

Geruchslose lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen (Kurztitel: Projekt „Umlufttechnik“)

Vorläufiger Abschlussbericht

von

LUTRO Luft- und Trockentechnik GmbH

Günter Buchmann und Daniel Krouzilek

Das Projekt wird gefördert von der **Deutschen Bundesstiftung Umwelt** (DBU – AZ 27102 – 21/2)

Titelblatt

Geruchslose lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen (Kurztitel: Projekt „Umlufttechnik“)

Vorläufiger Abschlussbericht

von

LUTRO Luft- und Trockentechnik GmbH

Günter Buchmann und Daniel Krouzilek

Das Projekt wird gefördert von der **Deutschen Bundesstiftung Umwelt** (DBU – AZ 27102 – 21/2)

Projektkennblatt

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	27102 - 21/ 2	Referat	Fördersumme 119.400,--		
Antragstitel		Geruchslose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen			
Stichworte		Umluft, Lackieranlage, Filtersystem, nachwachsende Rohstoffe			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
18 Monate	15. Mai 2009	31. Oktober 2010	6		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger		LUTRO Luft- und Trockentechnik GmbH		Tel	0711 7909 4-30
		Sielminger Straße 35		Fax	0711 7909 4-39
		D-70771 Leinfelden-Echterdingen / Stetten		Projektleitung	
				Dipl.-Ing. Günter Buchmann	
				Bearbeiter	
				Dipl.-Ing. Daniel Krouzilek	
Kooperationspartner					

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Manuelle Spritzlackieranlagen sind mit einer technischen Lüftung versehen, die während dem Betriebszustand „Lackauftrag“ im Frischluft- / Abluftbetrieb arbeitet. Dadurch bedingt ist eine energieintensive Aufheizung des Frischluftstroms von der jeweiligen Außentemperatur auf die Arbeitstemperatur. Maßnahmen zur Energieeinsparung nach dem Stand der Technik wie z.B. Wärmerückgewinnung und frequenzgeregelte Ventilatorantriebe erzielen nur ca. 50% Reduzierung des Energieverbrauchs. In den meisten Lackieranlagen der klein- und mittelständischen Industrie sind Abluftreinigungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik unwirtschaftlich. Dadurch werden VOC- (Volatile Organic Compounds) und Geruchsemissionen freigesetzt. Die Einsatzmöglichkeiten lösemittelfreier oder -armer Lacksysteme (z.B. Wasserlacke) sind begrenzt.

Eine signifikante Energieeinsparung ist durch einen Teil-Umluftbetrieb (ca. 80 %) möglich, da somit die Frischluftherwärmung auf ein Minimum reduziert wird. Voraussetzung dafür ist jedoch die Abscheidung von Lackoverspray und der Lösemitteldämpfe aus der Luft. Die Abscheidung von Lackoverspray erfolgt nach dem Stand der Technik über Nass- oder Trockenabscheideverfahren. Die Lösemitteldämpfe in der Luft verursachen in manuellen Spritzlackieranlagen einen Abluftbetrieb, d.h. die Luft wird nicht wiederverwendet. Dadurch entstehen hohe Energieverbräuche und Umweltbelastungen. Durch ein zu entwickelndes Filtersystem aus nachwachsenden Rohstoffen in Verbindung mit einer Prozessüberwachung zur Sicherstellung der Arbeitsschutzbedingungen soll die Luft auch in manuellen Spritzlackieranlagen wiederverwendet werden, d.h. es soll im Umluftbetrieb gefahren werden.

Die umweltrelevanten Ziele des Forschungsvorhabens sind:

1. Reduzierung des Energiebedarfs zur Frischluftaufwärmung um ca. 80 %.
2. Reduzierung der CO₂-Emissionen aus der Frischluftherwärmung um ca. 80 %.
3. Reduzierung der VOC-Emissionen.
4. Reduzierung der Geruchsbelästigung am Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zur Durchführung des Forschungsvorhabens sind folgende Arbeitsschritte beabsichtigt:

1. Auswahl nachwachsender Rohstoffe zur Adsorption von Lösemitteldämpfen und Gerüchen.
2. Entwicklung einer Filteranlage mit den nach Schritt 1 favorisierten Filtermaterialien.
3. Erprobung der Filteranlage mit verschiedenen Lacksystemen.
4. Anwendungserprobung von Meß- und Sensortechniken für die Überwachung der Lösemittel- und Geruchskonzentrationen.
5. Aufbau einer Pilotanlage zur Verknüpfung der Meß- und Sensortechnik mit der entwickelten Filteranlage
6. Evaluation der Forschungsergebnisse durch praxisnahe Beschichtungsversuche, mit dem Ziel einer breiten Branchenabdeckung.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

Vorderer Deckel.....	1
Titelblatt	2
Projektkennblatt.....	3
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis	7
Diagrammverzeichnis	7
Begriffe und Definitionen (in alphabetischer Reihenfolge).....	9
Zusammenfassung.....	10
Durchgeführte Untersuchungen, Entwicklungen, Modellanwendungen	10
Erzielte Ergebnisse.....	10
Empfehlungen für das weitere Vorgehen	10
Kooperationspartner	11
Einleitung.....	12
Ausgangssituation	12
Zielsetzung des Vorhabens.....	12
Beschreibung der Aufgabenstellung	13
Hauptteil.....	16
Arbeitsschritt 1: Untersuchung nachwachsender Rohstoffe zur Adsorption von Lösemitteldämpfen und Gerüchen.....	16
1. Zusammenfassung und Überblick	16
2. Beschreibung der Vorgehensweise und Ergebnisse im Detail	22
Arbeitsschritt 2: Entwicklung, Konstruktion u. Umsetzung von Filteranlagen.....	45
1. Zusammenfassung und Überblick	45
2. Beschreibung der Vorgehensweise und Ergebnisse im Detail	46
Diskussion der Ergebnisse	55
Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung.....	56
Fazit	57
Anhang	58
1. Unternehmenspräsentation	58
2. Projektpräsentation Phase 1	59

3	Projektpräsentation Phase 2	60
	Rückendeckel.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifizierung von Naturfasern	23
Abbildung 2: Mikroskopaufnahme von Stroh (Vergrößerungsfaktor 200)	29
Abbildung 3: Mikroskopaufnahme von Baumwolle und Hanf (Vergrößerungsfaktor 200x)	30
Abbildung 4: Mikroskopaufnahme eines Holzspans (Vergrößerungsfaktor 100x und 200x)	30
Abbildung 5: Mikroskopaufnahme von BKK-Staub (Vergrößerungsfaktor 200x)	31
Abbildung 6: Versuchsaufbau.....	32
Abbildung 7: Abzugshaube mit Prallblech und Wanne	42
Abbildung 8a/ b: Eingebautes Filterelement und Filterpad	42
Abbildung 9a/9b: Konditionierung der Filterpads im Exikkator und SATA Lackierpistole	43
Abbildung 10: Filterkästen bestückt mit trockenem Sägemehl (3 cm/ lockere Schüttung)	46
Abbildung 11: Flammen-Ionisations-Detektor	48
Abbildung 12: Versuchsaufbau.....	48
Abbildung 13: Dateieingabeformular zur Differenzierten Expositionsanalyse (DEA)	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnis der Nutzwertanalyse	17
Tabelle 2: Nutzwertanalyse – Ranking der Ergebnisse.....	20
Tabelle 3: Daten zur Durchführung der ersten Nutzwertanalyse	26
Tabelle 4: Erste Nutzwertanalyse.....	27
Tabelle 5: Gegenüberstellung von Nutzwert und Kosten	28
Tabelle 6: Verdunstungszahl, Dichte und Polarität der erprobten Lösemittel	32
Tabelle 7: Ranking der Ergebnisse.....	40
Tabelle 8: Randbedingungen bei der Emissionsmessung mittels FID	49
Tabelle 9: Eingabemöglichkeiten bei der differenzierten Expositionsanalyse.....	51
Tabelle 10: Musterdatenblatt der Exportfunktion des Programms.....	54

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Lösemittelaufnahmefähigkeit von BKK-Staub	18
Diagramm 2: Lösemittelaufnahmefähigkeit von Stroh	19
Diagramm 3: Lösemittelaufnahmefähigkeit von Holz.....	19
Diagramm 4: Relative Gewichtsveränderung von Holz und BKK-Staub.....	21
Diagramm 5: Ergebnisse der ersten Nutzwertanalyse	28
Diagramm 6: Lösemittelaufnahmefähigkeit für VE Wasser, Kondition 1.....	34
Diagramm 7: Lösemittelaufnahmefähigkeit für VE Wasser, Kondition 2.....	34
Diagramm 8: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Isopropanol, Kondition 1	35
Diagramm 9: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Isopropanol, Kondition 2	35

Diagramm 10: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Butylacetat, Kondition 1	36
Diagramm 11: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Butylacetat, Kondition 2	36
Diagramm 12: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Xylol, Kondition 1	37
Diagramm 13: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Xylol, Kondition 2	37
Diagramm 14: : Lösemittelaufnahmefähigkeit an Stroh	38
Diagramm 15: Lösemittelaufnahmefähigkeit an Baumwolle	38
Diagramm 16: Lösemittelaufnahmefähigkeit an Hanf	39
Diagramm 17: Lösemittelaufnahmefähigkeit an Holz	39
Diagramm 18: Lösemittelaufnahmefähigkeit an BKK-Staub	40
Diagramm 19: Max. relative Gewichtsveränderung von Holz und BKK-Staub im Exsikkatorversuch...	41
Diagramm 20: Relative Gewichtsveränderung von Holz und BKK-Staub	44
Diagramm 21: Konzentration Aceton bei einem Volumenstrom von 1.000 m ³ /Std. in mg C/ Nm ³	49
Diagramm 22: Konzentration Gesamt-Kohlenstoff bei einem Volumenstrom von 1.000 m ³ /Std. in mg C/ Nm ³	50
Diagramm 23: Darstellung dreier identischer Arbeitstage bei verschiedenem Umluftbetrieb	52
Diagramm 24: Darstellung dreier Lackierdurchgänge bei verschiedenen Umluft Szenarien	53

Begriffe und Definitionen (in alphabetischer Reihenfolge)

- AZ Aktenzeichen
- BGW Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege
- BIA Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz
- BKK Braunkohle Koks
- ca. circa
- DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- DEA Differenzierte Expositionsanalyse
- FHG Fraunhofer Gesellschaft
- FID Flammen-Ionisationsdetektor
- IPA Institut Produktionstechnik und Automatisierung
- LUTRO Lutro Luft- und Trockentechnik GmbH
- MAK Maximale Arbeitsplatzkonzentration
- o.a. oben angeführten
- VOC Volatile Organic Compound
- z.B. zum Beispiel

Zusammenfassung

Durchgeführte Untersuchungen, Entwicklungen, Modellanwendungen

Arbeitsschritt 1:

- Internet-/ Literaturrecherche
- Nutzwertanalyse
- Messtechnische, molekulare Untersuchung der Probematerialien, z.B. Porositätsanalyse mit Keyence-Mikroskop
- Exsikkatorversuch zur ersten Bewertung der Aufnahmefähigkeit und des Haltevermögens der Versuchsstoffe in Bezug auf Gase und Lösemittel
- Praxisorientierter Modellversuch zur Bewertung der Lösemitteladsorption am Versuchsstand

Arbeitsschritt 2:

- Messung der Filterwirksamkeit mittels Flammen-Ionisationsdetektor (FID) und Vergleich des Adsorptions- und Haltevermögens von Holzspänen/ Sägemehl und von BKK-Staub
- Differenzierte Expositionsanalyse (DEA)
- VBA-Programmierung zur Abbildung eines Simulationsmodells

Erzielte Ergebnisse

- Suche nach Rohstoffen zur Adsorption von Lösemittel-Dämpfen und -Gerüchen. Dazu wurden zunächst einige Grundlagen zur Adsorption, wie z.B. die physikalischen Vorgänge, betrachtet und charakteristische Eigenschaften von Adsorbentien ermittelt.
- Auswahl des am besten geeigneten Versuchsträgers (Filtermediums) anhand der Nutzwertanalyse.
- Aufbau einer Versuchsstation und Überprüfung/ Verifizierung der technisch physikalischen Eigenschaften des Versuchsträgers im Laborversuch
- Aufbau eines Simulationsmodells und Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Realität mittels Differenzierte Expositionsanalyse (DEA)
- (Vorrüstung einer Lackierkabine zur Datenaufnahme und –auswertung)
- (Anstoß zum Aufbau neuer Filterkonzepte für die Trockenabscheidung von Lackoverspray mit Kooperationspartnern aus der Industrie)

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Zur Weiterführung des Projektes ist die erfolgreiche Bereitstellung einer geeigneten Sensorik zwingend erforderlich. Nach Rücksprache mit dem Kooperationspartner Fraunhofer Institut für Produkti-

onstechnik und Automatisierung sind die als projektrelevant definierten Co.-Projekte für Sensorik gescheitert und können nicht mehr für das Projekt „Umlufttechnik“ hinzugezogen werden.

Die Suche nach geeigneten, kostengünstigen und prozesssicheren Alternativen für diese Meßfolgen und-prozesse ist somit der wesentliche Stellhebel für eine erforderliche Weiterführung des Projektes.

Kooperationspartner

- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU AZ 27102 – 21/2)
- Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung (Abteilung Oberflächentechnik)
- VOLZ Luftfilter GmbH & Co. KG (Forschung und Entwicklung)

Einleitung

Ausgangssituation

Manuelle Spritzlackieranlagen sind mit einer technischen Lüftung versehen, die während dem Betriebszustand „Lackauftrag“ im Frischluft- / Abluftbetrieb arbeitet. Dadurch bedingt ist eine energieintensive Aufheizung des Frischluftstroms von der jeweiligen Außentemperatur auf die Arbeitstemperatur. Maßnahmen zur Energieeinsparung nach dem Stand der Technik wie z.B. Wärmerückgewinnung und frequenzgeregelte Ventilatorantriebe erzielen nur ca. 50 % Reduzierung des Energieverbrauchs. In den meisten Lackieranlagen der klein- und mittelständischen Industrie sind Abluftreinigungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik unwirtschaftlich. Dadurch werden VOC (Volatile Organic Compounds) und Geruchsemissionen freigesetzt. Die Einsatzmöglichkeiten lösemittelfreier oder -armer Lacksysteme (z.B. Wasserlacke) sind begrenzt.

Eine signifikante Energieeinsparung ist durch einen Teilumluftbetrieb (ca. 80 %) möglich, da somit die Frischluftherwärmung auf ein Minimum reduziert wird. Voraussetzung dafür ist jedoch die Abscheidung von Lackoverspray und der Lösemitteldämpfe aus der Luft. Die Abscheidung von Lackoverspray erfolgt nach dem Stand der Technik über Nass- oder Trockenabschideverfahren. Die Lösemitteldämpfe in der Luft verursachen in manuellen Spritzlackieranlagen einen Abluftbetrieb, d.h. die Luft wird nicht wiederverwendet. Dadurch entstehen hohe Energieverbräuche und Umweltbelastungen. Durch ein zu entwickelndes Filtersystem aus nachwachsenden Rohstoffen in Verbindung mit einer Prozessüberwachung zur Sicherstellung der Arbeitsschutzbedingungen soll die Luft auch in manuellen Spritzlackieranlagen wiederverwendet werden, d.h. es soll im Umluftbetrieb gefahren werden.

Zielsetzung des Vorhabens

Mit dem Forschungsvorhaben soll eine Technologie entwickelt werden, bei der die bei der Frischluftaufheizung eingesetzte Energie um rund 80% reduziert werden kann. Eine derart signifikante Energieeinsparung beim Betrieb von manuellen Spritzlackierkabinen wäre möglich, wenn es gelänge, einen Großteil des Abluftstroms wieder in die Lackierkabine zurückzuführen und damit die Frischluftherwärmung auf ein Minimum zu reduzieren. Die Voraussetzungen für einen solchen Teilumluftbetrieb sind jedoch die Entfernung von Lackoverspray und die Beseitigung der Lösemitteldämpfe aus dem Abluftvolumenstrom.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Filtersystems aus nachwachsenden Rohstoffen zur Beseitigung von Lösemitteldämpfen und Gerüchen aus der Spritzkabinenabluft, damit ein hoher Anteil der gereinigten Abluft (ca. 80 %) der Kabine wieder zugeführt werden kann. Dazu muss das Filtersystem die Lösemitteldämpfe und Geruchsstoffe adsorbieren. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass die zurückgeführte Luft ausreichend frei von Lackpartikeln und Lösemitteldämpfen ist. Für die Herstellung des unbelasteten Filtersystems und zur Entsorgung des belasteten Filtersystems muss ein ökologisch und ökonomisch sinnvoller Kreislauf aufgezeigt werden.

Beschreibung der Aufgabenstellung

Der vorgesehene Lösungsweg wird mit folgenden Arbeitspaketen verfolgt:

1. Filtermaterial:

Das wichtigste Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Filtermaterials aus nachwachsenden Rohstoffen. Nach den Recherchen des Antragstellers wurden bisher noch keine grundsätzlichen Arbeiten zur Adsorption von Lösemitteldämpfen und Gerüchen an filtertauglichen Materialien ausgeführt. Hinsichtlich physikalischer Eigenschaftswerte gibt es eine Vielzahl denkbarer Materialien, die in anderen Branchen als Abfallprodukte anfallen (z.B. Holzspäne, Cellulosefasern, Rinde, Torf, Textilfasern) und die für die Abscheidung von Lösemitteln und Gerüchen in Frage kommen. Daher muss dieser Arbeitsschritt mit einem hohen Aufwand mittels Anwendung umfangreicher Prüf- und Analysemethoden ausgeführt werden. Die Auswahl möglicher Filtermaterialien wird durch eine Marktanalyse unterstützt und eingegrenzt. Einzusetzende Prüf- und Analysemethoden zur Charakterisierung der Filtermaterialien sind z.B.:

- Fasern- bzw. Partikelgrößen,
- Rauigkeit der Fasern- bzw. Partikel,
- Feuchtegehalt,
- Polarität,
- Adsorptionsverhalten gegenüber Gasen,
- Adsorptionsverhalten gegenüber Flüssigkeiten,
- Aufnahmevermögen für Feststoffe sowie
- Heizwert.

2. Umsetzung zu Filteranlagen:

Entwicklung, Konstruktion und Umsetzung von Filteranlagen für die nach Schritt 1 favorisierten Filtermedien. Hierfür sind umfangreiche Versuche zur Bindung der Filtermedien in den Lüftungstechnischen Anlagen und zur Einstellung der Tiefenwirkung (dreidimensionale Filter) erforderlich. Zu ermitteln sind weiterhin

- das Zusammenwirken mit Vorfiltern zur Abscheidung von Lackoverspray nach dem Stand der Technik,
- die Packungsdichte der Filtermaterialien in der Filteranlage (zwei- oder dreidimensional),
- die Adsorption der Stoffe in Abhängigkeit von der Filtermaterialdicke und -schüttung sowie
- die Adsorption der Stoffe in Abhängigkeit vom Klima (Temperatur, Luftfeuchte, Druck) und von der Luftgeschwindigkeit.

Desweiteren sind konstruktive Lösungen erforderlich, z.B.:

- die Anordnung der Filtermaterialien bei einem mehrstufigen Aufbau (Grob-, Mittel-, Feinfiltration),
- ein wartungsfreundlicher Aufbau der Filtereinheiten,
- die Anwendung von Stützgeweben für schüttfähige Filtermaterialien sowie
- kostengünstige Konstruktion und Herstellung der Filtereinheiten für die KMU-Betriebe.

3. Erprobung der Filtermedien:

Die Erprobung der Filtermedien erfolgt mit anwendungsorientierten Beschichtungsversuchen an verschiedenen Lacksystemen mit definierten Overspray- und Lösemittelmengen sowie Lösemittelzusammensetzungen. Hierzu wird in einem Technikum eine Spritzkabine mit austauschbaren Filtereinheiten aufgebaut. Die Beschichtungsversuche laufen unter reproduzierbaren Bedingungen mit einem Beschichtungsroboter. Angewendet wird überwiegend ein branchenüblicher Zerstäuber (Druckluftzerstäuber). In Querversuchen wird auch ein Elektrostatik-unterstützter Druckluftzerstäuber eingesetzt, um die Auswirkungen elektrostatischer Feldlinien auf die Filtereinheiten (Filtermaterialien und -gehäuse bzw. -stützgewebe) zu untersuchen. Die Funktionsüberprüfung der Filtermedien erfolgt mit den in Arbeitspaket 1 favorisierten Prüf- und Analysenmethoden. Gemessen wird auch der Partikelaustritt (Lack-Overspray) aus der Abluft. In einem weiteren Schritt werden Versuche zur Aktivierung der Filtermaterialien mit dem Ziel unternommen, das Adsorptionsverhalten zu verbessern. Mögliche Aktivierungsverfahren sind z.B.

- Mahlprozess (Oberflächenvergrößerung),
- nass-chemische Reinigung,
- Erhöhung der Polarität durch Oxidation (z.B. Corona- oder Plasmabehandlung) und
- Reduzierung des Feuchtegehaltes (z.B. Mikrowellentrocknung).

4. Anwendungserprobung:

In Anlehnung an die AIF-Forschungsvorhaben Nr. 14456 N [20] und Nr. 15532 N [21] werden zunächst die geeignetsten Überwachungsmaßnahmen für die Abluft bewertet und für die Untersuchungen ausgewählt. An dem Versuchsaufbau gemäß Arbeitspaket 3 werden unter reproduzierbaren Bedingungen Beschichtungsversuche ausgeführt und Messungen (direkte und ggf. indirekte Methoden) mit bestehenden Sensoren bzgl. Lösemittel- und Geruchskonzentrationen vorgenommen. Das Ziel ist, die effektivsten Meßmethoden für eine online-Überwachung der Umluft zu finden und für die Umsetzung in einer Pilotanlage vorzubereiten. Diese Untersuchungen müssen auch zeigen, ob die Filterdifferenzdruckmessung zur Überwachung des Sättigungsgrades der Filtereinrichtungen geeignet ist. Wenn nein, sind Alternativen zur Überwachung des Sättigungsgrades aufzuzeigen und bei Vorhandensein geeigneter Meßeinrichtungen zu erproben.

5. Verknüpfung mit der Anlagentechnik:

Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse aus den Arbeitspaketen 1 bis 4 wird ein Pflichtenheft für eine Pilotanlage erarbeitet. Hierzu gehören:

- eine in der Branche übliche Spritzkabine mit Trockenabscheidung,
- austauschbare Filtereinheiten aus nachwachsenden Rohstoffen,
- Überwachungseinheiten für die Lösemittel- und Geruchskonzentrationen sowie für die Filtersättigung,
- Steuerungseinheit zur Regelung des Frischluftanteils im Umluftstrom sowie
- eine Beschichtungstechnologie (Zerstäuber mit Roboter oder Automat), mit der reproduzierbare Beschichtungen und Overspraybelastungen möglich sind.

Die Pilotanlage wird konstruktiv umgesetzt und in einem Technikum aufgebaut.

6. Evaluation:

Die Evaluation der Forschungsergebnisse und der Pilotanlage erfolgt durch umfangreiche, anwendungsorientierte Beschichtungsversuche in der Pilotanlage. Zur breiten Marktabdeckung werden branchenübliche Fallbeispiele mit verschiedenen Lacken und Lackierobjekten definiert. Bei den Lacken wird neben der Lösemittelzusammensetzung auch das Abdunstverhalten der verschiedenen Lösemittel berücksichtigt. Die Lackierobjekte werden so ausgewählt, dass eine Abdeckung unterschiedlicher Lack-Auftragswirkungsgrade und Restlösemittelanteile im Lackoverspray entstehen. Desweiteren erfolgen auch Querversuche mit elektrostatikunterstützten Zerstäubern. Die dabei anzuwendenden Prüf- und Analysemethoden resultieren aus den vorangegangenen Arbeitspaketen. Mit der aufgebauten Pilotanlage können die Projektergebnisse einem breiten Fachpublikum präsentiert werden.

Die Vorhabensziele sind nur zu erreichen, wenn die Ergebnisse der Arbeitsschritte aufeinander aufbauen. Nur das Zusammenspiel von Filtereinheit, Überwachungssysteme und der Regelung des Frischluftanteils führt zu einer Anlage, die die Vorgaben für die Arbeitssicherheit manueller Spritzlackieranlagen bei drastischer Reduzierung der Energiekosten und der Umweltbelastungen erfüllt.

Hauptteil

Arbeitsschritt 1: Untersuchung nachwachsender Rohstoffe zur Adsorption von Lösemitteldämpfen und Gerüchen

1. Zusammenfassung und Überblick

Ziel des Arbeitsschrittes 1 war die Suche nach Rohstoffen zur Adsorption von Lösemittel-Dämpfen und -Gerüchen. Dazu wurden zunächst einige Grundlagen zur Adsorption, wie z.B. die physikalische Vorgänge, betrachtet und charakteristische Eigenschaften von Adsorbentien ermittelt. Zur Bewertung der Adsorptionsfähigkeit eines Rohstoffs dienten folgende Eigenschaften:

- Partikelgrößenverteilung (kleine Partikel kurze Diffusionswege hoher Stoffaustausch),
- Porosität (je höher die Porosität, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit der Adsorption),
- innere oder spezifische Oberfläche (da dort die Adsorptionsprozesse ablaufen, ist dieser ein sehr wichtiger Parameter) und
- Porenradienverteilung (Adsorption findet hauptsächlich in den Mikroporen statt).

Im ersten Schritt wurden im Rahmen einer intensiven Literatur- und Internetrecherche dreizehn verschiedene Naturfasern ermittelt, die bezüglich der oben genannten Eigenschaften als Filtermaterial in Frage kommen könnten. Diese sind:

- Holzspäne,
- Stroh,
- Baumwolle,
- Jute,
- Hanf,
- Flachs,
- Torf,
- Kenaf,
- Ramie,
- Sisal,
- Ananasblatt,
- Kokosfaser sowie
- Schafwolle und weitere tierische Textilfasern.

Bei der Herstellung von Aktivkohle, die aus Naturstoffen gewonnen wird, fällt Braunkohlekoks (BKK) an. BKK-Staub zeigt ebenfalls charakteristische Eigenschaften, die auf eine Adsorptionsfähigkeit hindeuten. Deshalb wurde BKK-Staub in die Untersuchung mit aufgenommen.

Es qualifizierten sich also zur weiteren Untersuchung:

- Holz,
- Baumwolle,
- Stroh,
- Hanf und
- BKK.

Im nächsten Schritt wurden die Aufnahmefähigkeit und das Haltevermögen mit einfachen Mitteln und Versuchseinrichtungen qualitativ bestimmt. Die Versuche wurden unter zwei Bedingungen durchgeführt:

Kondition 1: 24 h Lagerung bei 20 °C und 53 % relative Feuchte.

