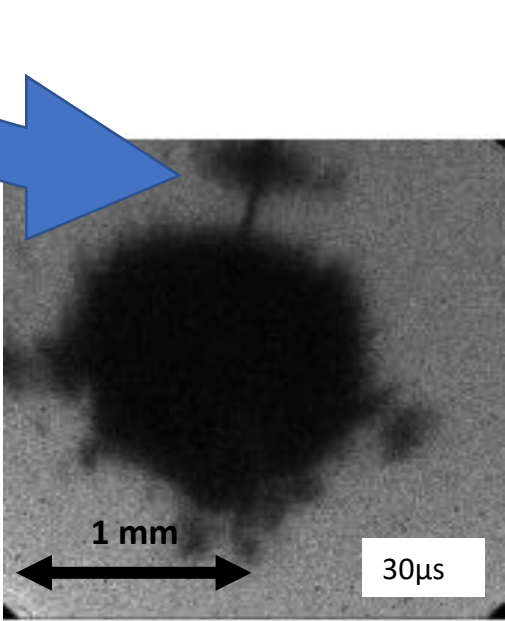
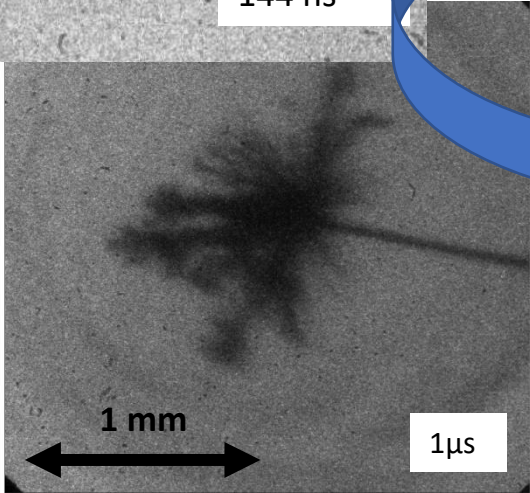
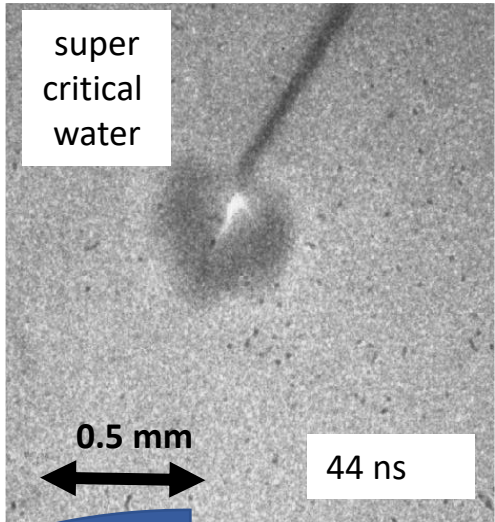
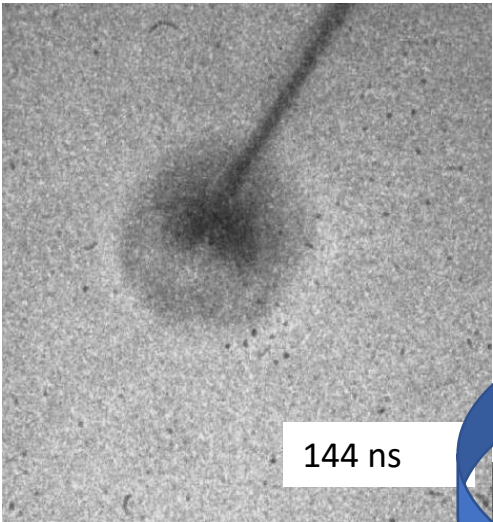
10 bar
2000 K



