

INSTITUT FÜR
VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN
UND THERMODYNAMIK
A-8010 GRAZ (Telefonvorwahl [++43/316])
Inffeldgasse 21A Tel.: 873-7580 Fax 873-8080
e-mail: office@ivt.tugraz.at http://fvkm-thd.tugraz.at
VORSTAND: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut EICHLSEDER



Laborversuche im Rahmen des EU-Life- Projektes „SPAS“ Workpackage 4 LIFE06 ENV/A/000345-SPAS



Bericht Nr. I-05/2010/He VU09/06/I-630 vom 15.03.2010

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden.
Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist vorher die schriftliche
Genehmigung der Ersteller einzuholen.

Laborversuche im Rahmen des EU-Life-Projektes „SPAS“

Workpackage 4

Bericht

		Datum	Unterschrift
Freigegeben	Ao. Univ.-Prof. Dr. Peter Sturm	26.03.10	
Erstellt	Dipl.-Ing. Mathias Henn	26.03.10	

Bericht Nr. I-05/2010/He VU09/06/I-630 vom 15.03.2010

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 AUFGABENSTELLUNG	5
2 DAS „SPAS“ SYSTEM.....	5
3 FILTERPRÜFSTAND.....	6
4 ABKÜRZUNGEN	6
5 UNTERSUCHUNGSMETHODIK	7
5.1 Messaufbau	7
5.2 Messanordnung.....	8
5.3 eingesetzte Messtechnik	9
6 TAUGLICHKEITSKRITERIEN	10
7 GETESTETE MATERIALIEN.....	10
8 QUALITÄTSSICHERUNG	11
9 ERGEBNISSE.....	12
9.1 Hanf	12
9.1.1 Hanf 1	12
9.1.2 Hanf 2.....	13
9.1.3 Hanf 3.....	14
9.2 Stahlwolle	14
9.3 Deutsche D50	15
9.4 Deutsche D30	16
9.5 Heraklith DP5-20	17
9.6 Heraklith D20+D30	18
9.7 Ultra-web®.....	19
9.8 Sackfilter.....	20

9.9	D60+F300.....	21
9.10	RG20+F6.....	22
9.11	RG30-2+F300.....	23
9.12	RG30-30+F6.....	24
9.13	RG40+F6.....	25
9.14	F300	26
9.15	DP5-20 + F6	26
9.16	DP5 kaschiert	27
9.17	DP 7.....	28
10	SONDERMESSUNGEN	29
10.1	CO und NO _x	29
10.2	Partikelanzahl und Größenverteilung.....	30
11	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG	32
12	ALLFÄLLIGE SCHWIERIGKEITEN /ANMERKUNGEN.....	33
13	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	34
14	TABELLENVERZEICHNIS	46
15	LITERATURVERZEICHNIS.....	47

1 AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des EU-Life Projektes „SPAS“ sind im Arbeitspaket 4 Laborversuche vorgesehen, um aus verschiedenen Filtermaterialien die für das Projekt SPAS optimale Kombination zu ermitteln. Zum einen musste den technischen Notwendigkeiten genüge getan werden (niedrige Widerstände der Filter, hohe Staubabscheidung), zum anderen wurde auch auf ökologische und praktische Aspekte Rücksicht genommen (Recyclingfähigkeit und Handhabung). Nicht zuletzt musste ein eigener Filter für den Einsatz im Tunnel gefunden werden, da dort auf spezielle Vorgaben geachtet werden muss (Brandbeständigkeit etc.). Untersucht wurde auch die Auswirkung auf die Partikelanzahl und Größenverteilung sowie eine mögliche Beeinflussung der CO und NO_x Konzentrationen.

2 DAS „SPAS“ SYSTEM

SPAS steht für „Sound and Particulate Absorbing System“. Ziel dieses neuartigen Systems ist eine doppelt positive Wirkung hinsichtlich Schall und Feinstaub zu erreichen. Um ein möglichst breites Anwendungsspektrum zu schaffen, wurden im Rahmen dieses Projektes drei verschiedene Varianten von SPAS entwickelt und untersucht. Die integrierte Version bietet sich für neu zu errichtende Lärmschutzwände an, die Nachrüstversion besteht aus Filterelementen, mit denen bereits existierende Lärmschutzwände adaptiert werden können. Zusätzlich wurde eine Tunnelvariante entwickelt, da in Tunnels auf Grund der Strömungsverhältnisse ein großes Filterpotential erwartet wird.

Die Grundidee basiert auf der Kombination einer herkömmlichen Lärmschutzwand mit Filterelementen zur Feinstaubreduktion. Da ein Großteil der verkehrsbedingten PM₁₀ Emissionen aus Abrieb und Wiederaufwirbelung kommen, bietet sich hier die Möglichkeit diese Partikel möglichst emissionsnah, also direkt am Straßenrand, der weiteren Ausbreitung zu entziehen. Ein Filtereffekt wird erwartet, da zum einen durch die Druckwelle, die vor allem schwere Nutzfahrzeuge vor sich herschieben, zum anderen durch Winde, bzw. Luftströmungen partikelbeladene Luft durch die Filter vor der Lärmschutzwand gepresst wird. In Abbildung 1 ist ein SPAS Element in Kombination mit einer LSW abgebildet.

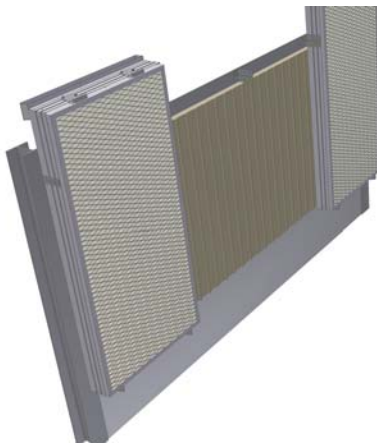


Abbildung 1: Zeichnung eines SPAS Elementes auf einer LSW

Das Projektteam besteht aus mehreren Partnern aus dem wissenschaftlichen Bereich (TU Graz, Kompetenzzentrum Virtuelles Fahrzeug), der öffentlichen Hand (Magistrat Klagenfurt am Wörthersee, Land Kärnten) und privater Firmen (CBS, Forster, Rieder, Knauf). Für Details betreffend anderer Themengebiete als die messtechnischen Begleituntersuchungen wird auf die Fachberichte der Projektpartner verwiesen.

3 FILTERPRÜFSTAND

Um die Filtermaterialien unter möglichst realistischen aber kontrollierbaren Bedingungen testen zu können, wurde ein Prüfstand in einem Betriebsgebäude des Plabutschunnels betrieben. Mit Tunnelluft (Straßenstaub und Abgase) wurden die einzelnen Filtermaterialien getestet.

Aus dem Abluftkanal des Plabutschunnels wurde Luft mittels eines drehzahlgeregelten Ventilators angesaugt und über eine definierte Rohrstrecke durch die zu untersuchenden Filter geführt. Über den Ventilator können verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten und damit Volumenströme im Prüfstand bzw. im Filter erreicht werden. Abbildung 2 zeigt ein Bild des Prüfstandes.



Abbildung 2: Filterprüfstand am Plabutschunnel

4 ABKÜRZUNGEN

PM ₁₀	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 µm („Feinstaub“)
TSP	Gesamtstaub
NO _x	Stickoxide
TMW	Tagesmittelwert
HMW	Halbstundenmittelwert
MW1	1h Mittelwert
mg/m ³	Milligramm pro Kubikmeter
µg/m ³	Mikrogramm pro Kubikmeter
1 mg/m ³ = 1000 µg/m ³	

SPAS	Sound and Particle Absorbing System
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
CPC	Condensation Particle Counter
\dot{V}	Volumenstrom [m^3/s]

5 UNTERSUCHUNGSMETHODIK

5.1 MESSAUFBAU

Wie bereits beschrieben, wurde eigens ein Filterprüfstand entworfen und installiert. Dieser wurde im sogenannten Windenhaus des Plabutschtunnels in Graz betrieben. Das Windenhaus ist ein Zugang zum Lotschacht des Plabutschtunnels und befindet sich etwa 100 m über dem Tunnel auf dem Bergrücken des Plabutsch. In Abbildung 3 ist ein Computermodell des Prüfstandes dargestellt.

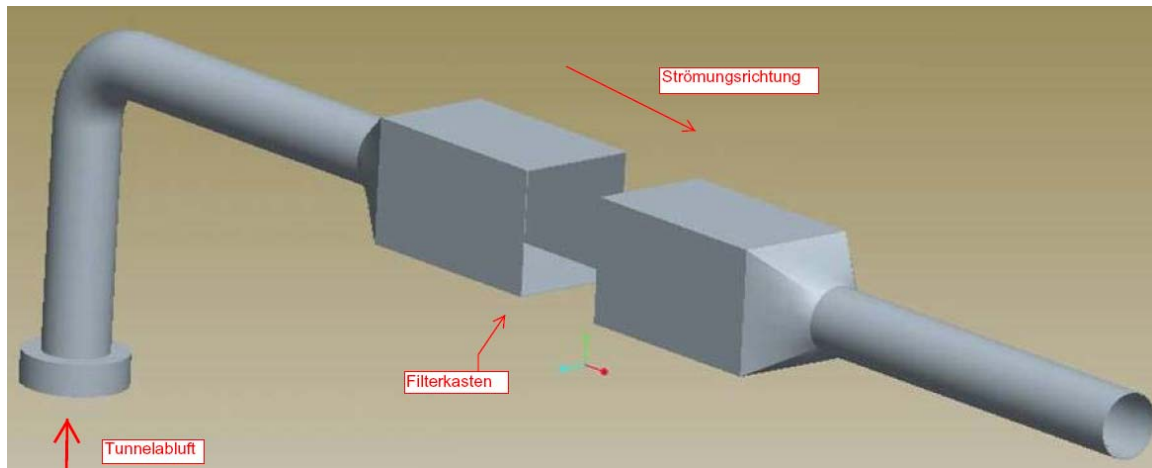


Abbildung 3: 3D-Modell des Filterprüfstandes mit aufgeschnittenem Filterkasten

Um die verschiedenen Filtermaterialien möglichst einfach und schnell wechseln zu können, wurde auf standardisierte Filterhalter aus der Lüftungstechnik zurückgegriffen (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4: Filterkasten (links) und Filterhalter mit eingebautem Testfilter (rechts)

Die Ansaugung der Tunnelabluft erfolgte über einen Stutzen, der direkt mit dem Lotschacht des Abluftsystems des Plabutschtunnels verbunden ist (vgl. Abbildung 5).



Abbildung 5: Ansaugstutzen des Filterprüfstandes

5.2 MESSANORDNUNG

Um immer unter möglichst gleichen Bedingungen messen zu können, wurden verschiedene Messpunkte am Prüfstand definiert und fix montiert. In Abbildung 6 sind diese schematisch dargestellt. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde nach einer ausreichend langen Einlaufstrecke noch im kreisrunden Rohrdurchmesser erfasst, um ein möglichst exaktes Ergebnis zu erzielen. Der Differenzdruck wurde unmittelbar vor und nach dem Filterkasten abgenommen. Im Filterkasten selbst, vor und hinter des zu testenden Filters, wurde die Staubmessung montiert. Die Differenz dieser beiden Staubmessungen bezogen auf die Staubkonzentration vor dem Filter liefert die Abscheidung des Filters.

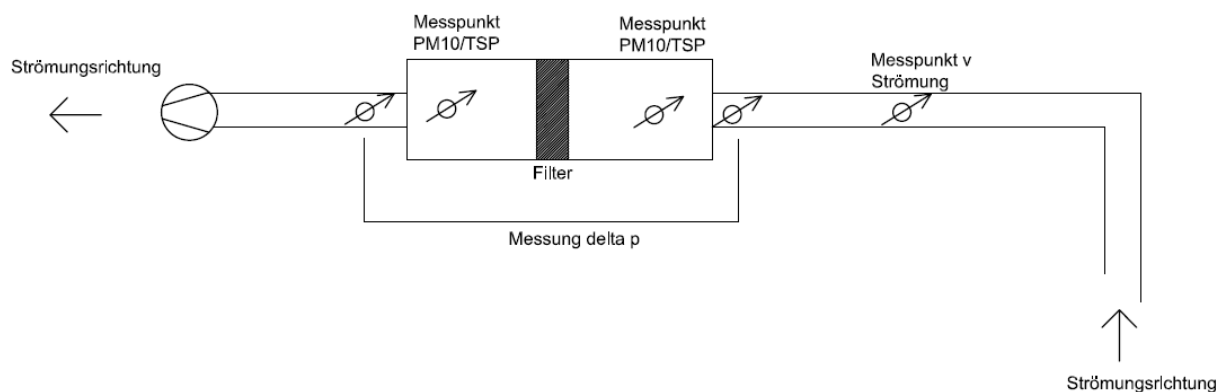


Abbildung 6: Skizze des Prüfstandes mit Messpunkten

5.3 EINGESETZTE MESSTECHNIK

Die PM₁₀ bzw. TSP Messungen erfolgten mit TEOM® 1400a Geräten der Firma Ruppert und Patashnik. Die Partikelanzahl und Größenverteilung wurde mit einem SMPS System in Kombination mit einem CPC der Firma TSI aufgenommen.



Abbildung 7: Symbolbild TEOM 1400a Quelle: R&P, Symbolbild SMPS / CPC Quelle: TSI Incorporation

Die NO_x und CO Konzentrationen wurden mit standardisierten Luftgütemessgeräten auf Basis der Chemilumineszenz (API 200A) bzw. der Infrarot-Absorption (API 300A) erfasst (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8: Symbolbild API 200A bzw. API 300A Quelle: teledyne Instruments

Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit einem Flügelradanemometer der Firma Testo bzw. mit einem Heißfilmanemometer der Firma Höntzsch erfasst (vgl. Abbildung 9).

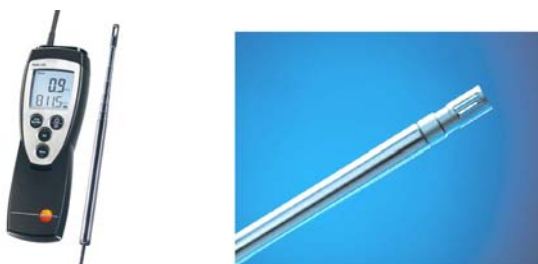


Abbildung 9: Symbolbild Flügelradanemometer (links) Quelle: Testo, Symbolbild Heißfilmanemometer (rechts) Quelle: Höntzsch

Die Datenerfassung erfolgte mittels airhopper® bzw. über eine analoge Datenerfassung (Modell Dewe Rack® von Dewetron) (vgl. Abbildung 10).



Abbildung 10: Symbolbild airhopper® (links) Quelle: MLU, Symbolbild Dewe Rack® (rechts) Quelle: Dewetron

Zur Messung des Differenzdrucks kamen sowohl ein Druckmessumformer als auch ein Handmessgeräte zum Einsatz (vgl. Abbildung 11).



Abbildung 11: Druckmessgerät Wöhler (links) Quelle: Wöhler, Druckmessumformer P26 (rechts) Quelle: Halstrup Walcher

6 TAUGLICHKEITSKRITERIEN

In der Simulation des SPAS System wurden vom Projektpartner KVIF Kriterien aufgestellt, die das potentielle Filtermaterial erfüllen muss, um die Funktionstüchtigkeit von SPAS zumindest theoretisch zu garantieren. Maßgebend ist dabei der Differenzdruck, der sich über das potentielle Filtermaterial aufbaut. Dieser sollte im vorliegenden Fall 40 Pa nicht übersteigen. Ziel war es deshalb ein Filtermaterial zu finden, das einen Differenzdruck von unter 40 Pa im System bewirkt.

Für die Leistungsfähigkeit der Filter wurde eine Mindestabscheiderate von 60-70 % bei den vom Projektpartner KVIF simulierten Durchströmungsgeschwindigkeiten von etwa 0,15 m/s festgelegt.

7 GETESTETE MATERIALIEN

Die getesteten Materialien wurden vom Projektpartner C.B.S. zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden etwa 20 verschiedene Materialien bzw. Materialkombinationen untersucht. Hauptaugenmerk wurde dabei auf den sich einstellenden Differenzdruck und die Staubabscheidung gelegt. Wurde eines der beiden Kriterien nur unzureichend erfüllt, wurde das

Material verworfen und nicht weiter untersucht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die untersuchten Materialien.

Ursprünglich wurde vom Projektpartner C.B.S. auf alternative Filtermaterialien wie etwa Hanf oder Stahlwolle gesetzt. Da sich diese im Laufe der Untersuchungen aber als nicht brauchbar herausgestellt haben, wurde in weiterer Folge auf Filtermaterialien aus der Industrie zurückgegriffen.

Tabelle 1: Übersicht über die getesteten Materialien

Material	PM ₁₀	TSP	delta p
Hanf 1	X		
Hanf 2	X		X
Hanf 3	X		
Stahlwolle		X	X
Deuschle D50		X	X
Deuschle D30		X	X
Heraklith DP5-20		X	X
D20+D30		X	X
Ultraweb		X	X
Sackfilter	X		X
D60+F300		X	X
RG20+F6	X		X
RG30-2+F300	X		X
RG30-30+F6	X		
RG40+F6	X		X
F300		X	X
Heraklith DP5-20 + F6	X		X
DP5 schwarz kaschiert	X		X

8 QUALITÄTSSICHERUNG

Um die Qualität der Messergebnisse zu sichern, wurden nur kalibrierte Messgeräte eingesetzt. Außerdem wurden in regelmäßigen Abständen Vergleichsmessungen an den Messpositionen vor und nach Filter für PM₁₀/TSP bzw. CO und NO_x ohne Filter vorgenommen.

Aus Abbildung 12 ist ersichtlich, dass ohne den Einsatz eines Filters beide für die Staubmessung eingesetzten Messgeräte dieselben Werte anzeigen. Die Korrelation ist mit $R^2=0,997$ und einer Steigung der Ausgleichsgeraden von 0,97 sehr gut.

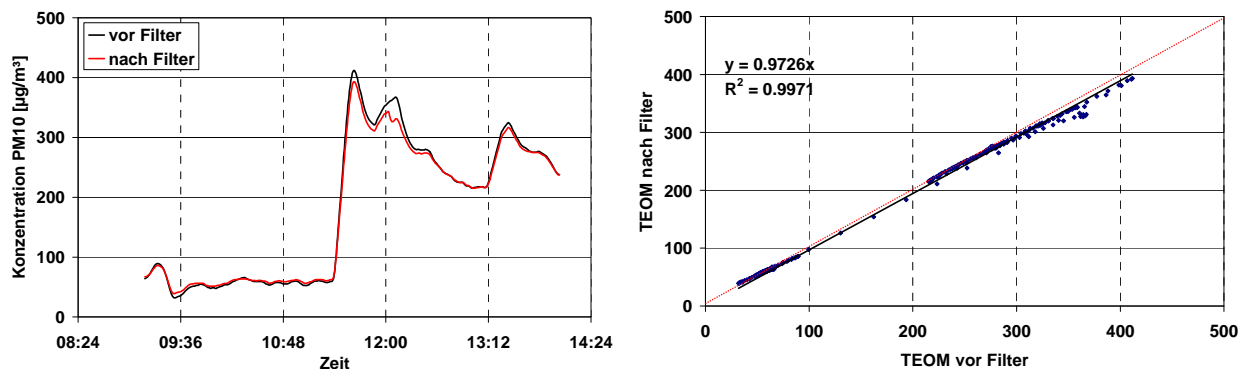


Abbildung 12: Zeitverlauf (links) und Korrelation (rechts) beider Messgeräte für PM₁₀ ohne Filter

9 ERGEBNISSE

Im Folgenden sind die Ergebnisse für die einzelnen Materialien aufgeführt.

9.1 HANF

Bei den Hanffiltern handelt es sich um Filtermatten, die aus Hanfschäben gepresst wurden. Bereits eine optische Begutachtung zeigte, dass die Hanfschäben relativ lose gepackt waren und man sogar durch den Filter hindurchschauen konnte. Es konnte daher nicht mit einer entsprechenden Abscheideleistung gerechnet werden. Zudem stellte sich Frage nach einer notwendigen chemischen Behandlung der Hanschäben, damit sie den Witterungseinflüssen im Feldversuch standhalten würden. Damit wäre der ökologische Vorteil dieses Materials wieder aufgebraucht.

