



18. Juni 2024
4. PA-Sitzung

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

FV-Nr. 01IF21857N, Laufzeit 01.10.2021-30.06.2024

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

Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt, M. Schroers, S. Azimi Boulali

FE 2: Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e. V. (IUTA)

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

FE 3: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung

Dr. rer. nat. Wolfgang Schmidt



Evaluation und Optimierung praxisorientierter Prüfprozeduren für adsorptive Filter für die allgemeine Raumlüftung zur Fortschreibung der DIN EN ISO 10121

FV-Nr. 18516, Projekt-Laufzeit 01.12.2014-30.11.2017

FS1: Universität Duisburg-Essen, NPPT, FS2: IUTA e. V.

1. Evaluierung der Prüfprozeduren nach Teil 1 und 2 der Norm, Prüfsubstanzen Toluol, NO₂, SO₂, NH₃, Ozon
2. Einfluss der Konzentration / Adsorptionsisothermen
3. Einfluss der relativen Luftfeuchte (Toluol, SO₂, NH₃, Ozon)
4. Begleitende Modellierung
5. Ersatzsubstanzen für (hoch-)giftige Substanzen



Abschlussbericht, Veröffentlichungen, Leitfaden usw. unter

<https://www.iuta.de/igf/igf-forschungsprojekte/aif-nummer/18516/>

Verhalten von Adsorptionsfiltern und -medien für die Raumluftechnik gegenüber innenraum-relevanten Schadstoffen während der Betriebsdauer

FV-Nr. 19977 N, Projekt-Laufzeit 01.02.2018-31.12.2020

FS1: Universität Duisburg-Essen, NPPT, FS2: IUTA e. V.

AP1 - Verhalten der weiteren innenraumrelevanten flüchtigen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Xylol, Styrol, Limonen sowie α -Pinen an Raumlufffiltern im Vergleich zu dem von Toluol

-Koadsorption Toluol und Pinen

AP2 - Einfluss der Alterung auf Raumlufffilter während der Betriebszeit

AP3 - Möglichkeiten der in-situ-Regeneration von RLT-Filtern



Abschlussbericht, Veröffentlichungen usw. unter

<https://www.iuta.de/igf/igf-forschungsprojekte/aif-nummer/19977/>

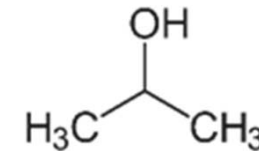
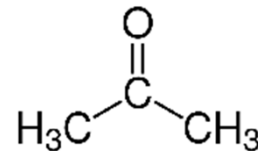
AP1 - Adsorptionsverhalten polarer Adsorptive

- Untersuchung des Adsorptionsverhaltens von Isopropanol, Aceton, Formaldehyd, Acetaldehyd, Hexanal bzw. Isovaleraldehyd an bekannten Sorbentien bei verschiedener Luftfeuchte bei verschiedenen Rohgasvolumenanteilen
- Adsorption mit polaren Adsorptiven und Toluol an Sorbensmodifikationen
- Gemischadsorption polares und unpolares Adsorptiv

AP2 - Evaluierung der ISO 10121, Teil 3

- Durchführung der beschriebenen Methode zur Klassifizierung von Adsorptionsfiltern für Raumlufthanwendungen mit
 - Toluol,
 - Schwefeldioxid (SO₂),
 - Stickstoffdioxid (NO₂) und
 - Ozon (O₃)
- Klassifizierung von Medien mit Toluol, SO₂ und NO₂
- Übertragbarkeit Klassifizierung Filter/Medien

Eigenschaft	Aceton	Isopropanol
Summenformel	C ₃ H ₆ O	C ₃ H ₈ O
Molare Masse [g mol ⁻¹]	58,08	60,1
Schmelzpunkt [°C]	-95	-88
Dichte bei 20 °C [g cm ⁻³]	0,91	0,78 (15 °C)
Dampfdruck bei 20 °C [hPa]	246	42,6 (25 °C)
Löslichkeit bei 25 °C [mg l ⁻¹]	Mischbar mit Wasser	Mischbar mit Wasser

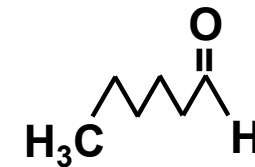
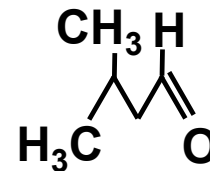
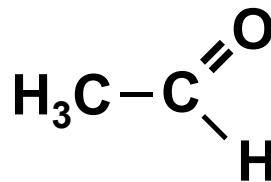
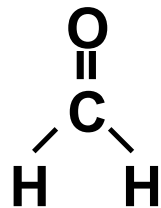


AP1 - Polare Adsorptive IUTA

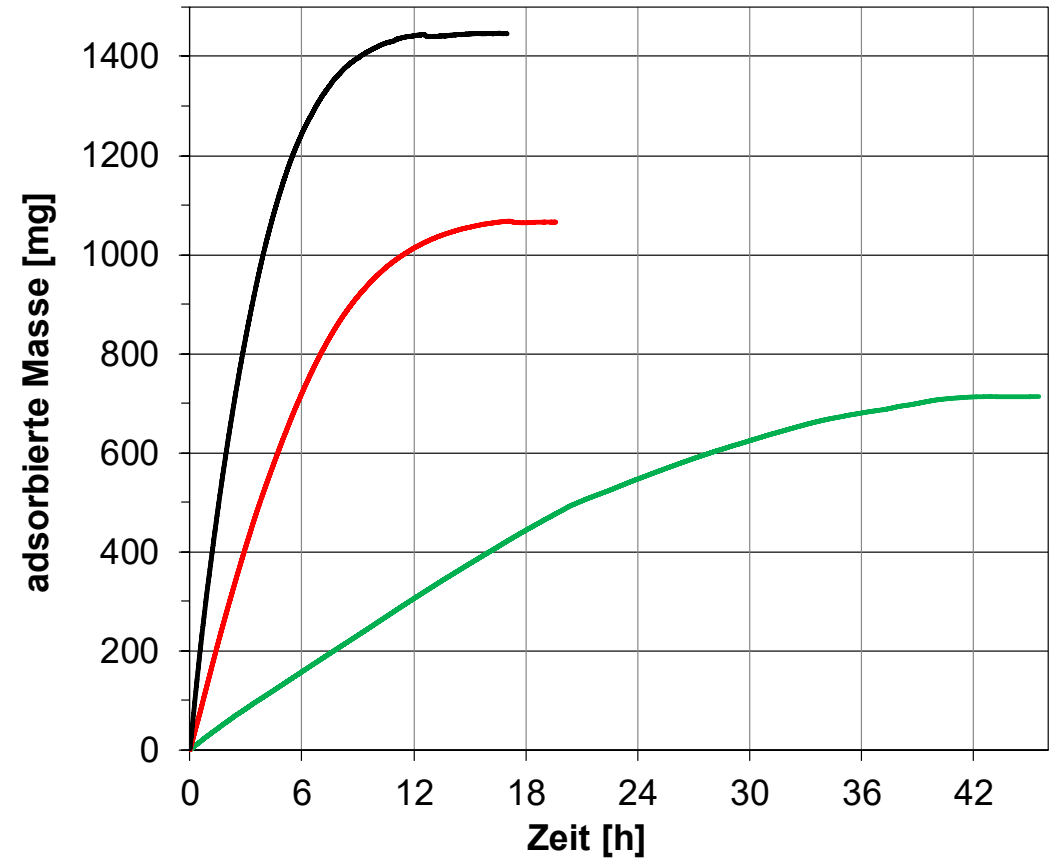
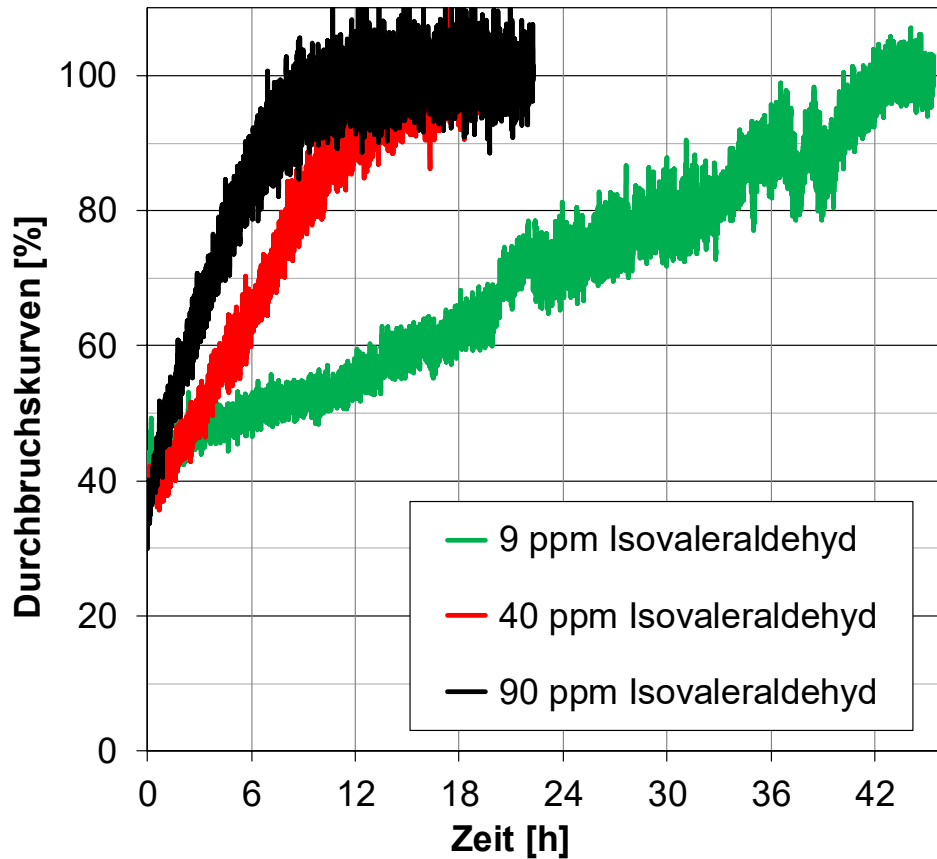


