



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Ressourcen- und energieeffiziente Wasser- membranfiltration mittels Dielektrophorese (REMEMBER)

BMBF Fördermaßnahme WavE
Auftaktveranstaltung
DECHEMA e.V., Frankfurt am Main
13.-14.12.2016

REMEMBER
13.12.2016

MARTIN
Membrane Systems



Fraunhofer
IFAM



nb technologies
consulting engineers



plasmatreat
solutions on top

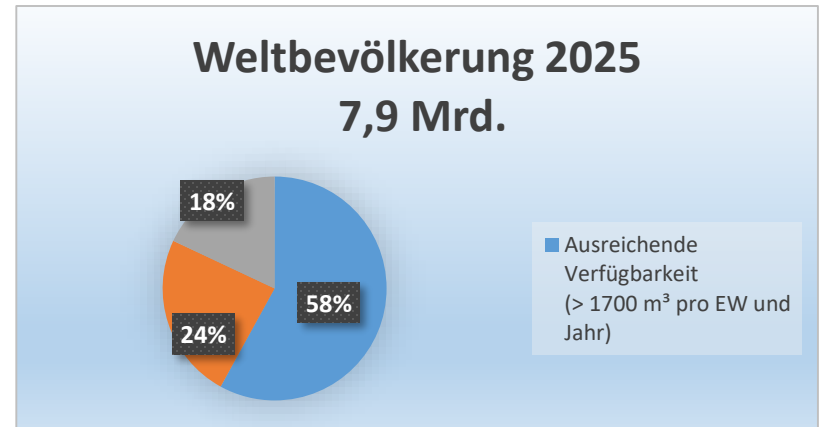
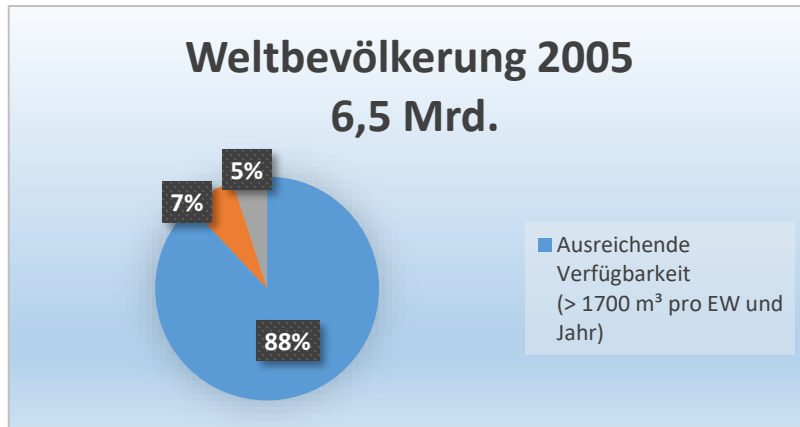
Weser
UmweltTechnik

- Einleitung / Motivation
- Projektidee
- Physikalisches Verfahren Dielektrophorese
- Siebdruckverfahren zur Elektrodenherstellung
- Dielektrische Verkapselung der Elektroden
- Überblick Verbundprojekt

- Trinkwasserknappheit verstärkt in trockenen und halbtrockenen Regionen aufgrund steigenden Wasserbedarfs und geringer werdender Verfügbarkeit von Wasserquellen

Ursachen: steigende Weltbevölkerung und verstärkter Bedarf an landwirtschaftlichem Bewässerungswasser

- derzeit weltweit 1,2 Mrd. Menschen keinen gesicherten Zugang zu Trinkwasser
- durch Konsum von unsauberem Trinkwasser sterben jährlich 842.000 Menschen, darunter 361.000 Kinder unter 5 Jahren durch Magen-Darm- bzw. andere Folgeerkrankungen (WHO Factsheet 2015)
- lt. Prognose der WHO wird 2025 rd. die Hälfte der Weltbevölkerung in Regionen mit Wasserknappheit leben



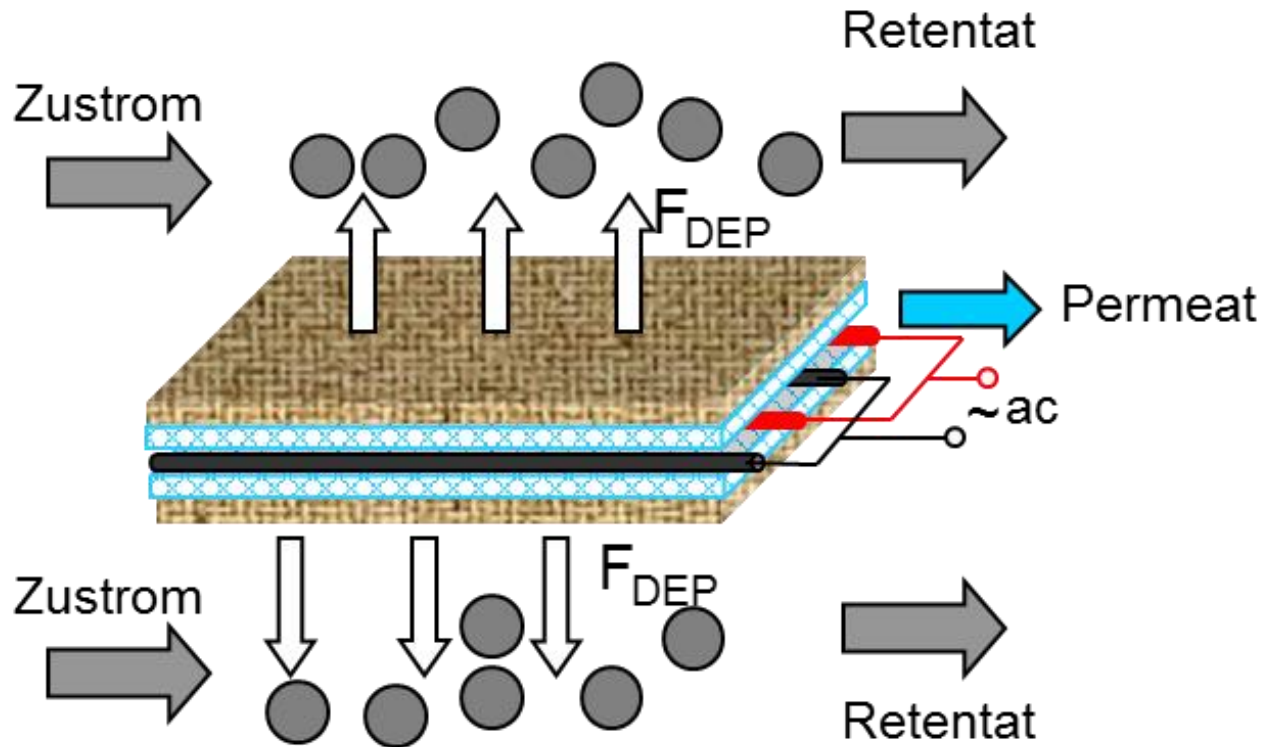
- Mögliche Quelle: Förderung von Grundwasser, welches jedoch gereinigt werden muss

- Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung
- Reinigung von Grund- und verfügbarem Oberflächenwasser mittels Membranfilteranlagen
- je nach Anwendungsbereich versch. Klassen von Membranfiltern, zur Filtration von suspendierten Partikeln, von Bakterien und Viren, sowie zur Vorfiltration zur Wasserentsalzung kommen vor allem Ultramembranprozesse zum Einsatz



- Problem: Scaling und (Bio-)Fouling begrenzt Lebensdauer und Effizienz der Membranfilter
 - Fouling: Bildung eines Gels durch organische Komponenten auf Membranoberfläche
 - Scaling: Bildung von Rückständen durch gelöste anorganische Salze
 - Verringerung dieser Effekte durch Aufbau eines inhomogenen elektrischen Feldes an Membranoberfläche
- Bezug zu förderpolitischen Zielen: 1.) Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser
 2.) Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser

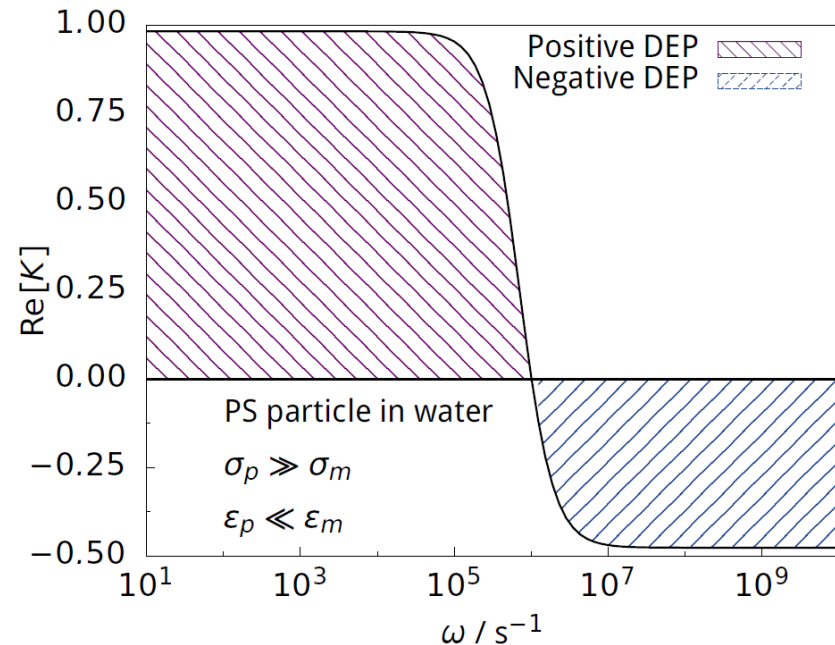
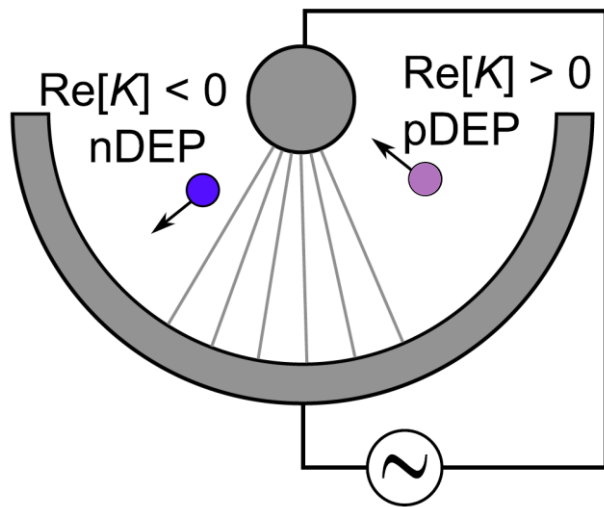
DEP-modifizierte Filtermodule

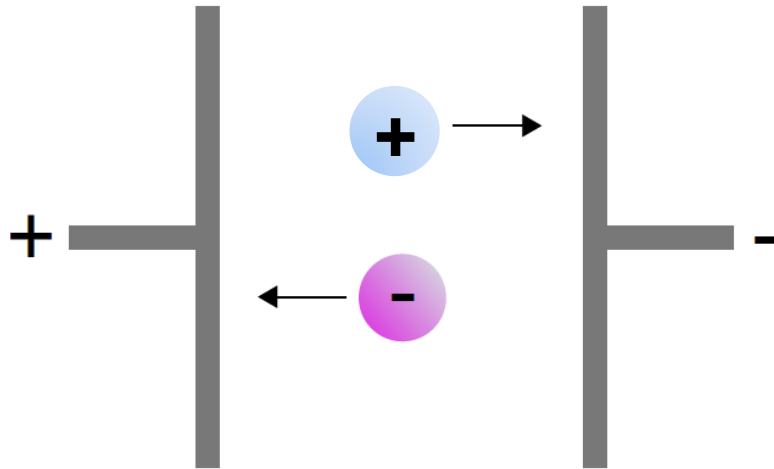


Dielektrophorese:

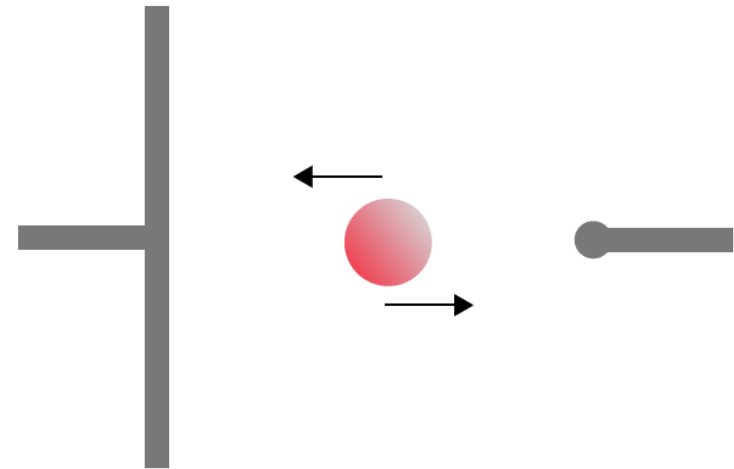
- Bewegung von Partikeln in inhomogenen elektrischen Feldern
- Skaliert mit Partikelvolumen (a^3) und Feldgradienten ($\nabla|E|^2$)
- Bewegungsrichtung vorgegeben durch effektive Polarisierbarkeit ($\text{Re}[K]=f(\omega)$)

