

INVESTITIONEN ZUR VERMINDERUNG VON UMWELTBELASTUNGEN  
PROGRAMM DES BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ  
UND REAKTORSICHERHEIT

Luftreinhaltung

Abschlussbericht AZ UBA: 50 441-16/2  
Vorhaben Nr.: 20070

Reduzierung der Emission von Gesamtkohlenstoff insbesondere Glykol in der  
Abluft der Glasfaserherstellung

von

Dipl.-Ing. Peter Felsberg

VITRULAN Textilglas GmbH, Haselbach  
Geschäftsführender Gesellschafter: Peter Cordts  
(Antragsteller)

Dipl.-Ing. (FH) Tim Neuhaus

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH  
Bereich Luftreinhaltung  
Bereichsleiter: Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich  
Geschäftsführer: Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog

IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES

Januar 2005

## Berichts-Kennblatt

<i>Berichtsnummer</i>		
50 441 – 16/2		
Reduzierung der Emission von Gesamtkohlenstoff insbesondere Glykol in der Abluft der Glasfaserherstellung		
<i>Autoren</i> Dipl.-Ing. Peter Felsberg Dipl.-Ing. (FH) Tim Neuhaus	<i>Abschlussdatum</i>	19.11.2004
	<i>Veröffentlichungsdatum</i>	Januar 2005
<i>Durchführende Institutionen</i>  VITRULAN Textilglas GmbH Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH	<i>Vorh.-Nr.</i>	20070
	<i>Seitenzahl</i>	35
<i>Fördernde Institutionen</i>  Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Alexanderplatz 6 10178 Berlin	<i>Literaturangaben</i>	-
	<i>Tabellen und Diagramme</i>	7
	<i>Abbildungen</i>	13
<i>Kurzfassung</i> Bei der Herstellung von Textilglasfasern wird als Antistatikum Diethylenglykol eingesetzt, welches beim Spinnprozess als fein verteiltes Tröpfchenaerosol in die Abluft der Anlage gelangt. Mit dem Bau von zwei neuen Produktionslinien wurden diese mit elektrostatischen Filtermodulen zur Abscheidung und Rückgewinnung des Glykols ausgerüstet. Über den Vorhabenszeitraum von 1 Jahr wurden die Filter kontinuierlich und durch mehrere Messkampagnen überwacht und damit Rückschlüsse auf Abscheideleistung, Schadstoffemissionen, Energieverbrauch, Betriebssicherheit und Rückführung der Abluft gezogen werden.		
<i>Schlagwörter</i> Glykol, Textilglas, Emissionen, Elektrofilter, Abscheidung, Aerosol, Gesamt-C		

## Report-Coversheet

<i>Report No.</i> 50 441 – 16/2		
Reduction of the emissions of total carbon and in particular of glycol in the exhaust air of glass-fibre production		
<i>Authors</i> Dipl.-Ing. Peter Felsberg Dipl.-Ing. (FH) Tim Neuhaus	<i>Report Date</i> 19.11.2004	
	<i>Publication Date</i> January 2005	
<i>Performing Organisations</i>  VITRULAN Textilglas GmbH Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH	<i>Report-No.</i> 20070	
	<i>No. of Pages</i> 35	
<i>Sponsoring Agency</i>  Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Alexanderplatz 6 10178 Berlin	<i>No. of References</i> -	
	<i>No. of Tables</i> 7	
	<i>No. of Figures</i> 13	
<i>Abstract</i> For the production of Glassfibres Diethylenglycol is used as static inhibitor, which reach the exhaust air as a dispersed droplet aerosol. By installation of two new production lines, these were completed with electrostatic filter modules for separation and retrieval the glycol. During the period of time of the project, the filters were monitored by continuous and several measuring campaigns and therewith conclusions obtained about separation efficiency, pollutant emissions, energy consumption, operational safety and recirculation of the exhaust air.		
<i>keywords</i> glycol, glass fibre, pollutant emissions, elektrostatic filter, seperation efficiency, aerosol, total carbon		

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Aufgabenstellung</b>	<b>- 2 -</b>
<b>2 Beschreibung der Anlagen und Produktionskennwerte</b>	<b>- 6 -</b>
2.1 Beschreibung der Produktions- und Filteranlage	- 6 -
2.2 Produktionskennwerte	- 8 -
2.3 Leistungsziele der Filteranlage und Emissionsgrenzwerte	- 9 -
<b>3 Mess- und Untersuchungsprogramm</b>	<b>- 9 -</b>
3.1 Schadstoffarten und ihre Messgrößen	- 9 -
3.1.1 Schadstoffarten	- 9 -
3.1.2 Abgasrandparameter	- 10 -
3.1.3 Staubförmige Schadstoffe	- 10 -
3.1.4 Tropfenförmige Schadstoffe	- 10 -
3.1.5 Gasförmige Schadstoffe	- 11 -
3.2 Messprogramm	- 12 -
3.2.1 Einzelmessungen	- 12 -
3.2.2 Kontinuierliche Messung	- 15 -
<b>4 Messergebnisse und Diskussion</b>	<b>- 18 -</b>
4.1 Ergebnisse der Einzelmessung	- 18 -
4.1.1 Staub- und gasförmige Emissionen	- 18 -
4.1.2 Bestimmung des gasförmigen Diethylenglykols als Gesamt-C in der Abluft	- 19 -
4.1.3 Bestimmung der Abscheideleistung der Filter bezüglich Diethylenglykol in Form von Aerosoltröpfchen	- 20 -
4.1.4 Rückgewinnung des abgeschiedenen Diethylenglykols und Verwertung	- 25 -
4.2 Kontinuierliche Überwachung der Betriebszustände und Erfahrungen zum Betrieb der Filtermodulen	- 27 -
4.3 Rückführung der Abluft in die Produktionshallen	- 31 -
4.4 Energetische Betrachtung der Anlagen	- 31 -
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>- 34 -</b>

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die VITRULAN Textilglas GmbH ist Hersteller von Glasdekoewebe, Armierungsgewebe und andere technische Erzeugnisse aus Textilglas. Im Werk Haselbach, Thüringen, werden hierfür aus dem Rohmaterial Glas Textilglasfasern gesponnen und weiter verarbeitet.

Bei dem Spinnprozess kommt es zur elektrostatischen Aufladung der Glasfasern, was aufgrund der weiteren Verarbeitung des Materials zu einem textilen Glasfaserband vermieden werden muss. Prozessbedingt kann dies nur durch den Einsatz eines Glykol-Luft-Gemisches in feinstverteilten Tröpfchenaerosolen erreicht werden, mit dem die Fasern während des Spinnprozesses benetzt werden. Über den Maschinenumwind gelangen die Aerosole in die Abluft, welche erfasst und abgeführt wird.

Für die Reinigung der Abluft, die hinsichtlich der Emissionen von Gesamt-C im Bereich der bisherigen Grenzwerte liegt, gibt es auf Grund der speziellen Eigenschaften des Aerosols bislang noch keine brauchbaren Abscheidemöglichkeiten und die Umwelt wird durch Geruchsbelastung, nebelartiger Lufttrübung und „schmierigem“ Niederschlag entsprechend belastet.

In Hinblick auf eine neu zu bauende Produktionsanlage mit hohen Abluftmengen im Werk Haselbach wurde nach Lösungen gesucht, die eine Belastung der Umwelt vermeiden. Im Vorfeld wurden deshalb von der Fa. VITRULAN F+E-Arbeiten in Auftrag gegeben. Ziel der Arbeiten war die Spezifizierung des Aerosols bezüglich seiner Tropfengröße, sowie die Ermittlung eines geeigneten Abscheideverfahrens und die Minimierung des Risikos einer Erstanlage für die Abluftbehandlung der neuen Produktionslinie. Die Arbeiten umfassten u.a.

- den Einbau eines Elektrofilters (Überschläge - keine ausreichende Verfügbarkeit) durch die Fa. Schnabel, Glauchau
- Vergleich von Nassabscheidung, Filternder Abscheidung und elektrostatischer Abscheidung in einer Teilstromanlage (VITRULAN, Messung ILK Dresden)
- Untersuchungen mit Wirrfaserfiltern und Lamellenfiltern, sowie einem konstruktiv verbesserten elektrostatischen Filter (ILK Dresden im Auftrag von der Fa. Bristol)
- Prüfung der Standfestigkeit des verbesserten elektrostatischen Filters an einer Anlage von VITRULAN durch die Fa. Bristol.

Im Ergebnis der Aktivitäten konnte festgestellt werden, dass

- die, mit einem Mobilitätsspektrometer gemessene Anzahlverteilung des Aerosol ein Maximum bei Tropfengrößen von 20 bis 50 nm zeigt,
- das Aerosol weder mit Nassabscheidern, noch mit Patronenfiltern, sondern nur mit elektrostatisch arbeitenden Filtern zufrieden stellend abzuscheiden ist. Bild 1.1 zeigt die gemessene Tropfengrößenverteilung und die Fraktionsabscheidegrade verschiedener untersuchter Abscheideverfahren.
- das Aerosol hydrophil ist und im Elektroabscheider stark elektrisch leitfähige Beläge, insbesondere auf den Isolatoren, die zu Stromüberschlägen führen, bildet (handelsübliche Geräte sind nicht einsetzbar).
- ein modifizierter elektrostatischer Abscheider mit Zusatzeinrichtungen sich als Abscheider für das spezielle Aerosol eignet und bei Kurzzeiterprobungen (Teilstromanlage) Abscheidegrade  $\geq 95$  % für die Aerosoltröpfchen erzielt wurden.

Das technische Risiko der zu errichtenden Erstanlage lag damit darin, dass eine nicht ausreichende Abscheideleistung durch Überschläge und damit eine Wirkungslosigkeit der Elektrofilter auftritt, die insbesondere im Winter, wenn die gereinigte Luft zum Teil der Produktionshalle wieder zugeführt werden soll, vermieden werden muss.

