

13. Dezember 2018

2. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses

Energielabeling für Adsorptionsfilter:
Erarbeitung von Kenngrößen zur Einstufung von Adsorptionsfiltern
hinsichtlich Energieverbrauch und Abscheideleistung

FV-Nr. 19146 N, Laufzeit 01.01.2017 - 31.12.2018

U. Sager, E. Däuber, A. Caspari

IUTA – Institut für Energie und Umwelttechnik e.V.

An-Institut der

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

- ❖ Einleitung – Hintergrund, Vorläuferprojekte, Projektziele
- ❖ Charakteristika adsorptiver RLT- und Druckluftfilter
- ❖ Prüfeinrichtungen
- ❖ Testverfahren RLT-Filter ISO 10121
- ❖ Evaluierung der Prüfmethode von Druckluftfiltern ISO 12500-2
- ❖ Kennziffer für Adsorptionsfilter
- ❖ Energieeffizienz
- ❖ Leistungsparameter Adsorptionsfilter - Anwendung Druckluft-Filter
- ❖ Leistungsparameter Adsorptionsfilter - Anwendung RLT-Filter
- ❖ Zusammenfassung

- Energielabel sollen
 - Transparenz für Verbraucher schaffen
 - den Marktanteil energieeffizienter Produkte erhöhen

- EU-Energielabel seit 1998

- schrittweise für verschiedene Produktgruppen eingeführt, z. B.
 - Kühl- und Gefriergeräte
 - Staubsauger
 - Lampen und Leuchten

- Forschung zur Energieeffizienz am IUTA bisher für Druckluftfilter zur Partikel- und Öltropfenabscheidung

(Mölter-Siemens, W. et al. (2016): An Approach towards Eco-labeling of Compressed Air Filters Based on Carbon Footprint, J. Environmental Science Engineering B 5(2):57-68. doi:10.17265/2162-5263/2016.02.001)

Carbon Management in der Druckluftfilterbranche (FV-Nr. 17992 N, Laufzeit: 01.12.2013 - 30.11.2015)

Ergebnisse:

- für die Partikel-Filtration erfolgreich Kennziffern erarbeitet
- für die Adsorption sollte zunächst die Prüfmethode überarbeitet werden

Evaluation der DIN EN ISO 10121 für RLT-Filter (FV-Nr. 18516 N, Laufzeit: 01.12.2014-30.11.2017)

Ergebnisse:

- Prüfstand für Filtertests nach ISO 10121 wurde eingerichtet
- Prüfmethode nach ISO 10121-2 wurde evaluiert
- Übertragbarkeit von Testergebnissen Medien- und Filtertests wurde untersucht

- für Druckluftfilter und RLT-Filter -

Experimentelle Untersuchungen

Durchbruchstests und Messung der Druckdifferenz Δp
Druckluftfilter: Evaluierung/Optimierung ISO 12500-2

Analyse der Leistungsparameter

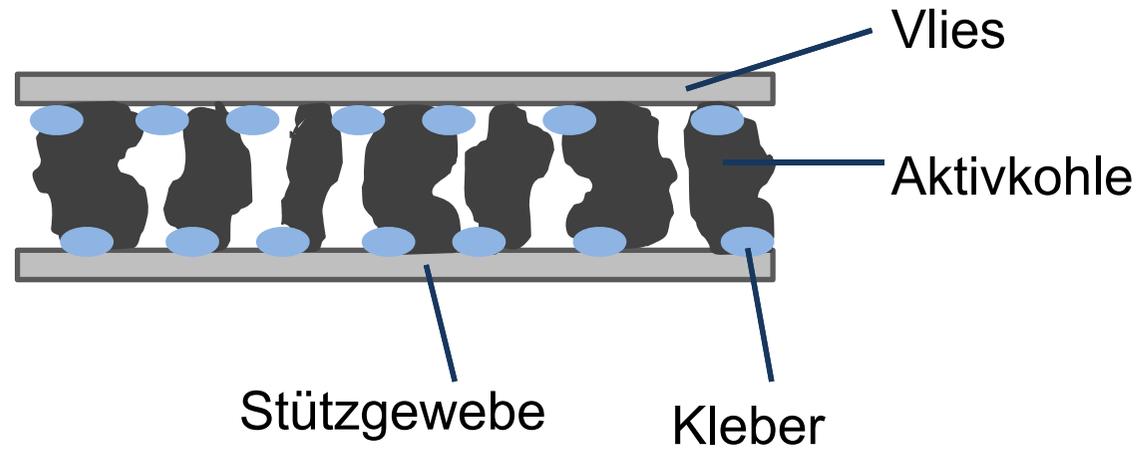
systematische Untersuchung des Filterangebotes



Erarbeitung von Kennziffern und Klassifizierungsmöglichkeiten

Kombination aus Leistungsparametern und Druckdifferenz
evtl. spezifisch für Filterbauart oder Anwendung

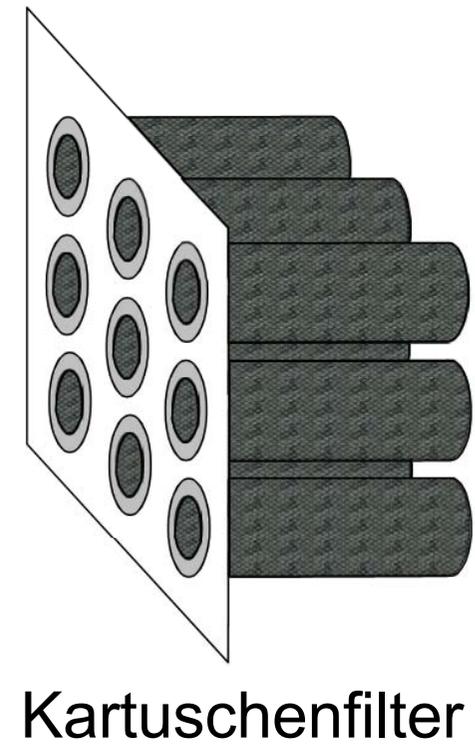
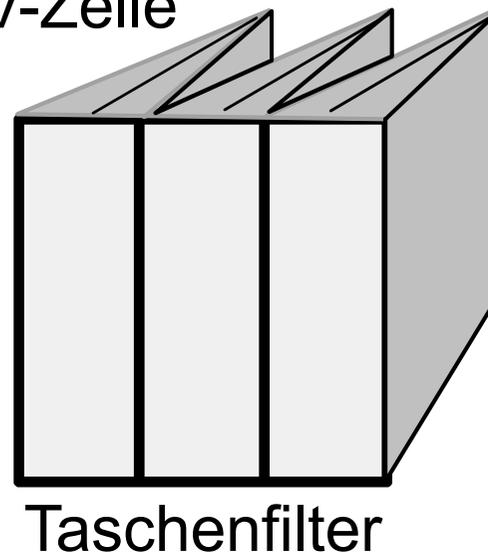
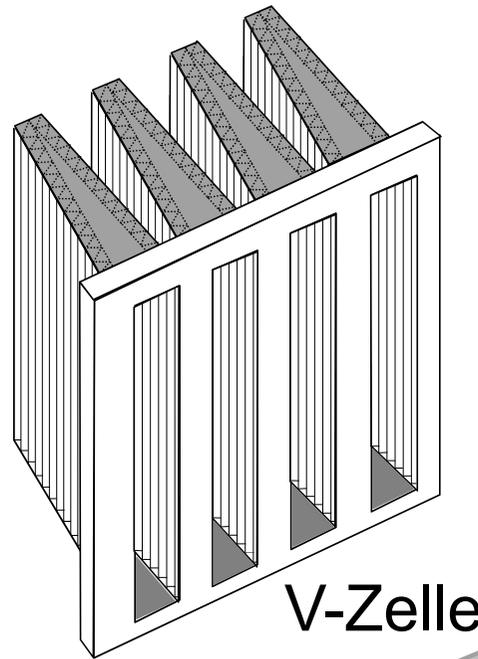
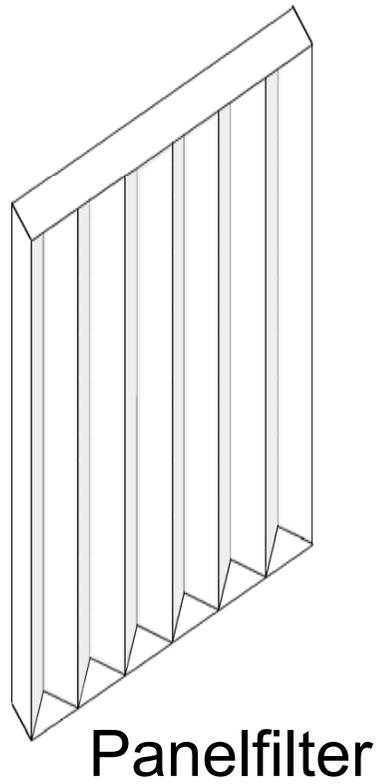
Flachfiltermedien

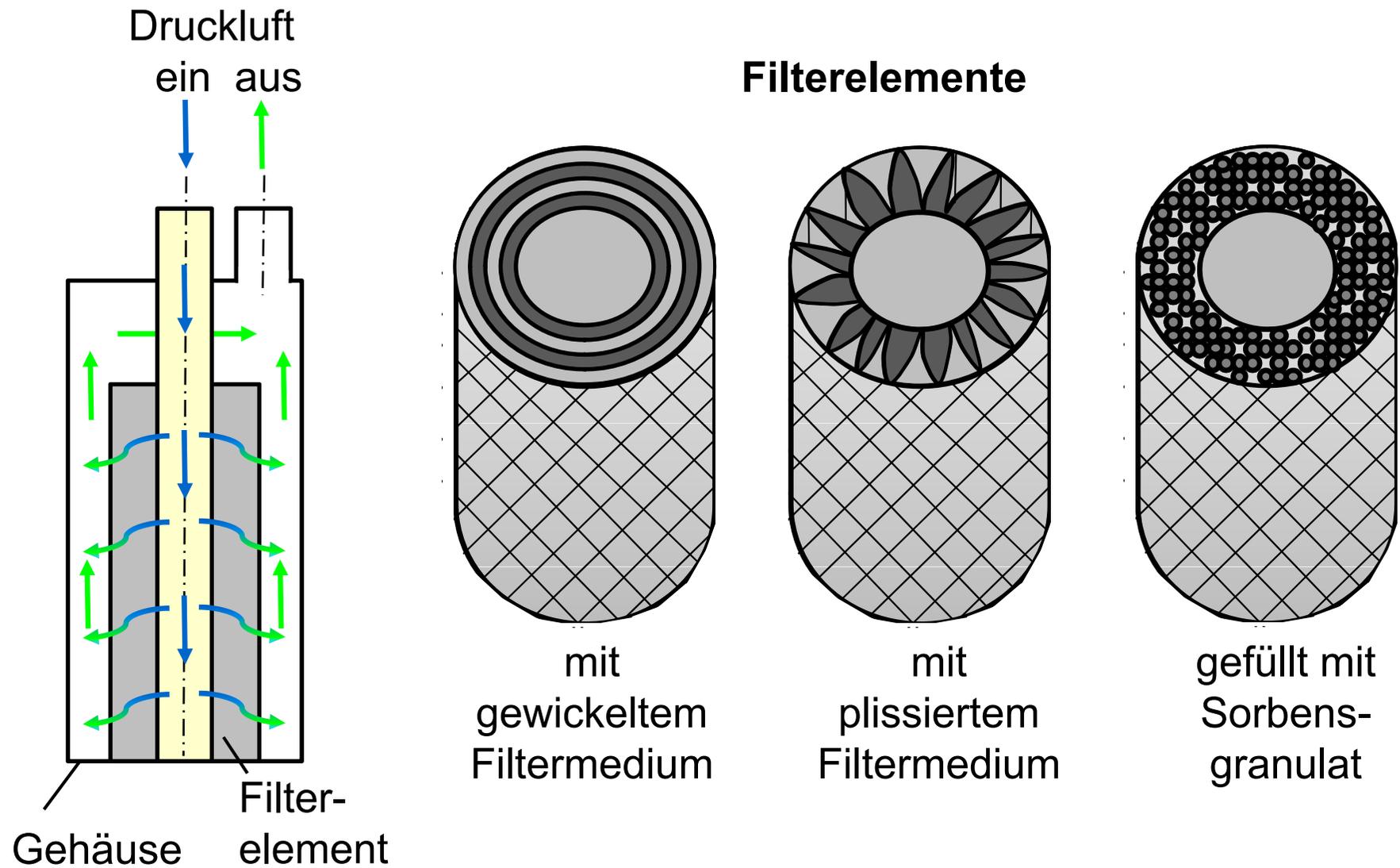


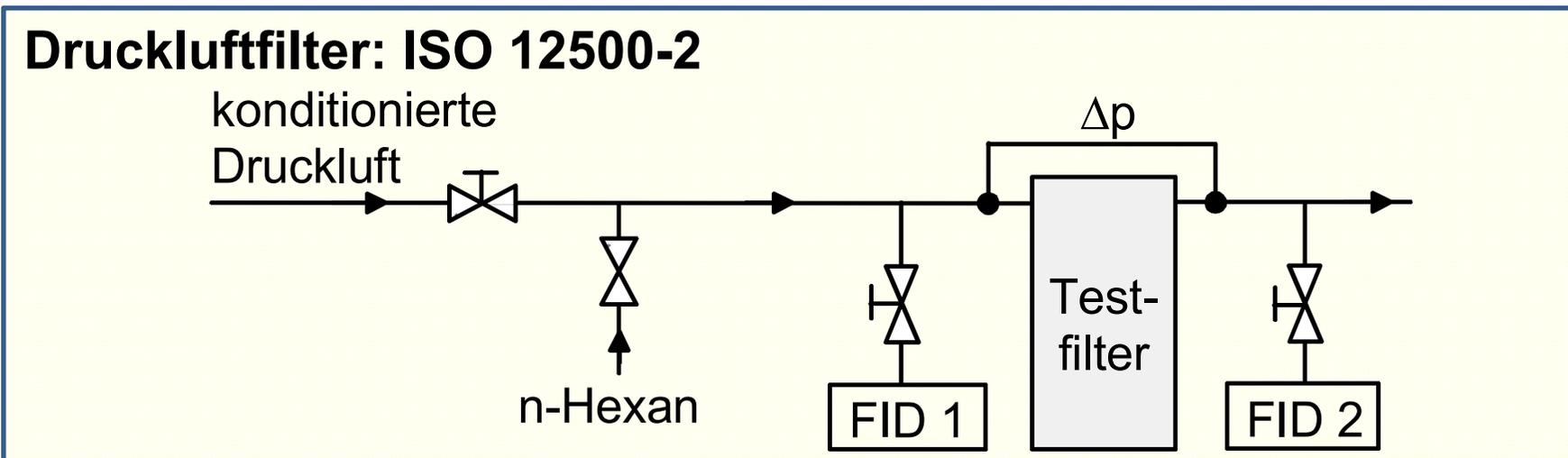
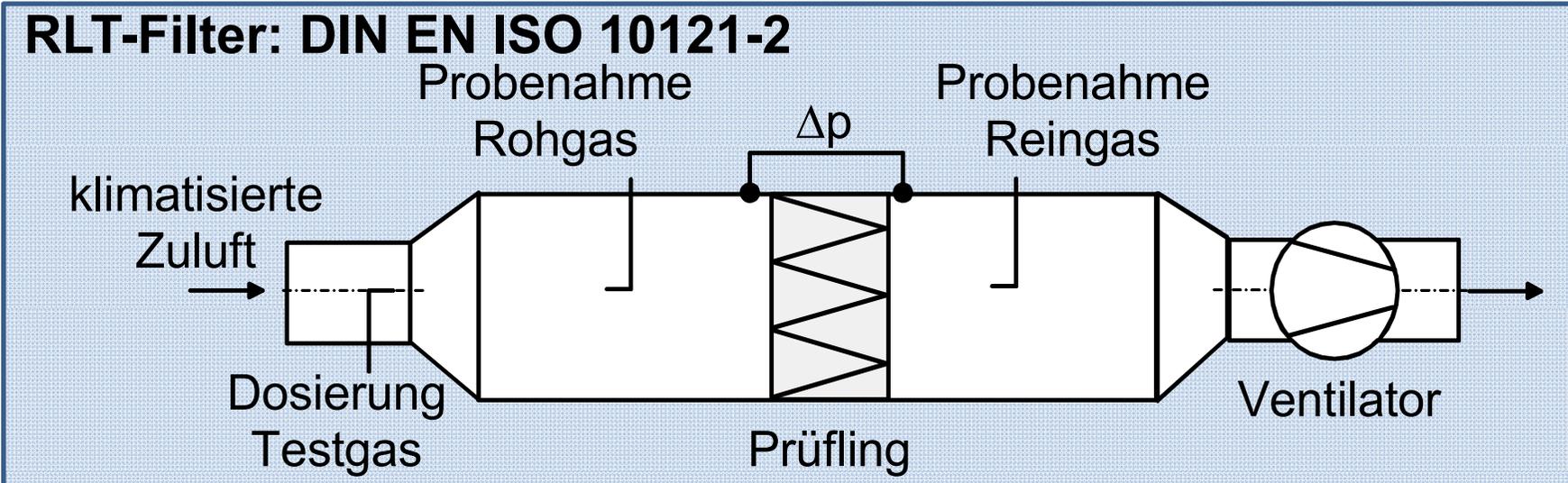
**loses
Material**