Eigenschaft	Formaldehyd	Acetaldehyd	Isovaleraldehyd	Hexanal
Summenformel	CH ₂ O	C ₂ H ₄ O	C ₅ H ₁₀ O	C ₆ H ₁₂ O
Molare Masse [g mol ⁻¹]	30,03	44,1	86,13	100,16
Schmelzpunkt [°C]	-117	-123	-51	-56
Siedepunkt [°C]	-19	20	92	129
Dampfdruck [#] [hPa]	4300-4400	1006	61	12
Löslichkeit [#] [mg l ⁻¹]	leicht löslich	mischbar mit Wasser	2000	6000

[#] bei 20 °C

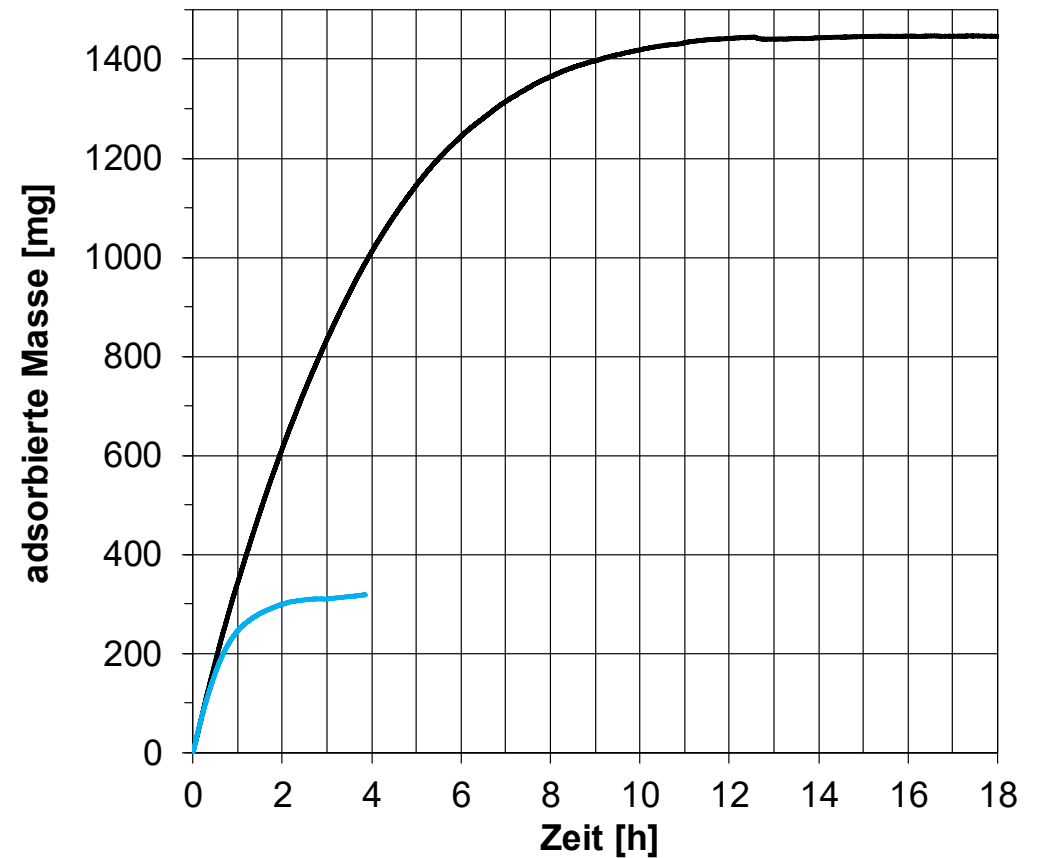
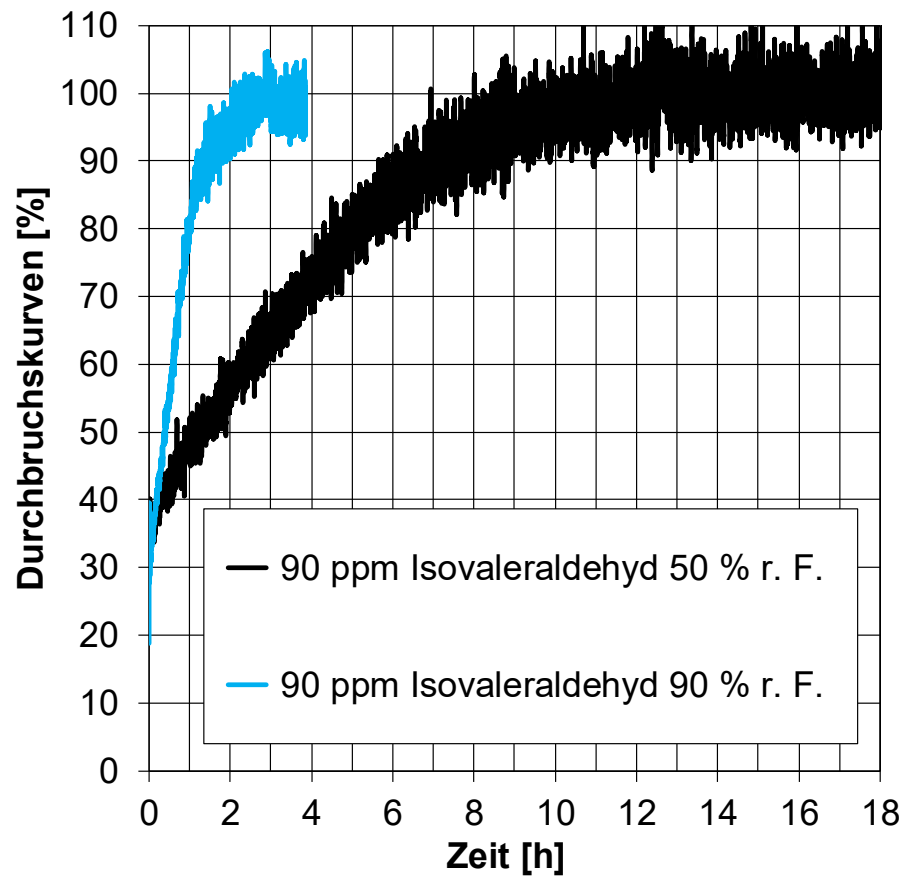


Durchbruchskurven Isovaleraldehyd bei 23 °C, 50 % r. F.