Kondition 2: Trocknen bei 50 °C und 0 % relative Feuchte.

Über einen Zeitraum von sechs Stunden werden die Proben gewogen und die Gewichtsveränderungen dokumentiert. Die Proben nach Kondition 2 nahmen erwartungsgemäß mehr Lösemittel auf. BKK-Staub, Stroh und Holz brachten die besten Ergebnisse:

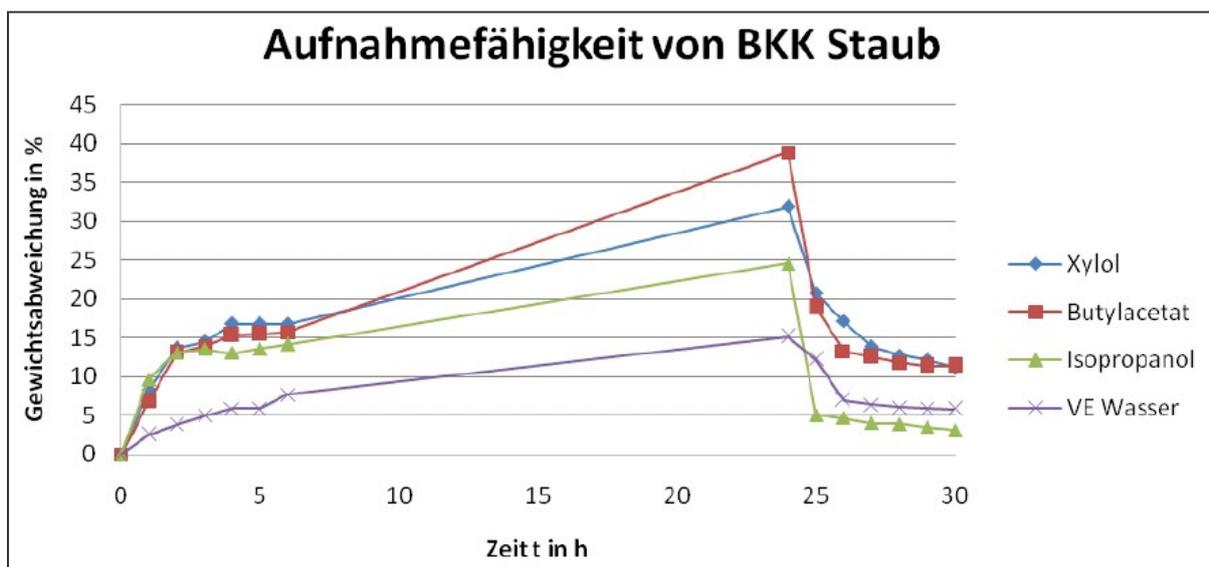


Diagramm 1: Lösemittelaufnahmefähigkeit von BKK-Staub

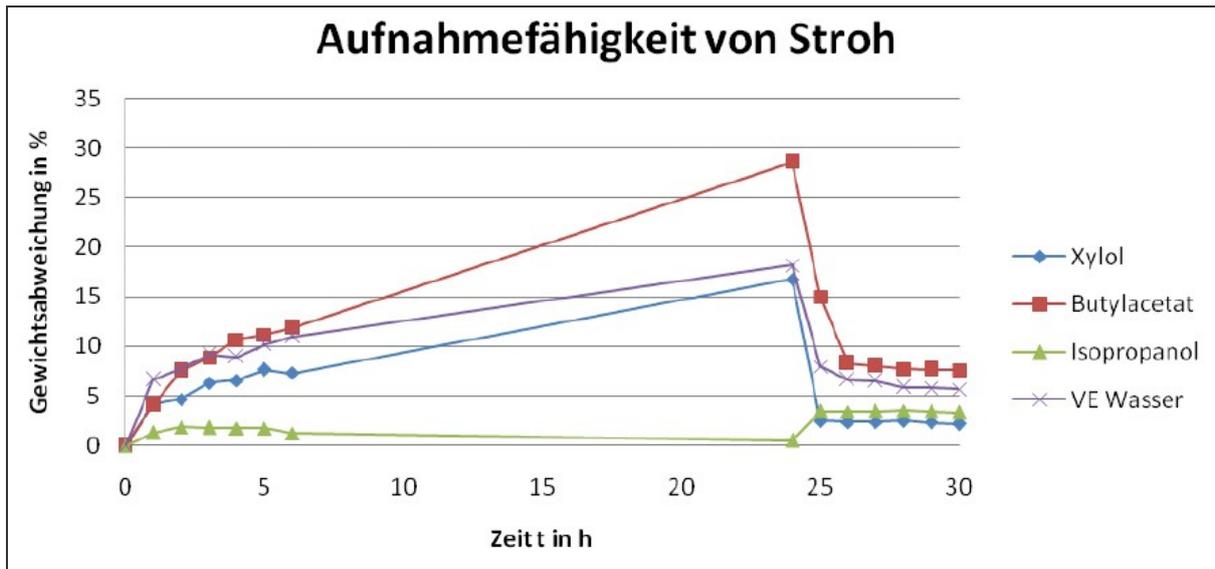


Diagramm 2: Lösemittelaufnahmefähigkeit von Stroh

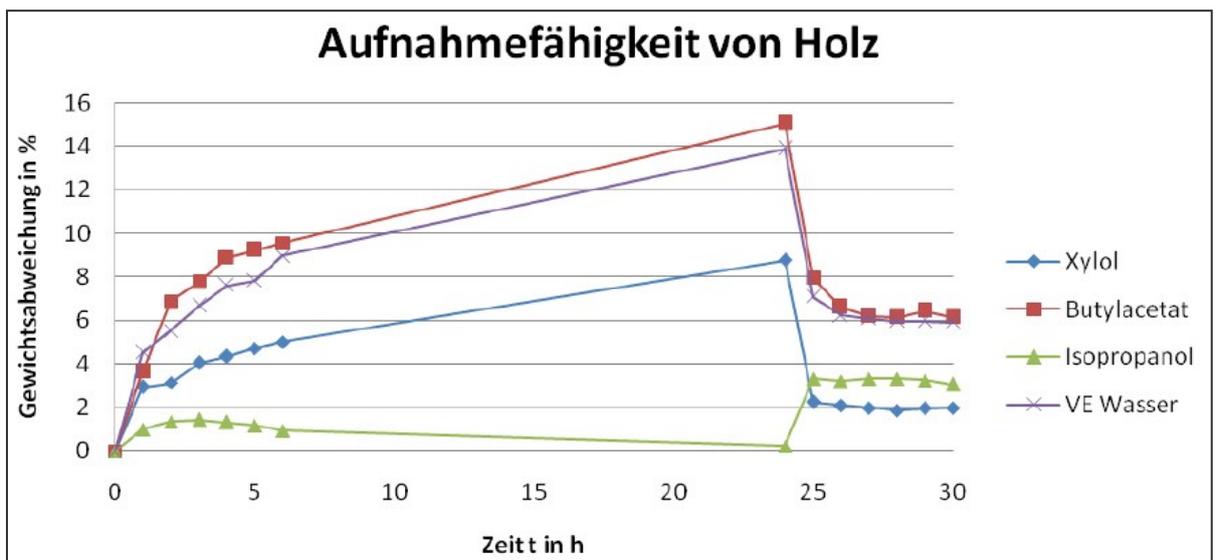


Diagramm 3: Lösemittelaufnahmefähigkeit von Holz

Die Bewertungen wurden entsprechend der Aufnahmefähigkeit vergeben, mit folgenden Nutzwerten:

	Stroh	Baumwolle	Hanf	Holz	BKK Staub
VE Wasser 1	5	3	1	2	4
VE Wasser 2	5	2	1	3	4
Isopropanol 1	3	1	2	4	5
Isopropanol 2	4	2	1	3	5
Butylacetat 1	4	3	1	2	5
Butylacetat 2	4	2	1	3	5
Xylol 1	4	3	1	2	5
Xylol 2	4	2	1	3	5
NUTZWERT	33	18	9	22	38

Tabelle 2: Nutzwertanalyse – Ranking der Ergebnisse

Aufgrund der hohen Kosten für Stroh wurde im nächsten Schritt nur noch Holz und BKK-Staub untersucht.

Im Gegensatz zur praktischen Anwendung hatten die Rohstoffe bei den Versuchen im Exsikkator eine lange Reaktionszeit mit den Lösemitteln. Beim Einsatz in Spritzlackierkabinen wird dagegen die Filtereinheit mit dem Rohstoff von der lösemittelhaltigen Abluft in kürzerer Zeit durchströmt. In einer praxisnahen, zweiten Versuchsreihe wurde nun diesem Sachverhalt Rechnung getragen. Es wurden Filterpads mit den jeweiligen Rohstoffen befüllt und in die Absaugöffnung eines Laborabzugs eingebaut. Mit einer Mini-Spritzpistole wurde jeweils ein charakteristisches Lösemittel versprüht und die Gewichtsveränderung erneut gemessen.

Gegenüber der Praxis lagen die Filteranströmgeschwindigkeiten um den Faktor 4 höher. Die Meßergebnisse zeigen, dass auch bei einer Anströmgeschwindigkeit von 2,9 m /s eine signifikante Adsorption stattfindet und dass das Haltevermögen beträchtlich ist.

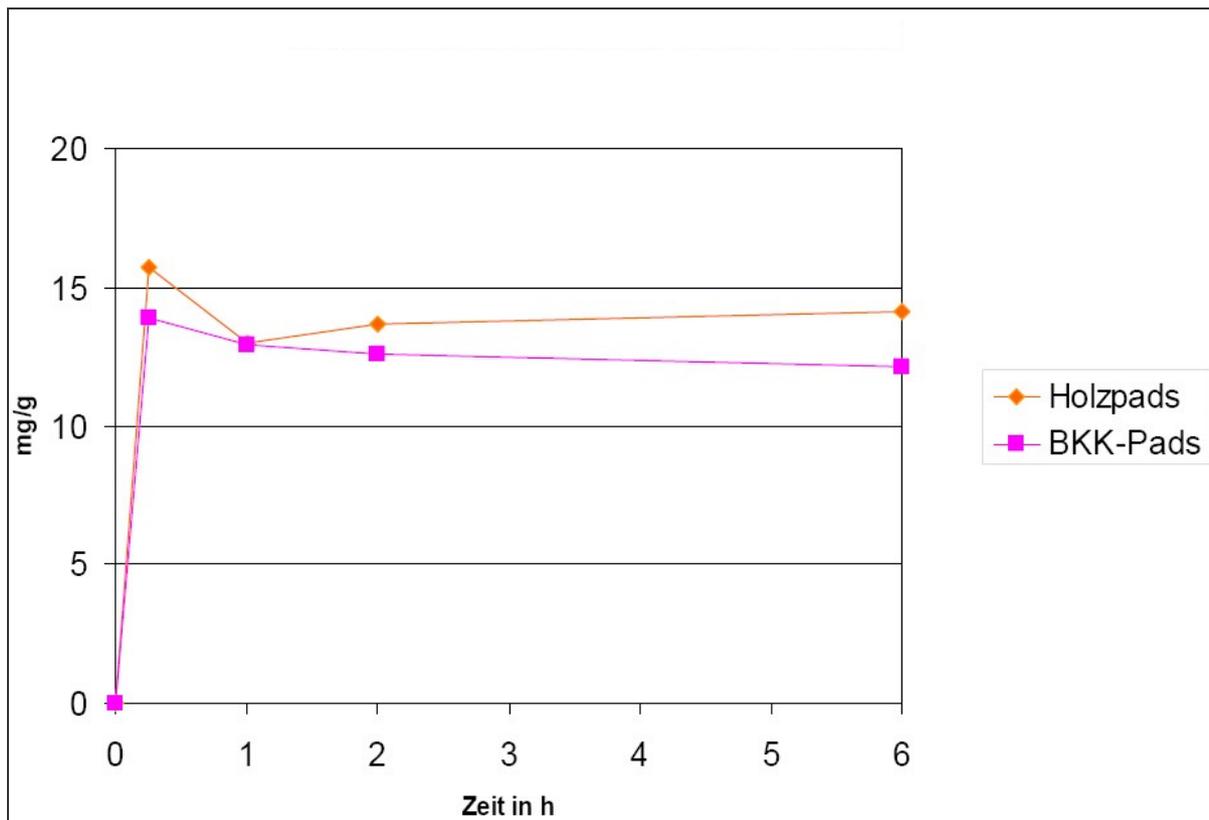


Diagramm 4: Relative Gewichtsveränderung von Holz und BKK-Staub

Es kann festgehalten werden, dass das Ziel des Arbeitsschrittes 1 erreicht wurde und die Weiterführung mit Arbeitsschritt 2 gerechtfertigt ist.

2 Beschreibung der Vorgehensweise und Ergebnisse im Detail

2.1 Erarbeitung der Grundlagen zur Adsorption

2.1.1 Charakterisierung von Adsorbentien

Die nachstehend aufgelisteten Eigenschaften wurden im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit der Adsorptionsfähigkeit ausgewählt.

2.1.1.1 Partikelgrößenverteilung

Generell gilt: je kleiner die Partikel, desto kürzer sind die Diffusionswege und somit ist der Stoffaustausch größer.

2.1.1.2 Innere oder spezifische Oberfläche

An der inneren Oberfläche laufen die eigentlichen Adsorptionsprozesse ab. Deshalb ist diese ein sehr wichtiger Parameter zur Beurteilung des Adsorbens.

Aktivkohle hat eine innere Oberfläche von $2300 \pm 1400 \text{ m}^2/\text{g}$, während Biopolymere wie beispielsweise Cellulose eine von $300\text{-}800 \text{ m}^2/\text{g}$ aufweisen.

2.1.1.3 Porenradienverteilung

Die Größe der Poren ist entscheidend für das Adsorptionsverfahren.

2.2 Auswahl von Naturfasern zur Aufnahme von Schadstoffen

Die Spanne an Naturfasern, die als Filtermaterial in Frage kommen, ist enorm. Abbildung 5 zeigt nur einen Bruchteil der in der Natur vorkommenden Fasermaterialien. Naturfasern lassen sich nach ihrer Herkunft einteilen. Sie können von Pflanzen, Tieren oder Mineralien stammen.

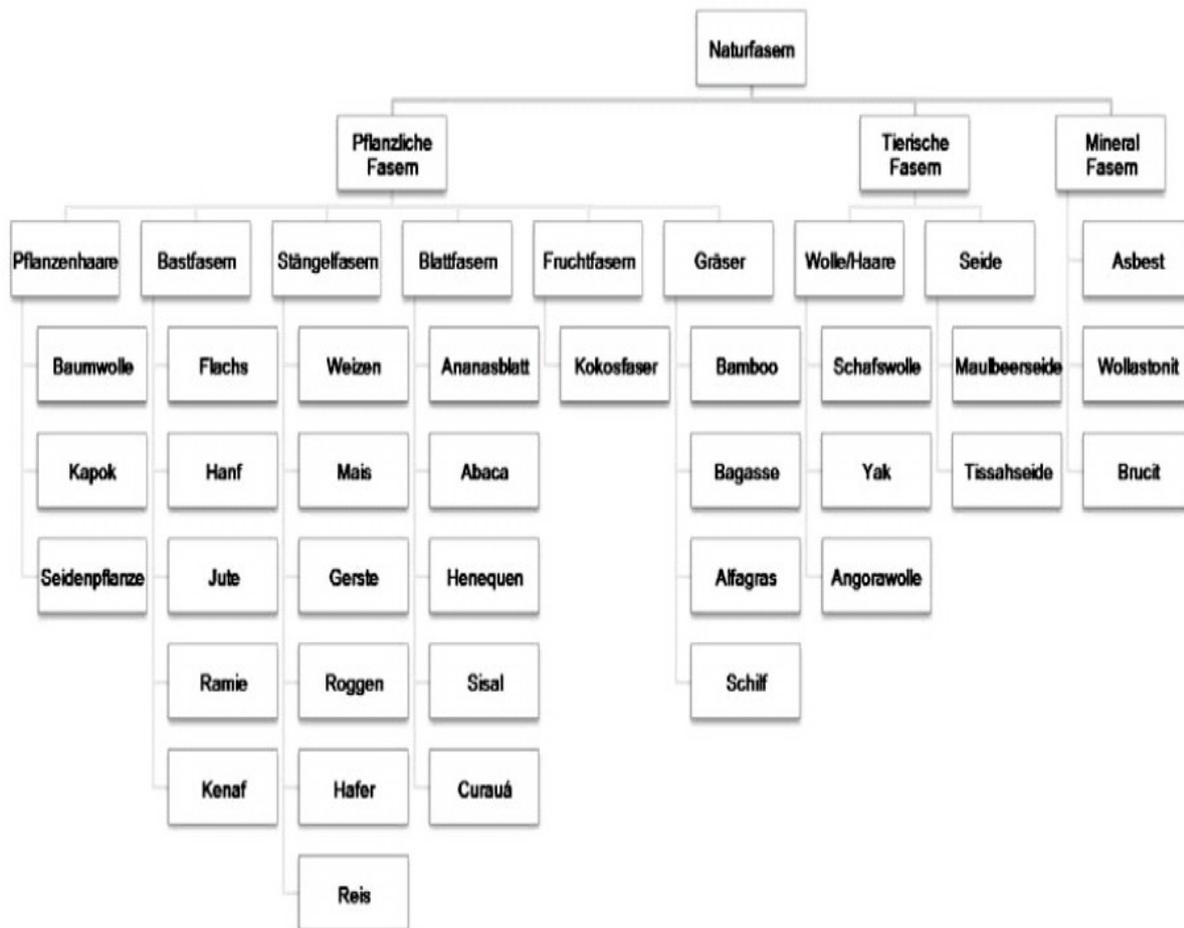


Abbildung 1: Klassifizierung von Naturfasern

2.2.1 Vorgehensweise zur Auswahl von Naturfasern

Im ersten Schritt wurden im Rahmen einer ausführlichen Literatur- und Internetrecherche dreizehn verschiedene Naturfasern ermittelt, die als Filtermaterial in Frage kommen könnten. Dabei wurden die möglichen Rohstoffe bezüglich der im Kapitel 2.1 erarbeiteten Kriterien, die auf ein Adsorptionsvermögen hindeuten, untersucht. Folgende Naturfasern wurden als potentielle Filtermedien ermittelt:

- Holzspäne,
- Stroh,
- Baumwolle,
- Jute,
- Hanf,
- Flachs,
- Torf,
- Kenaf,
- Ramie,
- Sisal,

- Ananasblatt,
- Kokosfaser sowie
- Schafwolle und weitere tierische Textilfasern.

Aufgrund seiner großen inneren Oberfläche wurde zusätzlich zu den Naturfasern auch Braunkohlkoks (BKK) in die weiteren Betrachtungen mit aufgenommen.

Zusätzlich stellte sich die Frage, welche nachwachsenden Rohstoffe als Abfall auftreten und welche Naturfasern sonst Anwendung in der Industrie als Filtermittel finden. Sie wurden hinsichtlich verschiedener Kriterien untersucht und im Rahmen einer Nutzwertanalyse bewertet.

2.2.2 Erarbeitung eines Auswahlverfahrens für Naturfasern

Als Auswahlverfahren für die in Frage kommenden nachwachsenden Rohstoffe wurde die Nutzwertanalyse verwendet. Im ersten Schritt galt es, die möglichen dreizehn Stoffe auf drei bis fünf zu reduzieren. Dafür wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Aufkommen / Abfall,
- Umweltkompatibilität und
- Adsorption gegenüber Wasser.

Kriterium "Aufkommen / Abfall"

Die in Frage kommenden Rohstoffe sollen in ausreichender Menge sowie in einer günstigen geographischen Lage vorhanden sein. Zudem sollen sie im besten Falle auch als Abfallprodukt vorliegen.

Somit lauten die Unterziele des Kriteriums:

- geographische Lage,
- Menge des verfügbaren Materials und
- Aufkommen als Abfall.

Kriterium "Umweltkompatibilität"

Im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes 1 gilt es "Abfälle zu vermeiden, zu verwerten und zu beseitigen". Zur Wiederverwertung von Abfällen als Filtermaterialien müssen folgende Unterkriterien erfüllt werden:

- die Reinheit
- der Heizwert von mind. 11 MJ/kg.

Kriterium "Adsorption gegenüber Wasser"

Das Adsorptionsverhalten der verschiedenen Materialien gegenüber Wasser lässt auf das Adsorptionsverhalten gegenüber polaren Lösemitteln wie beispielsweise Alkohole schließen.

Ausschlaggebend für eine hohe Wasseraffinität sind:

- der Cellulosegehalt und
- der Feuchtegehalt.

Cellulose ist stark hygroskopisch, d.h. dass sie in der Lage ist, viel Wasser aufzunehmen und auch zu binden.

2.2.3 Ergebnis und Erläuterung der ersten Nutzwertanalyse

Tabelle 3 zeigt die Daten, auf denen die Nutzwertanalyse basiert. Diese Daten entstammen der Literaturrecherche. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Nutzwertanalyse aufgeführt. Sie werden in Diagramm 5 graphisch dargestellt.

	Geographische Lage	Menge des Verfügbaren Materials pro Jahr	Cellulosegehalt in %	Feuchtegehalt in %	Heizwert in MJ/kg
Holzspäne	Deutschland	12,4 Mio. m ³	25-50	5-22	15,85
Rinde	Deutschland	2,1 Mio. m ³	25-50	22-50	8,9
Waldrestholz	Deutschland	15 Mio. m ³	25-50	22-50	8,9
Altholz	Deutschland	ca. 13 Mio. m ³	25-33	22-35	20
Reststroh	Deutschland	14,4 Mio. m ³	34-45		14,5
Schafwolle	Deutschland	7,15 t	0	20-33	0
Flachs	Europa	120000 ha	71	8-12	12,3
Hanf	Europa	ca. 17500 ha	70-74	6-12	15
Jute	Asien	1,3 Mio. ha	61-71,5	12,5-13,4	15
Kenaf	Asien und Afrika	32,45 Mio. t	45-57	12	15
Baumwolle	Europa	544131 ha (weltweit ca. 32 Mio. ha)	85-90	7,85-8,5	17
Kokosfasern	Tropen	266000 t	32-43	8	k.A.
Sisal	Mittelamerika	4,5 Mio. t	66-78	10-22	k.A.
Torf	Deutschland	9,6 Mio. m ³	ca. 30		19-23
Ramie	Asien	keine Angabe	68,6-76,2	7,5-17	k.A.
Ananasblatt	Asien, Mittelamerika	keine Angabe	70-82	1,80	k.A.

Tabelle 3: Daten zur Durchführung der ersten Nutzwertanalyse

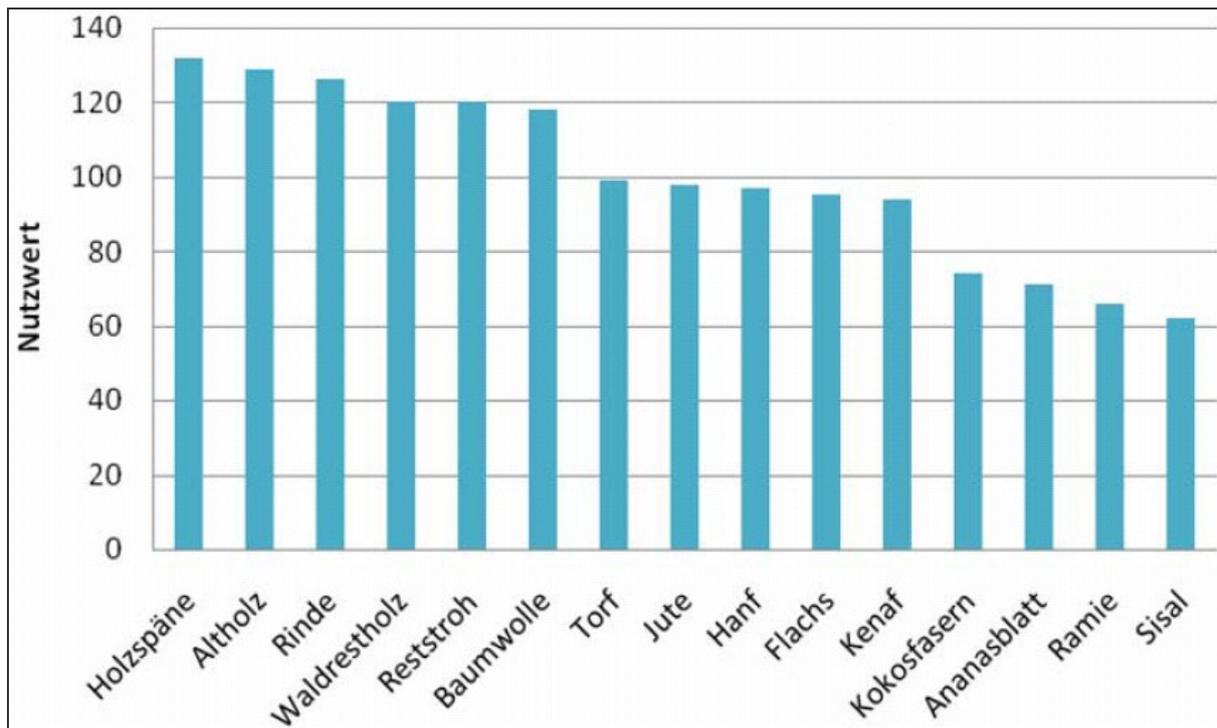


Diagramm 5: Ergebnisse der ersten Nutzwertanalyse

Eine der wichtigsten Anforderungen war das Aufkommen des möglichen Materials als Abfallprodukt in anderen Branchen. Aus dem Grund schnitten die meisten Textilfasern und Torf schlechter ab als die Holzabfallprodukte und Stroh. Die exotischen Fasern wie Ramie, Sisal und Ananasblatt schieden nicht nur wegen der geographischen Lage nach der Nutzwertanalyse aus, sondern auch, weil diese Materialien noch nicht so kommerzialisiert sind wie Baumwolle und Flachs. Deshalb waren die notwendigen Informationen oft nicht vorhanden. Dann wurde für das entsprechende Kriterium nur ein Punkt vergeben.

Kriterien	Holzspäne	Rinde	Waldrestholz	Altholz	Reststroh	Flachs	Hanf	Jute	Kenaf	Baumwolle	Kokosfasern	Sisal	Torf	Ramie	Ananasblatt
NUTZWERT	132	126	120	129	120	100	102	98	94	123	74	62	99	66	71
Kosten in €/t	1	1	109	1	95	600	550	550	550	500			29		
Relativer Nutzwert	132	126	1,1	129	1,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			3,5		

Tabelle 5: Gegenüberstellung von Nutzwert und Kosten

Zur weiteren Untersuchung qualifizierten sich Holz, Baumwolle, Stroh und Hanf. Braunkohlekoks, der auf Grund des Cellulosekriteriums nicht in die Nutzwertanalyse einbezogen war, wurde weiter untersucht.

