



*Institut für Energie- und
Umweltechnik e.V.*



Die Prüfung von Adsorptionsfiltern gegenüber polaren VOC und Bewertung des Leistungsvermögens gegenüber Schadgasen nach ISO 10121-3

FV-Nr. 21857 N, Projekt-Laufzeit 01.10.2021-30.09.2023

FE 1: Universität Duisburg-Essen, IVG, Nanopartikel-Prozesstechnik

Patrick Brinner, Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt

FE 2: Institut für Energie- und Umweltechnik e. V.

Dr.-Ing. U. Sager, U. Schneiderwind,
E. Däuber, Dr.-Ing. C. Asbach

FE 3: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung

Dr. rer. nat. Wolfgang Schmidt

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- Begrüßung
- Hinweis auf die Compliance Regeln, Protokollangelegenheiten
- Vorstellungsrunde (wenn neue PA-Teilnehmer:innen)
- Kurzer Rückblick auf das Vorläuferprojekt
- Vorstellung des Projektes
- Diskussion und Hinweise zum weiteren Vorgehen
- Planung der nächsten Sitzung

- Die AiF macht auf das europäische und nationale Kartellrecht aufmerksam, das untersagt, im Rahmen von Verbandstreffen wettbewerbsrelevante Themen wie Preise oder Preiselemente zu diskutieren oder sensible Unternehmensdaten auszutauschen. Ebenso ist untersagt, Verhaltensweisen im Wettbewerb abzustimmen bzw. entsprechende Beschlüsse oder Vereinbarungen zu treffen
- Verstöße gegen das Kartellrecht können mit hohen Bußgeldern geahndet werden, die der Verband, seine Mitgliedsunternehmen und u.U. auch Mitarbeiter persönlich zu tragen haben. Von daher ist die Beachtung des Kartellrechts unerlässlich
- Diese Regeln gelten während aller Veranstaltungen der AiF, einschließlich der Veranstaltungspausen

- ❖ Adsorption in der allgemeinen Raumluftechnik (RLT) gewinnt an Bedeutung
- 80 – 90 % des Tages in Innenräumen
- Gesundheitliche Folgen
- Energieeffiziente Gebäude



VOC (volatile organic compounds),
Ozon, SO₂, NH₃, NO_x

- ❖ Validierung adsorptiver Filter und Medien
→ DIN EN ISO 10121

- ❖ Testgase / -dämpfe (Referenz: Toluol)
 - Acetaldehyd (polar/wasserlöslich)
 - Hexanal (polar/ nicht wasserlöslich)
 - Formaldehyd (polar/wasserlöslich)
 - Aceton (polar/wasserlöslich)
 - Isopropanol (polar/wasserlöslich)

DIN EN ISO
10121-1:2015

DIN EN ISO
10121-2:2013



Herausforderungen

- ❖ Aufwand für Hersteller durch Prüfung von Medien und Filtern
- ❖ Verfügbarkeit von geeigneten Prüfeinrichtungen für Filter

Prüfungsparameter	Wert
Volumenkonzentration	9 / 90 ppm _v ± 5 %
relative Feuchte	50 ± 3 %
Temperatur	23 ± 0,5 °C
Anströmgeschwindigkeit	angepasst an den Einsatz

Ziele

- ❖ Validierung und Optimierung des Modellierungsschemas
- ❖ Erkenntnisgewinn zum Einfluss der Alterungsvorgänge/Adsorbenseigenschaften
- ❖ Möglichkeiten zur Erhöhung der Filterstandzeit

Arbeitsaufgaben

1. Untersuchung des Adsorptionsverhaltens von RLT-relevanten Schadgasen und deren Gemischen
2. Alterung adsorptiver RLT-Filter und Medien
3. Regeneration adsorptiver RLT-Filter und Medien