Raumluftfilter - Bauformen



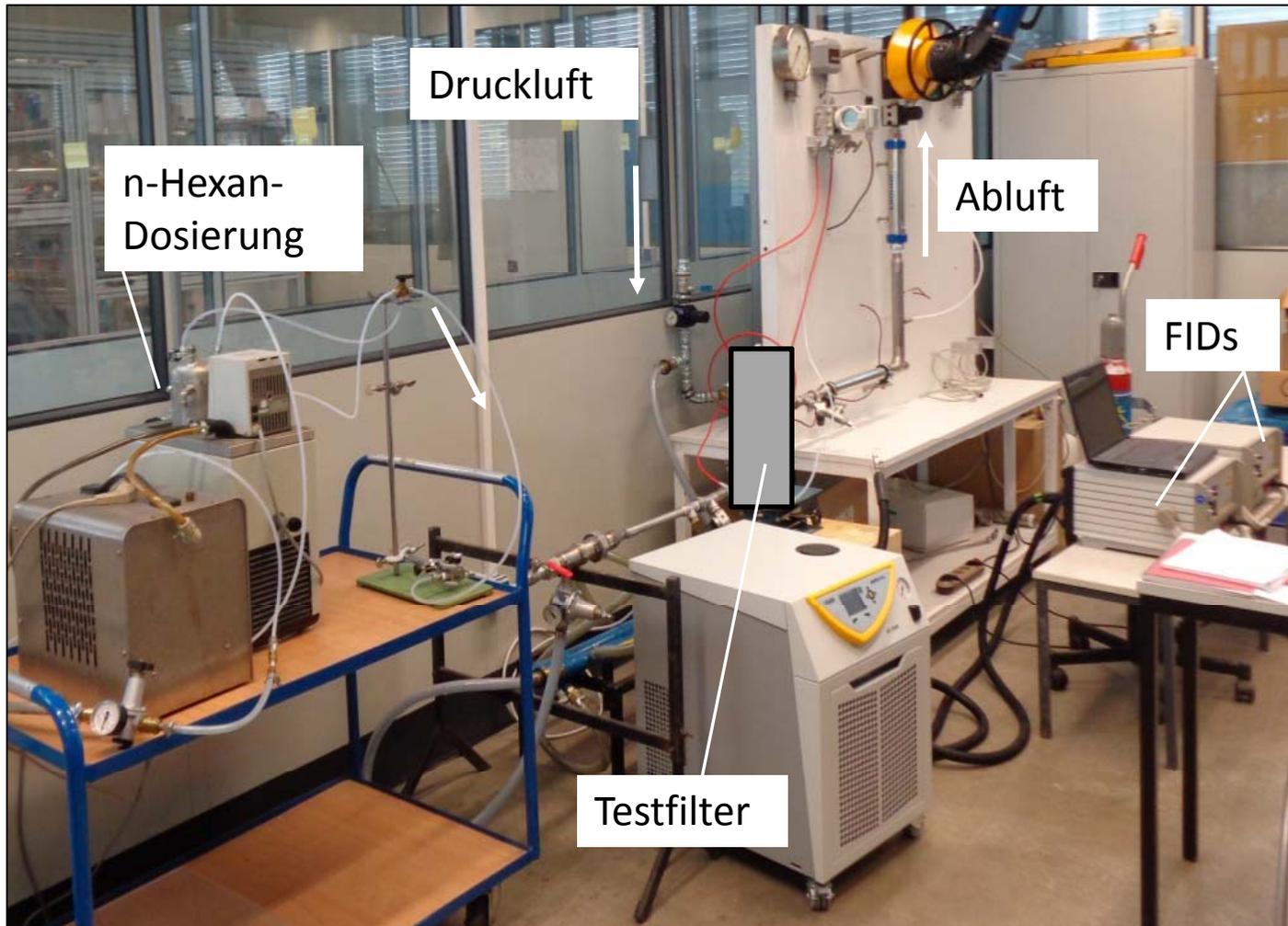




Prüfstand für RLT-Filter



Prüfstand für Druckluftfilter



Vergleichsprüfung nach DIN EN ISO 10121-2:

❖ Durchbruchversuche bei

- $23\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$
- $50\% \pm 3\%$
- Nennvolumenstrom $\pm 3\%$
- Testsubstanzen: Toluol, SO_2 , NH_3
- Testkonzentrationen: $9\text{ ppm}_V \pm 5\%$ ($90\text{ ppm}_V \pm 5\%$)

❖ Aufnahme der Druckdifferenz-Volumenstrom-Kurve

- bei 50, 75, 100 und 125 % des Nennvolumenstroms
- bei $V_N = 3400\text{ m}^3/\text{h}$ Messung bei 1700 – 2550 – 3400 – 4250 m^3/h

➤ **Testmethode nach ISO 12500-2:**

- Durchbruchversuche bei
- $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$
- $7\text{ bar}_{\ddot{u}}$, 8 bar_a
- Nennvolumenstrom;
- Testsubstanz: n-Hexan;
- Testkonzentration: $1000\text{ mg/kg}_{\text{tr DL}}$

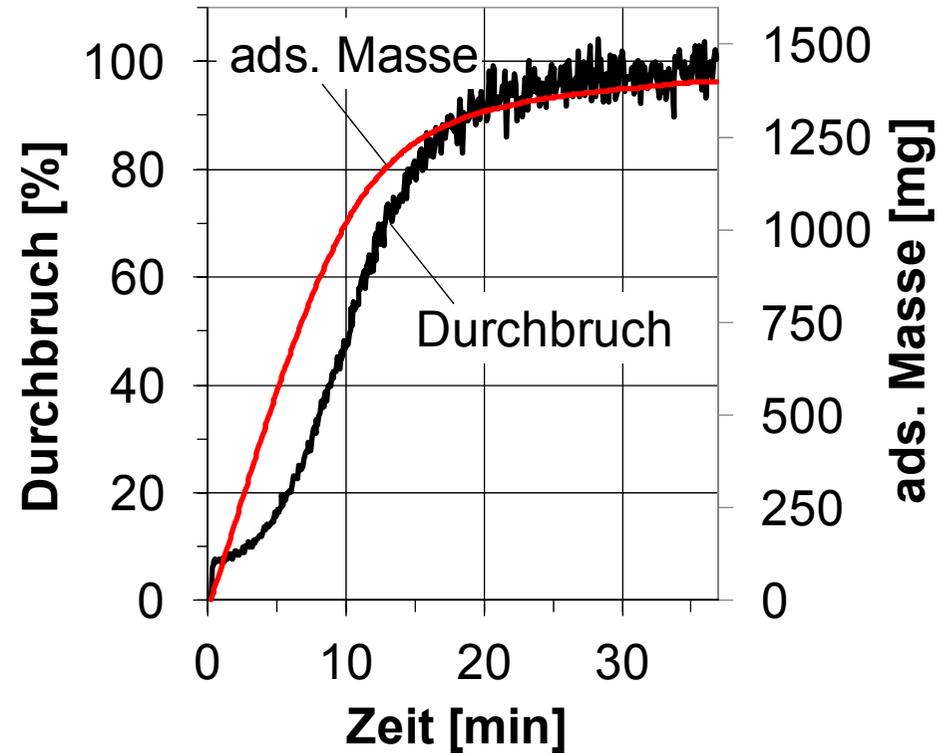
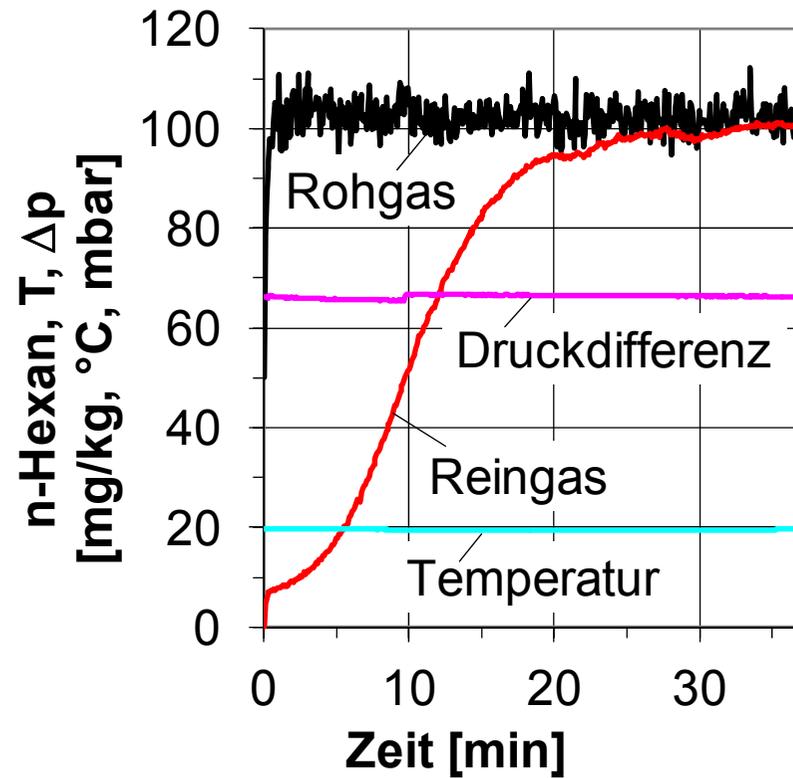
➤ **Evaluierung:**

- Tests mit geringerer n-Hexan-Konzentration (100 mg/kg statt 1000 mg/kg), wenn Durchbruch zu langsam, Erhöhung der Testkonzentration, wenn Durchbruch zu schnell, Senkung der Testkonzentration
- Untersuchung des Temperatureinflusses

Ergebnisse Druckluft-Filter-Tests

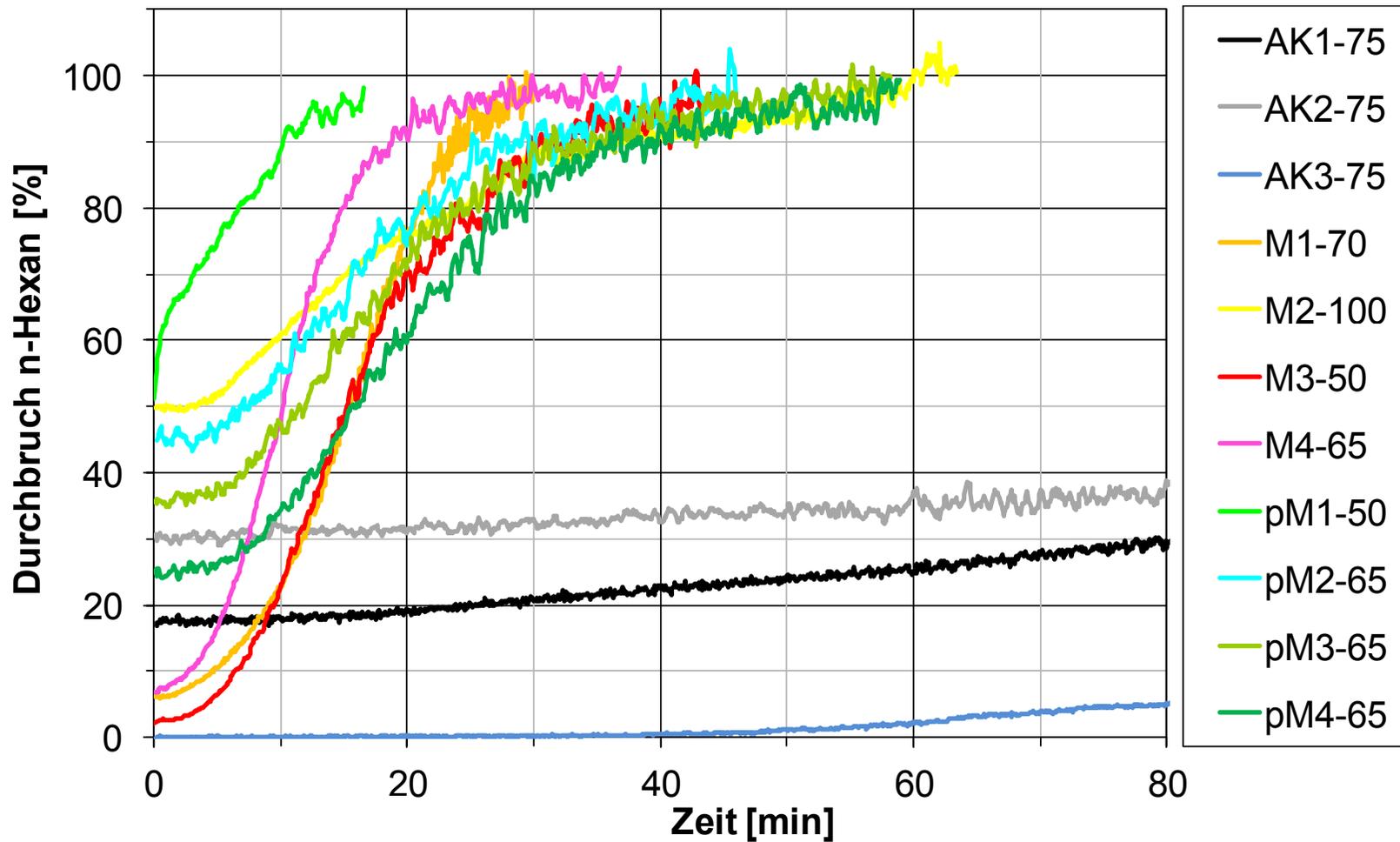


20 °C, 7 bar_ü



- ⇒ Zeit bis zu einem bestimmten Durchbruch
- ⇒ Δp
- ⇒ adsorbierte Masse bis zu einem bestimmten Durchbruch

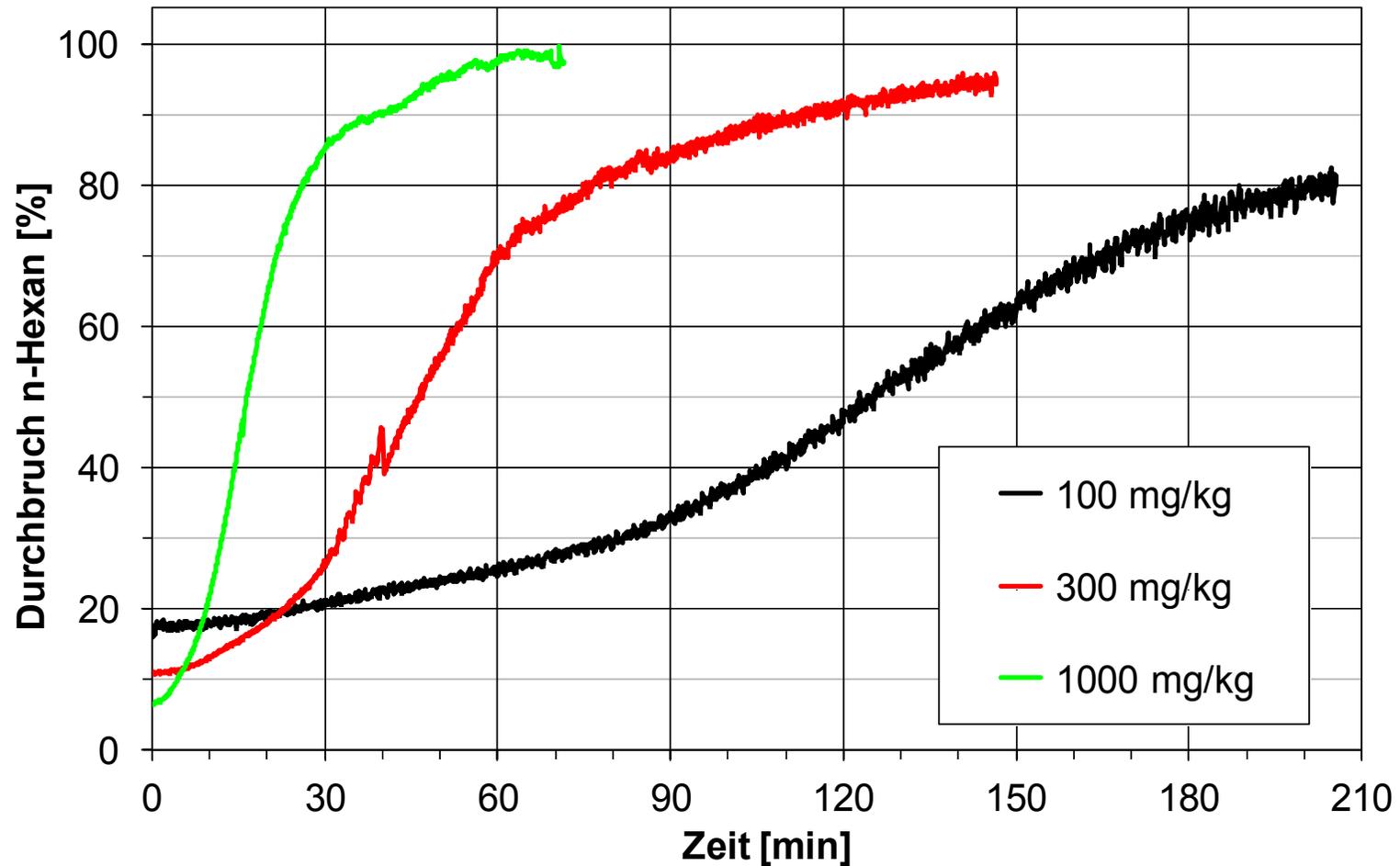
Durchbruchskurven bei $100 \text{ mg}_{\text{Hexan}}/\text{kg}_{\text{DL}}$



$100 \text{ mg}_{\text{Hexan}}/\text{kg}_{\text{DL}}$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $7 \text{ bar}_\text{Ü}$, $-X \text{ m}^3/\text{h}$

AK – Kartusche mit Aktivkohle, M – gewickeltes Medium, pM – plissiertes Medium

Angepasste Testkonzentration

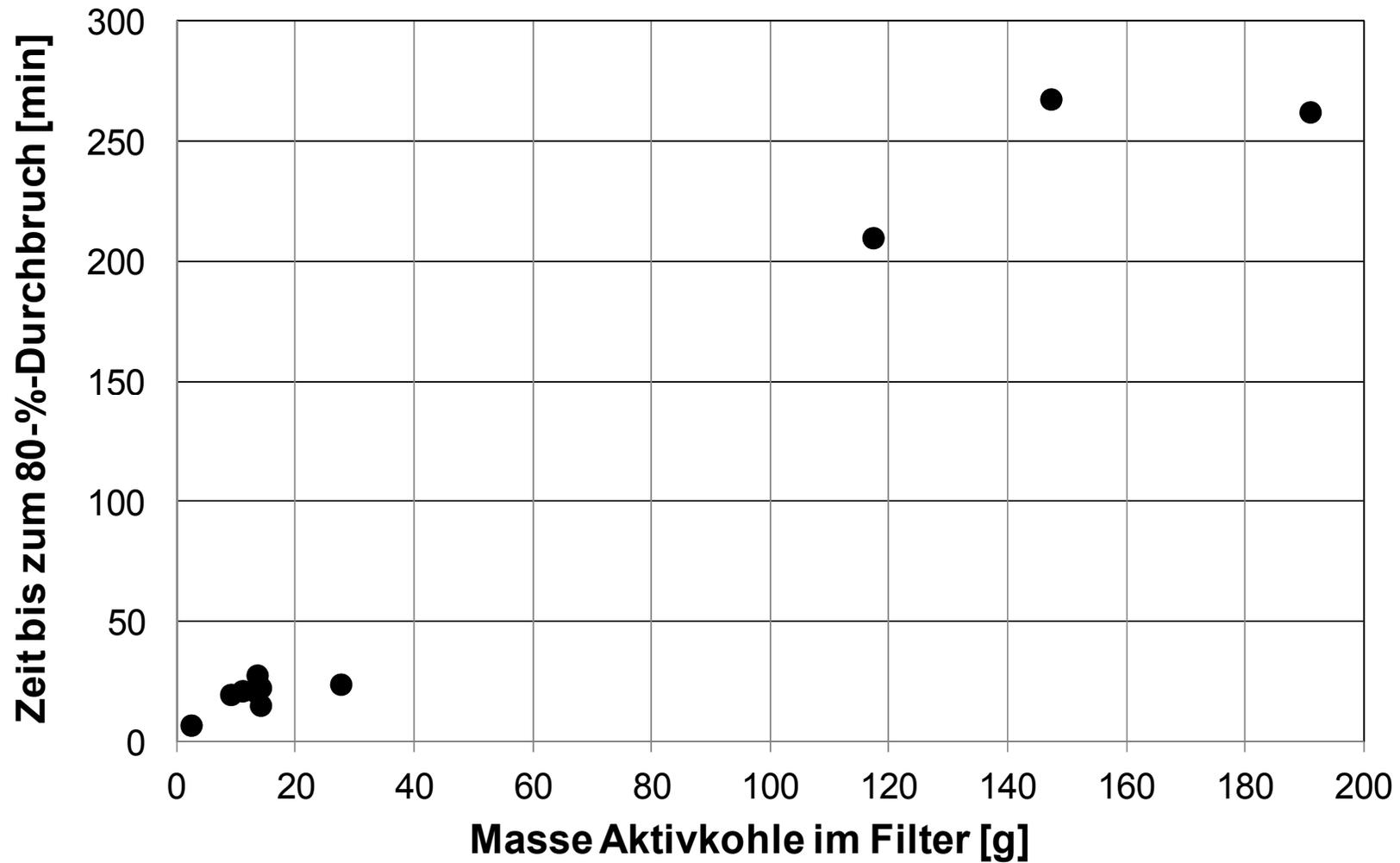


20 °C, 7 bar_Ü, 75 m³/h

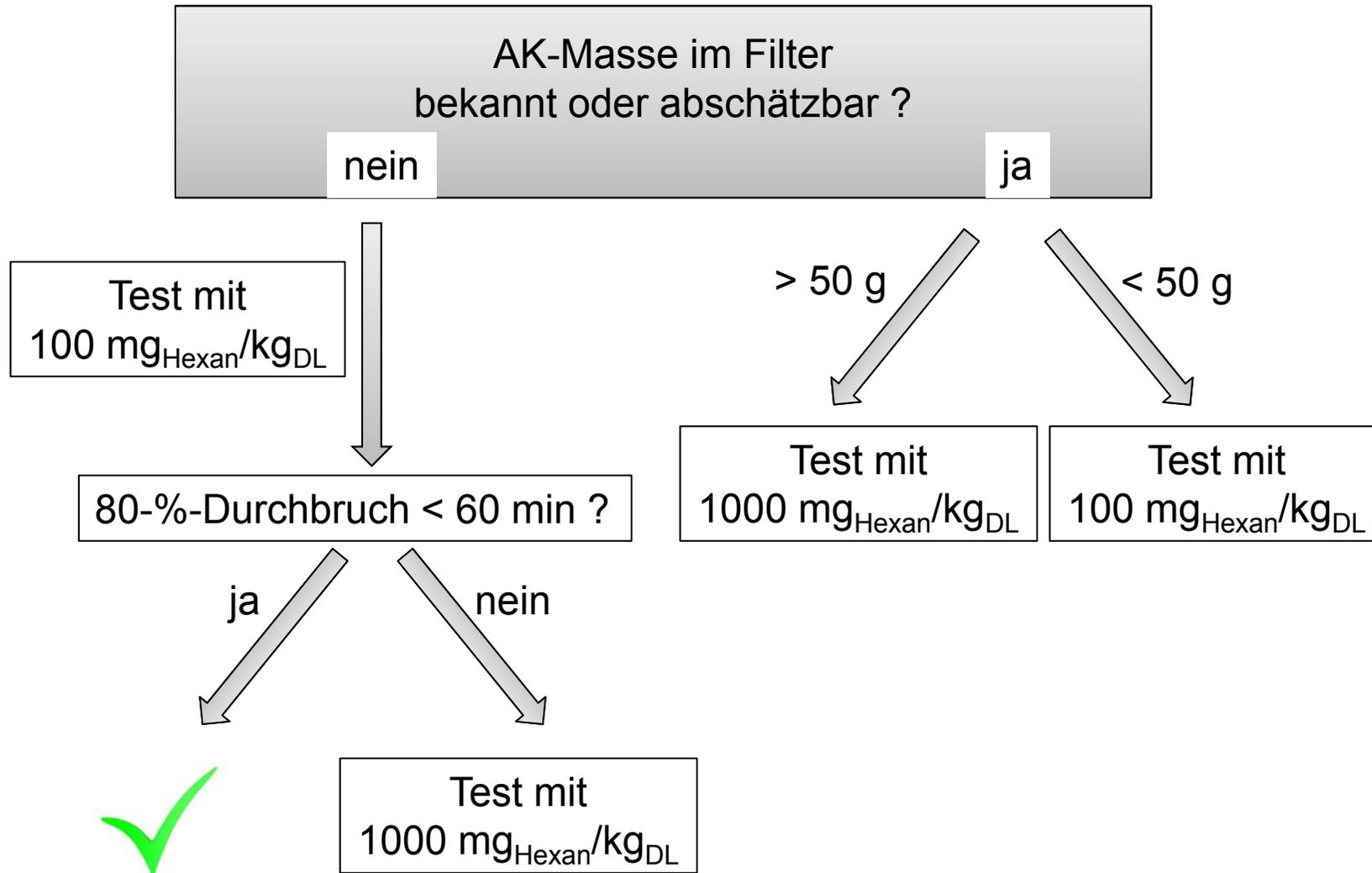
Sorbensmenge vs. Durchbruchzeit



bei variierenden Volumenströmen, 100 mg_{Hexan}/kg_{DL}, 20 °C, 7 bar_ü



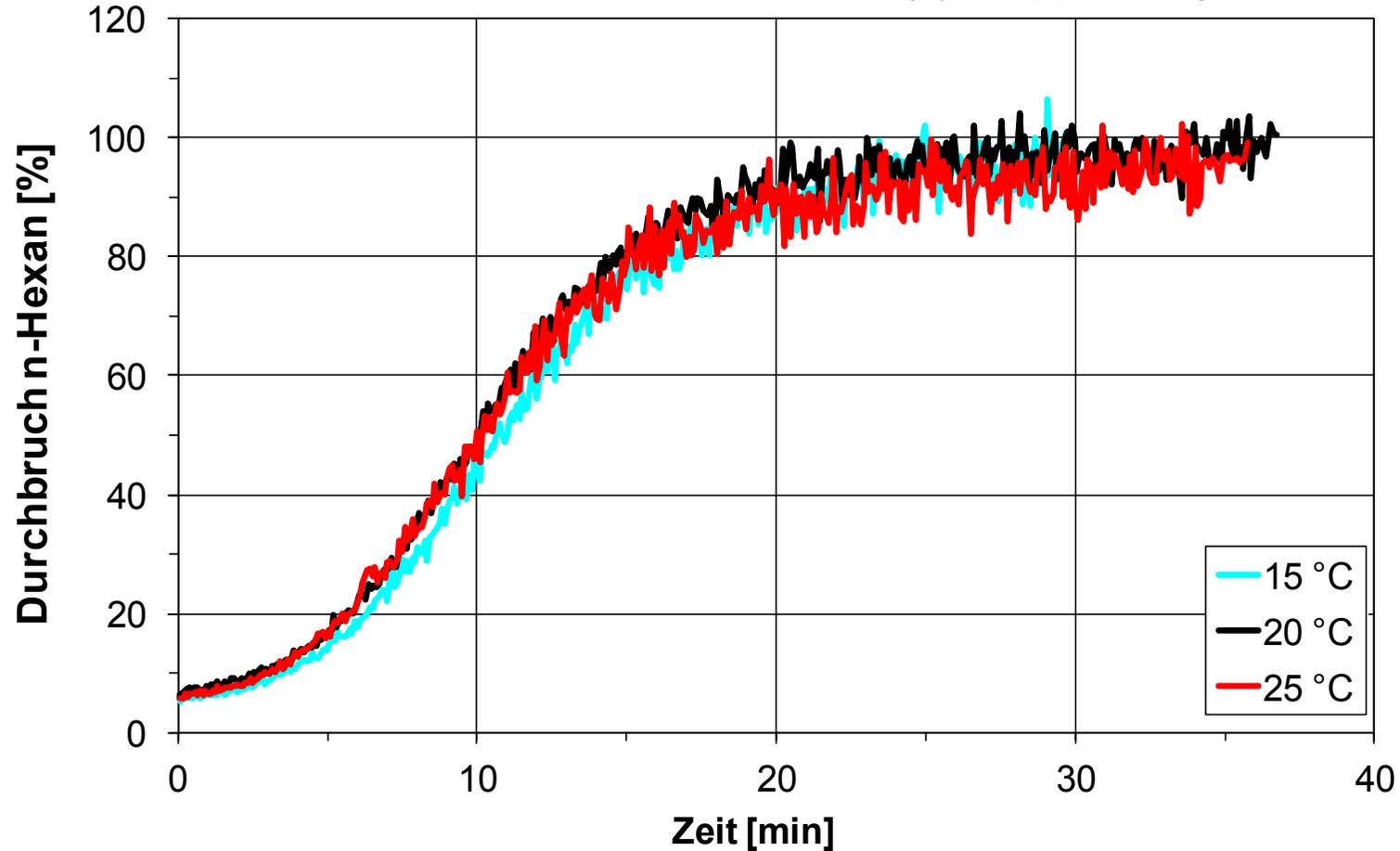
ISO 12500-2: Ergebnisse zur Testkonzentration



Einfluss der Testtemperatur



Beispiel 1: gewickeltes Medium, 65 m³/h, 100 mg_{Hexan}/kg_{DL}, 7 bar_Ü

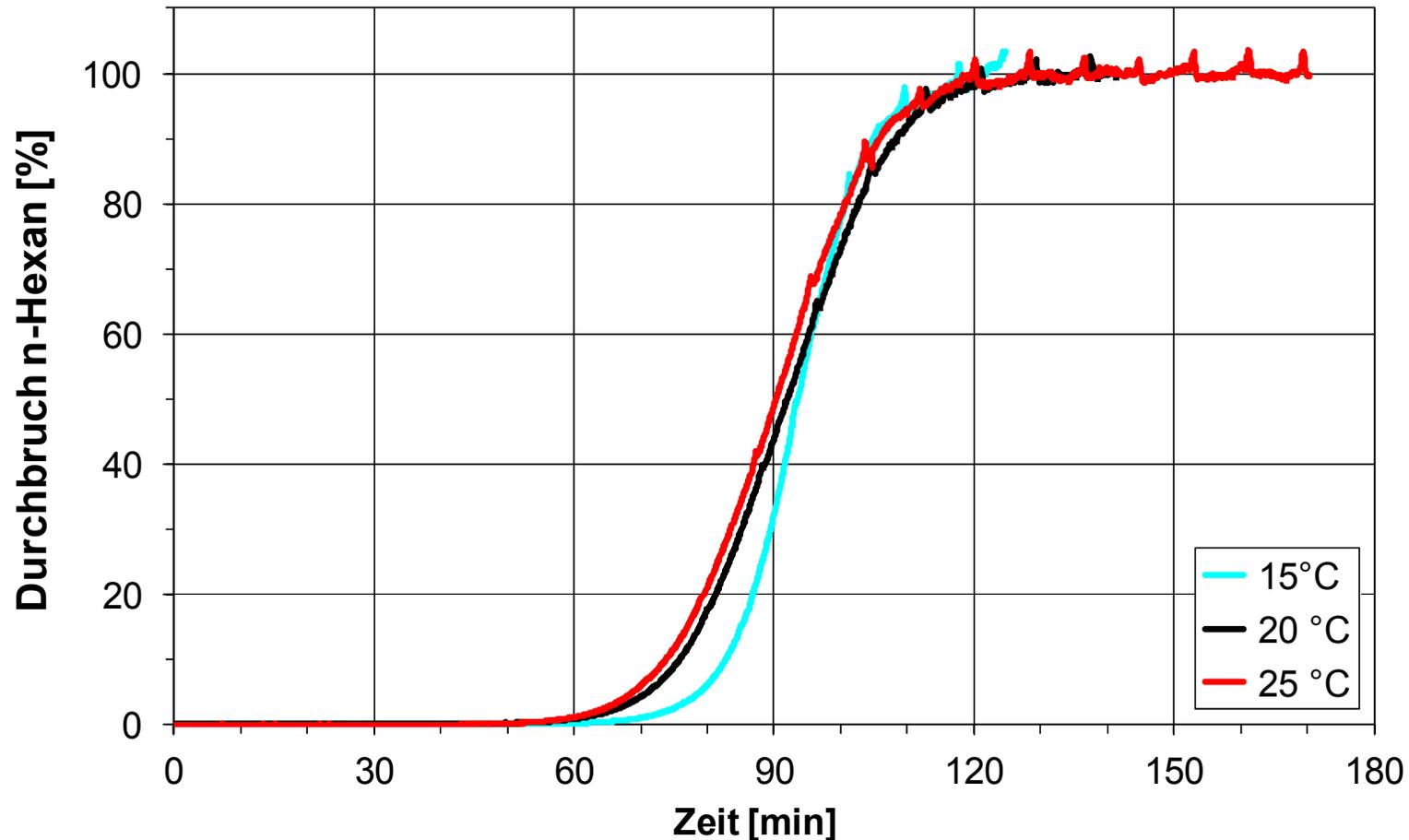


adsorbierte n-Hexan-Massen im Gleichgewicht:	15 °C	1,52 g
	20 °C	1,40 g
	25 °C	1,50 g

Einfluss der Testtemperatur



Beispiel 2: Kartusche, 90 m³/h, 1000 mg_{Hexan}/kg_{DL}, 7 bar_ü

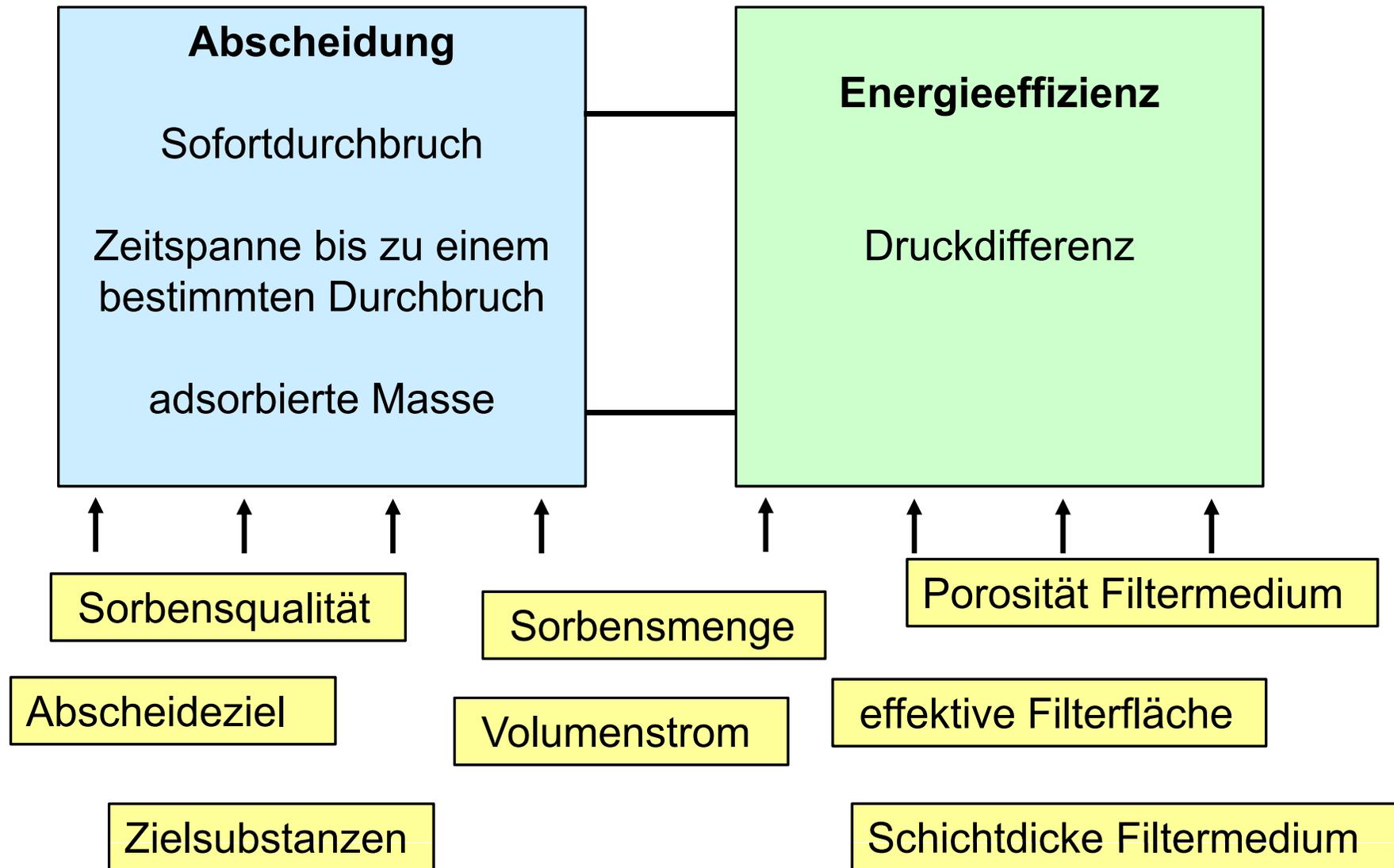


adsorbierte n-Hexan-Massen im Gleichgewicht:

15 °C	161,9 g
20 °C	160,6 g
25 °C	158,5 g

Bewertung von Adsorptionsfiltern

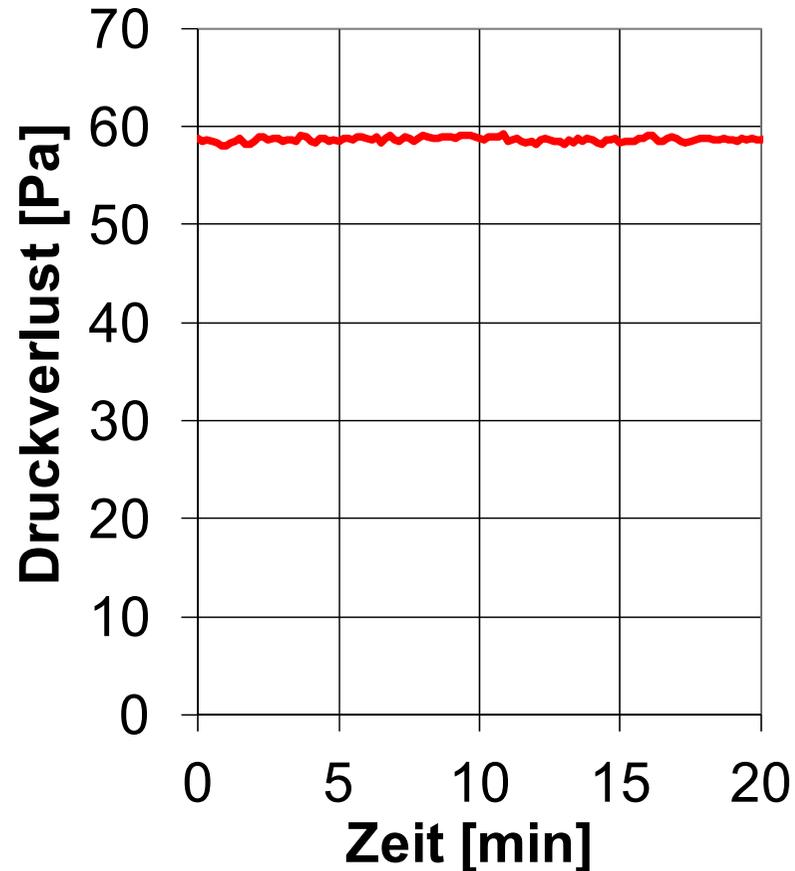
Einflussfaktoren auf Filtercharakteristik



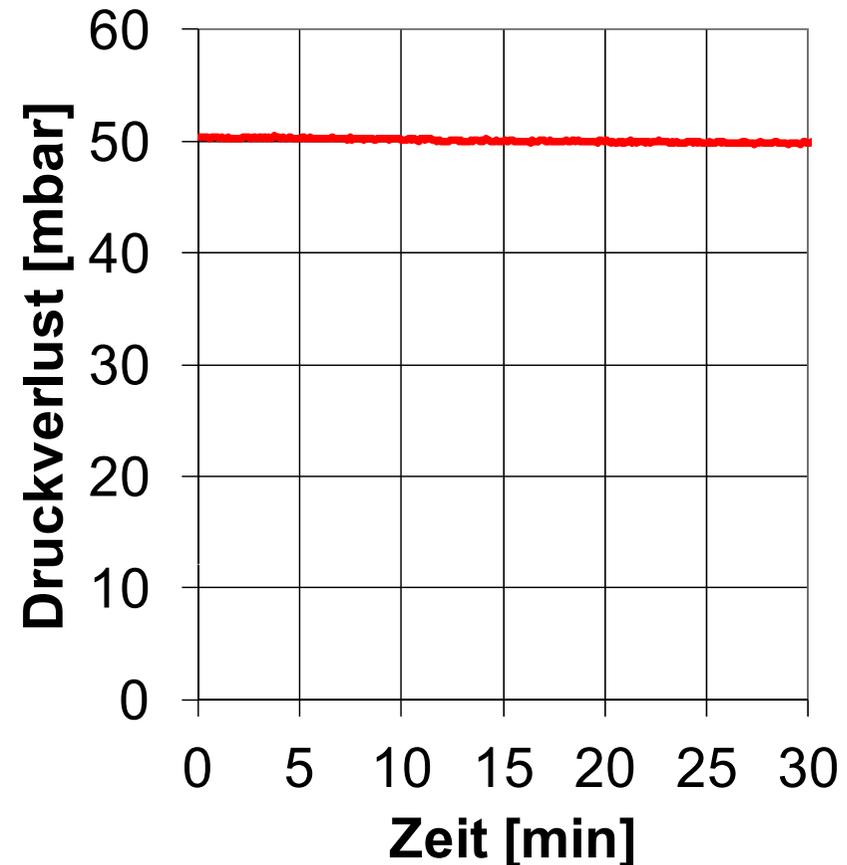
Energieeffizienz von Adsorptionsfiltern



- Energieverbrauch \sim Druckdifferenz über Filter
- bei Adsorptionsfiltern ungefähr konstant über Betriebszeit

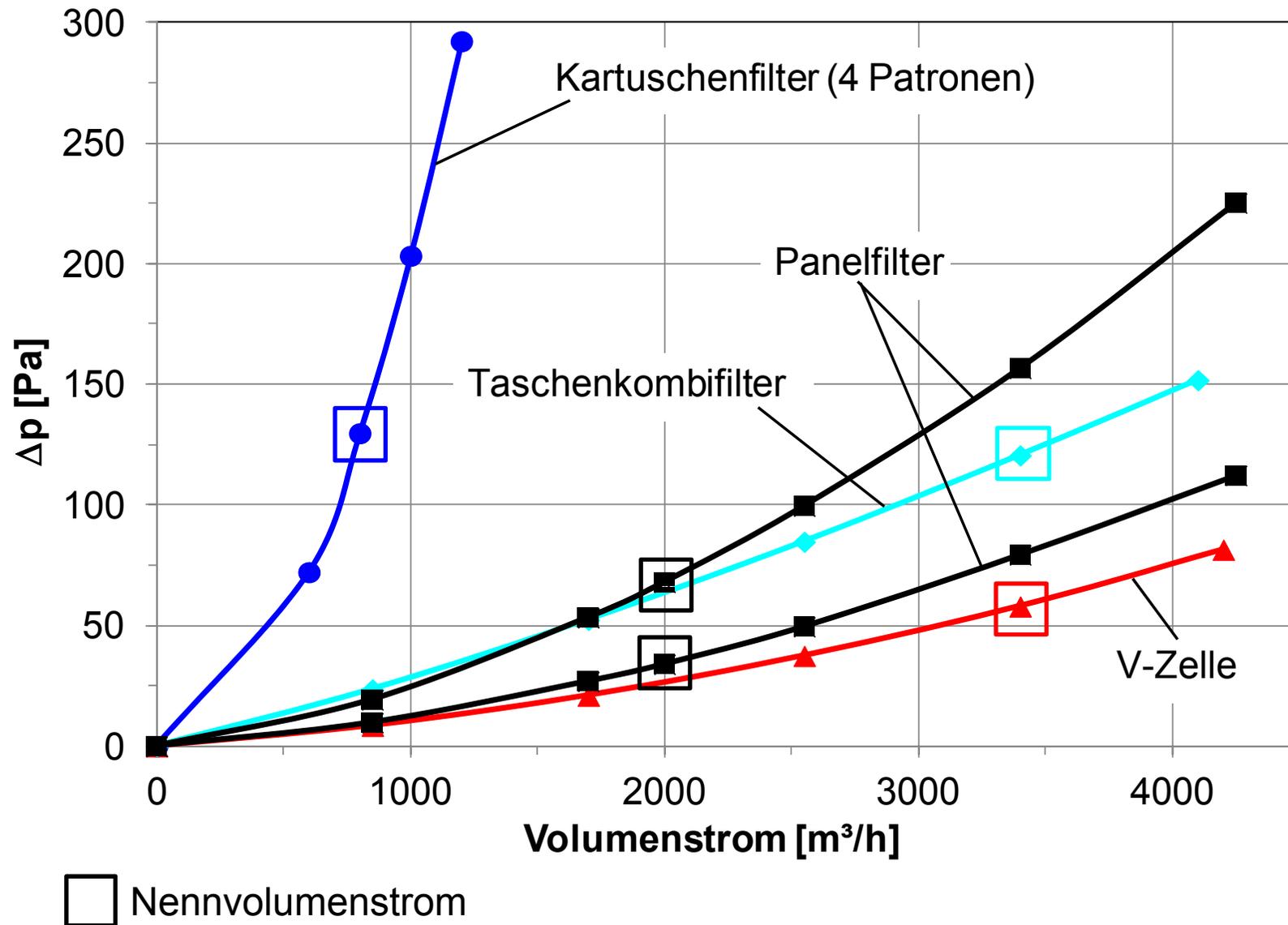


RLT-Filter, V-Zelle,
23 °C, 50 % r. F., 3400 m³/h

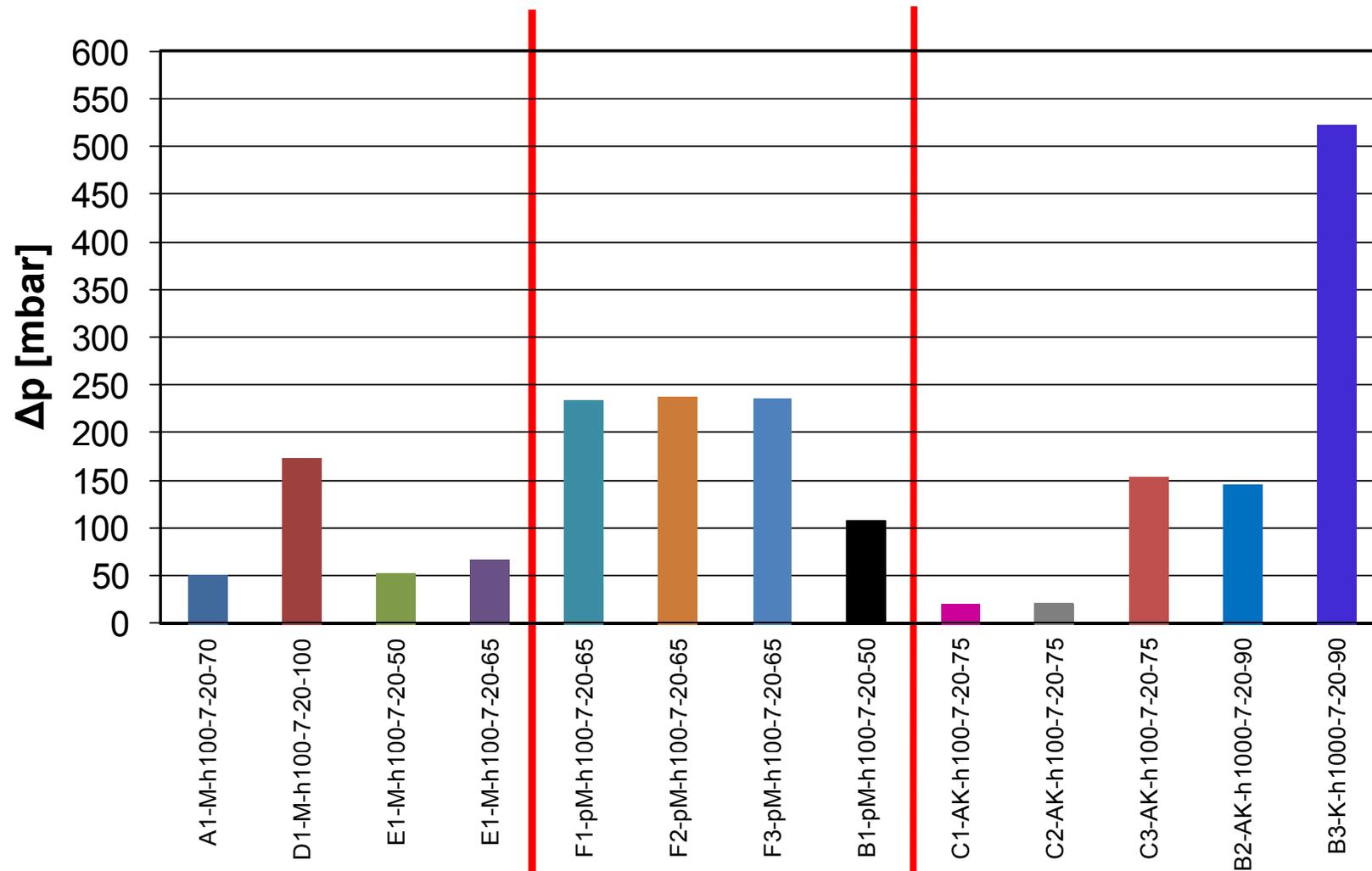


Druckluft-Filter, Medium gewickelt,
20 °C, 7 bar_ü, 70 m³/h

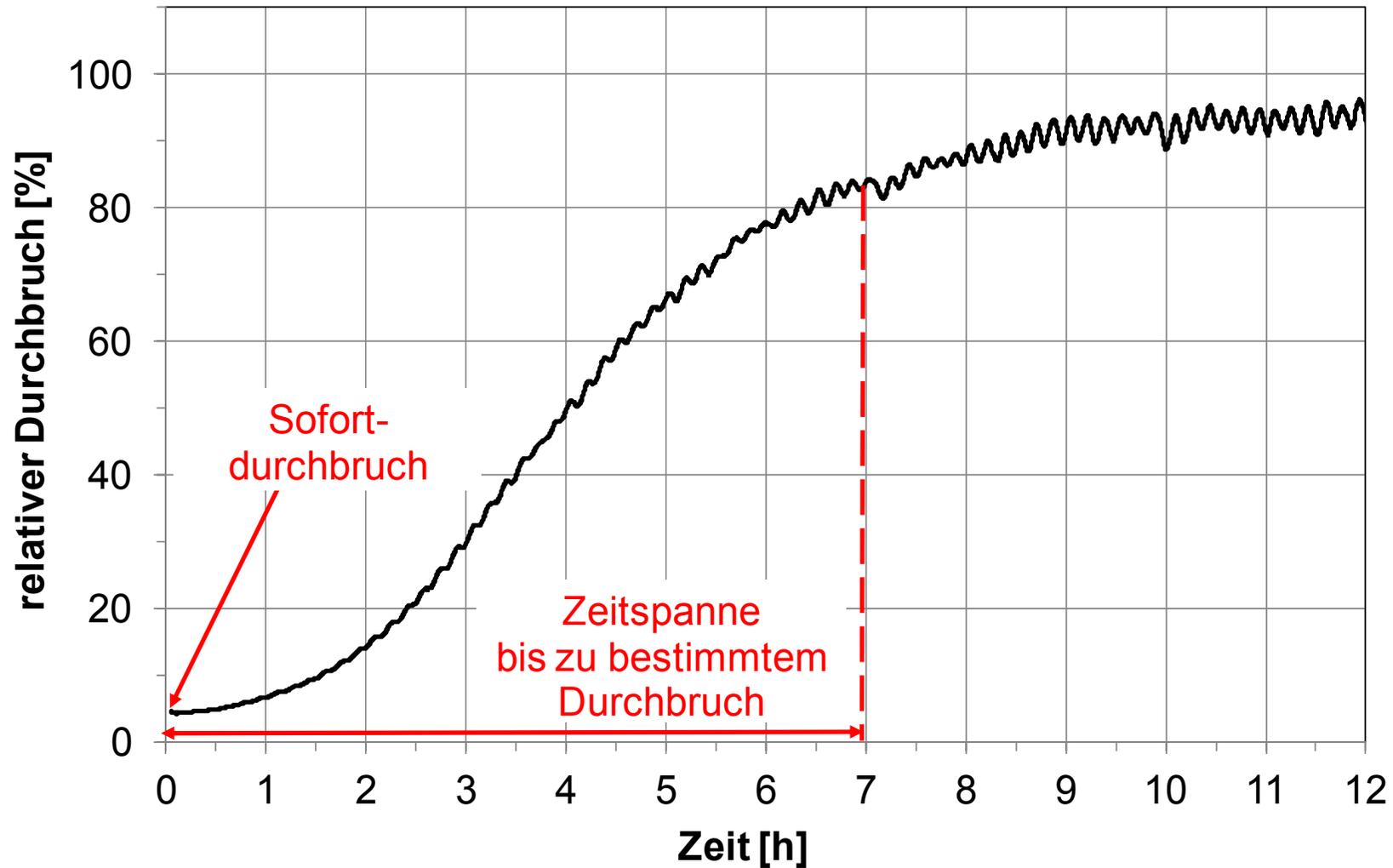
RLT-Filter: Δp -Volumenstrom-Kurven



Δp -Verteilung Druckluft-Filter



Δp ca. 20 - 550 mbar bei Volumenströmen zwischen 50 und 100 m³/h



RLT-Filter, V-Zelle, Toluol, 9 ppm, 23 °C, 50 % r. F., 3400 m³/h

$$K_E = \text{Nutzen/Aufwand}$$

Nutzen:

- $m_{\text{ads-i-x}}$ adsorbierte Masse des Stoffes i bis zu einem bestimmten Durchbruch (z. B. x %) in Kombination mit der Effizienz
- die Zeitspanne t_x bis zu diesem Durchbruch
- Nutzen wird durch Sofortdurchbruch SDB gemindert

Aufwand:

- Ventilatorleistung (Δp)

Entdimensionierung durch Bezug:

- auf die maximal zu adsorbierende Masse des Stoffes i,
- auf eine Referenzdurchbruchzeit t_R ,
- die kinetische Energie des Luftstroms im freien Strömungsquerschnitt

Ansatz zur Bildung einer Kennziffer K_{E1}

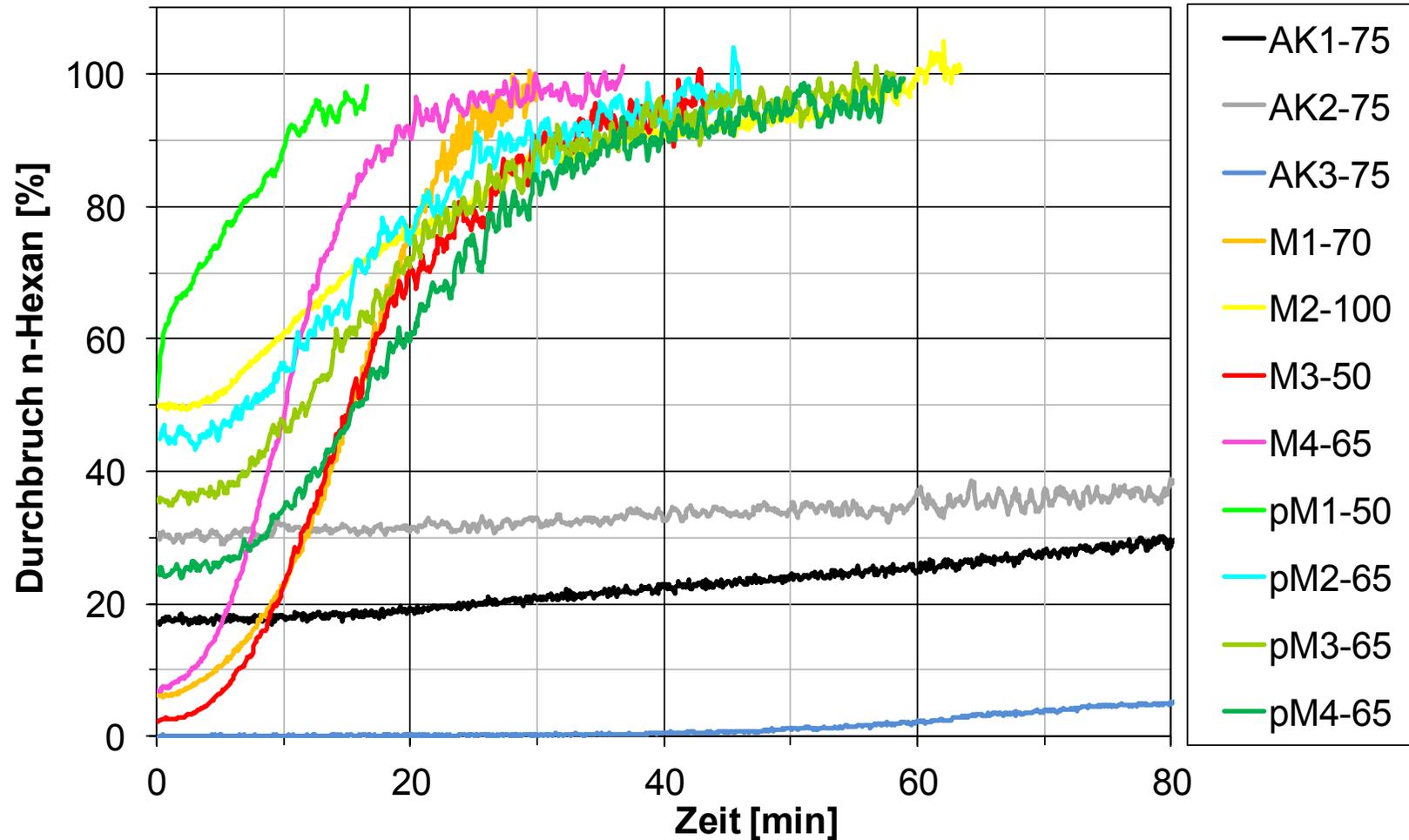


$$K_{E1} = \frac{\frac{t_x}{t_r} \cdot \frac{m_{i-ads-x}}{c_{i,1} \cdot \dot{V} \cdot t_x} \cdot (1-SDB)}{\frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\frac{\dot{m}_L v^2}{2}}}$$

t_x	Zeit bis x % Durchbruch
t_r	Referenzzeit
$m_{i-ads-x}$	adsorbiert Masse bis zu einem Durchbruch von x %
$c_{i,1}$	Testkonzentration
\dot{V}	Volumenstrom
SDB	Sofortdurchbruch
Δp	Druckdifferenz
\dot{m}_L	Luftmassenstrom
v	charakteristische Luftgeschwindigkeit

Kennziffer für Druckluft-Filter

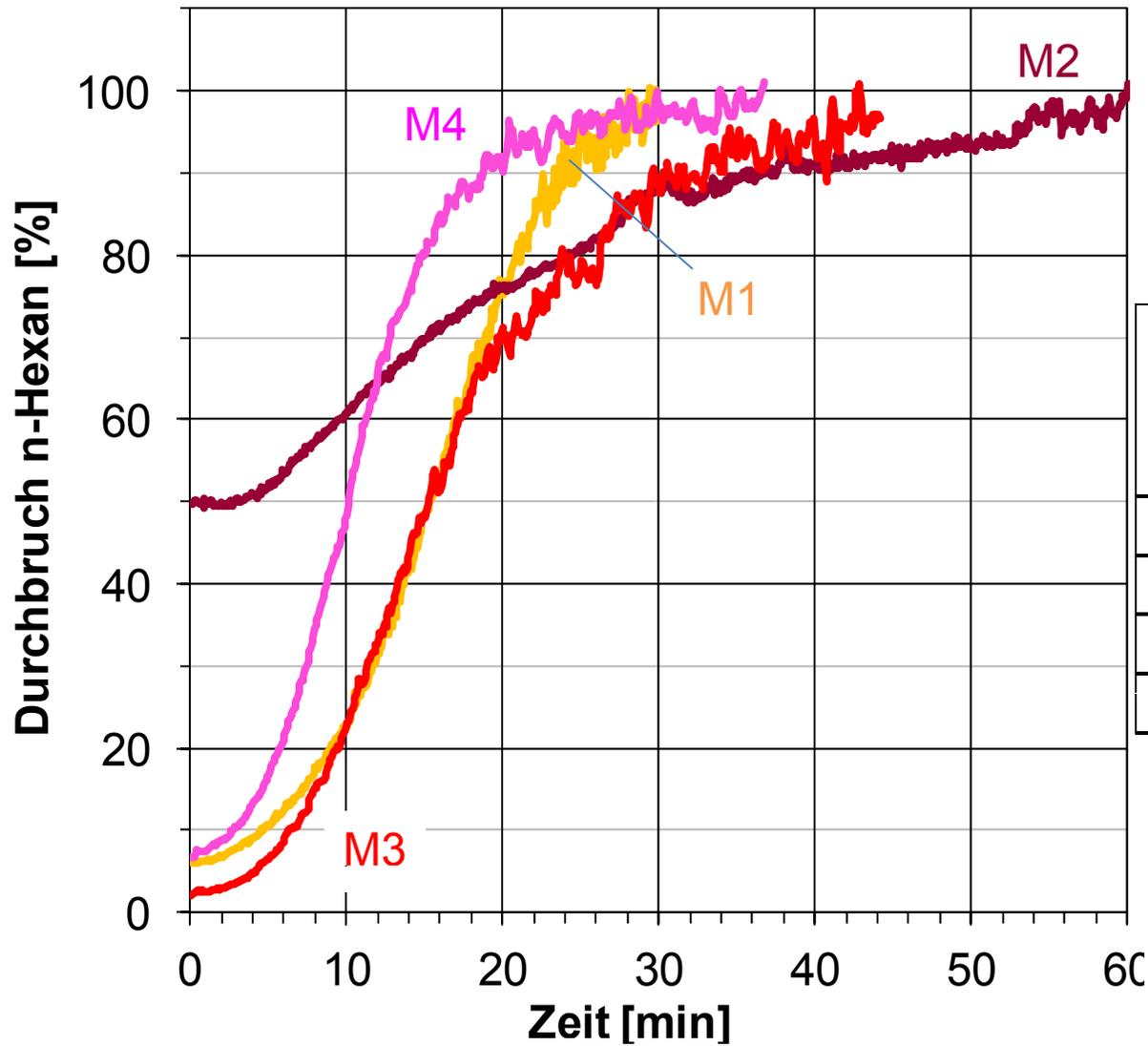
Durchbruchskurven DL-Filter unterschiedliche Typen



100 mg_{Hexan}/kg_{DL}, 20 °C, 7 bar_Ü, -X m³/h

AK – Kartusche mit Aktivkohle, M – gewickeltes Flachfiltermedium, pM – plissiertes Flachfiltermedium

K_{E1} Druckluft-Filter – gewickeltes Medium – 100 mg/kg

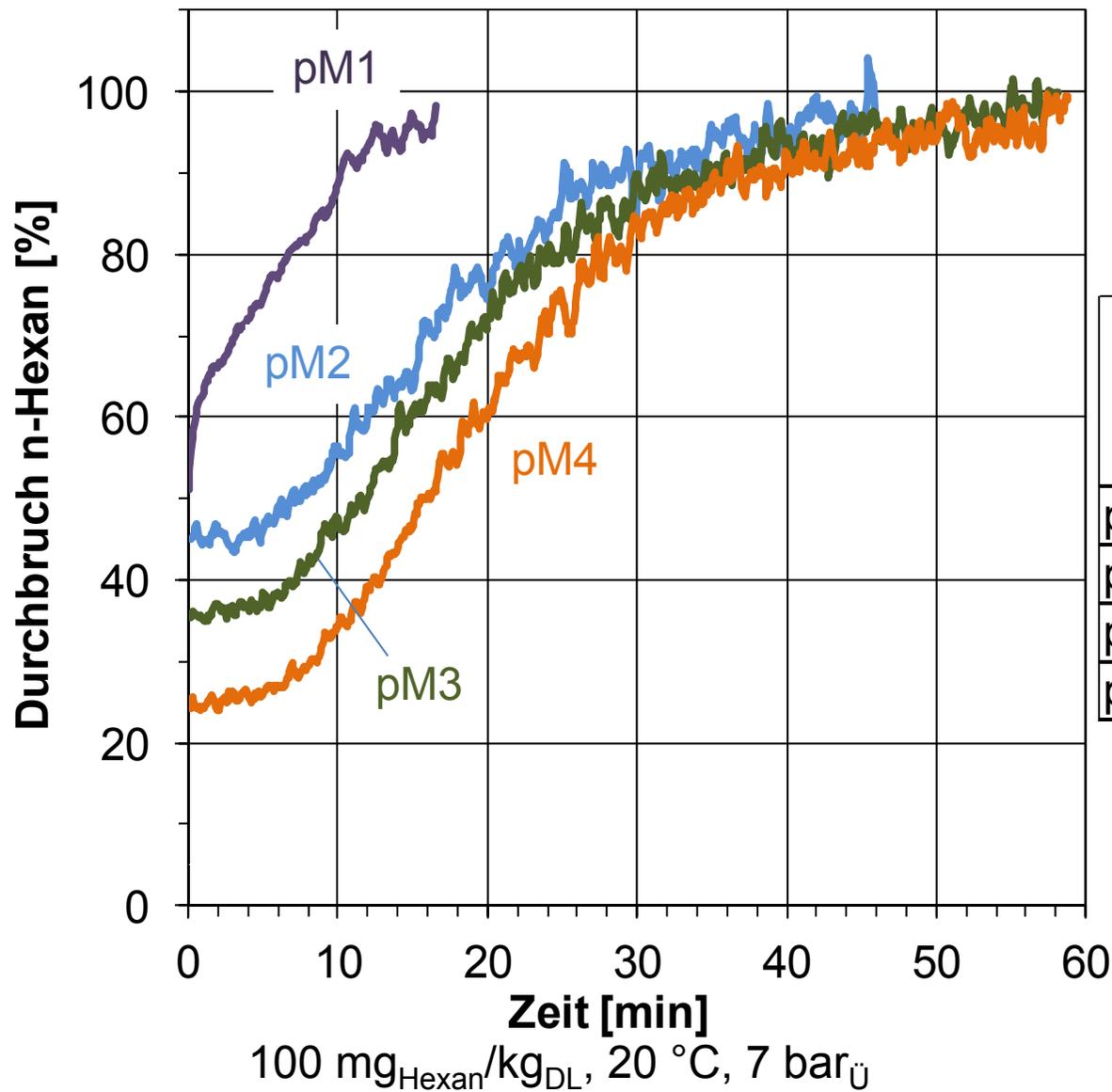


für $t_R = 5$ h und $x = 80$

	Volumen- strom	Δp	K_{E1}
	m ³ /h	mbar	* 10 ⁸
M1	70	50,3	4,2
M2	100	172,0	1,7
M3	50	51,7	2,3
M4	65	66,3	1,8

100 mg_{Hexan}/kg_{DL}, 20 °C, 7 bar_Ü

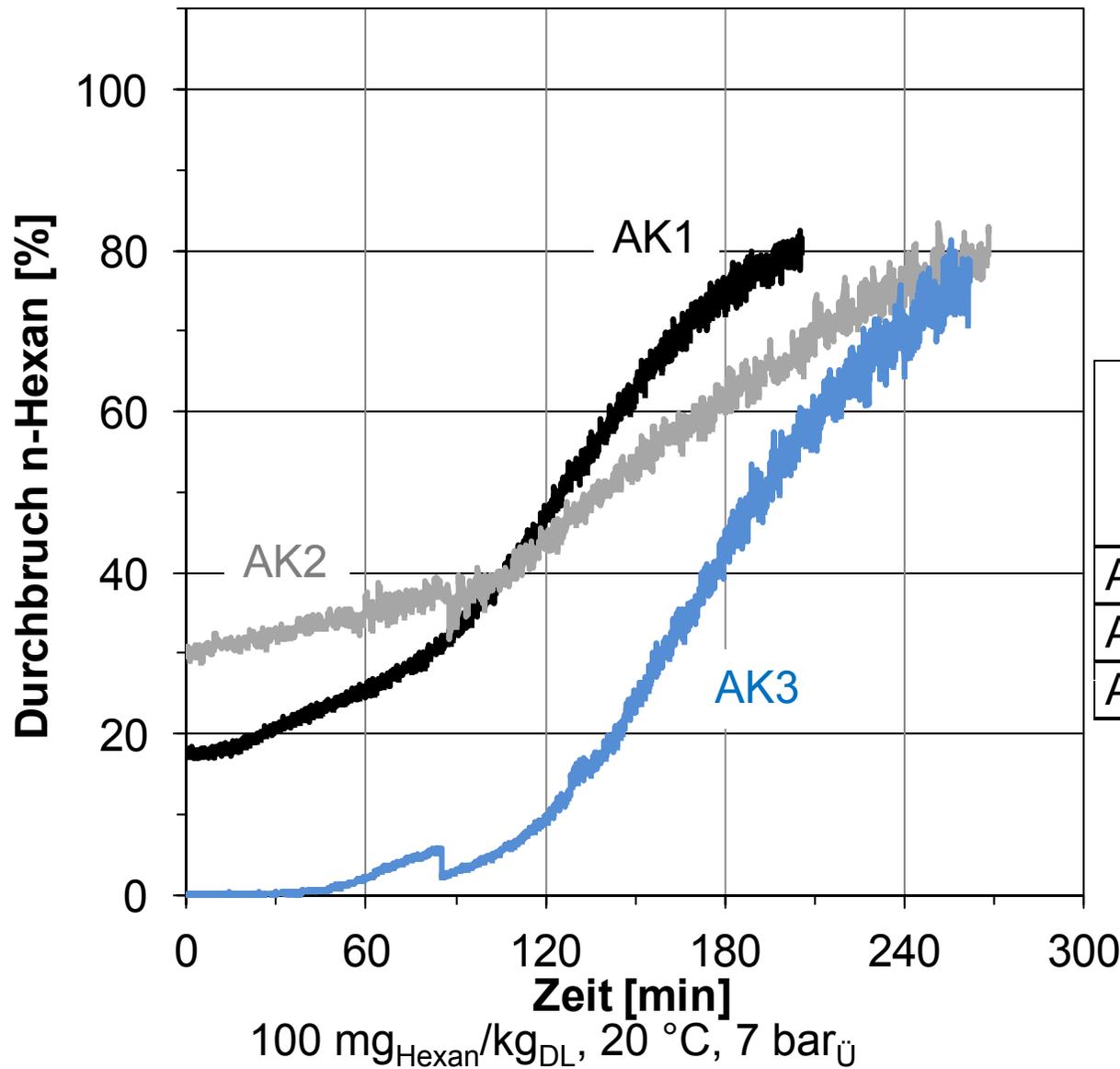
K_{E1} Druckluft-Filter – plissiertes Medium – 100 mg/kg



für $t_R = 5$ h und $x = 80$

	Volumen- strom	Δp	K_{E1}
	m ³ /h	mbar	* 10 ⁸
pM1	50	107,5	0,1
pM2	65	233,4	0,3
pM3	65	237,0	0,4
pM4	65	236,0	0,6

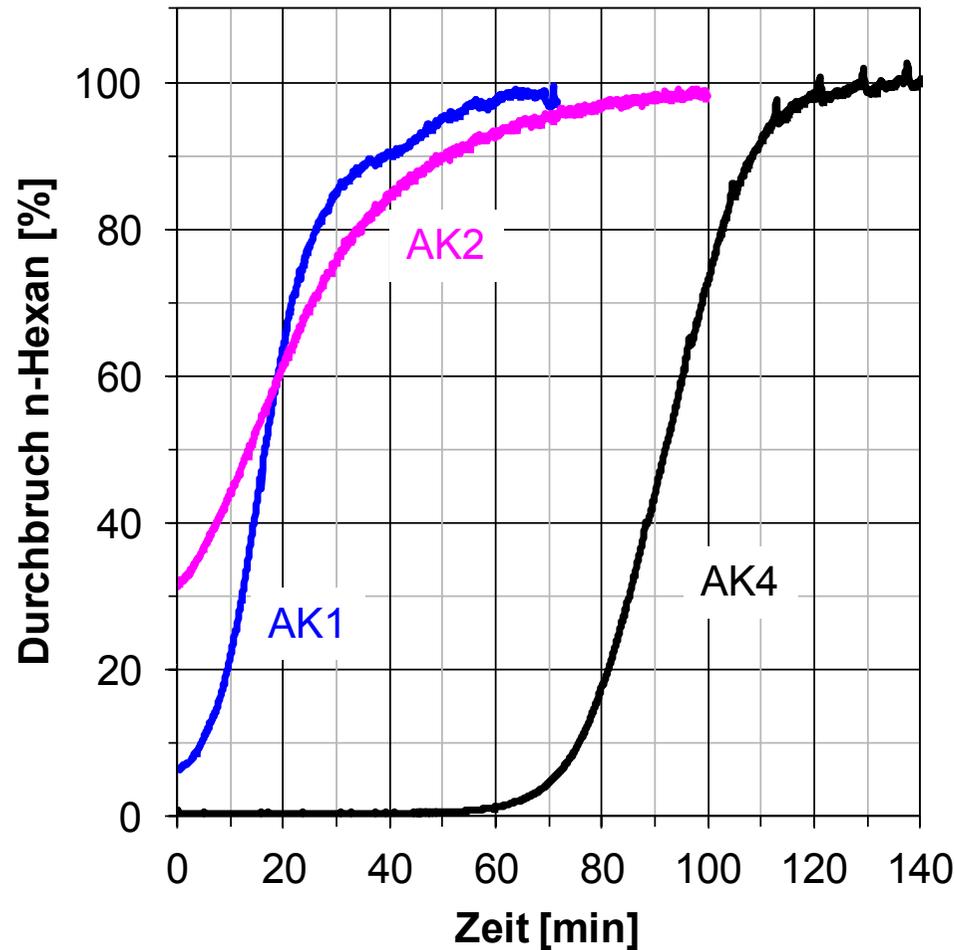
K_{E1} für Druckluft-Filter – Kartuschen – 100 mg/kg



für $t_R = 5$ h und $x = 80$

	Volumen- strom	Δp	K_{E1}
	m ³ /h	mbar	* 10 ⁸
AK1	75	19,9	85,7
AK2	75	20,4	90,0
AK3	75	153,8	22,5

K_{E1} für Druckluft-Filter – Kartuschen – 1000 mg/kg



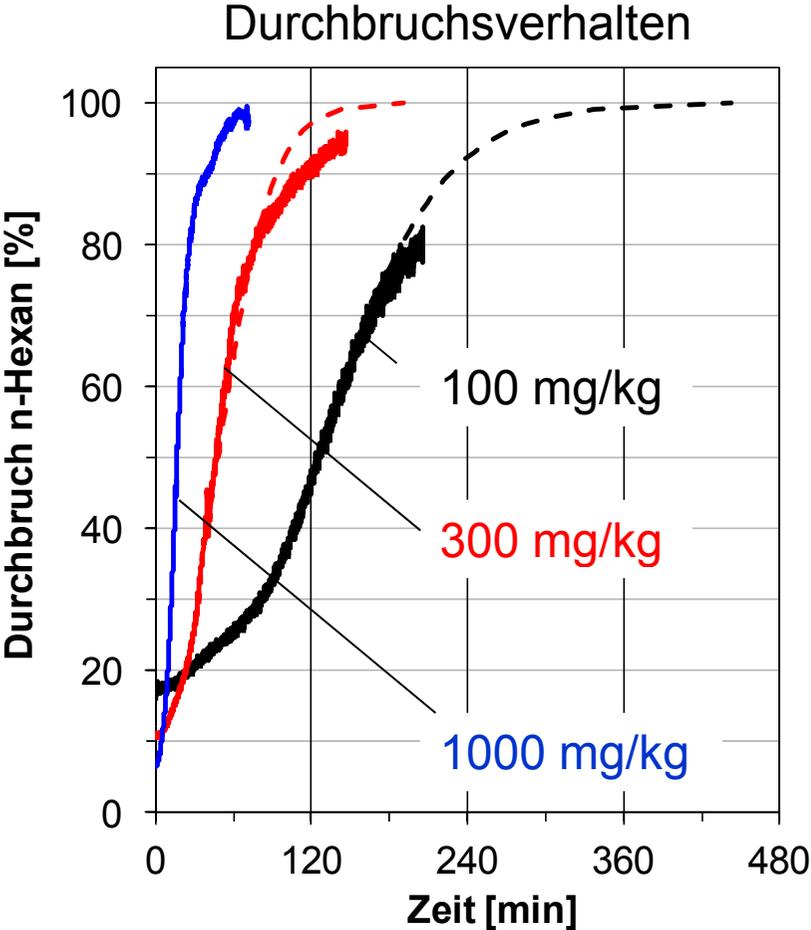
1000 mg_{Hexan}/kg_{DL}, 20 °C, 7 bar_Ü

für $t_R = 5$ h und $x = 80$

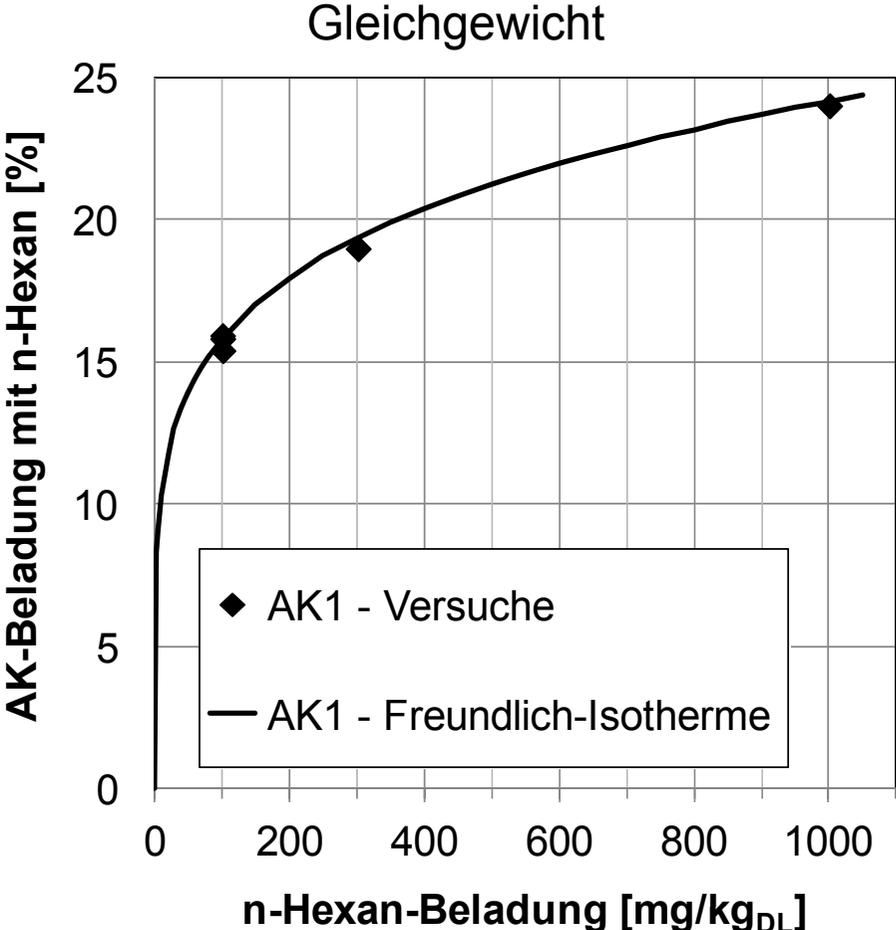
	Volumen- strom	Δp	K_{E1}
	m ³ /h	mbar	* 10 ⁸
AK1	75	20,6	13,1
AK2	75	23,6	10,7
AK4	90	145,3	16,0

..... bei gesonderter Betrachtung von
mit 100 oder 1000 mg_{Hexan}/kg_{DL} getesteten Filtern
⇒ plausible Kennziffern

Einfluss Testkonzentration auf K_{E1}



20 °C, 7 bar_ü, 75 m³/h, Δp ca. 20 mbar



⇒

$K_1(100 \text{ mg/kg})$	=	85,7
$K_1(300 \text{ mg/kg})$	=	34,3
$K_1(1000 \text{ mg/kg})$	=	13,1

K_{E2} mit Berücksichtigung der Testkonzentration



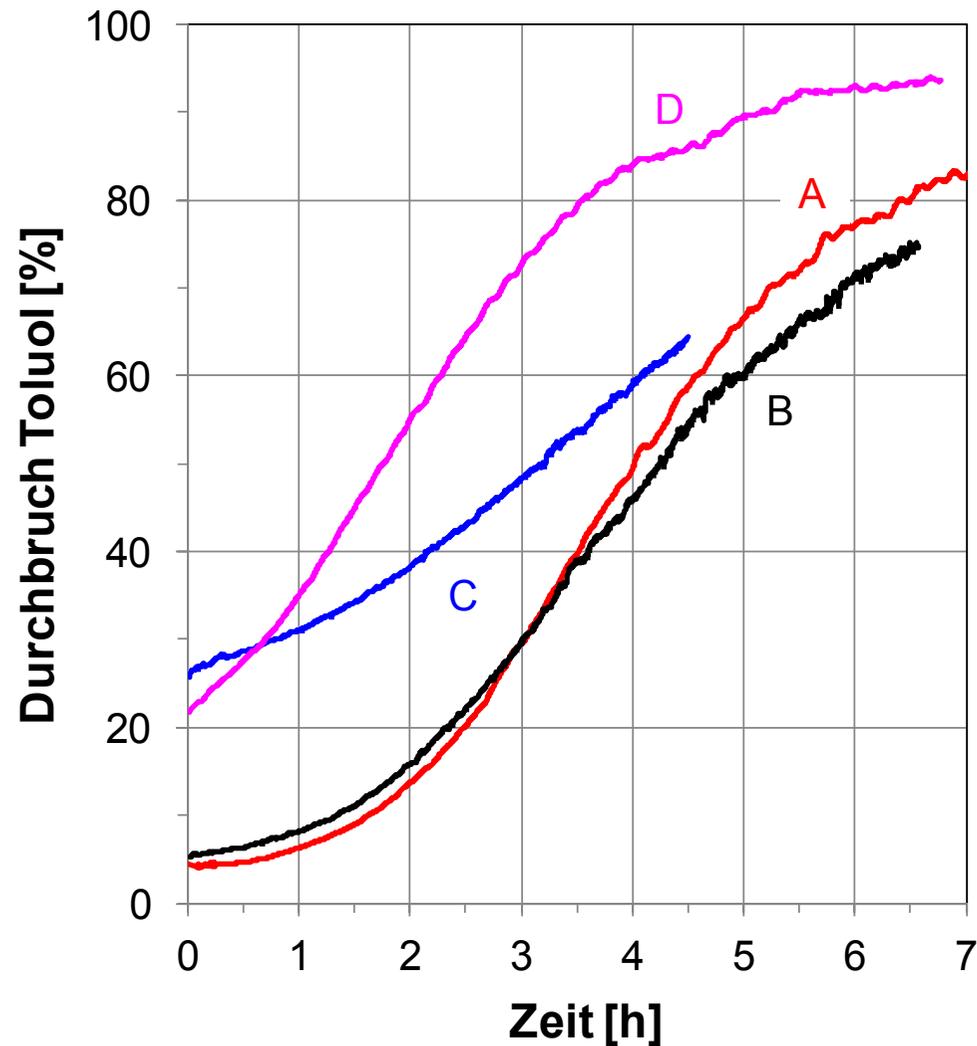
- ❖ bei steigender Testkonzentration sinkt die Durchbruchzeit
- ❖ zu berücksichtigen: - erhöhte zugeführte Masse
- verändertes Gleichgewicht
- ❖ Zusatzfaktoren in K_E : - Testkonzentration c_1 im Verhältnis zu 100 mg/kg
- Verhältnis der Gleichgewichtsbeladung 100 mg/kg und c_1

		
	K_{E2}	
$K_{E1}(100 \text{ mg/kg}) = 85,7$	$K_{E2}(100 \text{ mg/kg}) = 86,11$	
$K_{E1}(300 \text{ mg/kg}) = 34,3$	$K_{E2}(300 \text{ mg/kg}) = 84,37$	
$K_{E1}(1000 \text{ mg/kg}) = 13,1$	$K_{E2}(1000 \text{ mg/kg}) = 85,82$	

- ❖ Überprüfung an weiterem Filter erfolgreich
- ❖ Nachteil: Adsorptionsisotherme muss bekannt sein
- ❖ Abhilfe: evtl. feste Verhältnisse der Gleichgewichtsbeladung verwenden