2.3 *Messtechnische Untersuchung der Rohstoffe*

Die messtechnischen Untersuchungen sollen eine qualitative Bewertung der fünf bestbewerteten Materialien bezüglich ihrer Adsorptionsfähigkeit für Lösemittel erbringen. Anhand der Resultate wurden erneut zwei Materialien ausgeschlossen.

2.3.1 Analyse der Porosität am Digitalmikroskop

Die Mikroskop-Analyse erfolgte an einem Keyence Mikroskop der Reihe VHX im Prüflabor des Oberflächentechnikums am Fraunhofer IPA. Dieses Mikroskop hat eine besonders hohe Tiefenschärfe, so dass die Oberflächenstruktur der geprüften Materialien detailliert dargestellt wird. Generell: je größer die Oberfläche, desto höher die Adsorptionsrate.

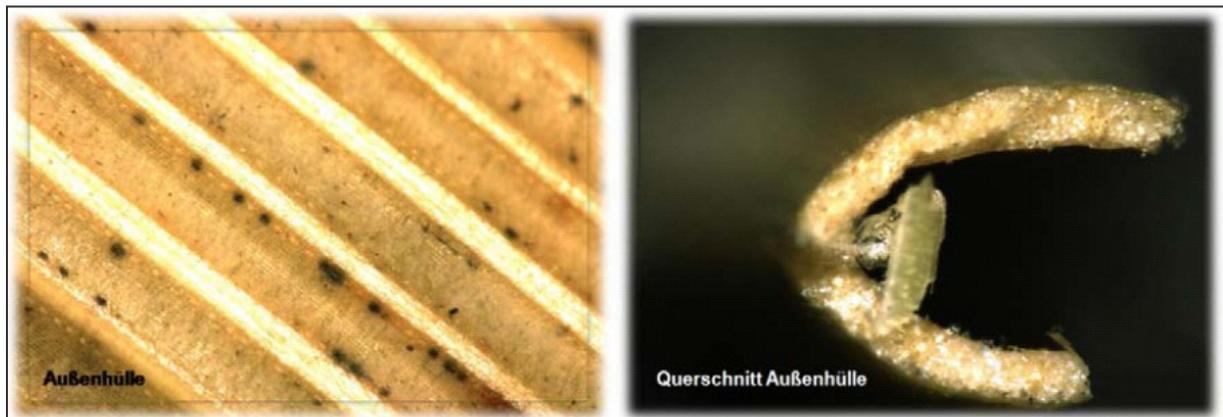


Abbildung 2: Mikroskopaufnahme von Stroh (Vergrößerungsfaktor 200)

Abbildung 2 zeigt zwei Aufnahmen von Stroh. Bei der ersten handelt sich um die Außenhülle. Hier sind die Rillen in der Oberfläche erkennbar. Die Zweite zeigt einen Querschnitt der Außenhülle. Auch hier sind kleine Hohlräume zu erkennen. Dies sind jedoch nicht die Poren, an denen die Adsorption erfolgt, da diese Durchmesser im Nanometerbereich haben.

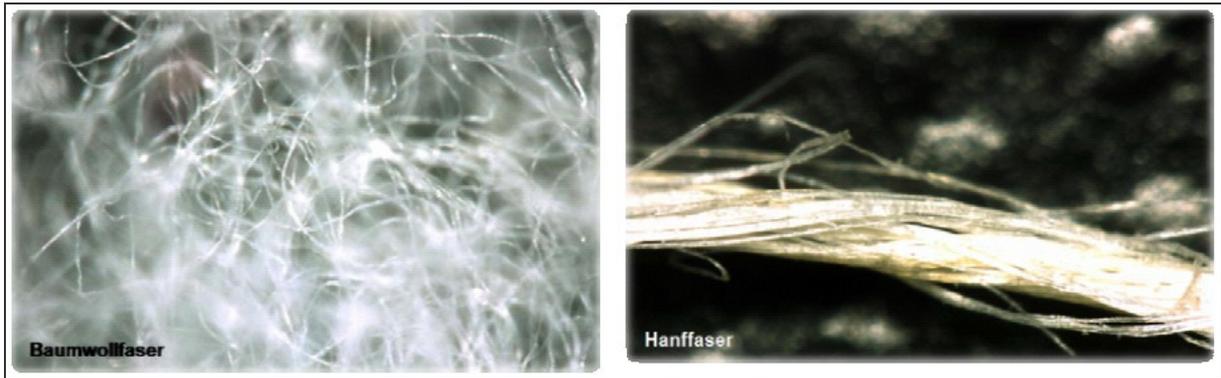


Abbildung 3: Mikroskopaufnahme von Baumwolle und Hanf (Vergrößerungsfaktor 200x)

Die in Abbildung 3 dargestellten Textilfasern besitzen im Vergleich zu Stroh eine wesentlich glattere Oberfläche.

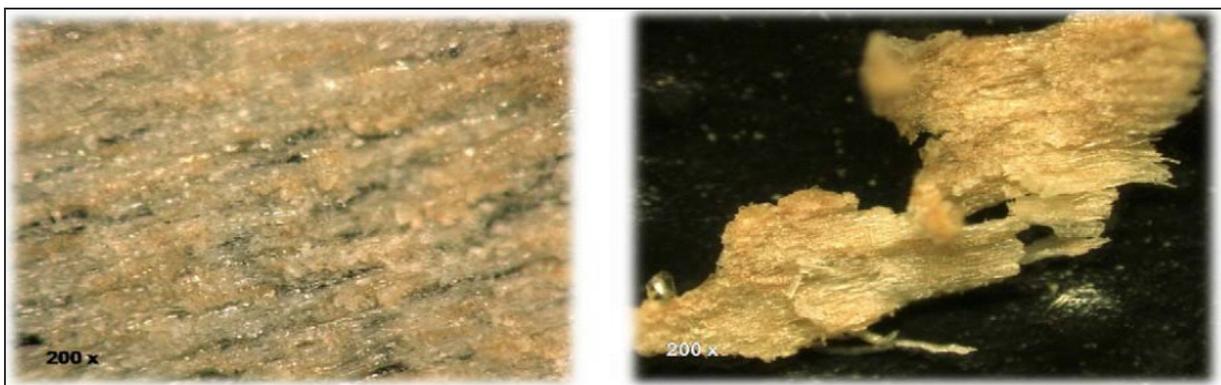


Abbildung 4: Mikroskopaufnahme eines Holzspans (Vergrößerungsfaktor 100x und 200x)

Holz besitzt, wie in Abbildung 4 erkennbar eine unregelmäßige Oberfläche. Die Annahme, dass Hanf und Baumwolle weniger Lösemitteln aufnehmen würden, wurde mit dem Versuch, wie in Abschnitt 2.3.2 beschrieben, bestärkt.

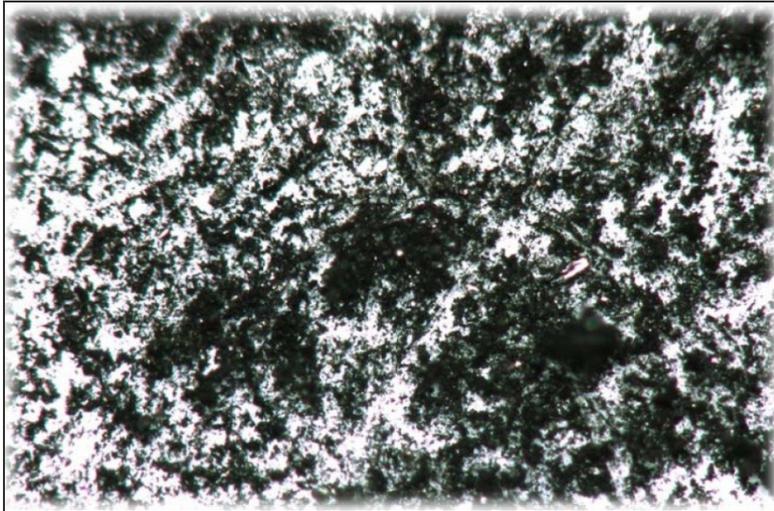


Abbildung 5: Mikroskopaufnahme von BKK-Staub (Vergrößerungsfaktor 200x)

BKK Staub liegt in Pulverform vor. Aus der Mikroskopaufnahme (Abbildung 5) konnten keine aussagekräftigen Schlüsse gezogen werden.

2.3.2 Aufnahmefähigkeit und Haltevermögen von Gasen

Die wichtigsten Anforderungen an das Filtermaterial sind, dass es eine große Menge an Lösemitteln aufnimmt und dass es diese über eine lange Zeitspanne hält.

Um das Aufnahmevermögen und die Speicherung zu bestimmen, gibt es verschiedene Meßmethoden. Es galt im ersten Schritt die Adsorptionsfähigkeit der fünf bestbewerteten Materialien mit einfachen Mitteln und Versuchsgeräten, die im Prüflabor des Fraunhofer IPA vorhanden sind, qualitativ zu bestimmen.

2.3.2.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden ein Exsikkator, Aluschalen, eine Präzisionswaage und Lösemittel eingesetzt. Als Lösemittel wurden demineralisiertes Wasser, Butylacetat, Isopropanol und Xylol gewählt, da diese die gängigsten sind und unterschiedliche Polaritäten und Verdunstungszahlen aufweisen. (Siehe Tabelle 6).

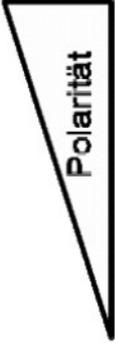
	Lösemittel	Verdunstungszahl	Dichte in g/cm ³
	Vollentsalztes (VE) Wasser	80	1
	Isopropanol	11	0,886
	Butylacetat	11	0,88
	Xylol	17	0,874

Tabelle 6: Verdunstungszahl, Dichte und Polarität der erprobten Lösemittel

Der erste Schritt für die Versuchsdurchführung war die Vorbereitung der Proben. Die Alu-Schalen wurden leer gewogen, da diese eine Toleranz von $\pm 0,1$ g aufweisen. Anschließend wurden die Schalen mit dem Material gefüllt. Die Menge betrug ca. 1 g. Der untere Teil des Exsikkators wurde mit 200 ml Lösemittel gefüllt. Die Schalen mit dem Material wurden auf den Keramikeinsatz gestellt und die Exsikkatoren in den klimatisierten Raum platziert. Abbildung 6 zeigt die Proben im Exsikkator. Im unteren Teil befindet sich das Lösemittel.



Abbildung 6: Versuchsaufbau

In einem Zeitabstand von einer Stunde wurden die Proben über einen Zeitraum von sechs Stunden gewogen und die Gewichtszunahme dokumentiert. Das Zeitintervall von sechs Stunden wurde praxisorientiert gewählt. Eine Lackieranlage eines kmU wird in der Regel nicht länger als 6 Stunden pro Schicht betrieben. Auch wenn die Proben nach dem Ablauf dieser Zeit noch nicht gesättigt sind, ist es wenig sinnvoll, die Gewichtszunahme länger zu betrachten. Als Zusatzwert wurde noch das Gewicht nach 24 Stunden aufgeführt.

Gewogen wurde an der Präzisionswaage mit einer zusätzlichen Alu-Schale als Deckel. Diese soll ein Verflüchtigen der Lösemittel auf den Weg vom Exsikkator bis zur Waage vermindern. Nach 24 Stunden wurden die Proben aus dem Exsikkator entnommen, erneut gewogen und wieder in den klimatisierten Raum gestellt.

Das Haltevermögen wurde durch die Gewichtsabnahme der Materialien bestimmt. Je schneller sie an Gewicht abnehmen, desto schneller geben sie auch die Lösemittel ab. Auch hier erfolgten die Messungen mit der Präzisionswaage stündlich über einen Zeitraum von sechs Stunden.

Alle Messdaten wurden schriftlich festgehalten und ausgewertet. Jeder Versuch wurde wegen der Streuung der Ergebnisse mindestens drei Mal unter identischen Bedingungen durchgeführt. War die Streuung zu groß, wurde der Versuch ein weiteres Mal durchgeführt.

2.3.2.2 Konditionierung

Die Versuche wurden unter zwei verschiedenen Bedingungen durchgeführt:

- Bei Kondition 1 wurden die Proben über 24 Stunden in einem Raum mit einer konstanten Temperatur von 20°C und einer Luftfeuchte von ca. 53 % gelagert. Somit nehmen die Proben erst eine bestimmte Menge an Wasser auf.
- Bei Kondition 2 wurden die Proben erst im Ofen bei 50°C und 0% Luftfeuchte getrocknet. Um sicherzustellen, dass die Proben auf dem Weg vom Ofen zur Präzisionswaage kein Wasser aufnahmen, wurden sie erst in einen Exsikkator mit Silica-Gel platziert. Nach einer Stunde Abkühlung wurden die Proben eingewogen.

Die Versuchsdurchführung erfolgte stets im klimatisierten Raum, da hier die Luftbedingungen immer konstant bleiben.

2.3.2.3 Auswertung und Ergebnisse

Zur Versuchsauswertung wurde die prozentuale Gewichtsänderung über 30 Stunden aufgezeichnet. Die nachstehenden Diagramme zeigen das Adsorptionsvermögen für VE-Wasser und die weiteren Lösemittel auf.

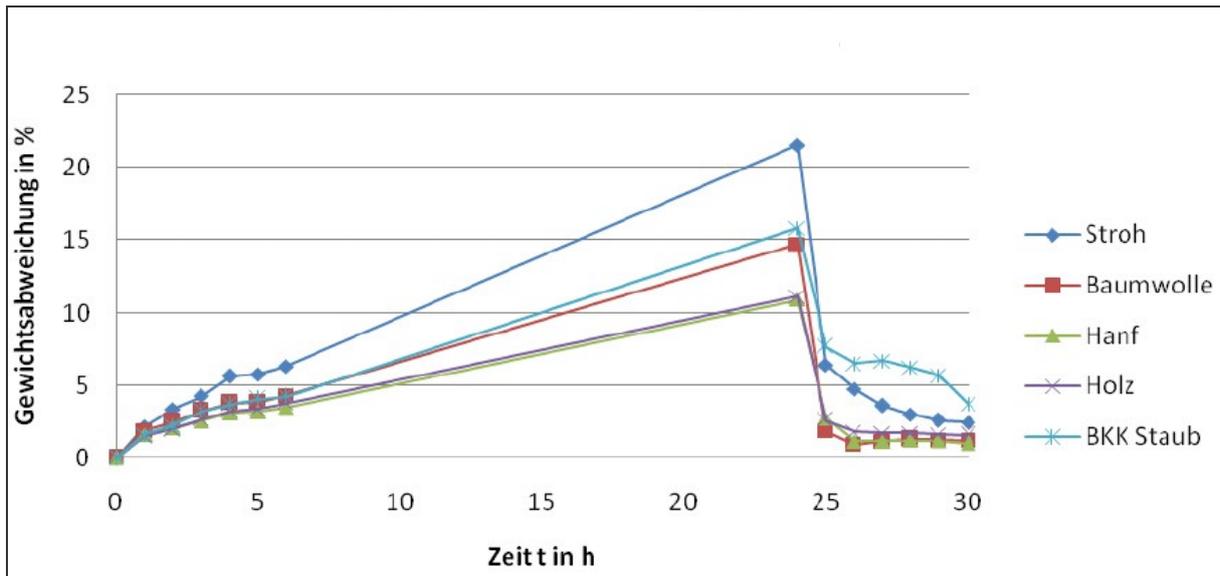


Diagramm 6: Lösemittelaufnahmefähigkeit für VE Wasser, Kondition 1

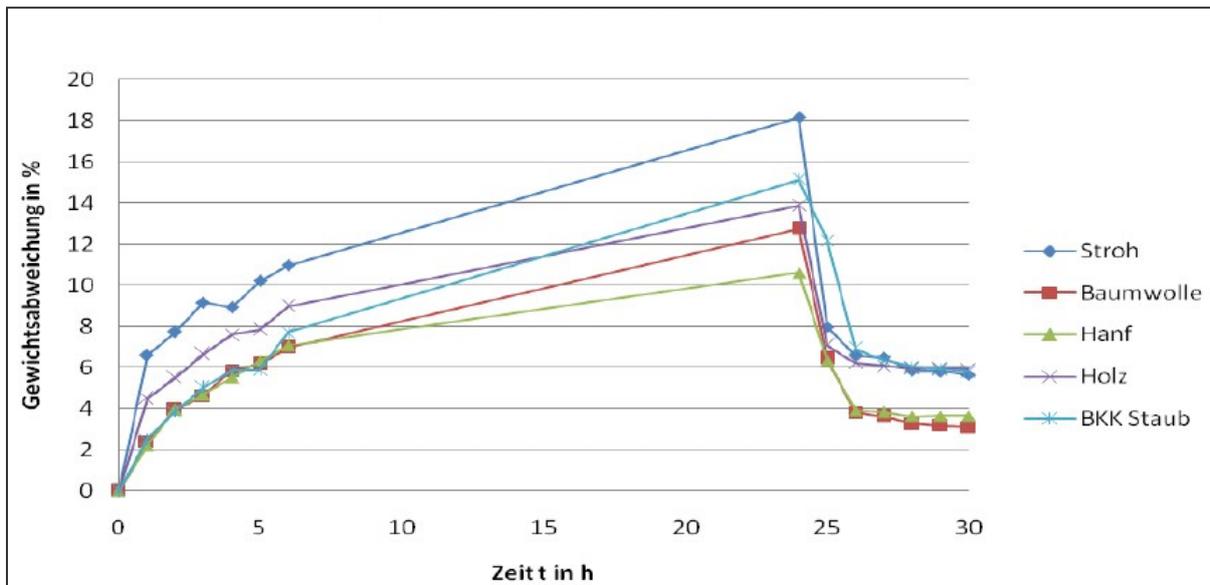


Diagramm 7: Lösemittelaufnahmefähigkeit für VE Wasser, Kondition 2

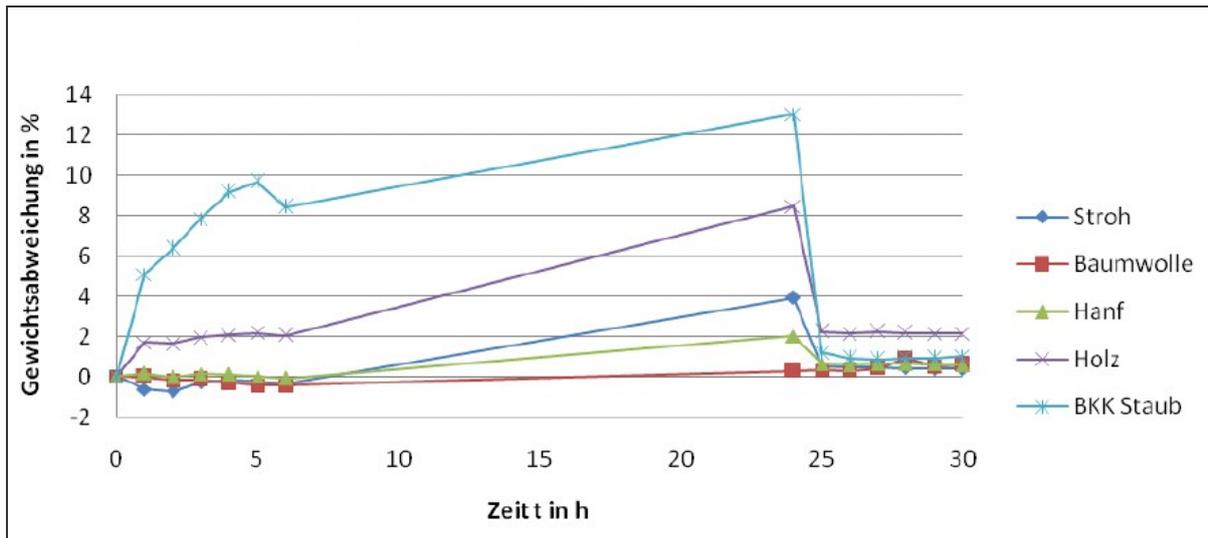


Diagramm 8: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Isopropanol, Kondition 1

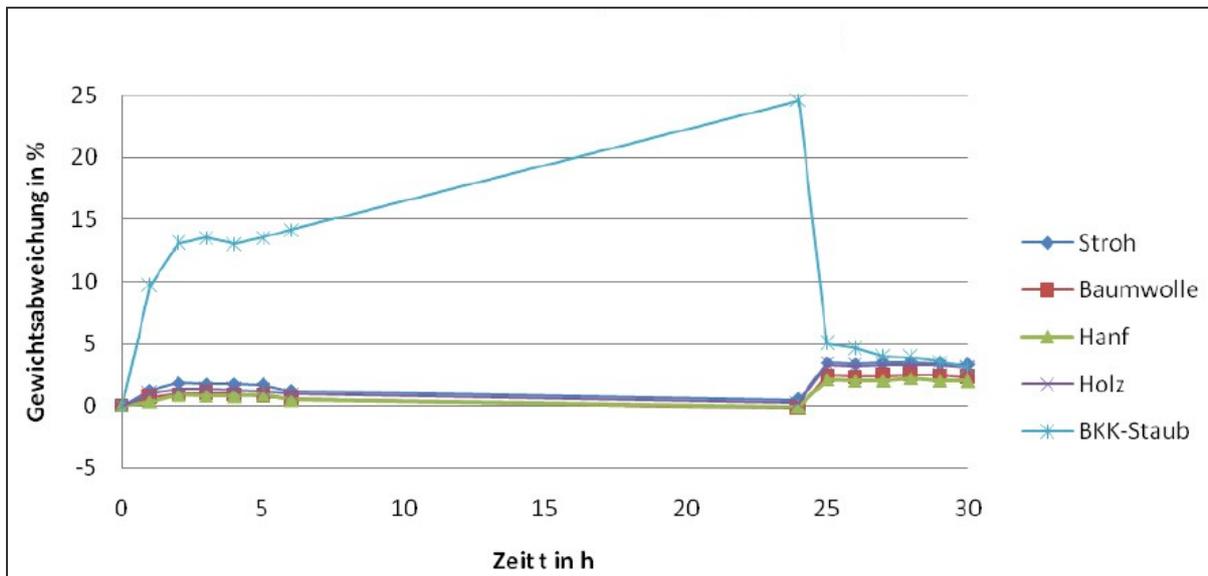


Diagramm 9: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Isopropanol, Kondition 2

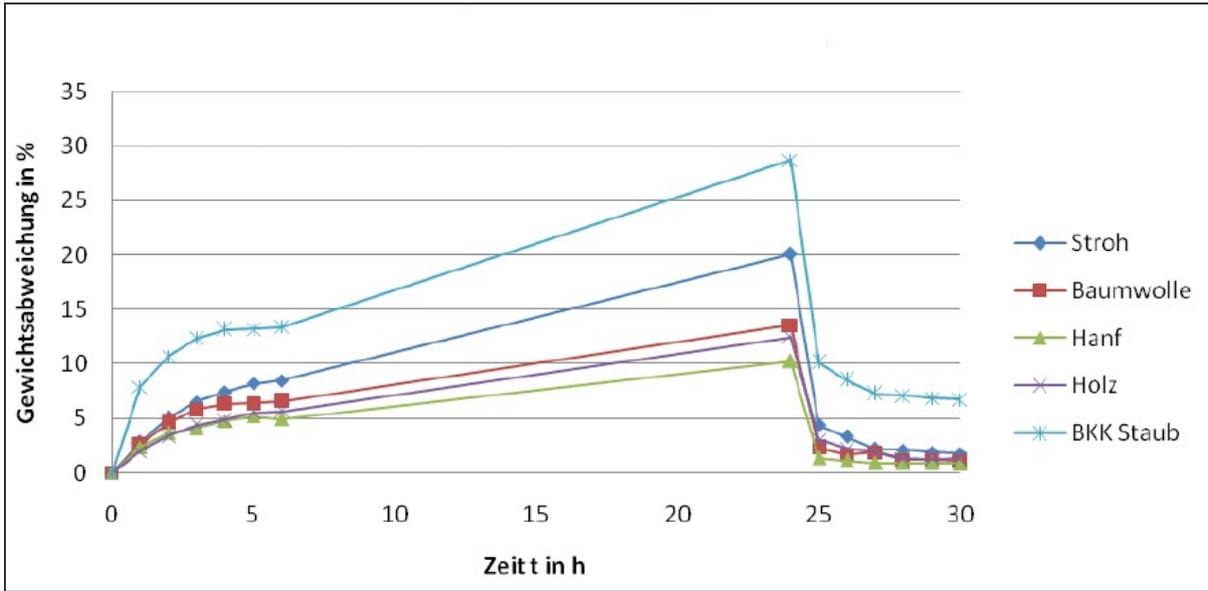


Diagramm 10: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Butylacetat, Kondition 1

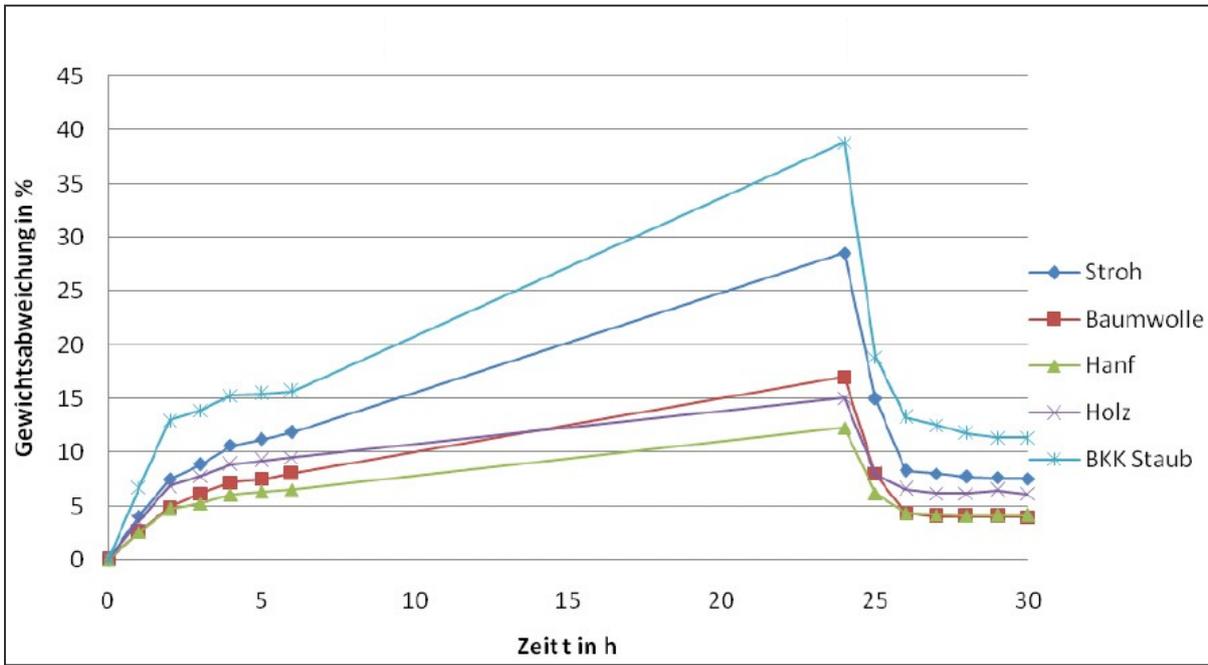


Diagramm 11: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Butylacetat, Kondition 2