- ❖ **AP1 – Untersuchung der Unterschiede bei der Adsorption polarer und unpolarer Prüfsubstanzen an Adsorbentien unterschiedlicher Struktur und Oberflächenchemie vor dem Hintergrund der DIN EN ISO 10121**
 - Adsorption einzelner polarer Adsorptive im Vergleich zu unpolaren Prüfsubstanzen an Adsorbentien mit verschiedenen Eigenschaften
 - Adsorption von Gemischen aus zwei Adsorptiven unterschiedlicher Polarität und Wasserlöslichkeit an Adsorbentien mit verschiedenen Eigenschaften
 - Berechnung von Durchbruchskurven
- ❖ **AP2 – Evaluierung der prEN ISO 10121-3 zur Filterklassifizierung**
 - Durchführung von Filterklassifizierungen gemäß prEN ISO 10121-3
 - Durchführung von Klassifizierungen gemäß prEN ISO 10121-3 an Filtermedien
 - Test der Klassierung mit weiteren Substanzen in Bezug auf die VOC
 - Erstellung eines Leitfadens zur Anwendung der prEN ISO 10121-3
- ❖ **AP3 – Charakterisierung und Modifikation von Adsorbentien**

Test von Filtermedien:

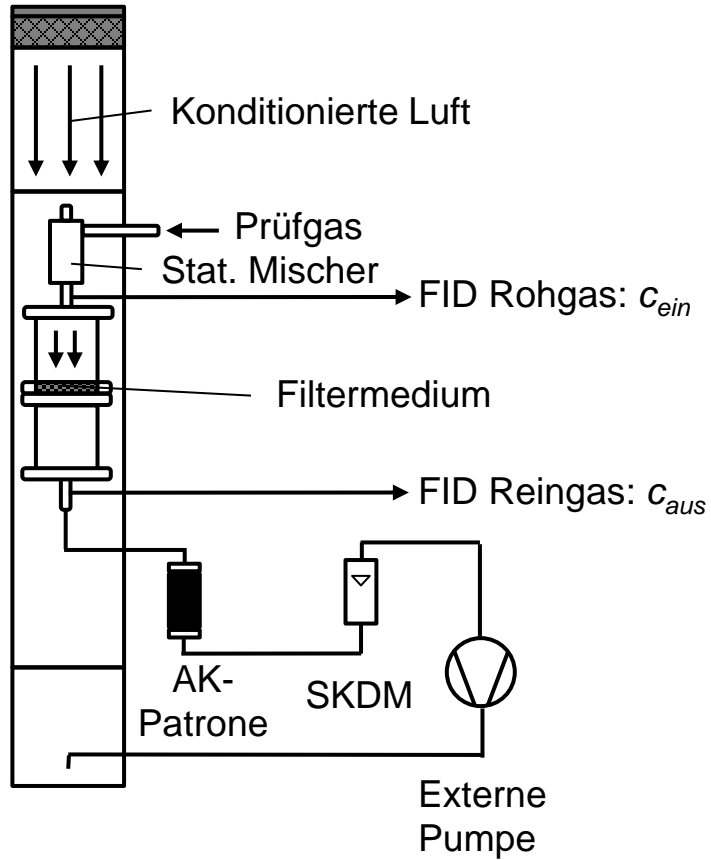
- ❖ modifizierter Prüfstand für Kraftfahrzeuginnenraumfilter (ISO 11155-2/DIN 71460 Teil 2)
- ❖ Filter-Prüfstand für toxische Substanzen



Test von konfektionierten RLT-Filtern:

- ❖ modifizierter Filterprüfstand zur Partikelabscheidung (EN 779)





Eigenschaft	Acetaldehyd	Toluol	Hexanal	Formaldehyd	Aceton	Isopropanol
Summenformel	C ₂ H ₄ O	C ₇ H ₈	C ₆ H ₁₂ O	CH ₂ O	C ₃ H ₆ O	C ₃ H ₈ O
Molare Masse [g mol ⁻¹]	44,1	92,14	100,16	30,03	58,08	60,1
Schmelzpunkt [°C]	-123	-95	-56	-117	-95	-88
Siedepunkt [°C]	20	111	129	-19	56	82
Dichte bei 20 °C [g cm ⁻³]	0,784	0,87	0,81	0,815	0,91	0,78 (15 °C)
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	1006	29,1	12	435	246	42,6 (25 °C)
Löslichkeit bei 25°C [mg l ⁻¹]	Mischbar mit Wasser	520 (20 °C)	6000	Leicht löslich in Wasser	Mischbar mit Wasser	Mischbar mit Wasser

