

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



Produktoptimierung/Prototypenentwicklung im Rahmen des EU-Life-Projektes „SPAS“

Workpackage 2

LIFE06 ENV/A/000345-SPAS



Bericht Nr. I-04/2010/Ro 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.

Produktoptimierung/Prototypenentwicklung im Rahmen des EU-Life-Projektes „SPAS“

Workpackage 2

Bericht

		Datum	Unterschrift
Freigegeben	Ao. Univ.-Prof. Dr. Peter Sturm	26.03.10	
Erstellt	Dipl.-Ing. Dr. Johannes Rodler	26.03.10	

Bericht Nr. I-04/2010/Ro VU09/06/I-630 vom 15.03.2010

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 PRODUKTOPTIMIERUNG UND PROTOTYPENENTWICKLUNG	4
2 PRODUKTOPTIMIERUNG	4
2.1 Optimaler Filterstoff	4
2.1.1 Untersuchung von verschiedenen Filtermaterialien für Grobstaub	5
2.1.2 Untersuchung von verschiedenen Filtermaterialien für Feinstaub	8
2.1.3 Verschiedene Filtermaterialien für die Feinfilterstufe:	9
3 PROTOTYPENENTWICKLUNG.....	11
3.1 Generelle technische Beschreibung und Zeichnung eines Filterkorbes ...	11
4 LITERATURVERZEICHNIS	13

1 PRODUKTOPTIMIERUNG UND PROTOTYPENENTWICKLUNG

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, durch Simulation (ViF) und Laboruntersuchungen (TU-Graz, chemische Untersuchungen durch ECOLABOR) den optimalen Filterstoff für SPAS zu finden. Durch Prüfstandsmessungen und die dadurch mögliche gezielte Parameteroptimierung konnte schließlich der am besten geeignete Filterstoff sowie die erforderliche Dichte und Größe der Filterfläche festgelegt werden. Zu den Untersuchungsreihen lieferten KNAUF Insulations bzw. CBS verschiedene Materialien.

Für die Laboruntersuchungen wurde von der TU-Graz ein eigener Prüfstand errichtet (siehe auch Work package 4).

Für die Filterkörbe (Aufnahme der Filterelemente) mussten Materialstärke, Größe und Anordnung der Öffnungen, Form und Größe der Körbe sowie der Loch- oder Streckbleche festgelegt werden. Technisch wurde die Anbringung und Auswechslung des Filtermaterials sowie die Aufhängung bzw. Befestigung der Körbe an die Lärmschutzwände gelöst (Rieder, CBS und Knauf).

Ergebnis dieses Arbeitspakets ist die technische Beschreibung und die Zeichnung von 3 Typen von Filterkörben (Tunnel, Nachrüstung, integriert) durch CBS unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Voruntersuchungen und der gefundenen technischen Lösungen sowie das Aufstellen und die Montage der Prototypwand mit Filtervorrichtung.

2 PRODUKTOPTIMIERUNG

2.1 OPTIMALER FILTERSTOFF

Durch Simulationen welche vom Vif im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden und Laboruntersuchungen des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (TUG), ergab sich ein Anforderungsprofil für das zu verwendende Filtermaterial, welches zur Erreichung der bestmöglichen Wirksamkeit notwendig ist. Demnach muss das Filtermaterial für den Einsatz in einer Lärmschutzwand mit SPAS vor allem den beiden folgenden Kriterien entsprechen:

(1) Optimale Staubabscheidung

(2) Geringer Widerstand

Die Hauptfunktion des Filters soll das Abscheiden von Feinstaub (Partikel $<10\ \mu\text{m}$) sein. Da durch den Verkehr aber immer auch Grobstaub (Partikel $>10\ \mu\text{m}$) in den Filter eingetragen wird, muss gewährleistet sein, dass diese Fraktion zuvor abgeschieden wird, damit der eigentliche Feinstaubfilter nicht sofort verstopft ist. Es ist daher ein zweistufiges System anzustreben,

welches aus einer Vor-Filterstufe besteht, die Grobstaub abscheiden und speichern kann, sowie einer weiteren Filterstufe, welche schließlich den Feinstaub filtert.