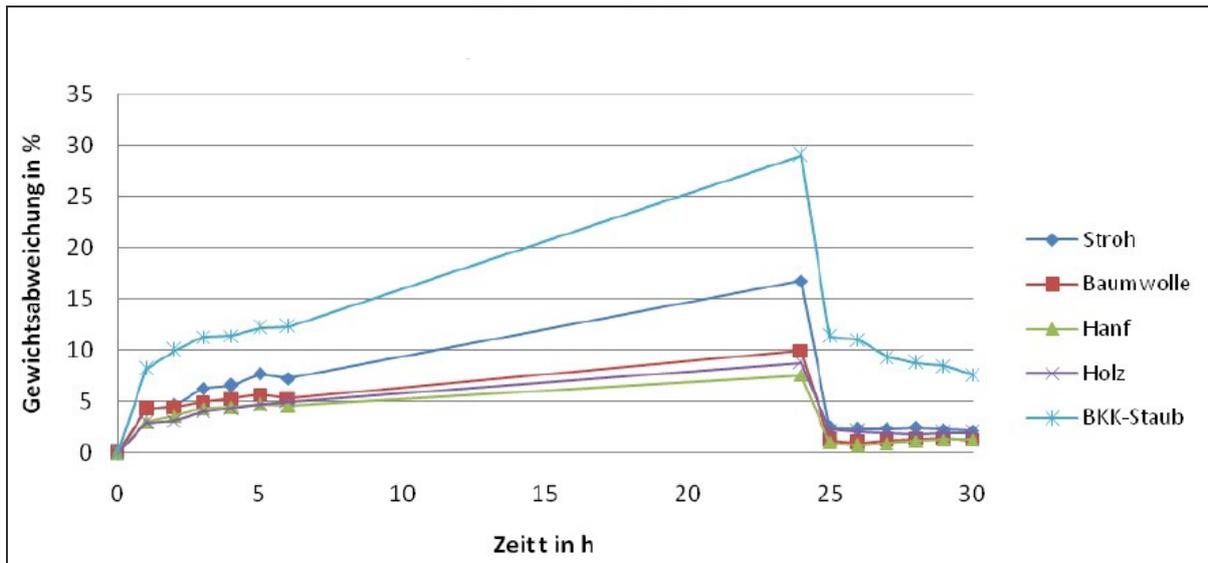


Diagramm 12: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Xylol, Kondition 1

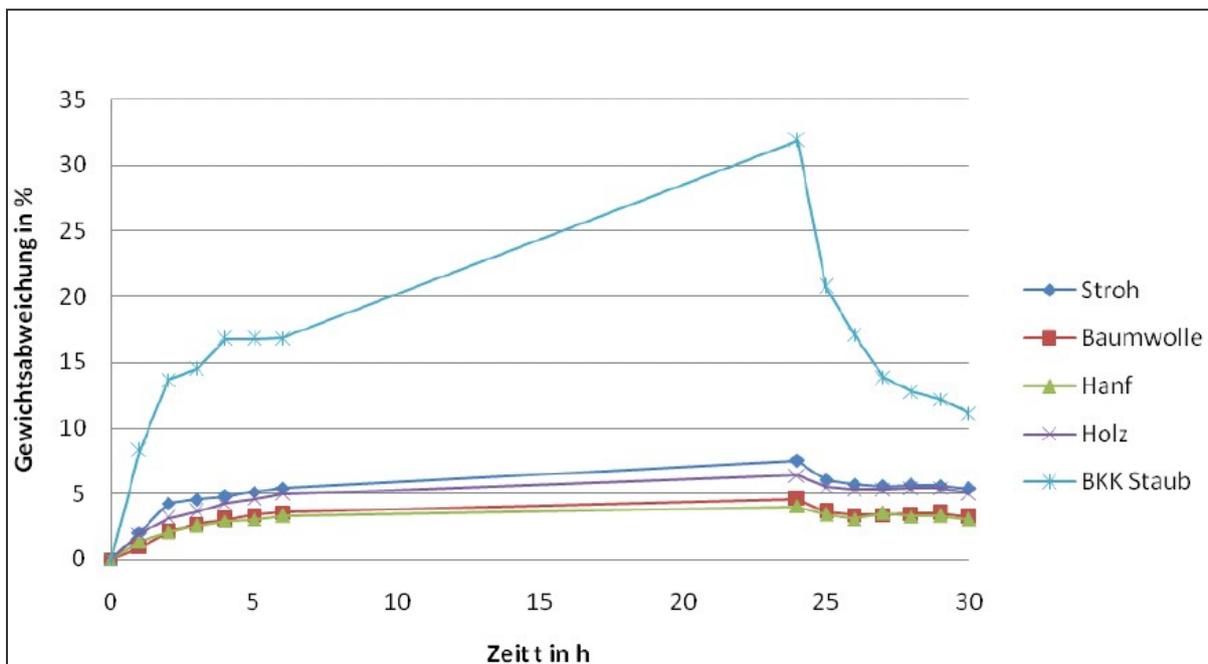


Diagramm 13: Lösemittelaufnahmefähigkeit für Xylol, Kondition 2

In den folgenden Diagrammen werden die unterschiedlichen Lösemittel dargestellt. Demnach wurde Butylacetat von allen Materialien am meisten aufgenommen. An zweiter Stelle das Wasser und an dritter Xylol.

Isopropanol wurde nur von Braunkohlekoks in nennenswerter Menge aufgenommen.

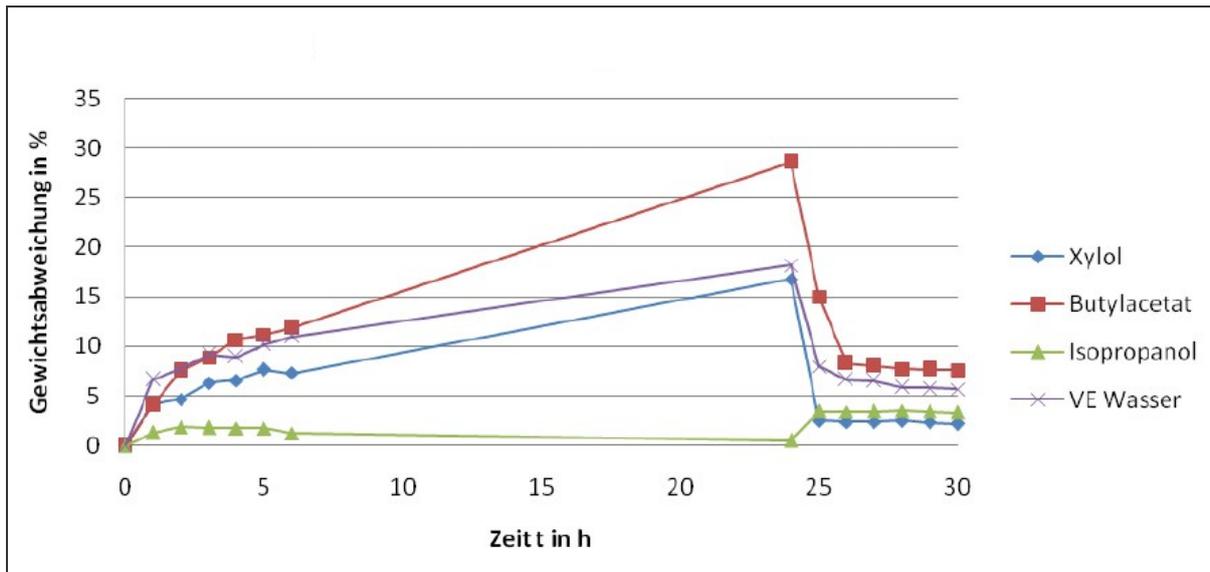


Diagramm 14: : Lösemittelaufnahmefähigkeit an Stroh

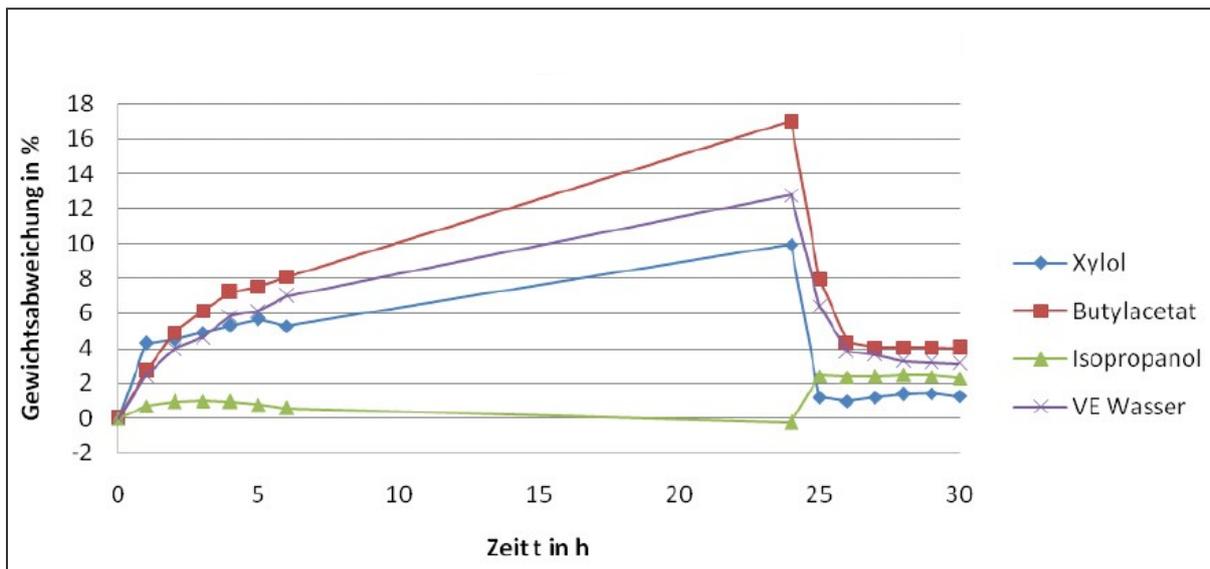


Diagramm 15: Lösemittelaufnahmefähigkeit an Baumwolle

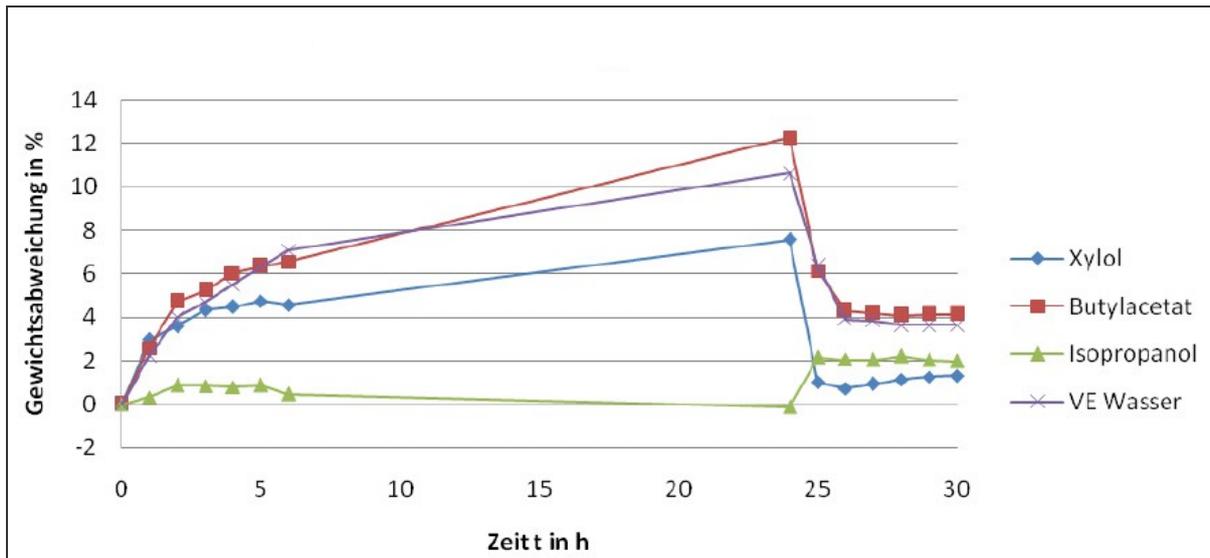


Diagramm 16: Lösemittelaufnahmefähigkeit an Hanf

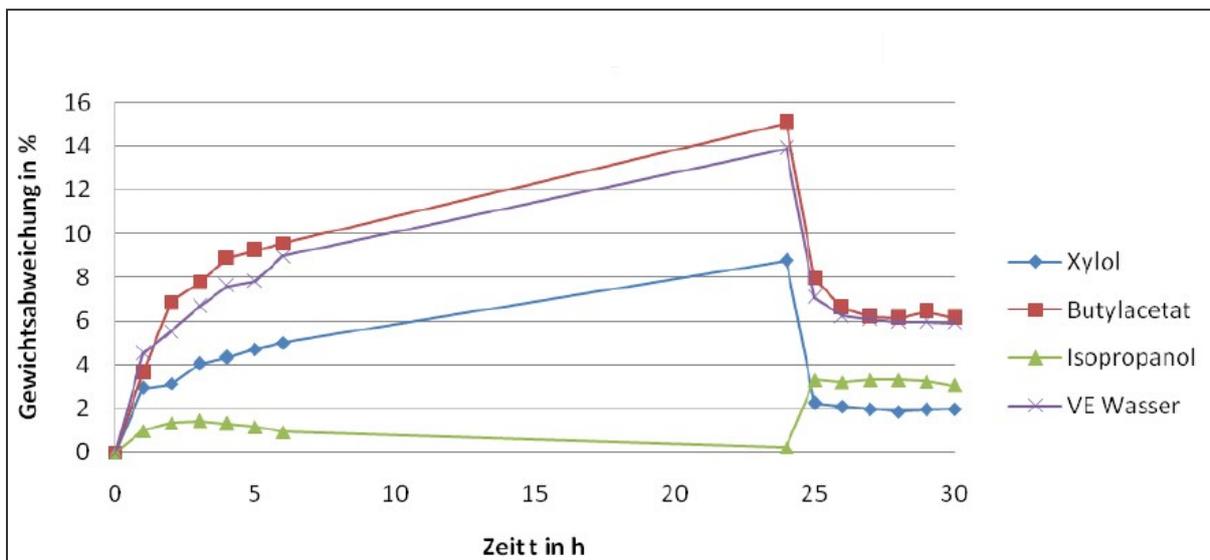


Diagramm 17: Lösemittelaufnahmefähigkeit an Holz

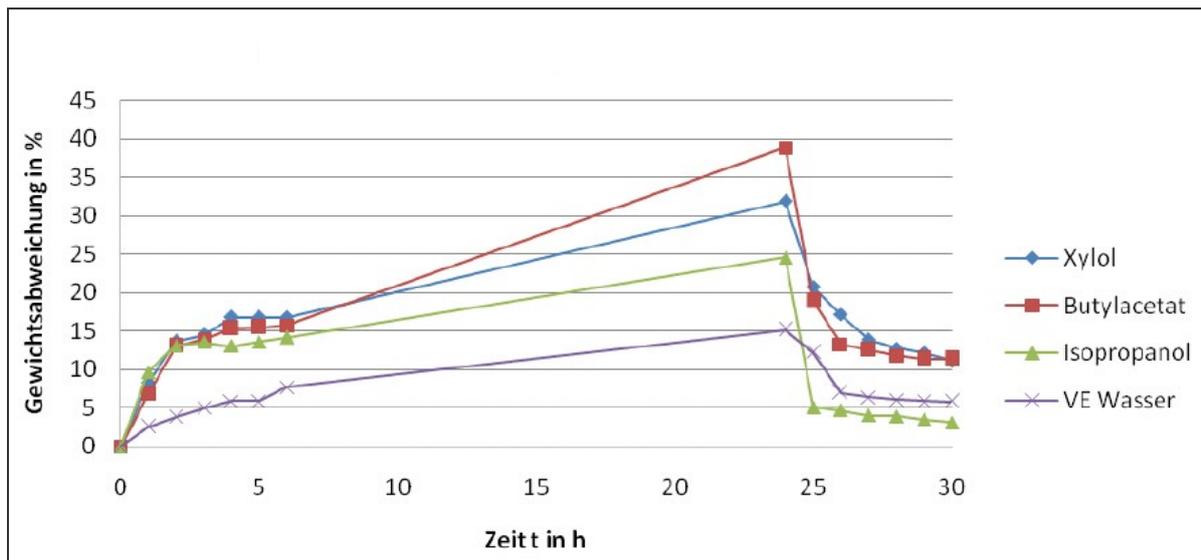


Diagramm 18: Lösemittelaufnahmefähigkeit an BKK-Staub

Tabelle 7 zeigt das Ranking der Ergebnisse. Die Bewertungen wurden entsprechend der Aufnahmefähigkeit vergeben.

	Stroh	Baumwolle	Hanf	Holz	BKK Staub
VE Wasser 1	5	3	1	2	4
VE Wasser 2	5	2	1	3	4
Isopropanol 1	3	1	2	4	5
Isopropanol 2	4	2	1	3	5
Butylacetat 1	4	3	1	2	5
Butylacetat 2	4	2	1	3	5
Xylol 1	4	3	1	2	5
Xylol 2	4	2	1	3	5
NUTZWERT	33	18	9	22	38

Tabelle 7: Ranking der Ergebnisse

Wertung: Braunkohlekoks, Stroh und Holz sind die Materialien, die nach der Auswertung der Ergebnisse am besten abgeschnitten haben.

2.3.3 Praxisnahe Messung der Lösemitteladsorption in einer Luftströmung

Anhand dieses Versuchs sollte erprobt werden, ob und in welchem Maß die Adsorbentmaterialien in der Lage sind – in einem vom „Exsikkatorversuch“ differierenden Ambiente – Lösemittel zu adsorbieren. Da der „Exsikkatorversuch“ nicht der Realität in Beschichtungskabinen entspricht, wurde dieser Versuch unter Bedingungen durchgeführt, die denen einer Lackierkabine ähnlich sind. Das bedeutet, dass die Lösemittel nicht in reiner Form vorliegen, sondern ein Lösemittel-Luftgemisch erzeugt wird, das die Adsorbentmaterialien durchströmt.

Diagramm 19 zeigt den maximalen, nach 24 Stunden aufgenommenen Lösemittelmengen in Milligramm pro Gramm für die Materialien Holz und BKK aus dem „Exsikkatorversuch“. Die Werte machen deutlich, dass Butylacetat am effektivsten adsorbiert wurde. Deshalb wurde in diesem Versuch Butylacetat als Testadsorbtiv verwendet (Stroh wurde nicht mehr als Testmaterial verwendet).

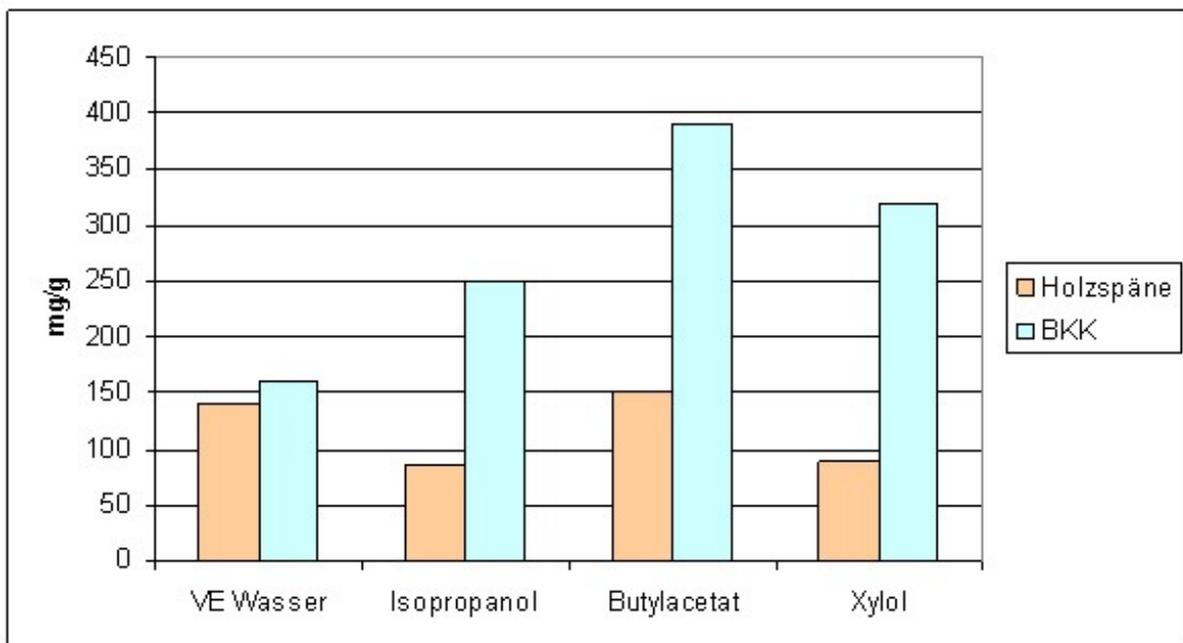


Diagramm 19: Max. relative Gewichtsveränderung von Holz und BKK-Staub im Exsikkatorversuch

2.3.3.1 Versuchsaufbau

Als Versuchsstand wurde eine Abzugsanlage (Abbildung 7) aus dem Oberflächentechnikum des Fraunhofer IPA verwendet, die hinreichende Bedingungen für die Versuchsdurchführung erzeugt. Die Raumluft wurde durch eine Öffnung, deren Größe durch eine mobile Frontscheibe variabel ist, angesaugt und durch einen etwa 60 mm breiten Spalt in der Decke der Abzugsanlage abgeführt. Von dort gelangte die Luft durch ein Abluftrohr ins Freie. Vor den Spalt in der Decke der Abzugsanlage wurde ein Filterelement (Abbildung 8a) positioniert. Die Lösemittel wurden mit einer Lackierpistole gegen ein Prallblech gespritzt, das sich in der Abzugsanlage befand. Ein Teil der zerstäubten Lösemittel ging in die Dampfphase über, wurde von dem Luftvolumenstrom aufgenommen und über den bereits

beschriebenen Weg abgeführt. Der andere Teil wurde praxisgerecht an Prallblech abgeschieden. Das überschüssige Lösemittel wurde in der Auffangwanne gesammelt.



Abbildung 7: Abzugshaube mit Prallblech und Wanne

Als Filter dienten Pads (siehe Abbildung 8b). Sie wurden mit Holzspänen und BKK gefüllt und an einer Filterblende aus Zincor (Zincor ist inert gegenüber Lösemitteln) befestigt.



Abbildung 8a/ b: Eingebautes Filterelement und Filterpad

2.3.3.2 Versuchsdurchführung

Die Filterpads wurden nach dem Befüllen ca. 24 Stunden bei 20 °C in einem mit Silikagel gefüllten Exsikkator konditioniert (Abbildung 9a). Unmittelbar vor der Versuchsdurchführung wurden die Filterpads gewogen, an der Blende befestigt und diese wurde in die Abzugshaube montiert. Nach einer Stunde Verweilzeit in der Abzugshaube – die BKK- bzw. Holzpads hatten mittlerweile die Temperatur des Raumes angenommen begann der Spritzvorgang. Unter Verwendung einer SATA Dekor 2000 Lackierpistole (Abbildung 9b) wurde das reine Butylacetat mit einem Massenstrom von 10 g/min auf das Prallblech gespritzt. Die beladene Luft passierte die Filterpads, die einen Teil der Lösemittel adsorbierten.



Abbildung 9a/9b: Konditionierung der Filterpads im Exsikkator und SATA Lackierpistole

Unmittelbar nach dem Spritzvorgang wurden die Filterpads gewogen, ebenso nach einer, zwei, sechs und 24 Stunden.

Zuvor wurden der Volumenstrom der Abzugsanlage, die Strömungsgeschwindigkeit, die Luftfeuchte sowie die Temperatur gemessen.

Temperatur	$T = 24,4 \text{ °C}$
Luftfeuchte (relativ)	$\phi = 51,2 \text{ %}$
Volumenstrom Luft	$V = 208 \text{ m}^3/\text{h}$
Filterfläche	$A = 198 \text{ cm}^2$

Filteranströmgeschwindigkeit $v = 2,9 \text{ m/s}$

Massenstrom Butylacetat $m = 10 \text{ g/min}$

2.3.3.3 Auswertung der Ergebnisse

Den Erwartungen entsprechend ist die Aufnahmefähigkeit der Adsorbentien nicht so hoch wie im vorherigen „Exsikkatorversuch“. Die Gründe dafür liegen in der hohen Anströmgeschwindigkeit der Luft und der daraus folgenden sehr kurzen Wechselwirkungszeit zwischen Adsorbens und Adsorptiv. Mit ca. $2,9 \text{ m/s}$ ist die Anströmgeschwindigkeit etwa viermal so hoch wie die übliche Anströmgeschwindigkeit in Lackierkabinen. Aus der Anströmgeschwindigkeit am Filter und der Tiefe der Filterpads ergibt sich eine Wechselwirkungszeit von lediglich einigen Millisekunden.

In diesem Versuch wurden durchschnittliche Gewichtszunahmen im Bereich von 15 Milligramm Lösemittel pro Gramm Filter (1,5 Gew %) gemessen (Diagramm 20). Holz- und BKK-Pads unterscheiden sich in den Ergebnissen der Aufnahme nur unwesentlich voneinander.