Nanosekundenplasma

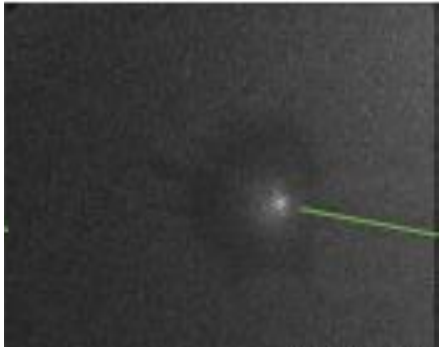
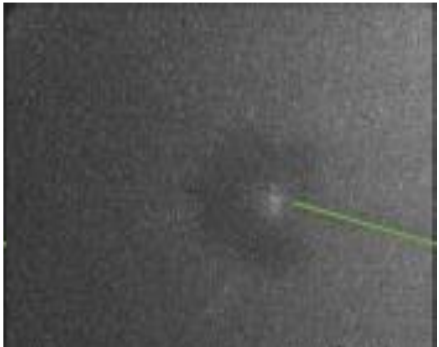
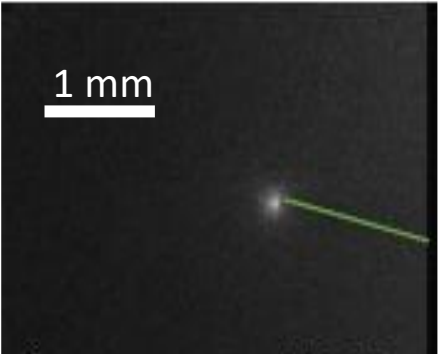
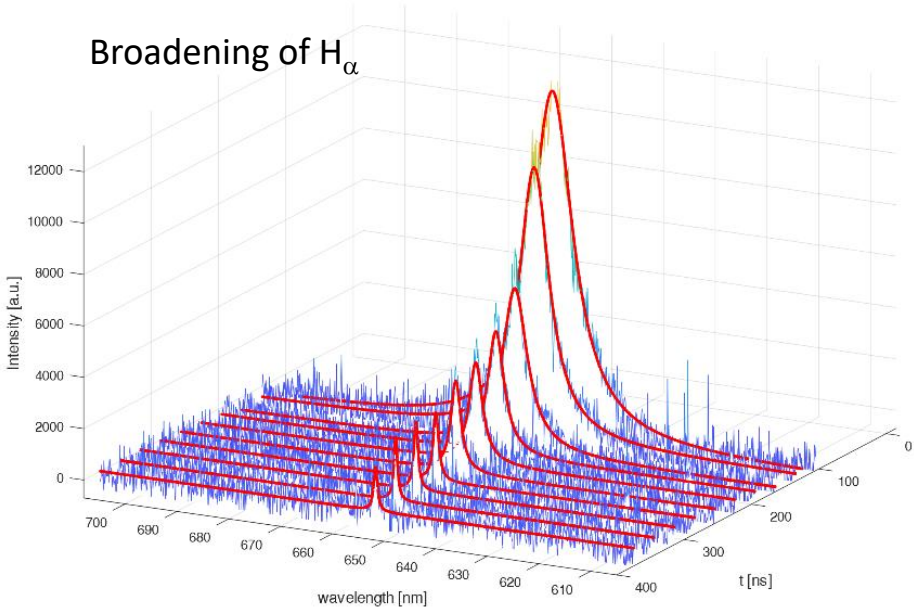
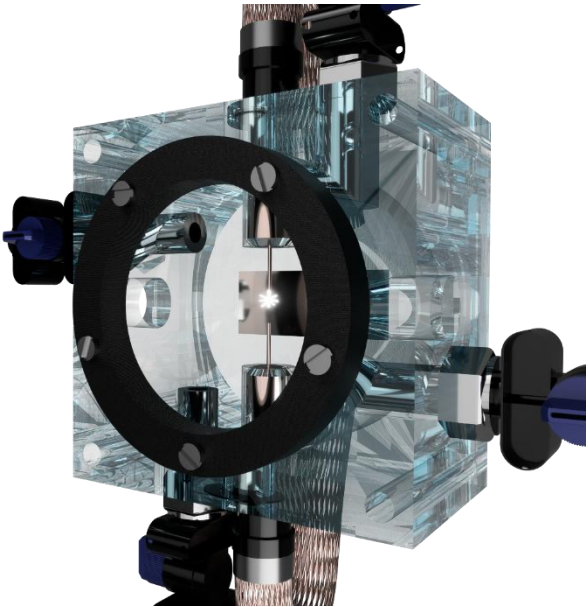