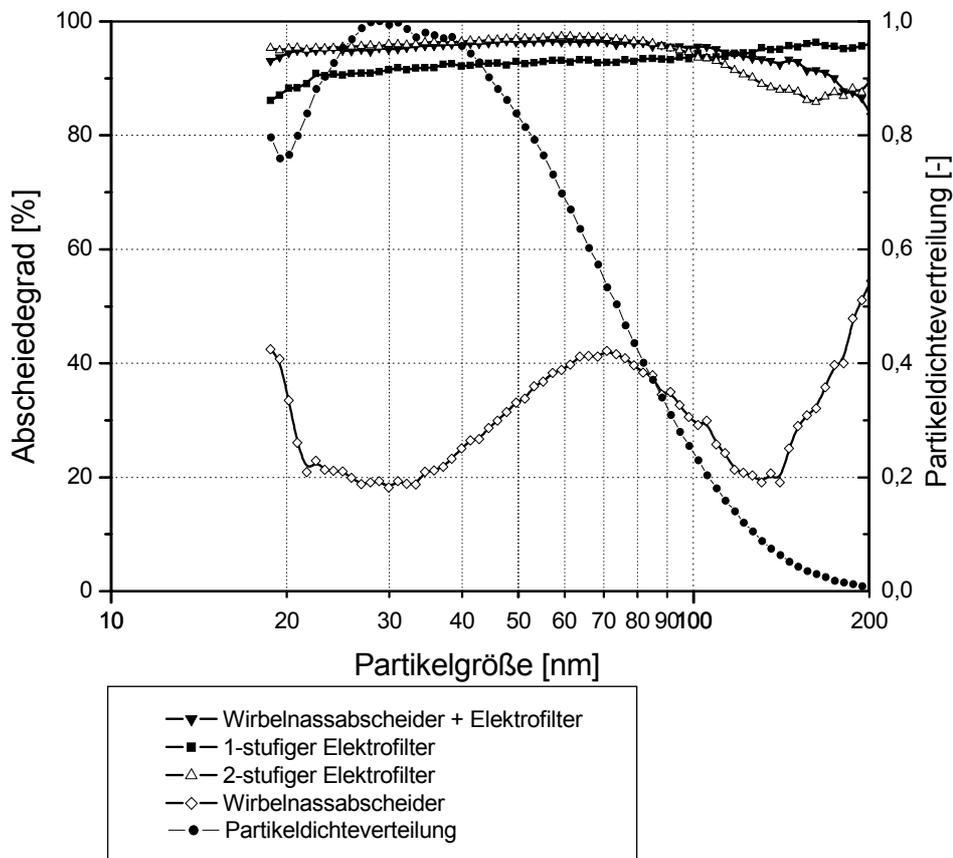


Bild 1.1: Darstellung der Fraktionsabscheidegrade verschiedener Abscheideverfahren, sowie der Tropfengrößenverteilung des Glykolaerosols

Neuartig sind die bei den F+E-Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse zu den Aerosoltröpfchengrößen und der Abscheidung im elektrostatischen Feld, da Emissionen im Nanopartikelbereich, welche unterhalb bestehender Grenzwerte liegen bislang kaum Beachtung fanden. Die eingesetzte Messtechnik im Nanometerbereich stand bisher nicht zur Verfügung.

Die Innovationen in der Erstanlage für den Einsatz von elektrostatischen Filtern mit Ionisatorzelle und nachgeschalteter Kollektorzelle bei vorgeschaltetem Prallplattenabscheider, werden durch folgende spezielle Ausführung des elektrostatischen Filters für die Abscheidung von hydrophilen, stark leitfähigen Aerosolen charakterisiert:

- Plattenabstand optimiert
- Sonderkonstruktionen der Isolatoren

- Sonderwerkstoff für die Hochspannungskabel um Durchschläge zu vermeiden
- Nutzung eines Teiles der Wärmeenergie der Abluft durch Reinlufrückführung im Winter
- Vorabscheidung gröberer Teilchen und Glasfaserbruchstücken, sowie von den Niederschlagsplatten abgerissene Tröpfchen durch mechanische Edelstahlfilter

Mit diesen Spezifikationen wurden für den 1. Bauabschnitt der Neuanlage zwei Elektrofilteranlagen für je 22 000 m<sup>3</sup>/h geplant und bei der Fa. Bristol T&G International GmbH, Dombühl, in Auftrag gegeben. Aufgrund der noch fehlenden Erfahrungen, wie sich das ausgewählte Abscheideverfahren bei Großanlagen verhält, war eine messtechnische Betreuung notwendig, welche nicht nur die Inbetriebnahme der Anlage, sondern auch ihre Zuverlässigkeit über einen Zeitraum von 1 Jahr überprüfte. Mit der Unterstützung durch das Umweltbundesamt wurde dies ermöglicht und die Bundesinteressen wie

- die Verminderung der Umweltbelastung durch Aerosole, C-haltige Schadstoffe bzw. Gerüche,
- die Verbesserung der hygienischen Bedingungen an den Arbeitsplätzen,
- die CO<sub>2</sub>-Minderung durch Energieeinsparung im Falle der Reinlufrückführung

konnten berücksichtigt werden.

Mit der Überwachung und messtechnischen Betreuung der Anlage wurde das ILK Dresden beauftragt.

Das Vorhaben wurde im Zeitraum von Mai 2003 bis Oktober 2004 umgesetzt. Die Inbetriebnahme der ersten Produktionslinie und der dazugehörigen Filteranlage, sowie messtechnische Ausrüstung der Anlage und Inbetriebnahmemessung erfolgte planmäßig im September 2003. Eine Kontrollmessung im Umfang der Inbetriebnahmemessung wurde 3 Monate später durchgeführt. Im Januar 2004 erfolgte die Einbindung der zweiten Produktionslinie und des zugehörigen Filters. Im Rahmen einer zusätzlichen Messung zur Gesamt-C-Problematik wurde auch die zweite Filteranlage mit der notwendigen Messtechnik ausgerüstet. Die Abschlussmessung erfolgte im Oktober 2004, ein Jahr nach der Inbetriebnahme der Anlage. Abweichungen vom Zeitplan des Vorhabens gab es somit nicht.

Im vorliegenden Abschlussbericht werden die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Anlagenbetrieb und der messtechnischen Betreuung vorgestellt und diskutiert. Dies umfasst u. a. die Wiederverwertbarkeit des abgeschiedenen Glykols, die Abscheideleistung und Langzeit-Zuverlässigkeit der Filteranlagen, sowie die Energiebilanzen der Gesamtanlage.

## 2 Beschreibung der Anlagen und Produktionskennwerte

### 2.1 Beschreibung der Produktions- und Filteranlage

Die Neuanlage zur Faserproduktion besteht aus zwei Produktionslinie mit jeweils 9 Fasermaschinen.

Entsprechend der Aufgabenstellung des Vorhabens wurden 2 elektrostatische Luftfilter „EF“ der Fa. Bristol T&G International GmbH, Dombühl, Typ Modul 31.500 Tandem in die Schwadenabluft der Linie 1 und 2 der Glasfaserproduktionsanlage installiert. Die Anlagen werden im Parallelbetrieb genutzt. In Bild 2.1 ist die Anordnung der Filter dargestellt.



Bild 2.1: Gesamtanlage der elektrostatischen Luftfilter

Jedes Filtermodul ist zweistufig aufgebaut und besteht aus

- 1 Vorfilterstufe mit 9 Drahtgestrickfiltern mit Glasgewebeeinlage mit einer Stärke von 50 mm
- 2 Ionisationsstufen mit je 3 einzelligen und 3 zweizelligen Ionisatoren
- 2 Kollektorstufen mit je 9 Kollektorzellen
- 1 Nachfilterstufe mit 9 Drahtgestrickfiltern mit einer Stärke von 20 mm

Der Aufbau der Module ist in Bild 2.2 dargestellt. Die Spannungsversorgung erfolgte über entsprechende Powerpacks. Dabei wurden die Ionisatoren mit 12 kV und Kollektoren 6 kV betrieben.

Die Filtermodule wurden so gestaltet, dass sie begehbar sind und die Zellen auch in eingebauter Lage gewartet werden können. Die einzelnen Zellen der Filterstufen werden über Einschübe in die Module eingesetzt. Ein 14-tägiger Reinigungszyklus hat sich als ausreichend dargestellt.



Bild 2.2: Aufbau der Elektrofiltermodule: Vorfilterstufe (oben links), Ionisatorstufe (oben mitte), Kollektorstufe (oben rechts), Anordnung der Zellen (unten links), Kollektorzellen der letzten Stufe mit Nachfiltern (unten rechts).

## 2.2 Produktionskennwerte

Es werden Glasstapelfasern unterschiedlicher Feinheit für die textile Weiterverarbeitung gefertigt. Die Produktionskapazität beträgt 2450 t/Jahr. Die 18 Maschinen zur Faserherstellung befinden sich im durchgängigen 4-schichtigen Produktionseinsatz.

Neben dem Rohstoff Glas wird für die Faserherstellung Diethylenglykol als Antistatikum eingesetzt. Dieses wird den Fasermaschinen über eine zentrale Versorgungsanlage in einer durchschnittlichen Menge von 44,2 l für 18 Maschinen pro Tag eingesetzt, was einem Jahresbedarf von 15.840 kg entspricht.

Entsprechend der technologischen Notwendigkeit wird das Diethylenglykol unmittelbar an der Düsenleiste vernebelt. Dieser Nebel wird vom Trommelumwind erfasst und in den Anspinnkeller abgeleitet.

### **2.3 Leistungsziele der Filteranlage und Emissionsgrenzwerte**

Laut dem ausgestellten Genehmigungsbescheid dürfen die über den Kamin abgeleiteten Abgase der Anlage die folgenden Emissionswerte, bezogen auf den Normzustand (273 K, 1013 hPa) nicht überschreiten:

- Gesamtstaub: 20 mg/m<sup>3</sup>
- organische Stoffe, ausgenommen staubförmige organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff: 50 mg/m<sup>3</sup>

Für die Rückführung der Reinluft sind die folgenden MAK-Werte einzuhalten:

- anorganische Fasern: 250 000 Fasern/m<sup>3</sup>  
(nach TRGS 901)
- Diethylenglykol (neue Bezeichnung:  
2,2-Oxydiethanol): 44 mg/m<sup>3</sup>

Als Leistungsziel für die Filteranlage wurde ein Abscheidegrad von >90% für Aerosolpartikeln >3 µm, für den Gehalt an organischen Stoffen, angegeben als Gesamtkohlenstoff, eine Konzentration von < 3 mg/Nm<sup>3</sup> festgelegt. Laut Angaben des Filterhersteller liegt der Druckverlust eines Filtermoduls bei einem Betriebsvolumenstrom von 22 000 m<sup>3</sup>/h bei < 500 Pa.

Weiterhin soll eine höchstmögliche Rückgewinnung, sowie die Nebelbildung am Schornsteinaustritt vermindert werden.

## **3 Mess- und Untersuchungsprogramm**

### **3.1 Schadstoffarten und ihre Messgrößen**

#### **3.1.1 Schadstoffarten**

In Abhängigkeit der Einsatzstoffe und ihrer Aggregatzustände waren beim vorliegenden Prozess verschiedene Schadstoffarten zu berücksichtigen. Unterschieden werden muss dabei zwischen gasförmige, tropfenförmige und

staubförmige Schadstoffe. Staubförmige Schadstoffe entstehen beim Spinnprozess durch Abriss oder Bruch von Fasern während des Spinnprozesses. Als tropfenförmiger und gasförmiger Schadstoff wird das Diethylenglykols bei seiner Vernebelung freigesetzt. Ozon ( $O_3$ ) kann aufgrund der Luftionisierung durch die Elektrofiltermodule entstehen.

Weitere Schadstoffe können durch zusätzliche Einsatzstoffe beim Prozess entstehen, welche jedoch im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht vorgesehen sind, sowie durch Reaktionen bzw. Freisetzungen bei der Glasschmelze, durch Maschinenabrieb und –schmierung. Im Folgenden wird auf die einzelnen Schadstoffgruppen näher eingegangen.