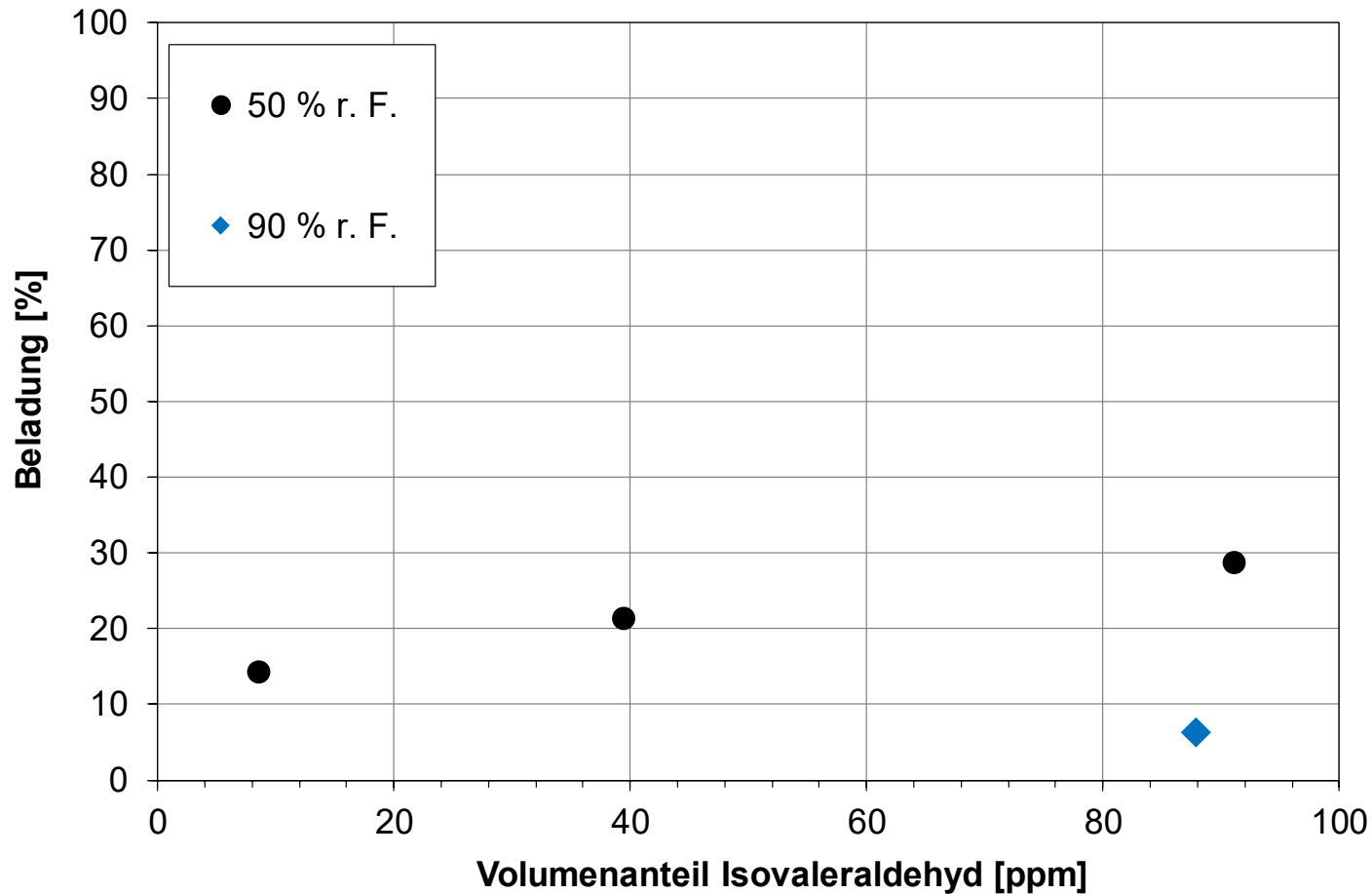
MD, Isovaleraldehyd, 23 °C, 50 % r. F., 0,25 m/s, 5 g Sorbens

Isovaleraldehyd - Einfluss der Feuchte



MD, 90 ppm Isovaleraldehyd, 23 °C, 0,25 m/s, 5 g Sorbens

Isovaleraldehyd - Isothermenwerte bei 23 °C

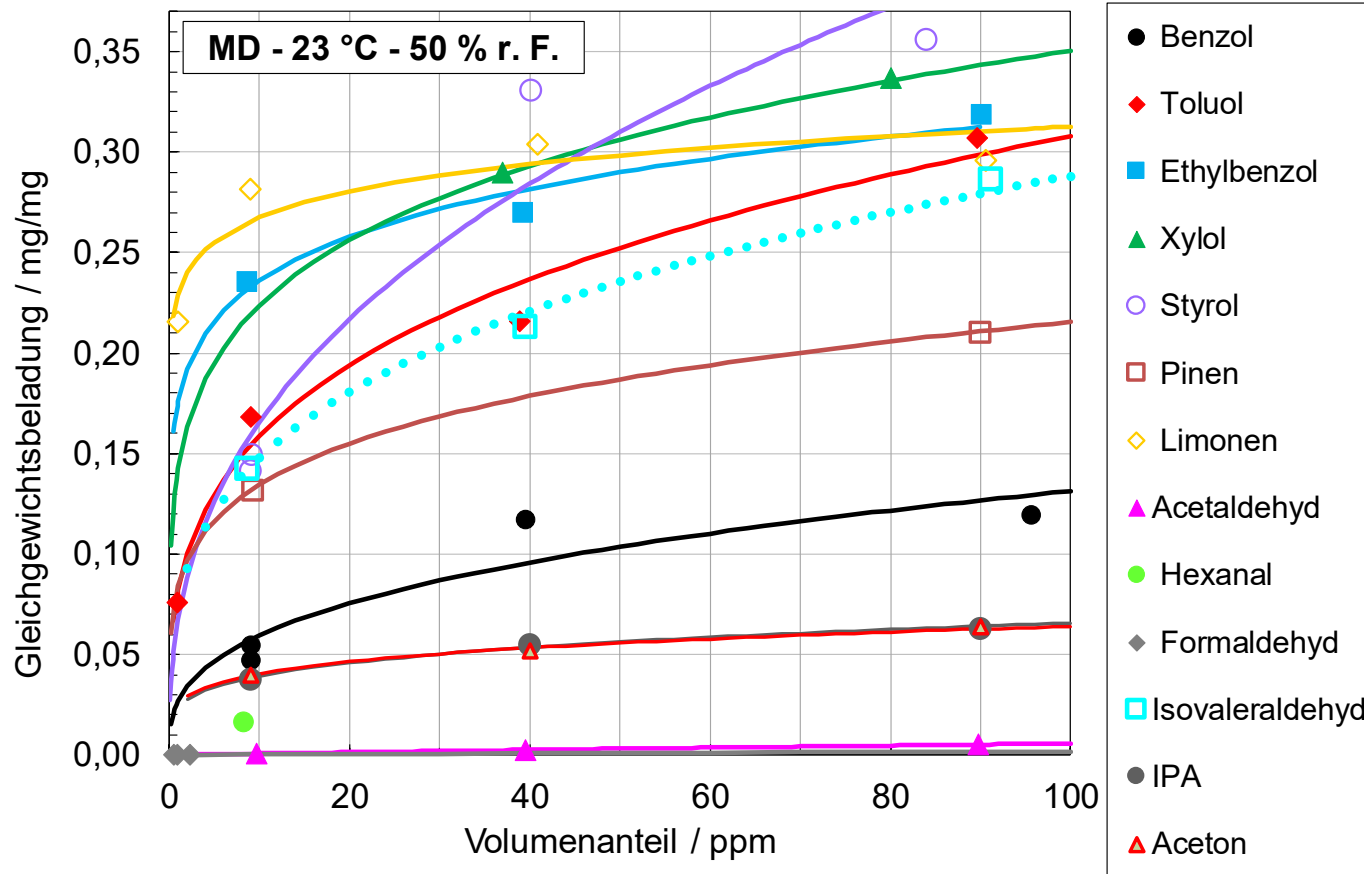


starker Einfluss der relativen Feuchte auf die Kapazität der Aktivkohle für Isovaleraldehyd

AP1 - Beispiel zur Kapazität polarer und unpolarer Adsorptive



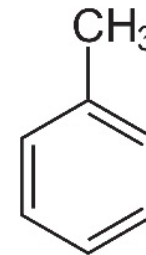
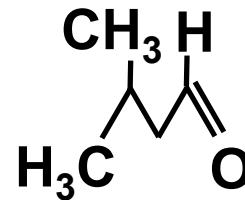
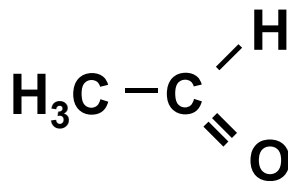
Freundlich-Isothermengleichung ($X = k_F \cdot c^n$) angepasst an Isothermenwerte