Nanosekunden Plasma – Von Plasma - Gas – Flüssig - Fest

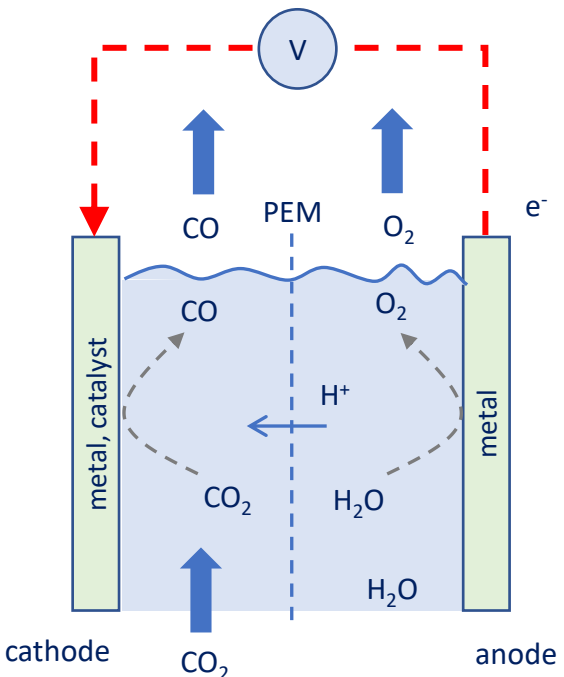