Kennziffern für RLT-Filter

RLT-Filter: Durchbruchskurven von Toluol – V-Zellen



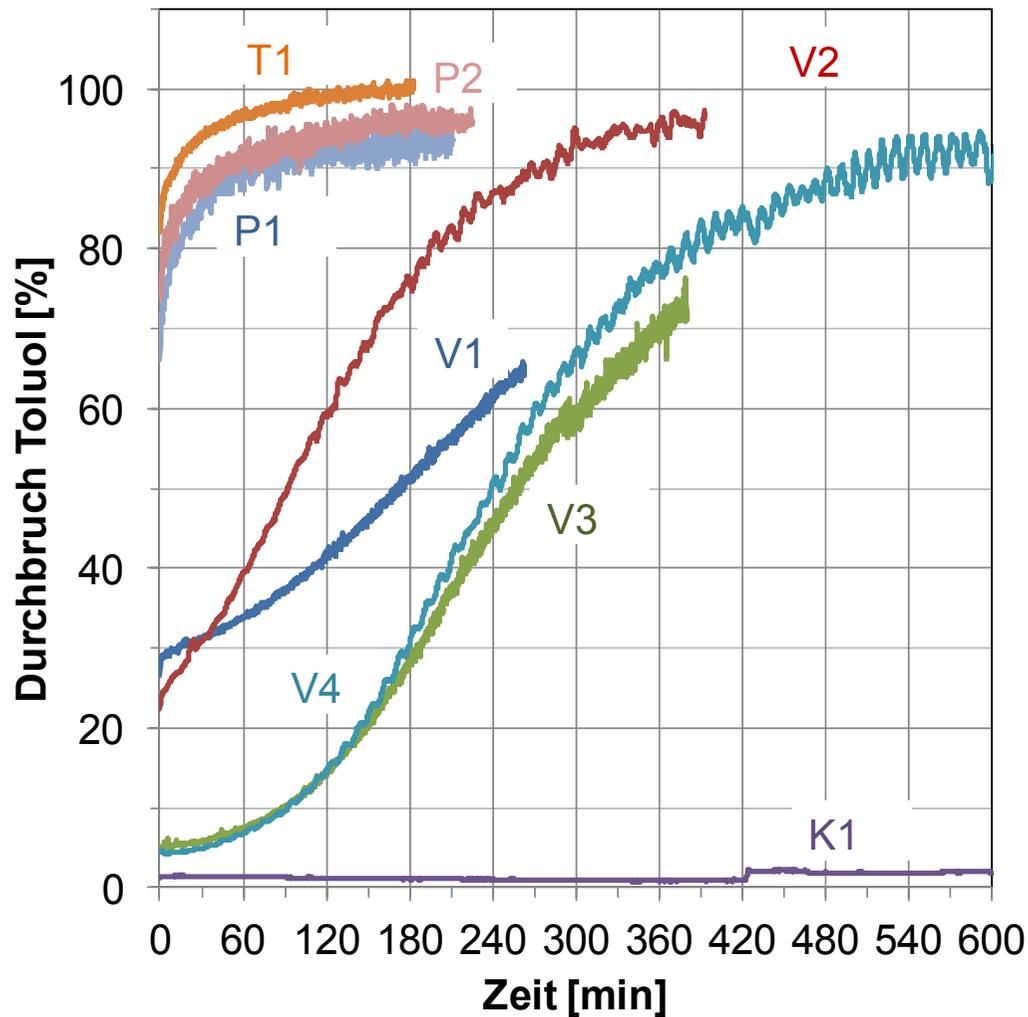
für $t_R = 10$ h und $x = 60$

V-Zelle	Δp	K_{E1}
	Pa	-
A	60	4,45
B	59	4,63
C	61	2,44
D	59	1,45

AK-Massen von ca. 2 – 4 kg

V-Zellen, 23 °C, 50 % r. F., c_1 Toluol = 9 ppm, 3400 m³/h

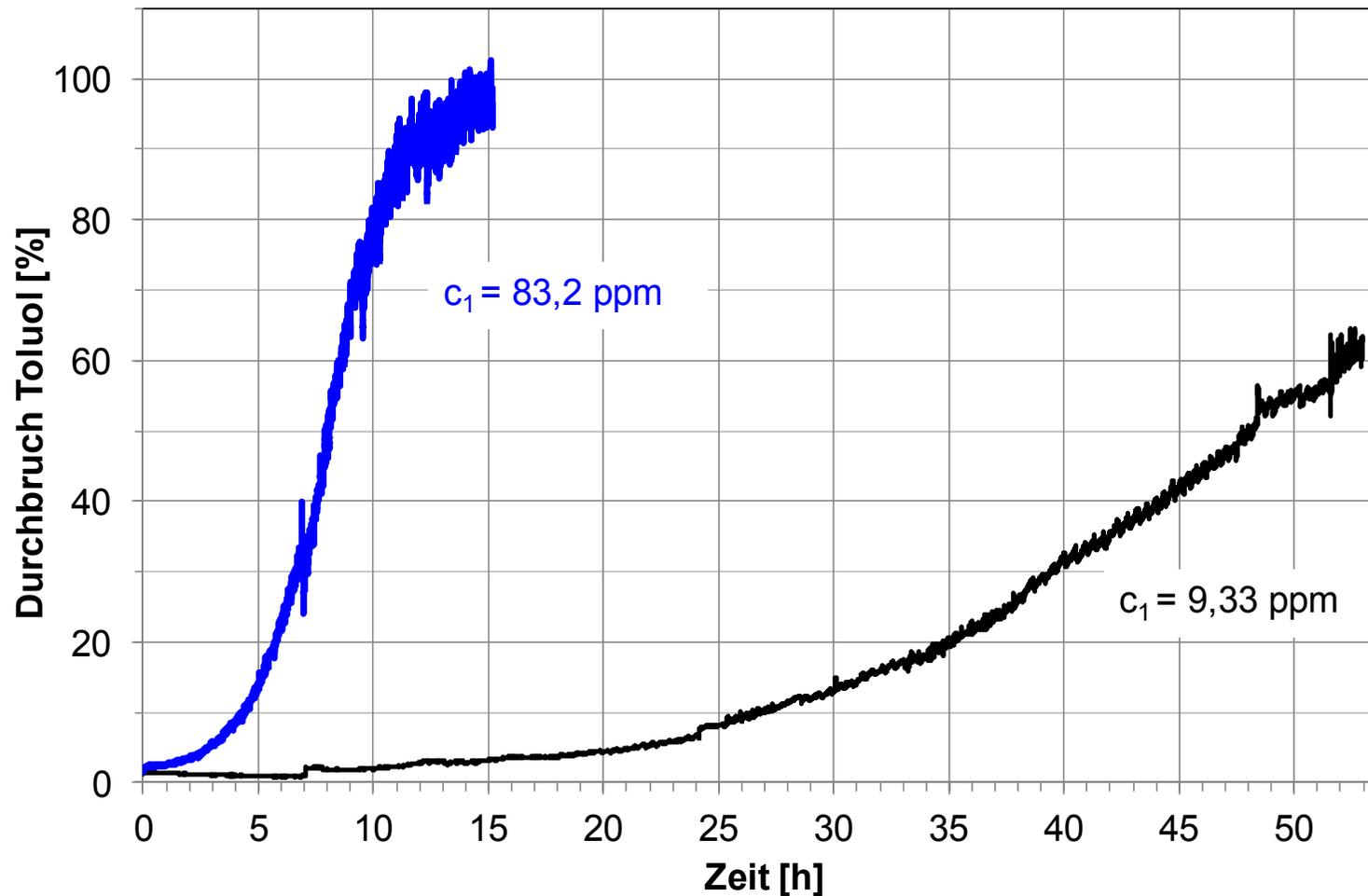
RLT-Filter: Durchbruchskurven von Toluol



9 ppm Toluol, 23 °C, 50 % r. F.

	Volumenstrom m ³ /h	Δp Pa	AK-Masse kg	K _{E1} * 10 ²
x = 60, T_R = 10 h				
V1	3.400	61	2 - 4	2,44
V2	3.400	59	2 - 4	1,45
V3	3.400	59	2 - 4	4,63
V4	3.400	60	2 - 4	4,45
x = 90, T_R = 10 h				
T1	3.400	117	< 0,5	0,003
P1	2.000	43	< 0,5	0,120
P2	2.000	40	< 0,5	0,090
K1	800	125	> 10	

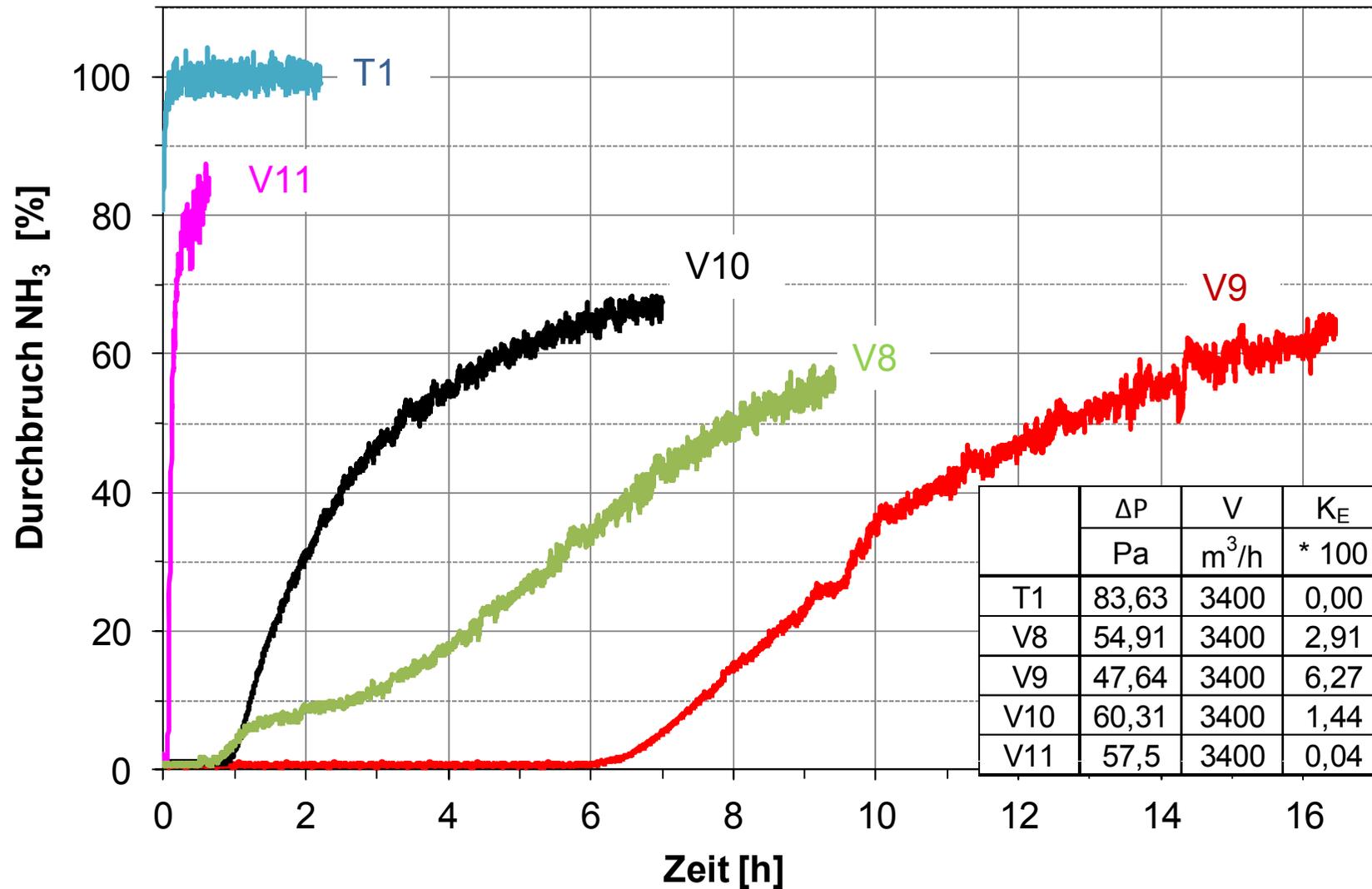
RLT-Filter: Durchbruchskurven von Toluol



Kartuschenfilter, 800 m³/h, Toluol, 23 °C, 50 % r. F.
⇒ $K_1(9 \text{ ppm}) = 1,47$ $K_1(83 \text{ ppm}) = 0,26$

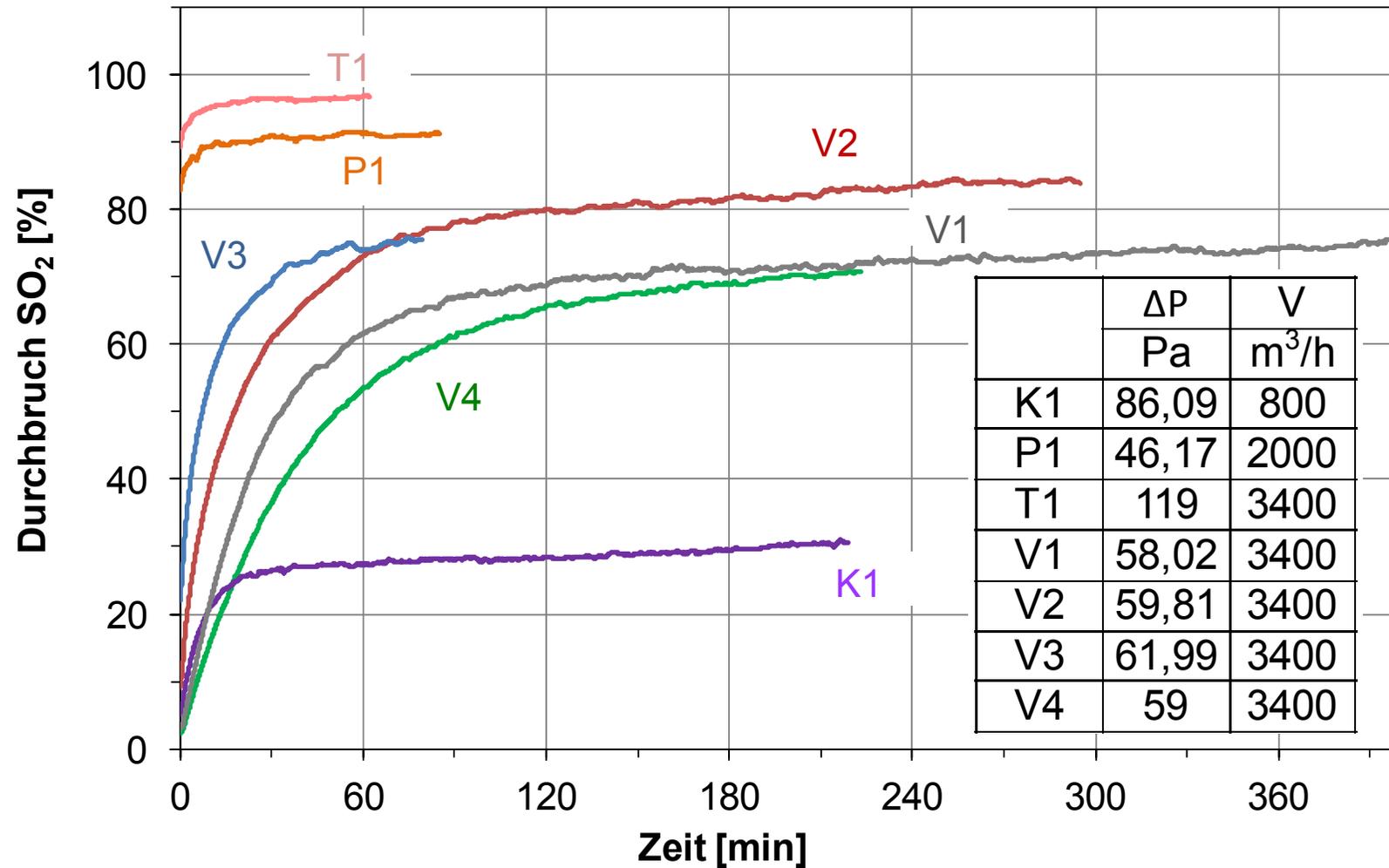
- für Kartuschenfilter evtl. Anpassung der Testkonzentration oder der Kennziffer
- bei V-Zellen, Panel- bzw. Taschenfilter bei gesonderter Betrachtung der Bauformen und angepasstem x
⇒ plausible Kennziffern

RLT-Filter: Durchbruchskurven von NH₃



9 ppm NH₃, 23 °C, 50 % r. F.

RLT-Filter: Durchbruchskurven von SO₂



9 ppm SO₂, 23 °C, 50 % r. F.

Für adsorptive RLT- und Druckluft-Filter:

- ❖ Schaffung eines Überblicks über die Leistungsfähigkeit von Adsorptionsfiltern
- ❖ Verknüpfung von Abscheideleistung und Energiebedarf
- ❖ Bereitstellung einfach handhabbarer Kennziffern

Danke



.... für Ihre Aufmerksamkeit

.... für die Förderung:

Das IGF-Vorhaben 19146 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



ALLIANZ
INDUSTRIE
FORSCHUNG