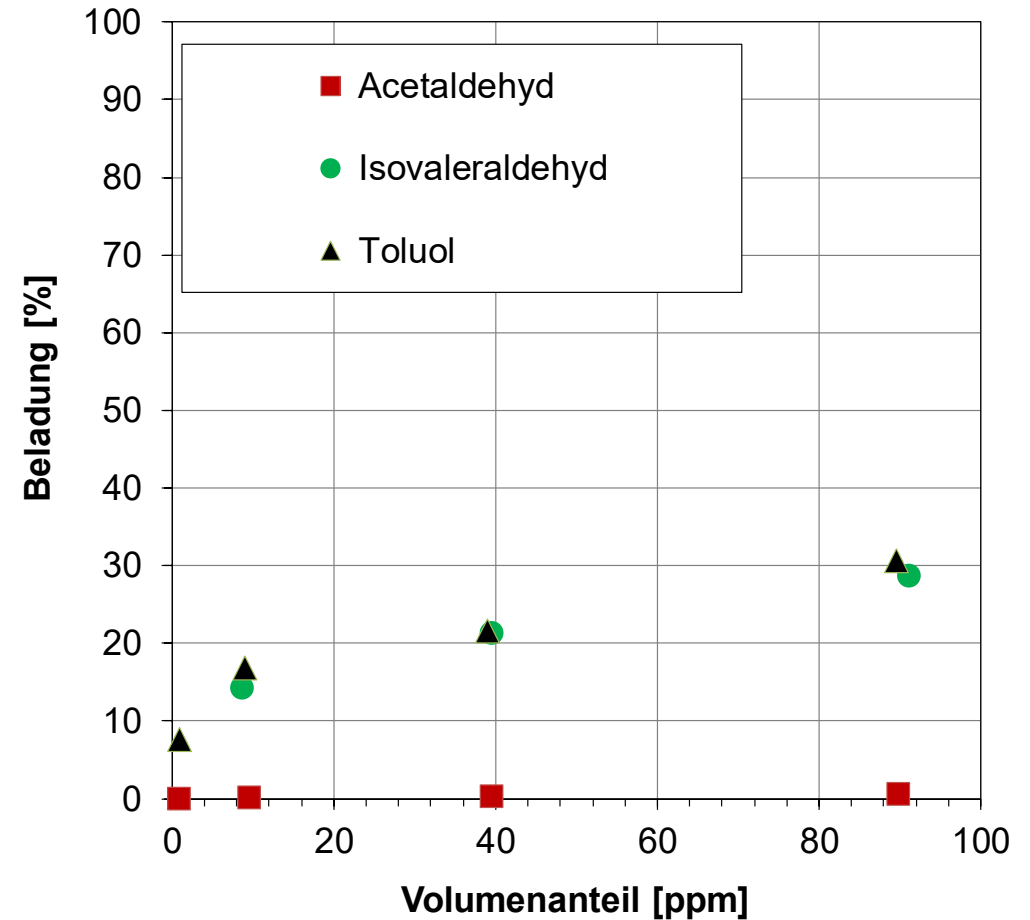
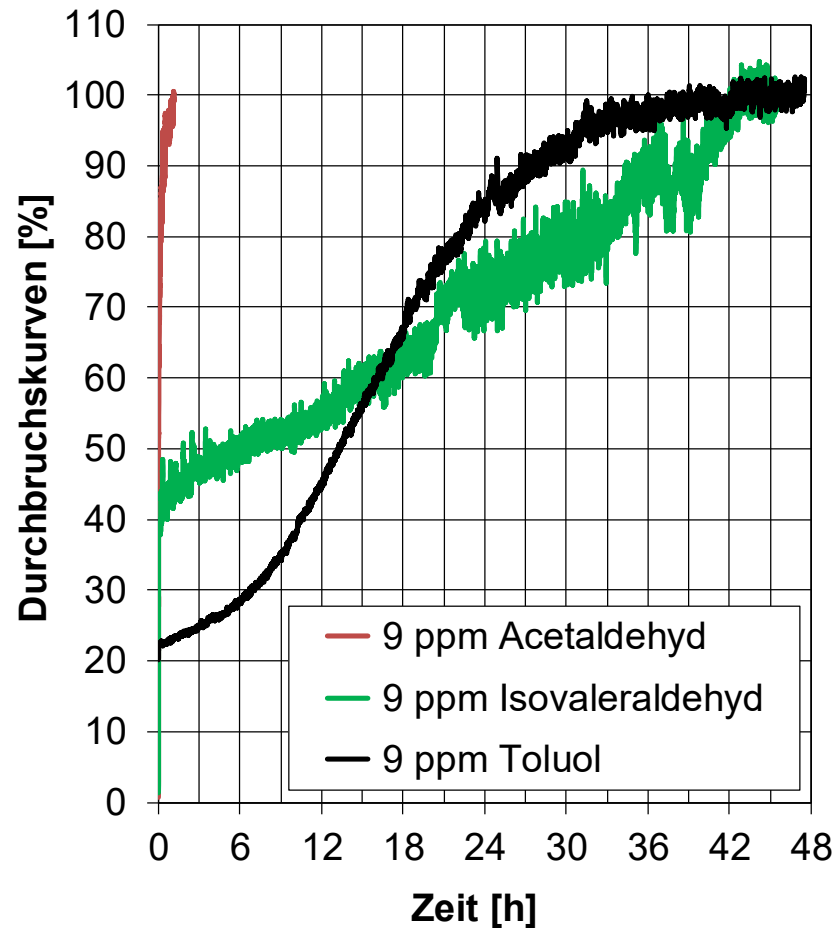
➔ bis auf Isovaleraldehyd geringere Kapazitäten für polare Adsorptive

Vergleich Isovaleraldehyd, Acetaldehyd und Toluol

Eigenschaft	Acetaldehyd	Isovaleraldehyd	Toluol
Summenformel	C_2H_4O	$C_5H_{10}O$	C_7H_8
Molare Masse [g mol ⁻¹]	44,1	86,13	92,14
Siedepunkt [°C]	20	92	111
Dampfdruck# [hPa]	1006	61	29,1
Löslichkeit# [mg l ⁻¹]	mischbar mit Wasser	2000	520