Insgesamt wurden drei verschiedene Hanffilter (Hanf 1 bis Hanf 3) untersucht. Der Unterschied bestand vorwiegend in der Packungsdichte der Hanfschäben.

9.1.1 HANF 1

Abbildung 13 zeigt die PM₁₀ Messung für das Material Hanf 1. Zwar ist eine Abscheidung der PM₁₀ Konzentrationen über den Filter deutlich zu erkennen, diese liegt aber nur bei etwa 10 % der Eingangskonzentration. Damit scheidet diese Material von der weiteren Untersuchung aus.

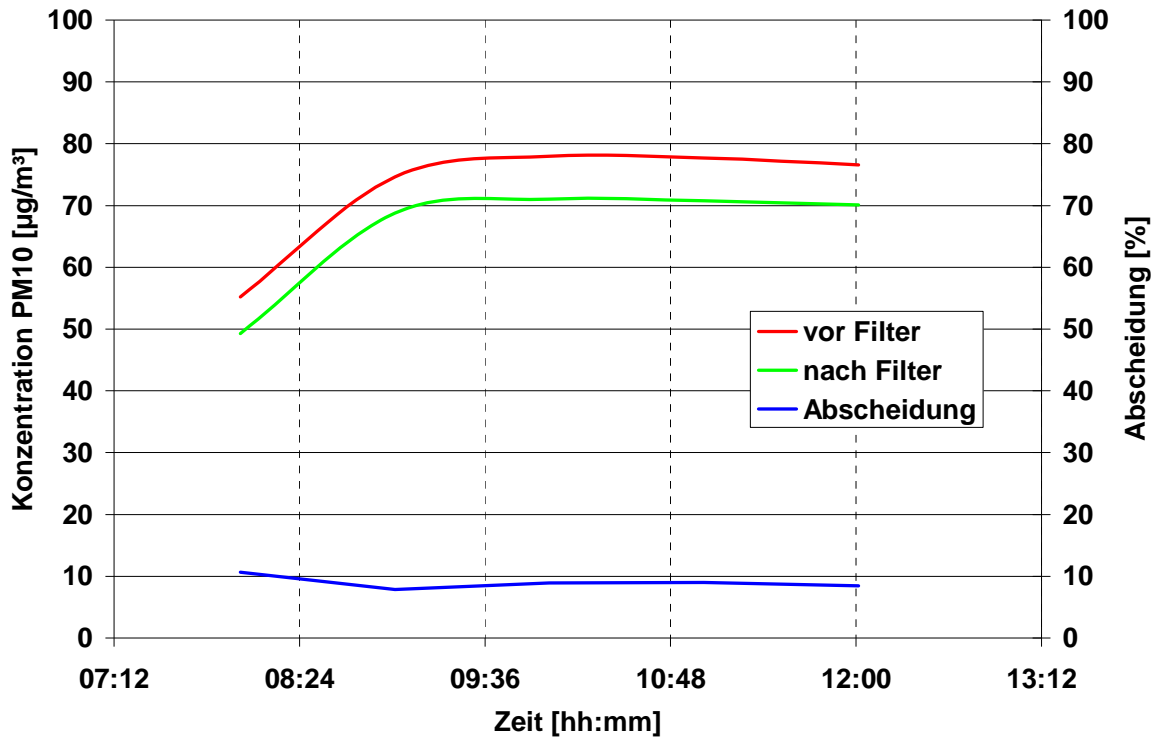
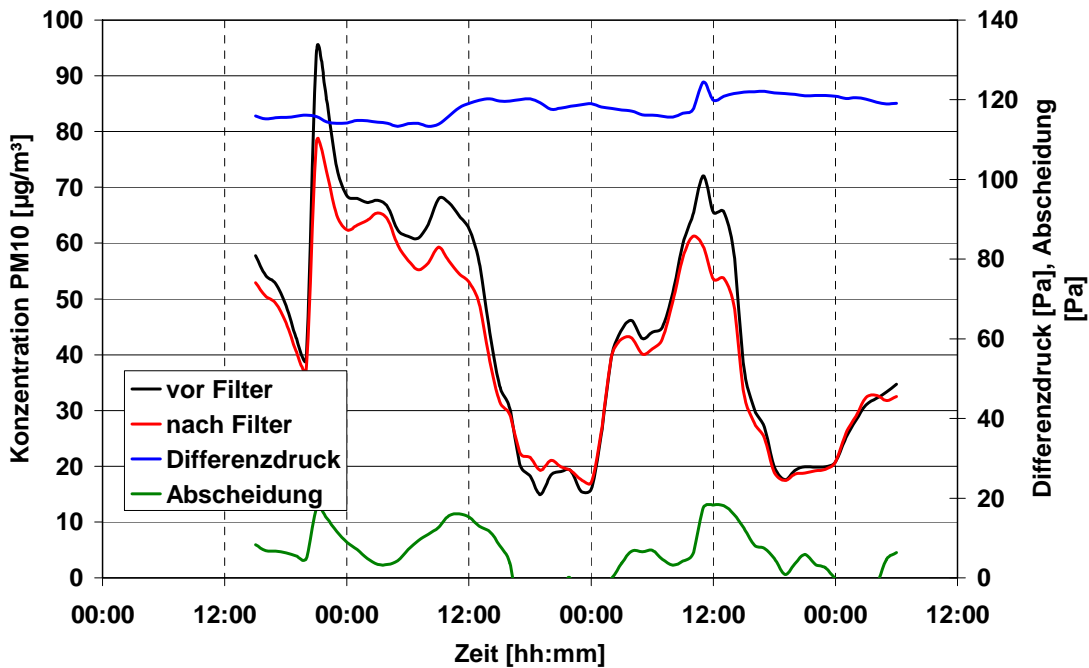


Abbildung 13: Messergebnisse (PM₁₀) für Hanf 1

9.1.2 HANF 2

Abbildung 14 zeigt die Messergebnisse für das Material Hanf 2. Sowohl der Differenzdruck mit 120 Pa, als auch die Abscheidung von kleiner 20 % zeigen, dass dieses Material für die Anwendung als SPAS Filter nicht geeignet war.



Abbildungun

g 14: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für Hanf 2

9.1.3 HANF 3

Ein ähnliches Bild zeigt sich für den Test des Materials Hanf 3. Hier ist der Differenzdruck mit etwas über 40 Pa zwar ausreichend klein, die Abscheiderate beträgt aber deutlich weniger als 10 %. Lediglich bei sehr hohen PM_{10} Konzentrationen ($> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) steigt auch die Abscheiderate – allerdings nicht im gewünschten Maß.

Deshalb kommt auch das Filtermaterial Hanf 3 für SPAS nicht in Frage.

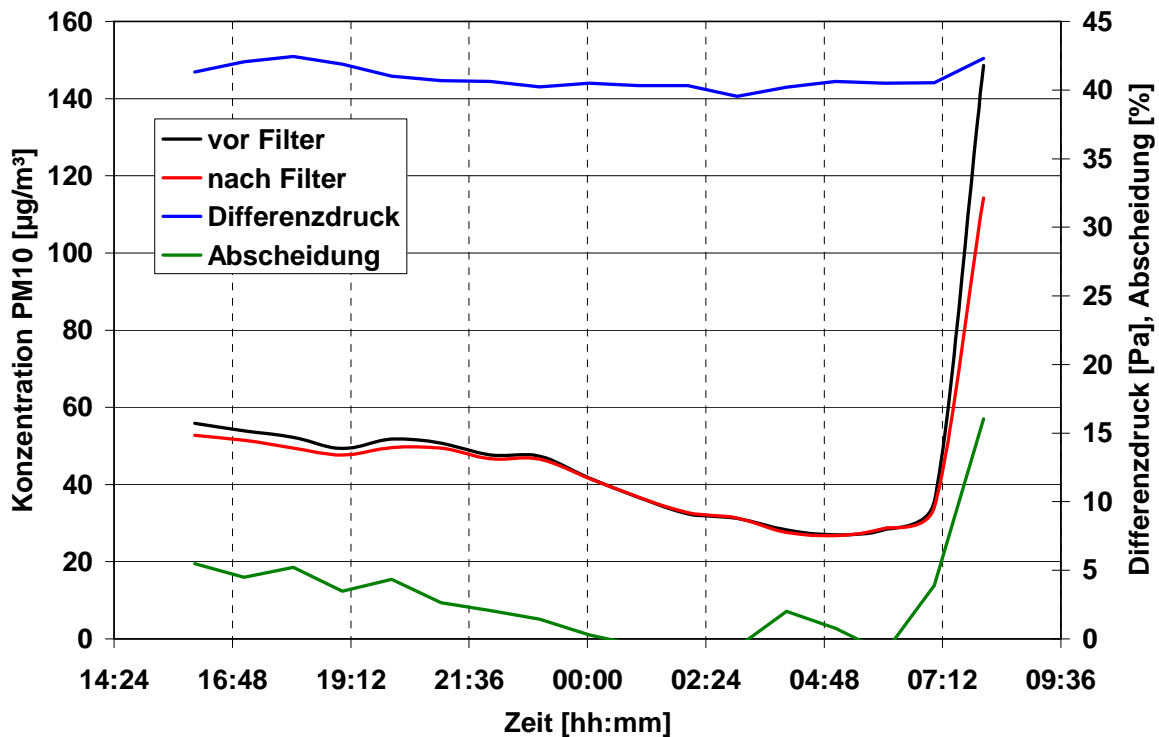


Abbildung 15: Messergebnisse (PM_{10} und Δp) für Hanf 3

9.2 STAHLWOLLE

Auch Stahlwolle wäre ein alternatives Filtermaterial. Wie aus Abbildung 16 ersichtlich, liegt der Differenzdruck mit etwa 20 Pa in einem günstigen Bereich, die mögliche Abscheidung von TSP ist mit maximal 15 % aber als unzureichend anzusehen.

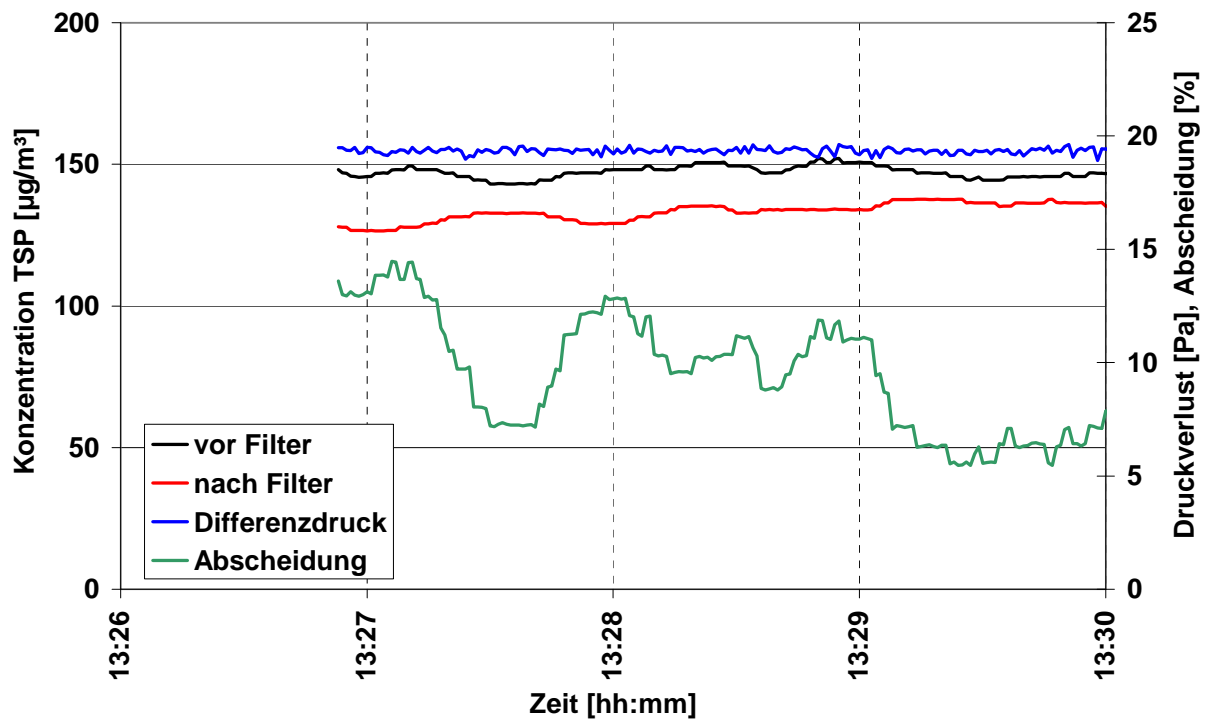


Abbildung 16: Messergebnisse (TSP und delta p) für Stahlwolle

9.3 DEUTSCHLE D50

Bei dem Material Deutsche D50 handelt es sich um eine Filtermatte aus dem industriellen Sektor der Firma Deutsche. Wie aus Abbildung 17 ersichtlich liegt für das Material Deutsche D50 der Differenzdruck immer deutlich über 100 Pa, womit sich das Material nicht als Filter für SPAS eignet. Der Anstieg des Differenzdrucks im Diagramm ist auf eine Variation der Geschwindigkeit im Filter zurückzuführen. Generell implizieren höhere Durchtrittsgeschwindigkeiten einen höheren Differenzdruck.

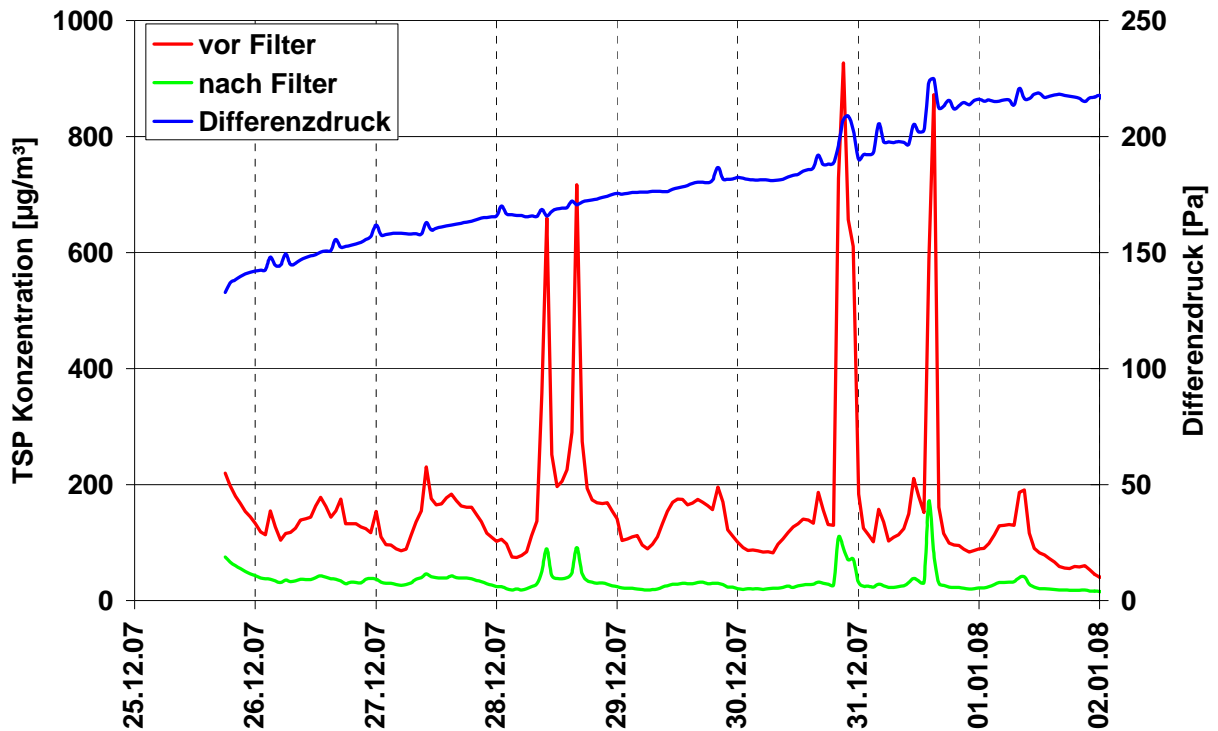


Abbildung 17: Messergebnisse (TSP und delta p) für Deutsche D50

9.4 DEUTSCHLE D30

Auch das Filtermaterial Deutsche D30 erfüllt nicht die Anforderungen für einen potentiellen Einsatz bei SPAS. Im Gegensatz zum Material Deutsche D50 ist der Differenzdruck zwar deutlich geringer (nur mehr etwa 80 Pa (vgl. Abbildung 18)), aber dennoch zu hoch. Grund für den niedrigeren Differenzdruck ist die geringere Dichte des Materials im Vergleich zum D50 Filter.

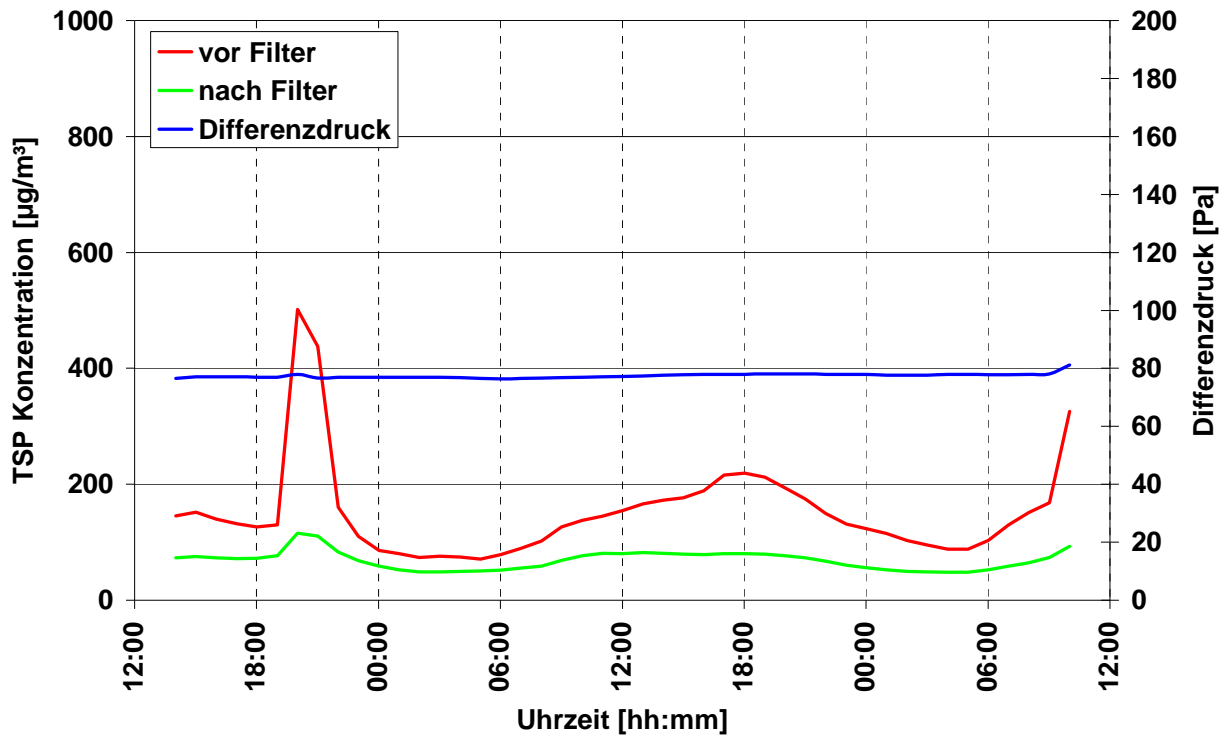


Abbildung 18: Messergebnisse (TSP und delta p) für Deutsche D30

9.5 HERAKLITH DP5-20

In Abbildung 19 sind die Ergebnisse für die Filtermatte DP5-20 des Projektpartners Heraklith dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass hier die Kombination aus Differenzdruck und Abscheidegrad ein akzeptables Maß erreicht. Bei nur 32 Pa Differenzdruck über den Filter können etwa 66 % der Staubpartikel abgeschieden werden. Dieser Filtertyp eignet sich daher für die erste Filterstufe der SPAS Elemente.