$$\vec{F}_{\text{DEP}} = 4\pi a^3 \epsilon \text{Re}[K] \nabla|E|^2$$

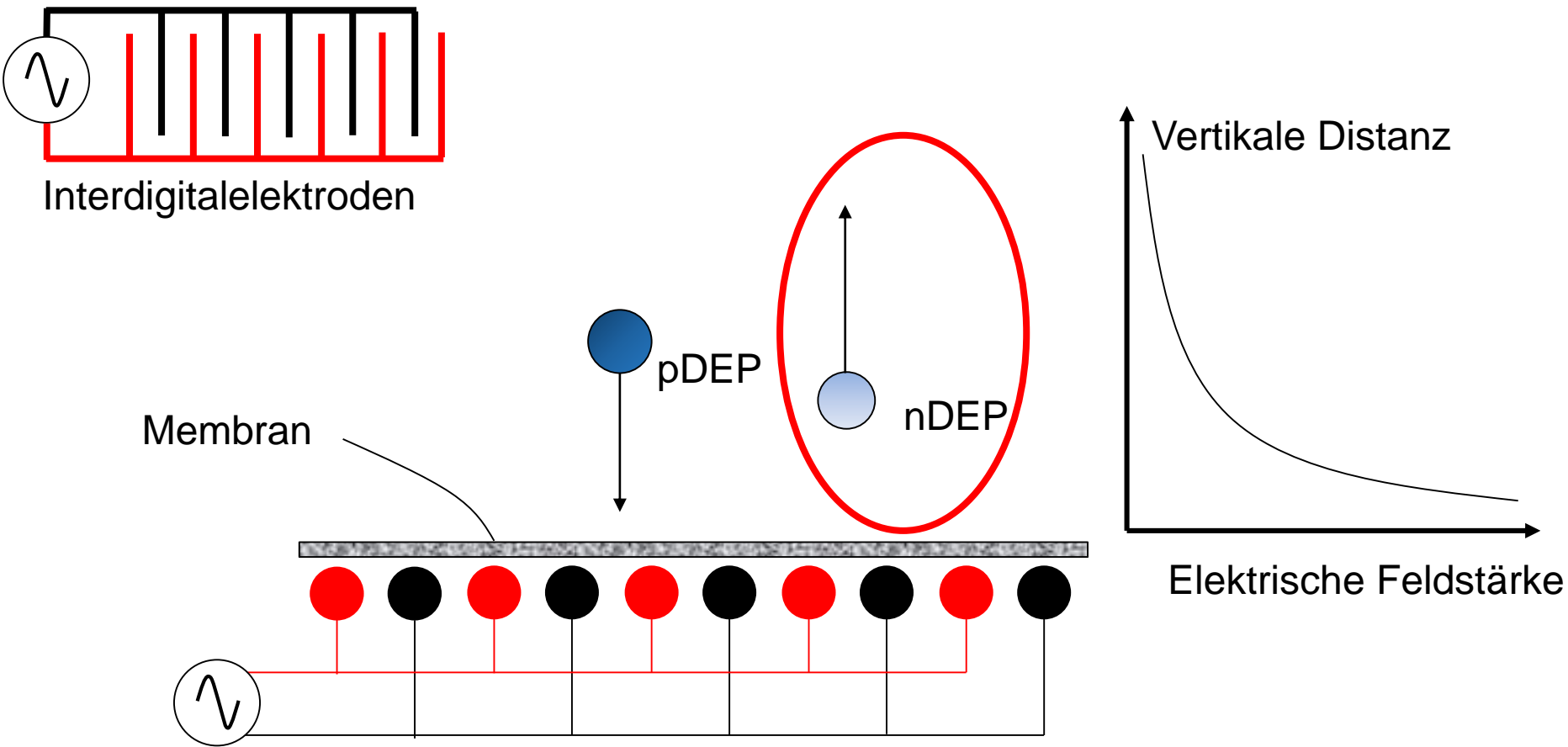


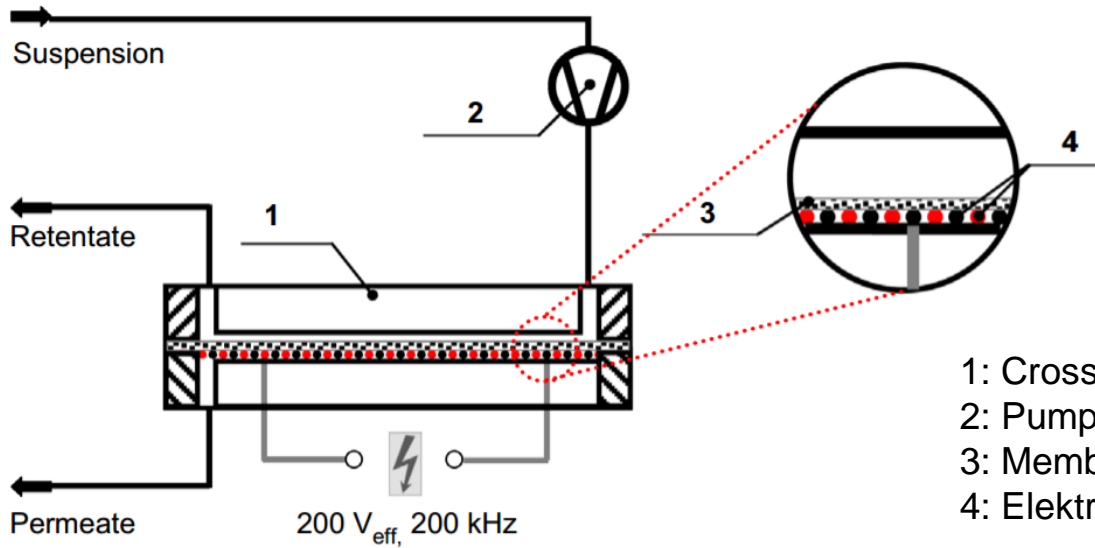


Homogenes elektrisches Feld
Gleichstrommechanismus: Elektrophorese
Wechselstrommechanismus: Partikeloszillation



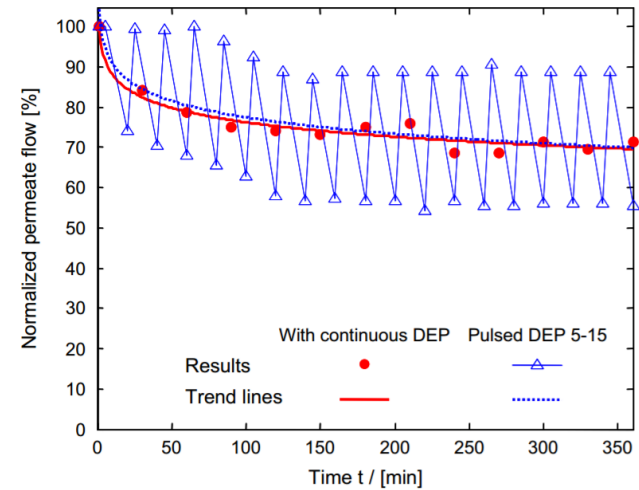
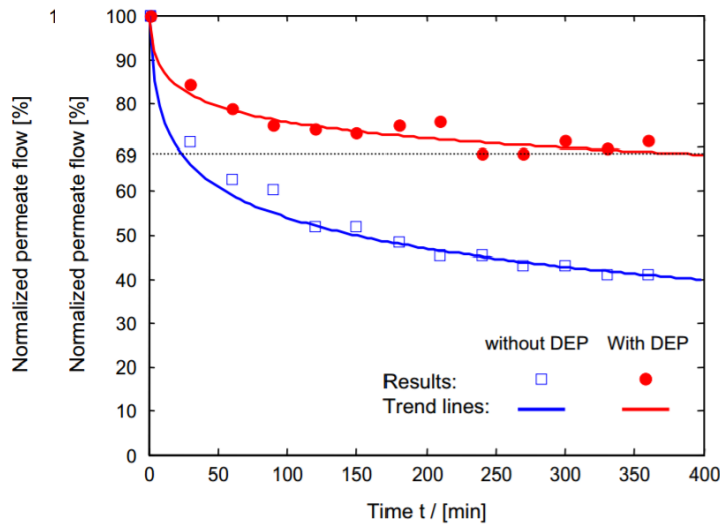
Inhomogenes elektrisches Feld
Gleich- und Wechselstrom: Dielektrophorese