Vergleich Isovaleraldehyd, Acetaldehyd und Toluol

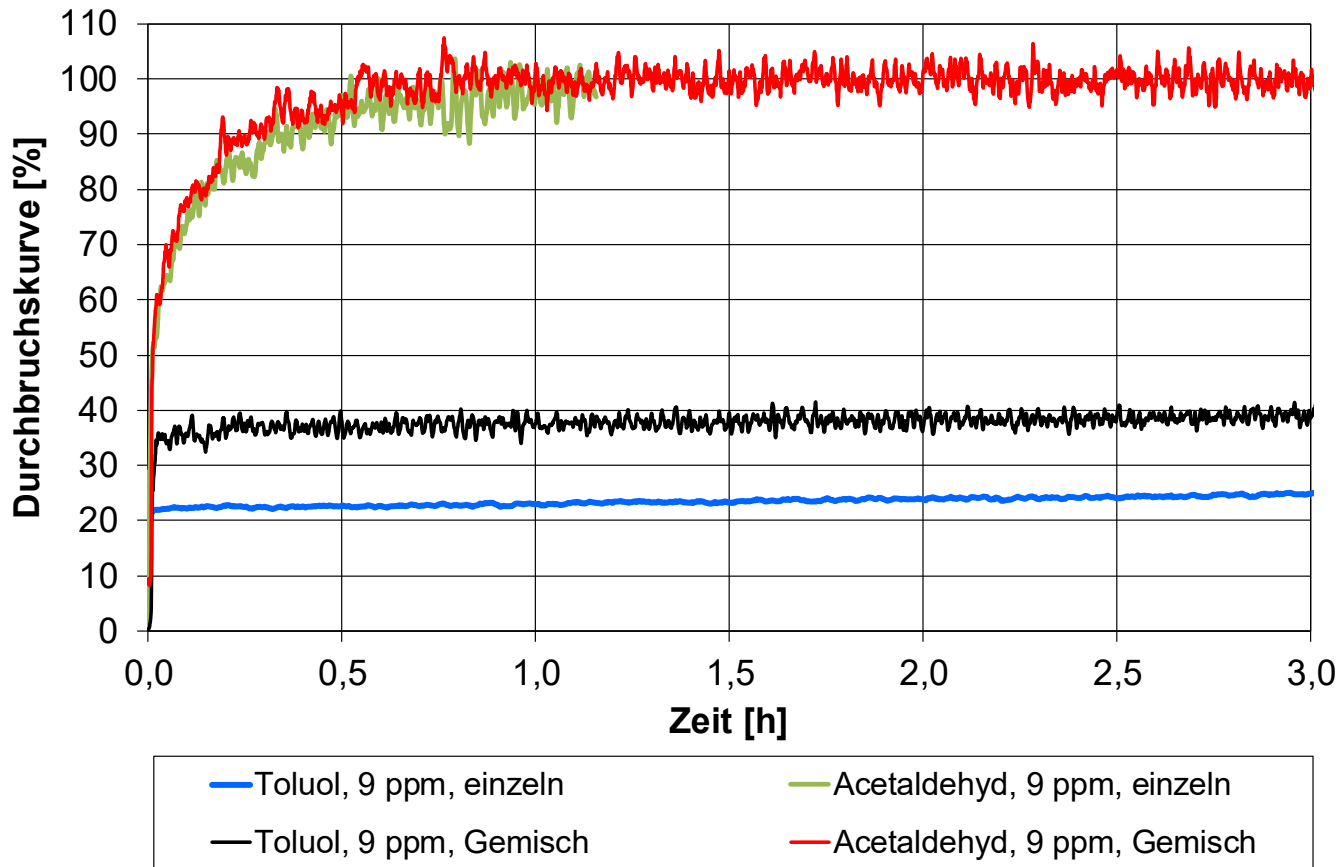


MD, 9 ppm Testgas, 23 °C, 50 % r. F., 0,25 m/s, 5 g Sorbens

	Acetaldehyd	Toluol
Gemisch 1	0,9 ppm	9 ppm
Gemisch 2	9 ppm	9 ppm

	Isovaleraldehyd	Toluol
Gemisch 1	9 ppm	9 ppm
Gemisch 2	9 ppm	0,9 ppm
Gemisch 3	90 ppm	9 ppm

9 ppm Acetaldehyd - Einfluss der Koadsorption von 9 ppm Toluol

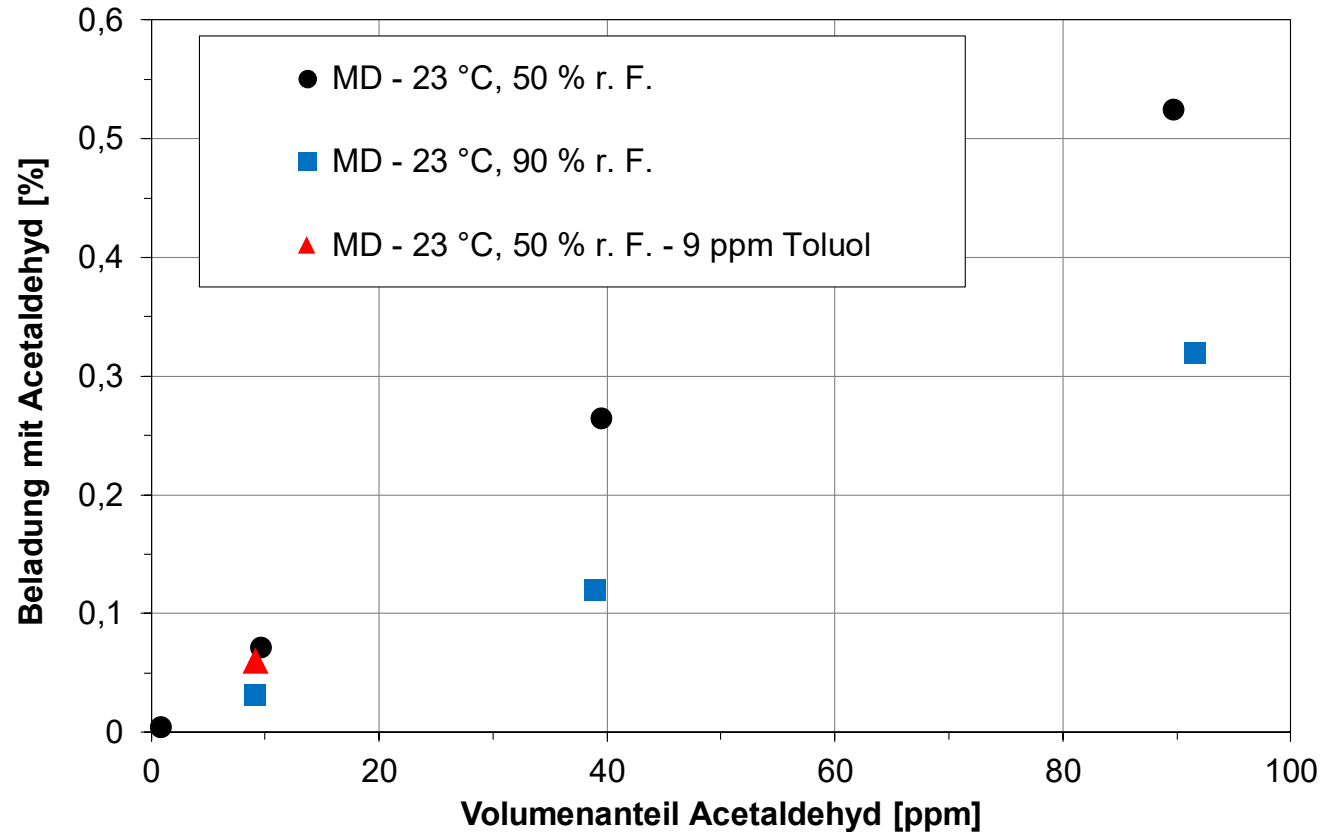


9 ppm Acetaldehyd / 9 ppm Toluol

- der Durchbruch von Acetaldehyd ist ohnehin so schnell, dass er durch Toluol quasi nicht weiter beeinflusst wird
- der Durchbruch von Toluol wird, um fast 40 %, erhöht bei geringem Ausgangsniveau

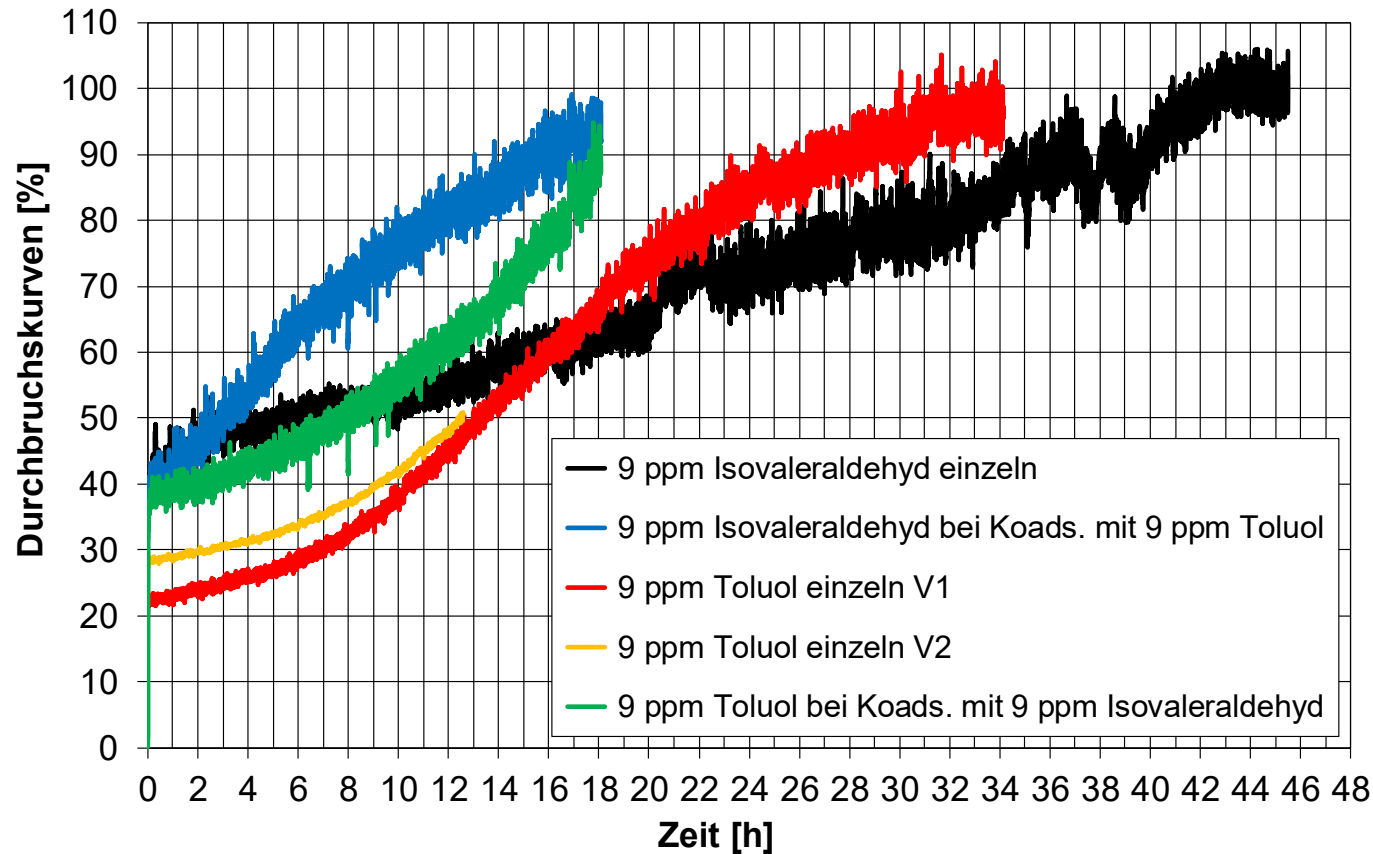
MD, jeweils 9 ppm Testgas, 23 °C, 50 % r. F., 0,25 m/s, 5 g Sorbens