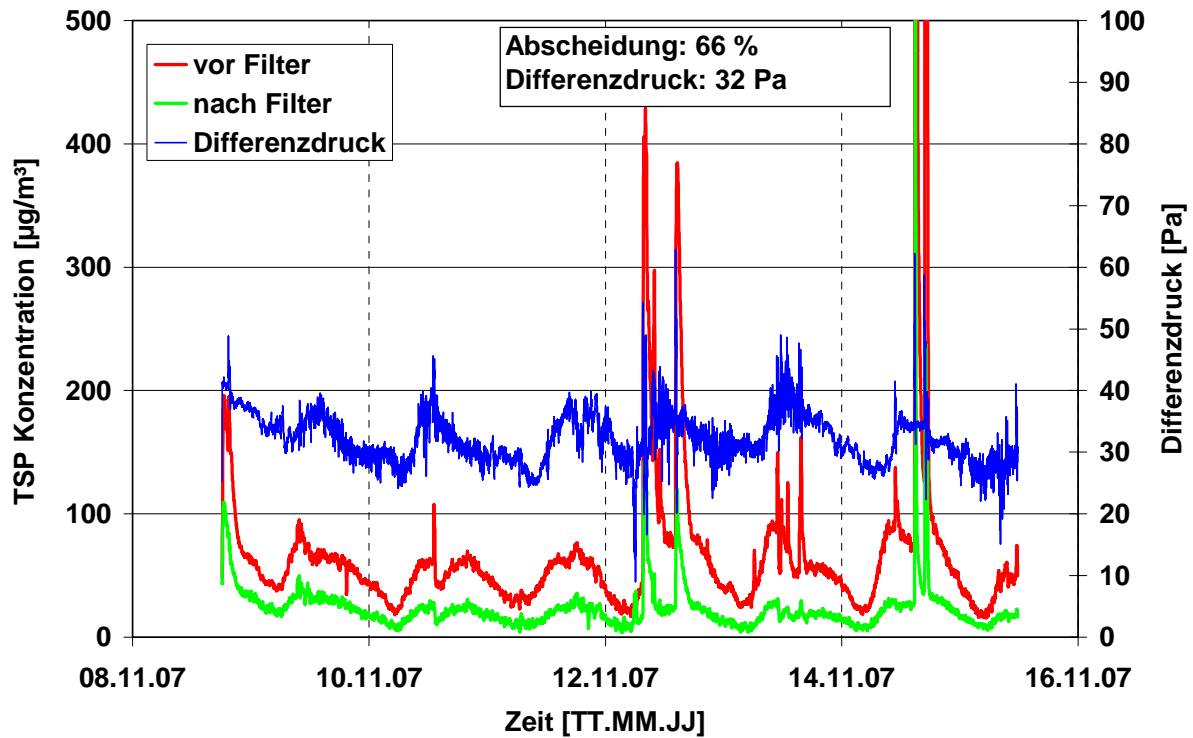


Abbildung 19: Messergebnisse (TSP und Δp) für Heraklith DP5-20

9.6 HERAKLITH D20+D30

In Abbildung 20 sind die Messergebnisse für eine Kombination der Filtertypen Heraklith D20+D30 dargestellt. Wie bereits mehrfach gezeigt liegt auch bei der Kombination D20+D30 der Differenzdruck mit über 140 Pa deutlich über den in Absatz 6 dargelegten Kriterien. Die Kombination D20+D30 kann daher nicht als SPAS Filter eingesetzt werden.

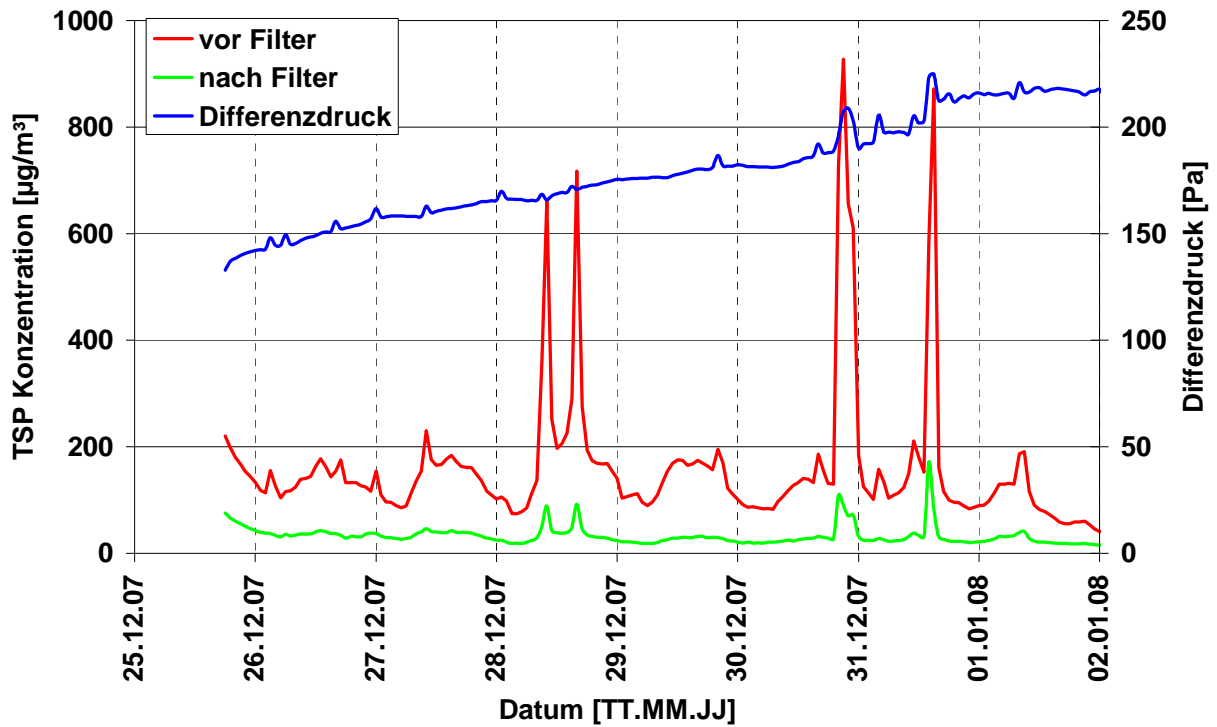


Abbildung 20: Messergebnisse (TSP und delta p) für Heraklith D20+D30

9.7 ULTRA-WEB®

Ultra-Web® ist ein Filtermaterial des amerikanischen Herstellers Donaldson. Es ist ein Nanofaser Hochleistungsfilterelement und wird in Entstaubungsanlagen eingesetzt. Die Messergebnisse sind in Abbildung 21 dargestellt. Auf Grund des relativ hohen Differenzdrucks von etwa 100 Pa kommt dieser Filter für eine Anwendung von SPAS nicht in Frage.

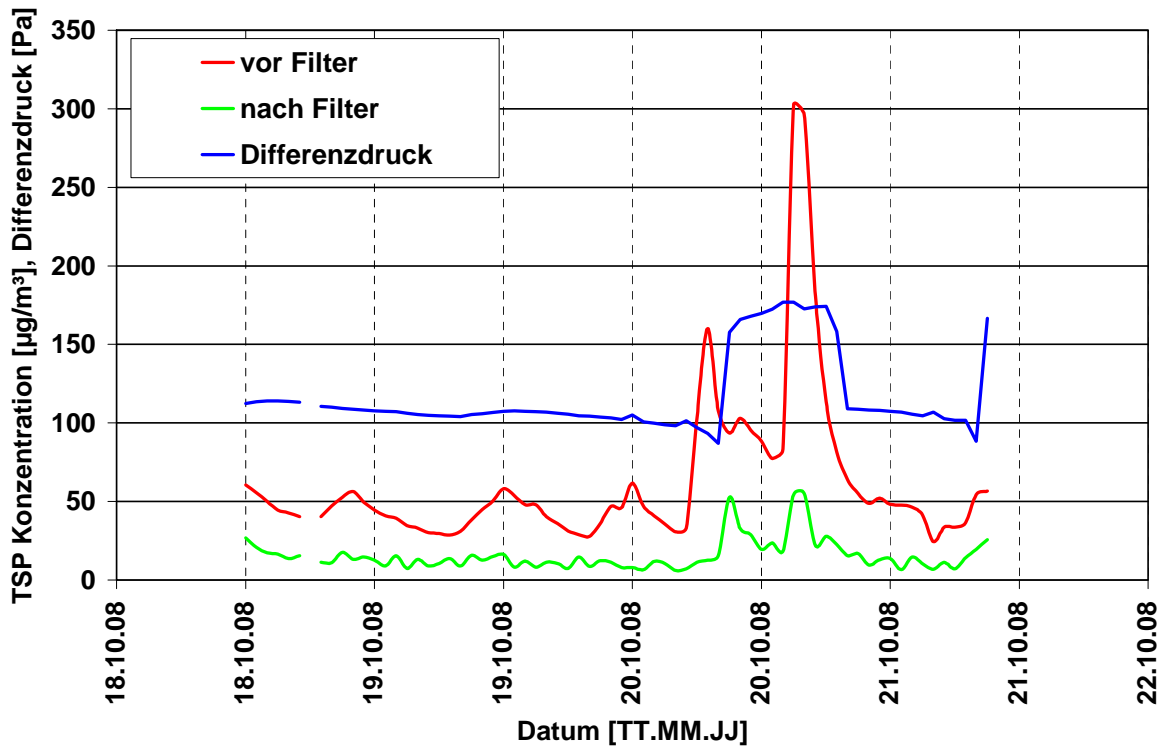


Abbildung 21: Messergebnisse (TSP und delta p) für Ultraweb®

9.8 SACKFILTER

Als Vergleich zu den getesteten Filtern, wurde ein standardisierter Sackfilter, wie er auch in der Reinraumtechnik angewandt wird untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 22 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der niedrige Differenzdruck von nur 40 Pa bei einer Abscheidung von bis zu 90 % PM_{10} . Auf Grund dieser Eigenschaften wäre ein Sackfilter die optimale Filterlösung für die SPAS Elemente. Da die Baugröße eines Sackfilters aber nicht mit den Anforderungen der SPAS Filterelemente vereinbar ist, scheidet diese Art von Filter aus.

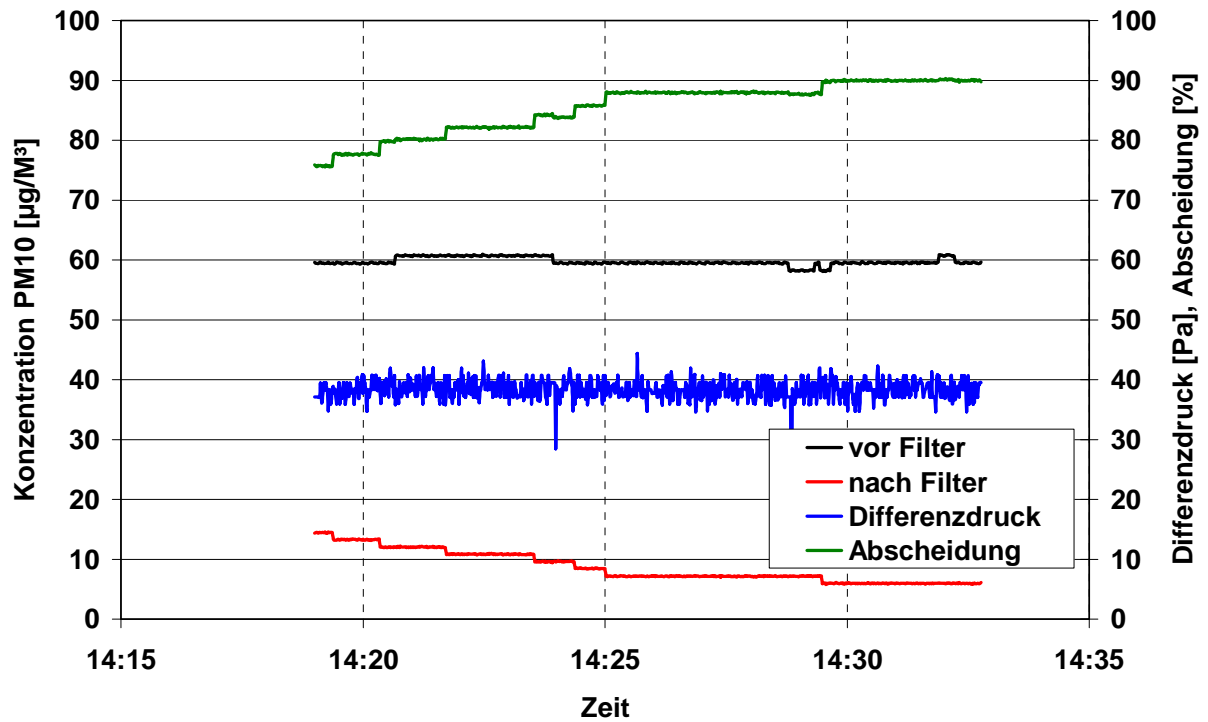


Abbildung 22: Messergebnisse (PM_{10} und Δp) für Sackfilter

9.9 D60+F300

In Abbildung 23 sind die Messergebnisse für die Filterkombination D60 Grobstaubfilter + F300 Feinstaubfilter dargestellt. Auf Grund des zu hohen Differenzdrucks von über 140 Pa ist diese Filterkombination für den Einsatz bei SPAS ungeeignet.

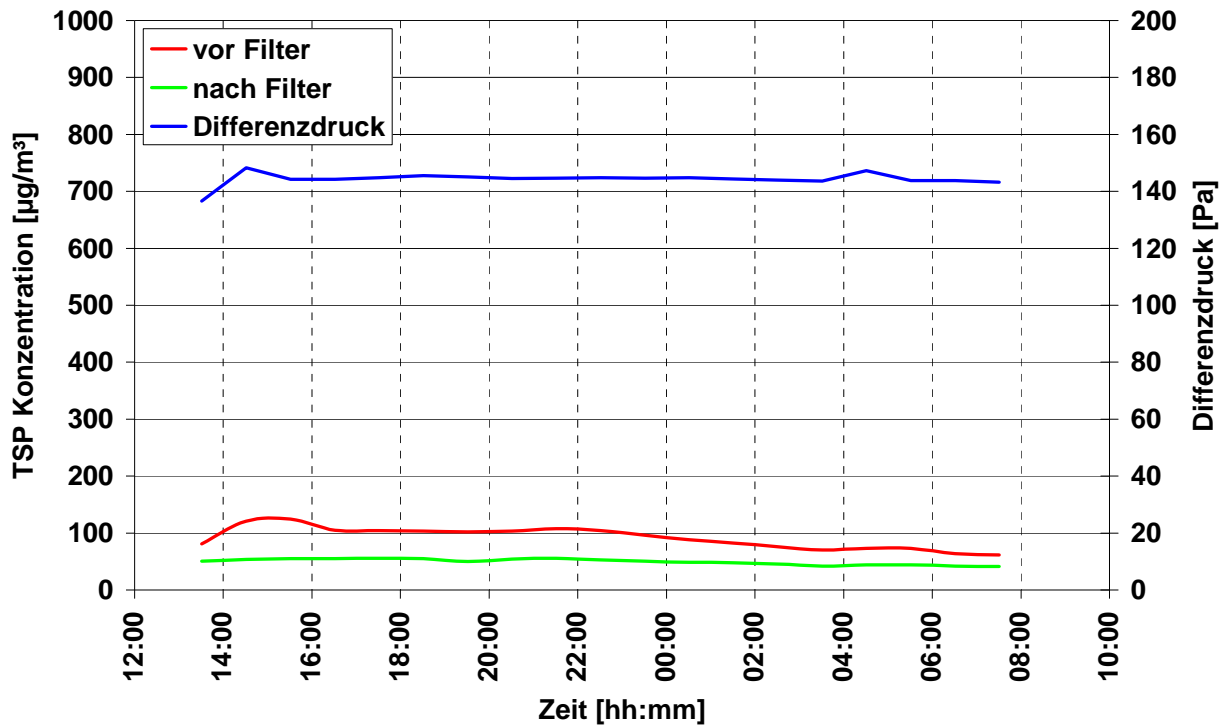


Abbildung 23: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für D60+F300

9.10 RG20+F6

Bei der Kombination RG20 + F6 handelt es sich um eine Kombination aus zwei verschiedenen Filtertypen. Deutlich zu erkennen ist aus Abbildung 24 der hohe Differenzdruck von etwa 130 Pa, der diese Filterkombination für SPAS unbrauchbar macht.

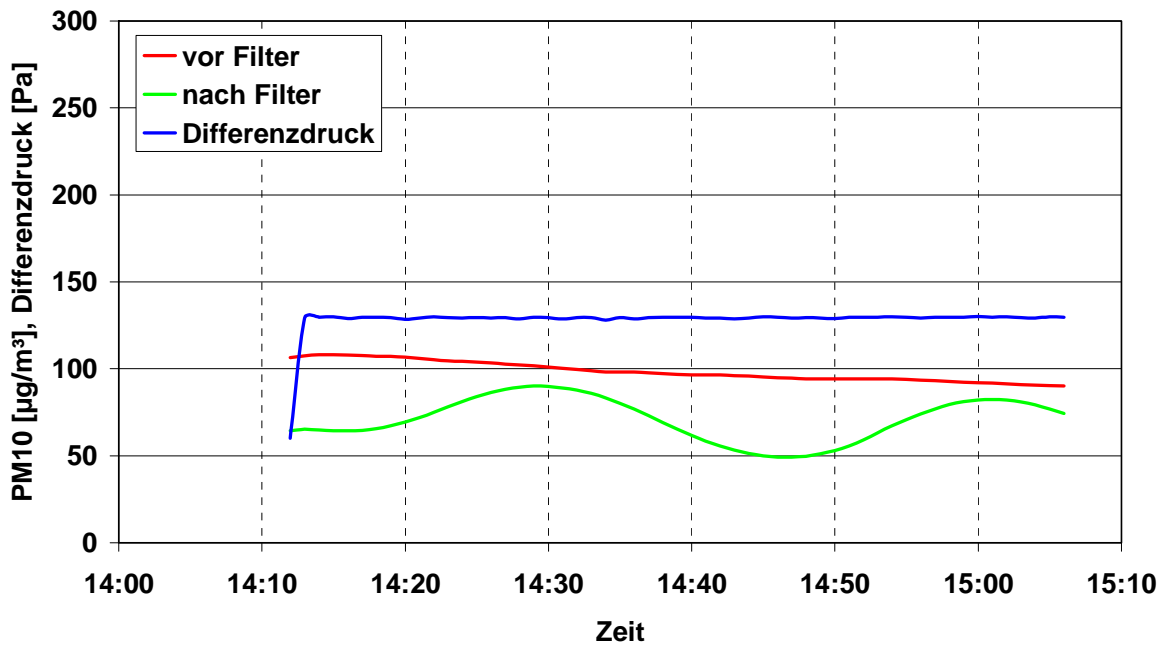


Abbildung 24: Messergebnisse (PM_{10} und Δp) für RG20+F6

9.11 RG30-2+F300

Auch die Kombination der Filter RG30-2 und F300 liefert keine befriedigenden Ergebnisse. Wie aus Abbildung 25 ersichtlich liegt der Differenzdruck bei etwa 120 Pa, was für die SPAS Anwendung zu hoch ist.