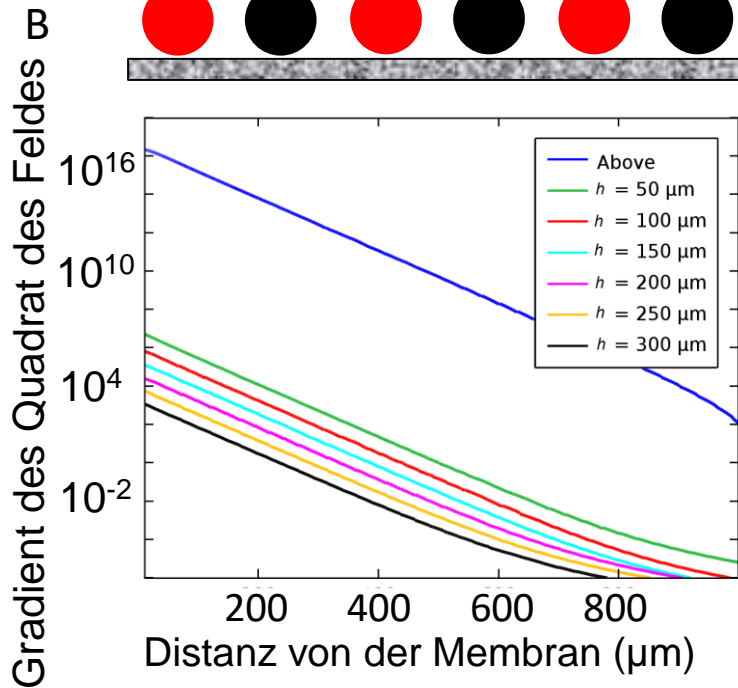
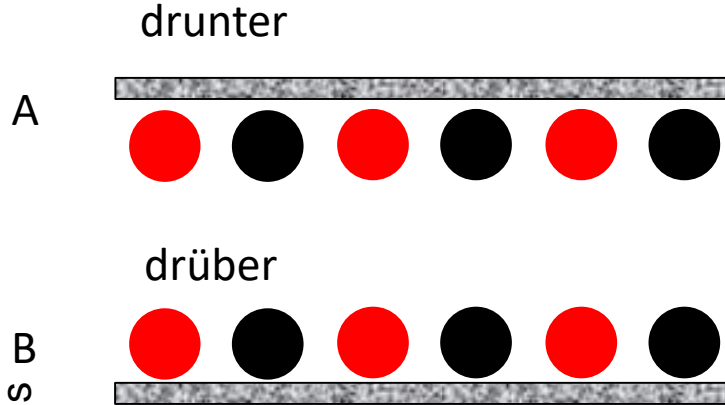


Partikelabtrennung:
Abtrennung von Tonpartikeln
aus entionisiertem Wasser

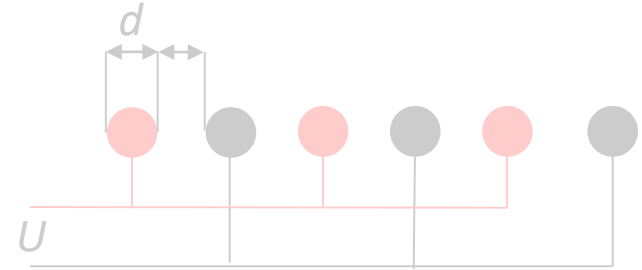
- 1: Cross-Flow Modul,
- 2: Pumpe,
- 3: Membran,
- 4: Elektroden



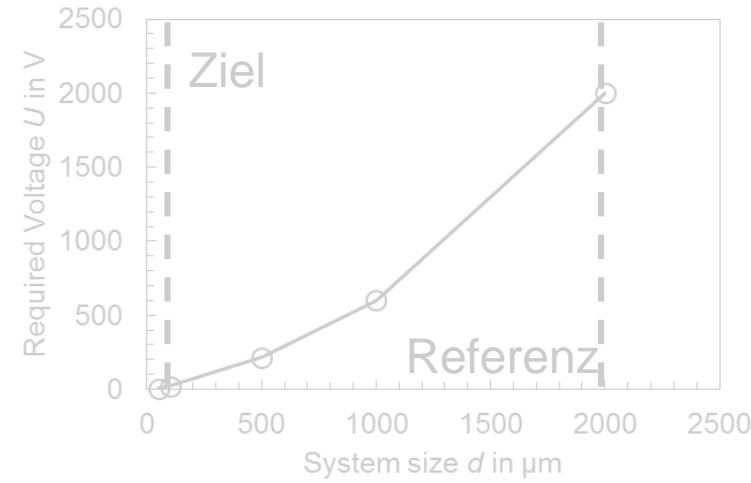
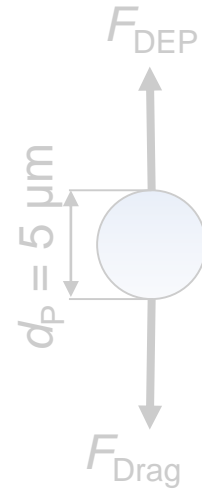
Position der Elektroden