Isothermenwerte Acetaldehyd an Aktivkohle MD bei 23 °C



äußerst geringe Kapazität für Acetaldehyd ($< 1\%$),
Gleichgewichtskapazität bei 9 ppm Toluol als Einzelkomponente 16 %

9 ppm Isovaleraldehyd - Einfluss der Koadsorption von 9 ppm Toluol

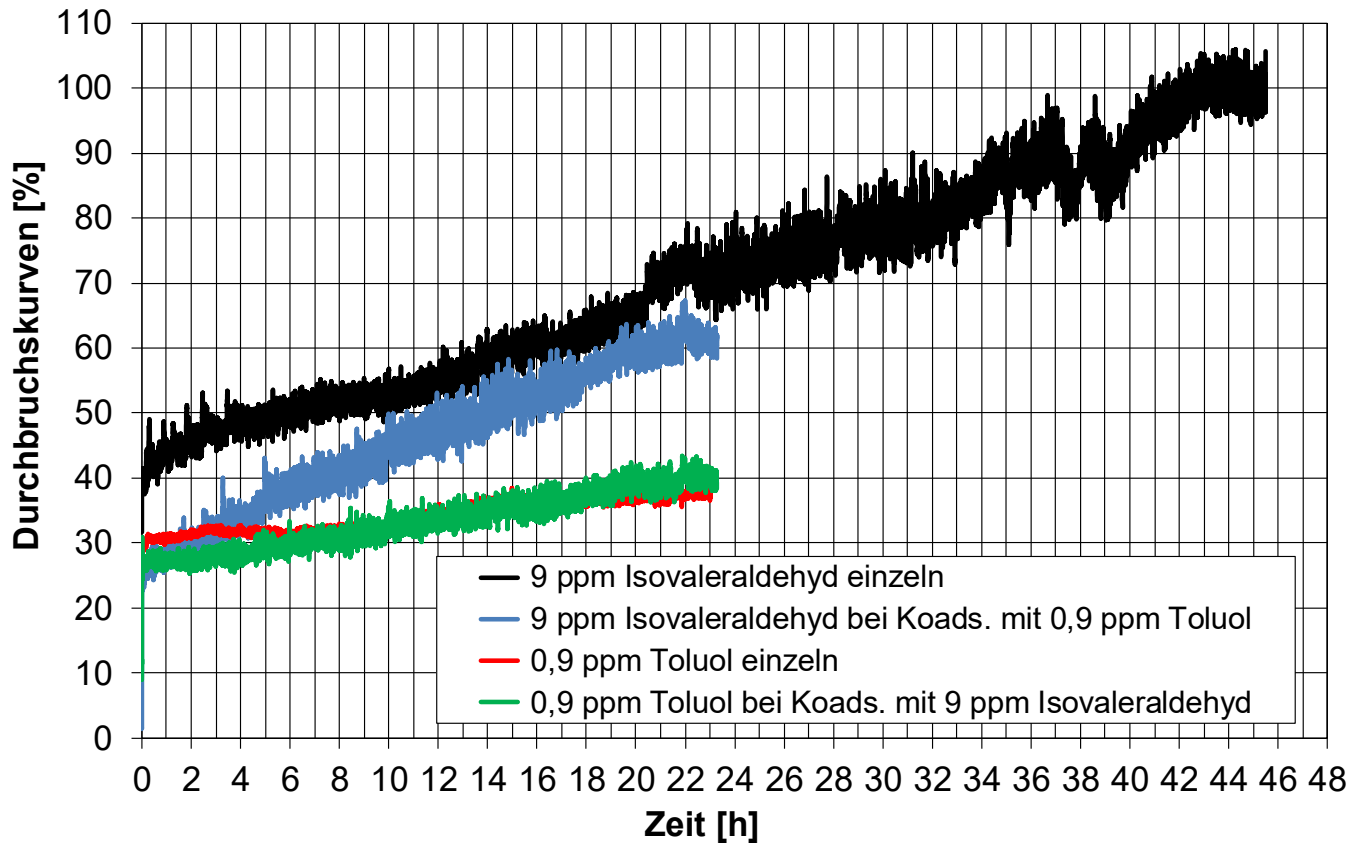


9 ppm Isovaleraldehyd / 9 ppm Toluol

- der Durchbruch von Isovaleraldehyd erfolgt bei Koadsorption schneller
- der Durchbruch von Toluol erfolgt bei Koadsorption auch schneller, aber Deutung schwierig wegen Problem beim Initialdurchbruch bei Schüttungen