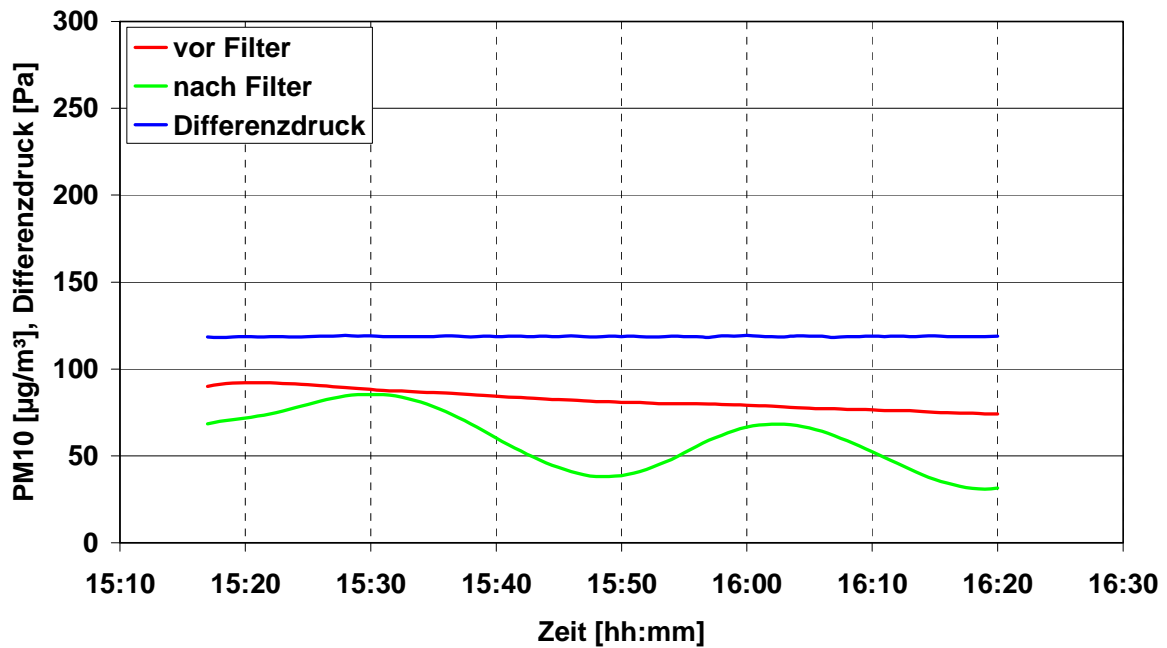


Abbildung 25: Messergebnisse (PM_{10} und Δp) für RG30-2+F300

9.12 RG30-30+F6

Ebenfalls ungeeignet ist die Kombination aus RG30-30 Filter und F6 Filter. Da die Abscheidung bei dieser Kombination nicht ausreichend ist, wurde auf eine Differenzdruckmessung verzichtet und das Filtermaterial verworfen (vgl. Abbildung 26)

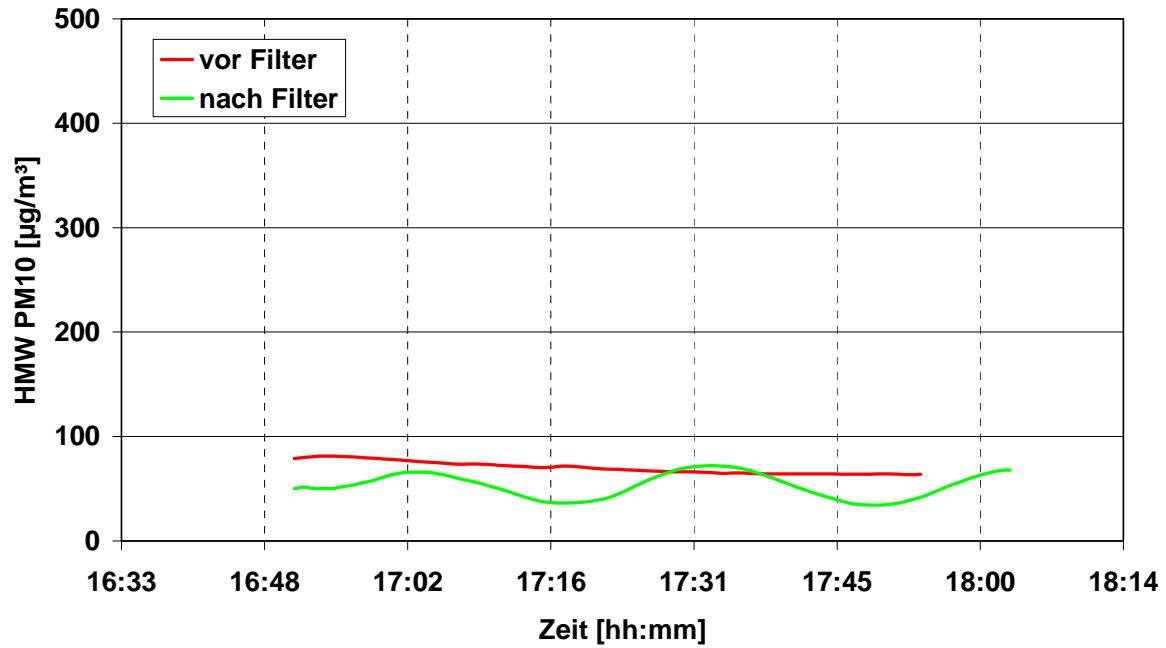


Abbildung 26: Messergebnisse (PM₁₀) für RG30-30+F6

9.13 RG40+F6

Ein ähnliches Bild liefert die Kombination eines RG 40 Filters mit einer F6 Filtermatte. Der Differenzdruck ist mit 150 Pa für die SPAS Anwendung zu hoch.

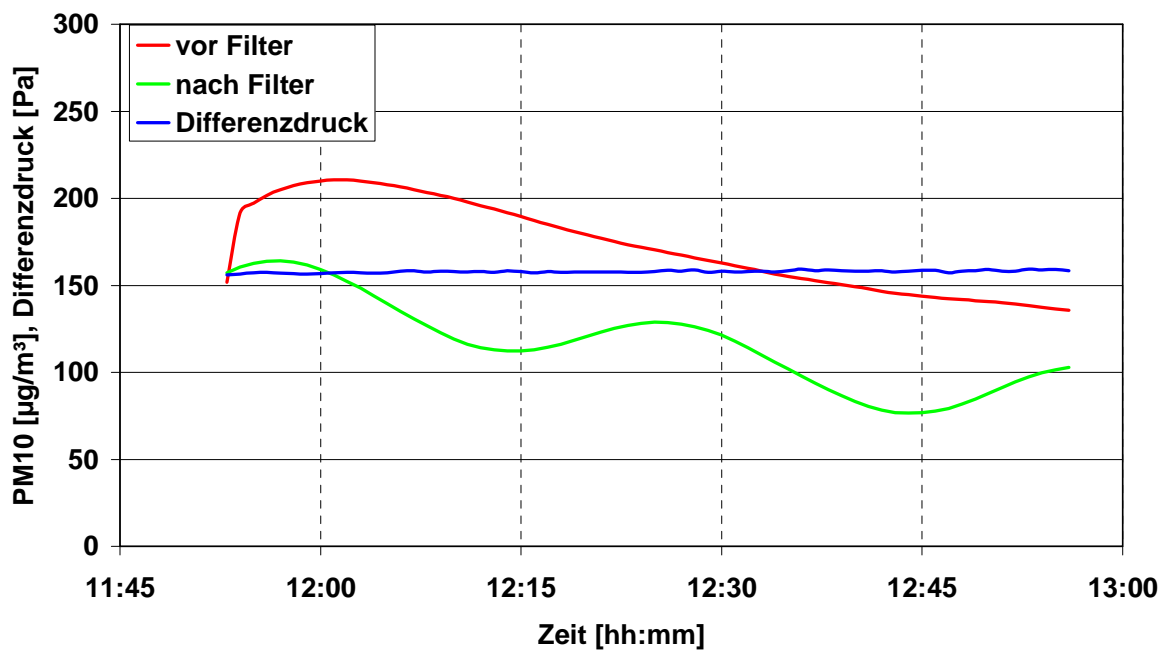


Abbildung 27: Messergebnisse (PM₁₀) für RG30-30+F6

9.14 F300

Die Filtermatte F300 weist bei einer Abscheidung von nur 40-50% einen relativ hohen Differenzdruck von 60 Pa auf und ist daher für eine Anwendung als SPAS Filter ungeeignet (vgl. Abbildung 28).

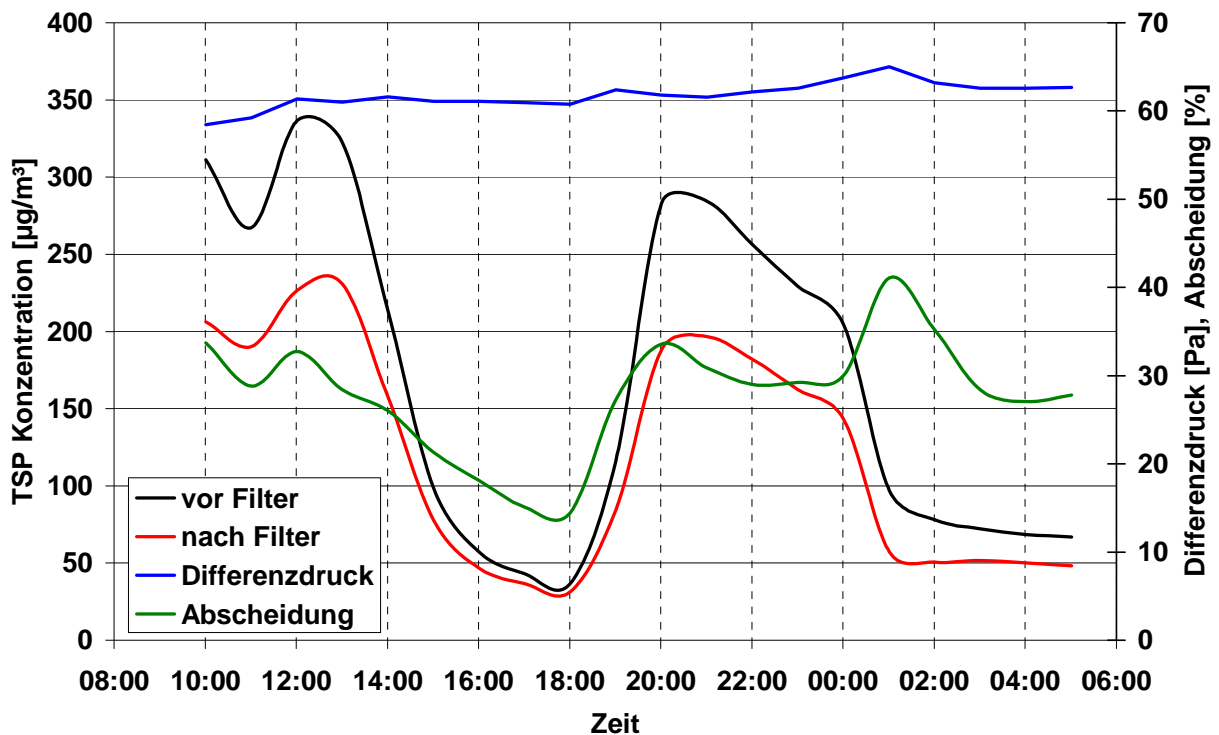


Abbildung 28: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für F300

9.15 DP5-20 + F6

In Abbildung 29 sind die Messergebnisse für die Kombination aus DP5-20 und einer F6 Filtermatte dargestellt. Wie bereits zuvor beschrieben, eignet sich die DP5-20 Matte für den Einsatz als Grobfilter bei der SPAS Anwendung. Die Kombination mit einer F6 Feinstaubfiltermatte aus dem industriellen Sektor liefert bei einem akzeptablen Differenzdruck von 56 Pa eine Abscheidung von fast 90 % PM₁₀. Diese Kombination kann deshalb für den Einsatz bei SPAS empfohlen werden.

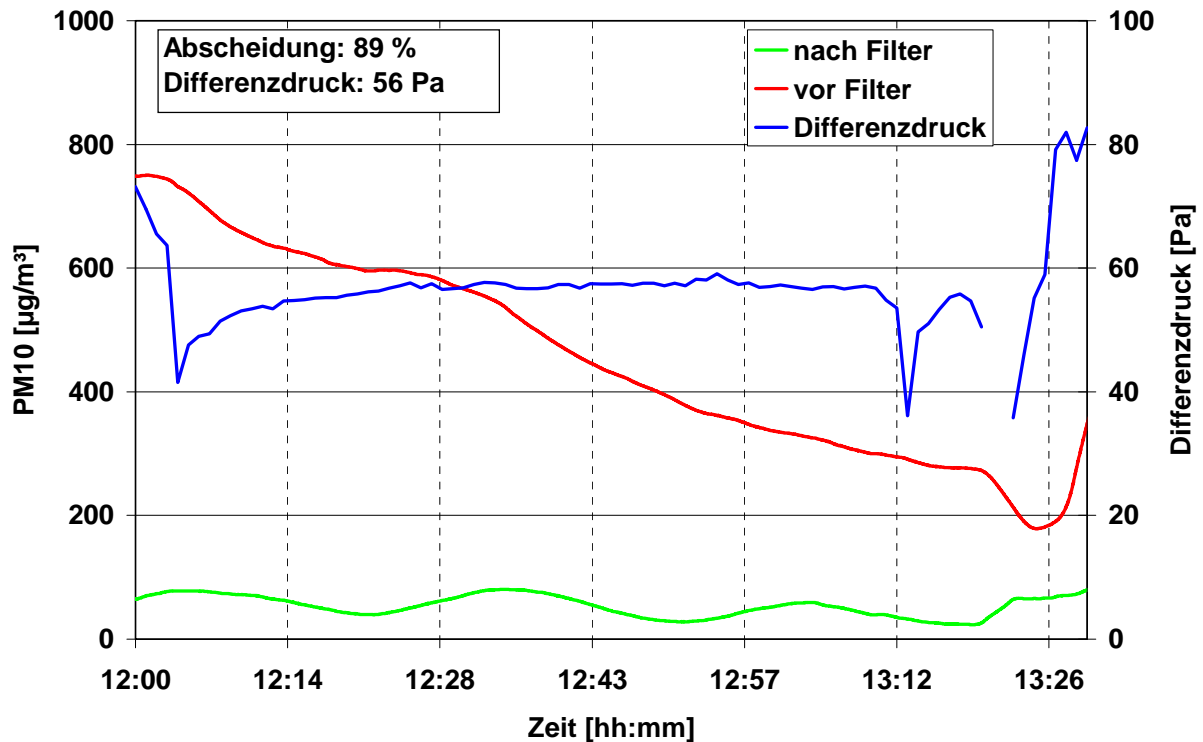


Abbildung 29: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für DP5-20 + F6

9.16 DP5 KASCHIERT

Beim Material DP5 kaschiert handelt es sich um eine DP5 Filtermatte des Herstellers Heraklith, die auf der Rückseite zur Erhöhung der Stabilität eine schwarze Trägermatte aufgebracht hat. Der große Vorteil dieser Trägermatte ist die erhöhte Formstabilität des Filters. Nachteilig wirkt sich die Trägermatte allerdings auf den Differenzdruck aus, der auf fast 300 Pa ansteigt (vgl. Abbildung 30). Als SPAS Filterelement kann dieses Material daher nicht eingesetzt werden.

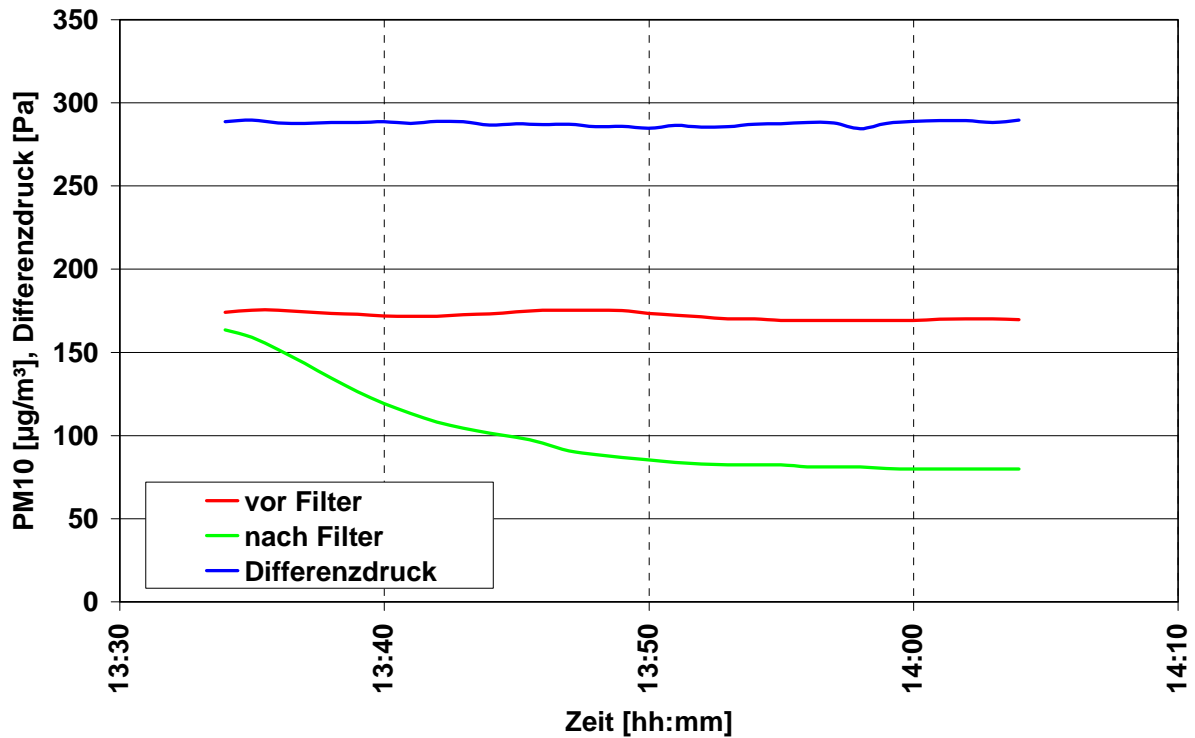


Abbildung 30: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für DP5 kaschiert

9.17 DP 7

Die Messergebnisse für den Heraklith DP 7 Filter sind in Abbildung 31 dargestellt. Bei 40 Pa Differenzdruck können immerhin 63 % der TSP Belastung abgeschieden werden. Im Bereich der Grobstaubfilter war dies das beste Filtermaterial. Zudem eignet es sich für den Einsatz bei der SPAS Tunnelvariante, da es nur sehr schwer entflammbar ist.

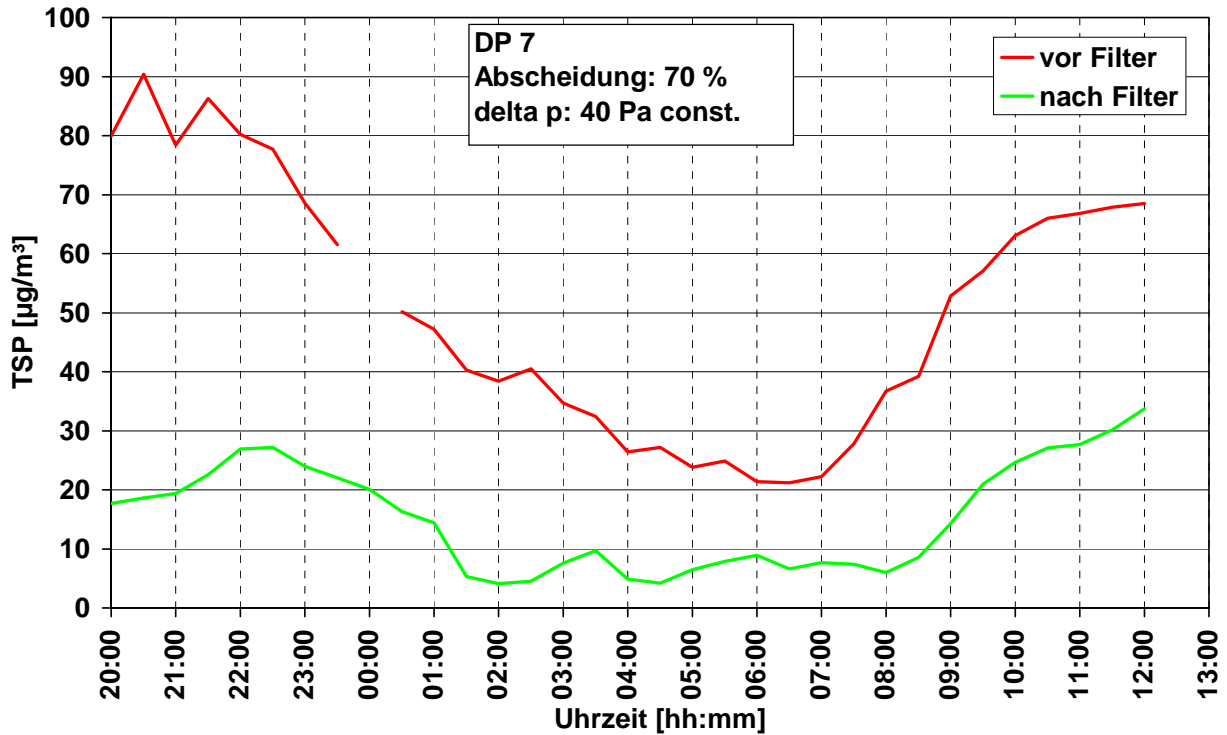


Abbildung 31: Messergebnisse (TSP und delta p) für DP7

10 SONDERMESSUNGEN

10.1 CO UND NO_x

Neben den Messungen bzgl. PM Abscheidung und Differenzdruck wurden die potentiellen Filter auch hinsichtlich ihrer Wirkung auf NO_x und CO untersucht. In Abbildung 32 ist der Vergleich der CO und NO_x Konzentrationen vor und nach dem empfohlenen DP5-20 Filter dargestellt. Die leichten Abweichungen liegen innerhalb der Messgenauigkeit und liefern keinen Hinweis auf einen etwaigen Einfluss des Filters auf die CO und NO_x Konzentration.