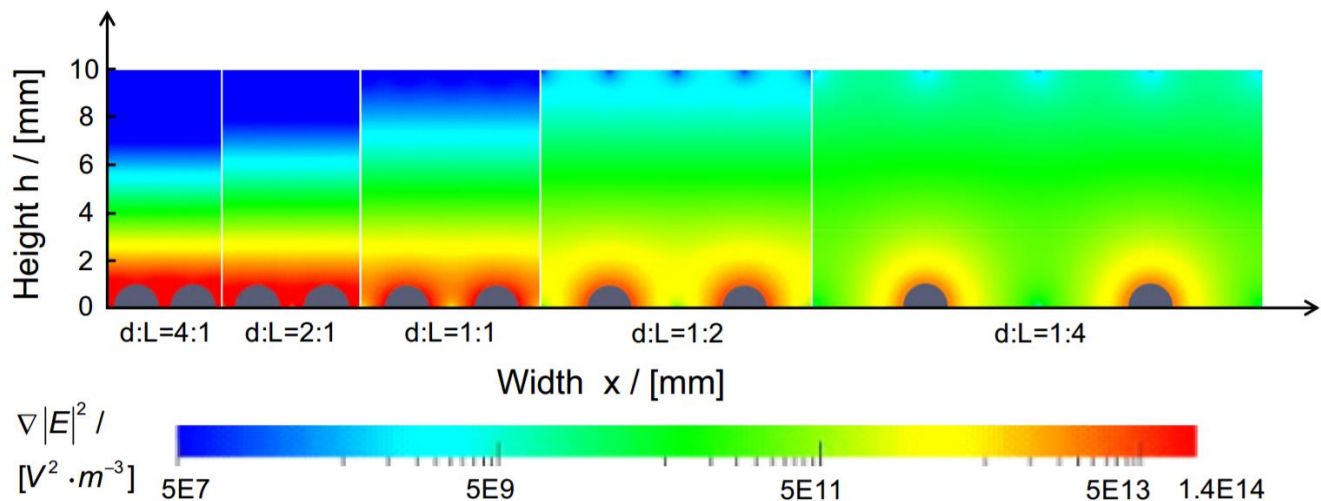
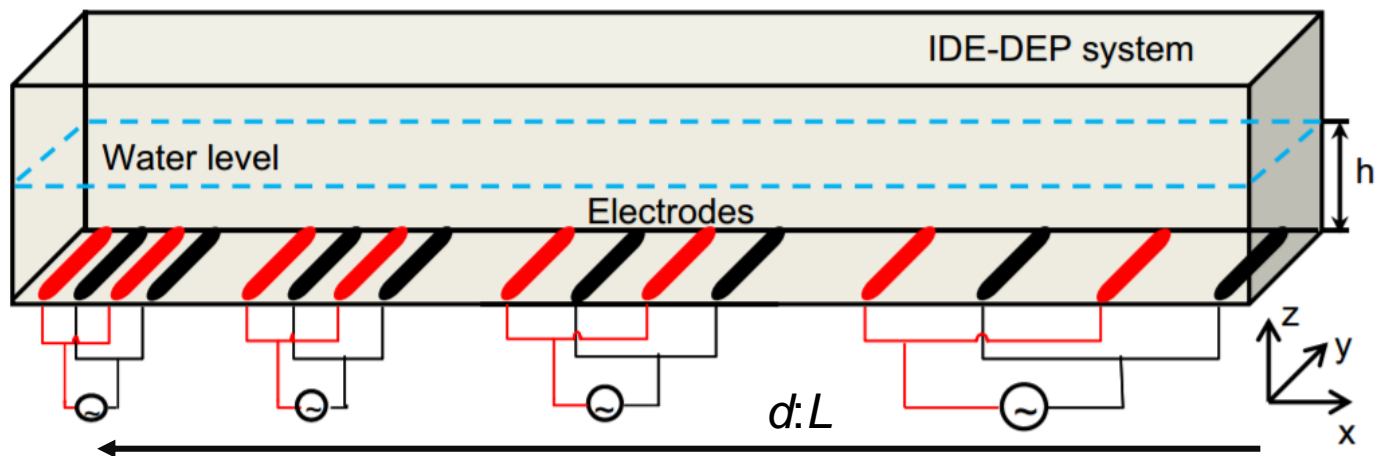
Systemgröße



$$F_{\text{DEP}} \geq F_{\text{Drag}}$$



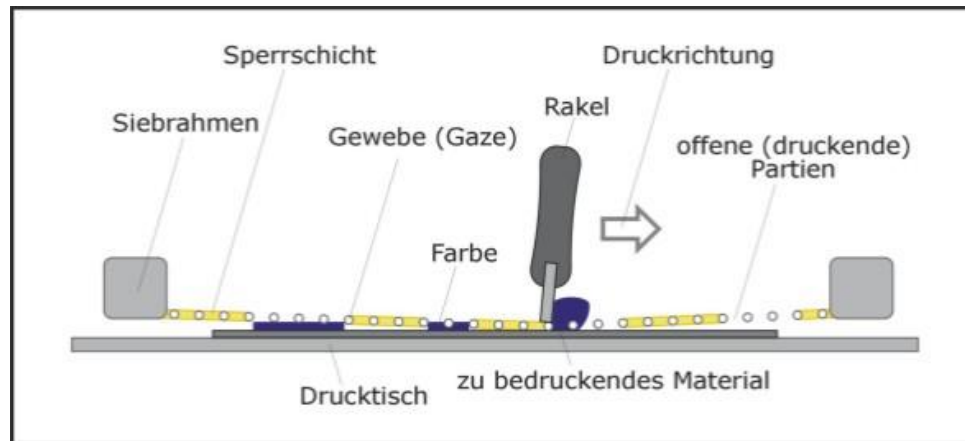
Design der Elektroden für optimalen Partikelrückhalt bei möglichst geringer blockierter Fläche!



Anforderungen im Projekt an Elektrodenstruktur

- möglichst **wenig Abschattung** der Membranfläche => z.B. ~ 50µm Linienbreite
- **Abdeckung** mit Dielektrikum => **Justage** mit hoher Präzision und Maßhaltigkeit

Siebdruck für Realisierung der Elektroden geeignet ?



Siebdruck

- Druckverfahren, bei dem die Druckfarbe mit einer Gummirakel durch ein feinmaschiges Gewebe hindurch auf das zu bedruckende Material gedruckt wird.

=> *gefordert:*

1. Feinliniendruck
2. Verzugsfreiheit des Gewebes/Siebes über die Druckzyklen

Motivation für den Einsatz von Siebdruck

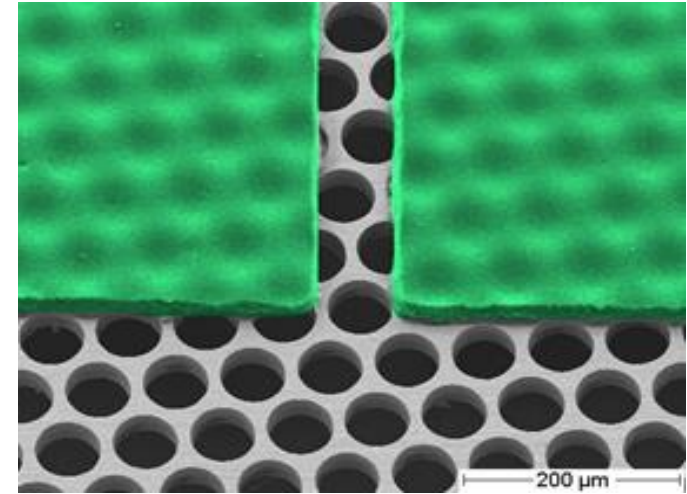
- etablierte Technologie mit hoher Verfügbarkeit
- vergleichsweise günstig
- skalierbar für Produktion bei großen Stückzahlen