MD, jeweils 9 ppm, 23 °C, 50 % r. F., 0,25 m/s, 5 g Sorbens

9 ppm Isovaleraldehyd - Einfluss der Koadsorption von 0,9 ppm Toluol

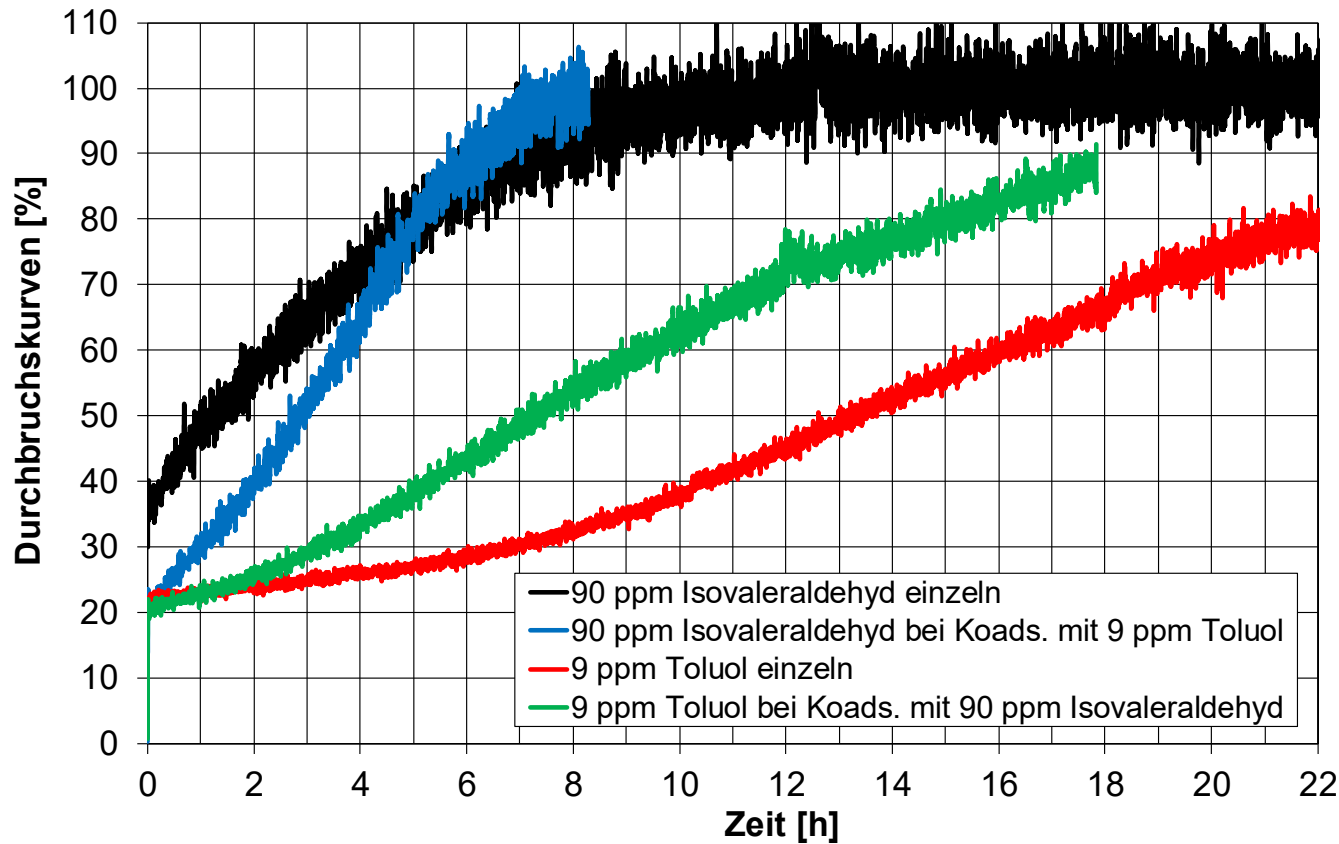


9 ppm Isovaleraldehyd / 0,9 ppm Toluol

- Isovaleraldehyd-Durchbruch wird durch Ko-adsorption mit Toluol quasi nicht beeinflusst
- Toluol-Durchbruch wird durch Ko-adsorption mit Isovaleraldehyd nicht beeinflusst

MD, jeweils 9 ppm Isovaleraldehyd, 0,9 ppm Toluol, 23 °C, 50 % r. F., 0,25 m/s, 5 g Sorbens

90 ppm Isovaleraldehyd - Einfluss der Koadsorption von 9 ppm Toluol



90 ppm Isovaleraldehyd / 9 ppm Toluol

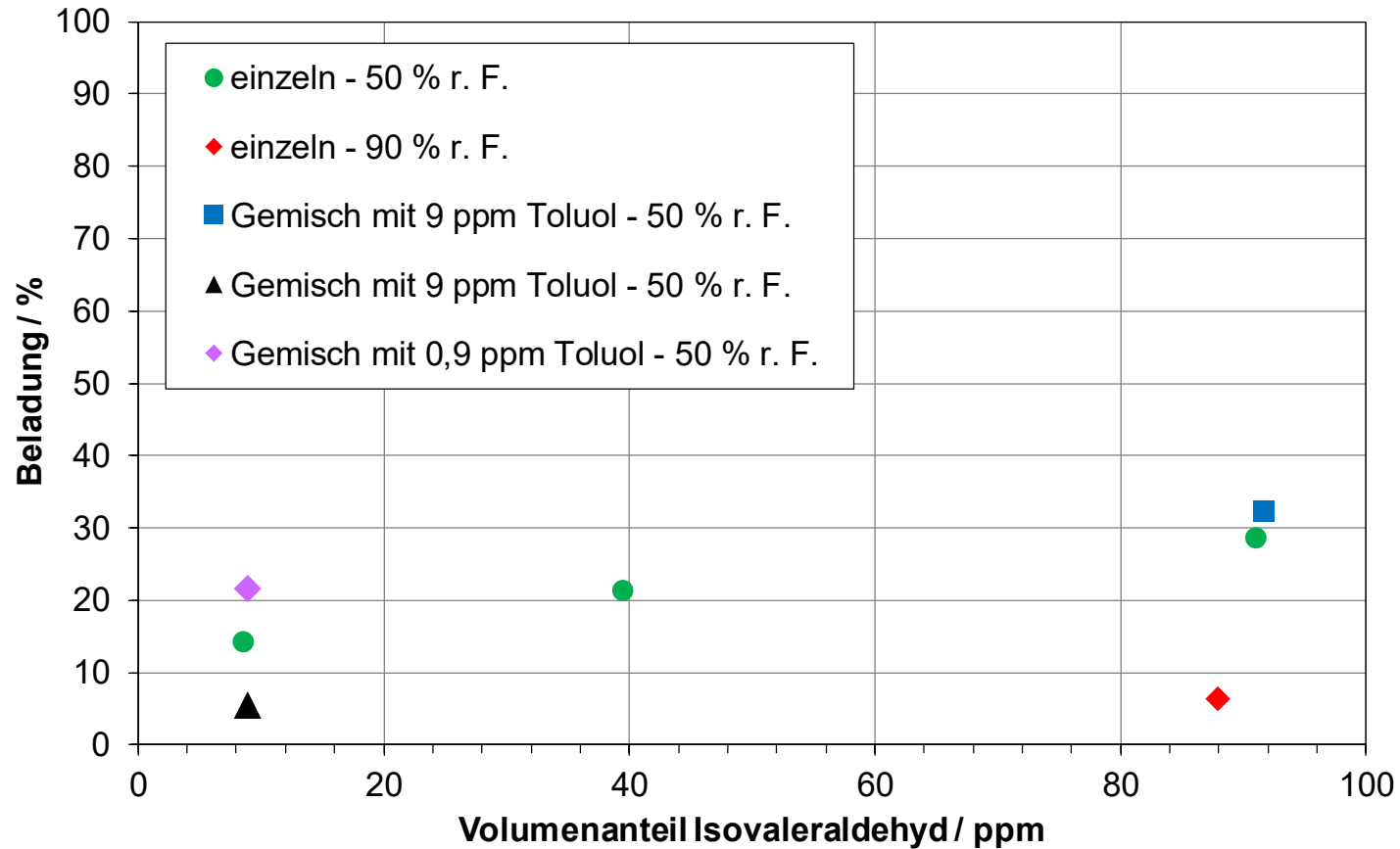
- Isovaleraldehyd-Durchbruch wird durch Ko-adsorption mit Toluol quasi nicht beeinflusst
- Toluol-Durchbruch erfolgt bei Ko-adsorption mit Isovaleraldehyd schneller

MD, jeweils 90 ppm Isovaleraldehyd, 9 ppm Toluol, 23 °C, 50 % r. F., 0,25 m/s, 5 g Sorbens

Isovaleraldehyd - Isothermenwerte bei 23 °C



Adsorptionsisotherme Isovaleraldehyd bei 23 °C an MD



Gemisch Acetaldehyd/Toluol

- Der Durchbruch von Acetaldehyd ist ohnehin so schnell, dass die Koadsorption mit Toluol zu keinen signifikanten Änderungen führt.

Gemisch Isovaleraldehyd/Toluol

- Bei gleichen Volumenanteilen liegt ein negativer Einfluss auf die Abscheidung beider Komponenten vor, der bei der Isovaleraldehydabscheidung ausgeprägter ist.
- Bei um den Faktor 10 kleinerem Volumenanteil von Toluol kein negativer Einfluss auf die Isovaleraldehydabscheidung, aber je höher der absolute Volumenanteil von Isovaleraldehyd ist, desto stärker wird die Toluolabscheidung beeinträchtigt.



Die Aussagekraft ist bisher gering, weil nur Einzelversuche vorliegen.

Zur Absicherung sind Versuchswiederholungen und weitere Volumenanteilkombinationen für Isovaleraldehyd-/Toluol-Gemische geplant.