- ❖ Adsorptionsversuche mit 5 polaren VOC an 6 verschiedenen Adsorbentien
Acetaldehyd, Hexanal, Formaldehyd, Aceton, Isopropanol
- ❖ Adsorptionsversuche an Gemischen von zwei Adsorptiven verschiedener Polarität und Wasserlöslichkeit
- ❖ Berechnung von Durchbruchskurven
- ❖ 2 kommerzielle Aktivkohlen + 2 Modifikationen der Porenstruktur und Oberflächenchemie pro Aktivkohle
- ❖ Einfluss der Feuchte, Adsorbenseigenschaften und Wechselwirkung der unterschiedlichen Polaritäten

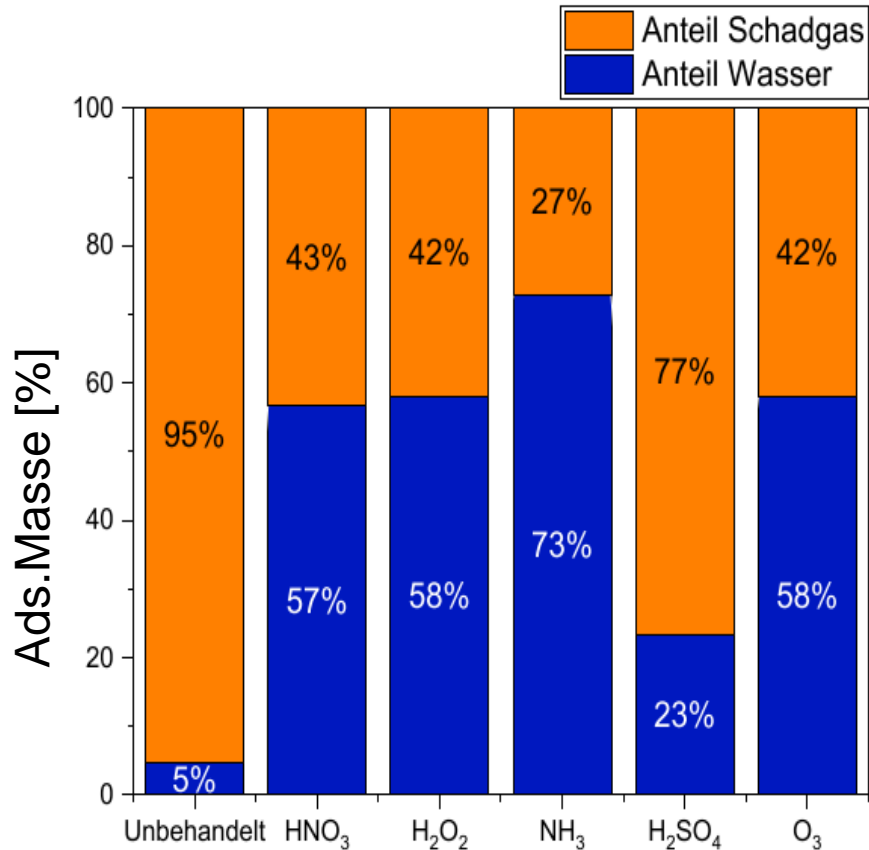
**23 °C, 0 % r.F., 50-90 % r. F.
90 – 9 – 0,9 ppm**

- ❖ Durchführung von Filterklassifizierungen gemäß prEN ISO 10121-3
 - ❖ Evaluation der prEN ISO 10121-3 an mindestens 2 Typen kommerzieller RLT-Filter
 - ❖ Überprüfung der Durchführbarkeit der vorgegebenen Tests mit den im Normentwurf festgelegten Testgasen Toluol, Ozon, Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid
- ❖ Durchführung von Klassifizierungen gemäß prEN ISO 10121-3 an Filtermedien
- ❖ Test der Klassifizierung mit weiteren Substanzen in Bezug auf die VOC
- ❖ Erstellung eines Leitfadens zur Anwendung der prEN ISO 10121-3