Folglich können die Filter in Bezug auf CO und NO_x als inert angesehen werden.

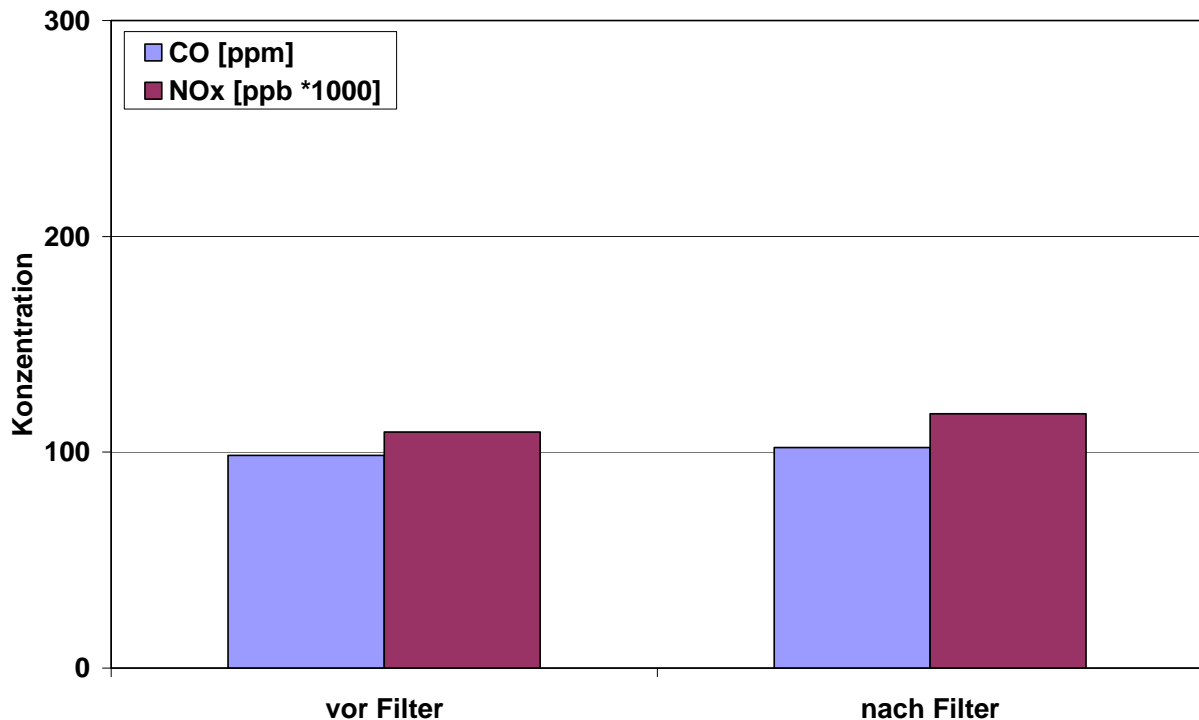


Abbildung 32: Vergleich der CO und NO_x Konzentrationen vor und nach Filter (DP5-20)

10.2 PARTIKELANZAHL UND GRÖßENVERTEILUNG

Neben der gravimetrischen Partikelmessung wurden auch Messungen zu Partikelanzahl und Größenverteilung durchgeführt. In Abbildung 33 ist die Partikelgrößenverteilung nach dem Einsatz verschiedener Filter dargestellt. Als Referenz dient die Kurve „Tunnelluft 1“, sie charakterisiert die Partikelgrößenverteilung OHNE Filtereinsatz. Deutlich zu erkennen ist, dass jeder Filter eine Verringerung der Partikelanzahl zur Folge hat. Die Partikelanzahl und Größenverteilung wurde unabhängig vom sich einstellenden Differenzdruck bewertet. Die besten Ergebnisse liefert wie zu erwarten war der Sackfilter. Durch die große Oberfläche kann er seine Filterwirkung optimal entfalten. Die Filter DP5 und Hanf IV liefern in etwa gleiche Abscheideraten.

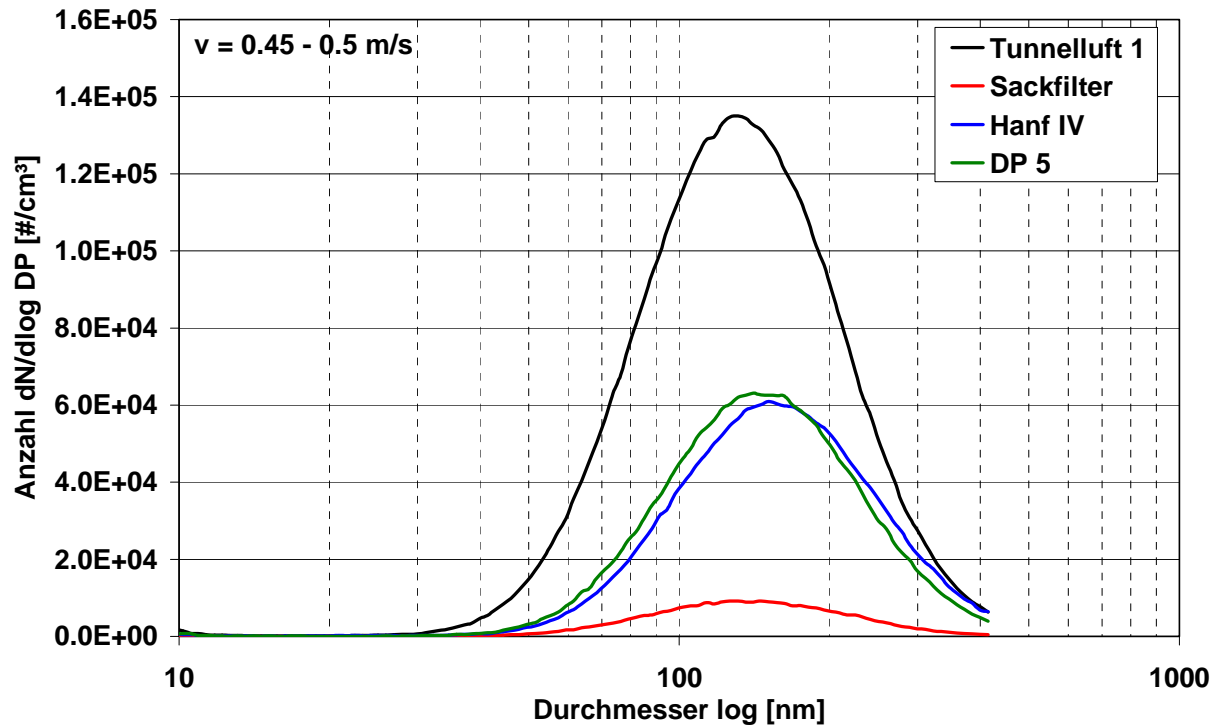


Abbildung 33: Partikelgrößenverteilung nach dem Einsatz verschiedener Filtermaterialien

In Abbildung 34 ist die Abscheidung der verschiedenen Filtermaterialien für PM_{10} und $PM_{0.5}$ bezogen auf die Partikelanzahl dargestellt. Wie bereits bei der Partikelgrößenverteilung so liefert auch bei der Abscheidung der Sackfilter die besten Ergebnisse. Im Vergleich zum Hanffilter schneidet bei der Gesamtabseidung der im SPAS Projekt eingesetzte DP5 Filter aber deutlich besser ab.

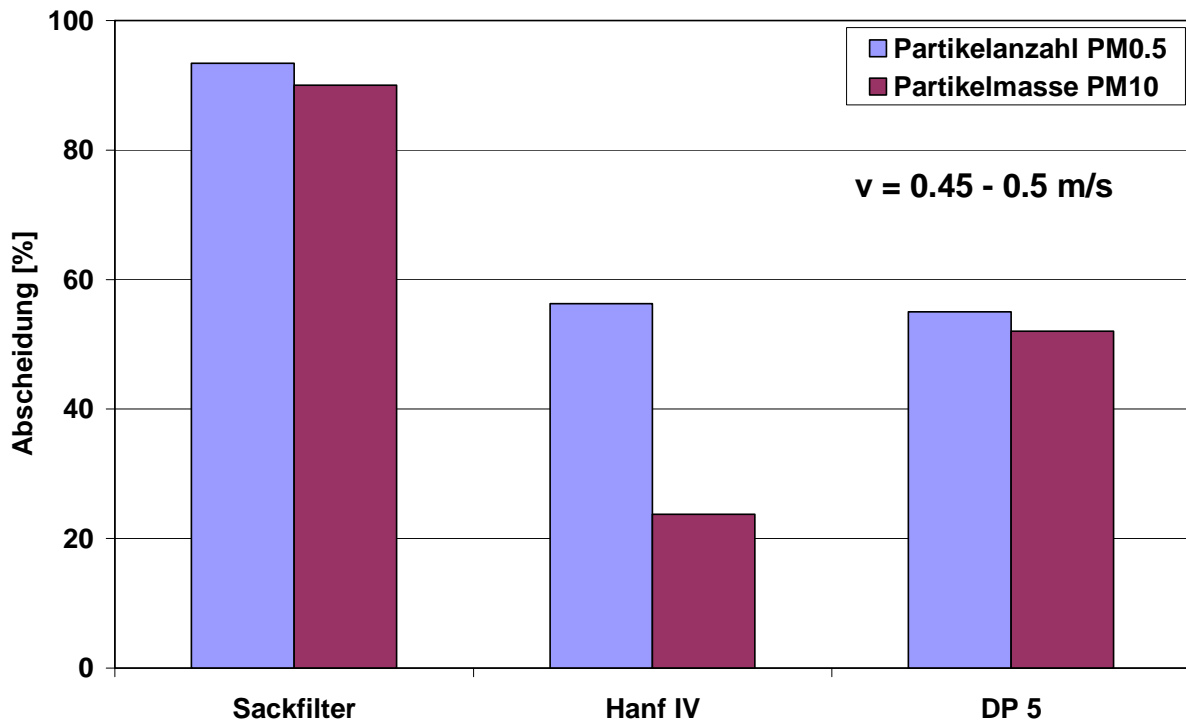


Abbildung 34: Abscheidung (Partikelanzahl) verschiedener Filter

11 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

Nachdem eine Vielzahl an Filtermaterialien und Kombinationen getestet wurde, kann festgehalten werden, dass letztendlich nur wenige Filter die Anforderungen für SPAS erfüllen (vgl. Kapitel 6). Die Mehrzahl der getesteten Materialien erzeugt einen zu hohen Differenzdruck bzw. liefert keine ausreichende Abscheidung. Auf Grund der durchgeführten Versuche kann das Material Heraklith DP5-20 als erste Filterstufe (Grobfilter) und die Filtermatte F6 als Feinfilter empfohlen werden. Diese Kombination, wie sie in Kapitel 9.15 beschrieben ist, liefert bei einem akzeptablen Differenzdruck (56 Pa) eine ausreichende Abscheidung (89%).

Prinzipiell würde diese Kombination auf für die Tunnelvariante empfohlen werden, auf Grund der besonderen Anforderungen (Brandbeständigkeit) wird hier jedoch das Material DP7 der Firma Heraklith (vgl. Kapitel 9.17) empfohlen.

In Tabelle 2 sind die empfohlenen Filter nochmals aufgelistet.

Tabelle 2: Zusammenfassung der empfohlenen Filter

Einsatz	Material
Grobfilter Freiland	DP 5-20
Feinfilter Freiland	F6
Filter Tunnel	DP 7

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass unter der Annahme eines konstanten Volumenstroms durch den Filter bei den empfohlenen Materialien eine ausreichende Abscheidung bei akzeptablem Differenzdruck gewährleistet werden kann.

12 ALLFÄLLIGE SCHWIERIGKEITEN /ANMERKUNGEN

Eine Herausforderung während der Versuche war die Beaufschlagung der zu testenden Filtermaterialien mit möglichst realitätsnahe Straßenstaub. Um dies zu erreichen wurde der Versuchsaufbau in das Windenhaus des Plabutschunnels verlegt, um über eine Ansaugung aus dem Abluftkanal auf Straßenstaub direkt aus dem Tunnel zugreifen zu können. Hieraus ergab sich die Notwendigkeit mit einem eigenen Lüfter die Strömungsgeschwindigkeit im Prüfstand auf konstantem Niveau zu halten. Vor allem während der Betriebszeiten der Tunnellüftung war dies oftmals nur eingeschränkt möglich, da der sich einstellende Unterdruck im Lüftungssystem des Tunnels für den Prüfstand nur schwer zu beherrschen war.

Des Weiteren stellte die geringe vom Projektpartner VIF simulierte Strömungsgeschwindigkeit im Filter (0,15 m/s) eine Herausforderung für die eingesetzte Messtechnik dar. Über eine spezielle Anordnung der Messgeräte am Ende der Einlaufstrecke im kreisrunden Querschnitt und mit dem Einsatz hochgenauer Strömungssensoren, konnten diese Geschwindigkeiten jedoch gut detektiert werden.

Da einige Materialien keine ausreichenden PM_{10} filternden Eigenschaften aufwiesen, wurde für diese lediglich die TSP Abscheidung ermittelt.

13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zeichnung eines SPAS Elementes auf einer LSW.....	5
Abbildung 2: Filterprüfstand am Plabutschtunnel.....	6
Abbildung 3: 3D-Modell des Filterprüfstandes mit aufgeschnittenem Filterkasten.....	7
Abbildung 4: Filterkasten (links) und Filterhalter mit eingebautem Testfilter (rechts).....	7
Abbildung 5: Ansaugstutzen des Filterprüfstandes	8
Abbildung 6: Skizze des Prüfstandes mit Messpunkten.....	8
Abbildung 7: Symbolbild TEOM 1400a Quelle: R&P, Symbolbild SMPS / CPC Quelle: TSI Incorporation	9
Abbildung 8: Symbolbild API 200A bzw. API 300A Quelle: teledyne Instruments	9
Abbildung 9: Symbolbild Flügelradanemometer (links) Quelle: Testo, Symbolbild Heißfilmanemometer (rechts) Quelle: Höntzsch	9
Abbildung 10: Symbolbild airhopper® (links) Quelle: MLU, Smybolbild Dewe Rack® (rechts) Quelle: Dewetron.....	10
Abbildung 11: Druckmessgerät Wöhler (links) Quelle: Wöhler, Druckmessumformer P26 (rechts) Quelle: Halstrup Walcher	10

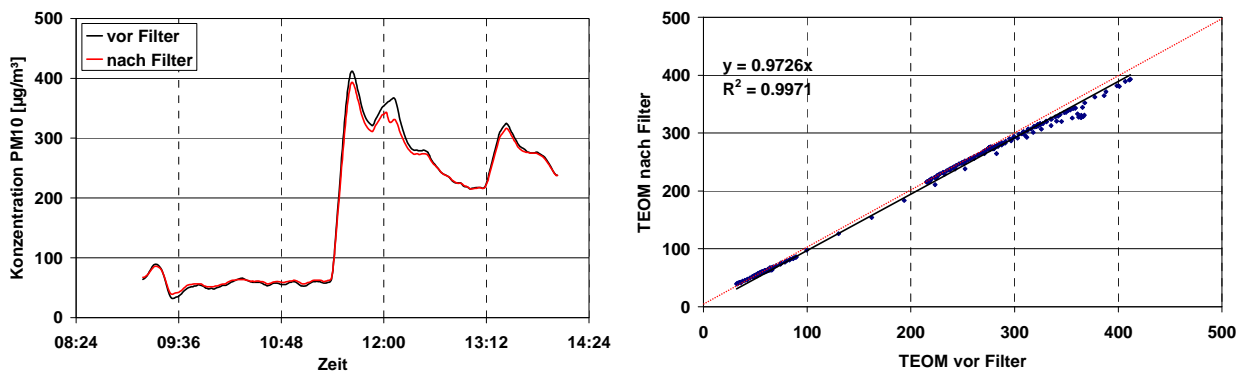


Abbildung 12: Zeitverlauf (links) und Korrelation (rechts) beider Messgeräte für PM₁₀ ohne Filter
..... 12