Darüber hinaus soll die Abscheide-Wirkung des Feinfilters für PM_{10} so hoch wie möglich sein, wobei jedoch die maximal zulässige Differenzdruckerhöhung zu beachten ist. Jeder Filter bewirkt ja auf Grund seines Widerstandes beim Durchströmen eine Differenzdruckerhöhung, welche mit der Staubbeladung sogar noch zunimmt. Im Sinne einer möglichst optimalen Durchströmung (möglichst große Volumenströme) des Filters, sollte dieser Differenzdruck so gering wie möglich ausfallen. Die vom Projektpartner VIF in Simulationen ermittelten maximal zulässigen Druckdifferenzen liegen bei etwa 70-130 Pa. Das entspricht jenem Druckstoß, welcher durch ein vorbeifahrendes Fahrzeug (LKW) erzeugt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass auch jedes Mal ein Luftstrom durch das Filter erzeugt wird, wenn ein Fahrzeug das Filter passiert.

2.1.1 UNTERSUCHUNG VON VERSCHIEDENEN FILTERMATERIALIEN FÜR GROBSTAUB

Die speziellen Anforderungen an das Filtermaterial für die Vor-Filterstufe sind im Folgenden aufgelistet:

Geringer Strömungswiderstand

geringes Gewicht/geringe Dicke (max. 30 mm)

hoher Abscheidegrad für Grobstaub (= alle Partikel größer 10 μ m)

hohes Speichervermögen für den Staub

Resistent gegenüber Feuchtigkeit und Verrottung

Problemlose Entsorgung und Nachbehandlung

Dazu wurden folgende Filtermaterialien untersucht:

Hanfschäben:

In den ersten Überlegungen spielten Hanfschäben, ein ökologisches Abfallprodukt, eine bedeutende Rolle. Sie bestehen aus dem verholzten Teil des Hanfstengels, der bei der Faseraufbereitung in kleine Stücke bricht (= Schäben). Diese besitzen eine Wabenartige Struktur mit Kanälen mit einem Durchmesser von 15-25 μ m, wobei diese Feinstruktur durch einige wenige größere Kanäle mit einem Durchmesser von 50-70 μ m unterbrochen wird. Dieses Porensystem ist für ein großes Adsorptionsvermögen verantwortlich.

Durch den porösen Aufbau der Schäben ist grundsätzlich die Möglichkeit der Einlagerung von Feinstaubpartikel aufgrund der Partikelgrößenverhältnisse zum Porendurchmesser gegeben (Untersuchung ECOLABOR). Allerdings müssen die Schäben, da es sich um ein Naturprodukt handelt, gegen Verrottung resistent gemacht werden. Außerdem müssen die Schäben so

verarbeitet und miteinander verbunden werden, dass sie als kompakte Filterfläche in SPAS zum Einsatz kommen können.

Dazu wurden Versuche mit unterschiedlichen Chemikalien bzw. natürlichen „Klebstoffen“ gemacht und die fertig gestellten Testträger im Prüfstand auf ihre Abscheidewirkung und den auftretenden Druckverlust getestet. Die Versuche haben ergeben, dass eine gute Abscheidung im deutlichen Widerspruch zu annehmbaren Druckverlusten steht, so dass diese Variante fallen gelassen werden musste.

Vorteile Hanfschäben:

- Ist ein Naturprodukt
- Verfügbarkeit als Abfallprodukt (→billig)
- Kann durch chem. Behandlung resistent gegenüber Feuchtigkeit und Verrottung gemacht werden

Nachteile Hanfschäben:

- Die Verarbeitung ist aufwändig
- Die Abstimmung von Strömungswiderstand und Abscheidegrad konnte nicht zufriedenstellend gelöst werden.
- Im Tunnel nicht einsetzbar, da brennbar

KNAUF Mineralwolle:

Schon beim Projektantrag wurde Mineralwolle als möglicher Filterstoff in Betracht gezogen, weil durch die Produktion von Matten mit unterschiedlichen Dichten und Stärken ein Porensystem entsteht, welches ebenfalls als Rückhaltesystem für Staub dienen kann. Darüber hinaus besitzt Mineralwolle den großen Vorteil, dass sie nicht brennbar ist und daher auch im Tunnel eingesetzt werden kann. Mineralwolle besitzt außerdem nur ein geringes Aufnahmevermögen für Wasser und ist daher auch rasch wieder trocken. Untersuchungen im Rahmen des EU-Life Projekte SPAS haben gezeigt, dass selbst bei vollständiger Benetzung der Mineralwolle mit Wasser lediglich eine Gewichtszunahme von etwa 10 % zu verzeichnen ist und der Testträger bereits nach einer Stunde im Prüfstand sein ursprüngliches Gewicht wieder erlangt hat. Die Wasseraufnahme hatte dabei keinerlei Einfluss auf das Abscheideverhalten.