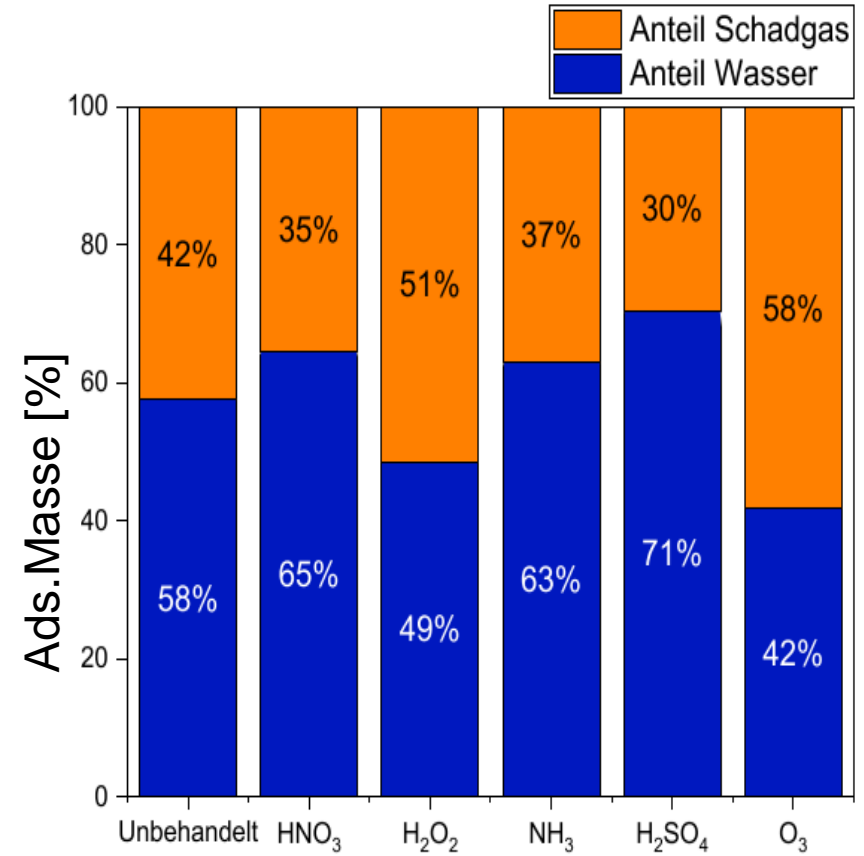
- ❖ Charakterisierung der in AP1 und AP2 verwendeten Adsorbentien
- ❖ Gezielte Modifikation durch:
 - ❖ Ozonbehandlung
 - ❖ Reaktion mit Wasserstoffperoxid
 - ❖ Reaktion mit Salpetersäure
 - ❖ Wasserdampfaktivierung
- ❖ Erste Ergebnisse zeigen eine erfolgreiche Modifikation in flüssiger Phase bei moderaten Bedingungen
 - ❖ Erfolgreiche Erhöhung des Sauerstoffgehalts oberflächennah als auch im Bulk-System
 - ❖ Erfolgreiche oberflächennahe Einbringung von Heteroatomen wie Stickstoff und Schwefel

- ❖ Beobachtung der favorisierten Adsorption von polarem Wasser durch Bildung sauerstoffhaltiger Gruppen

23 °C, 50 % r. F.
90 ppm



Toluol



Isopropanol

- ❖ Vergleich der Durchbruchzeiten und spezifisch adsorbierten Massen

Behandlung	t_{DB} [min]	Δt_{DB} [%]	m_{ads} [mg/g]	Δm_{ads} [%]
Unbehandelt	355	-	133,55	-
HNO ₃	375	+5,6	196,97	+47,5
H ₂ O ₂	425	+19,72	148,99	+11,6
NH ₃	325	-8,45	191,04	+43,1
H ₂ SO ₄	280	-21,13	19,80	-85,17
O ₃	260	-26,76	111,60	-16,4

Toluol

- ❖ Vergleich der Durchbruchzeiten und spezifisch adsorbierten Massen

Behandlung	t_{DB} [min]	Δt_{DB} [%]	m_{ads} [mg/g]	Δm_{ads} [%]
Unbehandelt	220	-	137,4	-
HNO ₃	125	-43,18	47,09	-65,73
H ₂ O ₂	375	+19,72	150,43	+9,48
NH ₃	360	-8,45	177,78	+29,39
H ₂ SO ₄	280	-21,13	150,79	+9,75
O ₃	280	-26,76	827,3	+502,11