### **3.1.2 Abgasrandparameter**

Unter die Abgasrandparameter fallen die Messgrößen Temperatur (T), Druck (p), relative Feuchte (M) und Strömungsgeschwindigkeit (v). Mit ihrer Hilfe kann die Gasdichte der Abluft und die Abluftmenge ermittelt werden und die Umrechnung auf Normbedingungen erfolgen. Weiterhin wurde als Abgasrandparameter der Sauerstoffgehalt ( $O_2$ ) der Abluft gemessen.

### **3.1.3 Staubförmige Schadstoffe**

Bei den staubförmigen Schadstoffen werden faserförmige Partikeln und die Summe an Feststoffpartikeln (Gesamtstaub) getrennt ermittelt. Bei beiden Messverfahren wird dem Hauptvolumenstrom der Abluft ein Teilstrom entnommen und über ein Abscheidemedium geführt. Für faserförmige Partikeln werden goldbedampfte Membranfilter eingesetzt und die abgeschiedenen Fasern mittels Rasterelektronenmikroskop ausgezählt. Als Richtlinie gilt hier die VDI 3861, Bl. 2. Mit dem Verfahren werden anorganische Fasern mit einer Länge  $\geq 5 \mu m$ , einem Durchmesser von  $< 3 \mu m$  und einem Verhältnis von Länge zu Durchmesser von  $\geq 3:1$  erfasst.

Zur Bestimmung der Gesamtstaubkonzentration werden Glasfaserfilter als Abscheidemedium verwendet, welche vor und nach den Probenahmen konditioniert und die abgeschiedenen Massen über Differenzwägung bestimmt werden. Das Messverfahren ist in der VDI 2066, Bl.7 beschrieben.

### **3.1.4 Tropfenförmige Schadstoffe**

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass das beim Prozess vernebelte Diethylenglykol als sehr feinverteiltes Tröpfchenaerosol, d.h. mit einem Tröpfchendurchmessern von

<100 nm (0,1 µm) in die Abluft gelangt. Derartige Aerosole können nur mit spezieller Messtechnik, wie mit dem Mobilitätsspektrometer bestimmt werden.

Bei diesem Messverfahren wird die mit dem zu analysierenden Aerosol beladene Probe über eine Kr-85 Quelle neutralisiert und passiert anschließend das DMA. Das DMA besteht aus zwei konzentrischen Metallzylindern zwischen denen die Probe und partikelfreie Spülluft laminar entlang strömen. Aufgrund der laminaren Verhältnisse kommt es dabei zu keiner Vermischung der Ströme, so dass die Spülluft den inneren Zylinder umströmt während die Probe um die Spülluft herum strömt. Durch Anlegen eines elektrostatischen Feldes zwischen den Zylinder lassen sich aber bestimmte Partikel, in diesem Falle Tröpfchen, durch die Spülluft in Richtung des inneren Zylinders transportieren. In Abhängigkeit von der elektrischen Mobilität der Tröpfchen, der Geometrie der DMA und der Durchflussgeschwindigkeit gelangen damit definierte Tropfengrößen zusammen mit der Spülluft durch einen schmalen Schlitz im unteren Teil des Zylinders. Das so entstandene monodisperse Aerosol gelangt zum Kondensationskernzähler (CPC) wo die Tropfenanzahl detektiert wird. Durch Variation (Scanning) der angelegten Feldstärke kann auf diese Weise ein Tropfengrößenspektrum analysiert werden. Mit dem im Vorhaben eingesetzten Mobilitätsspektrometer können Tröpfchen <1 µm bestimmt werden.

Für Tröpfchen >1 µm wurden Streulichtpartikelzähler eingesetzt. Hier dient ein Halbleiterlaser als Lichtquelle. Wenn Tröpfchen den Laserstrahl durchqueren, geben sie einen Lichtimpuls ab und das 90° Streulicht mit einem Öffnungswinkel von etwa 60° wird über einen Spiegel auf eine Empfängerdiode gelenkt. Das Signal der Diode wird dann, nach einer entsprechenden Verstärkung in verschiedene Größenklassen klassifiziert.

### **3.1.5 Gasförmige Schadstoffe**

Für die kontinuierliche Bestimmung des gasförmigen Anteils an Diethylenglykol in Abluft bietet sich der Flammenionisationsdetektor (FID) an, da Diethylenglykol eine Kohlenwasserstoffverbindung ist (C<sub>4</sub>-H<sub>10</sub>-O<sub>3</sub>) und damit die Konzentration an Kohlenstoff messtechnisch einfach zu erfassen ist. Bei dem Messverfahren wird das, aus dem Abluftstrom entnommene Probegas einer Flamme zugeführt und dort die enthaltenen Kohlenwasserstoffmoleküle erwärmt, pyrolytisch aufgebrochen und schließlich ionisiert. Eine an der Flamme anliegende Spannung erzeugt dann einen der

Kohlenstoffkonzentration proportionalen Messstrom und wird als Gesamt-C-Konzentration angegeben. Als Richtlinie für diese Verfahren gilt die VDI 3481, Bl.1.

Neben den organischen Schadstoffen wurden im Vorhaben außerdem die anorganischen Schadstoffe Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) gemessen. Da diese Schadstoffe im vorliegenden Prozess nur eine untergeordnete Rolle besaßen, wird auf eine nähere Erläuterung ihrer Messverfahren hier verzichtet.

## **3.2 Messprogramm**

### **3.2.1 Einzelmessungen**

In drei Messkampagnen wurden die Emissionen der Anlage und die Leistungsfähigkeit der Filter überprüft. Die Messkampagnen wurden wie folgt angesetzt und durchgeführt:

- Inbetriebnahmemessung
- Kontrollmessung nach 3 Monaten Betrieb
- Kontrollmessung (Abschlussmessung) nach 1 Jahr Betrieb

Bei allen drei Messkampagnen wurden die folgenden Messgrößen bestimmt:

- Abgasrandparameter: T, p, M, v, O<sub>2</sub>
- Anorganische Gase: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>
- Organische Gase: Gesamt-C
- Staub: Fasern, Gesamtstaub
- Aerosol: Tröpfchenaerosol

Das Messprogramm wurde im Vorfeld der Messungen vom ILK Dresden aufgesetzt und mit dem Betreiber und dem UBA abgestimmt. Die Messplanung erfolgte nach VDI 2448, sowie unter Berücksichtigung der VDI 4200 für die Durchführung von Emissionsmessungen und dem Abschnitt 5.3.2.2. der TA Luft. Der Messplan wurde neben dem UBA auch der zuständigen Überwachungsbehörde (Staatliches Umweltamt Suhl) vorgelegt. Die Ergebnisse der Messungen wurden in Messberichten gemäß der Vorlage des LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz) verfasst.

Eine Übersicht über die eingesetzten Messgeräte ist in den Tabelle 3.2 gegeben.

Tabelle 3.1: Liste der Messkomponenten und Messgeräte der Einzelmessungen

Lfd.-Nr.	Messgröße, Messort	Messgerät	Messbereich	Messverfahren
E. 1	Temperatur / Feuchte, Reingas	Kombinierter flexibler Feuchte/Temperaturfühler, Typ testo 601, Fa. Testotherm GmbH & Co., Lenzkirch	T: -25...+150 °C rel. F: 0...100 %	T: Messung des Spannungsabfalles über einen Widerstand Rel.F: Änderung der Kapazität eines Kondensators in Abhängigkeit der Umgebungsfeuchte
E. 2	Strömungsgeschwindigkeit, Reingas	Prandtl'sches Staurohr in Verbindung mit elektronischem Mikromanometer, Typ MEDM 500, Fa. Airflow Lufttechnik GmbH, Rheinbach	0...1000 Pa	Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit aus den Druckverhältnissen in der Messebene
E. 3	Statischer Druck	Wie E. 2	Wie E. 2	Wie E. 2
E. 4	Organischer Kohlenstoffgehalt (Gesamt-C), Rein- und Rohgas	Flammenionisationsdetektor, FID 123, Fa. TESTA, München	0...10000 ppm	Messen des Ionisierungsgrades eines Gases in einer Ionisationskammer
E. 5	Sauerstoff (O <sub>2</sub> ), Reingas	NGA 2000, MLT 4-Analysator, Fisher-Rosemount GmbH, Hasselroth	0...21 Vol-%	Messung der paramagnetischen Sustzibilität eines Gases
E. 6	Stickoxide (NO <sub>x</sub> ), Reingas	NGA 2000, MLT 4-Analysator in Verbindung mit NO <sub>2</sub> -Konverter, Typ INOX-T, Fisher-Rosemount GmbH, Hasselroth	0...125 ppm	Messung der Absorption der Infrarotstrahlung durch die Messkomponente
E. 7	Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ), Reingas	BINOS 1001, Fisher-Rosemount GmbH, Hasselroth	CO: 0...150 ppm CO <sub>2</sub> : 0...20 Vol-%	Messung der Absorption der Infrarotstrahlung durch die Messkomponente

Lfd.-Nr.	Messgröße	Messgerät	Messbereich	Messverfahren
E. 8	Ozon (O <sub>3</sub> ), Reingas	O <sub>3</sub> 41 M, Ansyco GmbH, Karlsruhe	0...10 ppm	Messung der Absorption der Ultraviolettstrahlung durch die Messkomponente
E. 9	Staubkonzentration, Reingas	Gravimat, Typ SHC -5, Sick GmbH, Ottendorf-Okrilla	0,2...2000 mg/m <sup>3</sup>	Isokinetische Teilstromabsaugung über einen Messfilter mit anschließender gravimetrischer Auswertung
E. 10	Faserkonzentration, Reingas	Wie E. 10	Nachweisgrenze: 120 Fasern/m <sup>3</sup>	Isokinetische Teilstromabsaugung über einen goldbedampften Kernporenfilter mit anschließender elektronenmikroskopischen Auswertung
E. 11	Partikelgröße und-anzahlkonzentration, Rein- und Rohgas	Aerosolspektrometer, Typ 1.108, Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG, Ainring	0,3...20 µm	Messung des 90°-Streulichtimpulses, verursacht durch Partikel die den Laserstrahl eines Halbleiterlasers kreuzen.
E. 12	Partikelgröße und-anzahlkonzentration, Rein- und Rohgas	Mobilitätsspektrometer, Model 3936 SMPS, TSI Inc., USA	18...850 nm	Selektierung der neutralisierten Aerosolprobe mit Hilfe der elektrischen Mobilität der Partikel in einem variablen elektrischen Feld mit anschließender Partikelzählung durch einen Kondensationskernzähler

### **3.2.2 Kontinuierliche Messung**

Mit der kontinuierlichen Messung wurde der Dauerbetrieb der Anlage, sowie die Beladung der Filtermodule mit Diethylenglykol und die daraus resultierende Reduzierung der Abluftmengen überwacht. Die Beladung kann über den Druckverlust der Filtermodule ermittelt werden. Dafür wurden vor und hinter den Modulen Ringleitungen mit entsprechenden Druckmessstutzen angebracht, über die, in Verbindung mit einem Drucksensor der Differenzdruck der Module gemessen wurde. Weiterhin wurden die Abgasrandbedingungen Temperatur, relative Feuchte und Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Die Stabilität der Spannungsversorgung der Elektrofilterzellen konnte durch die kontinuierliche Messung des Primärstromes eines der PowerPacks überwacht werden.

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte über ein Messwerverfassungssystem in Verbindung mit einem PC. Über ein Modem konnte die Anlage somit fernüberwacht werden.

Die Anordnung der Messstellen sind im Messstellenschema in Bild 3.1 sowohl für die kontinuierliche, als auch für die wiederkehrenden Messungen dargestellt.

In Tabelle 3.2 sind die Messgrößen und das zugehörige Messverfahren aufgeführt.

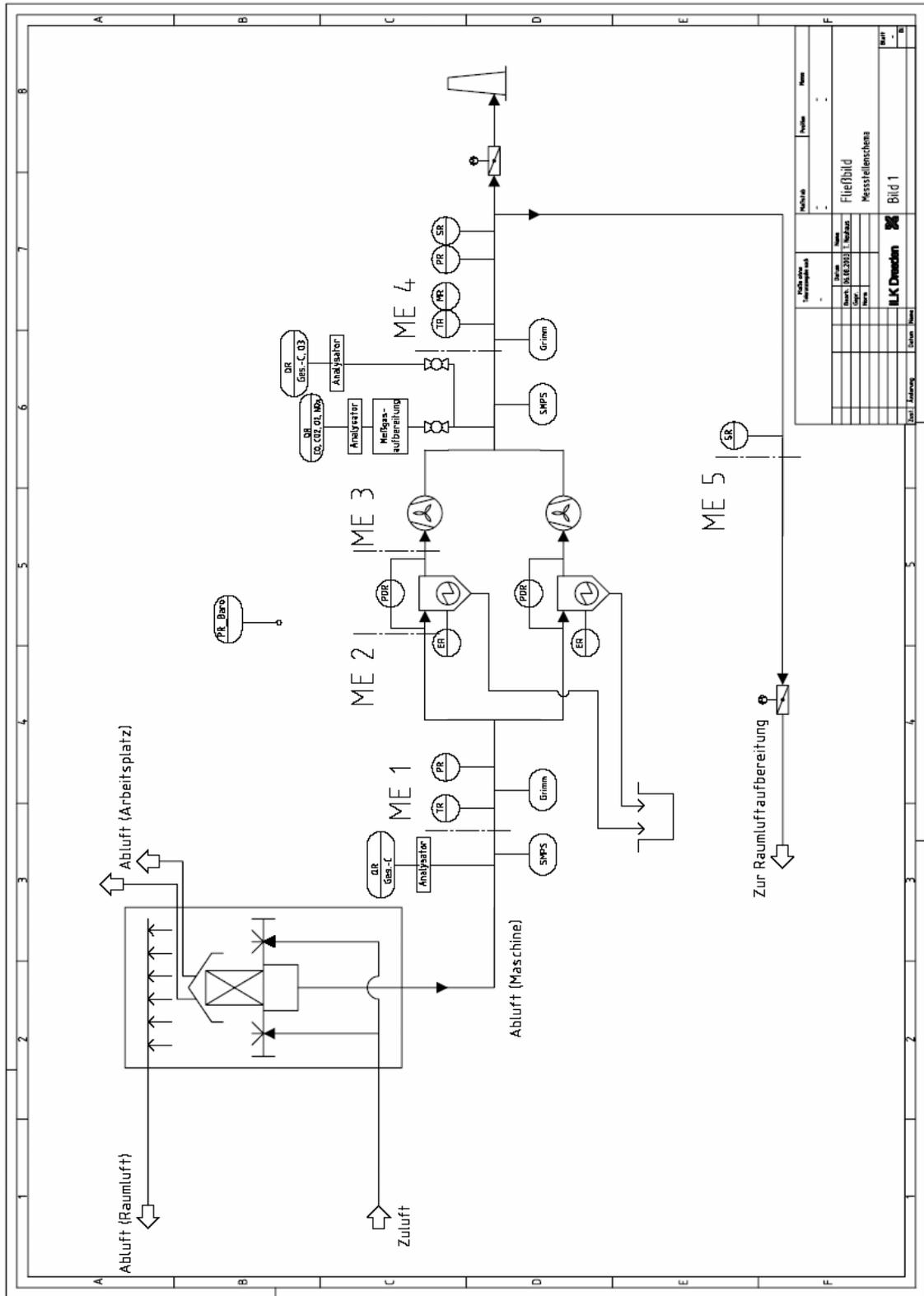


Bild 3.1: Messstellenschema

Tabelle 3.2: Liste der Messkomponenten und Messgeräte für die kontinuierliche Überwachung der Elektrofilter

Lfd.-Nr.	Messgröße / Messort	Initial / Messebene	Messgerät	Messbereich	Messverfahren
K. 1	Temperatur, Rohgas	T <sub>Roh</sub> / ME 1	Pt 100, Typ WK 63.3, Temperaturmesstechnik Geraberg GmbH, Geraberg	-250...800 °C	Messung des Spannungsabfalles über einen Widerstand.
K. 2	Temperatur, Reingas	T <sub>Rein</sub> / ME 4	Temperatur- / Feuchte-Sensor, Typ EE28-PD302/66, E+E Elektronik GmbH, Engerwitzdorf, Austria	-40...80 °C	Messung des Spannungsabfalles über einen Widerstand.
K. 3	Relative Feuchte, Reingas	MR / ME 4	Temperatur- / Feuchte-Sensor, Typ EE28-PD302/66, E+E Elektronik GmbH	0...100 %	Änderung der Kapazität eines Kondensators in Abhängigkeit der Umgebungsfeuchte
K. 4	Strömungsgeschwindigkeit, Reingas	SR / ME 4	Thermische Sonde, Typ SS 20.01, Schmidt Feintechnik GmbH, D-Georgen	0...20 Nm/s	Messen der Abkühlung einer beheizten Sonde
K. 5	Druckdifferenz	PDR / ME 2-3	Ringleitung in Verbindung mit Druckmessumformer, Typ PTLN-K1K, Airflow Lufttechnik GmbH, Rheinbach	0...1000 Pa	Messen der piezoelektrische Widerstandsänderung durch Druckeinwirkung auf eine biegsame Membran.
K. 6	Statischer Druck	PR / ME 3	Ringleitung in Verbindung mit Druckmessumformer, Typ PTLN-K1K, Airflow Lufttechnik GmbH, Rheinbach	0...1000 Pa	Wie K.5
K. 7	Barometrischer Druck	PR_Baro	Druckmessumformer, Typ GMUD, Greisinger electronic GmbH, Regenstauf	800...1200 mbar abs.	Wie K.5
K.8	Primärstrom Powerpack	ER / ME 2	Messumformer Strom, Typ: Ieff-MU, Müller-Ziegler GmbH & Co. KG, Gunzenhausen	0...1 A	Anliegender Wechselstrom wird über eine Gleichrichterschaltung in ein 4...20 mA Signal ausgegeben.

## 4 Messergebnisse und Diskussion

### 4.1 Ergebnisse der Einzelmessung

#### 4.1.1 Staub- und gasförmige Emissionen

Die Messergebnisse der 3 Messkampagnen zu den Abgasrandparametern und staub- bzw. gasförmigen Emissionen sind in Tabelle 4.1 bis Tabelle 4.3 gemittelt und zusammengefasst.

Die Messergebnisse der Betriebsparameter zeigen konstante Betriebsbedingungen der Anlagen über die drei Messkampagnen. Genauere Aussagen können den Aufzeichnungen der kontinuierlichen Überwachung entnommen werden. Der Volumenstrom liegt bei der Abschlussmessung ungefähr doppelt so hoch gegenüber den vorhergehenden Messungen, da erst nach der ersten Kontrollmessung die zweite Produktionslinie und Filteranlage in Betrieb (Jan. 2004) genommen wurde.

Die Parameter Temperatur und Sauerstoff besitzen Werte in Höhe der Umgebungsluft. Die erhöhten Werte der relativen Luftfeuchte sind auf die hygroskopische Eigenschaft des Glykolaerosols zurückzuführen.

Abgesehen von der Gesamt-C-Konzentration liegen auch die Messwerte der in Tabelle 4.2 aufgeführten Schadgase in gleicher Größenordnung und im Bereich von Werten der Umgebungsluft. Einflüsse auf die CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionen haben die Fahrten von Gabelstaplern in der Produktionshalle. Bei den Ozon-Konzentrationen ließen sich keine signifikanten Erhöhungen der Werte gegenüber Umgebungsluft feststellen. Damit ist davon auszugehen, dass sich das bei der Ionisierung entstehende Ozon im Abgaskanal und Endfilter, welche als Katalysatoren wirken, zu O<sub>2</sub> zersetzt wird.

Bei der Gesamt-C-Konzentration liegen die Messwerte der ersten zwei Messungen deutlich höher. Ursache für die erhöhten Werte liegt im Einsatz von Industriereiniger zur Reinigung der Fasermaschinen, welcher bei der Abschlussmessung nicht mehr verwendet wurde. Eine ausführlichere Diskussion zu der Problematik erfolgt im nachfolgenden Abschnitt.

Die Emissionen an Gesamtstaub und Fasern waren bei allen Messkampagne sehr gering und unterschritten, ebenso wie die gasförmigen Schadgase die Grenzwert deutlich.

Tabelle 4.1: Messergebnisse der Betriebsparameter

Messkampagne	T	Rel. F.	V	O <sub>2</sub>
	°C	%	Nm <sup>3</sup> /h	Vol-%
Inbetriebnahme	23,7	79,9	20.397	20,9
Kontrollmessung	22,7	72,0	18.529	20,9
Abschlussmessung	25,3	64,0	36.184	20,9

Tabelle 4.2: Messergebnisse gasförmige Emissionen

Messkampagne	Gesamt-C	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>
	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	Vol-%	mg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Inbetriebnahme	11,7	2,5	0,6	1,0	53
Kontrollmessung	9,0	1,4	0,3	0,4	30
Abschlussmessung	3,3	1,3	0,2	3,7	25

Tabelle 4.3: Staub- und faserförmige Emissionen

Messkampagne	Gesamtstaub	Faserstaub
	mg/m <sup>3</sup>	Faser/m <sup>3</sup>
Inbetriebnahme	0,5	< NG
Kontrollmessung	0,3	< NG
Abschlussmessung	0,5	< NG

#### 4.1.2 Bestimmung des gasförmigen Diethylenglykols als Gesamt-C in der Abluft

Zur analytische Verfolgung der Abscheiderate des Diethylenglykols wurden zwei unterschiedliche Messverfahren angewendet, einmal die Bestimmung des Gesamt Kohlenstoffs und zum anderen die Zählung der Aerosoltröpfchen.