Einsatz von Spezialesieb sunstence® uni

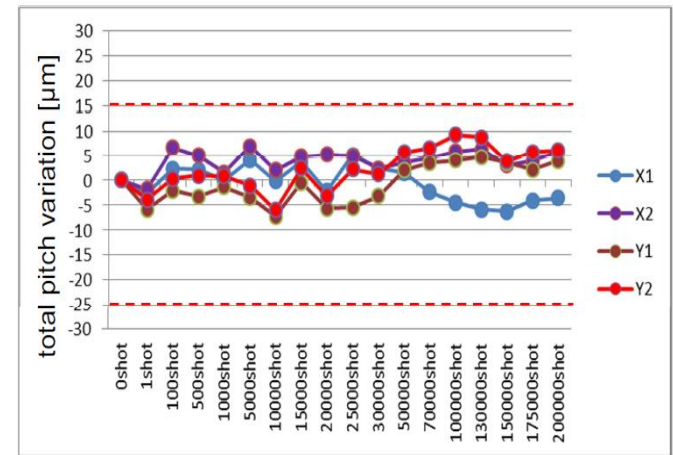
- Kombination aus gelochter Metallfolie (Stahl) und Schablone aus Emulsionsbeschichtung
- kleinste Linienbreite von bis zu 30µm gezeigt
- absolut verzugsfrei
- gegenüber Schablonen ohne Einschränkung flexibel im Layout (für Interdigitalstrukturen !)
- Lebensdauer von bis zu 200.000 Drucken

Schwerpunkte von NBT im Projekt REMEMBER

- Optimierung der Lochfolie (Nickelgalvanik)
- Herstellung von Siebdrucksieben
- Parameter für Druckprozess auf Membranen
- Herstellung von Elektroden für Testmuster

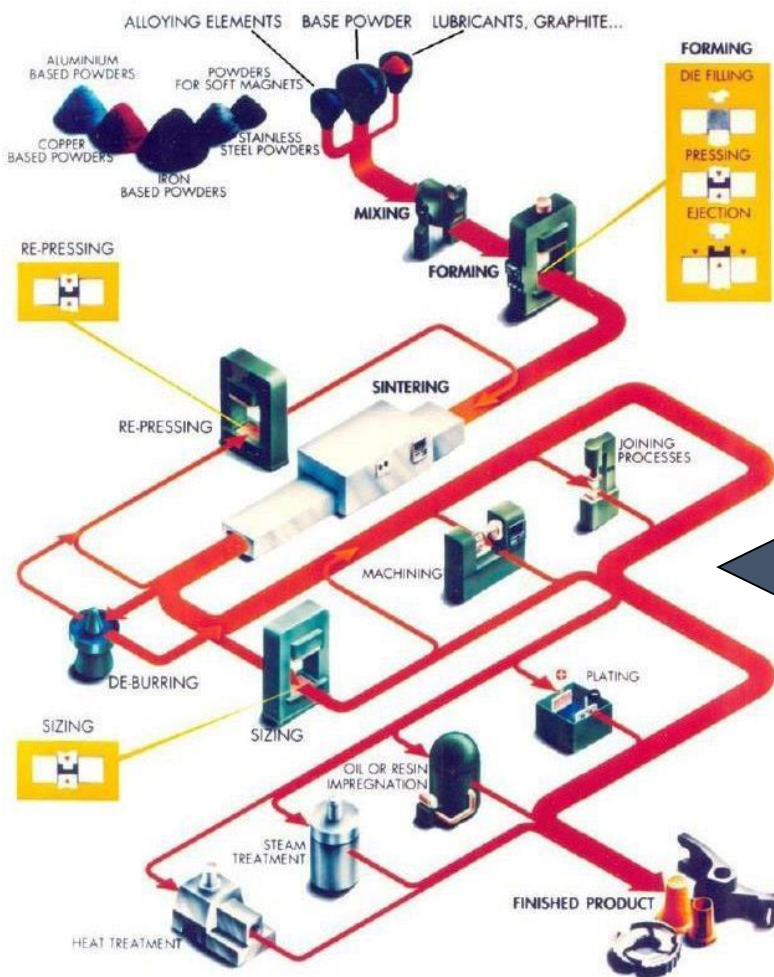


NBT's sunstence® uni Sieb



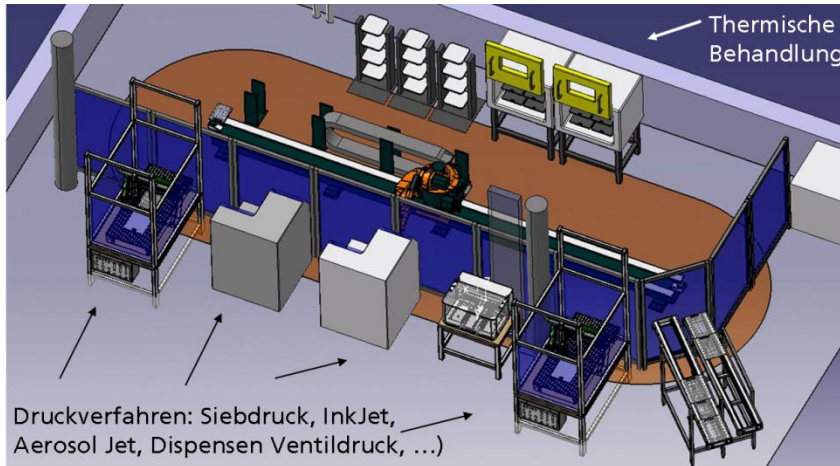
The variation of total pitch is less than 20 µm after 200,000shots

Verzugsmessung über 200.000 Zyklen
über 160mm x 160mm



Technologieplattform Functional Printing

- Teilautomatisierte Fertigung gedruckter funktionaler Strukturen



- Probenträger: 200 x 300 mm² und 300 x 400 mm²
- Für thermische Aktivierung bis 400 °C
- Flexible Montage der Oberflächen / Werkstücke auf Probenträger

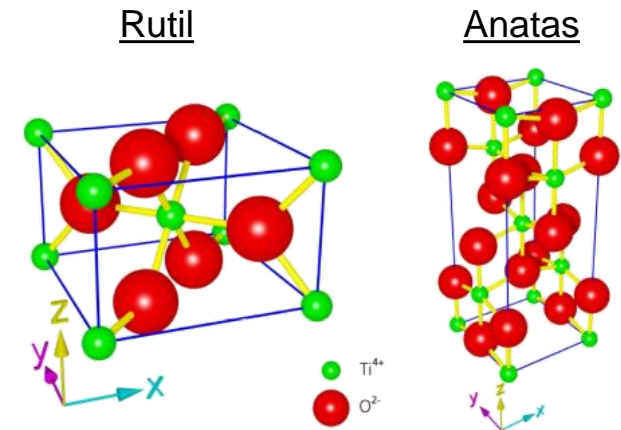


Anforderungen im Projekt an die Elektrodenbeschichtung

- Hohe Dielektrizitätskonstante
- Gute Alterungsbeständigkeit
- Möglichst lokal auf den Elektrodenstrukturen abscheidbar