Isopropanol

- TGA-FTIR-GC/TD/MS System zur Analytik von Proben komplexer Zusammensetzung
- TGA: Hochempfindliches Thermogravimetrisches Analysesystem zur qualitativen und quantitativen Untersuchung von Produktzusammensetzung und thermischer Stabilität für Temperaturbereiche bis 1200°C
- FTIR: Monitordetektor zur Identifizierung funktioneller Gruppen und Moleküle oder Detektor bei niedermolekularen Molekülen in einer komplexen Mischung
- GC-MS: Hochleistungs GC-System zur Stoffauftrennung und anschließender Massenspektroskopie zur Auswertung von Gemischen
- TD: Anreicherung des Stoffstroms aus der TGA aus einem Thermodesorptionsröhrchen zur weiteren Analyse durch GC-MS



❖ **AP1 – Adsorption polarer/unpolarer VOC:**

- Vergleich der Adsorptionsleistung polarer und unpolarer VOC in feuchter Luft
- Bestimmung der Adsorptionsleistung bei Gemischen von VOC
- Berechnung von Durchbruchskurven

❖ **AP2 – Evaluierung der prEN ISO 10121-3 zur Filterklassifizierung:**

- Durchführung der Filterklassifizierung gemäß prEN ISO 10121-3 (auch an Filtermedien)
- Test der Klassifizierung mit weiteren VOC
- Erstellung eines Leitfadens zur Anwendung der prEN ISO 10121-3

❖ **AP3 – Charakterisierung und Modifikation der Adsorbentien**

Das IGF-Vorhaben 21857 N der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

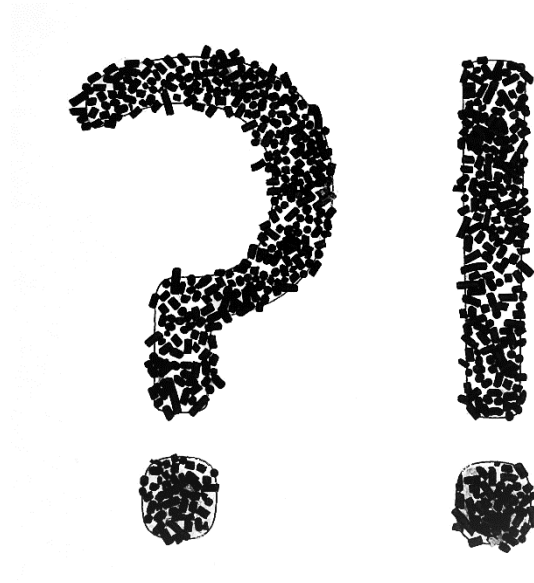
Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages





frank.schmidt@uni-due.de
patrick.brinner@uni-due.de
sager@iuta.de
schmidt@kofo.mpg.de



REDUZIERUNG DER SCHADSTOFFBELASTUNG IN
INNENRÄUMEN MIT HILFE VON NEUEN ODER
MODIFIZIERTEN AKTIVKOHLEN

FS3 MPI FÜR KOHLENFORSCHUNG

Projektbegleitender Ausschuß

Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
04.11.2021



MPI FÜR KOHLENFORSCHUNG

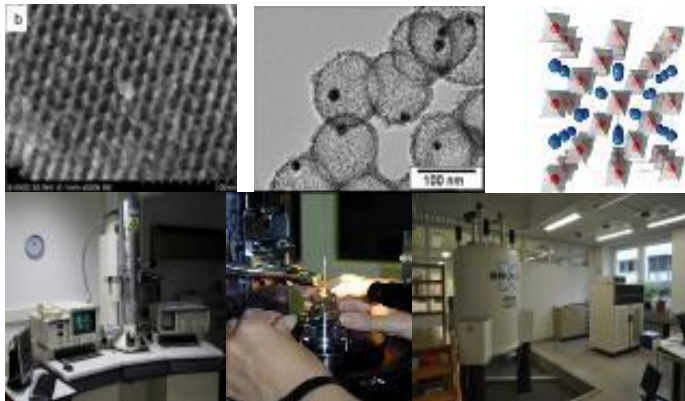
Mülheim an der Ruhr

© Bild: Jochen Stüber für MPI für Kohlenforschung



- „Katalyse“ mit allen Facetten steht im Zentrum der Forschung
- Ziel: Chemische Prozesse nachhaltiger und effizienter gestalten
- Etwa 370 Mitarbeiter*innen aus über 30 Nationen
- rund 55 % der PhD-Student*innen kommen aus dem Ausland