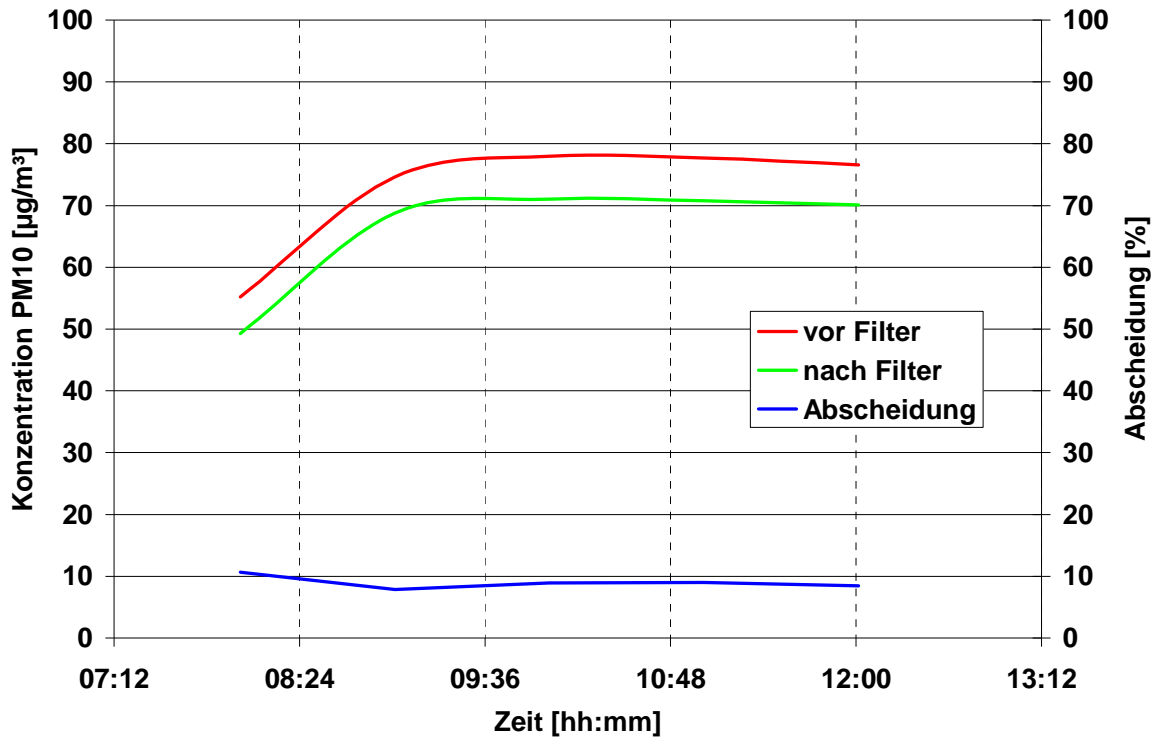


Abbildung 13: Messergebnisse (PM₁₀) für Hanf 1 13

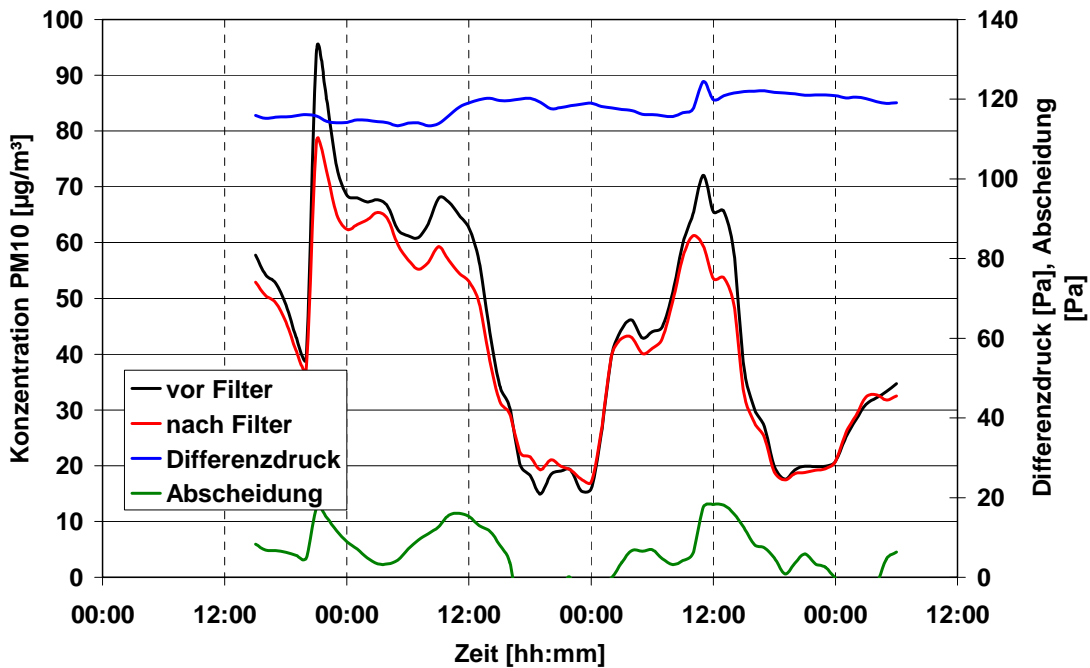


Abbildung 14: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für Hanf 2 13

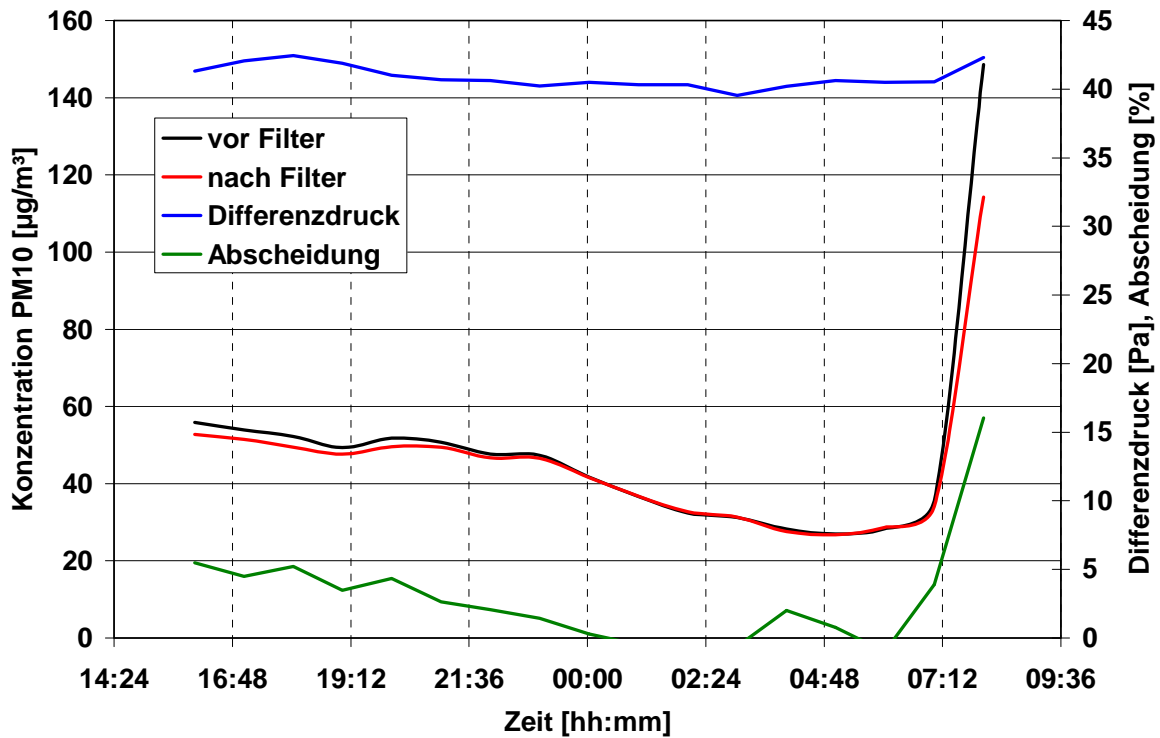


Abbildung 15: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für Hanf 3 14

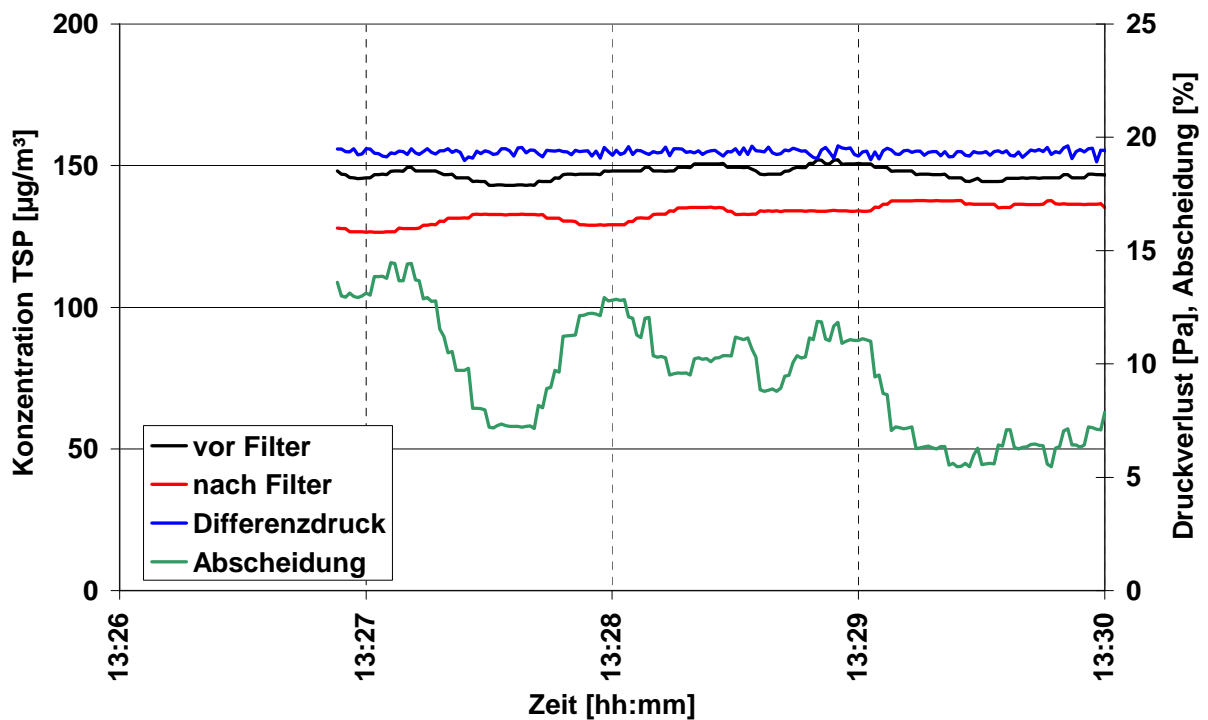


Abbildung 16: Messergebnisse (TSP und delta p) für Stahlwolle 15

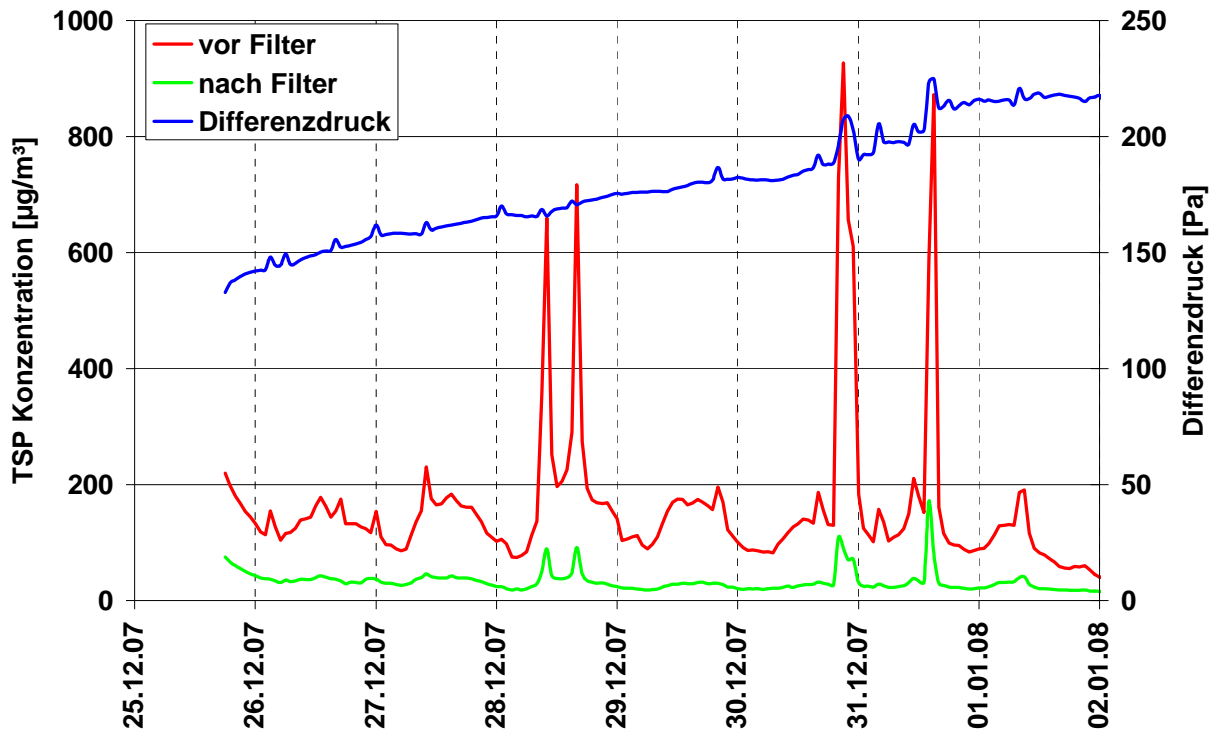


Abbildung 17: Messergebnisse (TSP und delta p) für Deutsche D50 16

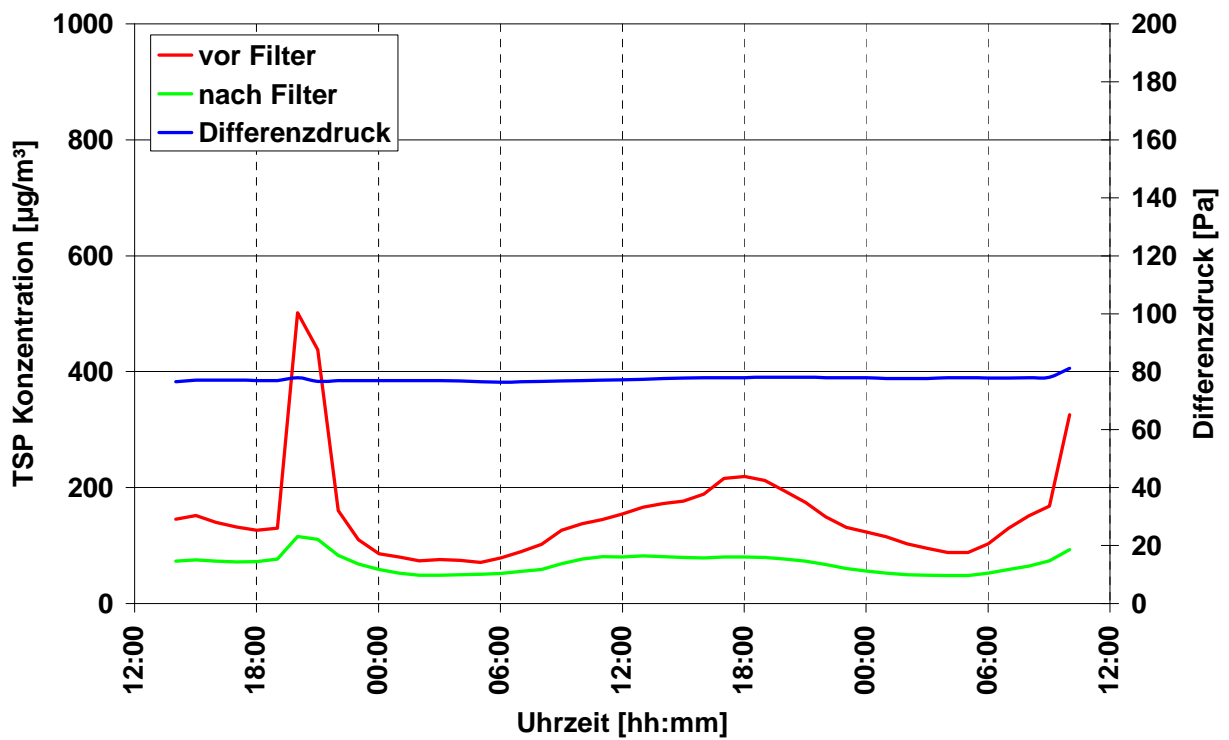


Abbildung 18: Messergebnisse (TSP und delta p) für Deutsche D30 17

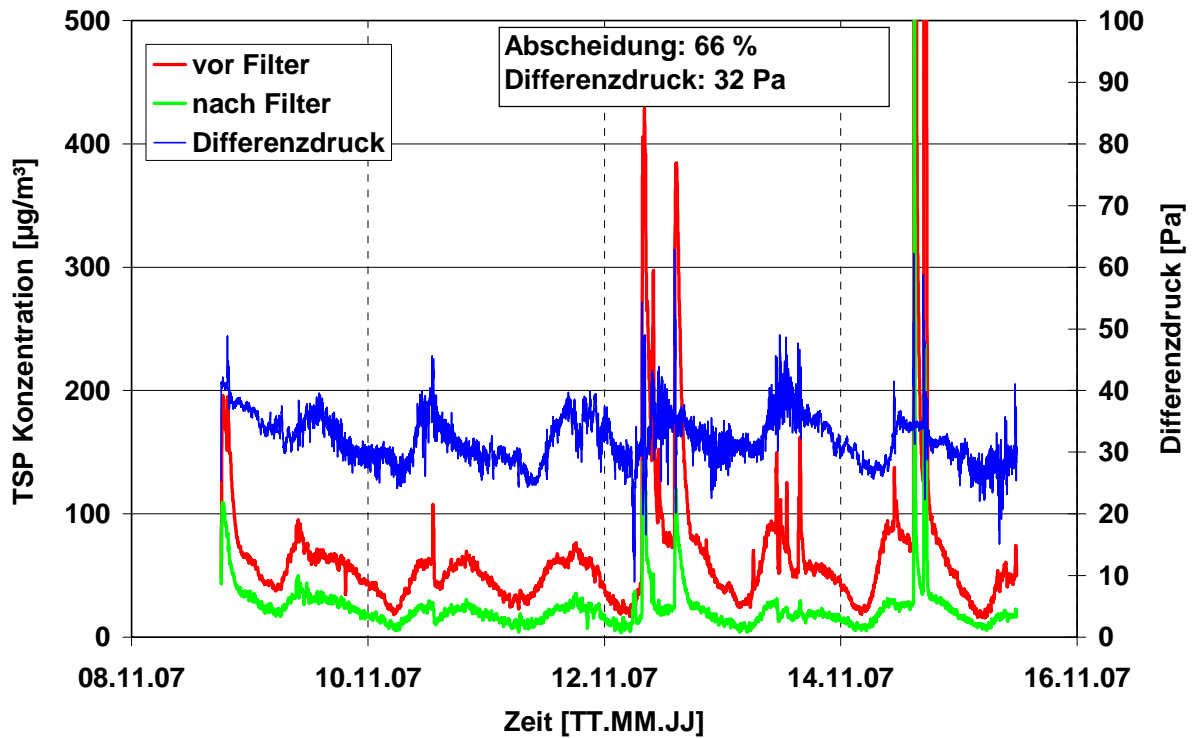


Abbildung 19: Messergebnisse (TSP und delta p) für Heraklith DP5-20 18

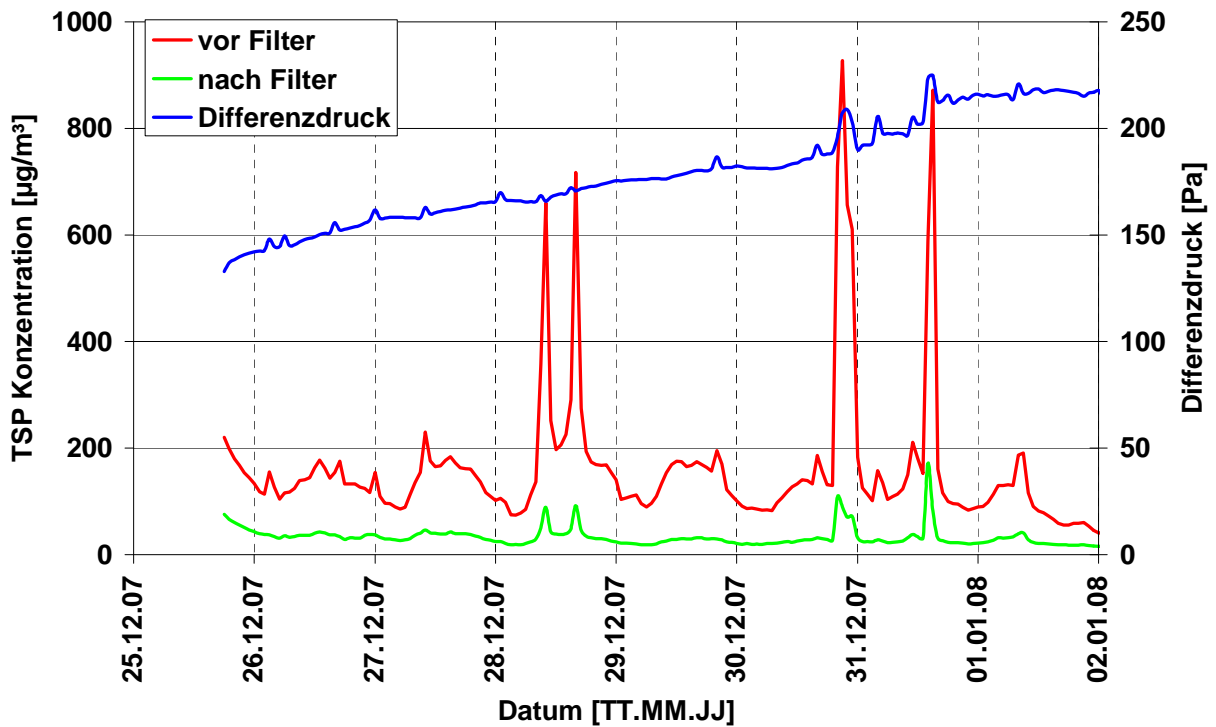


Abbildung 20: Messergebnisse (TSP und delta p) für Heraklith D20+D30 19