Eigenschaften Titandioxid (TiO_2)

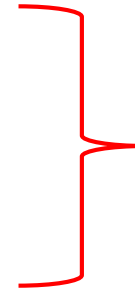
- Unterschiedliche Oxidmodifikationen (amorph, Rutil, Anatas, Brookit)
- Vergleichsweise hohe Dielektrizitätskonstante (z.B. $\epsilon_r(\text{Rutil}) = 170$)
- Sehr gute Biokompatibilität
- Chemisch weitestgehend inert



Bildquelle: www.taz.de

Stand der Technik (übliche Verfahren)

- Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)
- Sputterverfahren (Magnetronputtern)
- Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)
- Atomlagenabscheidung (ALD)



Niederdruckverfahren
(aufwendig, teuer, teils hohe Prozesszeiten)

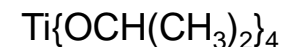
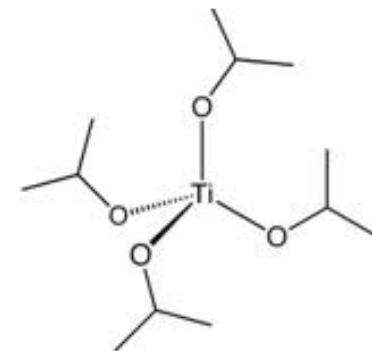
Gefordert:

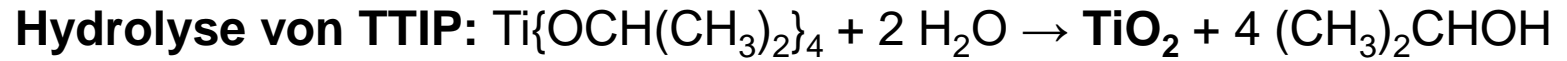
- Niedrige Prozesskosten
- Einfache Anwendbarkeit
- Möglichst lokale Abscheidung auf den Elektrodenstrukturen (Vermeidung von ungewünschter Membranverblockung und Kostenersparnis)

⇒ **Möglicher Ansatz: CVD-Verfahren bei Atmosphärendruck**

Beschichtungsausgangsstoff (Präkursor):

Titan(IV)-tetraisopropoxid (TTIP)





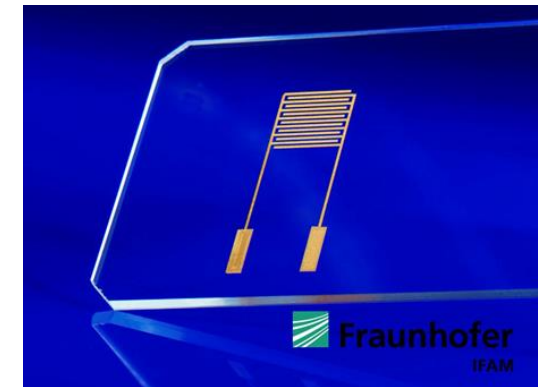
Schwerpunkte des IFAM im Projekt REMEMBER

Siebdruck:

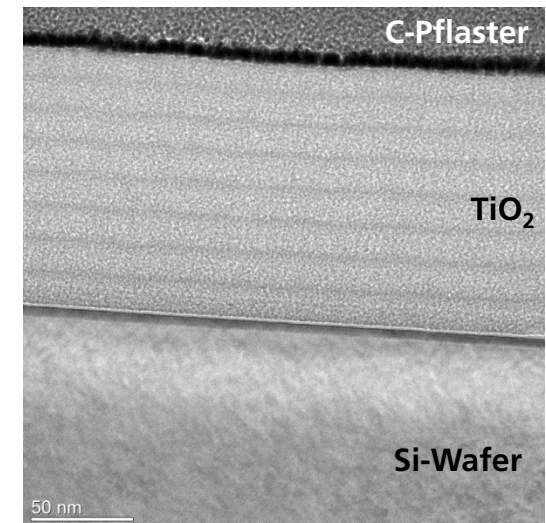
- Untersuchungen zur Bedruckbarkeit der Membranoberflächen
- Charakterisierung der gedruckten Elektroden
- Herstellung von Elektrodenstrukturen mit adaptierten Dimensionen durch verbesserte Siebe
- Herstellung von gedruckten Elektroden für Filtermodule mittels optimierter Siebe und Drucktechnik

Dielektrische Verkapselung:

- Vorbehandlung der Elektrodenstrukturen zur Adhäsionsverbesserung
- Dosiervorrichtung für hydrolyseempfindliches TTIP
- Ortselektive Abscheidung von TiO_2 auf den Elektroden (z.B. Maskierung, nachträgliches Laserstripping)
- Parameterentwicklung und Schichtcharakterisierung

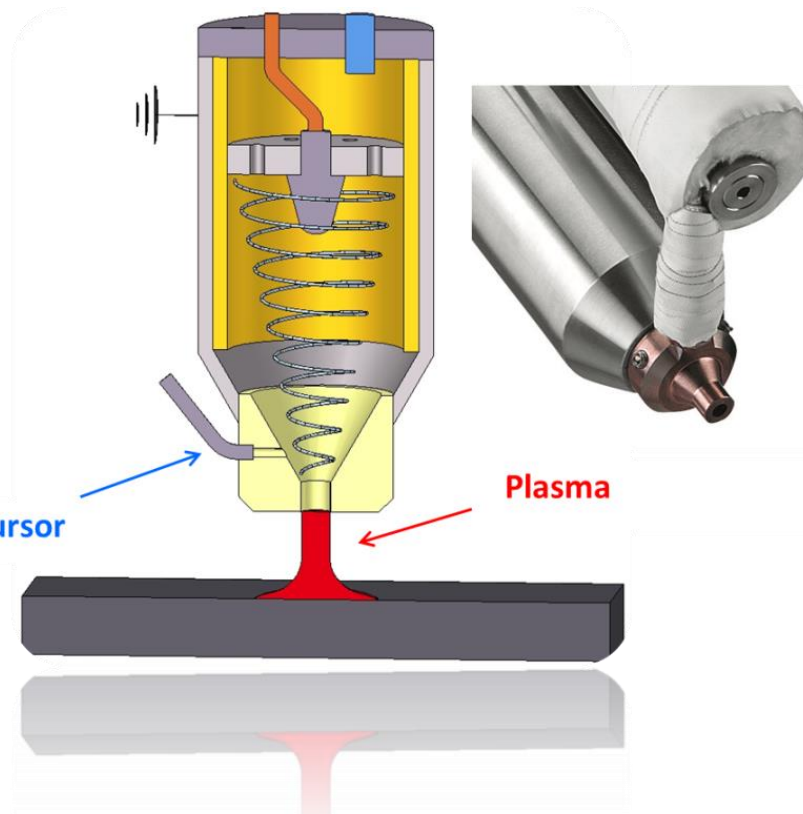


Gedruckte Gold-Interdigitalstruktur



Titandioxid-Schicht mittels AP-CVD

Abscheidung von TiO_x -Schichten unter Verwendung eines atmosphärischen, plasmagestützten Gasphasenabscheidungsprozesses