Der Parameter „Gesamt-Kohlenstoff“ als Mittel zur Bestimmung der Diethylenglykol-Konzentration in Roh- und Reinabgas wurde gewählt, weil die Messung mittels FID ein bewährtes Verfahren ist und darüber hinaus kontinuierliche Messungen ermöglicht. Zudem ist der Parameter in den gesetzlichen Auflagen festgelegt. Die Anwendung dieser Messmethodik stellte sich im Laufe des Vorhabens jedoch als problematisch heraus und erwies sich letztlich zur Kontrolle der Abscheideleistung durch den niedrigen Dampfdruck von Glykol (0,03 mbar bei 20 °C) als unbrauchbar.

Unter den Bedingungen der Probenahme lagen nur geringe Anteile in Gasform vor. Das zu erwartende Messsignal des FIDs zeigt aber nur den gasförmigen Anteil des Glykols an. Somit wird nur eine Teilmenge des im Abgas enthaltenen Glykols erfasst. Es zeigte sich im Verlauf der Messungen, dass im Abgas ein relativ hoher Grundpegel an „Gesamt-Kohlenstoff“ besteht, dessen Ursprung nicht genau festgestellt werden konnte. Damit ist aber die Zuordnung des FID-Signals zu der Verbindung Glykol äußerst problematisch.

Sinnvoll erwies sich die Bestimmung des Gesamt-Kohlenstoffs in Bezug auf das Gesamtergebnis des Projektes, da der bei der Abschlussmessung gefundene Wert von  $3,3 \text{ mg/m}^3$  deutlich unter dem gesetzlich vorgeschriebenem Wert von  $50 \text{ mg/m}^3$  liegt.

#### **4.1.3 Bestimmung der Abscheideleistung der Filter bezüglich Diethylenglykol in Form von Aerosoltröpfchen**

Für die Bestimmung des Diethylenglykols in Form von Aerosoltröpfchen in der Abluft wurden Streulichtmessgeräte und ein Mobilitätsspektrometer eingesetzt.

Die untere Detektionsgrenze der eingesetzten Streulichtmessgeräte liegt bei  $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ . Tröpfchen im Nanometerbereich werden daher nicht gemessen. Die Geräte besitzen zwei Laser mit unterschiedlicher Lichtintensität, womit die Anzahlkonzentrationen für Tropfen  $<2 \text{ }\mu\text{m}$  und für Tropfen  $>2 \text{ }\mu\text{m}$  getrennt voneinander erfasst werden können. Aufgrund der sehr hohen Konzentration, sowohl im Rein-, als auch im Rohgas der Abluft unterlag der untere Messbereich der Geräte dem Koinzidenzfehler (Zu hohe Streulichtintensität aufgrund mehrerer Tröpfchen im Messvolumen des Gerätes und damit Darstellung von zu großen Partikeln). Das Messergebnis für den Tropfengrößenbereich  $> 2 \text{ }\mu\text{m}$  ist in Bild 4.1 dargestellt. Die Abscheideleistung liegt hier über 99%.

Neben den Aerosoltröpfchen können in den genannten Messbereichen des Gerätes außerdem Staubpartikeln und Fasern erfasst werden. Die Auswertungen mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigten, dass Fasern und Staubpartikeln  $>5 \text{ }\mu\text{m}$  nicht vorhanden sind. Das Messergebnis der Streulichtmessgeräte erweist sich damit als plausibel.

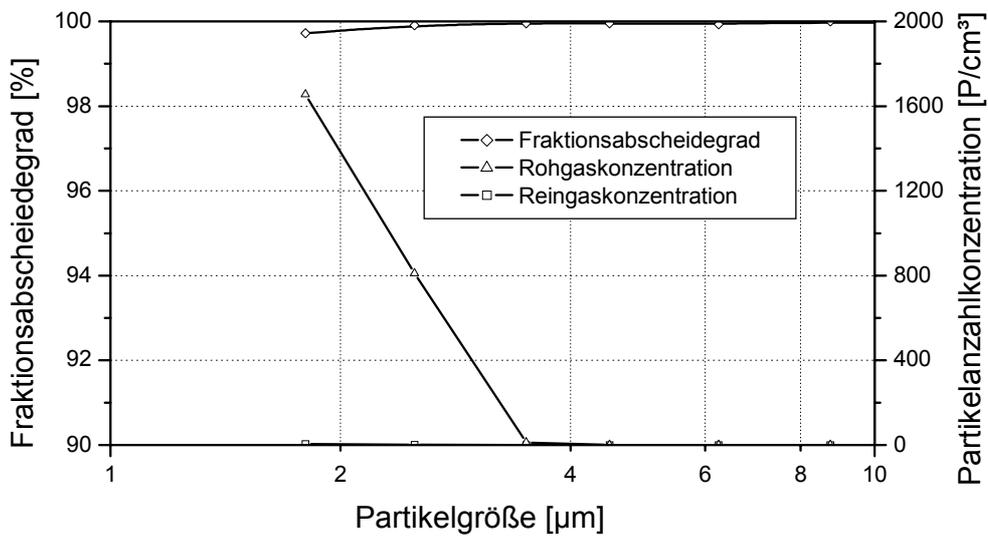


Bild 4.1: Darstellung des Fraktionsabscheidegrad und der Tropfenanzahlverteilung für Tropfen >2 μm

Die Tropfenanzahlverteilung und –konzentration für den Nanometerbereich wurde mit dem Mobilitätsspektrometer ermittelt. In Bild 4.2 sind die roh- und reingasseitigen Messergebnisse der drei Messkampagnen dargestellt.

Grundsätzlich zeigte sich, dass es sich wie bei den Voruntersuchungen um ein sehr feines Aerosol, mit einem Maximum in der Verteilung bei <50 nm handelt. Der Anteil an Tröpfchen mit einer Größe >400 nm war dabei sehr gering.

Deutlich erkennbar sind Schwankungen sowohl in den Größenverteilungen, als auch in der Tröpfchenanzahl. Eine Ursache hierfür konnte nicht eindeutig ermittelt werden. Eine mögliche Erklärung könnte der unterschiedliche Feuchtegehalt der Abluft sein. Aufgrund der hygroskopischen Eigenschaft von Glykol nimmt die Tropfengröße des Aerosols mit zunehmender Luftfeuchte zu. Dieser Trend konnte bei den Untersuchungen ansatzweise beobachtet werden.

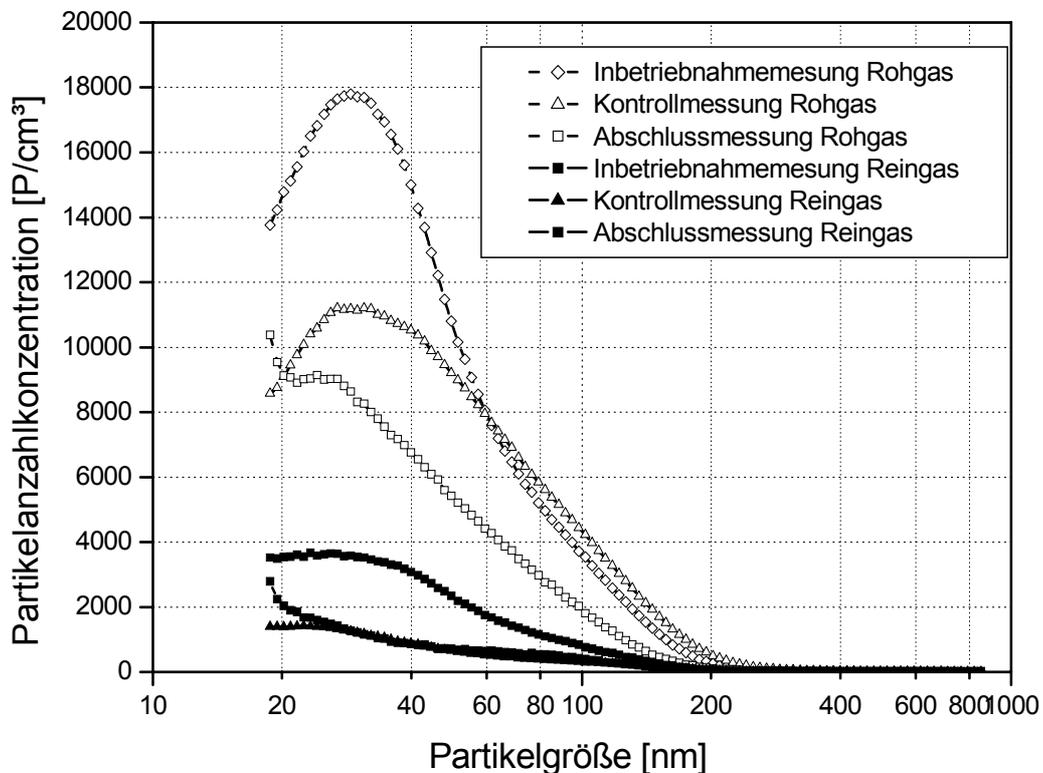


Bild 4.2: Darstellung der Partikelanzahlverteilung der drei Messkampagnen

Aus den gemessenen rein- und rohgasseitigen Tropfenanzahlkonzentrationen wurden die Abscheidegrade in Abhängigkeit von der Tropfengröße errechnet. Die so erhaltenen Fraktionsabscheidegrade sind in Bild 4.3 für die drei Messkampagnen gegenübergestellt. Aufgrund der sehr geringen Tropfenkonzentration unterliegen die Verläufe ab einer Partikelgröße von >200 nm entsprechenden Schwankungen.

Auch in der Darstellung der Fraktionsabscheidegrade lassen sich deutliche Unterschiede zwischen den Messungen erkennen. Ursache hierfür sind zum einen die genannten unterschiedlichen Tropfengrößenverteilungen und -konzentrationen. Einen weiteren Einfluss wird den unterschiedlichen Verhältnissen der Filtereigenschaften und Bauart der Vorfilter zugeschrieben, die sich bei den Messungen wie folgt verhielten:

1. Bei der Inbetriebnahme waren die Vorfilter im Neuzustand (Standzeit ca. 4 Wochen) und damit noch relativ wenig mit Aerosol beaufschlagt. Es war eine

Produktionslinie und somit 1 Elektrofiltermodul installiert. Der Druckverlust des gesamten Filtermoduls lag bei <300 Pa bei einem Abluftstrom von 20.397 Nm<sup>3</sup>/h und der Fraktionsabscheidgrad bei ca. 89% über das gesamte gemessene Tropfengrößenspektrum.

2. Bei der Kontrollmessung war ebenfalls eine Produktionslinie in Betrieb. Die Standzeit des Filters betrug 17 Wochen, der bis dahin angestiegene Druckverlust des Filtermoduls 450 Pa. Da die Verschmutzung von Ionisation- und Kollektorstufe keine Auswirkung auf den Druckverlust hat und die am Nachfilter anfallende Aerosolkonzentration nur noch sehr gering ist, musste die Erhöhung des Druckverlustes dem Vorfilter zugeordnet werden. Bei einer späteren Begutachtung der Filter zeigte sich, dass vor allem die Glasgewebeeinlage das Glykolaerosol aufgesaugt hat. Eine Regenerierung des Filters war durch die zyklischen Reinigungsvorgänge nicht möglich. Die Aerosolbelastung des Filters verursacht eine Verbesserung der Abscheideleistung (>90 %), wie in Bild 4.3 erkennbar. Ursache ist die effektive Erhöhung der Durchmesser der Filterfasern und die dadurch verursachte Verbesserung der Filtereigenschaften, sowie die Verringerung des Luftvolumenstromes von 20.397 Nm<sup>3</sup>/h auf 18.579 Nm<sup>3</sup>/h und der damit verbundenen Erhöhung der Filterleistung der Elektrofilterstufen. (Erhöhung der Verweilzeit der Partikeln im elektrischen Feld)

3. Mit weiterer Standzeit der Filter stieg der Druckverlust sowohl des Filtermoduls 1, als auch des später installierten Filtermoduls 2 an. Aufgrund dessen konnte ein ausreichender Absaugvolumenstrom an den Produktionsmaschinen nicht mehr gewährleistet (siehe auch Abschnitt 4.2) werden. Als Gegenmaßnahme wurden vom Betreiber die Glasgewebeeinlagen aus den Vorfiltern entfernt. Damit konnte eine Verminderung der Druckverluste von 895 Pa (Modul 1) bzw. 992 Pa (Modul 2) auf 121 Pa und 125 Pa erreicht werden. Der Volumenstrom stieg damit von rund 23.800 Nm<sup>3</sup>/h auf 36.000 Nm<sup>3</sup>/h.

Die damit erzielte Verbesserung der Absaugbedingungen an den Maschinen geht, wie in Bild 4.3 dargestellt, auf Kosten der Abscheideleistung der Filtermodule. Durch die fehlenden Filtereigenschaften der Vorfilter und den gegenüber der Kontrollmessung erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten in den

Ionisations- und Kollektorstufen fällt der Fraktionsabscheidegrad auf Werte von  $< 65\%$  bei  $200\text{ nm}$ . Ein deutliches Abscheideminimum tritt im Tropfengrößenspektrum von  $80\text{ nm}$  bis  $400\text{ nm}$  auf. Für Tropfen  $>600\text{ nm}$  ( $0,6\text{ }\mu\text{m}$ ) konnte aber auch, wie bei den vorhergehenden Messkampagnen eine Abscheideleistung von  $> 90\%$  erreicht werden.

Aus den ermittelten Fraktionsabscheidegraden der drei Messkampagnen ließen sich unter Berücksichtigung der Tropfengrößenverteilungen die Gesamtabseidegrade der Filter für das Glykolaerosol errechnen. Diese liegen für die Inbetriebnahme und Kontrollmessung bei  $89,0\%$  bzw.  $90,4\%$  und für die Abschlussmessung aufgrund der veränderten Vorfilter bei  $83,3\%$ .

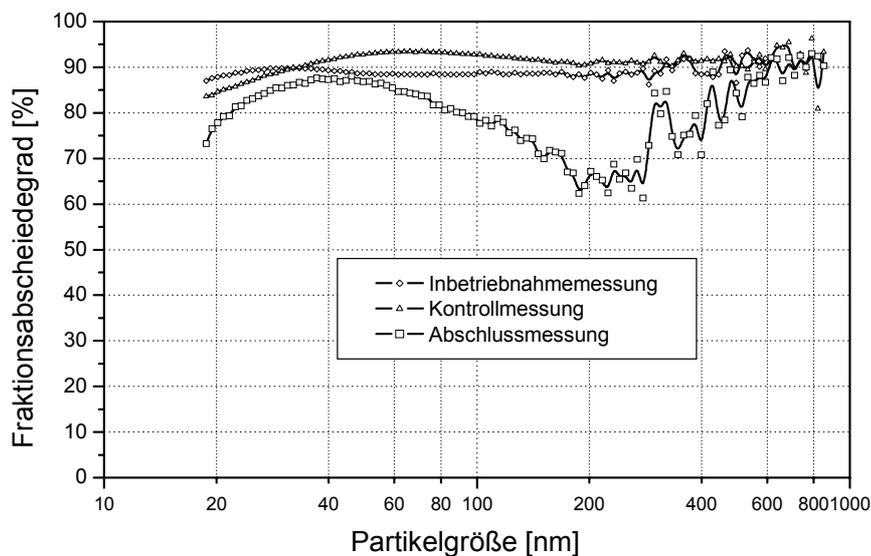


Bild 4.3: Darstellung der Fraktionsabscheidegrade der drei Messkampagnen

Qualitativ lässt sich dieses Ergebnis durch die deutlich sichtbare Abschwächung der Nebelschwaden aus dem Abluftkamin der Anlage bestätigen. Bild 4.4 zeigt den direkten Vergleich der Nebelschwaden bei ein- und abgeschalteten Filtern (Abscheidegrad  $83,3\%$ ).



Bild 4.4: Nebelschwaden mit (links) und ohne (rechts) Filteranlagen

#### 4.1.4 Rückgewinnung des abgeschiedenen Diethylenglykols und Glykolbilanz

Das in den Filtermodulen abgeschiedene Glykol wurde über Auffangrinnen abgeleitet und in einem Tank gesammelt. Bei einer Einsatzmenge von 44,2 l Diethylenglykol pro Tag wird an den Filteranlagen zurzeit ein Glykol-Wassergemisch von 23,90 l pro Tag als Filtrat abgeschieden. Eine Volumen- Dichte-Berechnung ergab einen Wasseranteil im Filtrat von ca. 20 %. Damit werden ca. 6.653 kg des eingesetzten Glykols pro Jahr zurück gewonnen. Diese Filtratmenge hat sich auch mit der Reduzierung des Abscheidegrades durch den Einsatz geänderter Vorfilter nicht verändert, da gleichzeitig eine Erhöhung des Abgasvolumenstromes eingetreten ist. Mit einem erreichbaren Abscheidegrad der Filter von 83 - 90 %, wird somit nur ein sehr geringer Teil der eingesetzten Glykolmenge über die Abluft in die Umwelt emittiert.

Weitere Teile des eingesetzten Glykols verbleiben auf dem Glasfaserprodukt (ca. 14,2 %), im Anspinnwasser (19 %) und in der Raumluft (8,6 %). Verdeutlicht werden die

Verhältnisse für den vorliegenden Prozess in der Glykolbilanz, dargestellt in Tabelle 4.4 und Bild 4.5.

Ein Wiedereinsatz des Glykols an den Fasermaschinen ist zurzeit nicht möglich. Produktionsversuche haben ergeben, dass schwache Verunreinigungen des Filtrats zu Störungen an den Verdampfungseinrichtungen führen. Geeignete und ökonomisch vertretbare Regenerierungsmöglichkeiten wurden bisher nicht gefunden, so dass gegenwärtig die Verwertung durch Verbrennung erfolgt. Die Entsorgung erfolgt über die Lieferfirma des Diethylenglykols.

Tabelle 4.4: Glykolbilanz

Glykoleintrag: 44,2 l/d = 2,1 kg/h			
Verbleib des Glykols	Bemerkung	Massenstrom [kg/h]	Anteil am eingesetzten Glykol [%]
Zurückgewonnen aus Filteranlage	23,9 l, davon 80 % Glykol entspricht	0,89	42,4
Anteil in der Abluft	16,7 % bei einem Abscheidegrad der Filter von 83,3 %	0,18	8,6
Anteil im Anspinnwasser	ermittelt über den CSB-Wert des Abwassers	0,4	19,0
Anteil in der Raumluft	Ermittelt durch die Berufsgenossenschaft	0,18	8,6
Verbleibender Anteil am Produkt (Faserband)	0,12 % der Faserproduktion (Schätzwert)	0,3	14,2

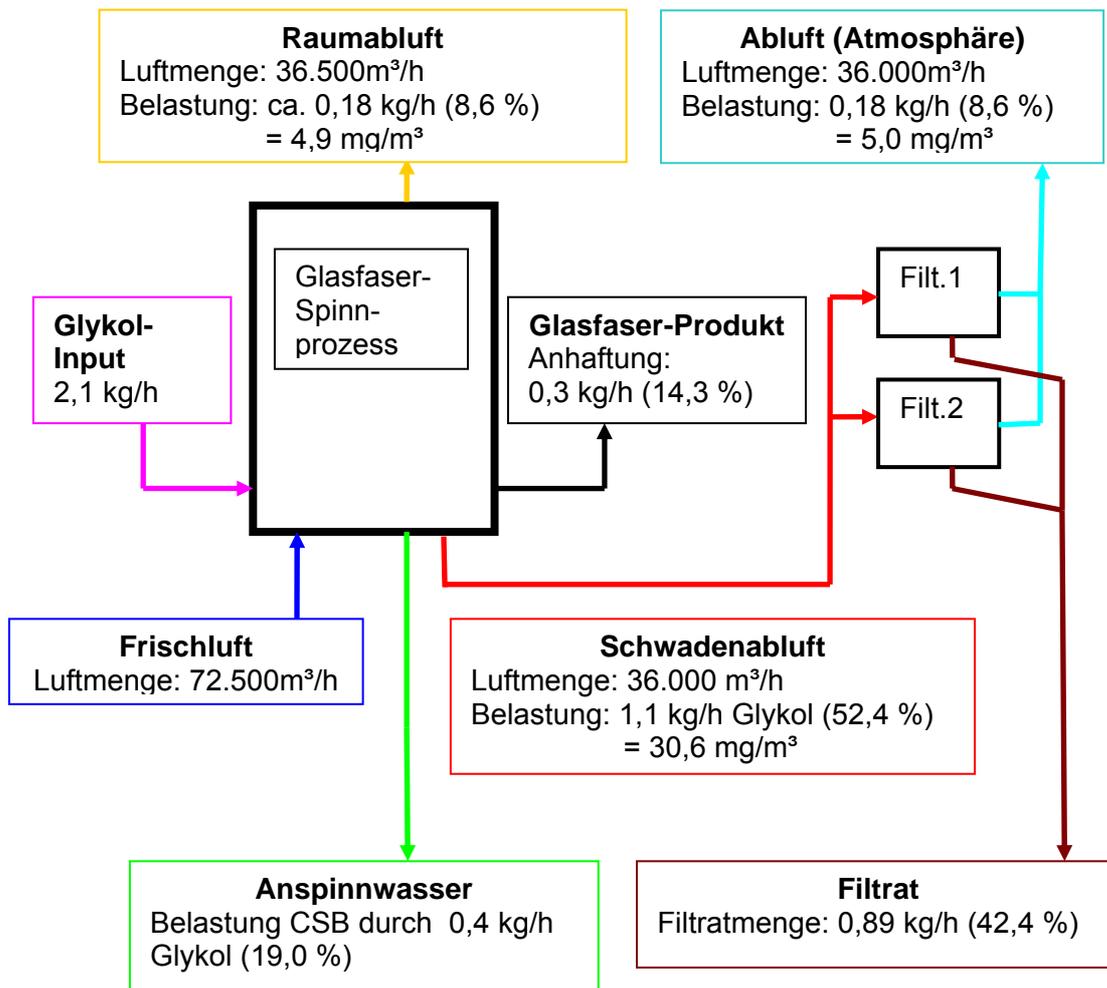


Bild 4.5: Graphische Darstellung der Glykolbilanz

#### 4.2 Kontinuierliche Überwachung der Betriebszustände und Erfahrungen zum Betrieb der Filtermodulen

Die Messgrößen zur kontinuierlichen Überwachung sind in Tabelle 3.2 in Kapitel 3 aufgeführt. Drucksensoren, Messwerterfassungssystem und PC wurden in einem Schaltschrank untergebracht. Die Aufzeichnung lief über den gesamten Vorhabenszeitraum, wurde aber durch Stromausfälle, Betriebsferien und Wartungsarbeiten unterbrochen.

Probleme bereitet die Messung der relativen Feuchte. Bei kontinuierlichen Messungen bilden sich am Sinterfilter Glykolablagerungen. Aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Glykols war die Bestimmung des Feuchtegehaltes der Abluft deshalb nur durch stichprobenartige Messungen bei den Messkampagnen möglich.

In Bild 4.6 bis Bild 4.9 sind die Verläufe der Tagesmittelwerte der Messgrößen Temperatur, Barometrischer Druck, Druckverluste der Filter, sowie Gesamtvolumenstrom für die Jahre 2003 und 2004 getrennt dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass im Jahre 2003 nur eine Produktionslinie und damit nur ein Filtermodul betrieben wurde. Die zweite Produktionslinie wurde schrittweise ab dem 16.12.'03 in Betrieb genommen und lief ab dem Januar 2004 durchgängig. Die Ausrüstung des zugehörigen Filtermoduls mit den Ringleitungen zur Druckverlustmessung erfolgte im April 2004.

Um eine Aussage über Alterungserscheinungen der Ionisationsstufen zu erhalten, wurde der Primärstrom eines Powerpacks aufgezeichnet. Dadurch, dass der Primärstrom sich analog zum Sprühstrom ändert, würden Veränderungen bei der Elektronenemission, z.B. aufgrund von Korrosionen an den Sprühdrahten bemerkbar. Eine derartige Veränderung wurde jedoch nicht beobachtet.

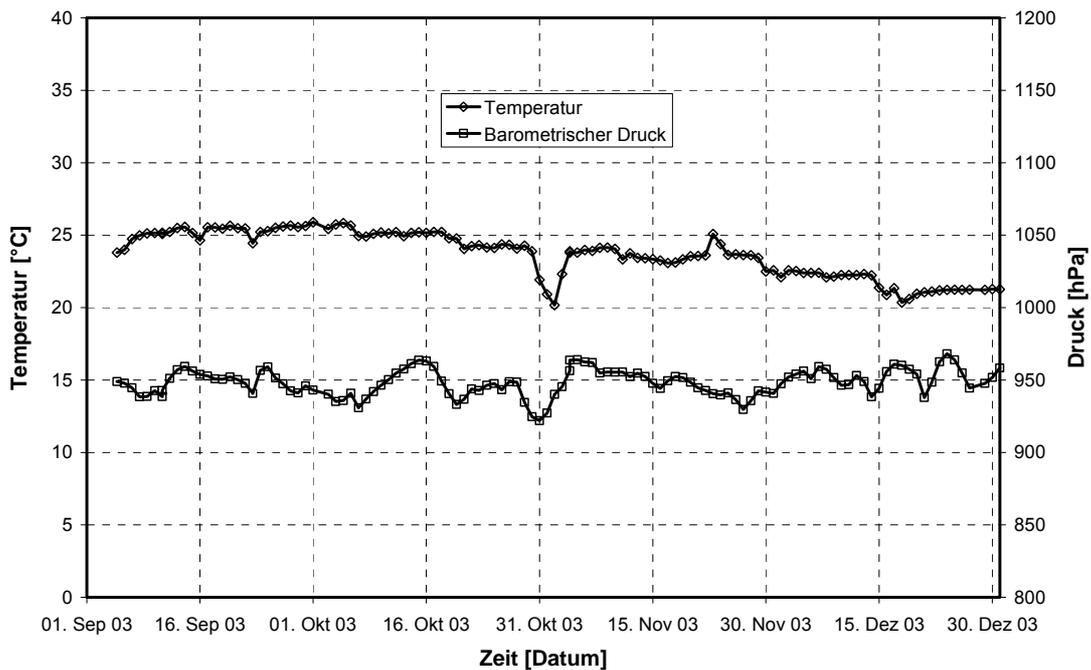


Bild 4.6: Aufzeichnung der Verläufe von Temperatur und barometrischen Druck im Jahr 2003

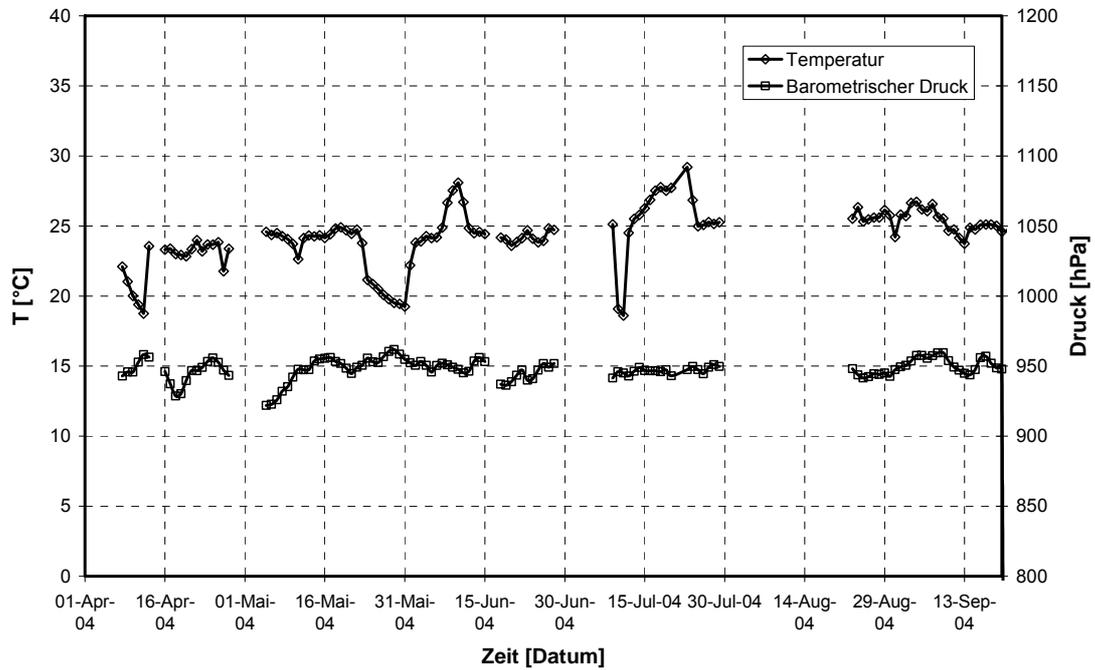


Bild 4.7: Aufzeichnung der Verläufe von Temperatur und barometrischen Druck im Jahr 2004.