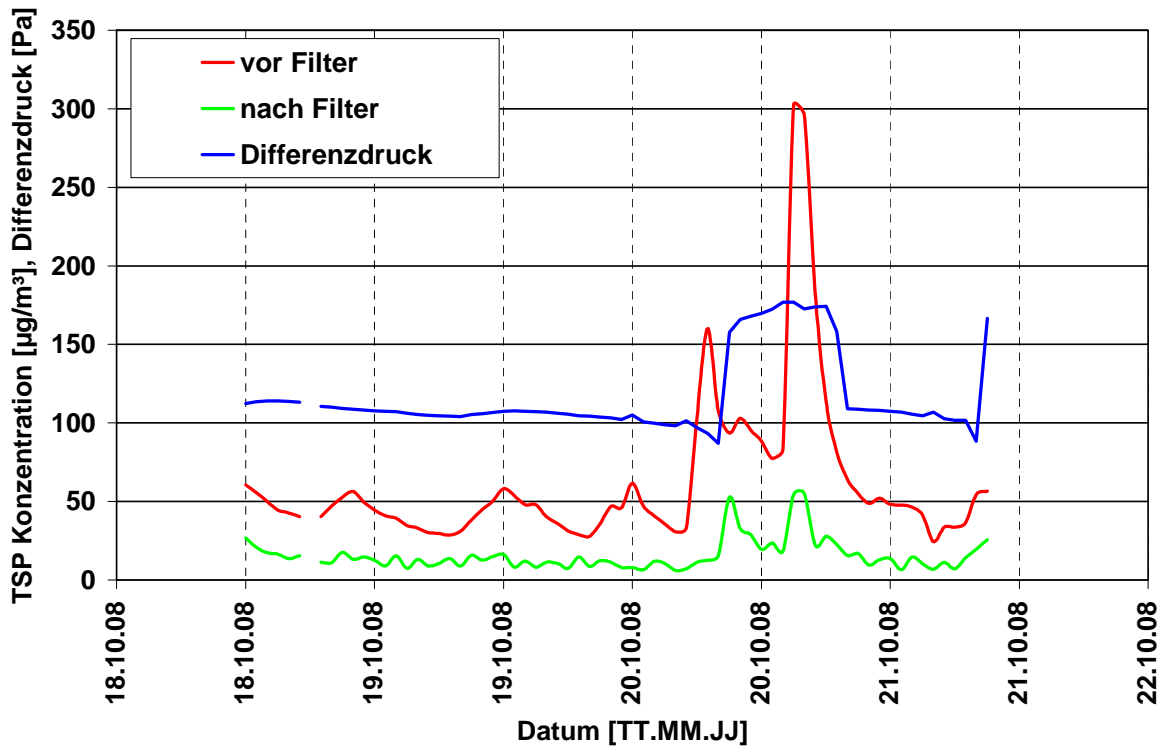


Abbildung 21: Messergebnisse (TSP und delta p) für Ultraweb® 20

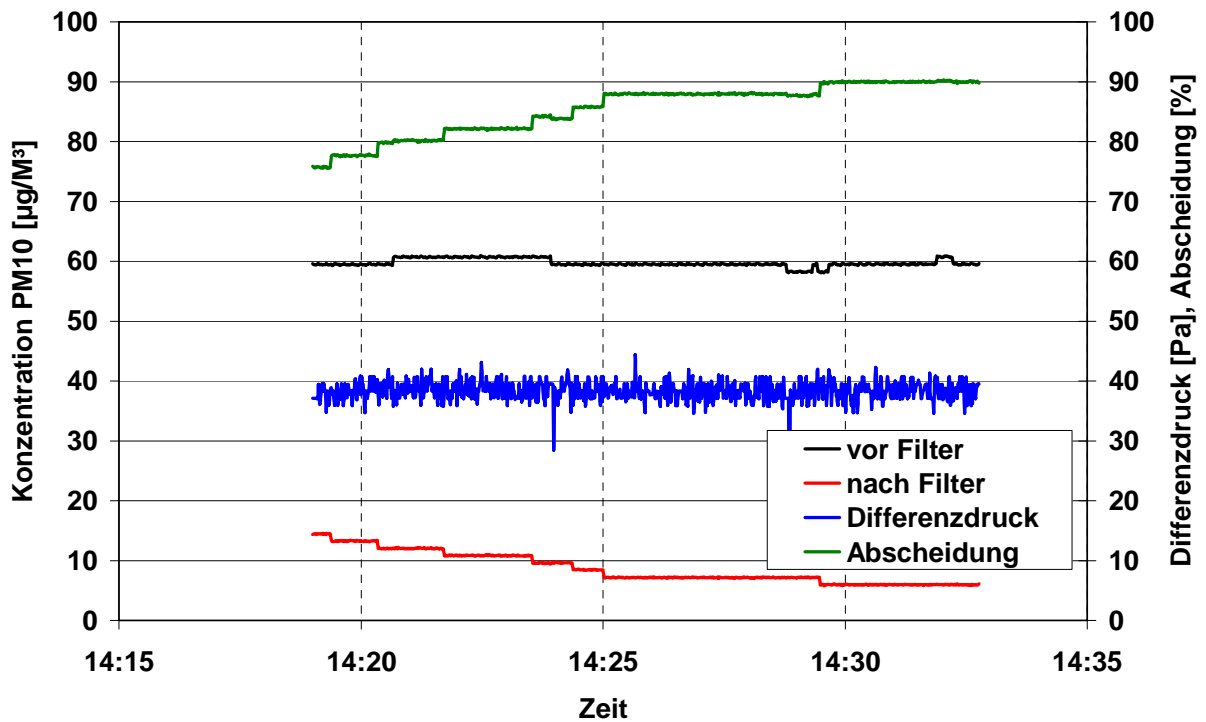


Abbildung 22: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für Sackfilter 21

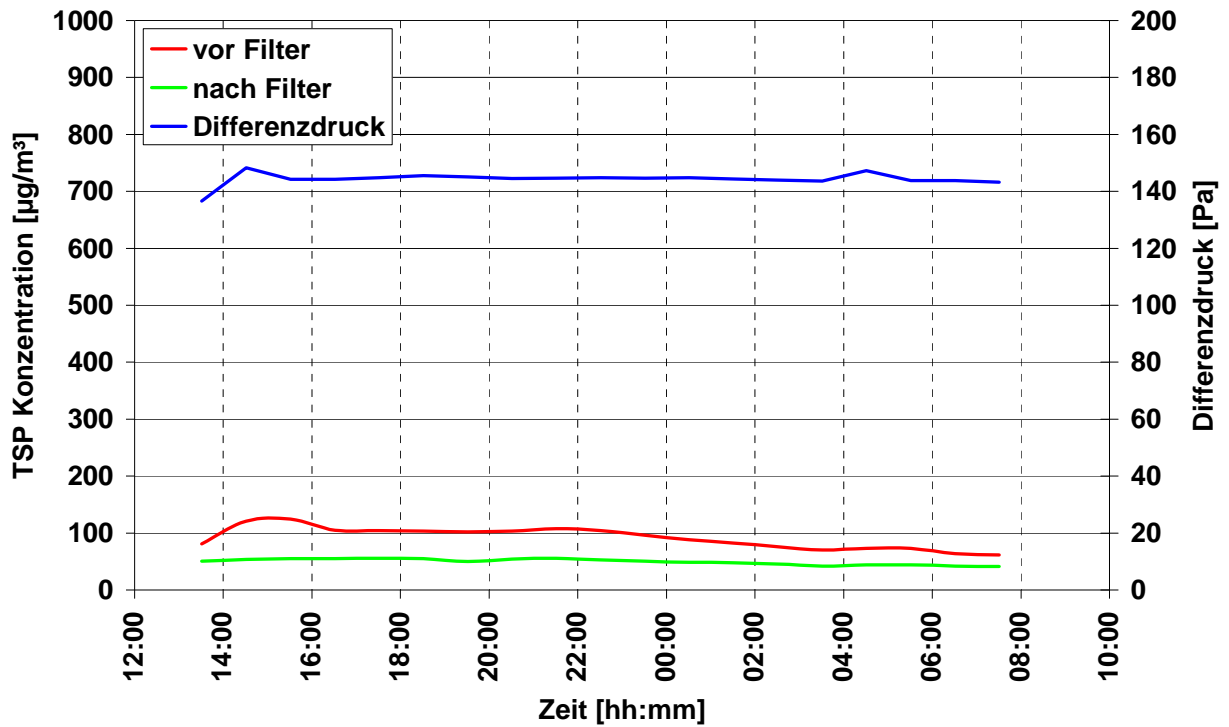


Abbildung 23: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für D60+F300 22

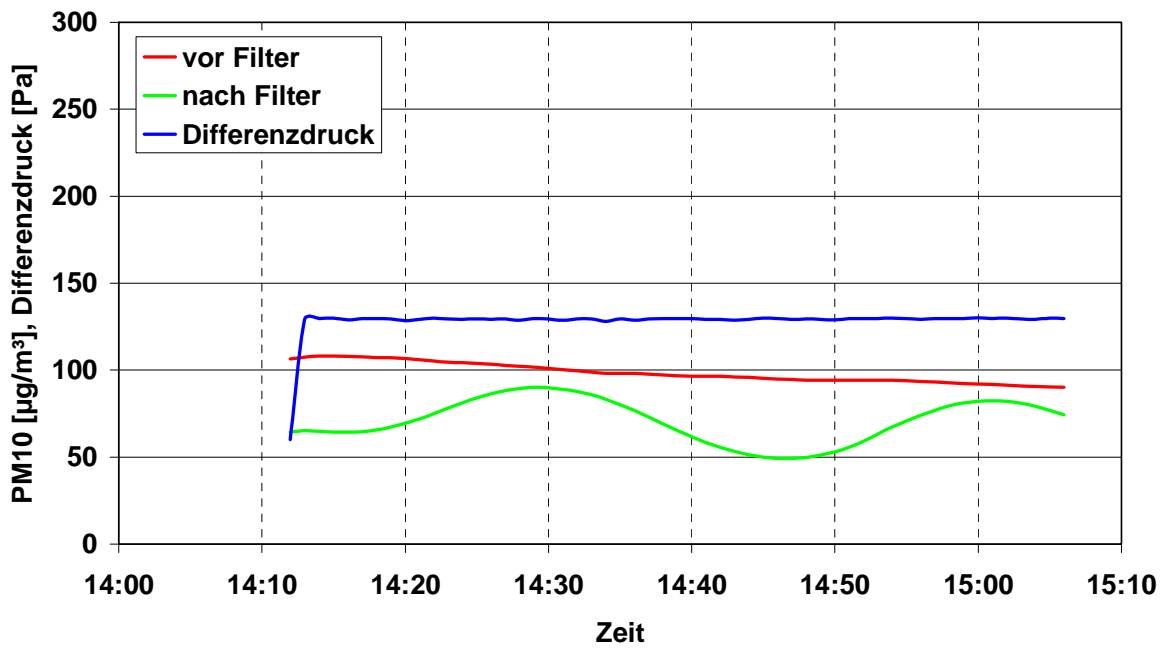


Abbildung 24: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für RG20+F6 23

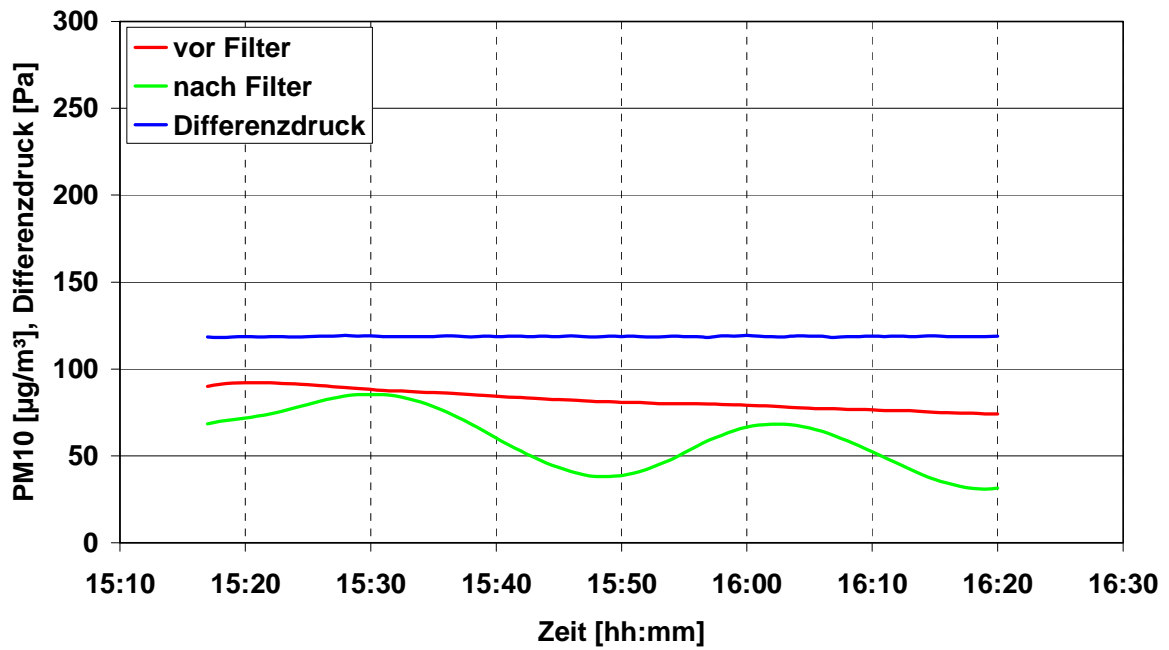


Abbildung 25: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für RG30-2+F300 24

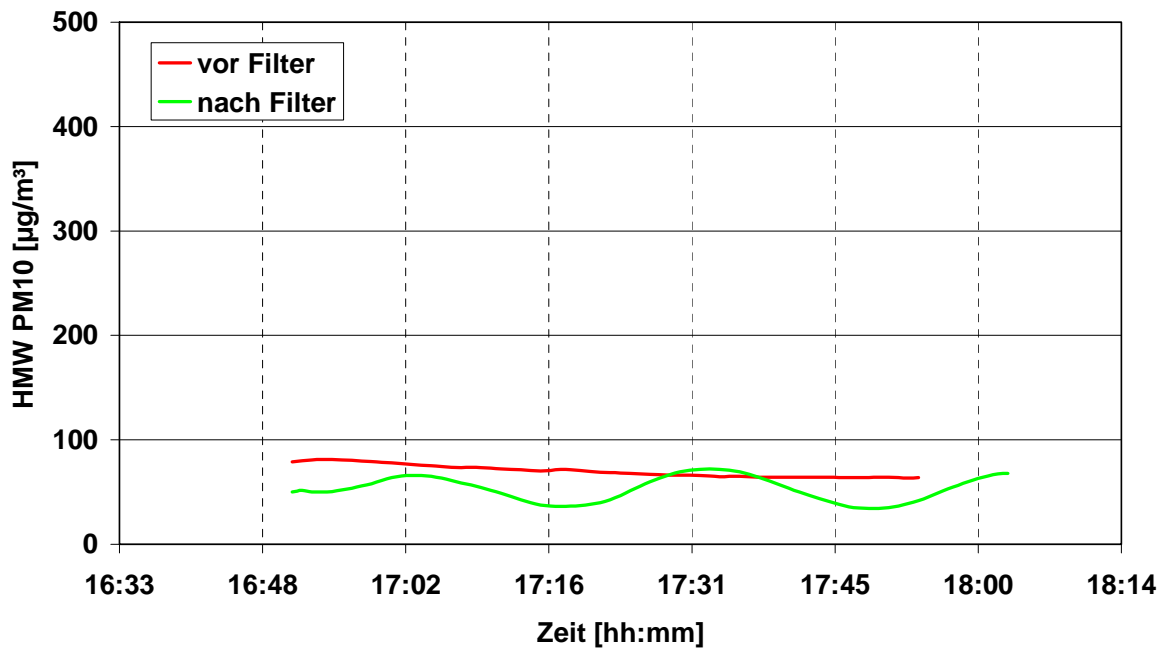


Abbildung 26: Messergebnisse (PM₁₀) für RG30-30+F6 25

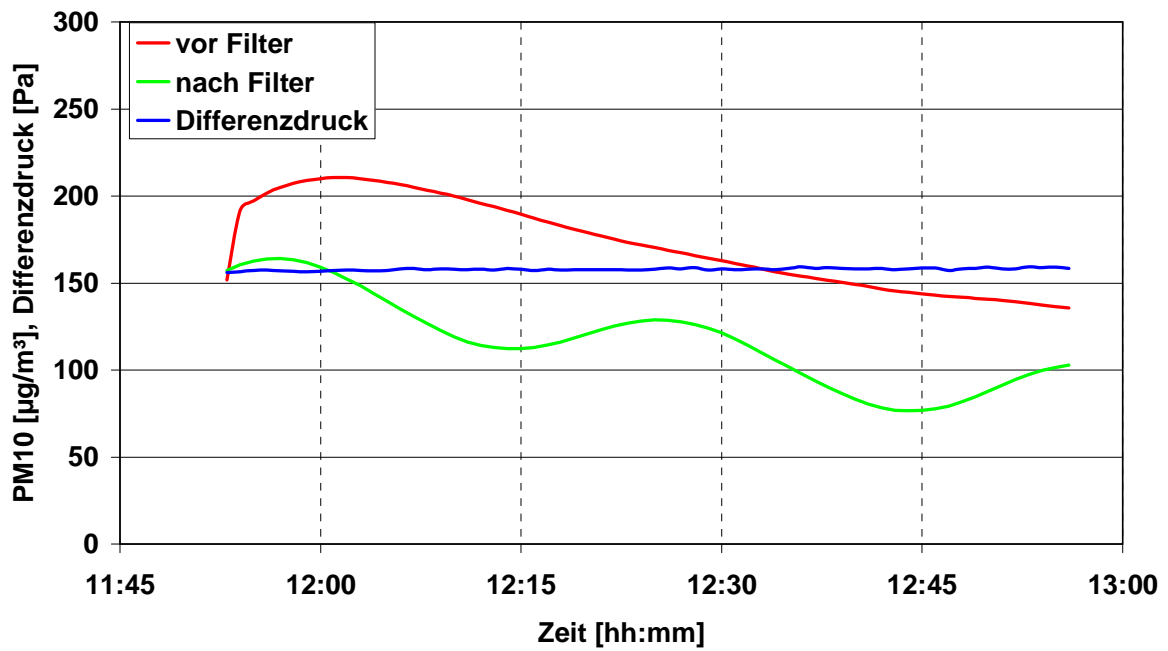


Abbildung 27: Messergebnisse (PM₁₀) für RG30-30+F6..... 25

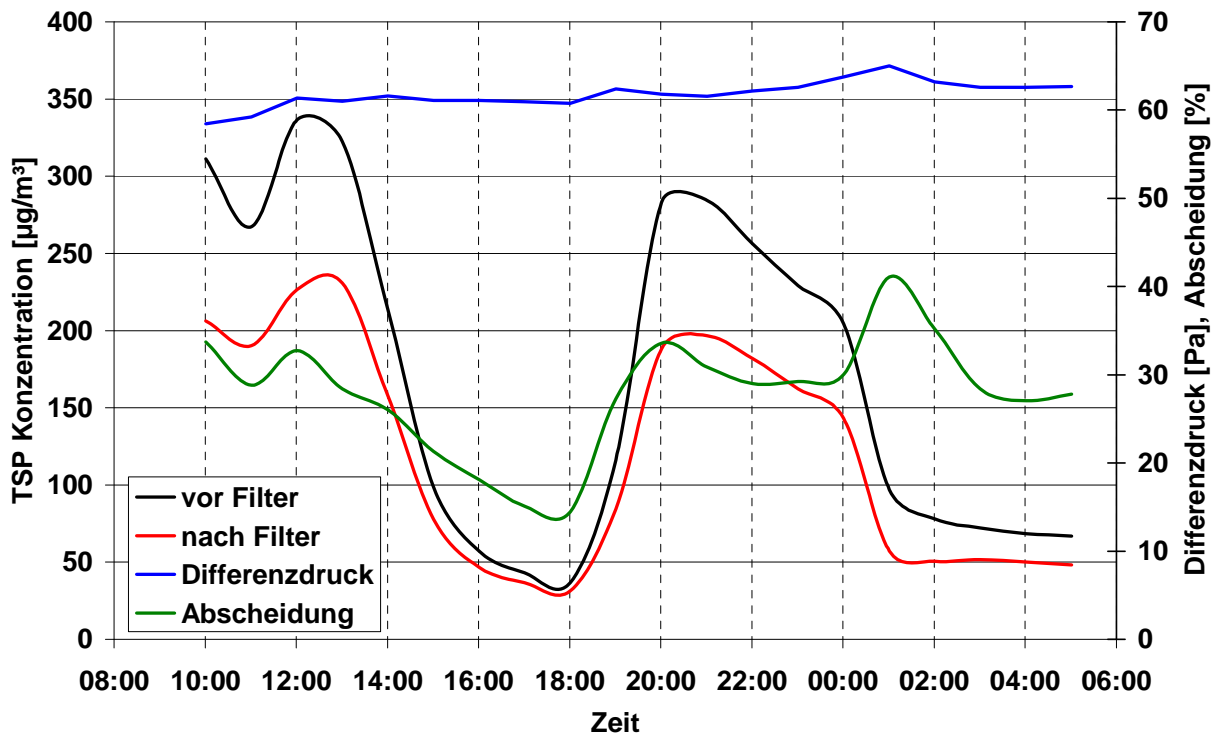


Abbildung 28: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für F300..... 26