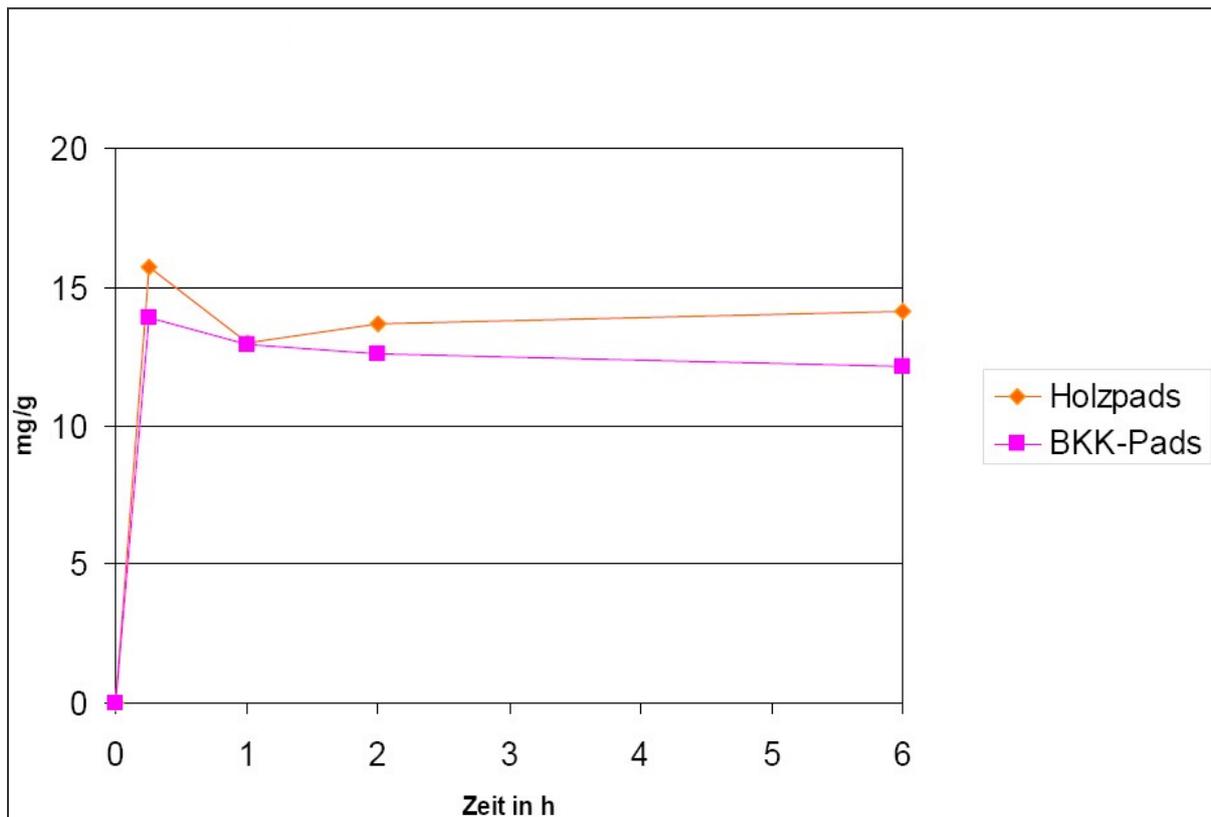


Diagramm 20: Relative Gewichtsveränderung von Holz und BKK-Staub

Die Unterschiede beim Desorptionsverhalten der beiden Adsorbentien sind deutlicher. Die Desorptionsgeschwindigkeit scheint nach den Ergebnissen dieses Versuchs bei Holz größer zu sein als die von

BKK, das die Lösemittel stetig abgibt. Holz desorbiert die Lösemittel relativ schnell und nimmt – durch den erneuten Anstieg der Kurve zu sehen – Wasser aus der Luft auf. Dieses Verhalten deckt sich mit den Ergebnissen des „Exsikkatorversuchs“.

Mit diesem Versuch wurde die Einsatzfähigkeit von Holz und BKK als Filtermaterial bekräftigt.

Arbeitsschritt 2: Entwicklung, Konstruktion u. Umsetzung von Filteranlagen

1 Zusammenfassung und Überblick

In den vorangegangenen Versuchsreihen hatten sich Holzspäne und Braunkohlekoks (BKK) als geeignete Filtermedien erwiesen. Nun galt es herauszufinden, welches dieser Filtermedien die höchste Adsorptionsfähigkeit und das beste Haltevermögen besitzt. Da die Gewichtszunahme der Filtermedien auch aus einem Anteil an aufgenommener Luftfeuchte besteht, wurde alternativ zur Gravimetrie der Anteil an Gesamtkohlenwasserstoffen in der Abluft nach Durchströmung des Filtermediums mittels Flammen-Ionisations-Detektor (FID) gemessen. Die Messwerte deuten darauf hin, dass BKK wesentlich mehr Lösemittel adsorbiert und halten kann als Holzspäne.

Parallel dazu wurde die bestmögliche Adsorptionsfähigkeit anhand folgender Versuchsparameter untersucht:

- Packungsdichte,
- Filterdicke und
- Feuchtigkeit (raumfeucht oder getrocknet) des Filtermediums.

Aufgrund der geringen Druckerhöhung des Labor-Spritzstandventilators konnten diese Versuche nur zum Teil durchgeführt werden. Insbesondere die Versuche mit 10 cm Filterdicke und mit unterschiedlicher Filteranordnung sind in einer Spritzkabine durchzuführen, um zu aussagefähigen Ergebnissen zu gelangen.

Bei dem beabsichtigten Teil-Umluftbetrieb müssen die Arbeitsschutzvorschriften eingehalten werden. Ein wichtiges Kriterium dabei ist die zu erwartende Schadstoffkonzentration und die personenbezogene Schadstoffexposition. Die "Differenzierte Expositionsanalyse (DEA)" bietet ein pragmatisches Berechnungsverfahren, das dahingehend verfeinert und ergänzt wurde, dass der Lackierzyklus eines Arbeitstags berechnet und auf eine reale Spritzkabine übertragen werden kann. Die Ergebnisse der Berechnungen werden anhand eines charakteristischen Lacksystems experimentell verifiziert.

Falls dies gelingt, wäre eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz dieser Filtermedien in der Praxis erfüllt.

2 Beschreibung der Vorgehensweise und Ergebnisse im Detail

2.1 Optimierung der Filtereinheit und Bewertung der Gewichtszunahme

Aufgrund der Untersuchungen und Ergebnisse im Hinblick auf Lösemitteladsorption lag der Fokus bezüglich eines nachwachsenden Filtermediums bei den Holzspänen. Da die Adsorptionsfähigkeit eines Filtermediums mit der Größe seiner Oberfläche zunimmt, wurden die Versuche mit Sägemehl durchgeführt. Zum Vergleich wurden weiterhin Aktivkohle und Braunkohlekoks (BKK) herangezogen.

Um die bestmögliche Adsorptionsfähigkeit von Sägemehl zu finden, wurden folgende Versuchsparameter gewählt:

- unterschiedliche Packungsdichte (lockere Schüttung/ leicht gepresst),
- verschiedene Filterdicke (3 cm/ 10 cm),
- getrocknetes oder raumfeuchtes Sägemehl und grob bzw. fein gemahlen.

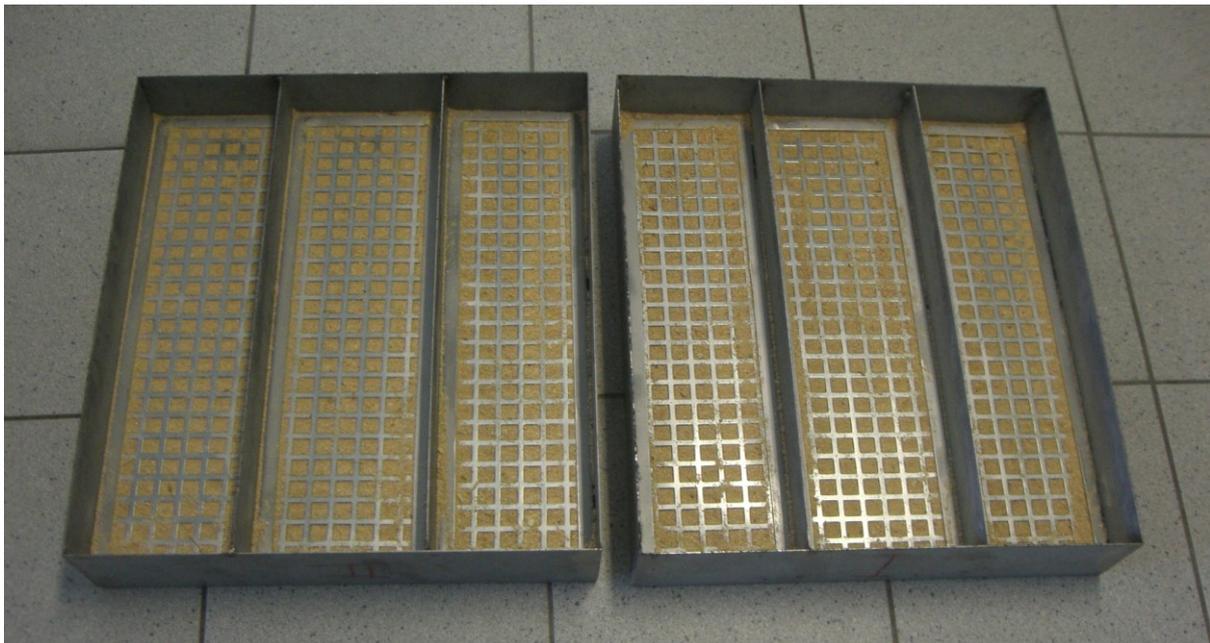


Abbildung 10: Filterkästen bestückt mit trockenem Sägemehl (3 cm/ lockere Schüttung)

Das Sägemehl wurde bei 50 °C getrocknet. Es hatte danach einen Feuchtegehalt von durchschnittlich 5 %. Bei Versuchen mit Sägemehl (3 cm/ leicht gepresst) stellte sich schnell heraus, dass der Luftwiderstand des Filterpakets so hoch war, dass der entstehende Lacknebel nicht abgesaugt werden konnte. Derselbe Effekt trat bei den Versuchen mit 10 cm Filterdicken (10 cm/ lockere Schüttung) auf. Somit können an dem Spritzstand nur Versuche mit Filterdicken von 3 cm und einer lockeren Schüttung durchgeführt werden. Versuche mit 10 cm Filterdicke sind also vorzugsweise in einer Spritzkabine durchzuführen.

Beim Versuch mit getrocknetem Sägemehl (3 cm/ lockere Schüttung) wurde eine Gewichtszunahme beider Filterkästen von zusammen 122,8 g bei einer verspritzten Lösemittelmasse von 178,83 g gemessen. Danach wurden die Filterkästen mit getrocknetem Sägemehl(3 cm/lockere Schüttung) nur mit Luft durchströmt und eine Gewichtszunahme von 87,3 g gemessen. Also ist davon auszugehen, dass von den 178,83 g Lösemittel lediglich 35,5 g adsorbiert wurden, der Rest war von der angesaugten Luft aufgenommene Feuchtigkeit. Bei Versuchen mit raumfeuchtem Sägemehl wurden erwartungsgemäß geringere Gewichtszunahmen festgestellt. Da das Sägemehl vor Beginn des Versuches schon die Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft hatte, musste die Gewichtszunahme ausschließlich durch das adsorbierte Lösemittel verursacht worden sein. Bei 138,2 g verspritztem Lösemittel wurde eine Massendifferenz der Filterkästen von 20,5 g festgestellt.

Es ist zusätzlich bei allen Versuchen zu beachten, dass neben aufgenommener Luftfeuchtigkeit und adsorbiertem Lösemittel auch ein kleiner Anteil Lackpartikel (1-3 %), die nicht durch die beiden Partikelfiltermatten abgeschieden werden, zur Gewichtszunahme beitragen.

Im Vergleich dazu wurde der trockene Braunkohlekoks (BKK) untersucht. Ein Versuch (3 cm/ lockere Schüttung) führte bei einer verspritzten Lösemittelmasse von 176 g zu einer Gewichtszunahme beider Filterkästen von 192,2 g. Diese große Gewichtszunahme enthält auch wieder aufgenommene Luftfeuchte und nicht abgeschiedene Lackpartikel. Versuche mit trockenem BKK, der nur mit Luft durchströmt wird, stehen noch aus. Es ist zu erwarten, dass der größte Anteil der Gewichtszunahme durch die aufgenommene Luftfeuchtigkeit zustande kam. Dies bestätigen Versuche mit raumfeuchtem BKK. So ergab beispielsweise ein Versuch eine Gewichtszunahme von lediglich 25,6 g bei 176,2 g verspritzten Lösemitteln. Versuche mit Aktivkohle zeigten Adsorptionswirkungen im gleichen Bereich wie bei BKK. Auch hier stehen noch weitere Versuche an.

In den vorangegangenen Untersuchungen wurde zur Bestimmung der inneren Oberfläche eine BET-Analyse durchgeführt. Holzspäne besitzen eine innere Oberfläche von 0,51 m²/g, während Braunkohlekoks (BKK) eine innere Oberfläche von 297 m²/g aufweist. Daraus ist zu wiederum zu schließen, dass die Adsorptionsfähigkeit von Sägemehl vom Grad der Feinheit abhängt.

2.2 Messung der Filterwirksamkeit mittels Flammen-Ionisationsdetektor (FID) und Vergleich des Adsorptions- und Haltevermögens von Holzspänen/ Sägemehl und von BKK

Die Wirksamkeit eines Filtermediums lässt sich auch aus dem Anteil an Gesamtkohlenwasserstoffen in der Abluft nach Durchströmen des Filtermediums bestimmen. Dieser wurde mittels Flammen-Ionisations-Detektor (FID) gemessen. (Abbildung 11)



Abbildung 11: Flammen-Ionisations-Detektor

Abbildung 12 zeigt den gesamten Versuchsaufbau mit den verwendeten Messgeräten.

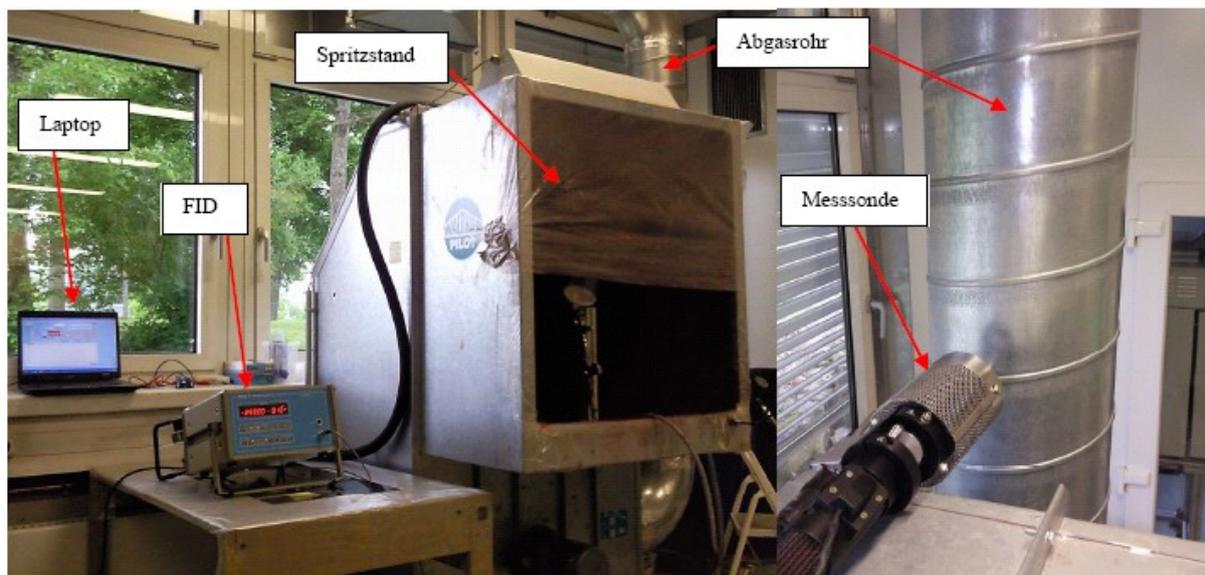


Abbildung 12: Versuchsaufbau

Zur Einführung in diese Meßmethode wurde reines Lösemittel (Aceton) über einen bestimmten Zeitraum mit konstantem Volumenstrom verspritzt. Die Messung der Gesamtkohlenstoffkonzentration sowie der Konzentration an Aceton nach den Filterkästen im Abluftrohr erfolgt mit Hilfe des „Gesamt-Kohlenwasserstoff Analysator RS53-T“ der Firma Ratfish. Über einen an den FID angeschlossenen Laptop können die gewonnenen Meßergebnisse direkt ausgelesen werden. Hierbei ist es möglich, die aktuelle Schadstoffkonzentration sowohl in mg/Nm^3 als auch in mg Meßstoff/ m^3 anzeigen zu lassen. Diese Normbedingungen beziehen sich jedoch auf feuchtes Abgas. Die Meßwerte für Temperatur und Volumenstrom wurden hierbei als konstante Werte in das Programm eingegeben.

Insgesamt wurden acht Versuche gefahren, davon zwei ohne Filter, zwei mit einer 3 cm dicken Schicht aus Sägemehl sowie zwei Durchläufe mit einer ebenfalls 3 cm dicken Schicht aus Braunkohlekoks bzw. Aktivkohle. Die Randbedingungen können Tabelle 8 entnommen werden.

Die berechneten Messwerte wurden im Anschluss auf einen einheitlichen Volumenstrom von 1.000 m³/h umgerechnet.

Letztendlich wurden die 5 Versuchsdurchläufe in den Diagrammen 21 und 22 (mg Aceton/m³ sowie mg C/Nm³) gegenübergestellt. Die beiden blauen Kurven zeigen den Lösemittelgehalt „ohne Filter“. Bei Einsatz von Sägemehl wird sehr schnell die maximale Adsorptionsmenge erreicht, die nach Sprühende fast ebenso schnell wieder abgegeben wird. BKK und AK adsorbieren zu Anfang die maximale Lösemittelmenge, die dann kontinuierlich bis zum Beharrungszustand abnimmt. Nach Sprühende geht die Lösemittelkonzentration langsamer zurück.

Obwohl mit einer überdurchschnittlich großen Lösemittelmenge innerhalb kürzester Zeit gesprüht wurde, lässt sich daraus ableiten, dass Sägemehl wesentlich weniger Lösemittel adsorbiert und halten kann als Braunkohlekoks oder Aktivkohle.

	2010_05_05_Versuch_ohneFilter_Aceton	2010_05_06_Versuch_ohneFilter_Aceton	2010_05_05_Versuch_Sägemehl_Aceton	2010_05_06_Versuch_Sägemehl_Aceton	2010_05_06_Versuch_BKK_Aceton	2010_05_12_Versuch_BKK_Aceton	2010_05_17_Versuch_AK_Aceton	2010_05_18_Versuch_AK_Aceton
Masse Aceton (g)	254,6	336,9	291,2	322,5	350,9	350,6	349,7	350,8
Sprühzeit (s)	280	400	300	360	350	590	409	230
Strömungsgeschwindigkeit (m/s)	4,7	4,8	1,5	1,7	2,8	2,9	3,5	3,5
Rohrdurchmesser (m)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Volumenstrom, berechnet (m ³ /h)	830	847	265	300	494	539	615	619
Temperatur (°C)	23	22	23	22	22	21	23	21
relative Feuchte (%)	35,3	39,2	35,3	39,2	39,2	45,6	39,7	36,4
Messintervall (s)	1	1	1	1	1	1	1	1
Dicke Filter (cm)	-	-	3	3	3	3	3	3
Massenstrom Aceton (g/s)	0,91	0,84	0,97	0,90	1,00	0,59	0,86	1,53
Massenstrom Aceton (g/min)	54,56	50,54	58,24	53,75	60,15	35,65	51,30	91,51
Massenstrom Aceton (g/h)	3273,43	3032,10	3494,40	3225,00	3609,26	2139,25	3078,04	5490,78

Tabelle 8: Randbedingungen bei der Emissionsmessung mittels FID

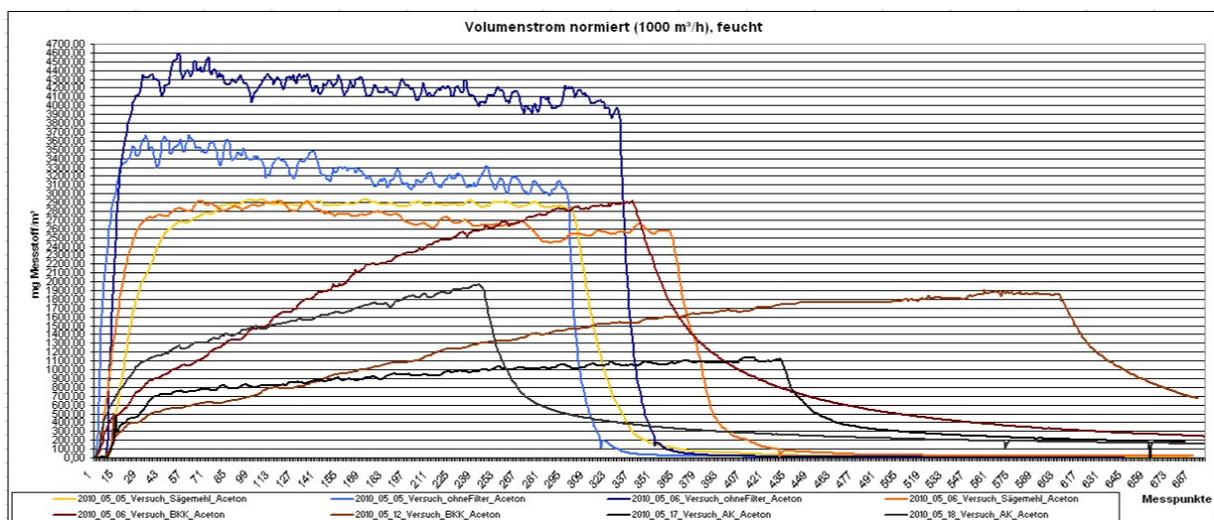


Diagramm 21: Konzentration Aceton bei einem Volumenstrom von 1.000 m³/Std. in mg C/ Nm³

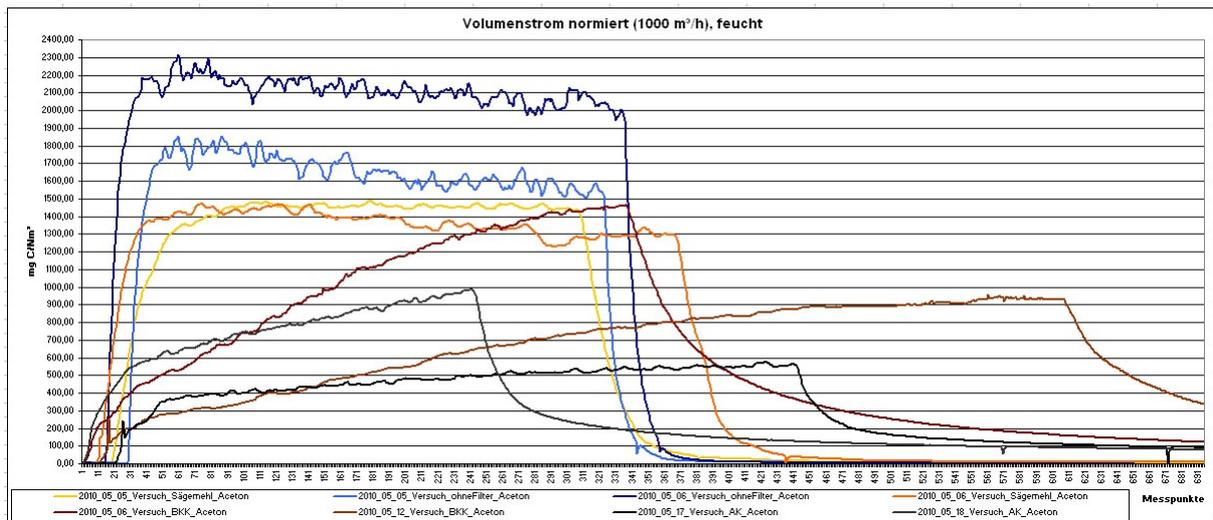


Diagramm 22: Konzentration Gesamt-Kohlenstoff bei einem Volumenstrom von 1.000 m³/Std. in mg C/ Nm³

2.3 Differenzierte Expositionsanalyse (DEA)

Das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz (BIA) und die Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) haben ein pragmatisches Berechnungsverfahren entwickelt, um Schadstoffkonzentrationen und personenbezogene Expositionen praxisnah zu berechnen.

Ergänzend zu den Emissionsmessungen am Spritzstand findet die „Differenzierte Expositionsanalyse“ Anwendung. Damit ist es möglich, die Schadstoffexpositionen des Versuchsaufbaus auf reale Spritzkabinen zu übertragen.

Auf der Grundlage der Hauptformel der DEA wurde eine Excel-Datei erstellt, in welcher ein kompletter Arbeitstag mit vier vollständigen Lackierdurchgängen simuliert werden kann. Hierbei können drei verschiedene Szenarien (Umluft-Anteil) gleichzeitig betrachtet werden, bzw. bis zu drei verschiedene Lackbestandteile (Lösemittel) auf einmal.

Für diese Berechnungen gelten folgende idealisierte Annahmen:

- Der Schadstoffmassenstrom und der Frischluftvolumenstrom sind zeitlich, d.h. während des Berechnungsabschnittes konstant. In diesem Fall bezieht sich ein Berechnungsabschnitt auf einen Zeitraum von 5 min.
- Die Schadstoffkonzentration ist im Bilanzraum homogen und die einzige zeitabhängige Variable.
- Es befinden sich keine weiteren Quellen und Senken des Schadstoffes im Raum.

Annahmen, die für die Erstellung der Excel-Datei getroffen wurden:

- Ein Berechnungsabschnitt dauert 5 min.

- Innerhalb eines Arbeitstages werden vier komplette Lackierdurchgänge gefahren. Ein kompletter Lackierdurchgang beinhaltet die Vorbereitung, zweifaches Applizieren von Basislack sowie einfaches Applizieren von Klarlack, Trocknen sowie Abkühlen.
- Die Vorbereitungszeit in der Kabine beträgt 15min
- Die Gesamtmenge an Basislack wird zu zwei gleichen Teilen innerhalb von je 10 min versprüht. Nach dem ersten Sprühvorgang erfolgt eine Zwischenablüftung von 5 min, danach der zweite Sprühvorgang, gefolgt von 25 min Ablüften.
- Die Menge an Klarlack wird innerhalb von 10 min appliziert, gefolgt von 10 min Ablüften.
- Der Trocknungsvorgang dauert 30 min.
- Die Abkühlphase beträgt 10 min.

Die nachfolgende Tabelle 9 zeigt die Eingabemöglichkeiten, die zur Berechnung eines kompletten Arbeitstages vorhanden sind.

Dateneingabe in den Grünen Feldern möglich. Graue Felder werden automatisch berechnet!

Exposition 1 - Legendenbezeichnung			Laboranlage	
Umluft Lackieren (%)	10%		Lackmenge Basislack (Gesamtmenge für 2x applizieren) (g)	400
Umluft Trocknen (%)	90%		Lackmenge Klarlack (g)	500
Luftgeschwindigkeit während des Spritzvorgangs/Abdunstzeit (m/s)	0,28		Lösemittelanteil/Schadstoffanteil Basislack (%)	55%
Luftgeschwindigkeit während der Trocknungs-/Vorbereitungs-/Abkühlzeit (m/s)	0,20		Lösemittelanteil/Schadstoffanteil Klarlack (%)	65%
Höhe Lackierkabine (m)	3,00		Verhältnis Lösemittelexposition	
Fläche Lackierkabine (Länge x Breite) (m)	7,00	4,00	Auftragswirkungsgrad (wieviel % Lösemittel geht auf das Bauteil)	50%
Fläche für Luftaustausch (Länge x Breite) (m)	7,00	3,50	Anteil Lösemittelexposition während des Abdunstens im Verhältnis zum Auftragswirkungsgrad	90%
Volumen Lackierkabine (m³)	84,00		Lösemittelexposition während des Applizierens	50%
Volumenstrom der Frischluft - Spritzvorgang, Abdunstphase (m³/s)	6,86		Anteil an Lösemittelexposition während des Abdunstens	45%
Volumenstrom der Frischluft - Trocknung (m³/s)	4,90		Anteil Lösemittelexposition während des Trocknens	5%
Luftwechselrate - Spritzvorgang, Abdunstphase (1/s)	0,08		Abscheidegrad Filter (%)	0%
Luftwechselrate Trocknung (1/s)	0,06			

Exposition 2 - Legendenbezeichnung			Umluftbetrieb 0%	
Umluft Lackieren (%)	50%		Lackmenge Basislack (g)	400
Umluft Trocknen (%)	90%		Lackmenge Klarlack (g)	500
Luftgeschwindigkeit während des Spritzvorgangs/Abdunstzeit (m/s)	0,28		Lösemittelanteil/Schadstoffanteil Basislack (%)	55%
Luftgeschwindigkeit während der Trocknungs-/Vorbereitungs-/Abkühlzeit (m/s)	0,20		Lösemittelanteil/Schadstoffanteil Klarlack (%)	65%
Höhe Lackierkabine (m)	3,00		Verhältnis Lösemittelexposition	
Fläche Lackierkabine (Länge x Breite) (m)	7,00	4,00	Auftragswirkungsgrad (wieviel % Lösemittel geht auf das Bauteil)	50%
Fläche für Luftaustausch (Länge x Breite) (m)	7,00	3,50	Anteil Lösemittelexposition während des Abdunstens im Verhältnis zum Auftragswirkungsgrad	90%
Volumen Lackierkabine (m³)	84,00		Lösemittelexposition während des Applizierens	50%
Volumenstrom der Frischluft - Spritzvorgang, Abdunstphase (m³/s)	6,86		Anteil an Lösemittelexposition während des Abdunstens	45%
Volumenstrom der Frischluft - Trocknung (m³/s)	4,90		Anteil Lösemittelexposition während des Trocknens	5%
Luftwechselrate - Spritzvorgang, Abdunstphase (1/s)	0,08		Abscheidegrad Filter (%)	0%
Luftwechselrate Trocknung (1/s)	0,06			

Exposition 3 - Legendenbezeichnung			Umluftbetrieb 10%	
Umluft Lackieren (%)	90%		Lackmenge Basislack (g)	400
Umluft Trocknen (%)	90%		Lackmenge Klarlack (g)	500
Luftgeschwindigkeit während des Spritzvorgangs/Abdunstzeit (m/s)	0,28		Lösemittelanteil/Schadstoffanteil Basislack (%)	55%
Luftgeschwindigkeit während der Trocknungs-/Vorbereitungs-/Abkühlzeit (m/s)	0,20		Lösemittelanteil/Schadstoffanteil Klarlack (%)	65%
Höhe Lackierkabine (m)	3,00		Verhältnis Lösemittelexposition	
Fläche Lackierkabine (Länge x Breite) (m)	7,00	4,00	Auftragswirkungsgrad (wieviel % Lösemittel geht auf das Bauteil)	50%
Fläche für Luftaustausch (Länge x Breite) (m)	7,00	3,50	Anteil Lösemittelexposition während des Abdunstens im Verhältnis zum Auftragswirkungsgrad	90%
Volumen Lackierkabine (m³)	84,00		Lösemittelexposition während des Applizierens	50%
Volumenstrom der Frischluft - Spritzvorgang, Abdunstphase (m³/s)	6,86		Anteil an Lösemittelexposition während des Abdunstens	45%
Volumenstrom der Frischluft - Trocknung (m³/s)	4,90		Anteil Lösemittelexposition während des Trocknens	5%
Luftwechselrate - Spritzvorgang, Abdunstphase (1/s)	0,08		Abscheidegrad Filter (%)	0%
Luftwechselrate Trocknung (1/s)	0,06			

Tabelle 9: Eingabemöglichkeiten bei der differenzierten Expositionsanalyse

Als Ergebnis der DEA kann in Diagramm 23 der Verlauf der aktuellen Schadstoffkonzentration in der Spritzkabine (in mg/ m³) berechnet werden. Mit diesen Daten kann die zu adsorbierende Lösemittelmenge bestimmt werden, die zur Einhaltung der MAK-Werte erforderlich ist.

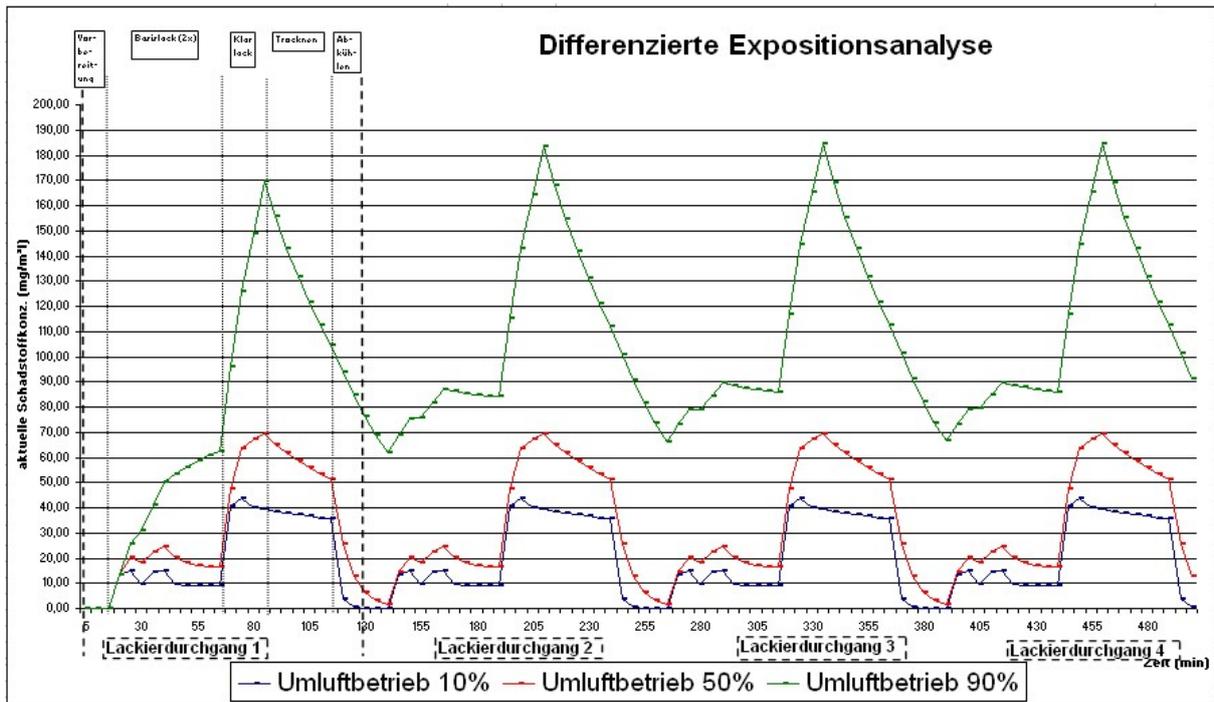


Diagramm 23: Darstellung dreier identischer Arbeitstage bei verschiedenem Umluftbetrieb

Aufbauend aus den vorangegangenen Ergebnissen wurde eine komplett neue Excel-Arbeitsmappe mit Makro-Programmierungen erstellt. Über das in Abbildung 13 abgebildete Eingabeformular können nun sämtliche Werte ohne Umstände eingegeben und gespeichert werden.

Abbildung 13: Dateieingabeformular zur Differenzierten Expositionsanalyse (DEA)

Nach wie vor können drei verschiedene Zustände auf einmal simuliert werden, diesmal jedoch beschränkt auf einen kompletten Lackierdurchgang. Hierbei ist es nun jedoch möglich, die Zeiten der

verschiedenen Arbeitsabschnitte variabel einzustellen bzw. komplett zu deaktivieren. Weiterhin beträgt die Dauer eines Berechnungsabschnittes nun eine Sekunde, um noch genauere Vorhersagen treffen zu können. Ein Beispiel für einen Gegenüberstellung dreier Umluftsznarien wird in Diagramm 24 wiedergegeben.

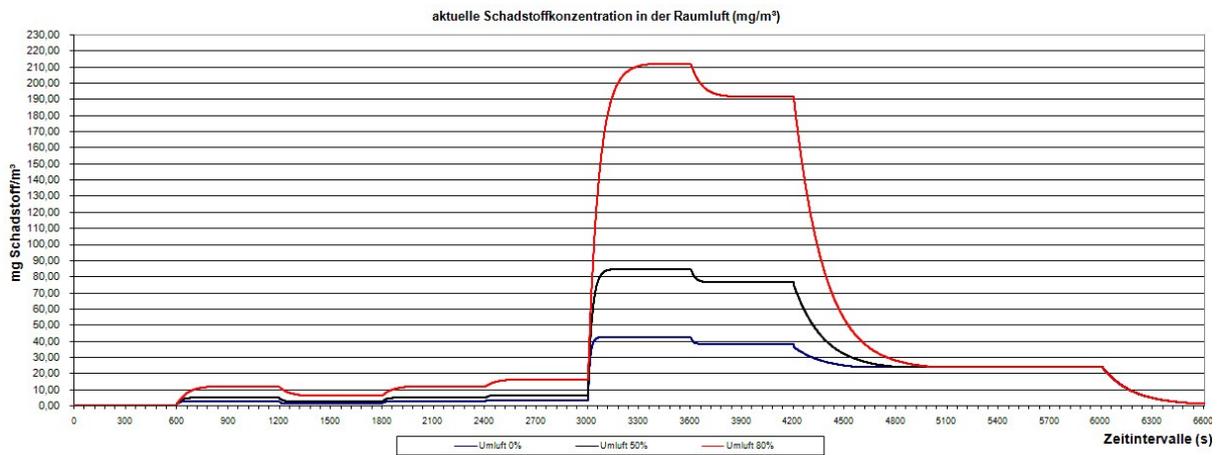


Diagramm 24: Darstellung dreier Lackierdurchgänge bei verschiedenen Umluftsznarien

Ist ein solches Szenario erstellt, so können die eingegebenen Daten sowie die erstellten Diagramme ohne Umstände in eine neue Excel-Datei exportiert werden und individuell bearbeitet bzw. gedruckt werden. Ein entsprechendes Muster-Datenblatt ist nachfolgender Tabelle 10 zu entnehmen.

Name des Graphen			
Daten Lackierkabine			
Höhe Lackierkabine (m)			
Länge Lackierkabine (m)			
Breite Lackierkabine (m)			
Volumen Lackierkabine (m³)			
Fläche für Luftaustausch - Länge (m)			
Fläche für Luftaustausch - Breite (m)			
Fläche für Luftaustausch (m²)			
Strömungsgeschwindigkeit - Applizieren (m/s)			
Strömungsgeschwindigkeit - Trocknen (m/s)			
Volumenstrom Frischluft - Applizieren (m³/s)			
Volumenstrom Frischluft - Trocknen (m³/s)			
Luftwechselrate - Applizieren (1/s)			
Luftwechselrate - Trocknen (1/s)			
Umluftbetrieb - Lackieren (%)			
Umluftbetrieb - Trocknen (%)			
Randbedingungen			
Auftragungswirkungsgrad (%)			
Lösemittelexposition Applizieren (%)			
Lösemittelexposition Ablüften (%)			
Lösemittelexposition Trocknen (%)			
Zeitintervall Berechnung (s)			
Bezugsgröße Volumenstrom (m³/s)			
Lackierdurchgang			
Vorbereitung	Zeitintervall Vorbereitung (s)		
Basislack 1	Lackierzeit (s)		
	Lackmenge (g)		
	Lösemittelanteil (%)		
Zwischenablüften Basislack	Zeitintervall Zwischenablüften (s)		
Basislack 2	Lackierzeit (s)		
	Lackmenge (g)		
	Lösemittelanteil (%)		
Endablüften Basislack	Zeitintervall Endablüften (s)		
Klarlack	Lackierzeit (s)		
	Lackmenge (g)		
	Lösemittelanteil (%)		
Endablüften Klarlack	Zeitintervall Endablüften (s)		
Trocknen	Zeitintervall Trocknen (s)		
Abkühlen	Zeitintervall Abkühlen (s)		

Tabelle 10: Musterdatenblatt der Exportfunktion des Programms

Diskussion der Ergebnisse

„Die nach dem Stand der Technik bestehenden Sensortechniken für Lösemittel- und Geruchsstoffkonzentrationen sind sehr aufwändig und werden in KMU-Betrieben bisher nicht eingesetzt. Der Einsatz dieser Systeme ist Analysen- und Prüflabors, die solche Untersuchungen als Dienstleistung anbieten, vorenthalten, d.h. eine Produktionsüberwachung erfolgt nicht.

In Anlehnung an die genannten AIF-Projekte [20][21] sollen im Vorhaben vereinfachte Sensortechniken, bei denen eine Produktionsüberwachung auch in KMU-Betrieben erwartet wird, untersucht und zur Umsetzung vorbereitet werden. Nach dem bisherigen Kenntnisstand kann die Umsetzbarkeit dieser Sensortechniken in Spritzlackieranlagen (bei Tauchlackieranlagen sind sie z.T. schon im Einsatz) noch nicht gewährleistet werden.“ – Auszug aus den technischen und wirtschaftlichen Projektrisiken des Projektantrages zu diesem Projekt.

Leider haben sich die ganz zu Beginn des Projektes bereits aufgezeigten technischen Projektrisiken bewahrheitet. Im Endeffekt ist es im Rahmen der Projektdurchführung gelungen, natürliche, preisgünstig verfügbare sowie abbaubare Filtermaterialien zu identifizieren. Im weiteren Verlauf konnten, im Vorgriff auf Projektphase 3 bereits Laborversuche im Technikum durchgeführt werden. Diese haben die Eigenschaftsnachweise für das per Nutzwertanalyse definierte Filtermaterial erbracht und stehen bereit für eine Übertragung der Versuchsbedingungen auf eine praxisnahe Erprobung.

Hierfür zwingend erforderlich ist der Einsatz der eingangs beschriebenen Sensortechnik zur Messung und Bewertung der Funktions- und Prozesssicherheit der Filtration in der Praxis., eine theoretische Bewertung / Simulation anhand der durchgeführten differenzierten Expositionsanalyse (DEA) ist im Rahmen der Projektphase 2 mit guten Resultaten durchgeführt worden. Nach intensiver Beratung mit dem Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung stehen die Ergebnisse aus den o.a. AIF-Projekten nicht zur Verfügung und werden auch in Zukunft keine geeignete Unterstützung bieten. Das Augenmerk gilt insofern von neuem einer intensiven Technologiebeobachtung und der Identifikation geeigneter und vor allem bezahlbarer Technologien zur prozesssicheren Überwachung der Filtrationsleistung.

Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung

Ökologisch betrachtet konnte mit dem vorläufigen Eignungsnachweis von BKK-Staub ein sinnvolles Filtermedium identifiziert werden. Im Gegensatz zu wesentlich teureren, künstlich und mit großem Aufwand technisch veredelten Materialien steht BKK als natürliches Abfallprodukt nachhaltig zur Verfügung. Aufgrund des relativ hohen Heizwertes von BKK-Filtern können diese auch bei der Entsorgung innovativen Konzepten zugeführt werden, so ist durchaus denkbar, dass bei entsprechenden Anlagen mittels BKK-Material Blockkraftwerke betrieben werden könnten, die ihrerseits wiederum die Basisenergie zum Betrieb der Anlagentechnik liefern könnte.

Aus technologischer Sicht ist das Projekt aufgrund der Verknüpfung mit der messtechnischen, „bezahlbaren“ Sensorik gescheitert. Der beabsichtigte, flächendeckende Einsatz ist nur dann realisierbar, wenn der Einsatz von teuren Labortechniken substituiert werden kann.

Die technische Realisierung der Filtration aus Sicht der Anlagentechnik scheint keine technischen Risiken aufzuzeigen. Hier kann beispielsweise über Filterpatronen oder technisch anzupassende Filterpad-Konzepte nachgedacht werden, wobei sich die Filterpad-Konzeption insbesondere auch im Hinblick auf die Entsorgung der Materialien eignen würde.

Andererseits konnte in Anlehnung an die Durchführung dieses Projektes auch eine sehr wichtige Initiative zur Neukonzeption zukünftiger Filterkonzepte zur Lack-Overspray-Abscheidung angestoßen werden. Hintergrund hierbei ist der ungenügende Wirkungsgrad bestehender Filtermedien bei neu entwickelten Lacksystemen. Auch diese Diskussion wird gemeinsam mit unseren Kooperationspartnern weitergeführt.

Wirtschaftlich betrachtet stellt das identifizierte Filtermaterial eine interessante Alternative zu wesentlich teureren, künstlich veredelten Substanzen dar. Für eine vollständige ökonomische Bewertung muss jedoch auch der technische Umsetzungsaufwand und die voraussichtlichen Entsorgungskosten berücksichtigt werden. Dies ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich.

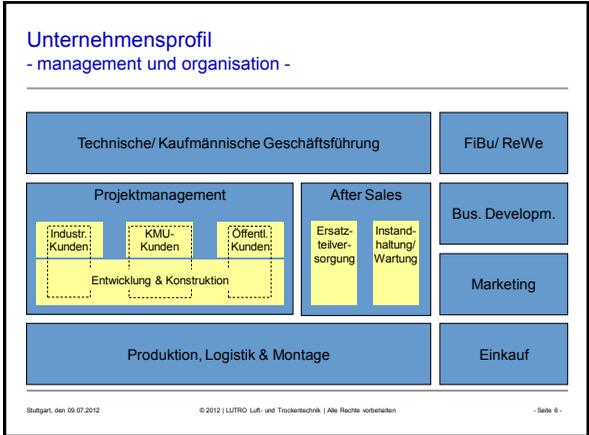
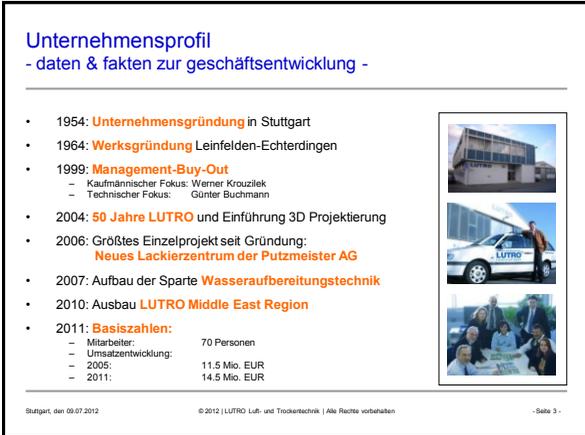
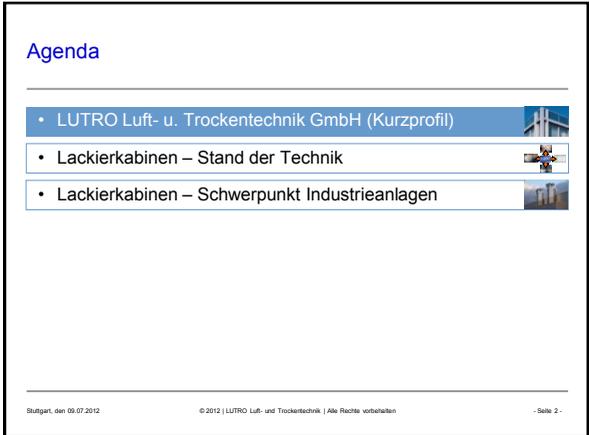
Fazit

In der Gesamtbewertung des Projektes ist festzuhalten, dass die Projektdurchführung anhand technischer Rahmenbedingungen gescheitert ist, die bereits bei der Anbahnung als mögliche Projektrisiken berücksichtigt wurden. Die Weiterführung des Projektes ist grundsätzlich auch weiterhin möglich hängt aber von einer Substitutionstechnologie für die vorgeplante Sensortechnik ab. Wann derartige Produkte verfügbar sind, ist derzeit jedoch nicht bzw. nur schwer abschätzbar.

Seitens LUTRO werden wir dieses Thema jedoch im Auge behalten und bei Verfügbarkeit die interne Weiterführung des Projektes prüfen. Eine Information und Abstimmung mit dem DBU ist hierbei vorgesehen.

Anhang

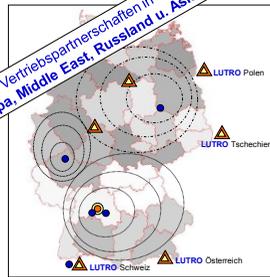
1 Unternehmenspräsentation



Unternehmensprofil - service- und vertriebsorganisation -

- Flächendeckend ausgerichtete Vertriebs- und Service-Organisation in Deutschland und Mitteleuropa:

- LUTRO-Stammsitz in Stuttgart inkl. weltweit agierender Vertriebs-Serviceorganisation
- Vertriebsstützpunkte/-partner
- Service-Stützpunkt
- Wirkungsbereich



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 7 -

Unternehmensprofil - lutro services: individuelle dienstleistungskonzepte -

- Die LUTRO-Serviceorganisation unterstützt rund um die Uhr, weltweit.**
 - Kundendiensttermine schnell „online“ anfragen.
 - Integration von Teleservices mit Möglichkeiten zur Ferndiagnose Ihrer Anlage.
 - 24 h-Hotline: Im Bedarfsfall – kompetente Beratung und Betreuung rund um die Uhr.
- Individuelle Wartung und Kundendienst:**
 - Preiswerte und maßgeschneiderte Wartungskonzepte als Garant für hohe Anlagenverfügbarkeit und Amortisation Ihrer Investition.
- Ersatzteilversorgung:**
 - Anfrage, Beratung und Bestellung auf Wunsch auch „online“ im Internet.
 - Günstiger Filterdienst mit „just-in-time“-Option
 - Permanente Bevorratung wichtiger Ersatz- und Verschleißteile.



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 8 -

Unternehmensprofil - besondere referenzen -



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 9 -

Unternehmensprofil - lutro in den medien -

- Regelmäßige Veröffentlichungen in folgenden Fachmedien:

- Besser lackieren
- Lackiererblick
- FML*
- JOT*
- Metalloberfläche
- VSCI Carrossier



- Aktuelle Auszüge im Internet www.lutro.de („presseforum“)

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 10 -

Unternehmensprofil - referenzen und aktuelle informationen im internet -



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 11 -

Agenda

- LUTRO Luft- u. Trockentechnik GmbH (Kurzprofil)
- Lackier- und Trockenkabinen
 - Allgemeine Anforderungen
 - Stand der Technik
- Lackierkabinen – Schwerpunkt Industrieanlagen

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 12 -

Lackierkabinen und Trockenkabinen - allgemeine anforderungen -

- Was haben Lackieranlagen heute zu leisten?
 - Höchste Anforderungen an die Qualität der Lackierung sind zu erfüllen!
 - Ständig wechselnde Prozesse und steigender Zeitdruck!
 - Höchste Verfügbarkeit und geringer Energieverbrauch!
 - Die strengen Arbeitsschutzanforderungen sind einzuhalten!
 - Die Vorschriften zum Schutz der Umwelt sind einzuhalten!



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 13 -

Lackierkabinen und Trockenkabinen - allgemeine planungsgrundlagen -

- Lackieranlagen und Trockner müssen in ihrer Konstruktion und Funktion den derzeit gültigen, europäischen Normen und Sicherheitsanforderungen entsprechen. Dies sind:
 - EN 12 215: Beschichtungsanlagen – Spritzkabinen für flüssige organische Beschichtungstoffe
 - EN 13 355: Beschichtungsanlagen – kombinierte Spritz- und Trocknungskabinen
 - EN 1539: Trockner und Öfen (Sicherheitsanforderungen)



Aktuell befassen sich mehrere Arbeitskreise des VDMA, des CEN und der BG mit der Neufassung/Überarbeitung des bestehenden Normengerüstes (bspw. BG AK Lackvorbereitung, EN 1539 / 12215 / 13355, VDMA 24378)!

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 14 -

Agenda

- LUTRO Luft- u. Trockentechnik GmbH (Kurzprofil) 
- Lackier- und Trockenkabinen 
 - Allgemeine Anforderungen
 - Stand der Technik
- Lackierkabinen – Schwerpunkt Industrieanlagen 

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 15 -

Lackierkabinen – Stand der Technik - standardisierte; variabel definierbare kabinenbauweise -



- Industriefaltore in Stahlausführung (großflächige Isolierverglasung, bis 180° öffnend)
- Wahlmöglichkeit: Kabinenisolierung alternativ in PUR (B1) oder Mineralwolle (A2)

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 16 -

Lackierkabinen – Stand der Technik - sektional- und rolltor-kombinationen -



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 17 -

Lackierkabinen – Stand der Technik - industrielle schiebetore (z.b. für hochtemperaturöfen) -



Stuttgart, den 09.07.2012

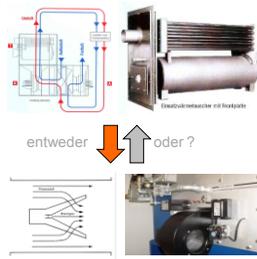
© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 18 -

Lackierkabinen - Stand der Technik

- beheizungssysteme: rahmenbedingungen für den einatz -

- Die sicherheitstechnische Ausrüstung sowie die Zuluftqualität für die Beheizung von Arbeitsräumen ist in **EN 525** geregelt.
- Vorgabe von verbindlichen Grenzwerten für die Verbrennungsprodukte, die in der Zuluft enthalten sind.
- Die sicherheitstechnische Ausrüstung, z.B. Gasarmaturenstrecke, entspricht **EN 746-2**, ist geprüft und zertifiziert.
- Grenzwertvorgaben werden deutlich unterschritten, dies bestätigen Prüfberichte von Behörden und Instituten.



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 19 -

Lackierkabinen - Stand der Technik

- filter- und beleuchtungstechnik -



- Optionen: Decken-/Seitenwand-/Grubenbeleuchtung
- Leuchtmittel-/Lichtqualität beachten!
- Leuchten: Schutzart!
- Filterdecke: Technische Ausführung!

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 20 -

Lackierkabinen – Stand der Technik

- filterdecke mit kranklappe -



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 21 -

Lackierkabinen - Stand der Technik

- aggregatetechnik (merke: immer wenn's eng wird - LUTRO) -



- Kompaktaggregat/ div. Sonderaggregate und Anordnungen
- Ausführungen mit und ohne Isolation
- Direktangetriebene Industrieventilatoren
- Elektrische/ pneumatische Umschaltung

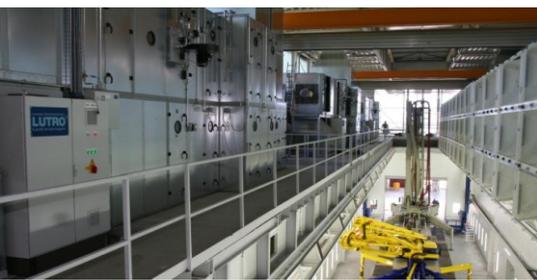
Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 22 -

Lackierkabinen – Stand der Technik

- aggregatetechnik (hier: sonderaggregate 52' m³/h) -



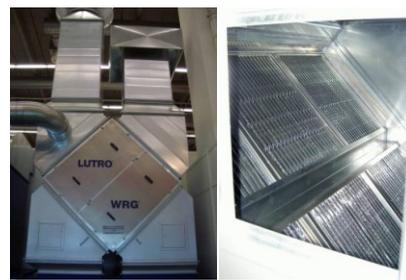
Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 23 -

Lackierkabinen – Stand der Technik

- wärmerückgewinnungssysteme -



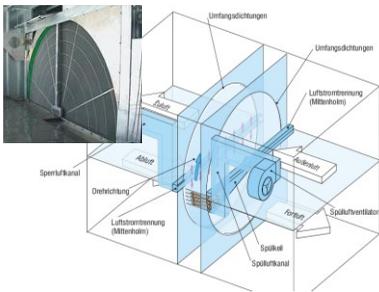
- Einsatz von Kreuzstromplattenwärmtauschern mit großer Tauscherfläche (eff. Wirkungsgrad ca. 45% - 50%)
- Schottblechkanäle für den Wartungs-/ Sommerbetrieb
- Sonderkonstruktion mit verbesserten Wartungs- und Reinigungseigenschaften!

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 24 -

Lackierkabinen – Stand der Technik
- wärmerückgewinnungssysteme -



- Alternative für Industrieanlagen: Rotationswärmetauscher mit erhöhtem Wirkungsgrad von ca. 65%-70%
- Ausführungsstandard mit Vorfilter, Vereisungsschutz und automatischer Abreinigung

Lackierkabinen – Stand der Technik
- was leisten wärmerückgewinnungssysteme? -

Energiesparmaßnahmen bei Reparaturlackieranlagen

- Wärmerückgewinnung (WRG)
- Luftmengenregelung über frequenzgesteuerte Ventilatoren (FU)
- Direkte Beheizung mittels Gasflammenbrenner (GFB)

Gesamteinsparung: ~ 50 %

Reduzierung der CO₂-Emission: ~ 40 t/a (berechnet für eine PKW-Reparaturlackieranlage, 1-schichtig betrieben)

Quelle: Fraunhofer IPA

Lackierkabinen – Stand der Technik
- einsatz neuer trocknungstypen: beispiel infrarottrocknung -



Lackierkabinen – Stand der Technik
- fördertechnik (unterflurförderanlage) -



Lackierkabinen – Stand der Technik
- fördertechnik (hängefördersysteme) -



Lackierkabinen – Stand der Technik
- pneumatisch betriebene arbeitsbühnen -



Lackierkabinen – Stand der Technik
- bedarfsgerechte sonderarbeitsbühnen -



Stuttgart, den 09.07.2012 © 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten - Seite 31 -

Lackierkabinen – Stand der Technik
- vorbereitungsplätze -



Stuttgart, den 09.07.2012 © 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten - Seite 32 -

Lackierkabinen – Stand der Technik
- reinigungskabinen und vorbehandlungsanlagen (phosphatierung) -



Stuttgart, den 09.07.2012 © 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten - Seite 33 -

Lackierkabinen – Stand der Technik
- zubehör für applikationstechnik ("abo-box") -



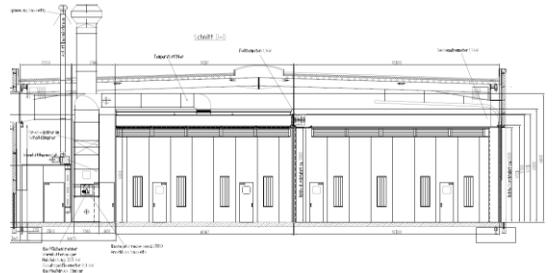
Stuttgart, den 09.07.2012 © 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten - Seite 34 -

Agenda

- LUTRO Luft- u. Trockentechnik GmbH (Kurzprofil) 
- Lackier- und Trockenkabinen 
- Lackierkabinen – Schwerpunkt Industrieanlagen 
 - Konzepte
 - Referenzen

Stuttgart, den 09.07.2012 © 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten - Seite 35 -

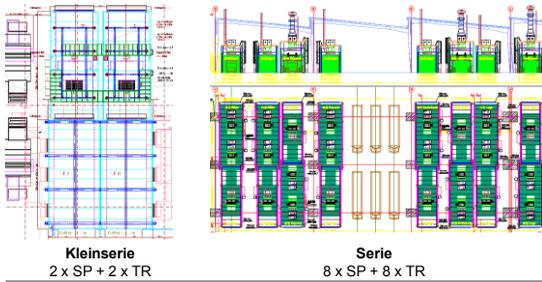
Ausgewählte Konzepte
- basisanlage ksp (kombinierte bt/dt-ausführung) -



Stuttgart, den 09.07.2012 © 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten - Seite 36 -

Ausgewählte Konzepte

- kombination sp / tr (nutzfahrzeuglackierung) -



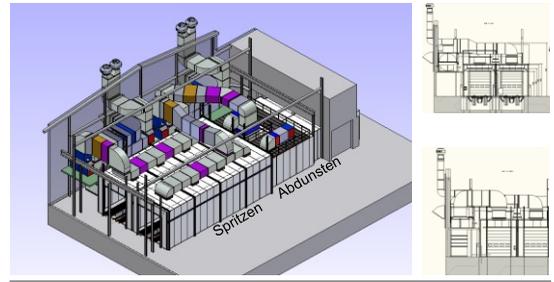
Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 37 -

Ausgewählte Konzepte

- kombination sp / adz (projekt nutzfahrzeuglackierung) -



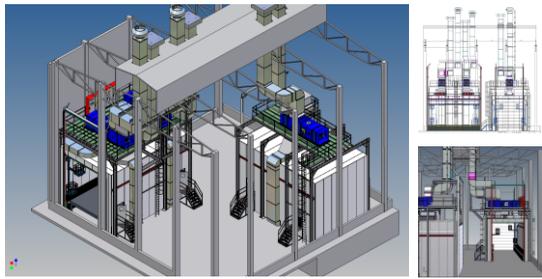
Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 38 -

Ausgewählte Konzepte

- kombination ksp – st / rk – st (großbauteile anlagenbau) -



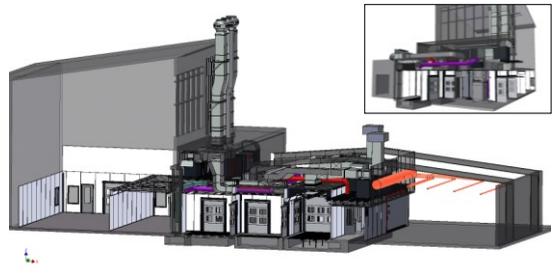
Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 39 -

Ausgewählte Konzepte

- lackierzentrum für kleinserienteiger -



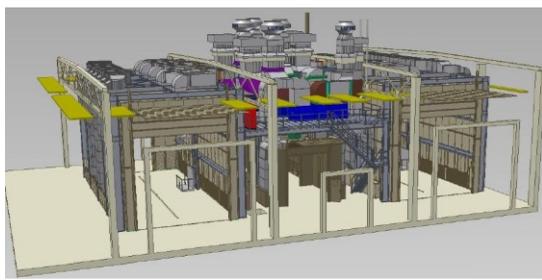
Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 40 -

Ausgewählte Konzepte

- kombination krk/ ksp/ tr (maschinenbau) -



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 41 -

Agenda

- LUTRO Luft- u. Trockentechnik GmbH (Kurzprofil) 
- Lackier- und Trockenkabinen 
- Lackierkabinen – Schwerpunkt Industrieanlagen 
 - Konzepte
 - Referenzen

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 42 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 43 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 44 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 45 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 46 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 47 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 48 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 49 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 50 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 51 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 52 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 53 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 54 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 55 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 56 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 57 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 58 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 59 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 60 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



LIEBHERR

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 61 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



TRUMPF



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 62 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



BOMAG
FAVAT 250/12

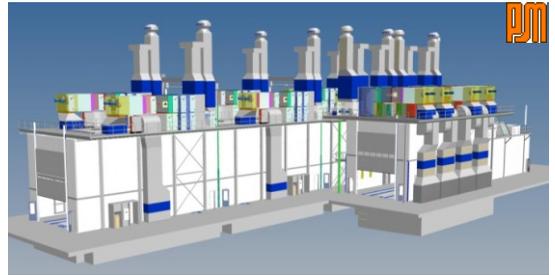


Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 63 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 64 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 65 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 66 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 67 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 68 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 69 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 70 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 71 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 72 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 73 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 74 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 75 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 76 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 77 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 78 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 70 -



Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 80 -



Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 81 -



Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 82 -



Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 83 -



Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 84 -



Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 85 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 86 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 87 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 88 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 89 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 90 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



FLENDER

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 91 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



FLENDER

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 92 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



FLENDER

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 93 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 94 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



SEHNER

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 95 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Udo Laas
Karosserie - Fachbetrieb

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 96 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Udo Laas
Karosserie - Fachbetrieb

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 97 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Udo Laas
Karosserie - Fachbetrieb

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 98 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Udo Laas
Karosserie - Fachbetrieb

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 99 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Liegler

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 100 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Liegler

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 101 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 102 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 103 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 104 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 105 -

Schwerpunkt Industrieanlagen



Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 106 -

Vielen Dank für Ihr Interesse.



Kontakt:

Daniel Krouzilek/ Business Development
Tel.: +49 (0)711-7909-4-53
Fax.: +49 (0)711-7909-4-39

LUTRO Luft- und Trockentechnik GmbH
Sielmingerstrasse 35
70771 Leinfelden-Echterdingen

Mail: info@lutro.de

Internet: www.lutro.de

Stuttgart, den 09.07.2012

© 2012 | LUTRO Luft- und Trockentechnik | Alle Rechte vorbehalten

- Seite 107 -

2 Projektpräsentation Phase 1

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Kurzbericht zu Arbeitsschritt 1:
**„Untersuchung nachwachsender
Rohstoffe zur Adsorption von
Lösemitteldämpfen und Gerüchen“**

(Stand 28.10.2009)



Innovative Oberflächentechnik®
LUTRO®
Lackieranlagen

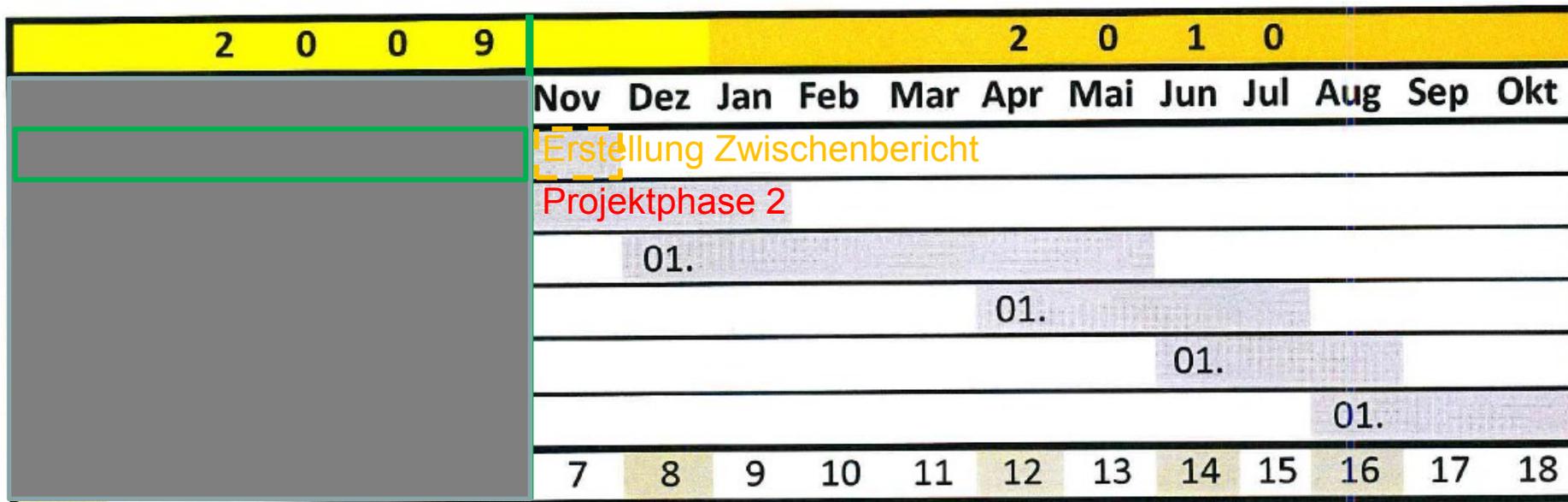


Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Projektüberblick und –status: Phase 1 - Untersuchung nachwachsender Rohstoffe zur Adsorption von Lösemitteldämpfen und Gerüchen

Das wichtigste Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Filtermaterials aus nachwachsenden Rohstoffen. Nach den Recherchen des Antragstellers wurden bisher noch keine grundsätzlichen Arbeiten zur Adsorption von Lösemitteldämpfen und Gerüchen an filtertauglichen Materialien ausgeführt. Hinsichtlich physikalischer Eigenschaftswerte gibt es eine Vielzahl denkbarer Materialien, die in anderen Branchen als Abfallprodukte anfallen (z.B. Holzspäne, Cellulose-Fasern, Rinde, Torf, Textilfasern) und die für die Abscheidung von Lösemitteln und Aufnahme von Gerüchen in Frage kommen. Daher muss dieser Arbeitsschritt mit einem hohen Aufwand mittels Anwendung umfangreicher Prüf- und Analysemethoden ausgeführt werden. Die Untersuchung möglicher Filtermaterialien wird durch eine Marktanalyse unterstützt und eingegrenzt.



Abteilung Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Vorgehensweise:

1. Grundlagen der Adsorption

Charakterisierung von Adsorbentien:

- Partikelgrößenverteilung,
- Porosität,
- Dichte,
- Innere oder spezifische Oberfläche und
- Porenradienverteilung

Experimentelle Methoden zur Messung der Gasadsorption

2. Naturfasern zur Aufnahme von Schadstoffen

Erarbeitung eines Auswahlverfahrens für Naturfasern zur Nutzwertanalyse

- Kriterium „Aufkommen / Abfall“,
- Kriterium „Umweltkompatibilität“,
- Kriterium „Adsorption gegenüber Wasser“ und
- Kostenanalyse

3. Rohstoffe zur Aufnahme von Lösemitteln und Gerüchen als Ergebnis der Literaturrecherche

Holz	Torf
Stroh (Reststroh)	Kenaf
Baumwolle	Ramie
Jute	Sisal
Hanf	Ananasblatt
Flachs	Kokosfaser
Schafwolle und weitere tierische Textilfasern	
Braunkohlekoks	

4. Ergebnis der Nutzwertanalyse

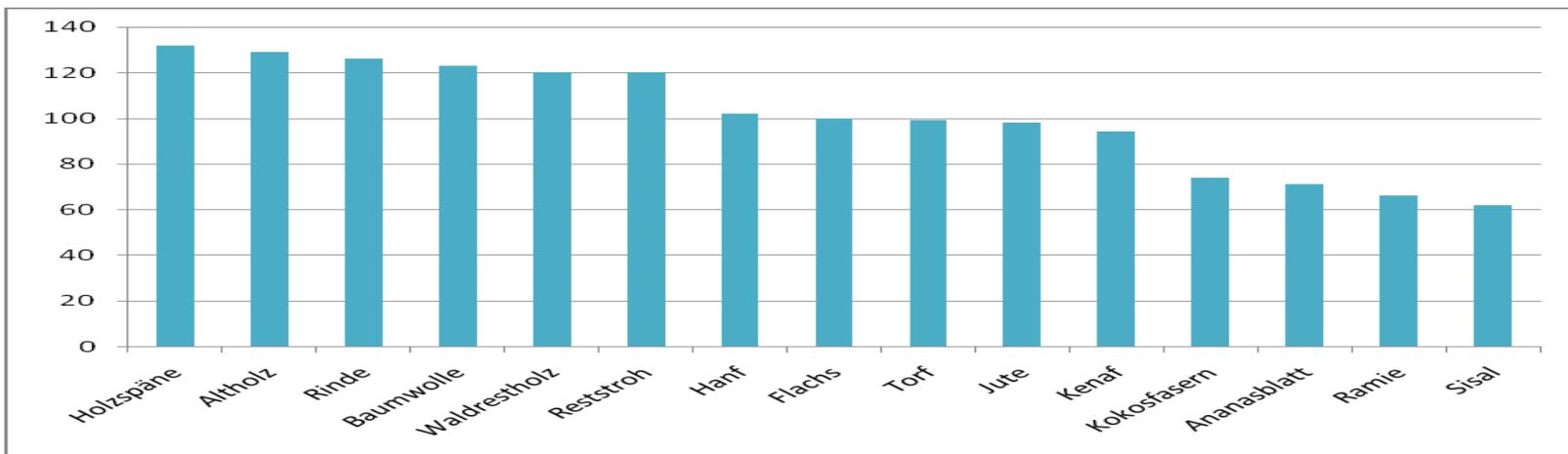
5. Messtechnische Untersuchung der Rohstoffe

- Messung: Aufnahmefähigkeit und Haltevermögen der Filtermaterialien für Gase im Exsikkatorversuch
- Messung: Aufnahmefähigkeit und Haltevermögen der Filtermaterialien für Gase in einer Absauganlage



Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ergebnisse der Nutzwertanalyse:



Ergebnisse der Nutzwertanalyse

Kriterien	Holzspäne	Rinde	Waldrestholz	Altholz	Reststroh	Flachs	Hanf	Jute	Kenaf	Baumwolle	Kokosfasern	Sisal	Torf	Ramie	Ananasblatt
NUTZWERT (N)	132	126	120	129	120	100	102	98	94	123	74	62	99	66	71
Kosten in €/t (K)	1	1	109	1	95	600	550	550	550	500			29		
Relativer Nutzwert (N/K)	132	126	1,1	129	1,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			3,5		

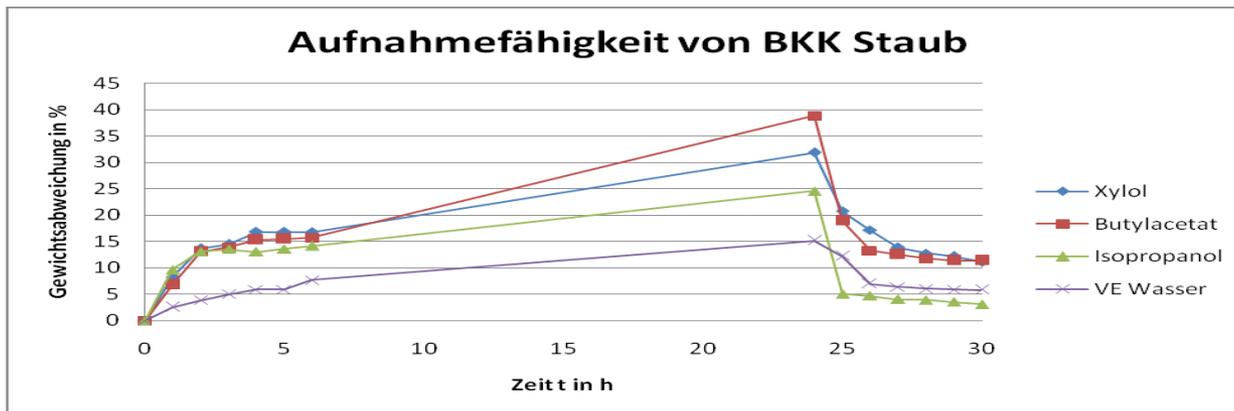
Kosten der verschiedenen Materialien



Abteilung Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Exsikkatorversuch:



Aufnahmefähigkeit von Lösemitteln an BKK-Staub

Ausschluss von Stroh aus Preisgründen!

Ranking der Ergebnisse

	Stroh	Baumwolle	Hanf	Holz	BKK Staub
VE Wasser 1	5	3	1	2	4
VE Wasser 2	5	2	1	3	4
Isopropanol 1	3	1	2	4	5
Isopropanol 2	4	2	1	3	5
Butylacetat 1	4	3	1	2	5
Butylacetat 2	4	2	1	3	5
Xylol 1	4	3	1	2	5
Xylol 2	4	2	1	3	5
NUTZWERT	33	18	9	22	38



Innovative Oberflächentechnik
LUTRO[®]
 Lackieranlagen

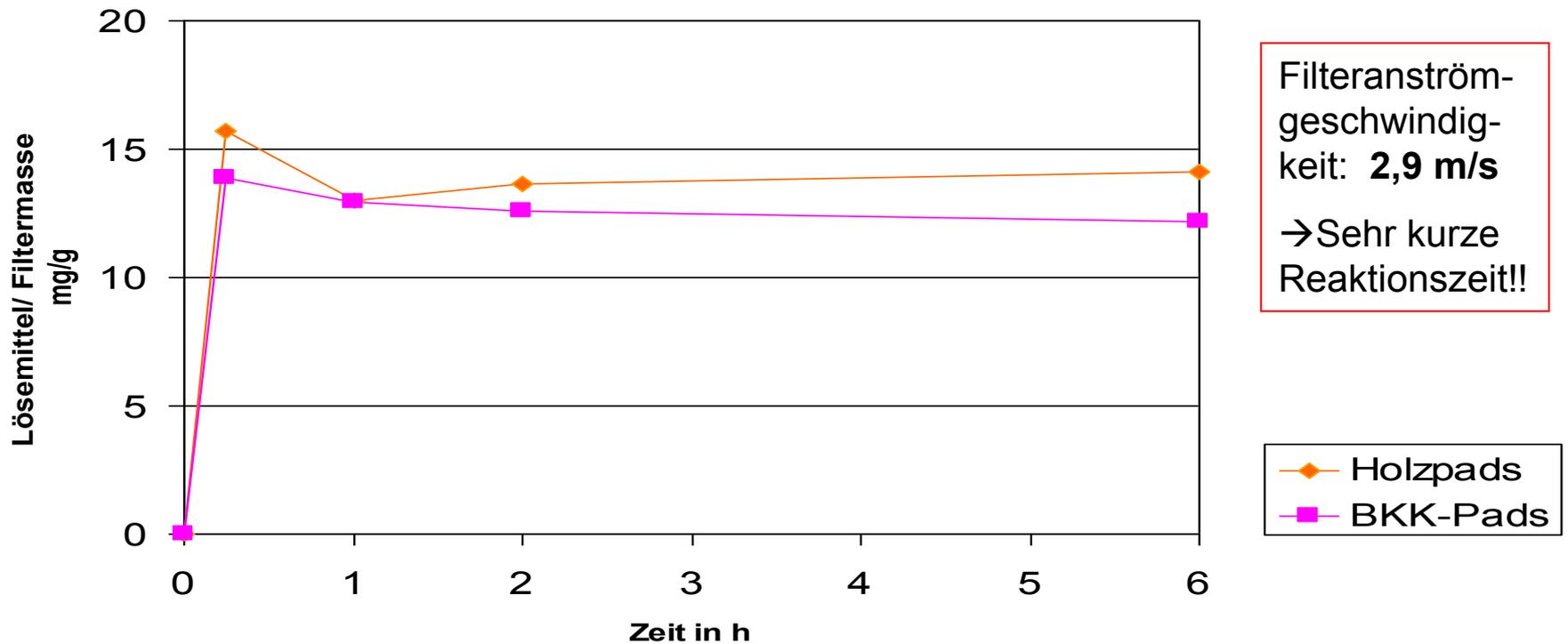


Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Versuch in einer Absauganlage:

Aufnahmefähigkeit u. Haltevermögen an Butylacetat



Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Abschließende Stellungnahme zu Projektphase 1:

	Ergebnis	Zeitplan	Bericht
Projektphase 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Projektphase 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Inhaltlich wurden die Projektziele der 1. Phase erreicht und mit der Identifikation von zwei möglichen Versuchsträgern (Holz und BKK) die Grundlage für die weitere Projektfortführung geschaffen. Im bis Anfang November 2009 vorliegenden, schriftlichen Zwischenbericht werden Vorgehensweise und Arbeitsergebnisse der Phase 1 weiter detailliert!



Innovative Oberflächentechnik®
LUTRO
Lackieranlagen



Abteilung
Lackiertechnik

3 Projektpräsentation Phase 2

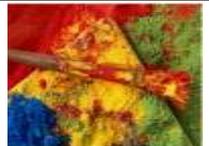
Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Präsentation zu Arbeitsschritt 2:
**„Entwicklung, Konstruktion und
Umsetzung von Filteranlagen“**

(Stand 30.09.2010)



Innovative Oberflächentechnik®
LUTRO®
Lackieranlagen



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Agenda für das Meeting am 19.10.2010

- 14:00 – 14:45 Kurzpräsentation des Arbeitsschrittes 2
- 14:45 – 15:00 Demonstration der Simulation der Expositionsanalyse anhand des entwickelten Datenmodells
- 15:00 – 15:30 Diskussion des möglichen Einsatzes der Naturfaser „Kapok“
- 15:30 – 16:00 Diskussion des weiteren Projektablaufs aus zeitlicher und organisatorischer Perspektive (Teilnahme von Herrn Hoffmann)



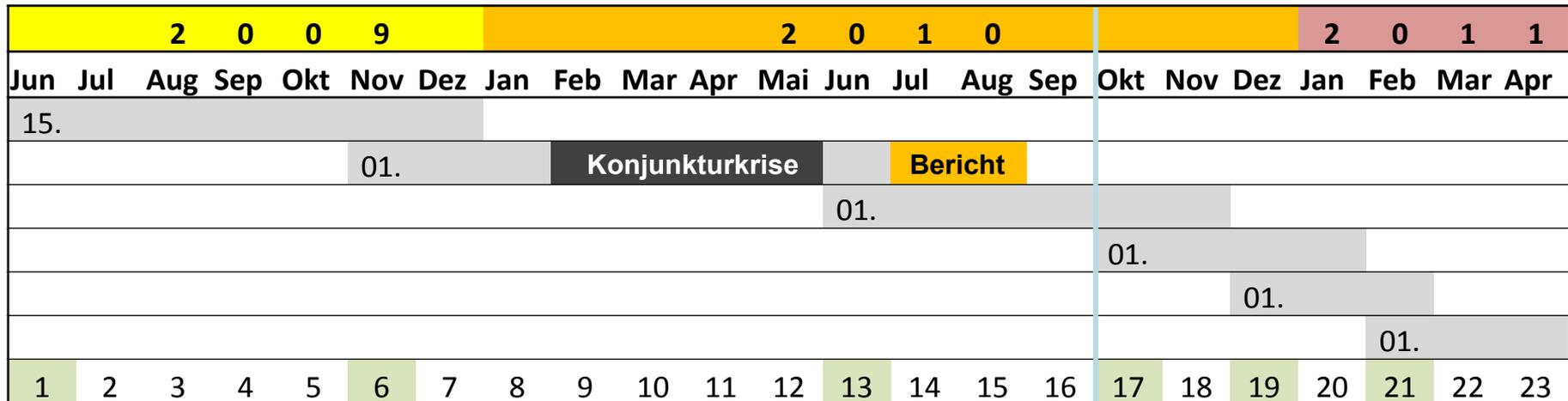
Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Projektüberblick u. -status: Phase 2: Entwicklung, Konstruktion und Umsetzung von Filtern

Nachdem in Phase 1 Rohstoffe gefunden wurden, die sich zur Abluftfiltration eignen könnten, schien der Weg frei für die Entwicklung von Filteranlagen. Allerdings tauchten bei den Laborversuchen Fragen auf, die differenzierte Messungen der Adsorptionsfähigkeit dieser Stoffe notwendig machten. Zudem wurde zur einfacheren Übertragbarkeit der Ergebnisse auf manuelle Spritzlackieranlagen die „differenzierte Expositionsanalyse“ als Simulations-Tool abgewandelt und verfeinert. Daher mussten diese Arbeitsschritte mit einem hohen Aufwand mittels Anwendung umfangreicher Mess- und Programmiermethoden ausgeführt werden.

Projekt Umlufttechnik - angepasste Zeitplanung

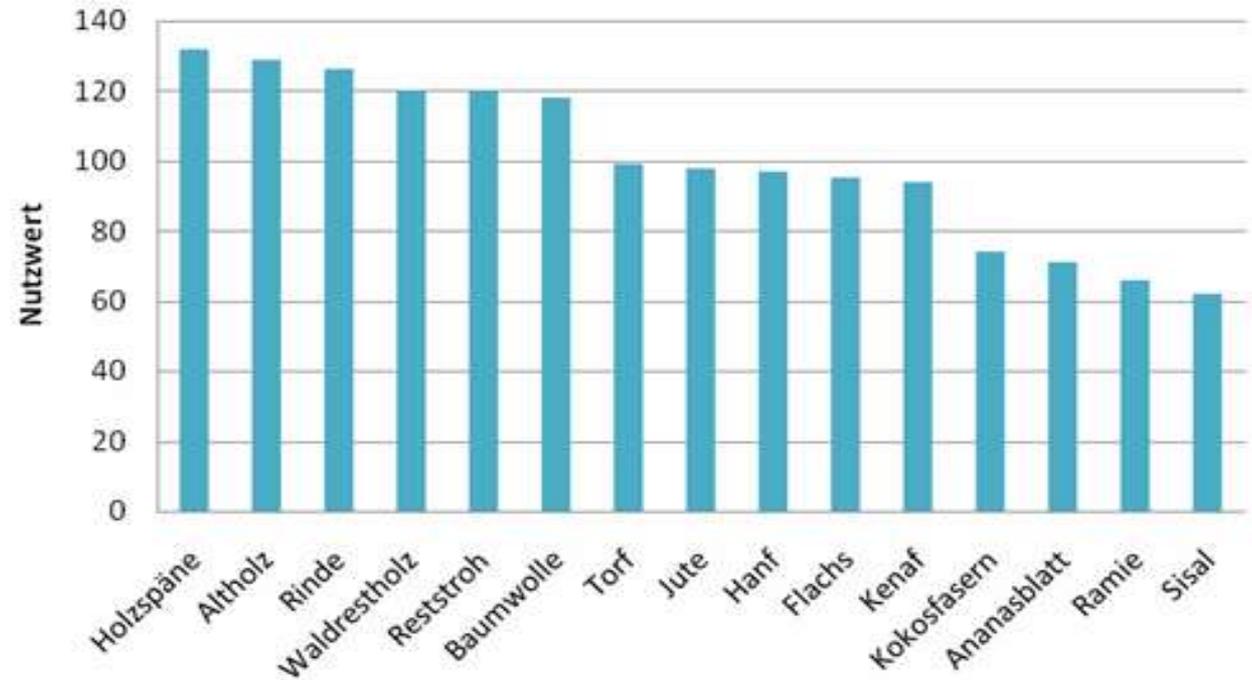


Abteilung
Lackiertechnik

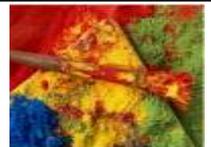
Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ausgangssituation: Nutzwertanalyse der alternativen Filtermedien in Projektphase 1

Neben dem Versuchsträger Sägemehl wurde auch Braunkohlekoks („BKK“) als natürliche und kostengünstige Alternative zur künstlich produzierten Aktivkohle herangezogen.



Aktuelle Entwicklung: Auf Initiative des DBU wurde im Übergang zu Projektphase 3 ein zusätzlicher Versuchsträger aufgezeigt („Kapok“). Hierbei bestehen Synergieeffekte zu einem weiteren, vom DBU geförderten Forschungsvorhaben!



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Parameter zur Ermittlung der optimalen Adsorptionswirkung der Versuchsträger Braunkohlekoks, Aktivkohle (Referenzmedium) und Sägemehl

Versuchsparameter:

- Schüttungsdichte
- Filterdicke
- Feuchtigkeit



a) Filterkasten leer mit Zwischenböden



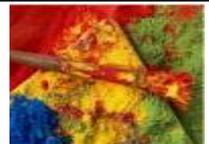
b) Filterkasten bestückt mit Sägemehl (3cm/lockere Schüttung)

Filteranlage: Zur Durchführung der Versuchsreihe wurde der ursprüngliche Filterträger vom Filterpad in einen „Schubladenfilter“ weiterentwickelt. In einem weiteren Schritt können befüllbare Filterpatronen/ -kartuschen angedacht werden!

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ergebnisse der gravimetrischen Messungen im Überblick:

Sägemehl	Lösemittelmenge (g)	Gewichtszunahme absolut (g)
feucht	176,4	28,0
feucht	175,3	26,3
trocken	178,8	122,0
trocken	174,5	113,3
trocken	-	77,3
trocken	-	62,1



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ergebnisse der gravimetrischen Messungen im Überblick:

Braunkohlekoks	Lösemittelmenge (g)	Gewichtszunahme absolut (g)
feucht	176,2	43,6
feucht	179,6	34,4
trocken	174,3	192,2
trocken	175,6	183,6



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ergebnisse der gravimetrischen Messungen im Überblick:

Aktivkohle	Lösemittelmenge (g)	Gewichtszunahme absolut (g)
feucht	175,9	44,7
feucht	173,4	37,2
trocken	174,2	212,6
trocken	178,6	204,1

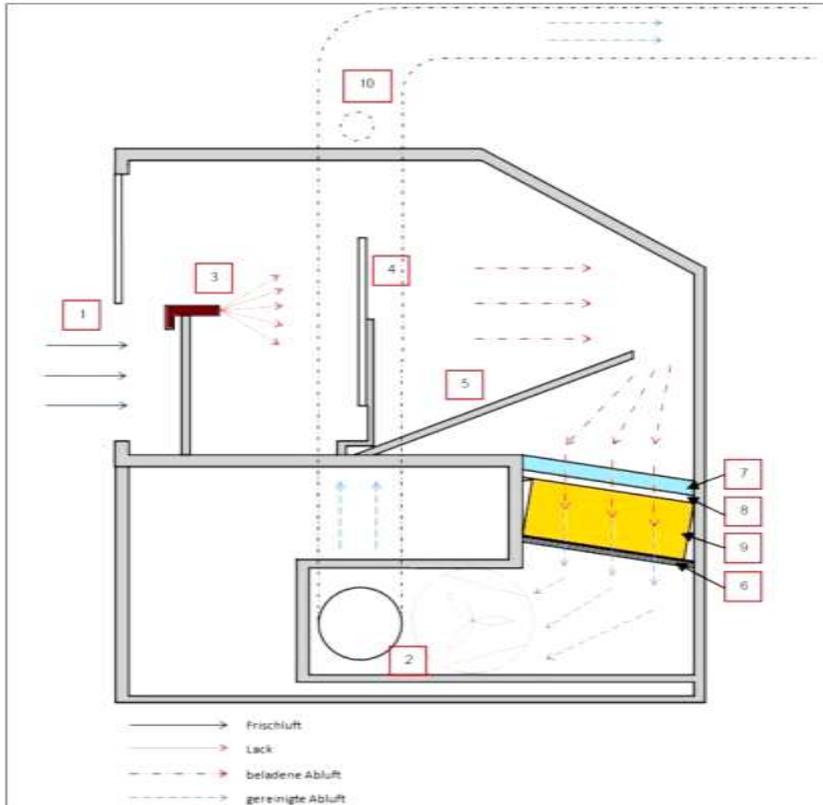
Zwischenergebnis: Die gravimetrische Meßmethode („Feinwaage“) ist unzureichend geeignet, da der Hauptanteil der Gewichtszunahme durch die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit entsteht!



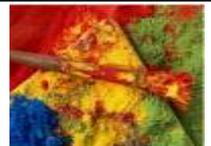
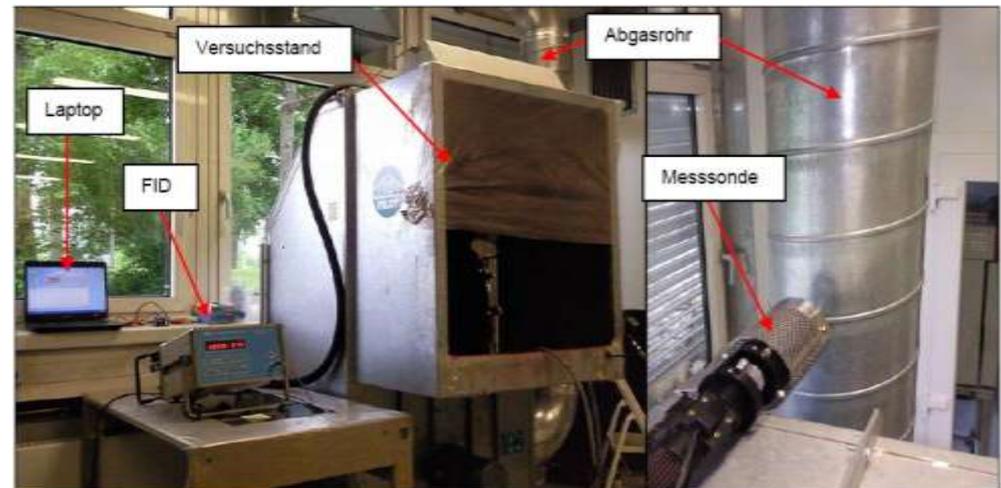
Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Versuchsaufbau zur Messung der Adsorptionswirkung mittels Flammen-Ionisations-Detektor („FID“)

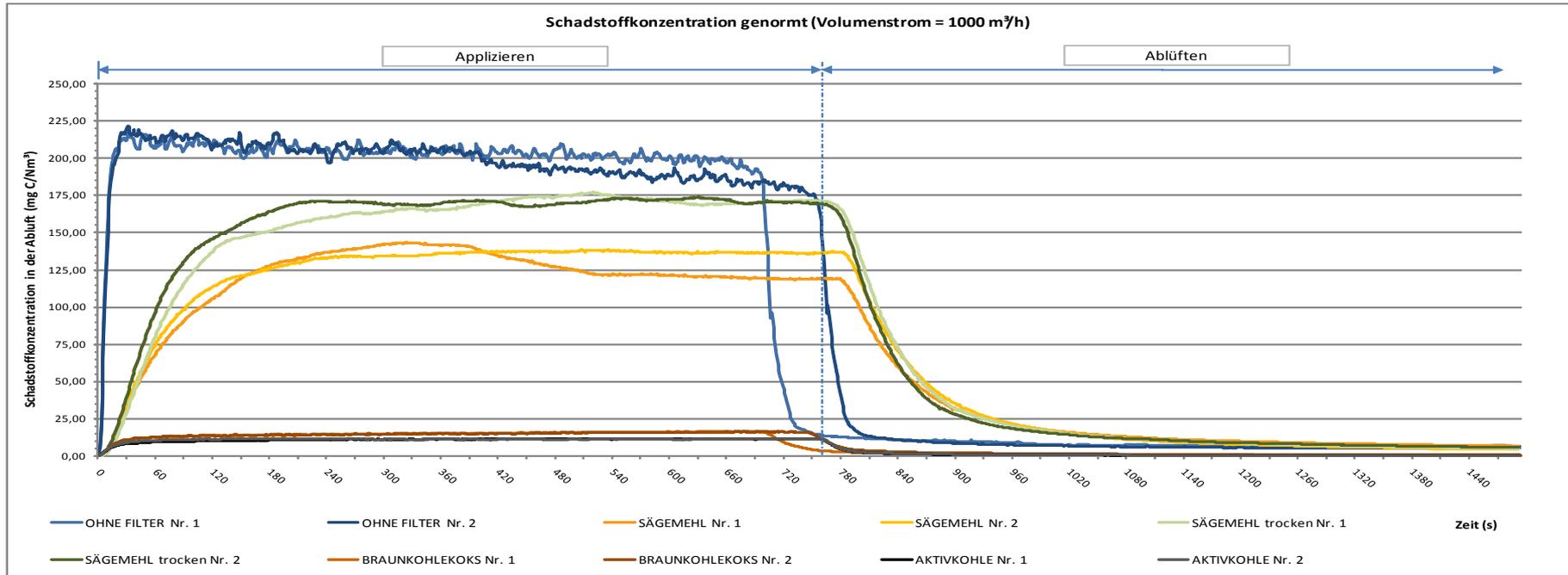


- | | |
|------------------|-------------------------------|
| 1. Ansaugöffnung | 6. Gitterrost |
| 2. Ventilator | 7. Partikelabscheidung |
| 3. Spritzpistole | 8. Staubfilter |
| 4. Musterblech | 9. Filterkästen mit Adsorbens |
| 5. Leitblech | 10. Messöffnung |



Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Sprühversuche mit 2K-Klarlack (Meßkurve Flammen-Ionisations-Detektor („FID“))



Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Sprühversuche mit 2K-Klarlack (Meßkurve Flammen-Ionisations-Detektor („FID“))

Filtermedium	Mittelwert (mg C/Nm ³)	Mittelwert gesamt (mg C/Nm ³)	Differenz (mg C/Nm ³)	Filterleistung (%)
ohne Filter Nr. 1	203	201	-	-
ohne Filter Nr. 2	198			
Sägemehl feucht Nr. 1	131	133	67	33
Sägemehl feucht Nr. 2	136			
Sägemehl trocken Nr. 1	168	169	31	16
Sägemehl trocken Nr. 2	170			
Braunkohlekoks Nr. 1	15	15	185	92
Braunkohlekoks Nr. 2	15			
Aktivkohle Nr. 1	11	11	189	94
Aktivkohle Nr. 2	11			

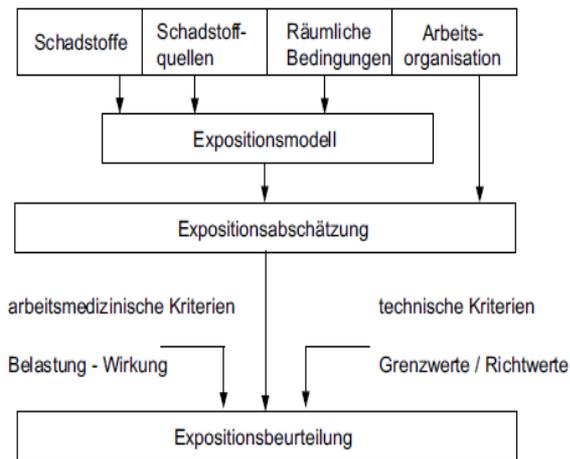
Zeitraum der Betrachtung: $t_1 = 180\text{s}$ bis $t_2 = 660\text{s} \rightarrow \Delta t = 8\text{min}$



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ableitung einer Vorgehensweise zur Übertragung der Versuchsergebnisse auf praxisnahe Einsatzgebiete und konventionelle Anlagentechnik



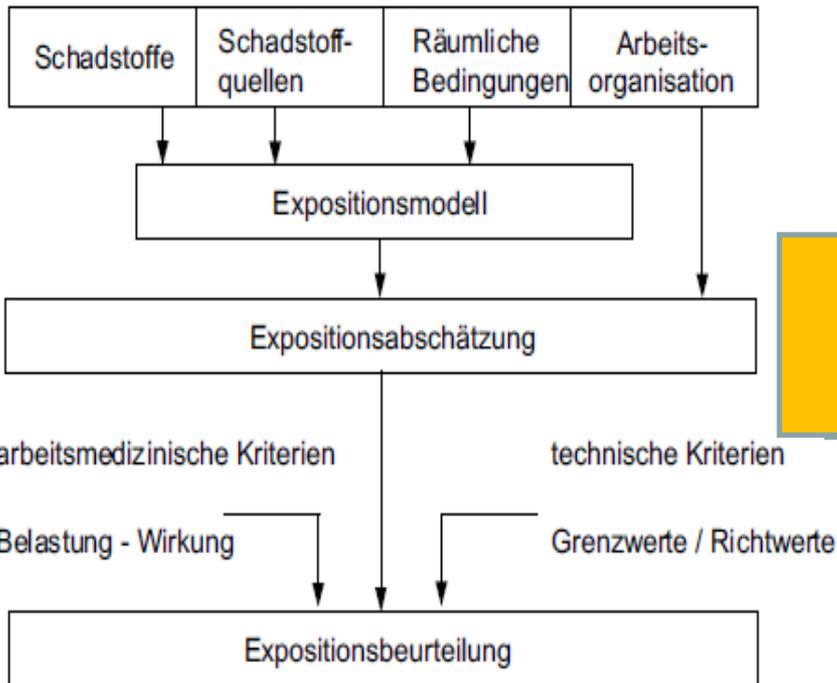
Differenzierte Expositionsanalyse („DEEA“)

Nutzen der „DEA“:

Übertragung der Schadstoffexpositionen des Versuchsaufbaus auf die reale Oberflächentechnik (Abschätzung der Lösemittelbelastung/ Schadstoffexposition bei unterschiedlichen Filtermedien und unterschiedlichen Umluftraten und Einsatzszenarien).

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Auf der Grundlage der durchgeführten Meß- und Versuchsreihen wurde ein Datenmodell aufgebaut.




Abteilung Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Eingabefeld des entwickelten Datenmodells (Software-Basis ist MS Excel):

Dateneingabe

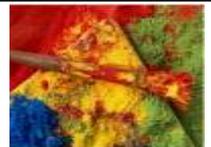
Graph 1 | Graph 2 | Graph 3

Daten Lackierkabine					
Höhe Lackierkabine (m)	<input type="text" value="3"/>	Fläche für Luftaustausch (m x m)	<input type="text" value="7"/> <input type="text" value="3,5"/>	Volumenstrom Frischluft Applizieren (m³/s)	<input type="text" value="6,86"/>
Länge Lackierkabine (m)	<input type="text" value="7"/>	Fläche für Luftaustausch (m²)	<input type="text" value="24,5"/>	Volumenstrom Frischluft Trocknen (m³/s)	<input type="text" value="4,9"/>
Breite Lackierkabine (m)	<input type="text" value="4"/>	Strömungsgeschwindigkeit Applizieren (m/s)	<input type="text" value="0,28"/>	Luftwechselrate Applizieren (1/s)	<input type="text" value="0,08167"/>
Volumen Lackierkabine (m³)	<input type="text" value="84"/>	Strömungsgeschwindigkeit Trocknen (m/s)	<input type="text" value="0,2"/>	Luftwechselrate Trocknen (1/s)	<input type="text" value="0,05833"/>

Vorbereitung	Basislack 1	Zwischenablüften Basislack	Randbedingungen
Zeitintervall Vorbereitung (s)	<input type="text" value="600"/>	Zeitintervall Zwischenablüften (s)	<input type="text" value="600"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>
Lackierzeit (s)	<input type="text" value="600"/>	Lackmenge (g)	<input type="text" value="200"/>
Lackmenge (g)	<input type="text" value="200"/>	Lösemittelanteil (%)	<input type="text" value="15"/>
Lösemittelanteil (%)	<input type="text" value="15"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="0"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="0"/>	Zeitintervall Endablüften (s)	<input type="text" value="600"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="0"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>
Lackierzeit Klarlack (s)	<input type="text" value="600"/>	Lackmenge Klarlack (g)	<input type="text" value="500"/>
Lackmenge Klarlack (g)	<input type="text" value="500"/>	Lösemittelanteil KL (%)	<input type="text" value="45"/>
Lösemittelanteil KL (%)	<input type="text" value="45"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="0"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="0"/>	Zeitintervall Abkühlen (s)	<input type="text" value="600"/>
Zeitintervall Endablüften (s)	<input type="text" value="600"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>	Zeitintervall Trocknung (s)	<input type="text" value="1800"/>
Zeitintervall Endablüften (s)	<input type="text" value="600"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>	Zeitintervall Abkühlen (s)	<input type="text" value="600"/>
Zeitintervall Endablüften (s)	<input type="text" value="600"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>
Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>	Zeitintervall Abkühlen (s)	<input type="text" value="600"/>
Zeitintervall Endablüften (s)	<input type="text" value="600"/>	Umluftbetrieb (%)	<input type="text" value="90"/>

Erweiterte Optionen		
Name Graph 1	<input type="text" value="Umluftbetrieb 0% Filterleistung 0%"/>	
Einheit Graph 1	Durchschnittliche Molmasse (g/mol)	<input type="text" value="134"/>
<input checked="" type="radio"/> mg Schadstoff / m³	Durchschnittliche Anzahl C-Atome	<input type="text" value="8"/>
<input type="radio"/> mg C / m³	<input type="checkbox"/> Bezugsgröße Volumenstrom (m³/h)	<input type="text" value="1000"/>

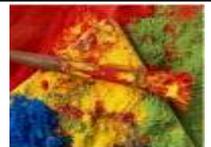
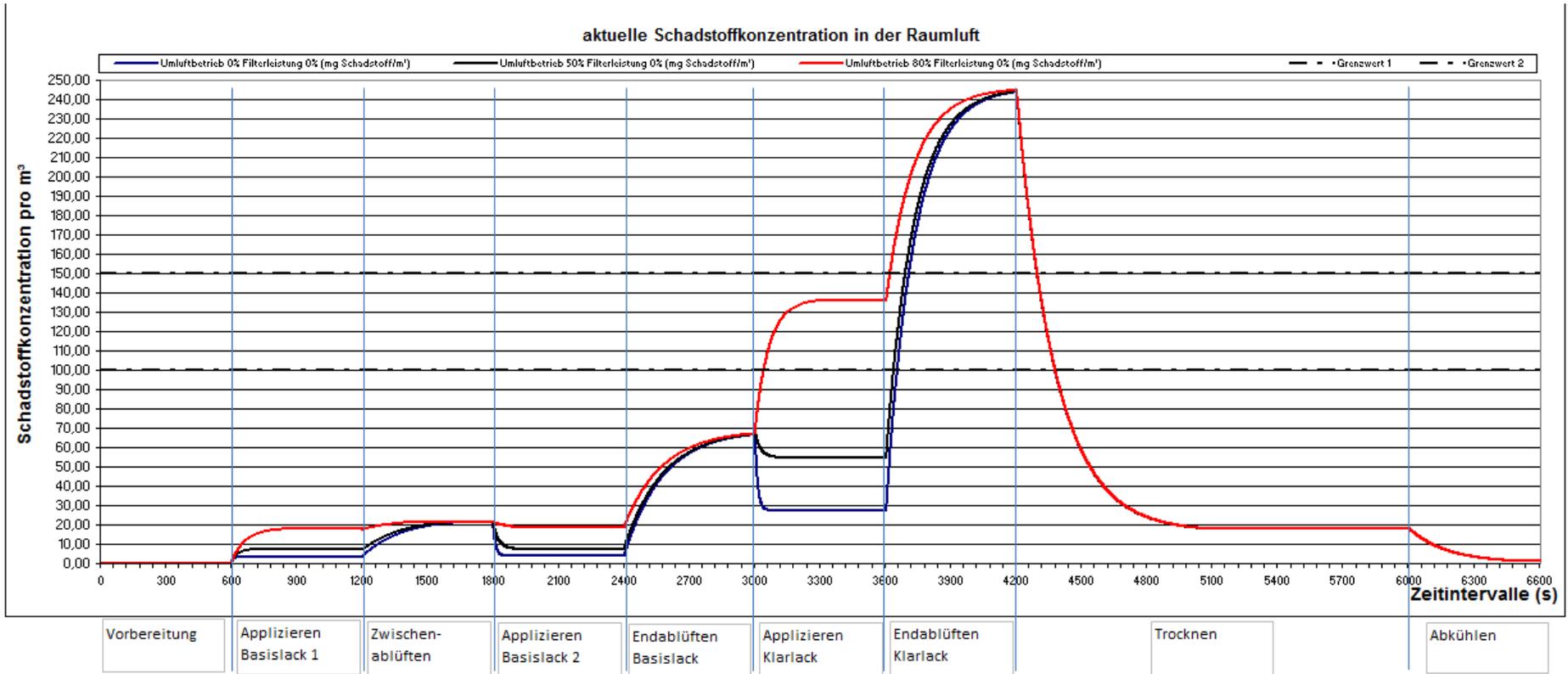
Grenzwert 1: Grenzwert 2:



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ergebnis der Berechnungen für 1 Lackierzyklus in Abhängigkeit von der Filterleistung:



Abteilung
Lackiertechnik

Geruchlose, lösemittelfreie Abluft und energieeffiziente Umluft aus Lackieranlagen mittels Filtersystemen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Abschließende Stellungnahme Projektphase 2:

	Ergebnis	Zeitplan	Bericht
Projektphase 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Projektphase 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Projektphase 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projektphase 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Inhaltlich wurden wesentliche Projektziele der 2. Phase erreicht. Aufgrund der allgemeinen konjunkturellen Situation in 2010 ist der Zeitplan des Projektes verzögert worden. Derzeit wird parallel zur Phase 3 schon an Arbeitspaketen der Projektphase 4 (Sensor-/ Messtechnik) gearbeitet!



Abteilung
Lackiertechnik