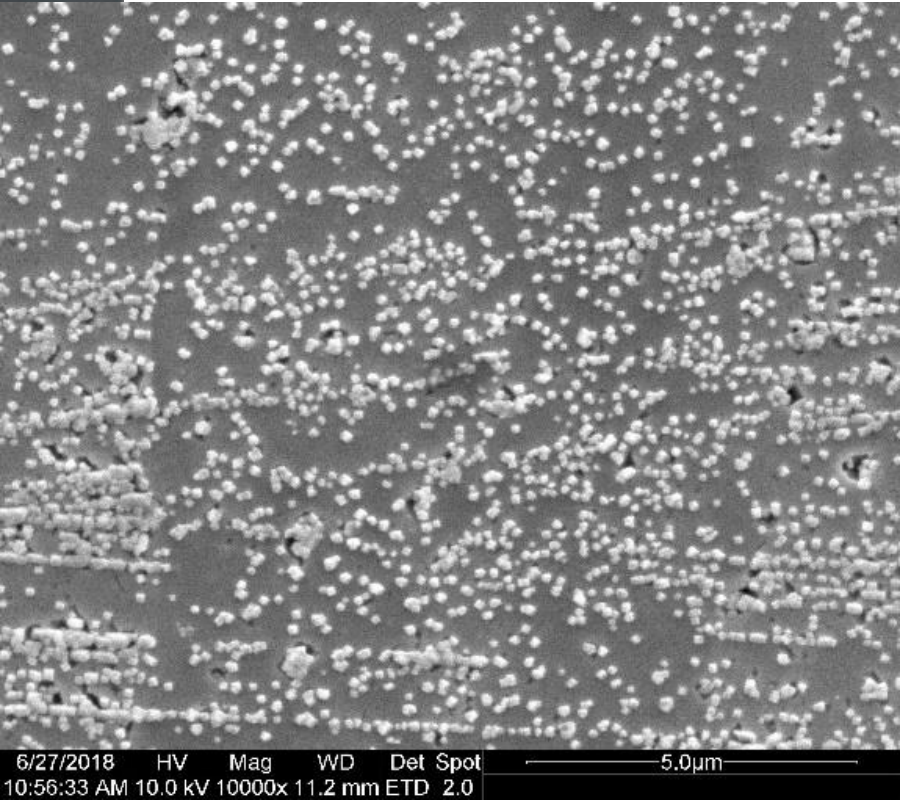
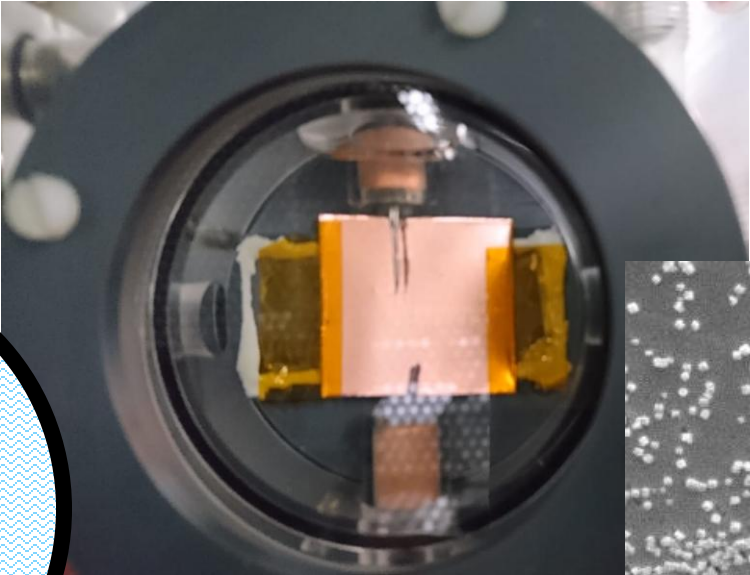
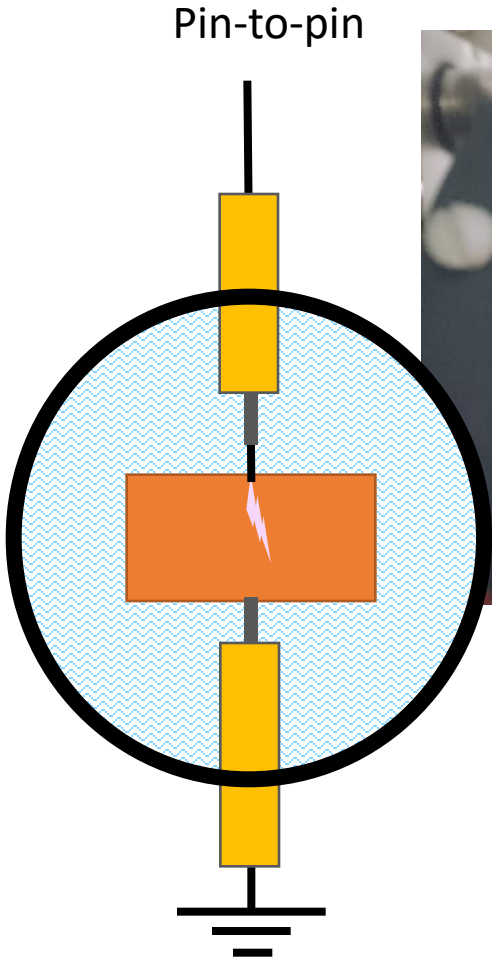