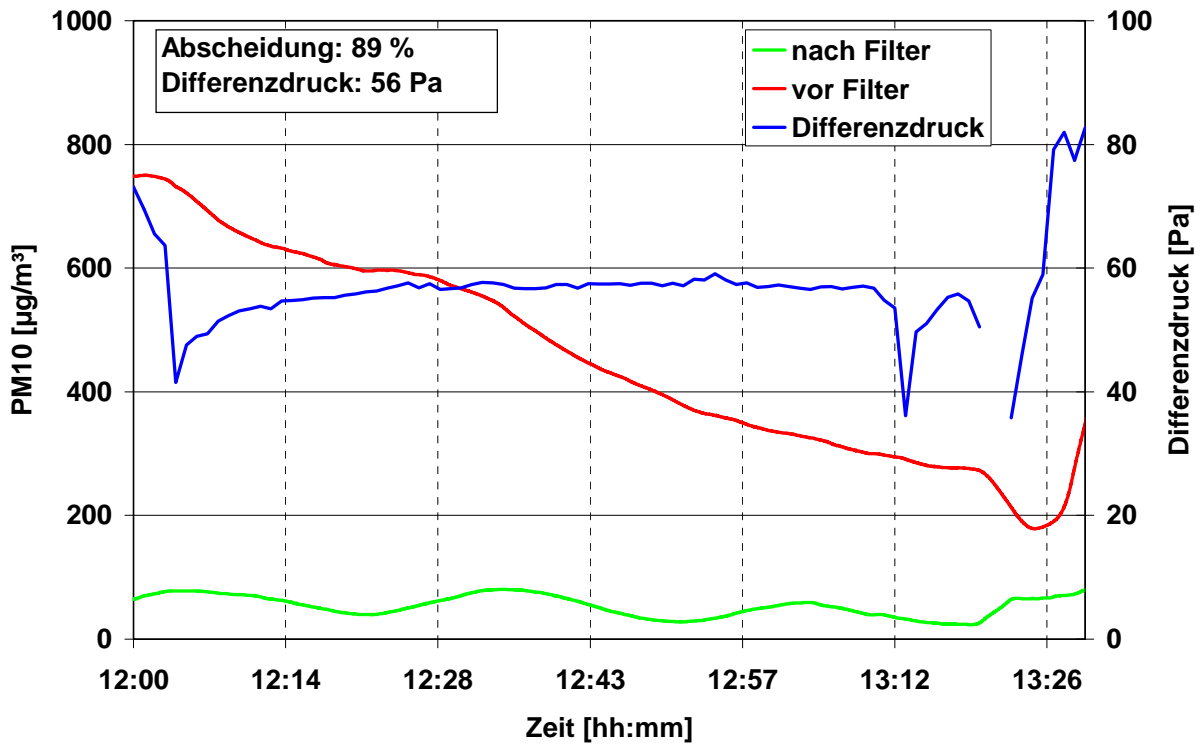


Abbildung 29: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für DP5-20 + F6 27

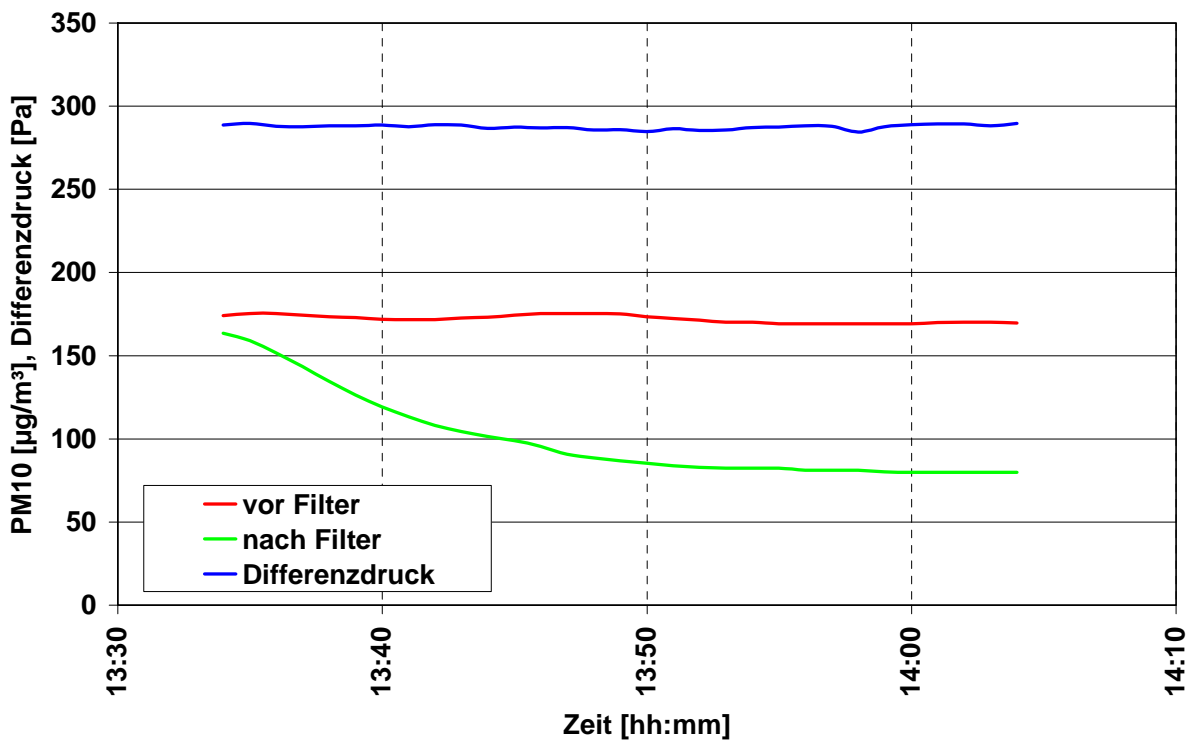


Abbildung 30: Messergebnisse (PM₁₀ und delta p) für DP5 kaschiert 28

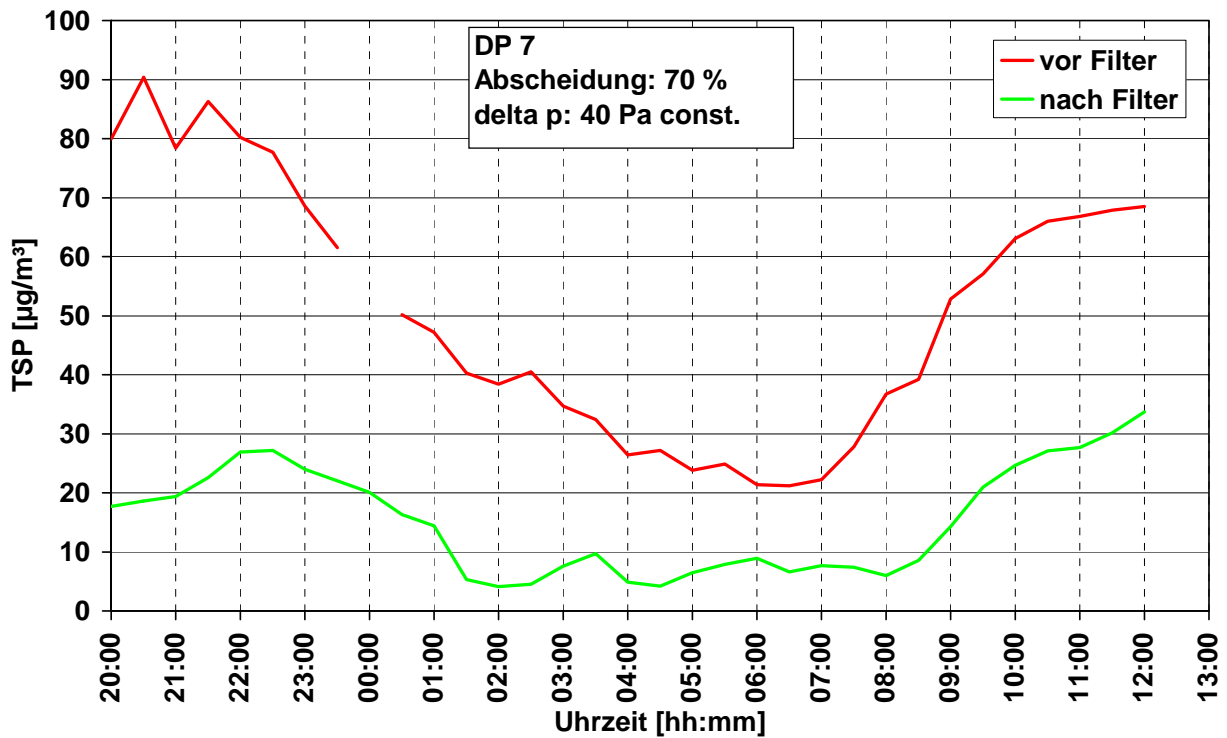


Abbildung 31: Messergebnisse (TSP und delta p) für DP7 29

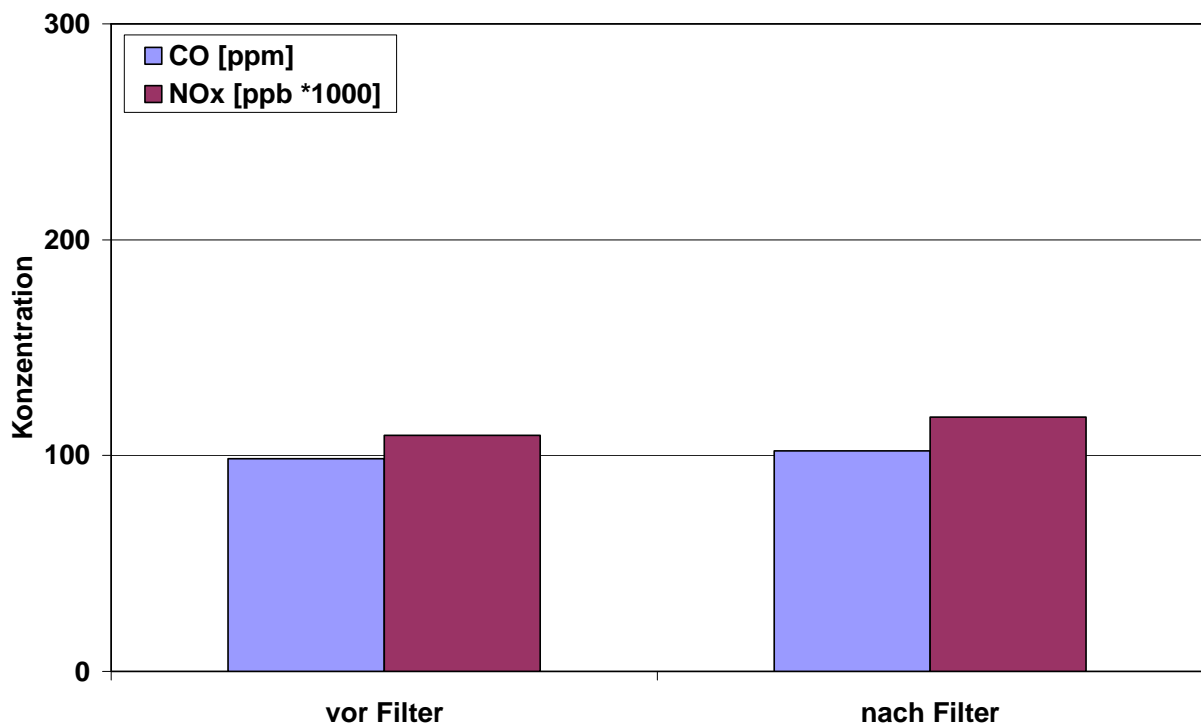


Abbildung 32: Vergleich der CO und NO_x Konzentrationen vor und nach Filter (DP5-20) 30

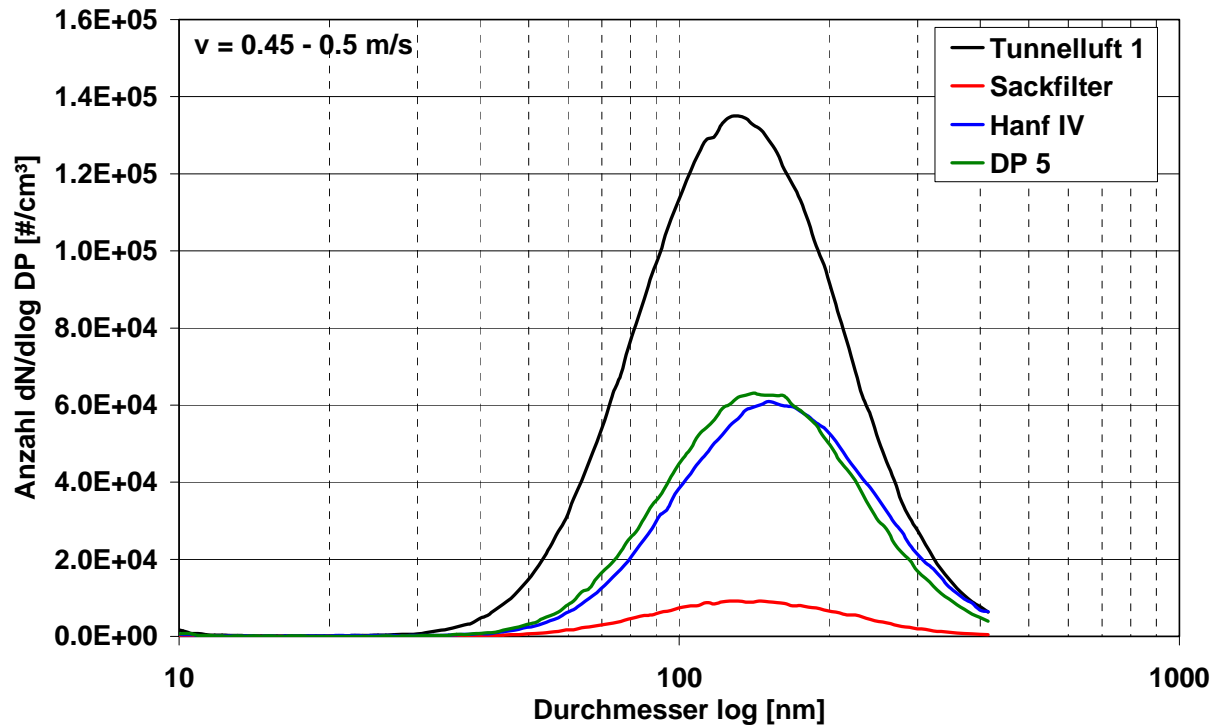


Abbildung 33: Partikelgrößenverteilung nach dem Einsatz verschiedener Filtermaterialien..... 31

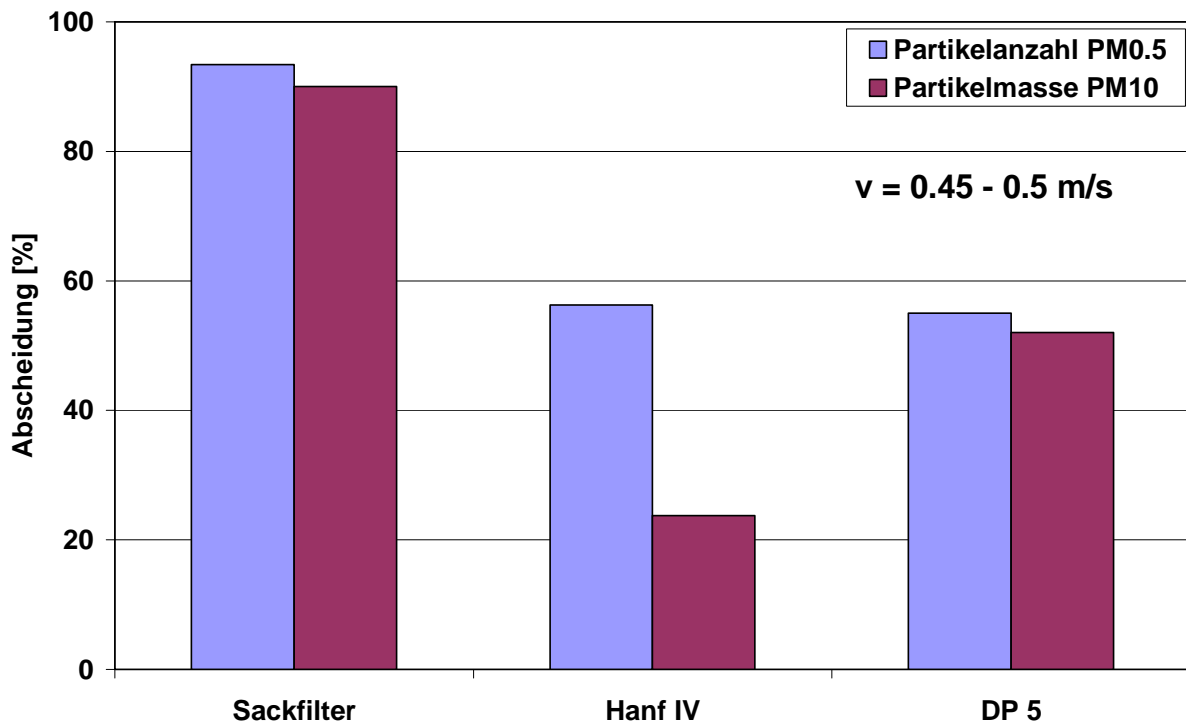


Abbildung 34: Abscheidung (Partikelanzahl) verschiedener Filter 32

14 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht über die getesteten Materialien	11
Tabelle 2: Zusammenfassung der empfohlenen Filter	32

15 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Rodler J. (2000): Luftschadstoffuntersuchungen mit unterschiedlichen Messsystemen zur Validierung von Emissions- und Ausbreitungsmodellen, Dissertation, Graz
- [2] Rexeis M., Hausberger S. (2005): Calculation of Vehicle Emissions in Road Networks with the model "NEMO"; Transport & Airpollution Conference; ISBN: 3-902465-16-6, Graz
- [3] ÖNROM M 5852 (2007): Luftuntersuchung – Probenahme zur kontinuierlichen Immissionsmessung, Ausgabe 2007
- [4] ÖNORM EN 14211 (2005): Luftqualität - Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz, Ausgabe 2005
- [5] ÖNORM M 5866 (2007): Luftreinhaltung – Bildung von Immissionsmessdaten und daraus abgeleiteten Immissionskennwerten, Ausgabe 2007
- [6] EN 12341 (1999): Luftbeschaffenheit - Ermittlung der PM10-Fraktion von Schwebstaub - Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Meßverfahren und Referenzmeßmethode, Ausgabe 1999
- [7] Iser, F. (2007): Simulation der Strömungsgeschwindigkeit in Filtermaterialien, EU-Life Projekt SPAS Zwischenbericht, 2007