Um die geeignete Kombination aus Dichte und Stärke der Matten herauszufinden wurden unterschiedliche Kombinationen im Prüfstand hinsichtlich Abscheidung und Strömungswiderstand getestet. Dabei kristallisierte sich heraus, dass Matten mit der produktionsbedingt geringsten möglichen Dichte einen noch relativ guten Abscheidegrad für Staub besitzen (siehe WP4). Dabei besitzen diese Matten einen Strömungswiderstand von etwa 30 Pa bei einer Durchströmgeschwindigkeit von ca. 0.25 m/s.

Vorteile Mineralwolle:

- Hoher Abscheidegrad
- Resistent gegenüber Feuchtigkeit und Verrottung
- Entsorgung und Nachbehandlung einfach
- Im Tunnel einsetzbar da unbrennbar

Nachteile Mineralwolle:

- Bei hoher Dichte sehr hoher Strömungswiderstand
- Verarbeitung problematisch
- Bei niedrigen Dichten ist die Aufbringung von Stützgeweben notwendig

Polyester-Isoliermatten:

Während des Projektes ergab sich auch die Möglichkeit, ein weiteres Material hinsichtlich seiner Einsetzbarkeit als Grobstaub-Filter zu testen. Es handelt sich dabei um einen Wärmedämmstoff aus Polyesterfasern. Dieser besitzt bei herkömmlicher Verwendung als Baumaterial die gleichen Eigenschaften wie Mineralwolle, hat jedoch den Vorteil, dass seine Handhabung wesentlich günstiger ist. Zum einen, weil dieses Material wesentlich kompakter ist und daher nicht so leicht auseinanderfällt und des Weiteren, weil Mineralwolle ohne Mundschutz und Hautschutz nur mit unangenehmen Nebenwirkungen zu bearbeiten ist.

Auf seine Eigenschaften hinsichtlich der Abscheidung für Staub und den Druckverlust getestet, kann für dieses Material die gleiche Aussage wie für Mineralwolle getroffen werden. Allerdings kann auch dieser Werkstoff nicht im Tunnel eingesetzt werden.

Vorteile Polyester-Isoliermatten:

- Hoher Abscheidegrad
- Resistent gegenüber Feuchtigkeit und Verrottung
- Entsorgung und Nachbehandlung einfach
- Einfache Verarbeitung

Nachteile Polyester-Isoliermatten:

- Bei hoher Dichte sehr hoher Strömungswiderstand
- Im Tunnel nicht einsetzbar, da brennbar

Es wurden auch mit diesem Material unterschiedliche Kombinationen von Dichten und Dicken untersucht und so die beste Kombination ermittelt.

In weiterer Folge wurde die Polyester-Isoliermatte wegen ihrer besseren Handhabbarkeit als Vorfilterstufe bei den Versuchswänden in Viktring und Wölfnitz eingesetzt. Die KNAUF

Mineralwolle kommt dagegen im Tunnelbereich (Unterflurtrasse Lendorf) zur Anwendung, weil sie als einziges hitzebeständig ist und damit den Anforderungen der RVS (österreichische Richtlinie für die Tunnelausstattung) entspricht.

2.1.2 UNTERSUCHUNG VON VERSCHIEDENEN FILTERMATERIALIEN FÜR FEINSTAUB

Die Anforderungen an ein Feinstaubfilter sind so speziell, dass diese Aufgabe nur mit eigens dafür entwickelten Materialien bzw. Filter-Systemen gelöst werden kann. Der Grund dafür liegt in der Beschaffenheit des Staubes, so dass für unterschiedliche Größenklassen und Staubarten auch unterschiedliche Filter(systeme) eingesetzt werden müssen.

Tabelle 1: Größenordnung für Fraktionsabscheidegrade in Abhängigkeit der Filterklassen G1 bis F9 nach DIN EN 779 Filter im unbestaubten, sauberen Zustand

Filterklasse	Anfangs- wirkungs- grad	Enddruckdifferenz nach Testvorschrift	Mittlerer Abscheidegra d (Am)	Mittlerer Wirkungsgrad (Em)
			bei ASHRAE Staub	bei 0,4 µm Partikel
	%	Pa	%	%
G1	Grobfilter G :	250	50 < Am < 65	-
G2	< 20	250	65 < Am < 80	-
G3		250	80 < Am < 90	-
G4		250	90 < Am	-
F5	Feinfilter F :	450	-	40 < Em < 60
F6	> 20	450	-	60 < Em < 80
F7		450	-	80 < Em < 90
F8		450	-	90 < Em < 95
F9		450	-	95 < Em

Tabelle 1 zeigt welche Abscheidegrade bei welchen Filterklassen für Feinstaub erzielt werden können. Wie man leicht feststellen kann, bewirken höhere Abscheidegrade auch höhere Druckverluste, so dass hier eine Grenze für die Anwendbarkeit bei SPAS gegeben ist. So können sogenannte Hepa-Filter (Filterklasse H) oder Ultra-Filter (U), welche auch feinsten

Staub (<1 µm) filtern könnten wegen der zu hohen Druckdifferenz für SPAS nicht eingesetzt werde.

Die speziellen Anforderungen an das Filtermaterial für die Fein-Filterstufe sind im Folgenden aufgelistet:

- geringer Strömungswiderstand
- geringes Gewicht/geringe Breite (max. 20 mm)
- hoher Abscheidegrad für PM₁₀ (>70%)
- hohes Haltevermögen für den Feinstaub
- mechanische Festigkeit
- Resistent gegenüber Feuchtigkeit und Verrottung
- Einfache Entsorgung und Nachbehandlung

Alle diese Eigenschaften werden von einigen gängigen Filterstoffen erfüllt, so dass eine Auswahl des Filterstoffes hinsichtlich seiner Eignung grundsätzlich auch aus den Datenblättern der Filterstoff-Hersteller erfolgen kann. Die Prüfung der Filterwirkung erfolgt hier im Allgemeinen mit synthetischen Stäuben. Im Vergleich zu synthetischem Staub variieren jedoch die Eigenschaften atmosphärischer Stäube erheblich. Daher lassen die Testergebnisse nach DIN EN 779:2 keine direkten Rückschlüsse auf die tatsächlichen Leistungsdaten oder die Lebensdauer der Filter zu. Es wurden daher alle Fein-Filterstoffe auch im Prüfstand hinsichtlich ihrer Eignung für den speziellen Anwendungsfall im Rahmen des EU-Projektes SPAS getestet.

2.1.3 VERSCHIEDENE FILTERMATERIALIEN FÜR DIE FEINFILTERSTUFE:

Für die Feinstaubfilterstufe wurden (unter anderem) folgende Filtermaterialien untersucht:

Nanofilter:

Nur zu Vergleichszwecken wurde auch ein sogenanntes Nanofilter, also ein Filter der Klasse H getestet. Diese Filter haben sehr hohe Abscheidegrade selbst für feinste Stäube, erfordern jedoch auch einen erheblichen Druckdifferenz zu deren Überwindung. Da diese Filter hauptsächlich in der Reinraumtechnik eingesetzt werden, sind sie für den Einsatz unter widrigen Umweltbedingungen (Feuchte) eher nicht geeignet.

Vorteile Nanofilter:

- Sehr hoher Abscheidegrad für Partikel < 10 µm
- Hoher Abscheidegrad auch für Partikel < 4 µm

Nachteile Nanofilter:

- Sehr hoher Widerstand
- Nicht resistent gegenüber Feuchtigkeit

Feinstaub-Filtermatten:

Feinstaubfiltermatten erfüllen grundsätzlich alle Anforderungen als optimale Fein-Filterstufe für SPAS. Sie bestehen aus einem mehrschichtig aufgebauten faserbasierenden Polyester Filtermedium. Die einzelnen Fasern sind durch Thermobonding und Vernadeln verfestigt. Chemische Bindemittel, welche häufig den Nährboden für Mikroorganismen bilden, werden nicht eingesetzt. Das Filtermedium ist progressiv aufgebaut, d.h. in Richtung Reinfluftseite nehmen sowohl die Faserdurchmesser als auch die Faserabstände ab. Dadurch werden zuerst die Grobstaubpartikel auf der Staubluftseite und mit zunehmender Medientiefe die Feinstaubpartikel abgeschieden. Durch den progressiven Aufbau wird die gesamte Tiefe des Filtermediums ausgenützt. Das führt zu einer größeren Staubspeicherfähigkeit bei einer flach verlaufenden Druckverlustkurve, und damit zu einer hohen Wirtschaftlichkeit. Feinstaubfiltermatten sind nicht regenerierbar und daher nur einmal verwendbar. Sie sind jedoch Umwelt und Entsorgungsfreundlich. Es wurden Filtermatten der Kategorie F5 und F6 von verschiedenen Herstellern im Prüfstand getestet.

Tabelle 2: Spezifikationen von Feinstaub-Filtermatten (Quelle: Volz-Filter):

Standard-Ausführungen Feinstaub - Filtermatte F5								
Bezeichnung	Materialdicke ca.	Flächengewicht ca.	Nennvolumenstrom	Anströmgeschwindigkeit	Anfangsdruckdifferenz*	mittl. Effizienz 0,4 µm	Enddruckdifferenz	Güteklasse
	mm	g / m ²	m ³ / h / m ²	m / s	Pa	%	Pa	
V 300 S	15	300	900	0,25	15	40 - 60	450	F5
V 400 S	20	400	900	0,25	20	40 - 60	450	F5
V 500 S	25	550	900	0,25	25	40 - 60	450	F5
V 560 G	19	500	900	0,25	25	40 - 60	450	F5
V 600 G	25	650	900	0,25	30	40 - 60	450	F5
V 5 micron	25	750	900	0,25	35	60 - 80	450	F6

*plangeprüft

Vorteile:

- Sehr hoher Abscheidegrad für Partikel <10 µm

- Sehr niedrige Anfangsdruckdifferenz (ab 15 Pa bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0.25 m/s)
- Resistent gegenüber Feuchtigkeit und Verrottung
- Einfache Entsorgung

Nachteile:

- Abscheidegrad für Partikel <4 µm zwischen 60 und 80 %

Als Feinfilterstufe kommt daher in der integrierten Lärmschutzwand Viktring und in der Nachrüstwand Wölfnitz eine F6 Filtermatte zur Anwendung. Diese Filtermatte hatte im Versuch die beste Abscheidung auch für sehr feine Staubpartikel (<4 µm) bei einer akzeptablen Anfangsdruckdifferenz von ca. 35 Pa. Sie ist äußerst reißfest und daher sehr widerstandsfähig gegenüber mechanischer Belastung, außerdem ist sie unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit.

3 PROTYPENENTWICKLUNG

3.1 GENERELLE TECHNISCHE BESCHREIBUNG UND ZEICHNUNG EINES FILTERKORBES

Ein SPAS-Element besteht aus einem Filterkasten, in welchem die beiden Filtermodule (Grobstaubfilter, Feinstaubfilter) mit je 2 m Länge und 1 m Breite mit einem definierten Abstand zueinander eingesetzt werden können. Für die Wartung ist der Ausbau der Filterelemente in umgekehrter Reihenfolge möglich.

Der Filterkasten wird mit Hilfe einer Vorrichtung auf der Lärmschutzwand aufgesetzt, wobei bei der integrierten Version die Lärmschutzwand aus Faseton Hohlwelle besteht, was eine optimale Luftführung hinter der Lärmschutzwand erlaubt. Tabelle 3 zeigt den Filterkasten, wie er an der Lärmschutzwand angebracht ist, Tabelle 4 zeigt Details zur Befestigung.

Die Filterelemente für die Tunnelanwendung bestehen ebenfalls aus Aluminium sind jedoch polyesterpulverbeschichtet. Für die Anbringung des Filterelementes an der Tunnelwand werden zweifach lackierte feuerverzinkte Anbindewinkel aus Stahl sowie Segmentanker aus Edelstahl (entsprechend den einschlägigen Sicherheitsrichtlinien im Straßentunnel) verwendet. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Konstruktion mit der Aufhängung dargestellt.