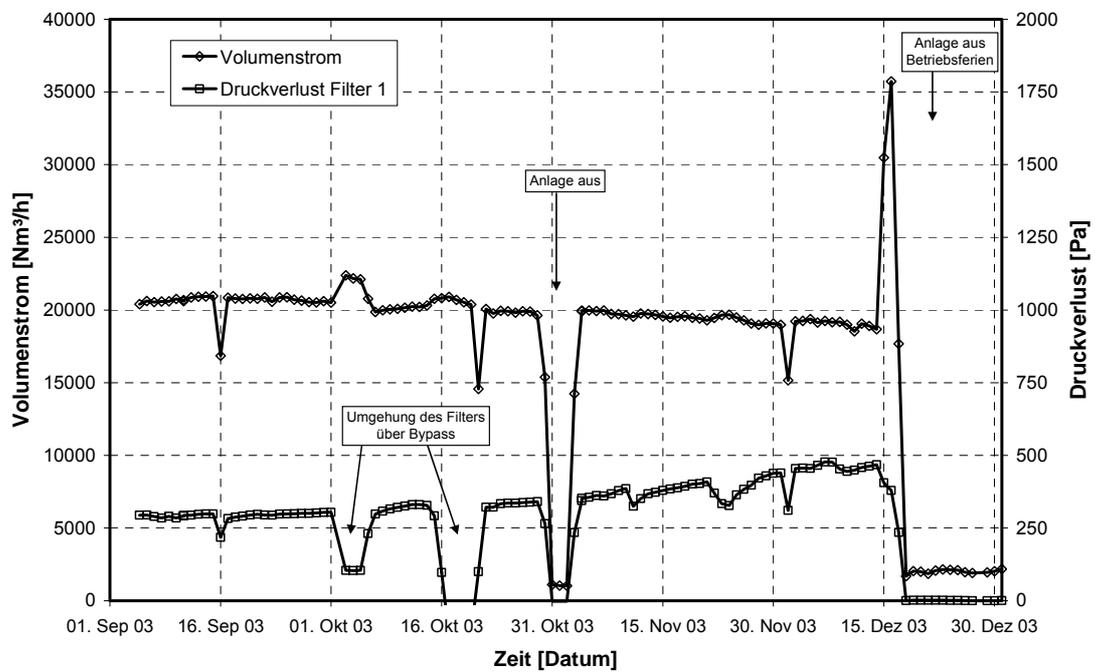


Bild 4.8: Aufzeichnung der Verläufe Volumenstrom und Druckverlust im Jahr 2003

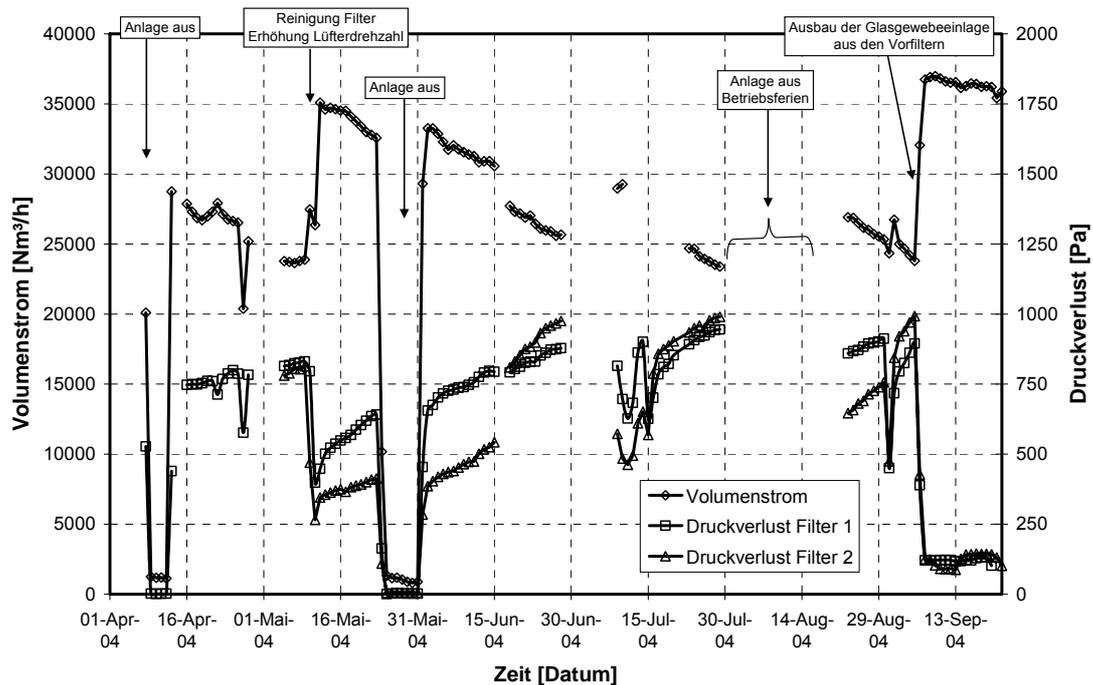


Bild 4.9: Aufzeichnung der Verläufe Volumenstrom und Druckverlust im Jahr 2004

Aus den Verläufen der Druckverluste und des Abluftstromes lassen sich die Wartungszyklen und Stillstandzeiten der Anlagen ableiten. Weiterhin wird deutlich, wie mit andauernder Betriebszeit die Druckverluste der Filter ansteigen und zeitgleich der Luftvolumenstrom sinkt. Die Erfahrungen die mit dem Betrieb der Filtermodule gemacht wurden lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Glykolablagerungen an den Isolatoren der Ionisator- und Kollektorzellen verursachten Überschläge und damit zum Ausfall von Zellen. Dies erforderte eine fast tägliche Reinigung der Elektrofilterstufen. Die ursprünglichen Isolatoren (PTFE) wurden deshalb im Laufe des Vorhabens durch Glasisolatoren (Ionisatorzellen) und geschlossenen PTFE-Isolatoren (Kollektorzellen) ersetzt. (Siehe Bild 2.2 in Kapitel 2.1)
- Aufgrund der zu geringen Absaugleistung verursacht durch die hohen Druckverluste der Vorfilter musste die Drehzahl der Lüfter erhöht werden (vergleich Bild 4.9 am 12.05.2004).

- Aufgrund der hohen Druckverluste wurden die Glasgewebeeinlagen der Vorfilter entfernt und damit eine deutliche Verbesserung Erhöhung des Volumenstromes erreicht (vergleiche Bild 4.9 am 6.09.2004).
- Mit der Optimierung der Filtermodule wurde ein störungsfreier und kontinuierlicher Betrieb, bei einem 14-tägigen Reinigungszyklus für Vorfilter und Ionisatorstufe und 4-wöchigem Reinigungszyklus für die Kollektorstufen, ermöglicht.

### **4.3 Rückführung der Abluft in die Produktionshallen**

Nach VDI 2262 ist eine Rückführung der Abluft in die Produktionshallen dann zulässig, wenn die Schadstoffkonzentration in der Umluft  $\frac{1}{5}$  des MAK-Wertes beträgt. Unter Annahme einer Abscheideleistung der Filter von 90 % bzw. 83,3 % (in Abhängigkeit der Filterkonfigurationen), den zugehörigen Volumenströmen von 23.800 m<sup>3</sup>/h bzw. 36.180 m<sup>3</sup>/h und einer täglich abgeschiedenen Glykoldmenge von 26,8 kg beträgt die Glykolkonzentration in der Abluft 4,7 mg/m<sup>3</sup> bzw. 5,3 mg/m<sup>3</sup>. Der Richtwert von 8,8 mg/m<sup>3</sup> ( $\frac{1}{5}$  von 44 mg/m<sup>3</sup>) wird somit sicher unterschritten.

Da auch die ermittelten Faserkonzentrationen den Richtwert (50.000 Fasern/m<sup>3</sup>) weit unterschreiten, ist damit eine Rückführung der Abluft möglich.

Um jedes potentielle Risiko für die Raumlufte der Produktionsräume durch prozessbedingte Störungen zu vermeiden, wurde auf eine Reinlufrückführung jedoch bislang verzichtet. Im Winterhalbjahr 2004/2005 soll eine anteilige Rückführung der gereinigten Abluft jedoch getestet werden.

### **4.4 Energetische Betrachtung der Anlagen**

Der Energieverbrauch der Filteranlage lässt sich rechnerisch aus dem Produkt von Luftvolumenstrom und Filterdruckverlust bestimmen. Die Spannungsversorgung der Elektrofilterstufen kann dabei vernachlässigt werden. In Tabelle 4.5 sind die Energieverbräuche für verschiedene Betriebszustände der Anlage beispielhaft zusammengefasst. Es wird von einer Betriebszeit von 8000h pro Jahr ausgegangen.

Die Gegenüberstellung der Energieverbräuche zeigt deutlich, welchen Einfluss die Verschmutzung der Vorfilterstufen auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat. Mit dem Verzicht auf die Glasgewebeeinlagen in den Vorfiltern kann der Energieverbrauch um rund 80 % reduziert werden.

Mit der Annahme, dass bei der Herstellung von Strom 600 g CO<sub>2</sub> pro kWh emittiert werden, entspräche dies einer Menge von 24 t CO<sub>2</sub> pro Jahr. Berücksichtigt werden muss dabei aber die oben (Kapitel 4.1.3) diskutierte Verminderung des Abscheidegrades der Filter bezüglich des Glykolaerosols.

Eine Rückgewinnung von Energie kann durch Rückführung von Abluftteilen in die Produktionshallen erreicht werden.

Zum Energieinhalt der zur Verwertung abzuführenden Glykolmenge von 6.653 kg pro Jahr können keine Aussagen getroffen werden.

Tabelle 4.5: Berechnung der Energieverbräuche der Filteranlage in Abhängigkeit von den Betriebszuständen

Vorhabenszeit- raum	Betriebszustand	Volumenstrom	Druckverlust	Energie- Verbrauch
		Nm <sup>3</sup> /h	Pa	kWh / a
Inbetrieb- nahme	1 Produktionslinie, 1 Filtermodul, Vorfilter mit Glasgewebeeinlage, Standzeit: 4 Wochen	20.397	294	13.326
Kontroll- messung	1 Produktionslinie, 1 Filtermodul, Vorfilter mit Glasgewebeeinlage, Standzeit: 17 Wochen	18.579	450	18.579
Zwischen- messung	2 Produktionslinie, 2 Filtermodule, Vorfilter mit Glasgewebeeinlage, Standzeit: ca. 7 Monate	$\frac{23.802}{2}$	992 + 895	49.905
Abschluss- messung	2 Produktionslinie, 2 Filtermodule, Vorfilter ohne Glasgewebeeinlage, Standzeit: 1 Jahr (Vorfilter: 2 Wochen)	$\frac{36.184}{2}$	121 + 125	9.890

## 5 Zusammenfassung

Im Vorhabenszeitraum Mai 2003 bis Oktober 2004 wurde das Projekt „Reduzierung der Emission von Gesamtkohlenstoff insbesondere Glykol in der Abluft der Glasfaserherstellung“ durchgeführt. Dabei galt es zwei neue Produktionslinien für die Faserherstellung mit Elektrofiltern auszurüsten, welche das Glykolaerosol aus der Abluft abscheiden sollten. Für die messtechnische Überwachung der Filteranlagen wurde das ILK Dresden beauftragt. In 3 Messkampagnen wurden die Emissionen der Anlage gemessen und die Wirksamkeit der Filter geprüft. Mit Unterstützung der kontinuierlichen Aufzeichnung von relevanten Betriebsdaten wie Abluftmenge und der Druckverluste konnte die Betriebsweise der Filtermodule optimiert werden. Zusammenfassend lassen sich folgende Schlussfolgerungen aus dem Vorhaben ableiten:

- Mit dem Einsatz von Glykol als Antistatikum bei der Herstellung von Textilglasfasern entsteht ein Glykolaerosol mit einer maximalen Konzentration bei einer Partikelgröße von 20 bis 50 nm.
- Das Aerosol lässt sich mit den eingesetzten Filtermodulen, den Vor- und Nachfiltern mit einem Abscheidegrad von >90 % aus der Abluft abscheiden und die Emissionen damit auf <5 % der eingesetzten Glykolvmenge reduzieren.
- Mit der Bearbeitung des Vorhabens stellte sich heraus, dass der Nachweis von Diethylenglykol in Abluft aufgrund des sehr geringen gasförmigen Anteils mittels FID nicht empfehlenswert ist.
- Als das geeignete Messverfahren erwies sich die Tröpfchenmessung mit einem Mobilitätsspektrometer mit welchem die Bestimmung der Abscheideleistung bis in den Nanometerbereich möglich war.
- Aufgrund von Ablagerungen an den Isolatoren der Ionisator- und Kollektorzellen kam es zu Überschlügen und vereinzelt zum Ausfall der Zellen. Durch die Optimierung der Isolatoren mit neuen Werkstoffen wird eine wartungsarme Betriebssicherheit der Anlage gewährleistet.
- Aufgrund von Glasgewebeeinlagen in den Vorfiltern, welche das Glykol speicherten und sich nicht regenerieren ließen, stieg der Druckverlust der Filtermodule mit zunehmender Betriebszeit stark an. Mit dem Verzicht auf die

Glasgewebeeinlage in den Vorfiltern konnte das Problem behoben werden, führte aber gleichzeitig zu einer Verschlechterung der Abscheidegrade der Filtermodule. Die Abscheideleistung ist jedoch auf Grund des erhöhten Abgasvolumenstromes konstant geblieben.

- Die Emissionsgrenzwerte konnten bei allen Anlagenbedingungen sicher eingehalten bzw. weit unterschritten werden.
- Die Nebelschwaden am Schornsteinaustritt konnten deutlich sichtbar reduziert werden.
- Mit dem Einsatz der Anlage werden mehr als 6 t Glykol pro Jahr zurückgewonnen und einer Verwertung zugeführt.
- Der Schadstoffgehalt in der Abluft wurde soweit reduziert, dass eine Rückführung in die Produktionshalle nach VDI 2262 problemlos möglich ist.

Mit der Bearbeitung des Vorhabens konnte der Einsatz von Elektrofiltermodulen für die Abscheidung von Diethylenglykol aus Abluft in Form eines feinstverteilten Aerosols als der richtige Filtertyp bestätigt werden. Die angestrebten Abscheidegrade können erreicht werden und eine Rückführung der Abluft in die Produktionshallen ist damit möglich. Weiterhin konnten durch umfangreiche Messungen und Untersuchungen Erfahrungen zum Nachweis von Diethylenglykol in Abluft gewonnen und Empfehlungen für analoge Messaufgaben gegeben werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind somit auf vergleichbare Anlagen und Abluftproblematiken übertragbar und helfen damit Betreibern, Messinstitutionen und Behörden bei der Planung und Beurteilung.