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR KOHLENFORSCHUNG (HETEROGENE KATALYSE)



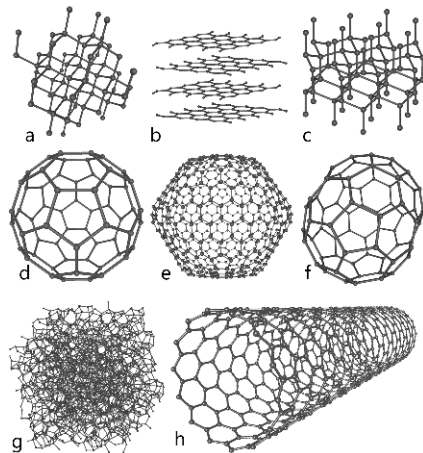
Poröse Materialien; Nanostrukturierte Katalysatormaterialien;
synthetische Kohlenstoffe [EP 2475272 B1];
Energiespeichermaterialien

Entwicklung katalytischer Systeme; Energiespeicherung;
Funktions-Eigenschafts-Beziehungen

Feststoffanalytik; *in-situ* und *operando* Untersuchungen



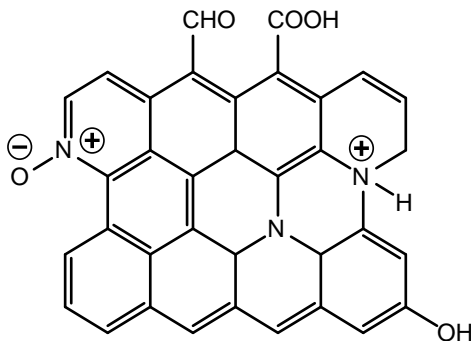
STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG



- Diamant und Graphit bekannt seit dem Altertum
- Aktivkohlen und Ruß sind Funktionsmaterialien
- Vorhersage des C₆₀-Fullerens [Osawa, 1970]
- Erstmalige Beschreibung freier einschichtiger Graphene [Novoselov et al. 2004] – Physik-Nobelpreis 2010
- Seit 2004 Fokus auf Fullerenen, Carbon Nanotubes und Graphenen
- Nachteile der betrachteten Kohlenstoffmaterialien:
 - Hohe Variabilität des Porensystems und der Kohlenstoffstruktur
 - Hohe Herstellungskosten (Fullerene, Graphene)



ARBEITEN FS3



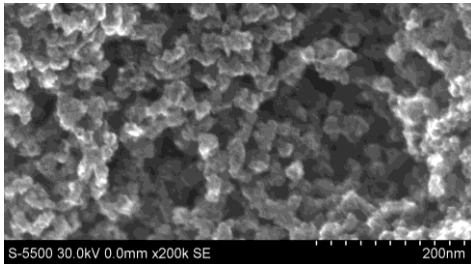
Modifizierung kommerzieller Aktivkohlen zur Optimierung der adsorptiven Eigenschaften

- Einstellung der Oberflächenpolarität
- Einstellung von Porenvolumina und Porengrößen
- Imprägnierung mit sauren oder basischen Komponenten

Herstellung neuartiver Adsorbentien

- Kohlenstoff-Xerogelen
- Optimierung der Rezeptur

KOHLENSTOFF-XEROGELE



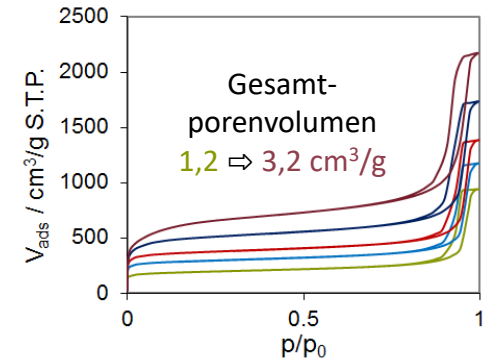
Synthese von Xerogelen aus definierten Präkursoren

Harze (MPI, EP 2475272 B1)

Polymere

■ Vorteile

- Variable Einstellung der chemischen Zusammensetzung
- Kontrolle über Porenstruktur (hierarchisch)
- Skalierbarkeit der Synthese





HERZLICHEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