Die einzelnen Filterelemente selbst (Vorfilter, Feinfilter) bestehen aus einem genieteten Aluminiumrahmen, in welchem die Filtermedien eingepasst werden. Diese werden auf beiden Seiten von einem Stützgitter gehalten. Die Rahmen können somit einfach in den Filterkasten eingesetzt und fixiert werden.

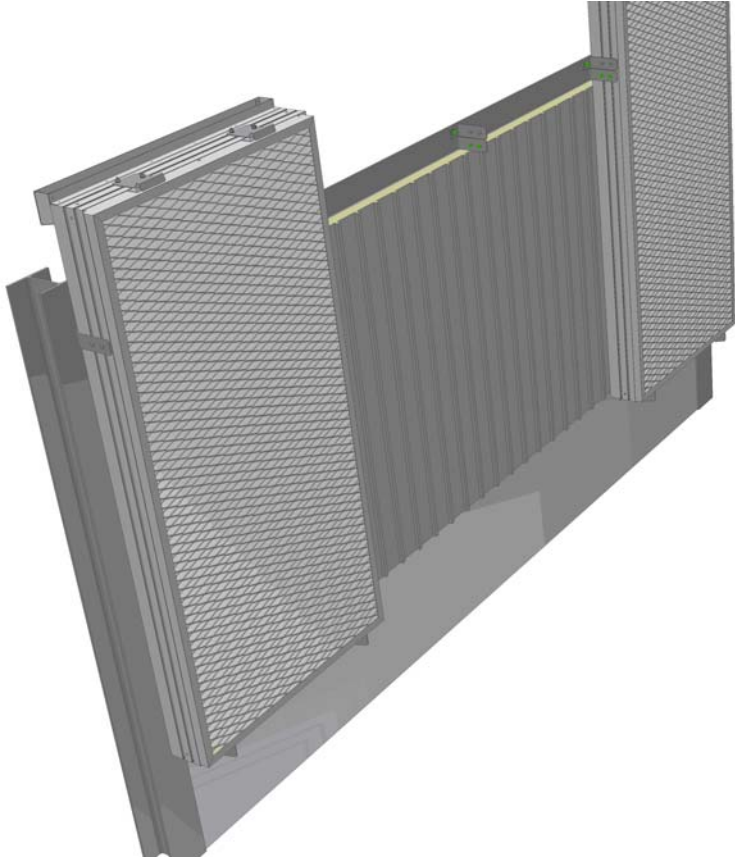


Tabelle 3: Filterkasten auf Faseton Hohlwelle

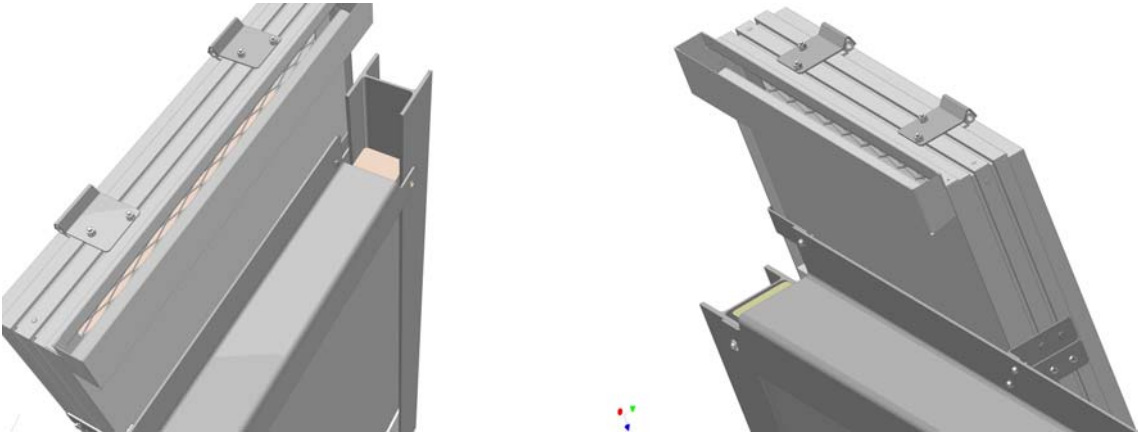


Tabelle 4: Befestigung des Filterkastens an der Lärmschutzwand