Atmosphärisches Plasmaverfahren

- Plasmaerzeugung mittels Lichtbogenentladung auf Düsenbasis
- Prozessgase: Luft, Stickstoff, Argon oder Mischungen
- Titanorganischer Präkursor wird verdampft und gasförmig in das Plasma eingebracht
- Schichtbildung auf dem Substrat

Problem: Titanorganische Verbindungen sind feuchtigkeitsempfindlich – Reaktionsprodukte erschweren die Zuführung durch Verstopfung von Rohren und Kapillaren

REMEMBER

13.12.2016

MARTIN
Membrane Systems



Fraunhofer
IFAM



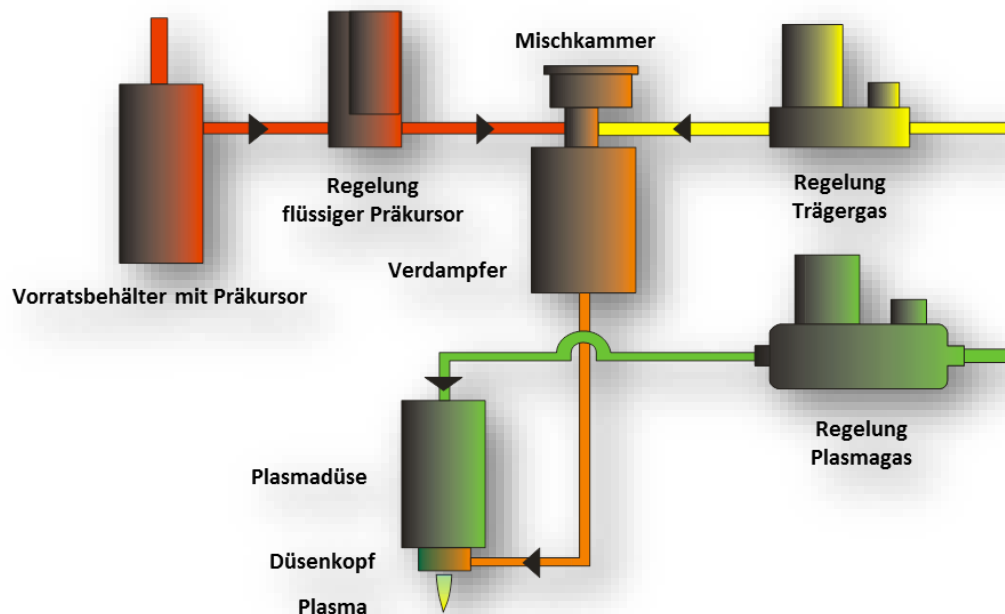
nb technologies
consulting engineers



plasmatreat

Weser
UmweltTechnik

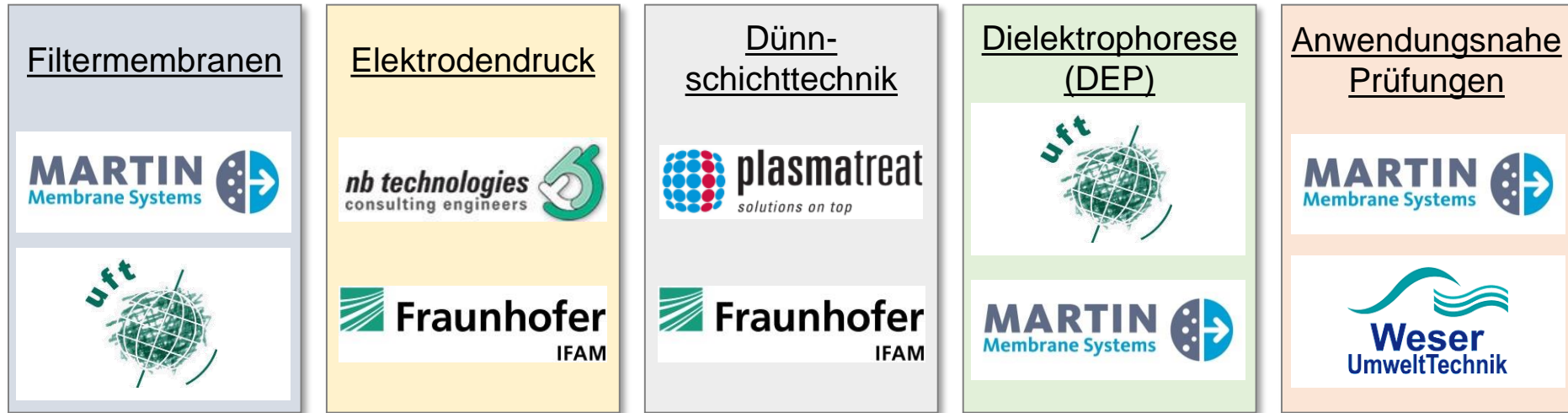
Ziel: Entwicklung einer Präkursorzuführung für hochreaktive, feuchtigkeitssensitive titanorganische Verbindungen



Schwerpunkte Plasmareakt

- Regelungstechnische Handhabung der feuchtesensitiven Präkursoren
- ortselektive Vorbehandlung der Membran- und Elektrodenoberflächen
- Anpassung von Düsenkopfgeometrien und Entladungsparametern an die Membransubstratsysteme
- gezielte Feuchtereaktion nahe der Probenoberfläche

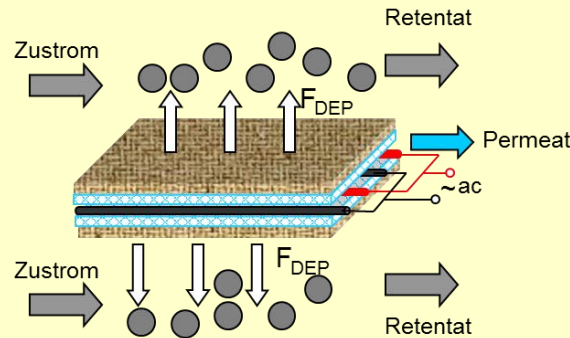
Heutige Anlagentechnik: Eindringen von Feuchtigkeit in Trägergas, Plasmagas und Präkursor möglich



Technische Zielstellungen

- Auslegung von Elektrodengeometrien
- Erzeugung metallischer Elektroden mittels Siebdruck
- Dielektrische Verkapselung der Elektrodenstrukturen
- Parameterentwicklung

DEP-funktionalisierte Filtermodule (erhöhte Effizienz und Lebensdauer)



Wirtschaftl. Zielstellungen

- Verminderung von Fouling an Membranoberflächen
⇒ Erhöhte Filtereffizienz
⇒ Verlängerung der Lebensdauer
- Aufbereitung industriell genutzter Wasser



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