Nanosekundenplasma

Spannung 20...30 kV
Pulslänge 10 ns
Druck 10000 bar

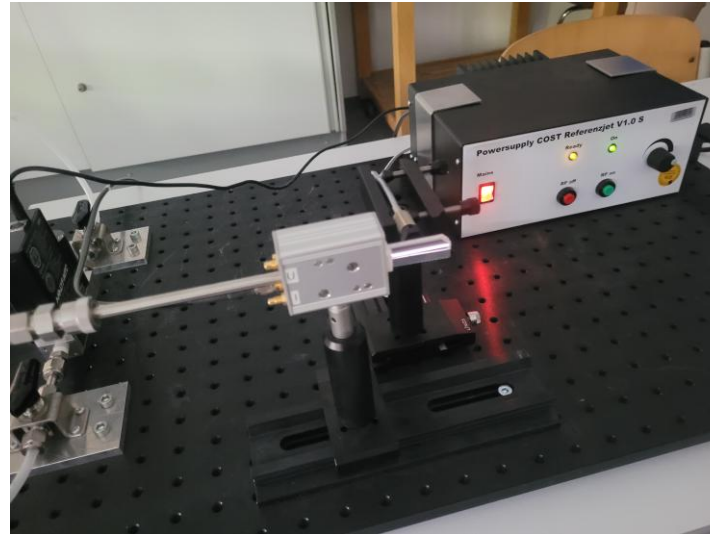


Nanosekundenplasma – Regenerierung von CuO Oberflächen



Die Idee des Plasma-Trucks

- Experimentieren für SuS der Oberstufe (Q1 & vorrangig Q2)
- Schlüsselexperimente aus dem Unterricht dienen der Grundlage für den Workshop
- Vertiefung des Schulwissens und Erweiterung um das Konzept Plasma
- Interesse an Forschung wecken
- Orientierung zum möglichen MINT-Studium geben
- Anwendungen von Plasmen, Kontakt mit Plasmen im Alltag und aktuelle Forschung am SFB 1316 zeigen



Das Konzept des Plasma-Trucks

- Durchlaufen von verschiedenen Experimenten in Kleingruppen von 3-4 SuS mit max. 20 SuS
- Bearbeitung eines digitalen Aufgabenheftes mit bis zu vier Experimenten
- 90 min Workshop für die Schüler*innen
- Studierende sowie Mitarbeiter des SFB 1316 besuchen die Q1/Q2 einer Schule
- Benötigt wird ein großer Klassenraum in der teilnehmenden Schule
- Aufbau der Experimente dauert etwa 45 Minuten vor der Unterrichtseinheit
- Sämtliche Materialien werden durch den SFB 1316 mitgebracht
- Begleitmaterial wird am Projekttag digital oder gedruckt zur Verfügung gestellt



Begleitmaterial

- Begleitmaterial digital oder gedruckt (je nach Ausstattung der Schule)
- Workshopeinführung erfolgt über einen Kurzfilm
- Weiteres Wissen kann über sogenannte Hilfekarten optional angeschaut werden
- Hilfekarten zur Wiederholung der aus dem Unterricht relevanten Inhalte
- Für interessierte SuS Bonus-Karten mit zusätzlichen Informationen zu Plasmen, Anwendung, Forschung und Wissenschaftlern (QR-Codes und Links zur Website mit Kurzfilmen)

3 Emission von Licht

Wie ihr in der Einleitung erfahren habt, leuchten Plasmen. Dieses Plasma leuchten, bzw. die Emission von Plasmen, wollen wir mit diesem Experiment näher betrachten. Die Emission von elektromagnetischer Strahlung kennt ihr bereits aus dem Schulfach Physik. Nun wollen wir die Emission von einem Plasmajet analysieren.

Die Emission eines Plasmas wird in der Wissenschaft auf viele Weise angewandt, um diese ionisierten Gase (=Plasmen) näher zu charakterisieren. Indem die Emission detektiert und analysiert wird, erhält man Informationen über die genauen Vorgänge im Plasma auf atomarer Skala.

3.1 Grundlagen

Elektromagnetisches Spektrum

Wie auch vielleicht aus der Optik bekannt ist, kann man sich Licht als Wellen vorstellen. Diese Wellen sind Schwingungen von elektrischen und magnetischen Feldern.

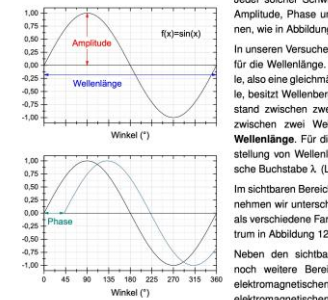


Abbildung 7: Graphische Veranschaulichung von Wellen.

Jeder solcher Schwingungen hat eine Amplitude, Phase und eine Wellenlänge. In unseren Versuchen für die Wellenlänge, f , also eine gleichmäßige, besitzt Wellenlänge, steht zwischen zwei Wellenlängen. Für die Wellenlänge, λ , (Länge) Im sichtbaren Bereich nehmen wir unterschiedliche Farben an (Abbildung 12).

Neben den sichtbaren Bereich elektromagnetischen Wellenlängen darstellt.



Abbildung 4: Veranschaulichung des Ionisationsprozesses.

Mit diesem QR-Code findest du Informationen zum Bohr'schen Atommodell und Leuchterscheinungen bei der An- und Abregung von Atomen.



2.2 Aufbau des Experiments

Die Plasmaröhre, die verwendet wird, um den Einfluss von Feldern zu untersuchen, ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt. In eine bei einem Druck von $p = 44$ mbar eingebracht (grauer Bereich). In die eine weitere, kleinere, luftleere Röhre (weißer Bereich). Außerdem sind ringförmige Elektroden (+/-) angebracht, zwischen denen eine Gleichspannung angelegt werden kann.

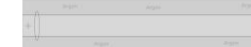
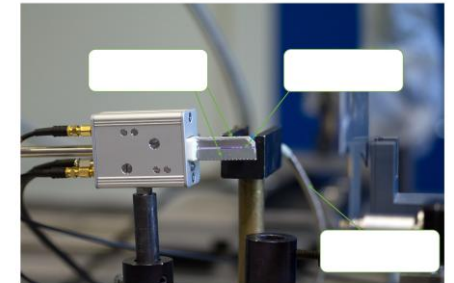


Abbildung 5: Schematische Skizze der Plasmaröhre für den Versuch.

An die Plasmaröhre wird zunächst eine Gleichspannung von ca. 6 kV angelegt, um das Plasma zu zünden. Da das Plasma nicht selbstständig zündet, muss ein Spannungserzeuger dazu gebracht werden.

Wird das Plasma gezündet, so entsteht zwischen den beiden Glasröhren ein Ladungskanal, der bläulich leuchtet. Dies ist in Abbildung 6 zu sehen. Nach dem Zünden auf ca. 2,2 kV ein. Nach dem Zünden soll eine tiefe an die Elektroden gehalten werden. Dabei sollen jeweils beide genutzt werden.



Optische Emissionsspektroskopie

Um das Plasma zu analysieren, führen wir eine sogenannte optische Emissionsspektroskopie durch. Mit dieser Technik lässt sich untersuchen, welches Licht von dem Jet ausgeht.

Für die optische Emissionsspektroskopie werden folgende Bestandteile benötigt:

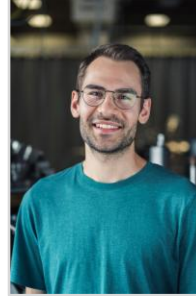
- **Lichtleiter:** Das emittierte Licht aus dem Plasma wird über einen Lichtleiter zum Detektor geführt. Die Grenzflächen in dem Leiter reflektieren das Licht hin und her bis zum Ende des Leiters.
- **Detektor:** Das hier verwendete Spektrometer ist in der Lage, Licht im Bereich von 600 nm bis 1000 nm (d.h. rotes bis infrarotes Licht) zu detektieren. Wie ihr an der Farbe des Plasmas sehen werdet, sendet es auch kurzwelligeres Licht aus. Dieses kann mit diesem Spektrometer jedoch nicht gemessen werden.
- **Software:** Das vom Spektrometer aufgenommene Spektrum wird am Computer in einem speziellen Programm angezeigt. Dieses enthält einige hilfreiche Funktionen wie Zoomen und das Anzeigen der Wellenlänge eines einzelnen Peaks.

Projektentwicklung

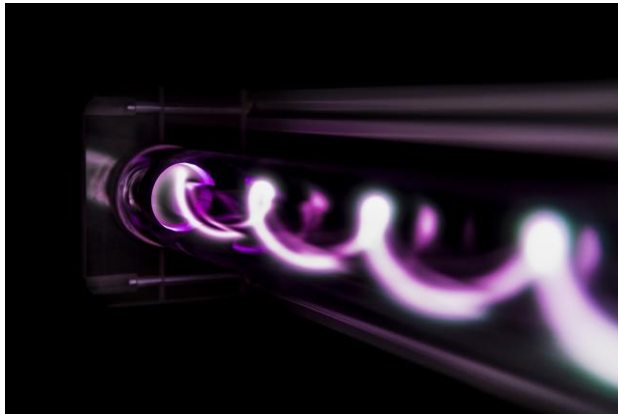
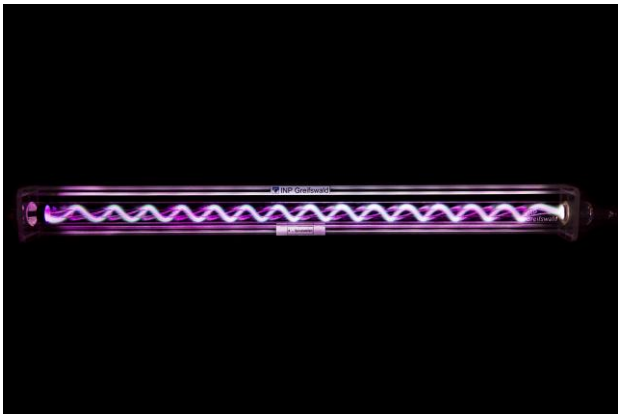
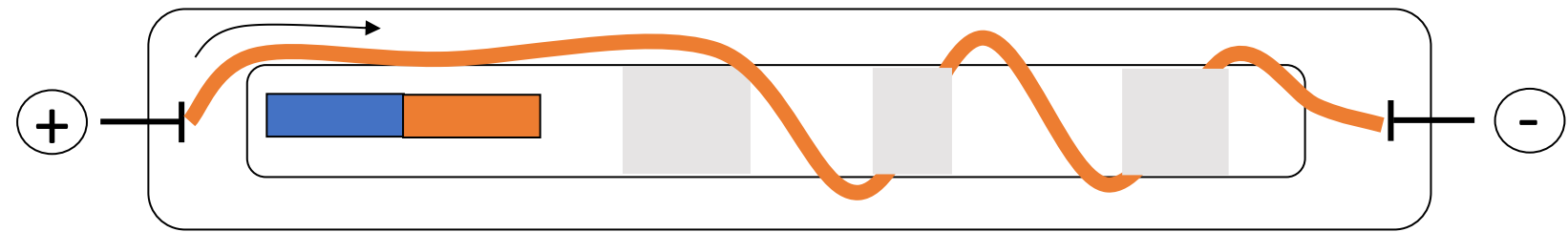
- Entwicklung gemeinsam von Plasmaphysiker*innen und Physikdidaktiker*innen
- Test und Evaluation an einer Schule
- Stetige Verbesserung aufgrund von Lehrer*innen- & Schüler*innenfeedback

Kontakt

sfb1316+pr@rub.de



Einfluss der Lorentzkraft auf ein Plasma



(8) Ar 44 mBar, V=2 kV, Vorwiderstand R=20kΩ



Zusammenfassung

Plasmen sind ein sehr flexibles Werkzeug zur Nutzung von elektrischer Energie zur Synthese von neuen Molekülen

Plasmen können gut skaliert werden
Plasmen lassen sich schnell regeln

Massen- und Energieeffizienz sind Entwicklungsziel

Danke an die Mitarbeiter und Kollegen



Danke an die Geldgeber



Deutsche
Forschungsgemeinschaft



Transient Atmospheric Plasmas
from plasmas to liquids to solids

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