- ISO 10121-3:2022-10 bei Beuth-Verlag erhältlich
- Inhalt: Klassifizierungssystem für adsorptive Raumlufffilter
- Ziel: einfache Bewertung von adsorptiven Raumlufffiltern auch für Nutzer ohne Fachkenntnisse
- Klassifizierungssystem bzgl. der Abscheidung von **Toluol, SO₂, NO₂ und O₃**:
 1. Anfangsreinigungsleistung E_1
 2. Leistungsbeanspruchungsgrad (leicht, mittel, schwer)
 3. integrierte Reinigungsleistung E_Σ für den jeweiligen Beanspruchungsgrad

Anfangsreinigungsleistung E_1

Die Effizienz des Filters, wenn die Prüfsubstanzen mit geringen Konzentrationen dosiert werden:

Toluol	SO ₂	NO ₂	O ₃
900 ppb	450 ppb	450 ppb	150 ppb

➔ kurzer Durchbruchversuch mit jeweiliger Substanz und Konzentration

AP2 - Leistungsbeanspruchungsgrad



Leistungsbeanspruchungsgrad (leicht LD, mittel MD, schwer HD)

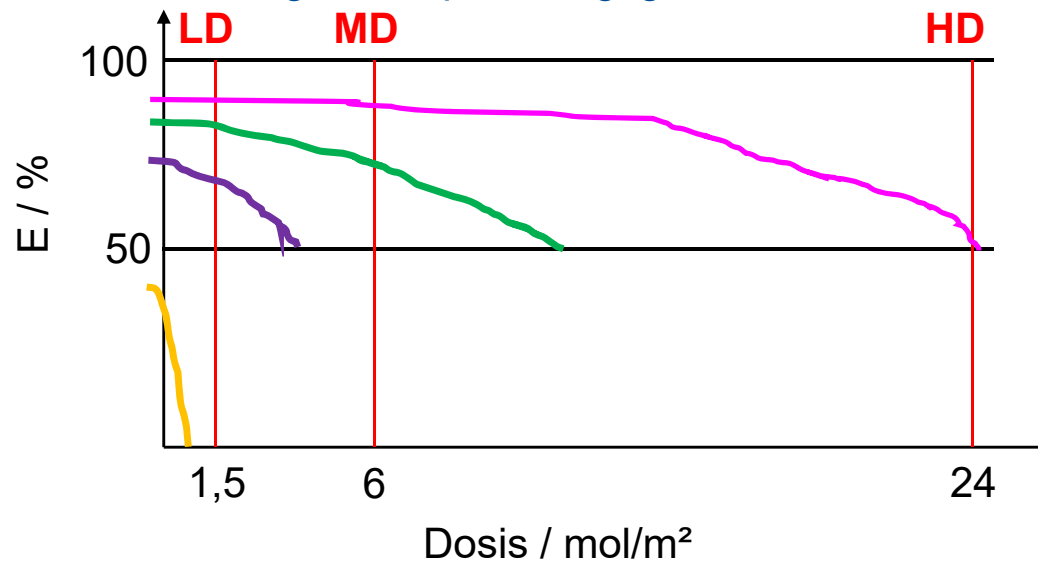
Als Ergebnis eines Durchbruchstests mit:

Toluol	SO ₂	NO ₂	O ₃
9 ppm	9 ppm	9 ppm	3 ppm

wird die Effizienz aufgetragen in Abhängigkeit von

der Dosis = der flächenspezifischen dosierten Prüfgasmenge.

Die Norm gibt für die Leistungsbeanspruchungsgrade Grenzen für Dosiswerte vor.



Vorteil der Dosis-Angabe in mol/m²: für alle Testsubstanzen gleich

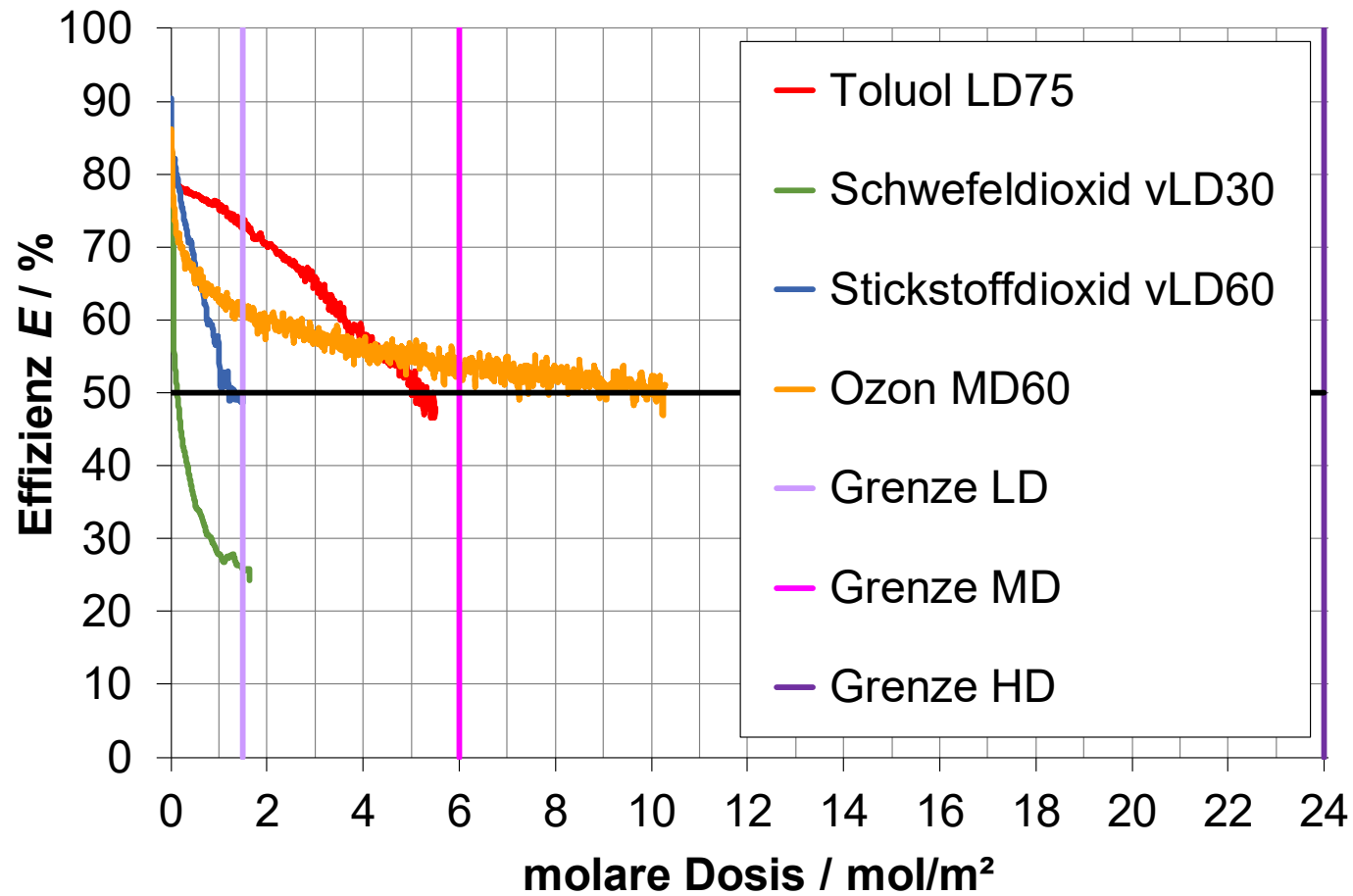
LD-Grenzwert 1,5 mol/m² entspricht 138 g/m² Toluol
96 g/m² SO₂
69 g/m² NO₂
72 g/m² Ozon

MD-Grenzwert 6 mol/m² entspricht 553 g/m² Toluol
384 g/m² SO₂
276 g/m² NO₂
288 g/m² Ozon

HD-Grenzwert 24 mol/m² entspricht 2211 g/m² Toluol
1538 g/m² SO₂
1104 g/m² NO₂
1152 g/m² Ozon

Substanzen außer Ozon: Versuchsdauer bis Dosis-Grenzwerte erreicht sind
für Filter mit Einbauquerschnitt von 610 mm x 610 mm / V_N = 3.400 m³/h
LD 26 min - MD 1,7 h - HD 7 h

Beispiel Filterklassifizierung - AP2



Kompaktfilter, 3.400 m³/h, 595 mm x 595 mm

- das Klassifizierungsverfahren nach Norm ist praktisch umsetzbar
- Nutzen der Klassifizierung: Leistung von Adsorptionsfiltern mit unterschiedlichen Geometrien und Nennvolumenströmen werden vergleichbar
- Nachteilig ist der Aufwand für die Prüfung an Filtern durch
 - erforderliche Prüfstandsabmessungen,
 - große zu konditionierende Luftmengen,
 - große bereitzustellende Mengen an Prüfsubstanzen,
 - zusätzlichen Aufwand für Anfangseffizienzbestimmung,
 - gleiche molare Dosisgrenzen für alle Testsubstanzen bei geringerer Adsorptivkonzentration für Ozon können zu langen Testzeiten führen

Danksagung



Das IGF-Vorhaben 01IF21857N der Forschungsvereinigung Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e. V. (IUTA) wird über die DLR im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages