

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Zentrum Allergie und Umwelt der Technischen Universität München  
Klinische Kooperationsgruppe Umweltdermatologie (KKG-UDA)  
Helmholtz-Zentrum München/ TUM

Größenfraktionierte Detektion von Allergen,  
Allergen beladenen Partikeln und Pollen in der  
Umluft

Stefanie Ochs

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Medizin**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. H. Behrendt
2. apl. Prof. Dr. B. Eberlein

Die Dissertation wurde am 23.03.2010 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 29.06.2011 angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>5</b>
1.1	<b>Allergie</b>	<b>5</b>
1.1.1	Allergietypen	5
1.2	<b>Prävalenz von Allergien</b>	<b>6</b>
1.3	<b>Mechanismen der Entstehung von Typ I-Allergien</b>	<b>6</b>
1.4	<b>Mögliche Ursachen für die Zunahme von allergischen Erkrankungen</b>	<b>7</b>
1.5	<b>Pollen</b>	<b>9</b>
1.5.1	Pollenflug	11
1.6	<b>Allergene</b>	<b>13</b>
1.6.1	Bet v 1- Ein Allergen der Birke ( <i>Betula verrucosa</i> )	13
1.6.2	Phl p 5- Ein Allergen der Gräserpezies <i>Phleum pratense</i>	15
1.6.3	Findet man Allergene auch außerhalb von Pollen?	15
1.7	<b>Luftverschmutzung</b>	<b>17</b>
1.7.1	Schadstoffpartikel in der Umluft	18
1.8	<b>Mögliche Interaktion von Pollen und APM</b>	<b>21</b>
1.9	<b>Wettereinflüsse auf Pollenflug und Allergenkonzentration in der Umluft.</b>	<b>23</b>
1.10	<b>Thunderstorm-Asthma</b>	<b>24</b>
1.11	<b>Zielsetzung der Arbeit</b>	<b>26</b>
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>27</b>
2.1	<b>ChemVol®-Sampler</b>	<b>27</b>
2.1.1	Aufbau eines ChemVol®-Kopfes	27
2.1.2	Erzeugung der benötigten Volumenflüsse	29
2.1.3	Abscheidegrößen	30
2.1.4	Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler	31
2.1.5	Standort der ChemVol®-Sampler	33
2.1.6	Extraktion des Bet v 1 bzw. Phleum p 5 von den Polyurethanschaum- Filtern	35
2.1.7	Lyophilisierung	36
2.1.8	ELISA (Enzyme linked immuno sorbent assay)	36
2.1.9	Vorbereitung der Polyurethanschaum- Filter	38
2.2	<b>Burkard-Pollenfalle</b>	<b>39</b>

<b>2.3</b>	<b>Datenverwertung</b> .....	<b>40</b>
<b>2.4</b>	<b>Standard- Dieselrußtitration in Bet v 1-Lösung</b> .....	<b>41</b>
2.4.1	Herstellung von Pollenextrakten .....	41
<b>2.5</b>	<b>REM- Beurteilung von Filtern der Sammelperiode Birke 2005</b> .....	<b>41</b>
2.5.1	Herstellung von Präparaten für das Raster-Elektronen-Mikroskop .....	42
<b>3</b>	<b>Material</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Wetterdaten</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Polyurethanschaum- Filtermaterial</b> .....	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>Antikörper</b> .....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Birkenpollensaison</b> .....	<b>45</b>
4.1.1	Birkenpollenflugzeit 2003 .....	45
4.1.2	Birkenpollenflugzeit 2004.....	47
4.1.3	Birkenpollenflugzeit 2005.....	50
4.1.4	Generelle Resultate der verschiedenen Sammlungen.....	54
4.1.5	Dieselrußtitration einer Bet v 1-Lösung.....	63
<b>4.2</b>	<b>Gräserpollensaison</b> .....	<b>64</b>
4.2.1	Gräserpollenflugzeit 2004 .....	64
4.2.2	Gräserpollenflugzeit 2005 .....	67
4.2.3	Generelle Resultate der verschiedenen Sammlungen.....	71
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Methodische Aspekte</b> .....	<b>81</b>
5.1.1	ChemVol®-Sampler .....	81
5.1.2	Pumpenwechsel 2005.....	84
5.1.3	Versuchsaufbau mit Schutzzelten.....	85
5.1.4	Wetterdokumentation.....	85
5.1.5	REM-Auszählung der ausgewechselten ChemVol®-Filter.....	85
<b>5.2</b>	<b>Inhaltliche Aspekte</b> .....	<b>86</b>
5.2.1	Im ChemVol®-Sampler impaktierte Partikel.....	86
5.2.2	Entwicklung von Pollenflug und detektiertem Allergengehalt im Verlauf der Saison.....	87
5.2.3	Einfluss der Parameter Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf Pollenflug und Allergengehalt der Umluft.....	89

5.2.4	Erhobene Werte im Jahresvergleich .....	90
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>103</b>
8.1	Abbildungsverzeichnis .....	103
8.2	Tabellenverzeichnis .....	105
8.3	Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®-Sammlung ....	106
8.4	Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®-Sammlung Birkensaison 2004 .....	107
8.5	Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®-Sammlung Birkensaison 2005 .....	108
8.6	Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®-Sammlung Gräsersaison 2004.....	109
8.7	Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®-Sammlung Gräsersaison 2005.....	110
8.8	Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung Birkenpollensaison 2004 .....	111
8.9	Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung Birkenpollensaison 2005 .....	114
8.10	Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung Gräserpollensaison 2004 .....	117
8.11	Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung Gräserpollensaison 2005 .....	120
8.12	Pollenflugentwicklung in Europa.....	124
8.12.1	Birke.....	124
8.12.2	Gräser.....	125
8.13	Pollenflugdaten des Pollenfluginformationsdienstes in München .....	126
8.14	Ergebnisse REM-Betrachtung ausgewechselter ChemVol®-Filter .....	126
8.15	Rasterelektronenmikroskopische Bilder der ausgewechselten ChemVol-Filter .....	127
8.16	Lichtmikroskopische Betrachtung der ausgewechselten Filter .....	129
<b>9</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>130</b>

---

<b>10 Lebenslauf .....</b>	<b>132</b>
<b>10.1 Ausbildung .....</b>	<b>132</b>

# 1 Einleitung und Zielsetzung

## 1.1 Allergie

Allergien gehören zu den häufigsten Erkrankungen des Menschen und wurden schon in der frühen chinesischen und griechischen Literatur beschrieben.<sup>83</sup>

Die Bezeichnung „Allergie“ wurde allerdings erst 1906 von dem österreichischen Kinderarzt Clemens von Pirquet (1874-1929) eingeführt<sup>51</sup> und setzt sich aus den griechischen Wörtern *allo* (fremd, anders) und *ergon* (Reaktion, Tätigkeit) zusammen.

Laut klinischer Definition<sup>78</sup> ist eine Allergie eine angeborene oder erworbene spezifische Änderung der Reaktionsfähigkeit des Immunsystems gegenüber körperfremden, eigentlich unschädlichen Substanzen, die als Allergen erkannt werden.

### 1.1.1 Allergietypen

Man unterscheidet nach COOMBS und GELL (1963) vier Allergietypen<sup>78</sup>:

Humorale Allergie (Frühtyp):

- Typ I (Soforttyp, anaphylaktischer Typ) mit klinischen Symptomen wie allergischem Asthma, allergischer Konjunktivitis, Rhinitis allergica, allergischer Urtikaria, Angioödem, anaphylaktischem Schock und Jones-Mote-Reaktion. Die klinische Manifestation einer auf einer genetischen Prädisposition beruhenden Überempfindlichkeitsreaktion vom Typ I bezeichnet man auch als Atopie.<sup>78</sup> Mehr als 95% aller Allergien liegt eine Atopie zugrunde.<sup>60</sup>
- Typ II (zytotoxischer Typ) mit klinischen Symptomen wie allergisch bedingte hämolytische Anämie, Thrombopenie, Agranulozytose und Transfusionszwischenfälle.
- Typ III (Immunkomplextyp, Arthustyp) mit klinischen Symptomen wie Serumkrankheit, allergischer Vaskulitis, exogen-allergischer Alveolitis, allergisch bronchopulmonaler Aspergillose.

Zellvermittelte Allergie (Spättyp):

- Typ IV (verzögerter Typ) mit klinischen Symptomen wie allergischem Kontaktekzem, Arzneimittelekzem, Transplantationsabstoßung und persistierender granulomatöser Reaktion. Tuberkulinreaktion

## 1.2 Prävalenz von Allergien

Mittlerweile stellen allergische Erkrankungen eine der großen medizinischen Herausforderung unserer Zeit dar.

Dieses Phänomen zeigt sich besonders in Industrieländern.<sup>2,41,73,83,110</sup>

Bis zu 20% aller Europäer leiden unter Pollen induzierten Allergien.<sup>74</sup> Birken- und Gräserpollen sind hierbei in Deutschland die wichtigsten Aeroallergene.

In einer Studie mit 4261 befragten Erwachsenen in Deutschland zeigte sich 2005 eine Lebenszeitprävalenz von 5,1% für das atopische Ekzem, von 6,1% für Asthma und von 13,7% für allergische Rhinitis.<sup>85</sup> Eine vergleichbare Studie<sup>45</sup> beobachtete 2002 bei Erwachsenen sogar eine Lebenszeitprävalenz von je 15% für allergische Rhinitis und allergisches Kontaktekzem.

In der Europäischen Studie zu Atemwegserkrankungen bei Erwachsenen (ECRHS)<sup>42</sup> zeigte sich bei den Studienteilnehmern in Hamburg und Erfurt eine Häufigkeit für Asthma von 2-11,9%, für allergische Rhinitis von 9,5-40,9%, für Atemwegssymptome von 4-32%, für bronchiale Hyperreaktivität von 3,4-27,9% und für die Sensibilisierung gegen häufige Aeroallergene von 16,2-44,5%. Hierbei war im direkten Vergleich die Bevölkerung in Hamburg stärker betroffen als die Bevölkerung in Erfurt.

Hierbei kann man eine altersspezifische Verteilung der Manifestationsformen einer Atopie beobachten:

Bei erwachsenen Atopikern sind insbesondere respiratorische Allergien zu beobachten (ca. 15% allergische Rhinitis, ca. 5% Asthma). Bei Kindern dominiert mit ca. 10% Prävalenz das atopische Ekzem als Manifestationsform.<sup>86</sup>

Bei Befragungen im Rahmen aller Altersklassen zeigte sich, dass mit zunehmendem Alter die Lebenszeitprävalenz von atopischen Erkrankungen abnimmt.<sup>45</sup> So beobachtete man in der Gruppe der 20- bis 44-Jährigen eine fast 1,5-fach so hohe Wahrscheinlichkeit, im Laufe des Lebens an einer allergischen Erkrankung zu leiden als in der Gruppe der 45- bis 79- Jährigen.

## 1.3 Mechanismen der Entstehung von Typ I-Allergien

Bei genetischer Prädisposition für atopische Erkrankungen wird beim ersten Allergenkontakt eine komplexe Immunantwort initiiert. Hierbei bilden B-Zellen unter Einbeziehung von dendritischen Zellen und T-Lymphozyten IgE-Antikörper. Diese spezifisch auf das Allergen ausgerichteten Antikörper binden an Mastzellen, basophile

Granulozyten und Monozyten. Den Erstkontakt, der ohne Symptome abläuft, nennt man Sensibilisierung. Bei erneutem Kontakt mit dem Allergen werden die Mastzellen durch die IgE-Antikörper aktiviert und schütten u.a. Histamin als Zeichen einer Entzündung aus.

Die Exposition gegenüber Allergenen ist also ein notwendiger Faktor für die Entstehung einer atopischen Erkrankung. Die Höhe der hierzu notwendigen Allergenkonzentration wird von verschiedenen Autoren diskutiert:

Einige Autoren zeigten in epidemiologischen Studien ein erhöhtes Sensibilisierungsrisiko bei hoher Allergenexposition im Kindesalter.<sup>54,66</sup>

Dies konnte 1995/96 im Rahmen der ISAAC-Studie, in der die Sensibilisierung gegen Frühblüher von Dresdner und Münchner Kindern verglichen wurde, nicht bestätigt werden. Es zeigte sich bei höherer Exposition in München ein niedrigeres Sensibilisierungsrisiko.<sup>47</sup>

Neben der genetischen Prädisposition ist die Entstehung von Allergien signifikant mit folgenden Faktoren verknüpft:<sup>9</sup>

- Kontakt zu Tieren
- Zigarettenrauch in der Umgebung
- Offener Gebrauch von Gas
- Exposition durch Verkehrs bedingte Umweltverschmutzung
- Hoher sozio -ökonomischer Status der Eltern<sup>85</sup>

Andere Autoren fügen dieser Liste weitere Faktoren wie zum Beispiel die kindliche Ernährung hinzu.<sup>86</sup>

## **1.4 Mögliche Ursachen für die Zunahme von allergischen Erkrankungen**

Die Entstehung von allergischen Erkrankungen ist ein multifaktorieller Prozess.

Für die Zunahme der Prävalenz von Allergieerkrankungen werden folgende Faktoren verantwortlich gemacht<sup>9,83,121</sup>

- gesteigertes Bewusstsein für die Erkrankungen und verbesserte Diagnostik
- Psycho-soziale Einflüsse
- gesteigerte Allergenexposition (durch Auftreten von neuen Allergenen und Zunahme von Aeroallergenen<sup>60</sup>)
- Verminderte Stimulation des Immunsystems („Hygiene-Hypothese)
- zugrunde liegende Erkrankung



- Antiallergische Therapie
- Umweltverschmutzung

Atopische Erkrankungen setzen eine genetische Prädisposition voraus. Dies kann den regionalen Unterschied der Prävalenz von Allergien erklären nicht aber die aktuelle drastische Zunahme der Prävalenz von Allergien innerhalb von kurzer Zeit, da größere Veränderungen in menschlichen Genpool längere Zeiträume beanspruchen.

Die Zunahme in der Prävalenz von Allergien betrifft hauptsächlich die allergischen Erkrankungen vom Soforttyp (Typ I), die in den letzten Jahren im Gegensatz zu den Allergietypen II- IV stark zugenommen haben.<sup>60</sup>

Eine belgische Studie beobachtete 2003, dass sich die Hypersensitivität gegenüber Birkenpollen in einer belgischen Population in den letzten 20 Jahre verdreifacht hatte.<sup>99</sup>

Eine Studie vergleichbare deutsche Studie<sup>43</sup> zeigte kurz nach der deutschen Wiedervereinigung bei einer Vergleichsstudie zwischen Ost- und Westdeutschland noch deutlichere Unterschiede in der Prävalenz von Allergien. In Westdeutschland war die Prävalenz von allergischer Rhinitis und Asthma bedingten respiratorischen Symptomen in einer Befragung deutlich höher als in der ehemaligen DDR. Bei einer Wiederholung der Studie vier Jahre später hatte sich die Prävalenz der Allergie bezogenen Symptome nahezu angeglichen. Ob es sich hierbei um das Resultat einer zugenommenen Sensibilisierung<sup>40</sup> oder um eine tatsächliche Reaktion auf eine Veränderung der Lebensgewohnheiten<sup>58,119</sup> handelt, ist nicht geklärt.

Die „Hygiene-Hypothese“ beschreibt die Annahme einer inversen Relation zwischen der Inzidenz von Infektionserkrankungen im Kleinkindalter und der Entstehung von Allergien.<sup>102</sup>

Eine erwartete negative Relation zwischen der Familiengröße und dem Auftreten von Allergien wurde in einer Studie im Jahre 2000 nicht bestätigt.<sup>101</sup>

Viele Untersuchungen zeigen, dass Personen, die in den Städten der Industrienationen mit viel Luftverschmutzung leben, mehr von allergischen bzw. respiratorischen Erkrankungen betroffen sind als ihre Landsleute, die auf dem Land leben oder sogar in der Landwirtschaft arbeiten.<sup>45,85</sup> So lag in einer Studie von 2005 die Sensibilisierung gegenüber Allergenen bei der Stadtbevölkerung bei 34%, gegenüber 29,4% bei der Landbevölkerung und 22% bei Landwirten. Als Ursache hierfür wird der Unterschied in der Exposition gegenüber Umweltschadstoffen angenommen. Die Zunahme der

Prävalenz von Allergien kann somit durch Veränderungen von Umweltfaktoren erklärt werden, wie zum Beispiel Zunahme von Innenraumluft- und Außenraumluftverschmutzung.<sup>28</sup>

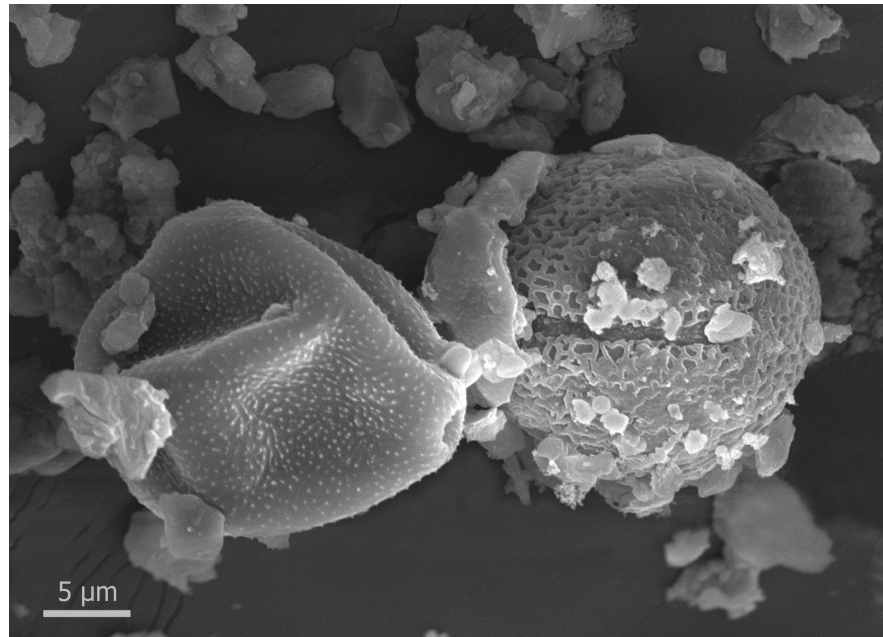
## 1.5 Pollen

Die wichtigsten Allergenträger in der Außenluft sind Pollen von anemophilen d.h. luftbestäubenden Pflanzen wie Bäumen und Gräsern.<sup>5</sup> Nur ein Zehntel der mehr als 250.000 Pollen produzierender Spezies ist windbestäubend und hat dadurch Relevanz für atopisch bedingte respiratorische Symptome und deren Entstehung.

Als Pollen bezeichnet man die männlichen Gametophyten einer luftbestäubenden Pflanze.<sup>4</sup> Pollen besitzen einen morphologischen Durchmesser von 15 bis 60 µm. Sie können bei einer normalen Windgeschwindigkeit von 10 m/Sekunde über 175 km transportiert werden. Bei Windstille sinken sie 2- 3,1 cm/Sekunde ab.<sup>14,98,114</sup>

Im Gegensatz zu Allergenen der Innenraumluft (z.B. Hausstaubmilbe) gibt es bisher keinen reproduzierbaren quantitativen Zusammenhang zwischen Pollenallergenexposition und dem Auftreten von allergischen Symptomen.<sup>10</sup> Dennoch ist bekannt, dass in Jahren mit niedriger Pollenbelastung entsprechend seltener Heuschnupfensymptome auftreten.<sup>8</sup> Pollen dienen jedoch nicht ausschließlich als Allergentransporter sondern transportieren auch andere biologisch aktive Substanzen wie z. B. Pollen assoziierte Lipidmediatoren (kurz: PALMs).<sup>115</sup> Außerdem besitzen sie antioxidative Aktivität.

Pollen beinhalten proinflammatorische Substanzen (Eikosanoide) beinhalten, die sie unter bestimmten Bedingungen freisetzen können. Die Sezernierung der Eikosanoide korreliert hierbei eng mit der Luftschadstoffbelastung, der die Bäume zuvor ausgesetzt werden.<sup>5,10</sup>



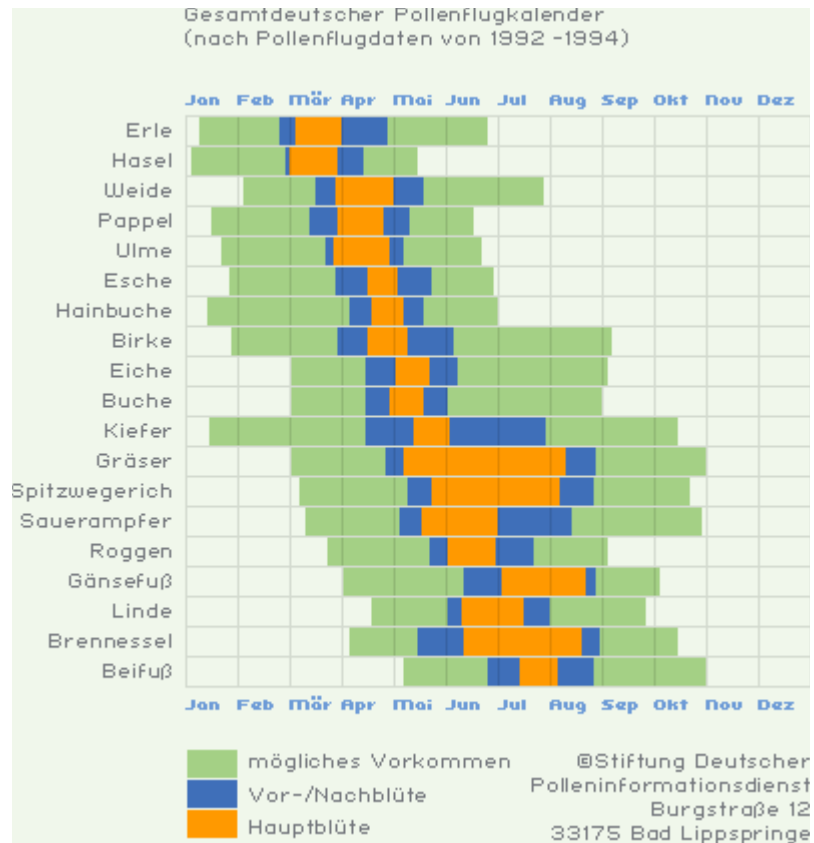
**Abbildung 1.5.1:** Mit Partikeln der Umluft beladene *Betula verrucosa*- und *Fraxinus excelsior*-Pollen im Rasterelektronenmikroskopischen Bild

Birkenpollen werden von den Stamina („Staubblättern“) innerhalb des Birkenkätzchens produziert. Die Stamina bestehen aus einer Anthere und einem Filament. In der Anthere befinden sich Pollensäcke, in denen die Pollen sich entwickeln und aus denen sie später abgegeben werden. Die Abgabe von Pollen über die Anthere bezeichnet man als Anthesis. Hierbei entstehen nach Reife des Pollen und bei Trockenheit Öffnungen in der Antherenwand durch die der Pollen entweichen kann.<sup>14</sup>

In der zu befruchtenden Pflanze interagiert der Pollen mit dem so genannten Stigma der Pflanze. Hierbei kommt es zur Hydrierung des Pollens und zur Ausbildung eines sich schnell verlängernden Pollenschlauchs. Hierüber werden das Cytoplasma, der vegetative Nukleus und die Spermazellen des Pollen zur Eizelle der Pflanze transportiert.<sup>4,50</sup>

### 1.5.1 Pollenflug

Durch flächendeckende Verwendung und Auswertung von Burkardpollenfallen wird der Pollenflug in Deutschland kontinuierlich beobachtet und dokumentiert.



**Abbildung 1.5.2:** Gesamtdeutscher Pollenflugkalender  
(nach Pollenflugdaten von 1992-1994) <sup>100</sup>

Der Pollenflug wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst. Meteorologische Parameter beeinflussen den Start, die Dauer, die Intensität und das Ende der Pollenflugsaison.<sup>34</sup> Es lassen sich in Deutschland deutlich regionale Unterschiede im Blühverhalten der Bäume erkennen.<sup>59</sup>

An der Küste beginnt der Pollenflug generell 2- 3 Wochen früher als in Bergregionen.<sup>22</sup> Der Pollenflug scheint sich zu verändern. So hat in den letzten Jahren in Europa eine Verschiebung des Blühbeginns der früh blühenden Bäume (Hasel, Erle, Birke) statt gefunden. Durch die steigenden Wintertemperaturen beginnt die Blüte dieser Bäume von Jahr zu Jahr früher.<sup>8,28,94</sup> Darüber hinaus zeigte sich eine Verlängerung der Blühsaison in den letzten Jahren.<sup>67</sup>

Bei einer Analyse des Birkenpollenfluges in fünf europäischen Großstädten im Zeitraum zwischen 1976 und 1993<sup>94</sup> zeigten sich folgende Tendenzen:

- Die Summe der pro Pollensaison in der Luft gezählten Pollen in allen fünf Städten schwach an.
- Die Jahresgesamtsommen des Pollenflugs zeigten einen Rhythmus von Jahren mit starker und schwacher Pollenbelastung. Dieser Grundrhythmus wurde immer wieder durch ein asynchrones Jahr unterbrochen. Nach jeweils zehn Jahren zeigte sich eine generelle Verschiebung des Grundrhythmus.
- Die Außentemperatur während der Pollenentwicklung in der Pflanze hatte entscheidenden Einfluss auf den Zeitpunkt des Beginns der Pollenflugsaison.

Eine andere Auswertung des Birkenpollenflugs der letzten 30 Jahre in unterschiedlichen Städten in Europa bestätigte, dass der Blühbeginn für Birken pro Jahrzehnt 5- 10 Tage früher beginnt.<sup>31</sup>

In einer 10- Jahresstudie bezüglich des Birkenpollenfluges in Island zeigte einen Dreijahresrhythmus, d.h. auf zwei Jahre mit wenig Pollenflug über die gesamte Zeit der Pollination folgte ein Jahr mit starkem Pollenflug während dieser Periode. Die Stärke des Birkenpollenflugs schien darüber hinaus nur durch die Länge der Wachstumsphase im vorangegangenen Jahr signifikant beeinflusst zu sein, d.h. durch die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 7,5°C im vorangegangene Jahr während der Infloreszenzeinleitung.<sup>39</sup>

Auf die Blüte der Gräser ist neben der Temperatur ebenso der Niederschlag ausschlaggebend.<sup>8</sup>

Im Durchschnitt kann man schon 5,7 Tage vor der Birkenblüte Birkenpollen in der Umluft nachweisen. Bei Gräserpollen stimmen Blühbeginn und der Beginn des Pollenflugs fast genau überein.<sup>32</sup>

Zu einem Anstieg der Allergenkonzentration in der Luft kommt es teilweise bereits schon zwei Wochen vor dem aerobiologisch bestimmten Beginn der Pollenflugsaison.<sup>79</sup>

Die Dauer der Hauptsaison des Birkenpollenflugs kann je nach Temperatur zwischen zwei und acht Wochen variieren.<sup>22</sup>

In den meisten Ländern sind Pollenzählungen zur Vorhersage der Allergenbelastung erhältlich. Seit 1983 werden in Deutschland flächendeckend Pollenzählungen und unter Einbeziehung der Wettervorhersage auch Pollenflugvorhersagen erarbeitet.

Um möglichst genaue Pollenflugvorhersagen machen zu können, ist es wichtig neben dem Wetter auch phänologische Daten, umgebende Vegetationsformen, topografische und aerobiologische Daten in die Modelle einzurechnen.<sup>34</sup>

## 1.6 Allergene

Antigene, die zu einer allergischen Reaktion des Körpers führen, nennt man Allergene. Pollenallergene – die wichtigsten Aeroallergene - sind wasserlösliche Proteine oder Glykoproteine mit einem Molekulargewicht zwischen 10 und 70 kD.

Im Falle einer Typ 1-Allergie führt der Kontakt mit Allergenen zu einer IgE-vermittelten allergischen Reaktion. Hierbei bestimmt die Löslichkeit eines Allergens die Stärke seiner Allergenität.<sup>38,120</sup> Außerdem wird die Allergenität von Pollen durch genetische und umweltbedingte Faktoren beeinflusst.<sup>3</sup>

Weiterhin vermutet man funktionale Eigenschaften von Pollen wie z.B. eine Enzymaktivität zur Induktion der allergischen Entzündung durch Irritation der Schleimhautoberfläche.<sup>12</sup> Die biologische Funktion der einzelnen Allergene ist noch nicht abschließend geklärt.<sup>56</sup>

Die häufigsten Sensibilisierungen liegen in Deutschland gegen die Aeroallergene von Lieschgras (58%), Birkenpollen (47%), Beifuss (23%) und Hausstaubmilben (23-25%) vor, gefolgt von Katzenepithelien (22%) und Hundepithelien (19%).<sup>45</sup>

Unsere Studien beschäftigten sich mit dem Hauptallergen der Birkenpollen Bet v 1 und einem Allergen der Gräserpollen Phl p 5.

### 1.6.1 Bet v 1- Ein Allergen der Birke (*Betula verrucosa*)

Birkenpollen sind der häufigste Verursacher einer allergischen Rhinitis in Nord-, Zentral und Osteuropa denn Birken produzieren Pollen mit hoher allergischer Potenz und bevorzugen für ihr Wachstum feuchte, kühle und nährstoffarme Gegenden.<sup>20,22</sup>

In Deutschland waren 1996 ca. 20% einer Studienpopulation von 1159 Erwachsenen sensibel auf Birkenpollen.<sup>74</sup> 90% der Birkenpollenallergiker in Nordeuropa sind hierbei allergisch auf das Protein Bet v 1, ein kleiner Teil ist zusätzlich allergisch auf Bet v 2 (12- 30%) oder Bet v 4 (5- 11%). Von Land zu Land variiert das Profil der IgE-Reaktivität gegenüber den Bet v -Allergenen.<sup>70</sup>

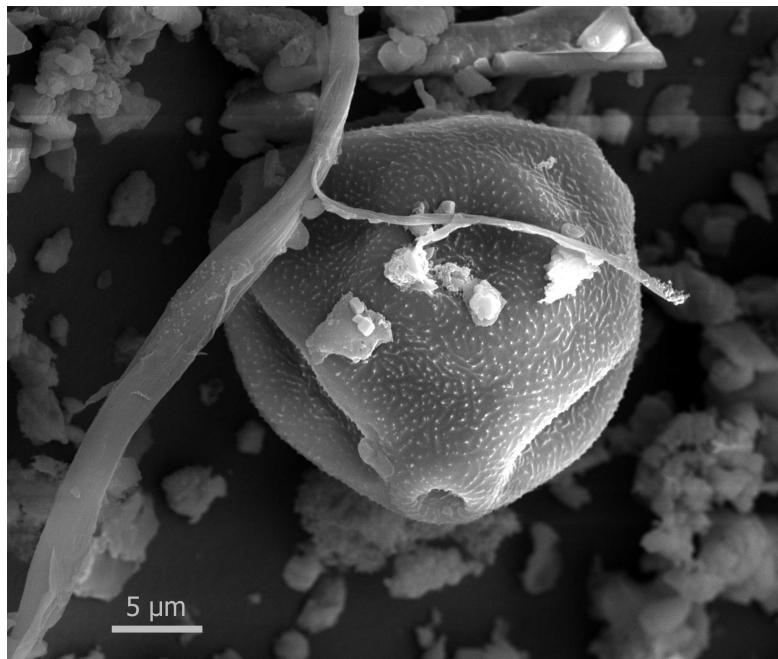
Das von uns untersuchte Bet v 1 stellt ungefähr ein Drittel des von Birkenpollen freigesetzten Proteins dar.<sup>10</sup> Das Protein hat ein Gewicht von 17,4 kD.<sup>17,105</sup> Aktuell sind

37 Isoformen von Bet v 1 bekannt. Hierbei ist Bet v 1.0101 die dominanteste Isoform, die ca. 50% des Bet v 1- Gehaltes von Pollen ausmacht.

Die Proteine der Bet v 1 Familie sind wichtig für die Entwicklung und Abwehr der Pflanzen und führen somit zu einem längeren Überleben der Birken.<sup>64</sup> Eine Funktion als Steroidtransporter wird diskutiert. Bet v 1 wird von einigen Autoren auch als Stressprotein bezeichnet, da der Bet v 1- Gehalt von Pollen und Birkenblättern bei schlechten Umweltbedingungen wie z.B. Lichtmangel im Schatten oder Luftverschmutzung ansteigt.<sup>30,44</sup> Darüber hinaus zeigte sich eine 55%-ige Homologie von Bet v 1 mit einem Stressprotein von Bohnenpflanzen.

Versuche unserer Arbeitsgruppe zeigten, dass der Bet v 1- Gehalt des Pollen vor Ende des Reifungsprozesses und somit vor Beginn des Pollenflugs dramatisch ansteigt. Diese Beobachtung bestätigen auch andere Autoren.<sup>105</sup> Die besonders gute Löslichkeit von Bet v 1 in feuchtem Ambiente führt zu einer hohen Allergenität.<sup>120</sup>

Es besteht eine Kreuzreaktivität von Bet v 1 mit Allergenen anderer Frühblüher wie Erle und Hasel.<sup>31,106</sup>



**Abbildung 1.6.1:** *Betula verrucosa* -Pollen im Rasterelektronenmikroskopischen Bild mit Partikeln der Umluft

Der Bet v 1- Gehalt pro mg Birkenpollen kann innerhalb eines Baumes variieren.<sup>48</sup>

In vorangegangenen Versuchen unserer Arbeitsgruppe zeigten sich erhebliche regionale Unterschiede im Bet v 1-Gehalt von Birkenpollen. Weiterhin zeigte sich, dass

der Bet v 1-Gehalt von Pollen eines einzelnen Baumes auch stark von Pollenflugsaison zu Pollenflugsaison schwankt.<sup>16</sup>

Auch andere Arbeitsgruppen beobachteten eine Variation des Allergengehalts von Pollen unterschiedlicher Bäume.<sup>53</sup> Als Hauptursache hierfür wurden Unterschiede im Standortklima und genetische Diversitäten der einzelnen Bäume vermutet. Allerdings wurde auch der Einfluss von Luftverschmutzung auf die Allergenexpression in Pollen nicht ausgeschlossen.

### **1.6.2 Phl p 5- Ein Allergen der Gräserpezies *Phleum pratense***

Zur Gattung der Gräser (*Poaceae*) gehören mehr als 600 Genera und über 10.000 Spezies (z.B. *Alopecurus*, *Dactylis glomerata*). Eine Spezies, die man in Deutschland häufig findet, ist *Phleum pratense*.

Gräserpollenallergene sind die häufigste Ursache einer Pollen induzierten Pollinosis in Gesamt- Europa.<sup>20</sup>

Das Allergen Phleum p 5 im Zytoplasma des Pollenkorns und auf der Oberfläche der Exine lokalisiert ist.<sup>10</sup>

### **1.6.3 Findet man Allergene auch außerhalb von Pollen?**

Schon lange ist neben der Pollenflug bedingten atopischen Rhinitis der Zusammenhang zwischen Pollenflug und asthmatischen Symptomen bekannt.<sup>55</sup>

Allergische Symptome in Nase, Augen und auf der Haut können gut durch den direkten Kontakt mit intakten Pollen erklärt werden, da diese Bereiche für Pollen gut zu erreichen sind. Unklar ist allerdings wie Pollen eine Überempfindlichkeit in den unteren Atemwegen im Sinne eines Asthma bronchiale auslösen können, da alle Partikel, die einen aerodynamischen Durchmesser  $> 10 \mu\text{m}$  besitzen – wie Pollen- in den oberen Luftwegen festgesetzt werden.<sup>116</sup> Weiterhin treten Symptome des allergischen Asthmas auch nach Beendigung oder außerhalb der Pollenflugsaison auf. Die Frage der Penetration der Atemwege durch Pollen wird deshalb sehr kontrovers diskutiert.<sup>21,33</sup>

Bereits 1873 vermutete Blackley Luftströme mit „freier granulomatöser Substanz“ als Auslöser des „Heu-Asthmas“.<sup>22</sup>

Der sichere Nachweis von Allergenen in Partikelfractionen der Umluft die kleiner sind als  $10 \mu\text{m}$  könnte eine Erklärung für die Entstehung von Pollenasthma sein. Hierdurch könnte die Diskordanz zwischen atmosphärischen Pollenkonzentrationen und allergischen Symptomen erklärt werden.<sup>13,33</sup>



Zu den möglichen Allergenträger in Partikelfractionen, die kleiner als Pollen sind, werden gezählt <sup>21</sup>:

- Pollenfragmente <sup>15</sup>
- Stärkegranula (0,5- 2,5  $\mu\text{m}$ ), die Allergen beladen sind und unter feuchten Bedingungen aus den Pollen in die Atmosphäre entlassen werden.<sup>90</sup>
- Teile der Pflanze, die nicht Pollen sind und trotzdem Allergen tragen ( z.B. Blatteile)
- Anorganische Partikel, die durch physikalischen Kontakt Allergene aufgenommen haben. <sup>57</sup>

Birken-, Gras- und auch Eichenpollen besitzen an ihrer Oberfläche Öffnungen durch die Allergene aus dem Pollen heraus gelangen können und so zur Entstehung von kleineren allergenhaltigen Partikeln führen können.<sup>49</sup>

Darüber hinaus könnten kleinste Allergen beladene Partikel durch die Fragmentierung von Pollen entstehen.<sup>24,35,36,112</sup>

Außerdem spielt eine hohe Luftfeuchtigkeit bei der Entstehung von kleineren allergenhaltigen Partikeln eine bedeutende Rolle.<sup>36,37</sup> Es konnte gezeigt werden, dass Bet v 1 nach Hydratation aus Birkenpollen entweicht. Auf der Oberfläche eines trockenen Birkenpollen ist kein Bet v 1 ist detektierbar.<sup>38</sup>

Bereits 1740 beobachtete John Needham eine Ruptur von Pollen beim Kontakt mit Wasser. Er vermutete darin eine Funktion für die Fortpflanzung. <sup>114</sup> Heute misst man der Pollenruptur keine biologische Funktion mehr bei.

SPIEKSMÄ et al. zeigten 1990 Graspollenallergene in der Atmosphäre als Partikel der Größe 20- 55  $\mu\text{m}$  Durchmesser (Pollenkorn) bis <2,5  $\mu\text{m}$  Durchmesser (feine Partikel, PM 2,5).<sup>96</sup> Sie identifizierten die kleineren Partikel (0,5- 2,5  $\mu\text{m}$ ) als Stärkegranula, die in die Umluft freigesetzt werden wenn ein Graspollen bei Regen rupturiert.

GLOVSKY et al. konnten 2003 Pollenfragmente der Größe 30 nm- 4  $\mu\text{m}$  nachweisen, die nach Hydratation von Pollen entstanden.<sup>36</sup>

Andere Autoren bestätigten die Beobachtung, dass Graspollen rupturieren, wenn sie einige Minuten befeuchtet werden. Cytoplasmafragmente, die Allergen enthalten, entweichen daraufhin und werden durch trockene Winde aufgewirbelt. So entsteht ein respirables Allergen geladenes Aerosol. <sup>103,104,112</sup>

Im Jahr 2004 konnte dies auch für frische Birkenpollen gezeigt werden.<sup>111</sup> Diese rupturierten nach drei Stunden in feuchtem Ambiente noch während sie in den geöffneten Antheren des Birkenkätzchens saßen. Die hierbei frei werdenden Cytoplasmafragmente waren gut atemwegsgängig (Größe 30 nm- 4 µm) und beinhalteten das Allergen Bet v 1.

Andere Autoren konstatierten, dass Birkenpollen nicht als Ganzes rupturieren sondern die Oberfläche von Birkenblättern unter trockenen Bedingungen mit Pollen behaftet wird und diese nach leichtem Regenfall Pollenschläuche ausbilden, welche dann rupturieren und ihr Allergen in Form von kleinen Partikeln in der Luft verteilen.<sup>91</sup>

Das Auftreten dieser mit Bet v 1 beladenen Cytoplasmafragmente – auch Stärkegranula- zeigte auch klinische Relevanz.<sup>90</sup> Hierbei reagierten die Sera von Bet v 1- sensibilisierten Patienten in der Immunoblot-Analyse auf Bet v 1-haltige Stärkegranula, die zuvor identifiziert und gefiltert worden waren.

## 1.7 Luftverschmutzung

Viele Theorien schreiben der Luftverschmutzung eine entscheidende Bedeutung beim Erzeugen von Allergen geladenen Partikeln zu.

Man unterscheidet hierbei zwei Typen der Luftverschmutzung<sup>9,82</sup>:

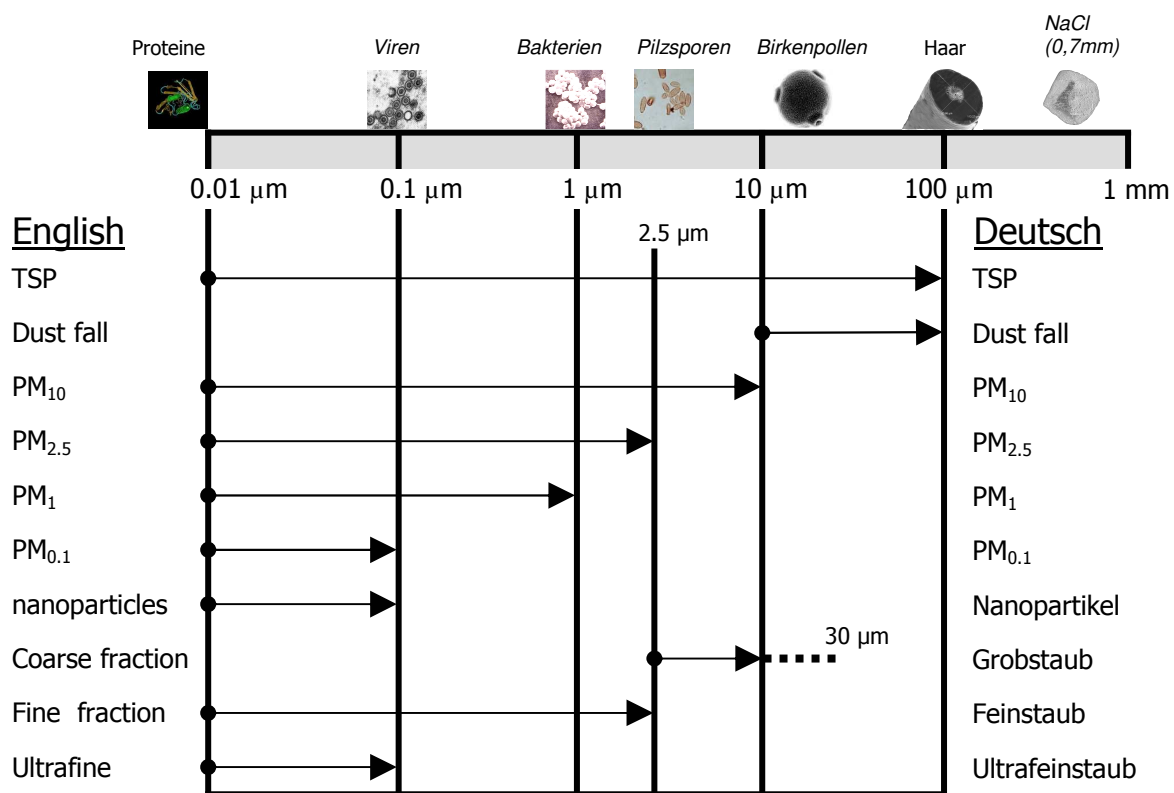
- Typ 1: Klassische Luftverschmutzung, Charakterisierung durch primäre Schadstoffe wie Schwefeldioxid, grobe Partikel und Staub. Das Vorhandensein dieser Stoffe in der Umluft war charakteristisch für die Länder des ehemaligen Ostblocks und assoziiert mit dem Auftreten von Entzündungen und Infektionen im unteren Respirationstrakt. Sie hat keinen Einfluss auf das Entstehen von allergischen Erkrankungen beim Menschen.
- Typ 2: Charakterisierung durch primäre und sekundäre Schadstoffe, deren Emission sowohl durch Innenraum- wie auch Außenraumquellen erfolgt, wie zum Beispiel Nitrogenoxide, Ozon, Tabakrauch, feine und ultrafeine Partikel, Dieselrußpartikel. Das Vorhandensein dieser Stoffe in der Umluft ist assoziiert mit dem Auftreten von allergischer Sensitivierung und dem Auftreten einer Atopie.

### 1.7.1 Schadstoffpartikel in der Umluft

Die Bezeichnung PM („particulate matter“) beinhaltet sowohl feste als auch flüssige Partikel in der Umluft, die aus einer lokalen Verschmutzungsquelle stammen (Autoemissionen, industriellen oder häusliche Verbrennungsprodukte).

In der westlichen industrialisierten Welt besteht APM („Airborne particulate matter“) aus mehr als 700 organischen Substanzen, die an Partikel adsorbiert sind, deren Kern entweder aus Mineralstoffen oder aus organischem Material besteht.<sup>5</sup>

Die Nomenklatur von Umluftpartikeln (PM) verdeutlicht nachfolgende Graphik:

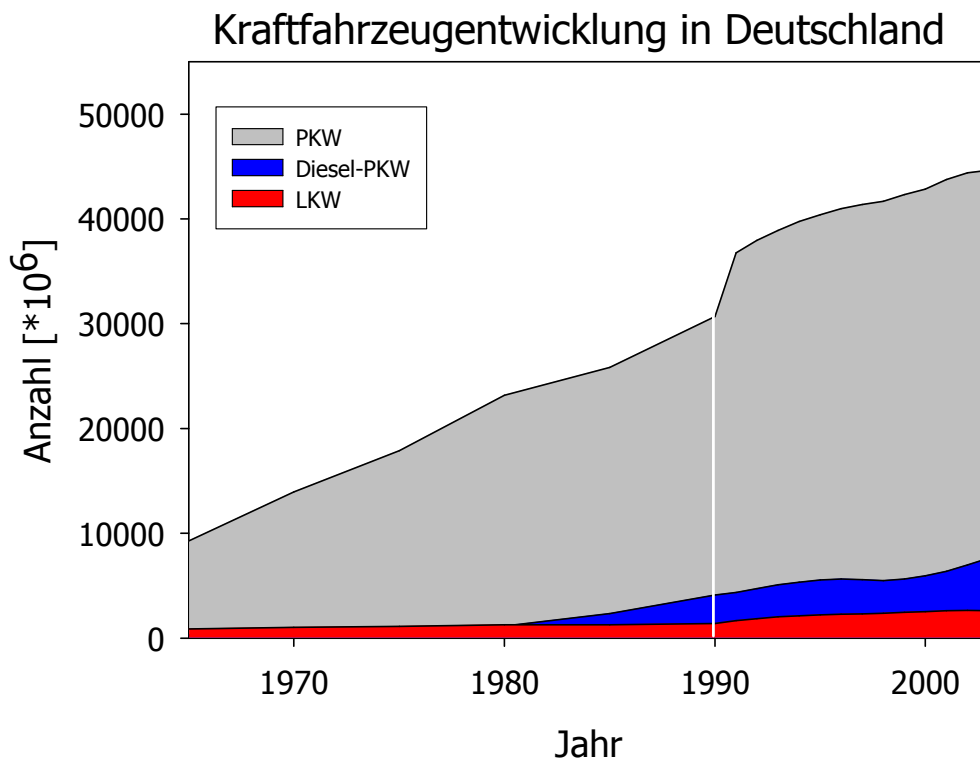


**Abbildung 1.7.1:** Nomenklatur von Partikeln  
(mit freundliche Genehmigung von Prof. Dr. J. Buters)

Die feinen Partikel entstehen durch industrielle Abgase, Emissionen von Kraftfahrzeugen, Reifenabrieb und entstehende Abfallstoffe bei der Verbrennung von Holz und Kohle.<sup>57</sup>

In den letzten Jahren haben in Deutschland die gemessenen Grobstaubemissionen abgenommen, wohingegen feine (< 2,5 µm) und ultrafeine (< 0,1 µm) partikuläre

Luftverunreinigungen zugenommen haben.<sup>60</sup> Eine wichtige Quelle der Feinstaubfraktion der Außenluft ist dabei der von Dieselmotoren emittierte Ruß.<sup>97</sup>

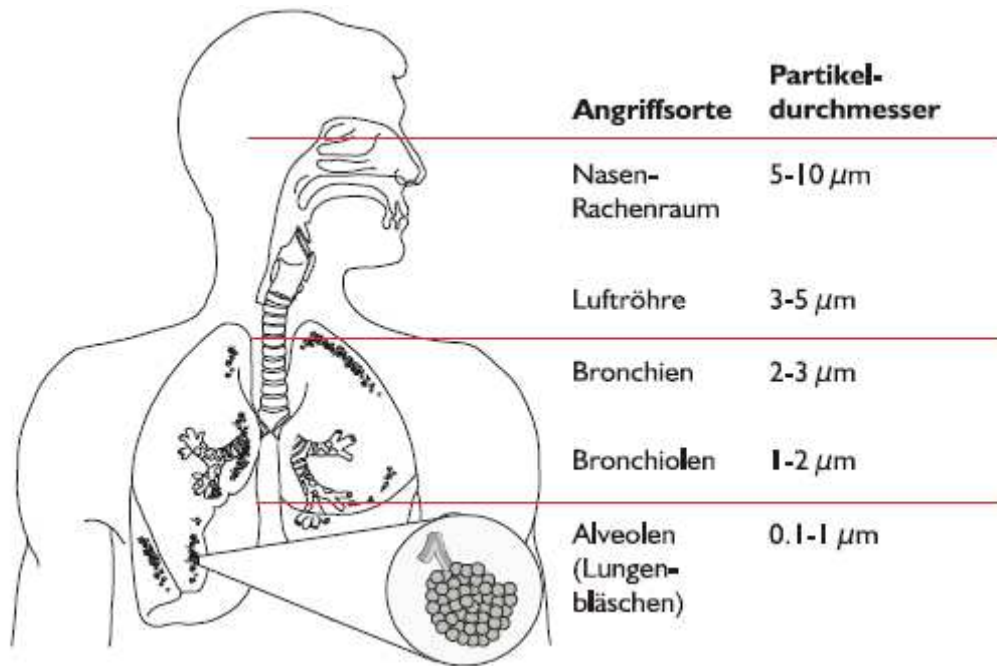


**Abbildung 1.7.2:** Kraftfahrzeugentwicklung in Deutschland  
(Verkehr in Zahlen 2005, Bundesamt für Statistik)

Die Penetration des Tracheobronchialsystems durch PM ist neben der Partikelgröße von der Effizienz der Abwehrmechanismen der Atemwege („mucociliare clearance“) abhängig.

Partikel, die einen mittleren Durchmesser größer als 10  $\mu\text{m}$  besitzen, wie zum Beispiel Pollen, werden im oberen Respirationstrakt abgelagert. Partikel, die einen mittleren Durchmesser kleiner als 10  $\mu\text{m}$  besitzen, können die unteren Atemwege penetrieren.<sup>18</sup>

Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5  $\mu\text{m}$  und kleiner (feine partikuläre Luftverschmutzung wie zum Beispiel Dieselrußpartikel) können tief inhaliert werden und stellen somit ein großes Gesundheitsrisiko dar, da sie wegen Ihrer großen Oberfläche besonders toxisch sind.<sup>77</sup> *Abbildung 1.7.3.* veranschaulicht dieses Phänomen.



**Abbildung 1.7.3:** Grafische Darstellung verschiedener Depositionsorte im Atemtrakt des Menschen für diverse Partikelgrößenklassen in der Atemluft<sup>118</sup>

Viele Studien zeigen, dass hohe Umluftkonzentrationen von PM 10 und PM 2,5 in einem Zusammenhang mit der Inzidenz von Asthmaanfällen und anderen respiratorischen Symptomen stehen.<sup>11,23,25,29,33,52,92</sup>

So wurde ein verstärktes Auftreten von Symptomen allergischer Rhinokonjunktivitis bei sensibilisierten Patienten bei erhöhten Umluftkonzentrationen von Verschmutzungspartikeln beobachtet.<sup>81</sup>

Auch zeigte sich eine Relation zwischen der Prävalenz von Asthma bei Kindern und der Nähe ihres Wohnhauses zu einer stark befahrenen Straße.<sup>93</sup>

Zusätzlich zeigten zahlreiche In-vivo-Experimente mit Tieren den adjuvanten Effekt von Dieselrußpartikeln bei allergische Reaktionen.<sup>68,72,84,108,109</sup>

Hierbei werden drei Mechanismen der Verstärkung einer Allergie bei hoher APM-Exposition beschrieben:<sup>60</sup>

- Erhöhung der allergenspezifischen IgE-Synthese in sensibilisierten oder prädisponierten Individuen
- Entzündliche und irritative Wirkungen auf die Schleimhäute
- Modulation der Allergenfreisetzung aus natürlichen Allergenträgern (Pollen).

## 1.8 Mögliche Interaktion von Pollen und APM

Hohe Konzentrationen von Pollen und Verschmutzungspartikeln in der Luft treten häufig gemeinsam auf, da sie in ihrer Verteilung von den gleichen Parametern beeinflusst werden: Luftströme, Windgeschwindigkeit, Turbulenzen und Stabilität, aber auch Temperatur, Präzipitation und Topographie der Umgebung.<sup>30</sup>

Viele Autoren vermuten eine Interaktion zwischen APM und Aeroallergenen, die deren Allergenität erhöht und zum Vorhandensein von kleinsten Allergen geladenen Partikeln führt.<sup>18,20,69,71,103</sup>

Für die Freisetzung von Allergen aus Pollen gibt es drei Auslöser:<sup>7</sup>

1. Hohe relative Luftfeuchtigkeit
2. Gewitter und heftiger Regen
3. Luftverschmutzung

Hierbei könnte die Interaktion von Allergen und Partikel auf zwei verschiedenen Ebenen statt finden<sup>7</sup>:

- auf Schleimhautniveau innerhalb des Respirationstraktes eines sensibilisierten Individuums
- außerhalb des Individuums in der Umluft

Feine Partikel als Zeichen der Luftverschmutzung könnten mit Pollen interagieren, und möglicherweise die Freisetzung von Allergen aus den Pollen modifizieren oder als Allergencarrier fungieren.

Darüber hinaus wirken sie in den unteren Luftwegen als Trigger der allergischen Reaktion z. B. bei der Induktion einer Entzündung der Atemwege.<sup>18,19,27,107,115,117</sup>

In einer Studie zeigte sich 1992, dass Haselpollen, die von Sträuchern gesammelt wurden, die nahe einer dicht befahrenen Straße wuchsen, mit Agglomeraten von APM an der Oberfläche beladen waren, wohingegen Haselpollen, die von Sträuchern

gesammelt wurden, die in einem Park wuchsen, gänzlich frei von diesen Agglomeraten von APM waren. Die APM, die Agglomerate auf der Pollenoberfläche bildeten waren kleiner als 5  $\mu\text{m}$ .<sup>6</sup>

Weiterhin wurde beobachtet, dass Allergene von Bäumen einfacher auf der Pollenoberfläche freigesetzt werden, wenn sie vorher gasförmigen Luftverschmutzungen ausgesetzt waren.<sup>63</sup>

Es zeigte sich, dass Substanzen, die an Pollen adsorbiert werden, dort eine Agglomeration von weiteren Partikeln vermitteln können.<sup>5,7</sup> Dies führt zu einer Voraktivierung der Pollen und darauf folgend - unter bestimmten Bedingungen wie hoher Luftfeuchtigkeit u.s.w.- kommt es zu einer Induktion der Freisetzung von im Pollen vorhandenem Allergen. Dieses freigesetzte Allergen kann dann wiederum an Schadstoffpartikel gebunden werden. Dadurch fungieren die Partikel nicht ausschließlich als Schadstofftransporter, sondern auch als Allergentransporter. Ebenso dienen Pollen auch als Schadstofftransporter von agglomerierten Partikeln.<sup>5</sup>

Bei in-vitro-Versuchen zeigte sich eine erhöhte Ausschüttung von Allergenen aus Pollen, die in einer wässrigen Lösung von Luftschadstoffpartikeln inkubiert worden waren.<sup>7</sup> Im Gegensatz dazu zeigten nachfolgende Versuche eine reduzierte Allergenfreisetzung aber erhöhte Freisetzung bioaktiver Lipidmediatoren von Pollen, die in stark Schadstoff belasteten Stadtgebieten gesammelt worden waren.<sup>10,116</sup>

Andere Autoren beobachteten, dass in-vitro das Graspollenallergen Lol p 1 an Dieselrußpartikel (DECP) binden kann, hingegen Lol p 5 nicht. Es zeigte sich, dass die kleinen mit viel Lol p 1 beladenen DECPs (30- 60 nm Durchmesser) Aggregate bilden können, die einen Durchmesser von 1- 2  $\mu\text{m}$  erreichen. Möglicherweise könnte dies zu einer Aufkonzentrierung von Allergenen in verschmutzter Luft führen und dadurch Trigger für Asthma sein.<sup>57</sup>

Die Allergene Bet v 1 (Birke), Fel d 1 (Katze), Can f 1 (Hund) und Der p 1 (Hausstaubmilbe) können an Dieselpartikel binden. Durch das große Verhältnis von Oberfläche zu Volumen könnten Allergen tragende Rußpartikel als Depot für in die Luftwege gebrachte Allergene dienen.<sup>75</sup>

Mit einer Immunogold-labeling-Methode konnte die Bindung von verschiedenen Allergenen an Dieselrußpartikel 2006 auch visuell nachgewiesen werden.<sup>71</sup>

Ein Nachweis von an Partikeln gebundenem Allergen mittels Antikörperbindung auf Präparaten für das Rasterelektronenmikroskop gehört zu den geplanten Folgeversuchen unseres Institutes.

## **1.9 Wettereinflüsse auf Pollenflug und Allergenkonzentration in der Umluft**

Das Wetter scheint bei der Interaktion zwischen APM und Aeroallergenen eine wichtige Rolle zu spielen. So zeigte sich schon in einer Studie von 1979 ein Zusammenhang zwischen meteorologische Faktoren wie Wind und hohen Pollenkonzentrationen in der Luft, sowie zwischen hohen Pollenkonzentrationen und verstärktem Auftreten von Asthmasymptomen bei sensibilisierten Kindern in Australien.<sup>46</sup> Für viele Autoren ist jedoch Regen als meteorologischer Einflussfaktor entscheidend.<sup>69</sup>

Laut einiger Autoren besteht ein zeitlicher Zusammenhang von Regen und Allergengehalt in der Luft. So stieg in einer Untersuchung der Gehalt von allergenhaltigen Stärkepartikeln ( $< 5 \mu\text{m}$ ) in der Luft nach starkem Regen um das 50-fache an. Leichter Regenfall führte ebenso zu einer Steigerung des Allergengehalts in der Luft, besonders wenn auf einen leichten Schauer trockenes und windiges Wetter folgte. Während eines starken Regenschauers waren Allergengehalt sowie Pollenzahl in der Luft hingegen deutlich verringert.<sup>49,88,103</sup>

Andere Autoren gehen von einer differenzierteren Beeinflussung der Aeroallergene durch das Wetter aus. Sie zeigten einen starken Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit während des stärksten Pollenflugs. Vor und nach dieser Phase konnten sie keinen konkreten Einfluss dieser beiden Parameter auf die Allergenkonzentration feststellen.<sup>76</sup>

In einer Auswertung von in den Jahren 1993-1996 gesammelten Daten in Derbyshire UK zeigte sich ein Zusammenhang zwischen Graspollenflug und Wetter sowie der Notwendigkeit einer Versorgung von Asthmaanfällen in der Aufnahmestation von



Kliniken. Ein Anstieg des gezählten Pollenfluges war hierbei besonders bei leichtem Regenfall zu beobachten.<sup>61</sup>

## 1.10 Thunderstorm-Asthma

Aufgrund des Zusammenhangs von Wetter und asthmatischen Symptomen entwickelte sich der Begriff „Thunderstorm-Asthma“. Hierbei ist wahrscheinlich die Kombination von Regen mit darauf folgendem starkem Wind entscheidend. Während des Regens werden die Pollen angefeuchtet, rupturieren und entlassen mehr als 700 Stärkepartikel / Pollen (< 3 µm Durchmesser) in die Umwelt. Der darauf folgende Wind führt zu einer Suspension der feinen Partikel in die Luft, so dass deren Gehalt um das 50-fache ansteigen kann. Diese Partikel können die Atemwege penetrieren und lösen bei sensibilisierten Patienten Asthmasymptome aus.<sup>104</sup>

Im Juli 1994 kam es in London zu einem gehäuften Auftreten von asthmatischen Symptomen nach einem Gewitter. Hierbei wurden mehr als 1000 Asthmakranke in den Notaufnahmen der Krankenhäuser registriert, von denen viele aus zusätzlich stark Luft verschmutzten Gebieten kamen.<sup>57</sup>

Als Ursache hierfür wurde eine Aufkonzentrierung von Allergen geladenen Partikeln durch bestimmte Arten von Luftströmen während eines Gewitters vermutet.<sup>65</sup> Es zeigte sich eine Korrelation zwischen dem Auftreten von ausströmender kalter Luft verbunden mit einem starken Abwind eines Gewitters, einem Ansteigen des Graspollenflugs und der Inzidenz von Asthmaepidemien. So entstand die Hypothese, dass Pollen und Partikel durch die kalten Luftströme des Gewitters mitgerissen werden und sich kurz oberhalb des Erdbodens aufkonzentrieren.

2004 wurde der Mechanismus des „Thunderstormasthmas“ noch genauer beschrieben:<sup>114</sup>

Trockene Aufwinde während eines Gewitters transportieren die Pollen in die Basis der Wolken, wo eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit herrscht. Dort rupturieren die Pollen und bilden atemwegsgängige Partikel aus Zelltrümmern und Fragmenten. Diese werden daraufhin mit kalten Abwinden wieder Richtung Erdoberfläche transportiert. Dort werden sie durch kalte Winde verteilt, d.h. vom Zentrum des Gewitters entfernt. Darüber hinaus rupturieren durch die hohe Luftfeuchtigkeit im Zentrum des Gewitters weiter Pollen am Boden die wiederum als Partikel in trockenen Aufwinden Richtung Wolken transportiert und dann ebenso wieder an die Erdoberfläche zurücktransportiert werden. So kommt es

zu einer Aufkonzentrierung von kleinen Allergen geladenen Teilchen kurz oberhalb der Erdoberfläche. Diese hohe Partikellast verbunden mit kalter, feuchter Luft führt zu einer akuten, deutlichen Verschlechterung von Asthmasymptomen bei Patienten mit hyperreaktiven Atemwegen. Verschmutzungspartikel wurden hierbei als Immunoadjuvantien beschrieben.<sup>113</sup>

Aufgrund dieser Erkenntnisse, besteht wahrscheinlich eine erhöhte Gefahr einer Exazerbation eines allergisch bedingten Asthmas bei sensibilisierten Patienten bei Gewitter während der Pollenflugsaison.<sup>22</sup>

## 1.11 Zielsetzung der Arbeit

Die Prävalenz von atopischen Erkrankungen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Hierbei wurde unter anderem der Zusammenhang zwischen hoher Allergenbelastung und dem verstärkten Auftreten von Asthmasymptomen in vielen epidemiologischen Studien gezeigt. Der genaue Mechanismus dieses Zusammenhangs wird nach wie vor diskutiert, da Pollen als Hauptallergenträger aufgrund ihrer aerodynamischen Größe nicht bis in den unteren Respirationstrakt eindringen können, wo die asthmatische Reaktion entsteht.

Der Nachweis von Allergenen in Partikelfractionen der Umluft, die kleiner sind als Pollen könnte die Pathogenese von Pollenasthma und die Diskordanz zwischen atmosphärischer Pollenkonzentration und allergischen Symptomen erklären. Hierbei werden als Transporter von Allergenen besonders Verschmutzungspartikel diskutiert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden mit Hilfe eines ChemVol® high Volume Cascade Impaktors die Partikel in der Außenluft gesammelt und nach ihrer aerodynamischen Größe aufgetrennt. Danach wurde der Allergengehalt der einzelnen Partikelfractionen in einem ELISA bestimmt und mit dem in einer Burkard-Pollenfalle gemessenen Pollenflugdaten verglichen.

Ziel der Untersuchung war es somit, die allergenhaltigen Partikel der Umluft zu identifizieren und das Verhältnis zwischen Pollenbelastung und tatsächlicher Allergenbelastung genauer zu beleuchten.

## 2 Methoden

### 2.1 ChemVol®-Sampler

Der ChemVol® High Volume Cascade Impactor <sup>26</sup> ist ein Gerät, mit dem es möglich ist, Partikel zu klassifizieren in dem man sie anhand ihrer aerodynamischen Größe auftrennt. Um viele Partikel in kurzer Zeit zu gewinnen, durchströmt den Sampler hierbei ein besonders hohes Umluftvolumen pro Zeit. Zum Sammeln der Partikel verwendet man Polyurethanschaum. Der Polyurethanschaum dient im Impaktor nicht als Filter sondern als Auffangsubstrat, da die Luft nicht durch den Schaum hindurch sondern an ihm vorbei strömt und die Teilchen je nach aerodynamischem Durchmesser mehr oder weniger stark abgelenkt werden. Je nach Ablenkung werden sie in unterschiedlichen Etagen im Schaum gesammelt. Hierbei werden weder Fett noch Klebstoffe verwendet, so dass eine Extraktion der Partikel vom Schaum leicht möglich ist.

Der Polyurethanschaum verhindert im Gegensatz zu einer glatten Oberfläche weitgehend, dass die Partikel beim Aufprall auf dem Schaum wieder abgestoßen werden (so genannter „bounce-off“). Er hat eine Auffangkapazität von 2,15 g Partikel pro cm<sup>2</sup>.

Im Jahre 2005 wurde neben dem oben beschriebenen Modell ein zusätzlicher ChemVol®-Sampler verwendet, bei dem in der oberen Etage eine Fettschicht als Auffangsubstrat diente, um den Abpralleffekt („bounce off“ und „blow off“) für Pollen fast vollständig zu unterbinden.

#### 2.1.1 Aufbau eines ChemVol®-Kopfes

Ein ChemVol®-Kopf besteht in unserem Versuchsaufbau aus drei Etagen (von oben nach unten): XL, M und S. Über der XL-Etage befindet sich ein Regenschutz, um die Vorextraktion der Pollen und allergenhaltigen Bestandteile durch Regen zu verhindern. *(siehe Abbildung 2.1.1.)*

Jede Etage besteht aus einer Platte mit drei Schlitzen, die kreisrund angeordnet sind und einer darunter montierten Aufprallplatte, die mit Polyurethanschaum bzw. Fett bestückt ist. Die Weite der Düse, die je nach Etage variiert, sowie der genau festgelegte Abstand zwischen Schlitz und Aufprallplatte führen verbunden mit einem genau definierten Umluftvolumenfluss durch den Kopf zu einer Größen definierten Abspaltung

der Partikel aus der Luft. Der Sampler wurde in der Herstellung mit polydispersen Teilchen kalibriert.



**Abbildung 2.1.1:** ChemVol®- Sampler

Der ChemVol® High Volume Cascade Impactor wurde von der amerikanischen Firma Rupprecht & Patashnick Co., Inc. (R&P) in Kooperation mit der Harvard University School of Public Health entwickelt.



**Abbildung 2.1.2:** Einzelne Etagen des ChemVol®- Samplers/ Aufsicht von oben

## 2.1.2 Erzeugung der benötigten Volumenflüsse

Für fast alle Sammlungen mit dem ChemVol®-Sampler (2003/2004/2005 ChemVol®-Kopf mit Stufe XL Fett) wurde eine Vakuumsaugpumpe der Firma Becker verwendet. Diese Pumpe ist in der Lage abhängig vom jeweiligen Widerstand einen Volumenfluss von

bis zu 1800 l/min zu erzeugen. Bei angeschlossenem ChemVol®-Sampler wurden 2005 mehrere Flussmessungen durchgeführt. (siehe Kapitel: Volumenflussmessung)

Im Jahre 2005 wurde eine weitere Pumpe verwendet, die einen Volumenfluss von 900 l/min erzeugte.

### 2.1.2.1 Volumenflussmessung der Beckerpumpe 2005

Für die Bestimmung des Volumenflusses der Beckerpumpe wurde 2005 ein Hitzdraht-Anemometer verwendet, mit dem man die Geschwindigkeit eines Luftstromes messen kann. Dieses Anemometer wurde in ein Kupferrohr montiert dessen innere Querschnittsfläche bekannt war. Die Länge des Rohres betrug einen Meter, so dass in der Mitte des Rohres - auf Höhe des Anemometers - eine annähernd laminare Luftströmung entstand. Das Rohr wurde über einen Schlauch an die Pumpe angeschlossen.

Formel zur Berechnung des Volumenflusses:

Volumenfluss = Querschnittsfläche des Rohres x Geschwindigkeit der durchströmenden Luft

Im Jahr 2005 wurde auf diese Weise elf Mal eine Volumenflussmessung durchgeführt:

**Tabelle 2.1.1:** Volumenflussmessung der Beckerpumpe

Datum	Fluss [l/min]	Mittelwert [l/min]		Mittelwert [l/min] Gesamt	Standard-Abweichung
23.03.2005	1555,54	1565,51	Birkensaison	1329,82	176,43
06.04.2005	1575,48				
14.06.2005	1405,97	1277,45	Gräsersaison		
25.06.2005	1146,71				
28.06.2005	1146,71				
30.06.2005	1346,14				
18.07.2005	1405,96				
18.07.2005	1465,79				
28.07.2005	1366,08				
29.07.2005	1076,91				
29.07.2005	1136,74				

Die hierbei pro Saison errechneten Mittelwerte wurden 2005 für die Berechnung des Allergen-Gehaltes pro Luftvolumen verwendet. Für die Jahre 2003 und 2004 wurde ein Volumenfluss von 1500l/min. angenommen.

### **2.1.3 Abscheidegrößen**

Die ChemVol®-Sampler-Köpfe sind vom Hersteller auf einen Umluftvolumenfluss von 900 l/min geeicht. Hierbei ergibt sich bei einem Fluss von 900 l/min. eine Abscheidungsgröße („50%-cut-off“; d.h. Partikeldurchmesser bei dem die Partikel-Sammel-Effizienz >50% beträgt) für die oberste Etage XL von  $PM > 10 \mu m$ , für die mittlere Etage M von  $10 \mu m > PM > 2,5 \mu m$  und für die untere Etage S von  $2,5 \mu m > PM > 0,12 \mu m$ . Partikel  $< 0,12 \mu m$  können nur mit Hilfe eines Back-up-Filters detektiert werden, der für unsere Messungen nicht zur Verfügung stand.

Aus den teilweise veränderten Volumenflüssen der Beckerpumpe in den einzelnen Jahren ergeben sich veränderte Abscheidungsgrößen für die einzelnen Impaktorstufen. Diese Veränderungen lassen sich anhand einer Formel von P. A. Baron and K. Willeke (eds.), Aerosol Measurement, Wiley, New York, 2001 berechnen.

(Bei der Umsetzung dieser Berechnungen wurden wir freundlicherweise von Dr. Otmar Schmid von der GSF/ Neuherberg unterstützt.)

Allerdings ergeben sich aus dem Verschieben der Abscheidegrößen („cut-offs“) keine drastischen Konsequenzen, da die Fraktionen weiterhin in grobe, feine und ultrafeine Partikel unterteilt werden können.



**Abbildung 2.1.3:** Einzelne Etagen des ChemVol®- Samplers mit abmontierter Aufprallplatte ohne Sammelsubstrat/ Aufsicht von unten

#### 2.1.4 Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler

Während der Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler wurden jeden Tag in der Zeit zwischen 11:30 Uhr und 12:30 Uhr die Polyurethanschaumfilter gewechselt. Diese Filter wurden vor dem Einwechseln und nach dem Auswechseln gewogen. Hierbei stellte die Gewichtszunahme der Filter einen Indikator für die Aufnahme von Partikeln aus der Luft dar. Nach dem Auswechseln und Wiegen wurden die Filter einzeln bei  $-80^{\circ}\text{C}$  eingefroren, um die Persistenz der Allergene zu gewährleisten.





**Abbildung 2.1.4:** Ausgewechselte Polyurethanschaum-Filter

Dauer der Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler:

2003: 31.03.2003 – 29.04.2003 ( Birkenpollenflugsaison)

2004: 18.03.2004 - 29.04.2004 ( Birkenpollenflugsaison)

01.06.2004 – 17.07.2004 ( Gräserpollenflugsaison)

2005: 24.03.2005 – 05.05.2005 ( Birkenpollenflugsaison)

01.06.2005 – 28.07.2005 ( Gräserpollenflugsaison)

Die Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler wurde in den Jahren 2003 bis 2005 durchgeführt. In dieser Zeit wurden einzelne Komponenten der Methoden verändert und ergänzt.

Methoden der Sammlung:

- 2003 und 2004: Es wurde ein Filterkopf verwendet, der an die Vakuumsaugpumpe der Firma Becker angeschlossen war. Der verwendete Filterkopf war in XL, M und S mit Polyurethanschaum bestückt. Die Pumpe saugte durchschnittlich ca. 1500 l/min. durch den ChemVol®-Sampler-Filterkopf.
- 2005: Die Sammlung erfolgte mit zwei ChemVol®-Samplern:  
Kopf 1: Der Filterkopf war in XL, M und S mit Polyurethanschaum bestückt. Eine Pumpe saugte durchschnittlich ca. 900 l/min. durch den ChemVol®-Sampler-Filterkopf.  
Kopf zwei: Der Filterkopf enthielt in der Etage XL eine Fettschicht; Etagen M und S waren mit Polyurethanschaumfiltern bestückt. Die Pumpe saugte durchschnittlich ca. 1350 l/min. durch den ChemVol®-Sampler-Filterkopf. Die Fettschicht wurde alle drei Tage erneuert.

### **2.1.5 Standort der ChemVol®-Sampler**

Die ChemVol®-Sampler standen auf einer Wiese auf dem Gelände der Dermatologischen Klinik der TU München am Biederstein. Die Wiese ist von allen Seiten gut zugänglich. Die ChemVol®-Sampler-Köpfe standen auf gleicher Höhe (ca. 1,80 m über dem Boden) unter einem Zeltdach, um sie vor direktem Regen zu schützen. Weiterhin wurden sie durch ein Fliegengitter vor Insekten geschützt.

*(siehe Abbildung 2.1.5.)*

Bei der Sammlung mit zwei Köpfen (2005) betrug der Abstand zwischen den beiden Köpfen ca. acht Meter. Die Burkhard Pollenfalle stand ebenfalls auf der Wiese in einem Abstand von weiteren vier Metern ca. zwei Meter über dem Erdboden.

*(siehe Abbildung 2.1.6.)*



**Abbildung 2.1.5:** ChemVol®-Sampler unter Schutzzelt



**Abbildung 2.1.6:** Aufbau von zwei ChemVol®-Samplern 2005

### 2.1.6 Extraktion des Bet v 1 bzw. Phleum p 5 von den Polyurethanschaum-Filtern

Direkt nach dem Auswechseln aus dem Filterkopf wurden alle Filter jeweils gewogen, in drei gleich große Teile geschnitten und bei  $-80^{\circ}\text{C}$  einzeln eingefroren. Hierbei wurde ein Drittel eines Filters jeweils in ein 50ml-Polypropylen-Tube (Greiner, Frickenhausen) verpackt. Die Verweildauer im Gefrierschrank betrug bis zur Extraktion ca. 4 Wochen. Zwei Drittelteile der Filter wurden extrahiert und ein Drittel von jedem Filter blieb als Backup weiterhin eingefroren. In die Tubes der zu extrahierenden Filterteile wurde zunächst Extraktionspuffer gegeben. Dieser Puffer besteht aus  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  und bovinem Serum-Albumin und hat für die einzelnen Fraktionen unterschiedliche Konzentrationen:

Für PU-Filter aus XL: 100ml  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  + 0,1g BSA = 0,1%

Für PU-Filter aus M: 100ml  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  + 0,25g BSA = 0,25%

Für PU-Filter aus S: 100ml  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  + 0,5g BSA = 0,5%

Die Filter aus der Stufe XL werden mit 15 ml Puffer pro Tube versetzt, die Filter aus der Stufe M mit 6 ml und die Filter aus der Stufe S mit 3 ml. Danach wurden die Tubes vier Stunden im Überkopfschüttler (Heidolph, Schabach) ohne Einstrahlung von Licht inkubiert. Danach wurden die Filter in eine 5000 $\mu\text{l}$ -Gilson-Pipettenspitze gesteckt. Bei den beiden kleinen Filtergrößen wurde noch zusätzlich eine kleinere Pipettenspitze in die 5000 $\mu\text{l}$ -Gilson-Pipettenspitze als Widerhalt eingelegt. Daraufhin wurden alle Tubes für vier Minuten bei 4000 rpm zentrifugiert. Dadurch wurde der komplette Extraktionspuffer aus dem Filtermaterial abzentrifugiert. Der nun trockene Filter konnte daraufhin entfernt werden.

Die so entstandenen Extrakte wurden daraufhin in 15ml-Polypropylen-Tubes überführt. Dabei wurden 10 ml vom Extrakt des XL-Filters, 5,9 ml vom Extrakt des M-Filters und 2,9 ml vom Extrakt des S-Filters transferiert. Daraufhin wurden die Tubes bei 4.700 rpm und  $4^{\circ}\text{C}$  für 10 min. erneut zentrifugiert. Für ein „Backup“ wurden je 2 ml der Extrakte von M und XL bei  $-80^{\circ}\text{C}$  eingefroren.

Je 2500  $\mu\text{l}$  der Extrakte wurden nun in ein 5ml-Präparate-Röhrchen überführt, mit 2,5  $\mu\text{l}$  bovinen Serum-Albumin versetzt und kurz gevortext. Zur Vorbereitung der Lyophilisierung wurden die Röhrchen über Nacht bei  $-80^{\circ}\text{C}$  eingefroren.

### **2.1.7 Lyophilisierung**

Der Deckel der Präparate-Röhrchen wurde vor der Lyophilisierung durch einen Lochdeckel ersetzt. Zur Lyophilisierung wurde ein Gefriertrockner der Marke Christ Alpha 1-4 genutzt. Der Lyophilisierungsvorgang dauerte bei hoher Probenanzahl ca. 80 Stunden, wobei die Proben auf -35°C heruntergekühlt wurden und ein Unterdruck von 0,1 mbar erzeugt wurde. Nach der Lyophilisierung wurde der Lochdeckel entfernt und das Röhrchen wieder mit dem normalen Deckel verschlossen. Die Lyophilisate wurden nun bis zur weiteren Verwendung bei -20°C gelagert.

Für den ELISA wurde das Lyophilisat mit 100 µl Verdünnungspuffer (BSA, PBS und Aqua bidest.) versetzt.

Für die Sammlungen ab dem Jahre 2004 wurden die Konzentrate zehnfach konzentriert.

### **2.1.8 ELISA (Enzyme linked immuno sorbent assay)**

Prinzip: Allergenspezifische Antikörper werden an eine Platte gebunden („gecoatet“). Dann wird das Allergen hinzugefügt und geht als Antigen mit den Antikörpern eine Bindung ein. Nach einem Waschvorgang wird ein biotinylierter Detektionsantikörper an die bereits gebundenen Allergene gekoppelt. An diesen Antikörper bindet nun eine mit Streptavidin gekoppelte Peroxidase. Wenn nun das Substrat TMB hinzugefügt wird, wird es von der Peroxidase umgesetzt und es kommt zu einer Farbreaktion von blau nach gelb. Diese gelbe Farbe kann nun mit dem Fotometer gemessen und quantifiziert werden. Über eine Standardkurve mit bekannten Allergenkonzentrationen kann der Allergehalt der Proben ermittelt werden.

Der ELISA wurde mit einigen Veränderungen nach dem Protokoll der Firma Allergopharma durchgeführt.

Für die Durchführung des ELISAs verwendeten wir Mikrotiterplatten (Maxisorb microtiter plate / Firma Nunc, Wiesbaden) mit je 96 Wells. Diese wurden zunächst mit Antikörpern gecoatet. Hierzu wurde jedes Well der Platte mit 100 µl Coating-Puffer befüllt und bei 4°C über Nacht stehen gelassen. Am darauf folgenden Tag wurden die Platten jeweils drei Mal mit Waschpuffer (PBS+Tween) gewaschen und anschließend ausgeklopft.

Mit Hilfe einer Standard-Allergen-Lösung, des Verdünnungspuffers und des bovinen Serum-Albumins wurde eine geometrische Verdünnungsreihe hergestellt, die später die Standardkurve ergab.

Die Konzentrationen Bet v 1 bzw. Phleum p 5 der einzelnen Standardverdünnungen waren hierbei:

**Tabelle 2.1.2:** Allergen- Standardverdünnungen

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[ng/ml]	400	200	100	50	25	12,5	6,25	3,13	1,56

Daraufhin wurden die Wells der Platten mit 100 µl der einzelnen Proben, der Standardverdünnungen, der Kontrollen und eines Blanks (Verdünnungspuffer + bovines Serum-Albumin) befüllt. Danach wurden die Platten für eine Stunde auf dem Mikrotiterplattenschüttler geschüttelt und daraufhin erneut drei Mal mit Waschpuffer gewaschen. Zur Detektion der gebundenen Allergene wurde ein biotinylierte Detektionsantikörper hinzu gegeben. Hierzu wurden 2 µl Antikörper in 200 µl Verdünnungspuffer mit BSA gegeben. Von der hieraus entstandenen Lösung wurden 180 µl mit 10,8 ml Verdünnungspuffer verdünnt und erneut BSA hinzugegeben. Daraus resultiert eine Verdünnung des Antikörpers von 1:6000. Von dieser Lösung wurden nun 100 µl in jedes Well gegeben. Jetzt wurden die Platten erneut eine Stunde bei Raumtemperatur geschüttelt.

Es folgte ein weiterer dreifacher Waschgang der Platten mit Waschpuffer. Darauf folgte eine Inkubation mit Streptavidin-Peroxidase (1:16000 Verdünnung) für 30 Minuten bei Raumtemperatur auf dem Mikrotitrierplattenschüttler.

Nach einem erneuten dreifachen Waschgang wurden die Platten mit TMB-Substrat (3,3',5,5'-Tetramethylbenzidin/ Firma Sigma, Deisenhofen) inkubiert. Hierzu wurden die Platten zügig mit 100 µl/Well befüllt und mit Alufolie bedeckt, da das Substrat lichtempfindlich ist. Für 10 Minuten wurden die Mikrotitrierplatten erneut bei Raumtemperatur auf dem Schüttler geschüttelt. Während der Inkubation fand eine blaue Farbentwicklung statt. Zum Abstoppen der Inkubation verwendeten wir eine Schwefelsäurelösung (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 0,5 Molar) der Firma Merck. Dabei fand ein Farbumschlag von blau nach gelb statt. Die Messung der Werte erfolgte in einem Fotometer bei einer Wellenlänge von 492 nm. Hierbei wurde die optical density (OD) der Standardverdünnungen und der Proben gemessen. Die OD liegt bei ca. 2 Einheiten. Der Allergengehalt der Standards ist genau definiert. Durch den Vergleich der ODs der Standards mit den ODs der Proben wurde der Allergengehalt der Proben vom Fotometer automatisch bestimmt.

Eine Standardkurve mit gereinigtem, natürlichem Bet v 1 (Firma Allergopharma Joachim Ganzer KG) und eine Positivkontrolle, je in doppelter Ausführung wurde mit jedem ELISA mitgeführt. Ausschließlich Daten, die innerhalb des dynamischen Abschnittes der Kalibrierkurve lagen, wurden verwertet

### 2.1.9 Vorbereitung der Polyurethanschaum- Filter

Die als Partikel-Sammelsubstrat im ChemVol®-Sampler verwendeten Polyurethanschaumfilter werden von der US-amerikanischen Firma Rupprecht und Pataschnik hergestellt. Die Filter wurden entweder in drei verschiedenen Größen für die einzelnen ChemVol®-Stufen geliefert oder sie wurden von uns auf die entsprechende Größe zugeschnitten.

Vor der Sammlung wurden alle Filter in  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  gewaschen. Hierdurch wurden die Verunreinigungen, die eventuell während der Herstellung entstehen können, entfernt. Durch den einheitlichen Waschvorgang wurde sichergestellt, dass alle Filter an der Oberfläche die gleichen Eigenschaften besitzen.

Aufgrund der Beschaffenheit und der Vorbereitung der Filter konnte eine Absorption von Allergenen an den Filtern nachweislich ausgeschlossen werden. Das Allergen konnte mit den vorhandenen Techniken problemlos und rückstandsfrei extrahiert werden.

#### Waschvorgang:

Herstellung von 1 Litern Waschlösung ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ):

15,8 g Ammoniumbicarbonat ad 2 l aqua dest + 0,35 ml  $\text{NH}_3$  [14%] $\Rightarrow$  pH = 8,14

Alle Filter wurden eine Stunde in  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  auf dem Laborshaker eingeweicht und zwischendurch immer wieder gemischt und ausgedrückt. Darauf folgte eine mehrfache Spülung mit Aqua dest. und ein Einweichen in Aqua dest. für eine weitere Stunde. Nach dem Ausdrücken des Wassers wurden die Filter für 48 Stunden im Trockenschrank bei 60 °C getrocknet und anschließend gewogen.

## 2.2 Burkard-Pollenfalle

Die Burkard-Pollenfalle dient der Pollenflugerfassung in der Außenluft.

Das Gehäuse der Pollenfalle ist geschlossen und dreht sich mit Hilfe eines Flügels, so dass der Ansaugschlitz der Pollenfalle immer gegen die Hauptwindrichtung steht. Durch diesen Schlitz wird von einer Pumpe ein konstanter Luftstrom (10 l/min.) Außenluft gesaugt. Dieser Volumenstrom entspricht in etwa dem Atemvolumen eines arbeitenden Menschen. Unterhalb des Ansaugschlitzes befindet sich in der Pollenfalle ein Folienstreifen, der mit Vaseline bestrichen ist. Auf diesem Streifen treffen die Pollen auf und bleiben daran haften. Der Folienstreifen ist auf einer Trommel mit Wochenlauf befestigt, die sich gekoppelt an ein Uhrwerk mit konstanter Geschwindigkeit (2 mm/h) fortbewegt. Hierdurch können die Pollen auf dem Streifen später eindeutig einem Tag der Woche zugeordnet werden.

Die Trommel mit dem Folienstreifen wird einmal wöchentlich zur selben Tageszeit gewechselt. Um den Pollenflug genau mit dem Bet v 1- Gehalt der um 12 Uhr mittags aus dem ChemVol®-Sampler gewechselten Filter vergleichen zu können, wurden die Pollen zunächst für halbe Tage ausgezählt und dann für den Zeitraum 12 Uhr mittags des einen Tages bis 12 Uhr mittags des nächsten Tages aufsummiert.

Zur Herstellung von mikroskopischen Präparaten aus den Folienstreifen wird der Streifen in eine Mischung aus Glycerin, Aqua bidest, Gelatine und Phenol eingebettet. Die Einfärbung erfolgt durch eine Safraninlösung.

Die Auswertung der so aus den Folienstreifen gefertigten Präparaten erfolgt lichtmikroskopisch, wobei Quantität und Qualität der Pollenarten beurteilt werden. Die Angabe der Pollenmenge erfolgt dann später in Anzahl der Pollen/m<sup>3</sup>/24h.

Mit der Burkard - Pollenfalle wird seit 1969/1970 der Luftpollengehalt bestimmt. Seit 1992 werden im ganzen Bundesgebiet Burkard - Pollenfallen zur Pollenflugbestimmung im Rahmen des Polleninformationsdienstes (PID) eingesetzt.





**Abbildung 2.2.1:** Burkard-Pollenfalle

## 2.3 Datenverwertung

Nach Entnahme aus dem ChemVol®-Sampler und Wiegen wurden die Filter in drei gleich große Teile geschnitten und eingefroren. Zwei der drei Filterteile wurden später extrahiert. Der dritte Teil blieb für spätere Versuche eingefroren. Bei den bei der Extraktion entstandenen Lösungen wurde je zwei Mal der Allergengehalt mittels ELISA gemessen. Hiervon wurde pro Extrakt der Mittelwert bestimmt. Der Mittelwert aus den Mittelwerten beider Extrakte wurde als mittlerer Allergengehalt eines Filterdrittels angesehen und floss so weiter in die Berechnungen ein.

Da während der verschiedenen Sammelperioden nicht immer die gleiche Pumpe verwendet wurde und um die Werte der Sammlungen vergleichen zu können, wurden alle erhobenen Werte auf die Einheit  $\text{pg Allergen/m}^3$  Luftvolumen pro Tag umgerechnet. Hierbei wurden die verschiedenen Volumenflüsse der Pumpe, die gemessen wurden, eingerechnet.

Formel für die Berechnung von Allergen pro Luftvolumen pro Tag:

1. Partikelmasse pro Filterteil = Extraktionsvolumen x gemessene Konzentration [ml x ng/ml]
2. Partikelmasse pro gesamter Filter (Mittelwert) pro Minute = Partikelmasse pro Filterteil x 3 x 1440  
[ng /min.]
3. Berechnung von Masse/ Volumenfluss pro Tag  $[(\text{ng /min.}) / (\text{l / min.}) = \text{ng/l}]$

## 2.4 Standard- Dieselrußtitration in Bet v 1-Lösung

Zur Quantifizierung der Bet v 1-Adsorption an Dieselrußpartikeln führten wir eine Titration einer Bet v 1-Lösung mit Labor-Dieselruß durch. Hierzu verwendeten wir Standard-Dieselruß NIST#2975 („industrial forklift“). Dieser wurde in  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  im Eisbad sonifiziert und weiter verdünnt.

Die einzelnen Verdünnungsstufen wurden zu einer gleich bleibenden Menge einer Bet v 1-Lösung titriert und 30 min. im Dunkeln und bei Raumtemperatur auf dem Schüttler inkubiert.

In zwei Zentrifugationsschritten wurde der Überstand abzentrifugiert. Die Überstände wurden daraufhin bei  $-80^\circ\text{C}$  eingefroren und später lyophilisiert. Zur Vorbereitung des Bet v 1-ELISAs wurden die Lyophilisate in Verdünnungspuffer mit bovinen Serum-Albumin gelöst und unverdünnt gemessen.

### 2.4.1 Herstellung von Pollenextrakten

Zur Herstellung einer Allergenlösung mit bekanntem Allergengehalt wurden zunächst Pollen abgewogen. Nach einer kurzen Zentrifugation wurden diese Pollen mit Extraktionspuffer ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) versetzt. Hierbei betrug das Verhältnis 1 mg Pollen zu 1 ml Extraktionspuffer. Die Pollen wurden nun im Überkopfschüttler vier Stunden inkubiert. Daraufhin wurde die Lösung in kleineren Eppendorfreaktionsgefäßen zentrifugiert und der Überstand vom Pellet getrennt und in ein weiteres Gefäß überführt. Die Konservierung erfolgte bei  $-80^\circ\text{C}$ .

Zur Bestimmung des Allergengehaltes wurde ein ELISA durchgeführt (*siehe ELISA*).

## 2.5 REM- Beurteilung von Filtern der Sammelperiode Birke 2005

Um die unterschiedliche Auftrennung der Filterköpfe zu untersuchen und um außerdem das Auftreten von Pollen in den einzelnen Fraktionen sicher beurteilen zu können, führten wir 2005 eine Betrachtung repräsentativer Filter im Raster-Elektronen-Mikroskop durch.

Eine Verwertung der Auszählung der Filter war nicht zulässig, da eine Auszählung unter objektiven Gesichtspunkten nicht möglich war.

### **2.5.1 Herstellung von Präparaten für das Raster-Elektronen-Mikroskop**

Zur Herstellung von Präparaten der Polyurethanfilter nach der Sammlung benutzen wir das Sputtergerät SCD 050 der Firma Balzers.

Hierbei werden Goldionen auf das ca. 1 x 1 cm große Präparat gestäubt. Dazu wird in eine mittels Vorvakuumpumpe evakuierte Probenkammer Argongas eingelassen. Die Probenkammer wird zwei Mal mit Argongas gespült, was das Abpumpen unerwünschter Gasanteile erleichtert. In der dadurch entstehenden möglichst reinen Argonatmosphäre wird ein Unterdruck zwischen 0,05 und 0,1 mbar eingestellt, der Voraussetzung für den eigentlichen Sputtervorgang ist.

Hierfür wird am Target (mit Gold beschichtete Kathode) oberhalb des Präparates eine Hochspannung angelegt. Die Anode befindet sich am Präparatetisch. In dem nun entstandenen Hochspannungsfeld entstehen Argonionen, die zur Kathode hin beschleunigt werden und bei Aufprall auf dem Target Metallatome -in unserem Falle Goldatome- heraus schlagen. Diese Goldatome gelangen nun wie eine diffuse Wolke auf das Präparat und schlagen sich dort nieder. Hierdurch entsteht eine dünne, homogene Metallschicht auf dem Präparat, die die elektrische Leitfähigkeit für die REM-Aufnahmen erzeugt.

## 3 Material

### 3.1 Wetterdaten

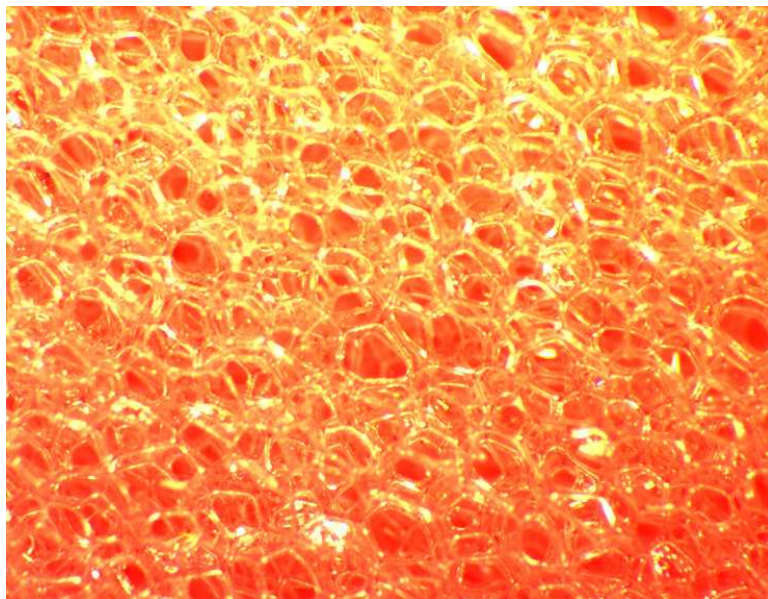
Die Wetterdaten stellte uns der Deutsche Wetterdienst in Darmstadt (DWD) zur Verfügung. Die dargestellten Werte wurden an der Messstelle 4124 (Station München Stadt, Lothstraße) erhoben.

### 3.2 Polyurethanschaum- Filtermaterial

Für unsere Sammlung verwendeten wir Polyurethanschaum als Sammelsubstrat.

Polyurethane sind Kunststoffe, die aus einer Polyadditionsreaktion eines Isozyanats mit Rizinusöl entstehen. Das bei dieser Reaktion freigesetzte Kohlendioxid führt zur Schaumbildung.

Charakteristisch für Polyurethane ist die Urethan-Gruppe. (– NH – CO – O –)



**Abbildung 3.2.1:** Polyurethanschaumfiltermaterial in stereoauflichtmikroskopischer Betrachtung; 40-fache Vergrößerung

### 3.3 Antikörper

Als Antikörper für die Bet v 1- Bestimmung verwendeten wir zwei Bet v 1-spezifische Antikörper, die sechs Isoformen von Bet v 1 detektieren. Damit decken sie 95% aller Bet v 1-Isoformen, die man in einem unbehandelten Birkenpollenextrakt findet, ab. <sup>16</sup>

Diese Antikörper MAK 3B4F11D6 und 2E10G6G7 wurden uns freundlicherweise über Herrn Dr. B. Weber von der Firma Allergopharma Joachim Ganzer KG, Reinbek/Hamburg zur Verfügung gestellt.

In der Gräsersaison verwendeten wir als Antikörper den monoklonalen Antikörper MAK 1D11 als Coating- Antikörper und MAK BO 1 als Detektionsantikörper. Beide Antikörper sind spezifisch für das Graspollenallergen Phl p 5.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Birkenpollensaison

#### 4.1.1 Birkenpollenflugzeit 2003

Der ChemVol®-Sampler wurde in der Zeit vom 31.03.2003 bis 29.4.2003 betrieben.

Bei der Bet v 1-Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler und der Pollenflugmessung mit der Pollenfalle ergaben sich 2003 folgende Werte:

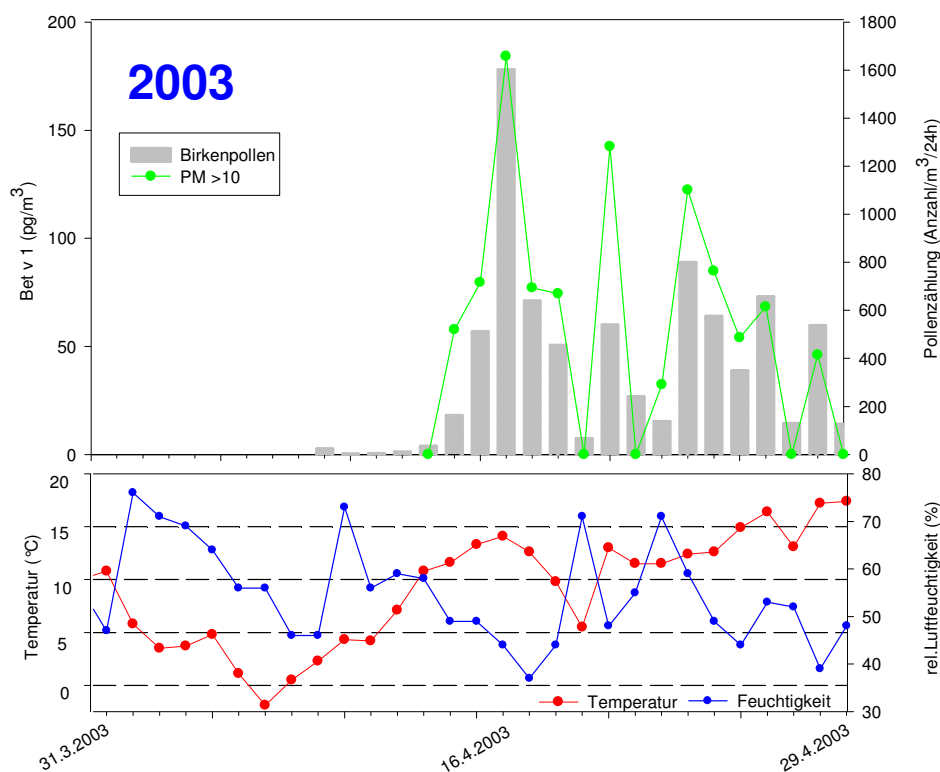


Abbildung 4.1.1: Ergebnisse Birkenpollensaison 2003

##### 4.1.1.1 Allergenbelastung

Die Summe der gemessenen Allergenbelastung in der Luft pro Tag korrelierte mit der Tagessumme der ausgezählten Pollen der Burkard-Pollenfalle. Es zeigt sich ein hoher Zusammenhang von Pollenflug und Gesamtallergenbelastung in der Umluft (Korrelationskoeffizient  $r = 0,88$ . Es wurden alle gemessenen Werte berücksichtigt.).

Das einzige Kompartiment, in dem Allergen nachgewiesen werden konnte war Stufe XL (> PM 10). Im Kompartiment M (PM 10- 2,5) und S (PM 2,5- 0,12) konnte kein Allergen

nachgewiesen werden. *Anmerkung:* Eine 10-fach-Aufkonzentrierung der Filterextrakte fand 2003 noch nicht statt sondern erst in den darauf folgenden Jahren.

Am Tag des Pollenpeaks (16.04.2003 mit 1601 Pollen/m<sup>3</sup>/24h) zeigte sich die höchste Allergenkonzentration der Saison in Stufe XL (184,17 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen). An Tagen mit geringem Pollenflug (19.04.2003 mit 66 Pollen/m<sup>3</sup>/24h) war kein Allergen nachweisbar (0,0 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen).

#### **4.1.1.2 Wettereinfluss**

Während des Pollenpeaks (16.04.2003) zeigte sich in Vergleich zu den vorangegangenen Tagen eine relativ hohe Temperatur und niedrige relative Luftfeuchtigkeit. Im weiteren Verlauf führte Regen (im Vergleich zu den Vortagen kurzfristig stark angestiegenen Luftfeuchtigkeit) zu einem Auswaschen von Allergen und Pollen aus der Luft (siehe 19.04.2003 und 21.04.2003).

### 4.1.2 Birkenpollenflugzeit 2004

Der ChemVol®-Sampler wurde in der Zeit vom 18.03.2004 bis 29.4.2004 betrieben. Hierbei konnte Bet v 1 durchgehend in der Luft nachgewiesen werden. Bei der Bet v 1-Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler und der Pollenflugmessung mit der Pollenfalle ergaben sich 2004 folgende Werte:

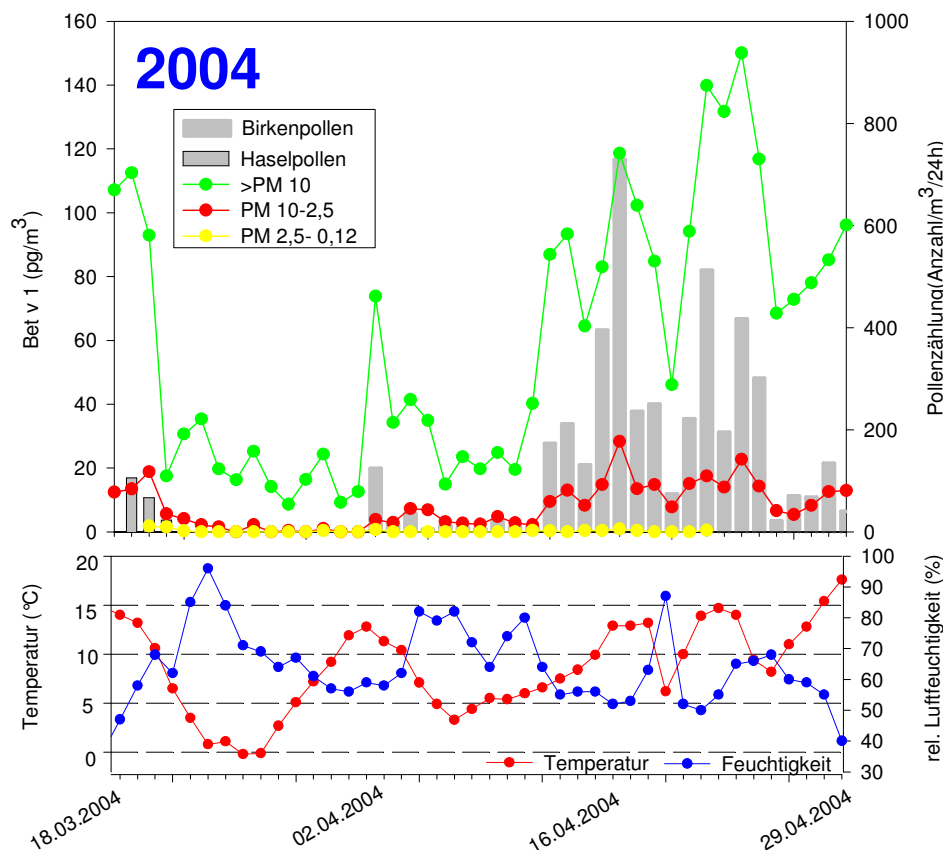


Abbildung 4.1.2: Ergebnisse Birkenpollensaison 2004

#### 4.1.2.1 Allergenbelastung

Das Allergen Bet v 1 konnte in allen drei Kompartimenten nachgewiesen werden, wobei in Stufe S (PM 2,5 - 0,12) die Konzentrationen sehr niedrig waren (0- 1,8 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Der Allergehalt in Stufe XL und M korrelierte mit dem Pollenflug wobei in Stufe XL (> PM 10) der größte Teil des gemessenen Bet v 1 zu finden war (88% des während der gesamten Saison gemessenen Allergens).

Am Tag des Pollenpeaks (16.04.2004 mit 729 Pollen/m<sup>3</sup>/24h) zeigte sich eine hohe Allergenkonzentration in Stufe XL (118,6 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen) und die höchste Allergenkonzentration der Saison in Stufe M (28,3 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Zum



Ende der Pollensaison stieg der Allergengehalt in Stufe XL trotz geringerem Pollenflug auf höhere Werte als zur Zeit des Pollenpeaks an (z.B. 23.04.2004 mit 417 Pollen/m<sup>3</sup>/24h und 150,0 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Der Allergengehalt in Stufe M verlief in dieser Zeit weiterhin parallel zum Pollenflug.

Zu Beginn des betrachteten Zeitraums fand sich aufgrund des Haselpollenflugs und der Kreuzreaktivität von Hasel und Birke ein hoher Nachweis von Bet v 1 in Stufe XL und M.

#### **4.1.2.2 Wettereinfluss**

Während des Pollenpeaks (16.04.2004) zeigte sich wiederum eine im Vergleich zu den vorangegangenen Tagen hohe Temperatur und niedrige relative Luftfeuchtigkeit. Im weiteren Verlauf führte Regen (im Vergleich zu den Vortagen kurzfristig stark angestiegenen Luftfeuchtigkeit) zu einem Auswaschen von Allergenen und Pollen aus der Luft (siehe 19.04.2004). Danach zeigte sich trotz geringem Pollenflug ein relativ hoher Allergengehalt in Stufe XL.

### 4.1.2.3 Gesamtallergengehalt

Der Graph, der Pollenflug und Gesamtallergengehalt (Stufe S+M+XL) darstellt, zeigt einen hohen Zusammenhang von Pollenflug und Gesamtallergenbelastung in der Umluft (Korrelationskoeffizient  $r= 0,84$ . Es wurden alle Werte des Zeitraumes berücksichtigt, in dem Pollenfalle und ChemVol®-Sampler parallel ausgewertet wurden).

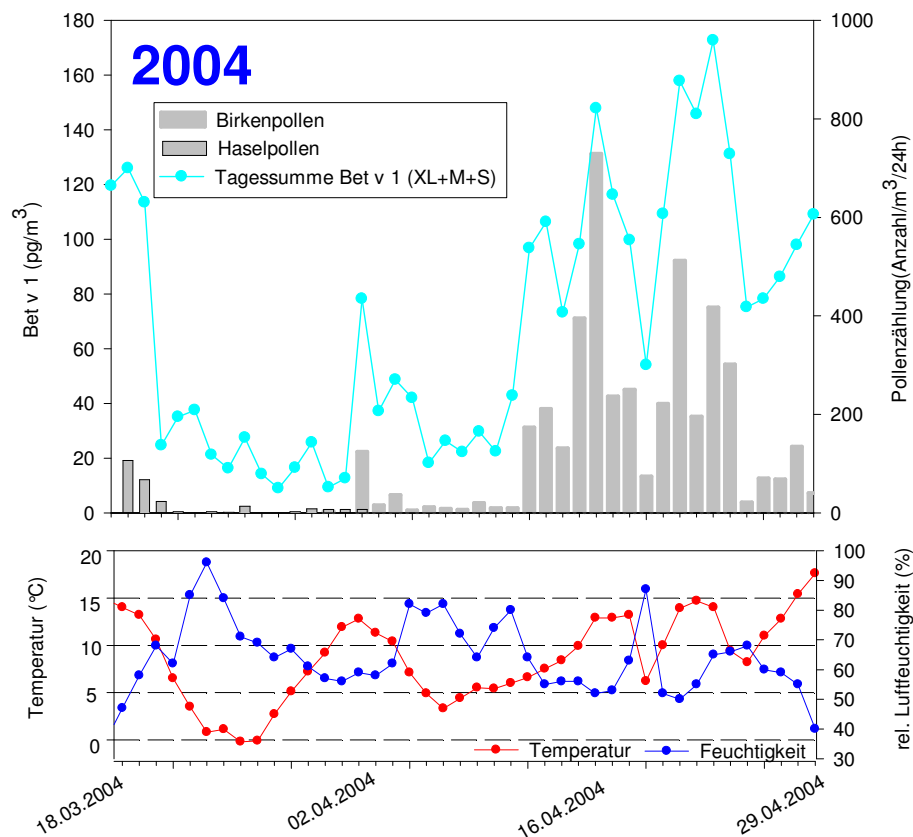


Abbildung 4.1.3: Gesamtallergengehalt Birkenpollensaison 2004

### 4.1.3 Birkenpollenflugzeit 2005

Der ChemVol®-Sampler wurde in der Zeit vom 24.03.2005 bis 05.05.2005 betrieben.

Bei der Bet v 1-Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler und Pollenflugmessung mit der Pollenfalle ergaben sich 2005 folgende Werte:

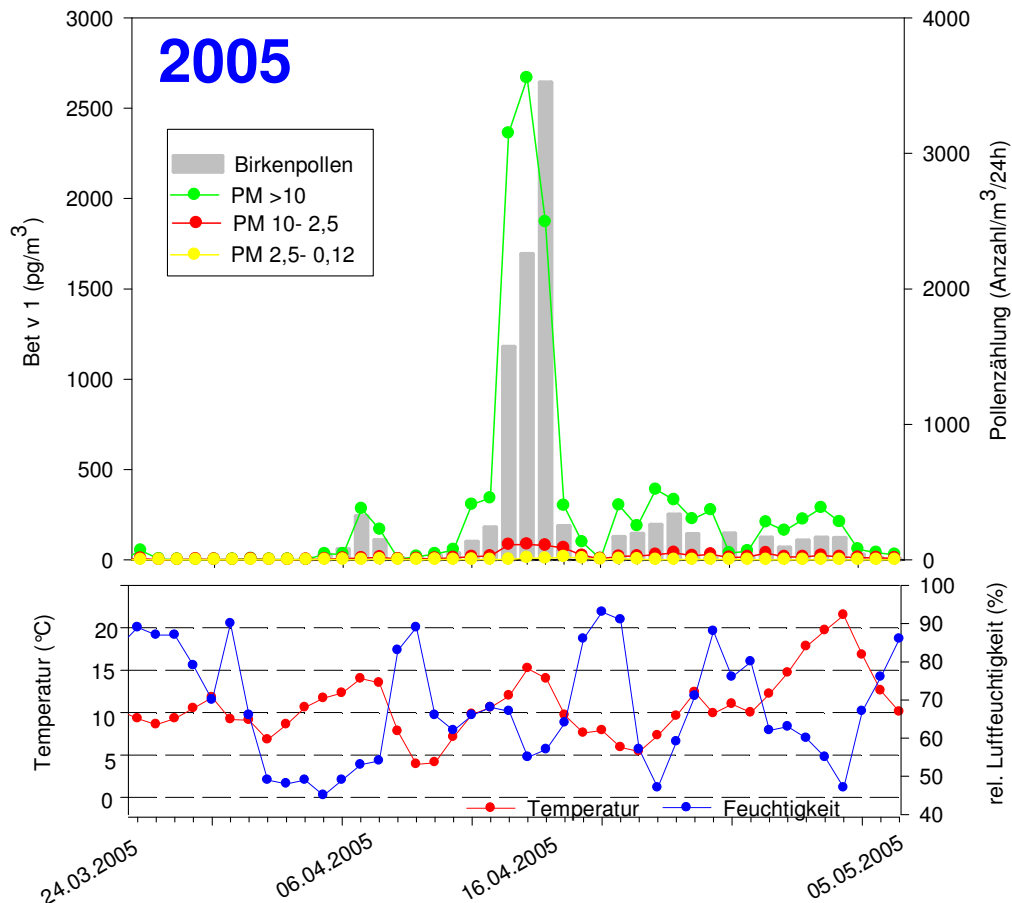


Abbildung 4.1.4: Ergebnisse Birkenpollensaison 2005

#### 4.1.3.1 Allergenbelastung

Das Allergen Bet v 1 konnte in allen drei Kompartimenten nachgewiesen werden, wobei in allen drei Stufen (XL, M, S) die Konzentrationen deutlich höher als im Vorjahr waren. Der Allergehalt in Stufe XL korrelierte eng mit dem Pollenflug. In Stufe XL (> PM 10) wurde der größte Teil des gemessenen Bet v 1 gefunden (93% des während der gesamten Saison gemessenen Allergens). Der Pollenflug 2005 war wesentlich stärker als im Vorjahr.

Am Tag vor dem Pollenpeak (16.04.2005 mit 3522 Pollen/m³/24h) zeigte sich die höchste Allergenkonzentration in Stufe XL (15.04.2005 mit 2667,3 pg Bet v 1/m³ Luftvolumen) und ebenso die höchste Allergenkonzentration in Stufe M

(85,1 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Die höchste Allergenkonzentration der Saison in Stufe S (15,2 pg Bet v 1/m<sup>3</sup> Luftvolumen) findet sich am 17.04.2005, d.h. einen Tag nach dem stärksten Pollenflug.

Zum Ende der Pollensaison zeigte sich parallel zum Pollenflug eine leicht erhöhte Allergenkonzentration in Stufe XL. Die Allergenkonzentrationen in Stufe M war in dieser Zeit leicht erhöht aber verlief nicht parallel zum Pollenflug.

#### **4.1.3.2 Wettereinfluss**

Während des Pollenpeaks (16.04.2005) zeigte sich wiederum im Vergleich zu den vorangegangenen Tagen eine relativ hohe Temperatur und niedrige relative Luftfeuchtigkeit. Im weiteren Verlauf führte Regen (im Vergleich zu den Vortagen kurzfristig stark angestiegenen Luftfeuchtigkeit) zu einem Auswaschen von Allergen und Pollen aus der Luft (siehe 19.04.2005).

### 4.1.3.3 Gesamtallergengehalt

Der Graph, der Pollenflug und Gesamtallergengehalt (Stufe S+M+XL) darstellt, zeigt einen hohen Zusammenhang von Pollenflug und Gesamtallergenbelastung in der Umluft (Korrelationskoeffizient  $r= 0,89$ . Es wurden alle Werte des Zeitraumes berücksichtigt, in dem Pollenfalle und ChemVol®-Sampler parallel ausgewertet wurden).

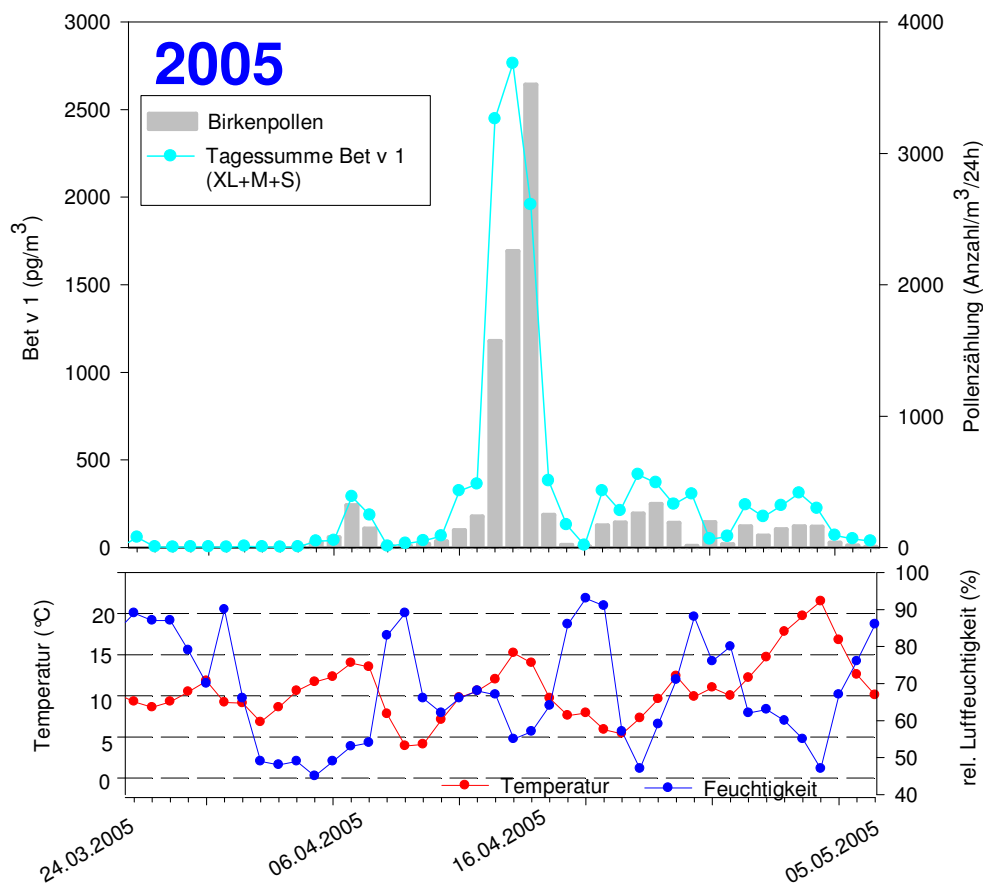


Abbildung 4.1.5: Gesamtallergengehalt Birkenpollensaison 2005

#### 4.1.3.4 „Fettkopf“

Der zusätzlich im Jahre 2005 betriebene „Fettkopf“ erbrachte folgende Ergebnisse:

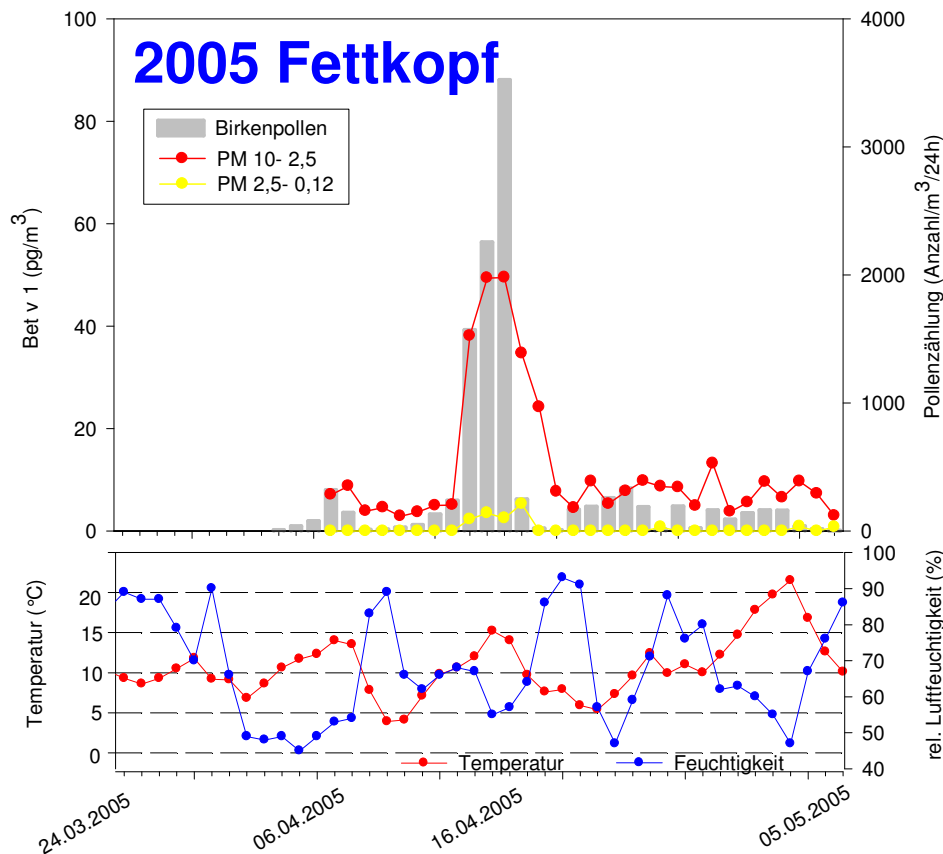


Abbildung 4.1.6: Fettkopf Birkenpollensaison 2005

##### 4.1.3.4.1 Allergenbelastung

Das Allergen Bet v 1 konnte in Kompartiment S und M nachgewiesen werden, wobei in Stufe S (PM 2,5- 0,12) die Konzentrationen niedrig waren (0- 5,3  $\mu\text{g}$  Bet v 1/ $\text{m}^3$  Luftvolumen). Die Stufe XL war mit Fett besetzt und konnte nicht extrahiert werden. Der Allergengehalt in Stufe M korrelierte mit dem Pollenflug.

Am Tag des Pollenpeaks (16.04.2005 mit 3522  $\text{Pollen}/\text{m}^3/24\text{h}$ ) zeigte sich die höchste Allergenkonzentration in Stufe M (49,5  $\mu\text{g}$  Bet v 1/ $\text{m}^3$  Luftvolumen). Die Allergenlast in Stufe M des Fettkopfes lag aber dennoch weit unter der Stufe M im Standardkopf zu dieser Zeit.

Zwei Tage vor dem Pollenpeak und einen Tag nach dem Pollenpeak zeigte sich ein Anstieg der Allergenkonzentration in Stufe S (2,3- 5,3  $\mu\text{g}$  Bet v 1/ $\text{m}^3$  Luftvolumen).

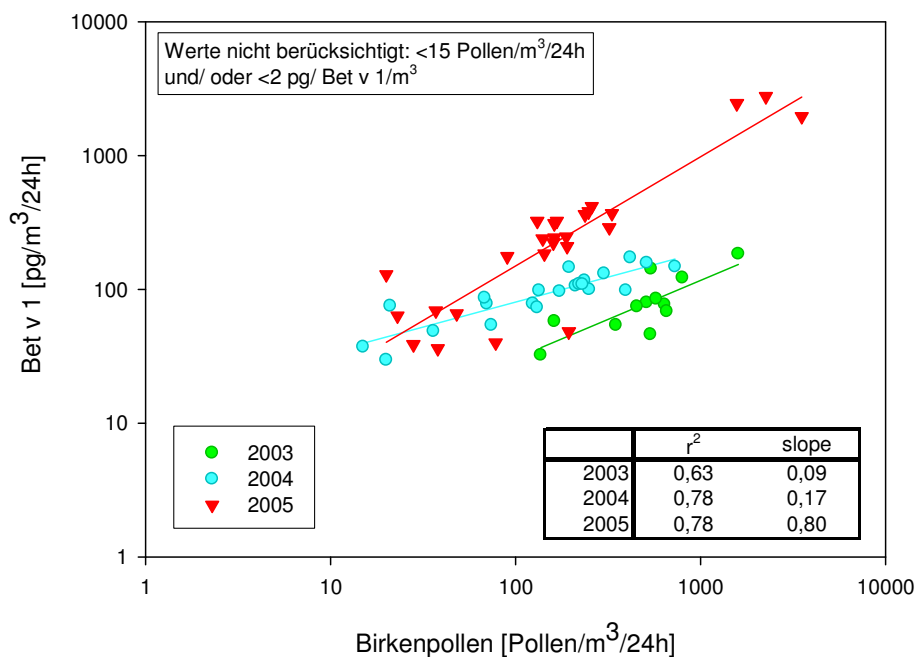
#### 4.1.3.4.2 Wettereinfluss

Es zeigten sich die gleichen Effekte wie bei der Sammlung mit dem Standardkopf (*siehe oben*). Allerdings zeigte sich nach den Tagen mit im Vergleich zu den anderen Tagen der Sammelperiode hoher Luftfeuchtigkeit kein erneuter Anstieg des Allergengehalts.

#### 4.1.4 Generelle Resultate der verschiedenen Sammlungen

##### 4.1.4.1 Allergenbelastung

- Die Summe der gemessenen Allergenbelastung in der Luft pro Tag korrelierte hoch mit der Tagessumme der ausgezählten Pollen der Burkard-Pollenfalle. (Korrelationskoeffizient  $r = 0,84 - 0,89$ , bei Berücksichtigung aller erhobenen Werte der Sammelperiode)  
Allerdings zeigte sich kein proportionales Verhältnis und es kam punktuell zu Abweichungen (z.B. Tage mit wenig Pollenflug und viel Allergen oder mit viel Pollenflug und wenig Allergen.)



**Abbildung 4.1.7:** Regressionsanalyse Birkensaison 2003-2005

- Allergen wurde besonders in Stufe XL und M nachgewiesen. In Stufe S konnten wir Allergen nur in sehr geringen Konzentrationen nachweisen.

**Tabelle 4.1.1:** Prozentualer Anteil am Gesamtallergengehalt je nach Stufe und Jahr

Stufe	XL	M	S
2003	100%	kein Nachweis	
2004	88%	11%	0,26%
2005	93%	6%	0,51%

#### 4.1.4.2 Wettereinflüsse

- Kurzfristig angestiegene Luftfeuchtigkeit als Anzeichen von Regen führte zu einem Abfall der Allergen- und Pollenbelastung in der Luft.
- Der Pollenpeak fand immer in einer Phase mit im Vergleich zu den Vortagen niedriger relativer Luftfeuchtigkeit und relativ hohen Außentemperaturen statt.
- Im Jahr 2004 zeigte sich nach dem Pollenpeak gefolgt von Regen auch bei geringem Pollenflug eine hohe Allergenlast in Stufe XL.



#### 4.1.4.3 Vergleich der Messergebnisse der Jahre 2003-2005

**Tabelle 4.1.2:** Vergleich der Messergebnisse der Jahre 2003-2005

Jahr	Beginn der Sammlung	Dauer der ChemVol-Sammlung [Tage]	Dauer der Pollen-Zählung [Tage]	Summe gemessenes Allergen [pg Bet v 1/m3/Saison]	Summe gezählte Pollen [Pollen/m3/Saison]	Durchschnittliche Allergenbelastung pro Tag [pg Bet v 1/ 24h]	Durchschnittliche Pollenbelastung pro Tag [Pollen/m3/24h]	Durchschnittlicher Bet v 1-Gehalt pro Pollen [Bet v 1 [pg/Pollen]
2003	31.3.03	30	21	1.023,12	7.592	34,104	361,52	0,1
2004	18.3.04	43	30	2.929,30	4.614	68,12	153,80	0,5
2005	24.3.07	43	38	12.479,71	10.817	290,23	284,66	1,1

*Anmerkung:* Bei der Berechnung der durchschnittlichen Pollenanzahl wurde berücksichtigt, dass die Pollenzählung 2003-2005 nicht über den gesamten Zeitraum der ChemVol®-Sammlung lief. 2003 startete die Pollenzählung am 9. April, 2004 am 31. März und 2005 am 29. März.

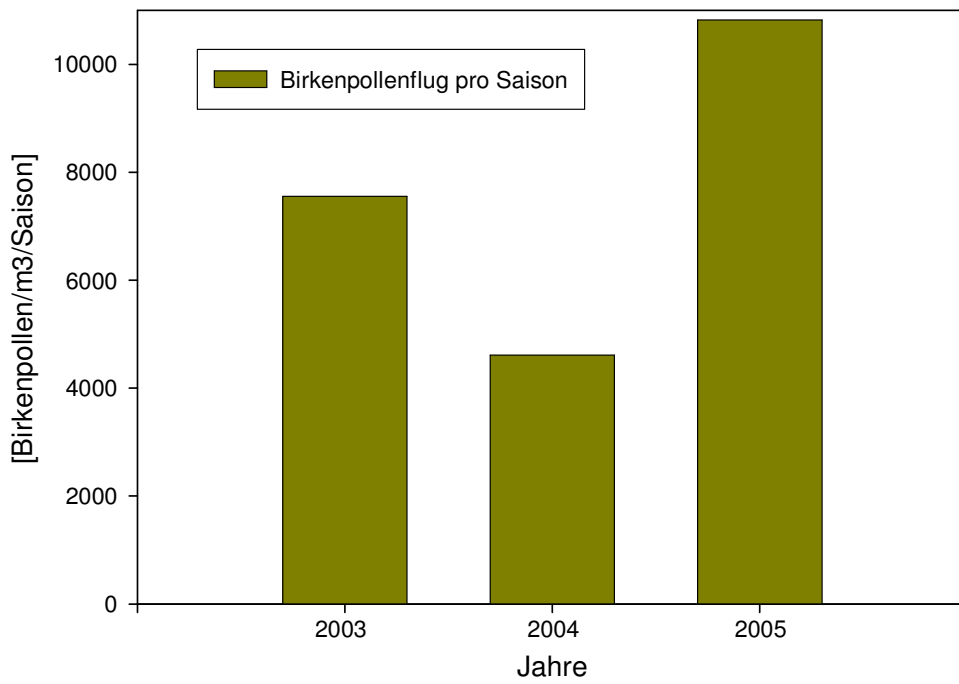
Die Werte variierten stark von Jahr zu Jahr:

- Im Jahr 2005 wurden insgesamt die meisten Pollen gezählt. Durch die längere Messperiode ergab sich allerdings eine ähnliche durchschnittliche Pollenbelastung pro Tag wie im Jahr 2003.
- 2004 wurde über die Saison hinweg die geringste Pollenanzahl beobachtet.
- Die höchste durchschnittliche Allergenbelastung zeigte sich in 2005.
- Die geringste Allergenbelastung über die gesamte Saison gerechnet zeigte sich im Jahr 2003. (*Anmerkung:* Als Ursache hierfür ist ein mangelnder Nachweis von vorhandenem Allergen durch eine 2003 noch nicht durchgeführte Aufkonzentrierung der Konzentrate möglich).
- Rein rechnerisch zeigte sich 2005 durchschnittlich der höchste Bet v 1-Gehalt pro Pollen im Verlauf der Saison. 2003 zeigte sich rechnerisch durchschnittlich der niedrigste Bet v 1-Gehalt pro Pollen.
- Der Allergengehalt pro Pollen variiert deutlich von Jahr zu Jahr.

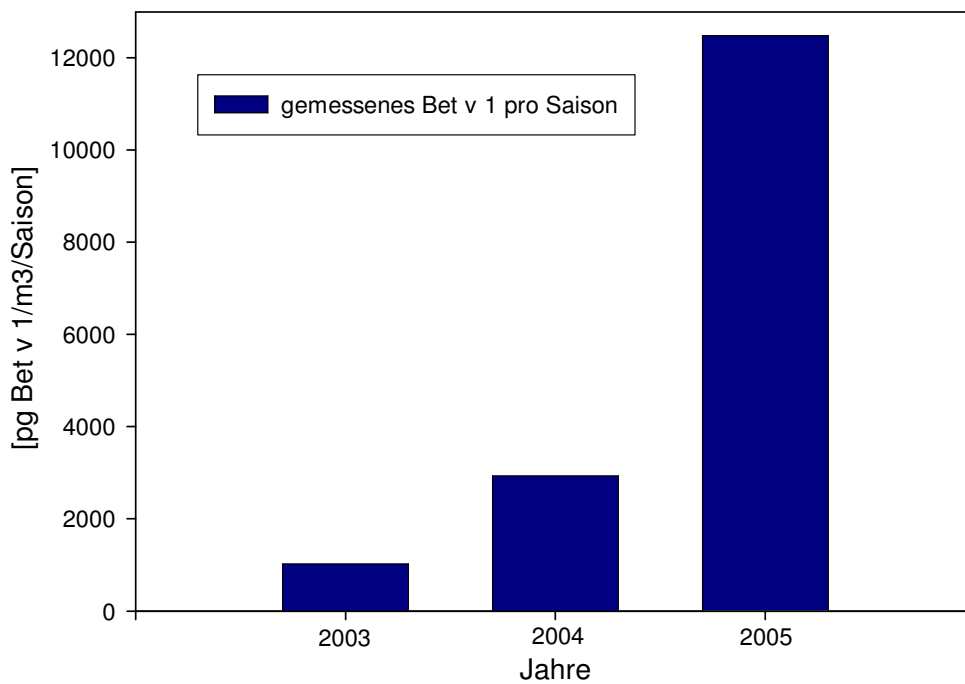
**Tabelle 4.1.3:** T- Test Birkensaison 2003-2005

Jahre	Wahrscheinlichkeit eines ungepaarten T-Tests mit zweiseitiger Verteilung (homoskedastisch)
2003>2004	0,0050023
2004>2005	0,0123295
2003>2005	0,0000908

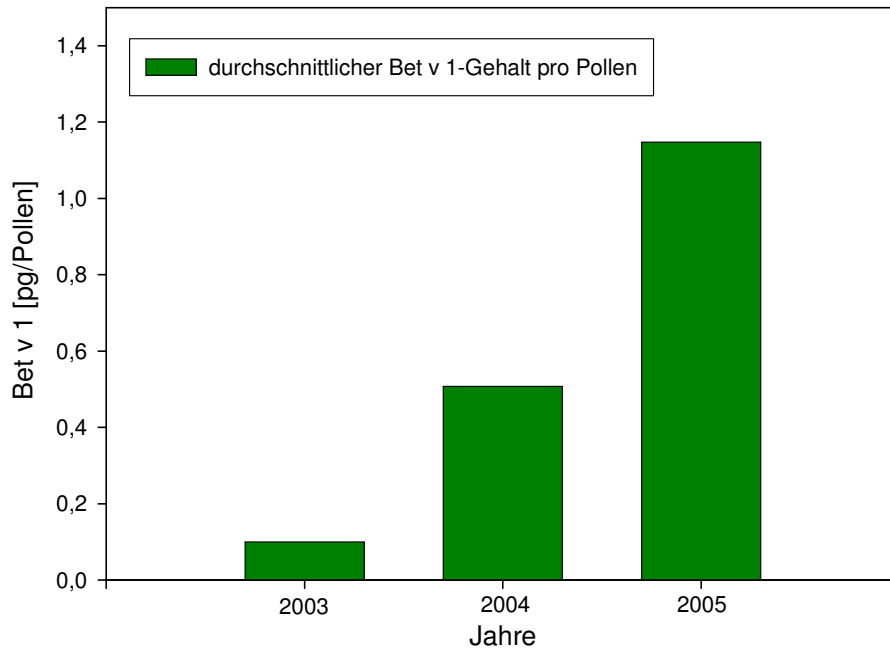
*Anmerkung:* Pollenwerte nicht berücksichtigt < 15 Pollen/ m3/ 24h; Bet v 1- Werte nicht berücksichtigt < 2 pg Bet v 1/ m3/ 24h



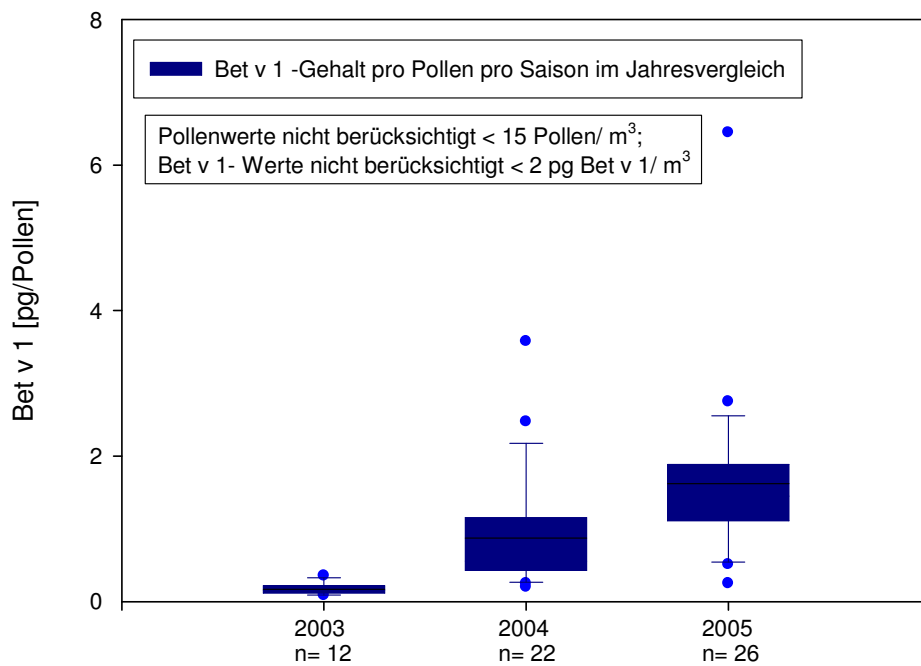
**Abbildung 4.1.8:** Birkenpollenflug pro Saison im Jahresvergleich 2003-2005



**Abbildung 4.1.9:** Allergengehalt pro Saison im Jahresvergleich 2003-2005



**Abbildung 4.1.10:** Durchschnittlicher Bet v 1-Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich 2003-2005

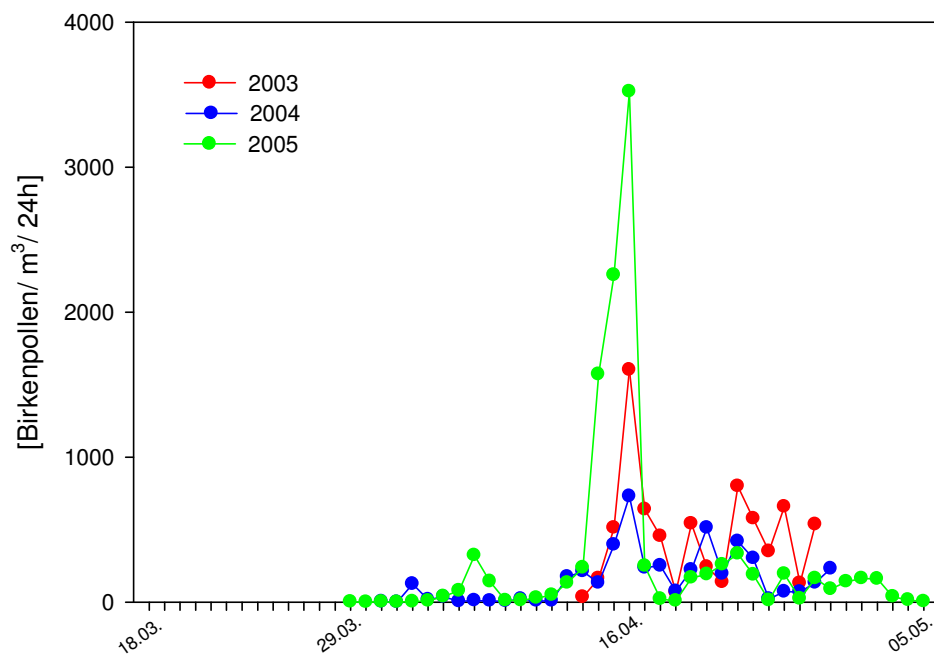


**Abbildung 4.1.11:** Bet v 1- Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich

#### 4.1.4.3.1 Pollenpeak in den Jahren 2003-2005

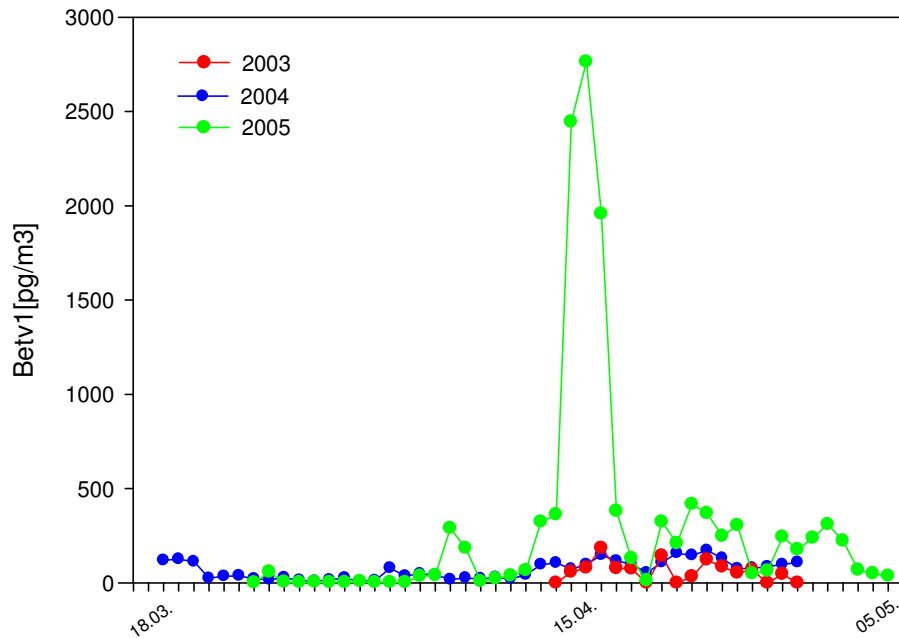
Interessanterweise fand der „Pollenpeak“ in den Jahren 2003-2005 am 16. April statt. In jedem Jahr war zu diesem Zeitpunkt die Luftfeuchtigkeit im Vergleich zu den vorangegangenen Tagen gering und die Temperatur relativ hoch.

Die Höhe des stärksten Pollenflugs unterschied sich allerdings sehr von Jahr zu Jahr. So zählte man im Jahr 2003 am „Pollenpeak“ 1601 Pollen/m<sup>3</sup>/24h, im Jahr 2004 729 Pollen/m<sup>3</sup>/24h und im Jahr 2005 zählte man 3522 Pollen/m<sup>3</sup>/24h.



**Abbildung 4.1.12:** Birkenpollenflug im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2003-2005

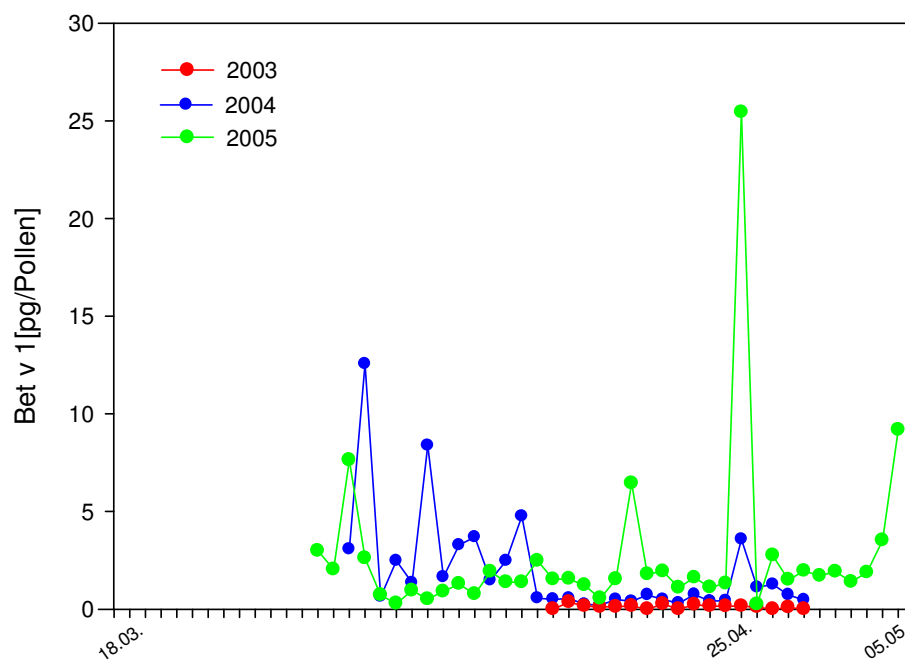
Der Tag mit der höchsten gemessenen Allergenbelastung fiel 2003 mit dem Pollenpeak zusammen. Im Jahre 2004 wurde die höchste gemessene Allergenkonzentration erst nach dem Pollenpeak erreicht. 2005 wurde die höchste Allergenkonzentration der Saison einen Tag vor dem Pollenpeak gemessen.



**Abbildung 4.1.13:** Bet v 1-Belastung im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2003-2005

Die theoretische Annahme von Pollen als einzigem Allergenträger der Umluft ermöglicht eine Berechnung des Allergengehaltes pro Pollen unter Verwendung des Gesamtallergengehaltes pro Tag und der Pollenzählung pro Tag (Es wurden alle gemessenen Werte berücksichtigt).

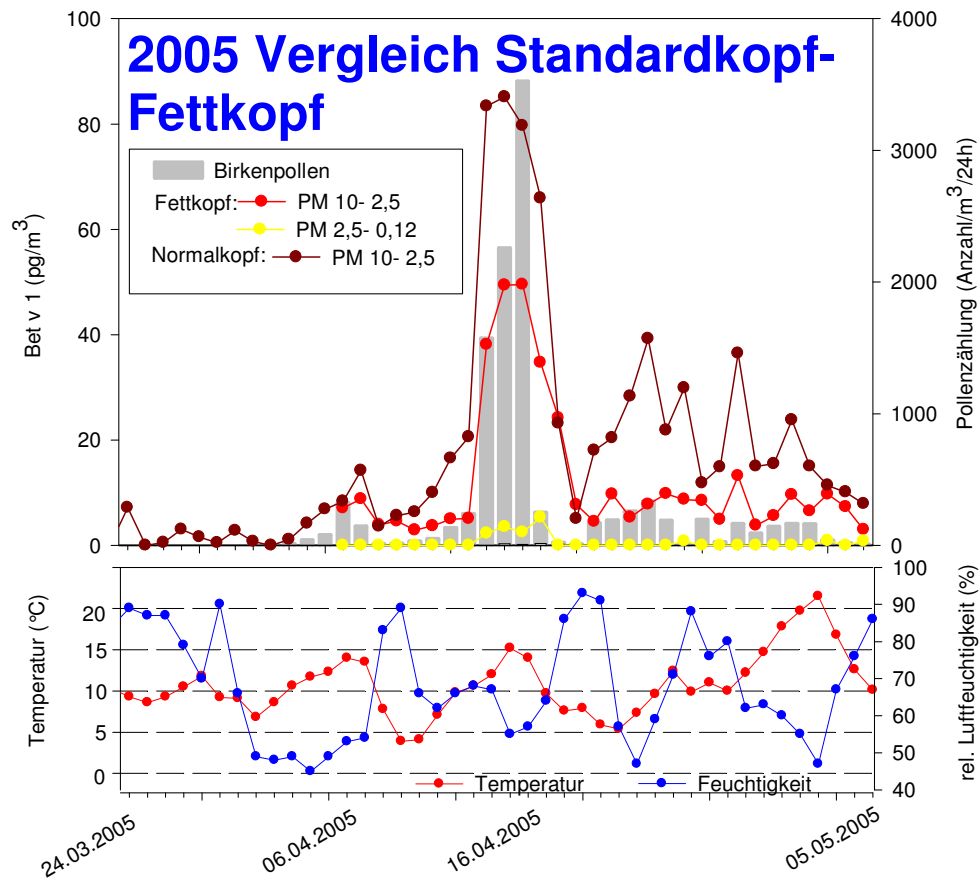
Hierbei zeigen sich deutliche Schwankungen. Dies könnte für einen wechselnden Allergengehalt von Pollen sprechen. Dennoch ist das Auftreten von weiteren Allergen geladenen Partikeln, die nicht Pollen sind, ebenso denkbar.



**Abbildung 4.1.14:** Berechnetes Bet v 1 pro Pollen im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2003-2005

#### 4.1.4.3.2 Vergleich Standardkopf und Fettkopf 2005

Die Datenkurven der Stufen S und M der beiden Köpfe verliefen annähernd parallel allerdings wurden im Fettkopf deutlich geringere Konzentrationen von  $\text{Bet v 1}$  gemessen.



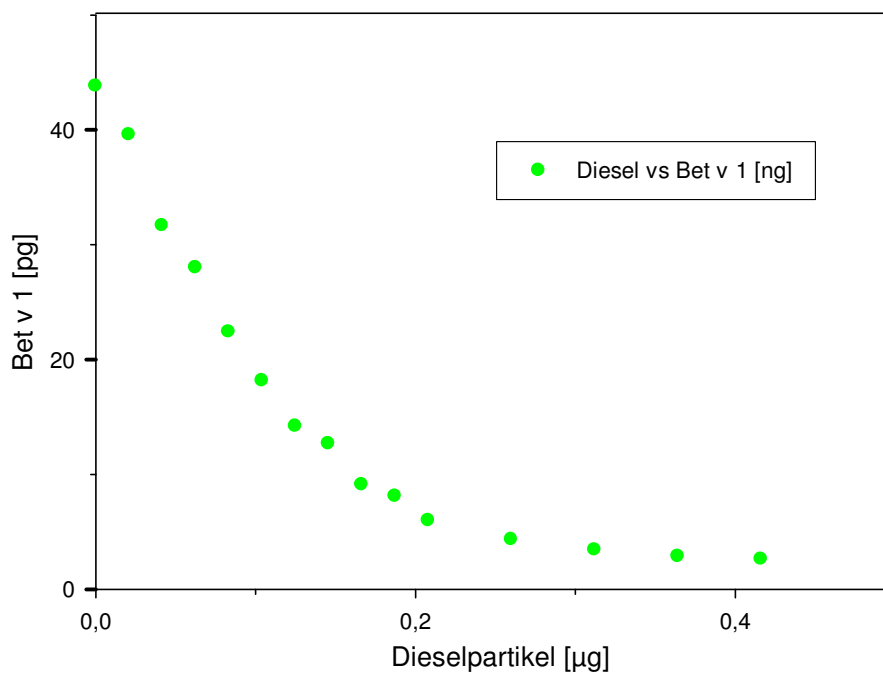
**Abbildung 4.1.15:** Vergleich Standardkopf und Fettkopf Birkensaison 2005

Während der Saison wurden in Stufe M des Normalkopfes ca. 6% des insgesamt im Normalkopf gemessenen Allergens detektiert. Da beide Sammelköpfe nebeneinander standen, gehen wir davon aus, dass die Gesamtallergenlast der Saison in beiden Köpfen annähernd die gleiche ist, wobei diese im Fettkopf nicht bestimmt werden konnte da die XL- Stufe des Fettkopfes aufgrund der Fettschicht nicht extrahierbar war. In Stufe M des Fettkopfes wurde ca. 3% des insgesamt im Normalkopf gemessenen Allergens detektiert. Aufgrund dieser Ergebnisse gehen wir davon aus, dass der „blow-through“ (Weitertransport von Teilchen ohne Impaktion in der entsprechenden Stufe) ca. 3% beträgt.

### 4.1.5 Dieselrußtitration einer Bet v 1-Lösung

Zum Nachweis einer Reaktion des Allergens Bet v 1 mit Dieselruß führten wir eine Dieselrußtitration mit Laborruß durch. Hierzu wurden zu einer gleich bleibenden Bet v 1-Lösung ansteigende Konzentrationen einer Dieselrußlösung hinzugefügt.

Beim darauf folgenden ELISA ergaben sich folgende Ergebnisse:



**Abbildung 4.1.16:** Bet v 1-Titration mit Diesel

Es zeigt sich, dass die zugesetzten Dieselrußpartikel den Allergengehalt der Bet v 1-Lösung verringern. Das zeigt, dass eine Adsorption von Bet v 1 durch Dieselruß in Stufe S des ChemVol®-Samplers denkbar ist.



## 4.2 Gräserpollensaison

### 4.2.1 Gräserpollenflugzeit 2004

Der ChemVol®-Sampler wurde in der Zeit vom 01.06.2004 bis 27.07.2004 betrieben.

Bei der Phl p 5-Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler und der Pollenflugmessung mit der Pollenfalle ergaben sich 2004 folgende Werte:

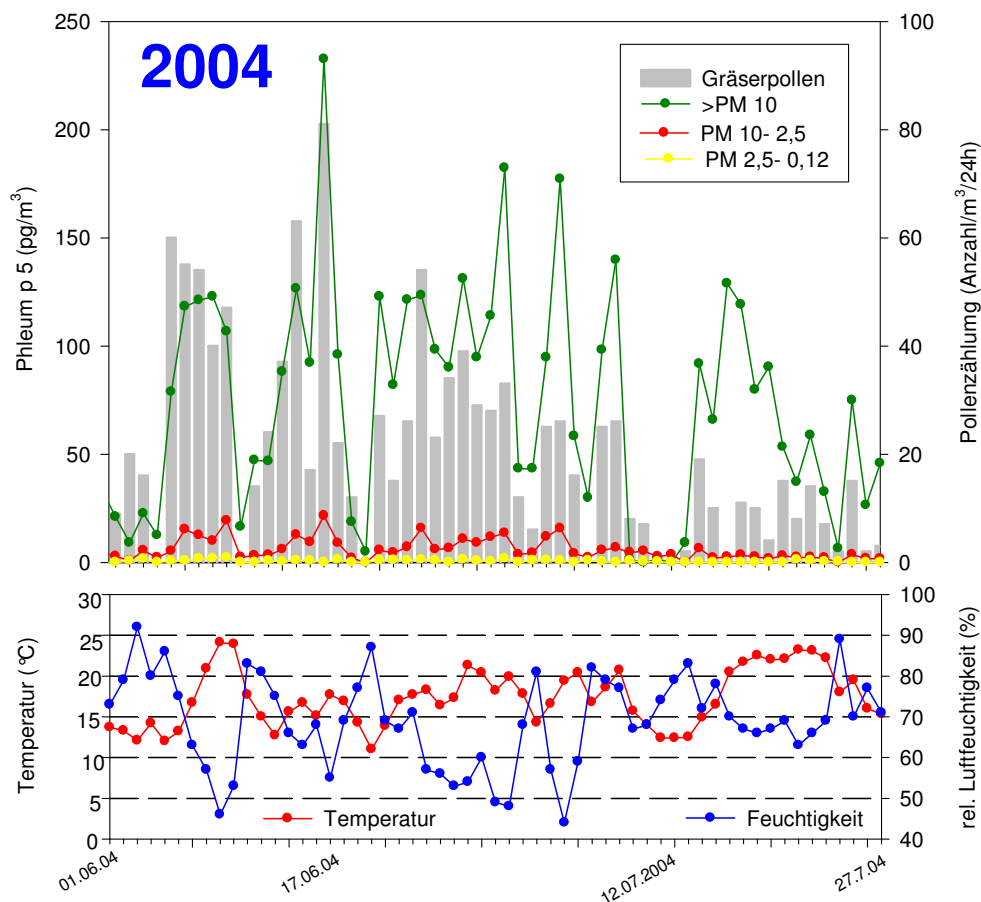


Abbildung 4.2.1: Ergebnisse Gräserpollensaison 2004

#### 4.2.1.1 Allergenbelastung

Das Allergen Phl p 5 konnte in allen drei Kompartimenten nachgewiesen werden, wobei in Stufe S (PM 2,5- 0,12) die Konzentrationen sehr niedrig waren (0- 2,1 pg Phl p 5/m³ Luftvolumen). Der Allergengehalt in Stufe XL und M korrelierte mit dem Pollenflug, wobei in Stufe XL (> PM 10) der größte Teil des gemessenen Phl p 5 zu finden war (91% des während der gesamten Saison gemessenen Allergens).

Am Tag des Pollenpeaks (17.06.2004 mit 81 Pollen/m³/24h) zeigte sich die höchste Allergenkonzentration der Saison in Stufe XL (232,6 pg Phl p 5/m³ Luftvolumen) und

Stufe M (21,5 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Zum Ende der Pollensaison stieg der Allergengehalt in Stufe XL bei verringertem Pollenflug noch einmal an (siehe 16.07.2004 mit 1 Pollen/m<sup>3</sup>/24h und 128,9 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen in Stufe XL und 2,4 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen in Stufe M).

#### **4.2.1.2 Wettereinfluss**

Während des Pollenpeaks (17.06.2004) zeigte sich eine unter dem Saisondurchschnitt liegende relative Luftfeuchtigkeit. Die Temperatur lag im Saisondurchschnitt. Im Verlauf der gesamten Saison führte Regen (im Vergleich zu den Vortagen kurzfristig stark angestiegenen Luftfeuchtigkeit) zu einem Auswaschen von Allergen und Pollen aus der Luft (siehe 20.06.2004). Unter dem Saisondurchschnitt liegende Luftfeuchtigkeit führte zu einem verstärkten Pollenflug (siehe 08.07.2004).

Vergleichbar mit den Ergebnissen der ChemVol®-Sammlung während der Birkensaison ist zu beobachten, dass es nach einem Auswaschen von Pollen und Allergen durch Regen (09.07.- 12.07.2004) zu einem erneuten Anstieg der Allergenbelastung in Stufe XL trotz geringem Pollenflug kam.

### 4.2.1.3 Gesamtallergengehalt

Der Graph, der Pollenflug und Gesamtallergengehalt (Stufe S+M+XL) darstellt, zeigt einen Zusammenhang von Pollenflug und Gesamtallergenbelastung in der Umluft (Korrelationskoeffizient  $r = 0,75$ . Es wurden alle gemessenen Werte der Sammelperiode berücksichtigt).

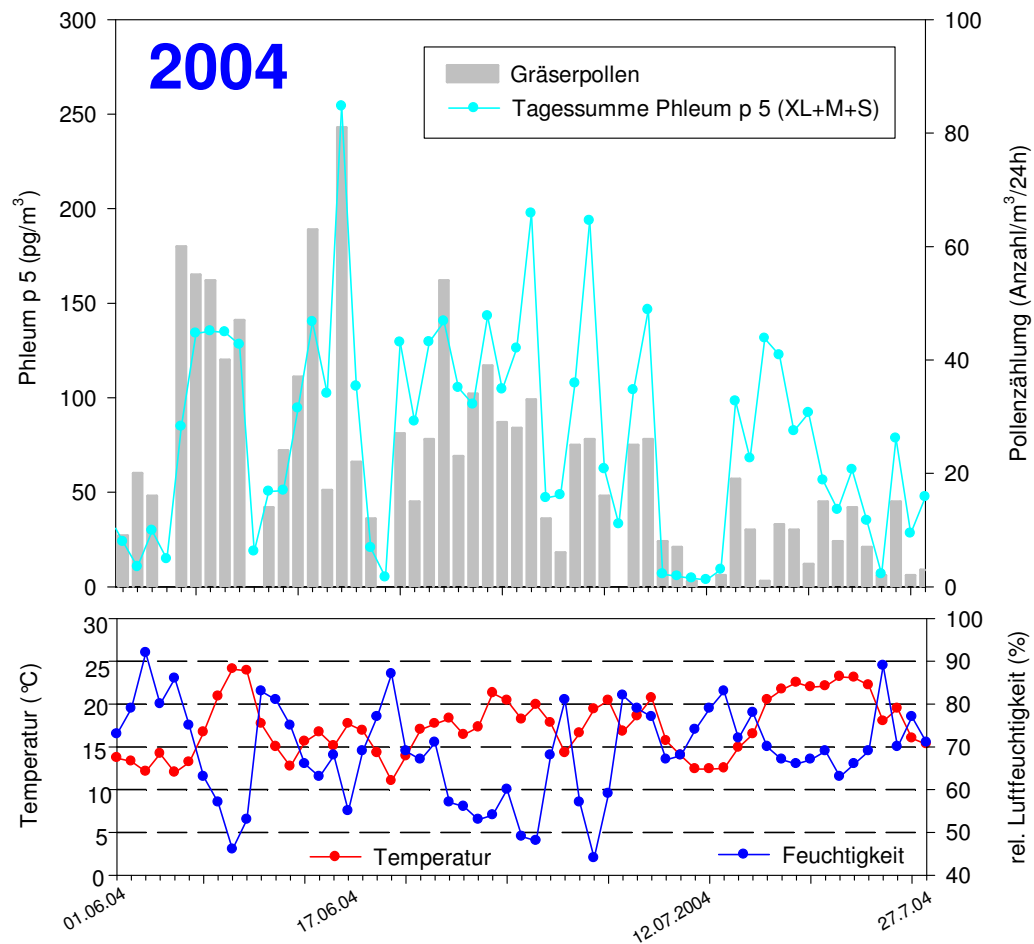


Abbildung 4.2.2: Gesamtallergengehalt Gräserpollensaison 2004

## 4.2.2 Gräserpollenflugzeit 2005

Der ChemVol®-Sampler wurde in der Zeit vom 01.06.2005 bis 28.07.2005 betrieben.

Bei der Phl p 5-Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler und Pollenflugmessung mit der Pollenfalle ergaben sich 2005 folgende Werte:

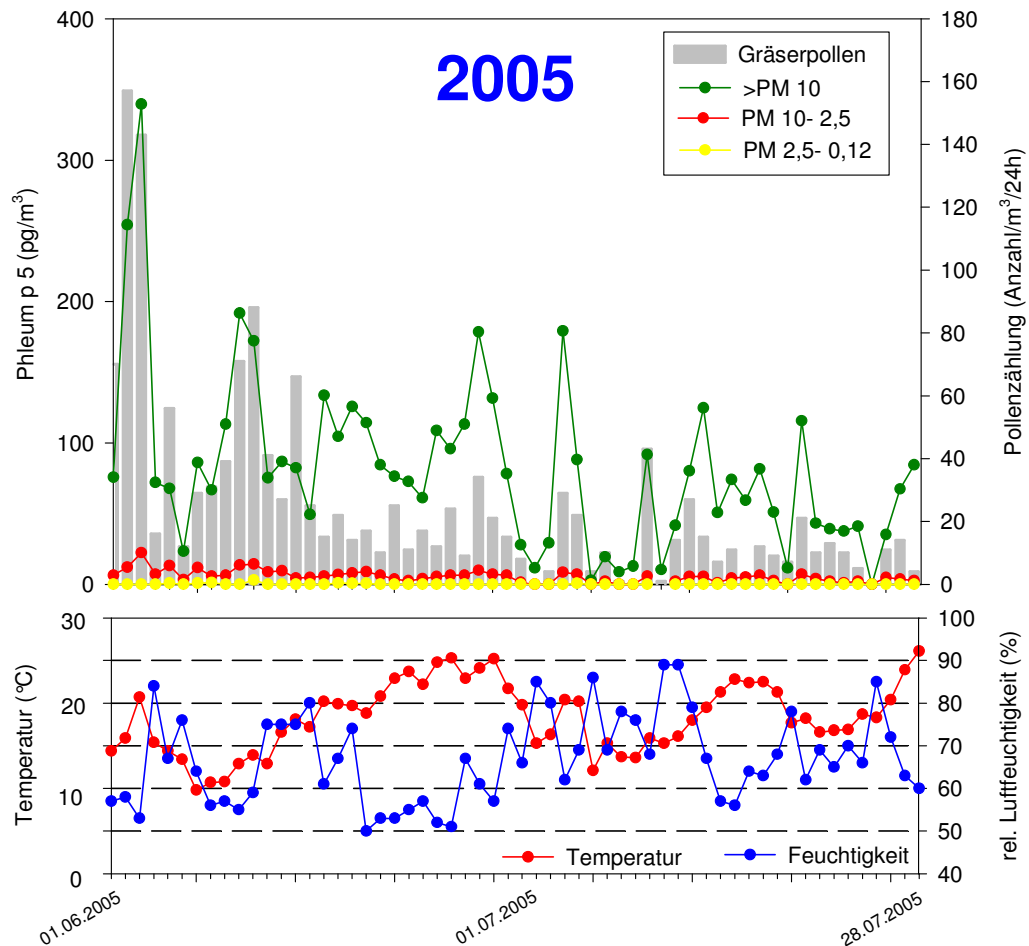


Abbildung 4.2.3: Ergebnisse Gräserpollensaison 2005

### 4.2.2.1 Allergenbelastung

Das Allergen Phl p 5 konnte in allen drei Kompartimenten nachgewiesen werden, wobei in Stufe S (PM 2,5- 0,12) die Konzentrationen deutlich geringer als im Vorjahr waren (0- 3,0 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Der Allergengehalt in Stufe XL und M korrelierte mit dem Pollenflug wobei in Stufe XL (> PM 10) der größte Teil des gemessenen Phl p 5 zu finden war (93% des während der gesamten Saison gemessenen Allergens). Der Pollenflug 2005 war insgesamt stärker als im Vorjahr.

Der Tag des Pollenpeaks (02.06.2005 mit 157 Pollen/m<sup>3</sup>/24h) war genau zu Beginn der Sammlung. Man kann davon ausgehen, dass vor diesem Termin auch schon Pollen und Allergen in der Luft zu finden waren.

Am 02.06.2005 fand man eine hohe Allergenkonzentration in Stufe XL (254,2 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen) und Stufe M (12,1 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen).

Der höchste Allergengehalt in Stufe XL und M fand sich am Tag nach dem Pollenpeak (03.06.2005 mit 339,6 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen in Stufe XL und 22,4 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen in Stufe M).

Die Datenkurve der Allergenlast in Stufe XL korreliert weitgehend mit dem Pollenflug.

#### **4.2.2.2 Wettereinfluss**

Während des Pollenpeaks (02.06.2005) zeigte sich wiederum eine im Saisondurchschnitt niedrige relative Luftfeuchtigkeit.

Das Ansteigen der relativen Luftfeuchtigkeit zeigt 2005 deutliche Effekte und führte stets zu einem Abfall der Allergenlast (siehe z.B. 25.07.2007). Der Effekt des darauf folgenden Ansteigens der Allergenbelastung in Stufe XL ist 2005 nicht sehr deutlich ausgeprägt.

### 4.2.2.3 Gesamtallergengehalt

Der Graph, der Pollenflug und Gesamtallergengehalt (Stufe S+M+XL) darstellt, zeigt einen Zusammenhang von Pollenflug und Gesamtallergenbelastung in der Umluft (Korrelationskoeffizient  $r = 0,79$ . Es wurden alle gemessenen Werte der Sammelperioden berücksichtigt.).

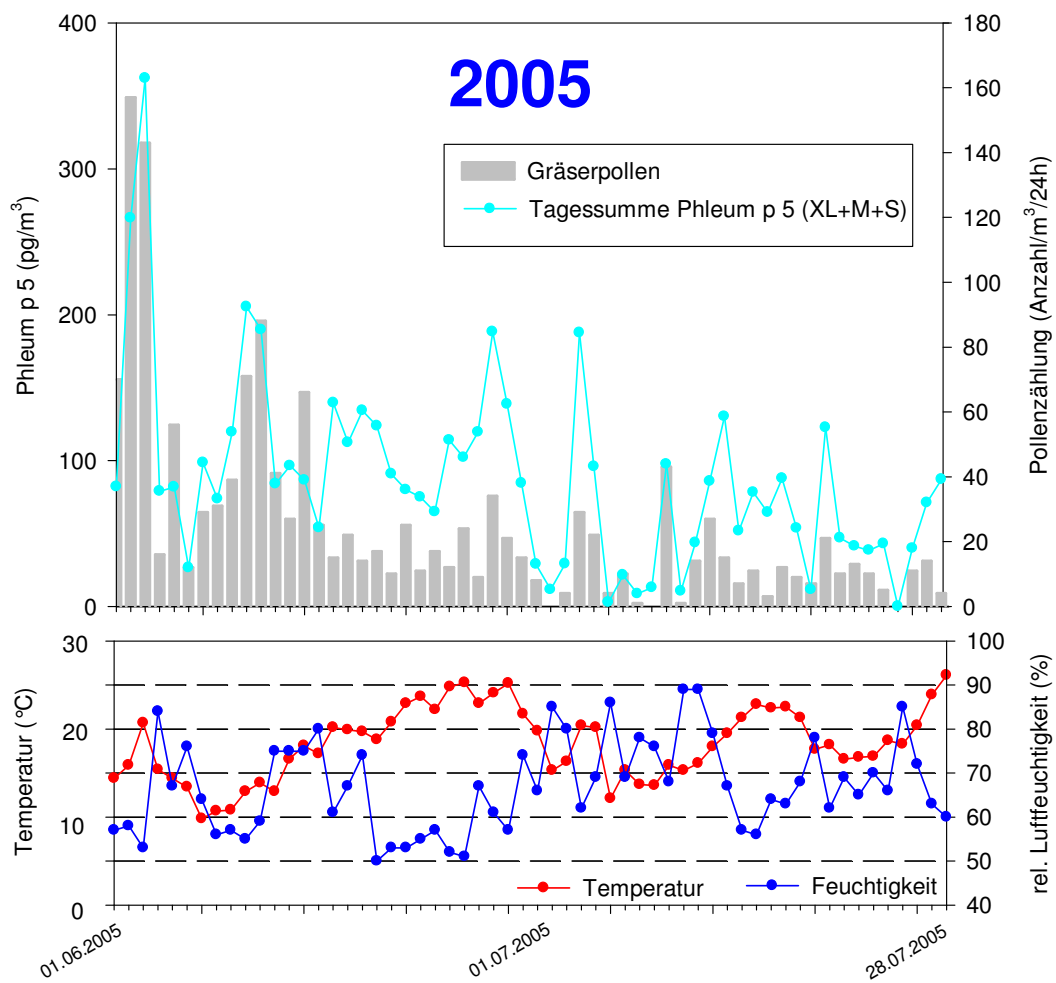


Abbildung 4.2.4: Gesamtallergengehalt Gräserpollensaison 2005

#### 4.2.2.4 „Fettkopf“

Der zusätzlich im Jahre 2005 betriebene „Fettkopf“ erbrachte folgende Ergebnisse:

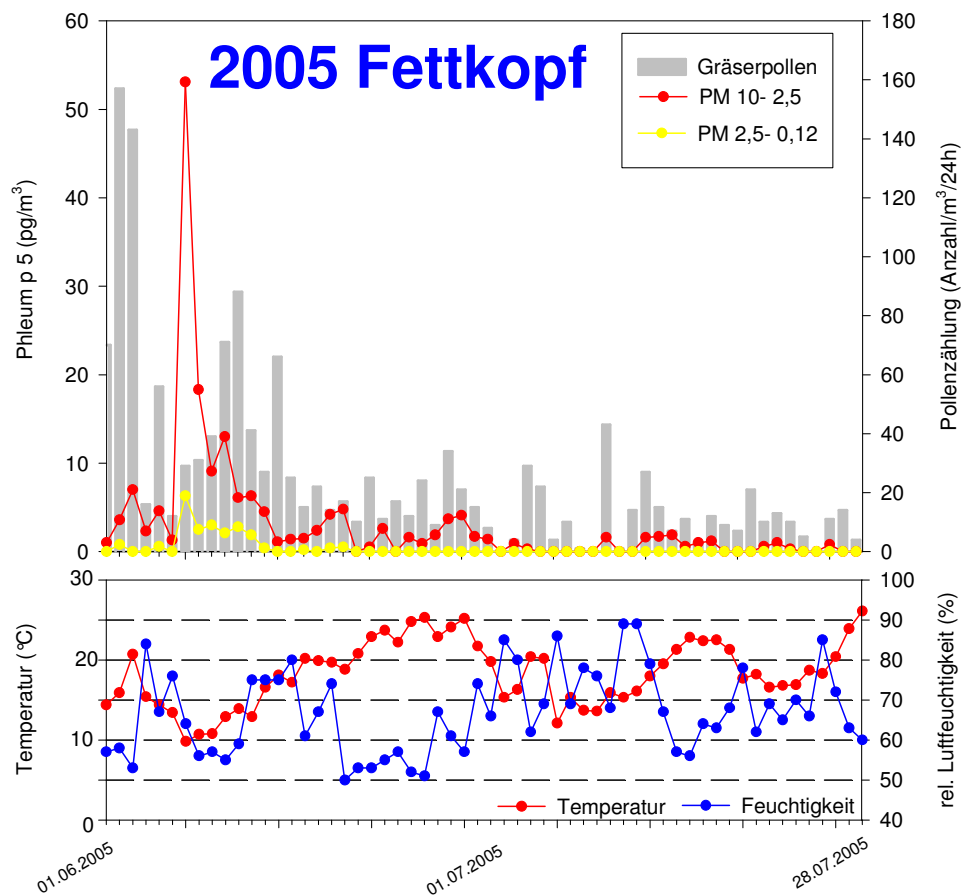


Abbildung 4.2.5: Fettkopf Gräserpollensaison 2005

##### 4.2.2.4.1 Allergenbelastung

Das Allergen Phl p 5 konnte in Kompartiment S und M nachgewiesen werden, wobei in Stufe S (PM 2,5- 0,12) die Konzentrationen höher als im Standardkopf waren (0- 6,3 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Die Stufe XL war mit Fett besetzt und konnte nicht extrahiert werden.

Am Tag des Pollenpeaks (02.06.2005 mit 157 Pollen/m<sup>3</sup>/24h) zeigt sich keine hohe Allergenkonzentration in Stufe M (3,6 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen). Die Allergenlast in Stufe M lag fünf Tage später trotz geringem Pollenflug deutlich höher (07.06.2005 mit 29 Pollen/m<sup>3</sup>/24h und 53,1 pg Phl p 5/m<sup>3</sup> Luftvolumen in Stufe M).

##### 4.2.2.4.2 Wettereinfluss

Aufgrund des geringen Allergennachweises lassen sich keine konkreten Wettereinflüsse bestimmen.

## 4.2.3 Generelle Resultate der verschiedenen Sammlungen

### 4.2.3.1 Allergenbelastung

- Die Summe der gemessenen Allergenbelastung in der Luft pro Tag korrelierte hoch mit der Tagessumme der ausgezählten Pollen der Burkard-Pollenfalle. (Korrelationskoeffizient  $r = 0,75 - 0,79$ , d.h. es zeigte sich im Vergleich mit der Bet v 1- Sammlung eine leicht verminderte Korrelation. Es wurden alle gemessenen Werte der Sammelperiode berücksichtigt)

Es zeigte sich kein proportionales Verhältnis und es kam punktuell zu Abweichungen (z.B. Tage mit wenig Pollenflug und viel Allergen oder mit viel Pollenflug und wenig Allergen.).

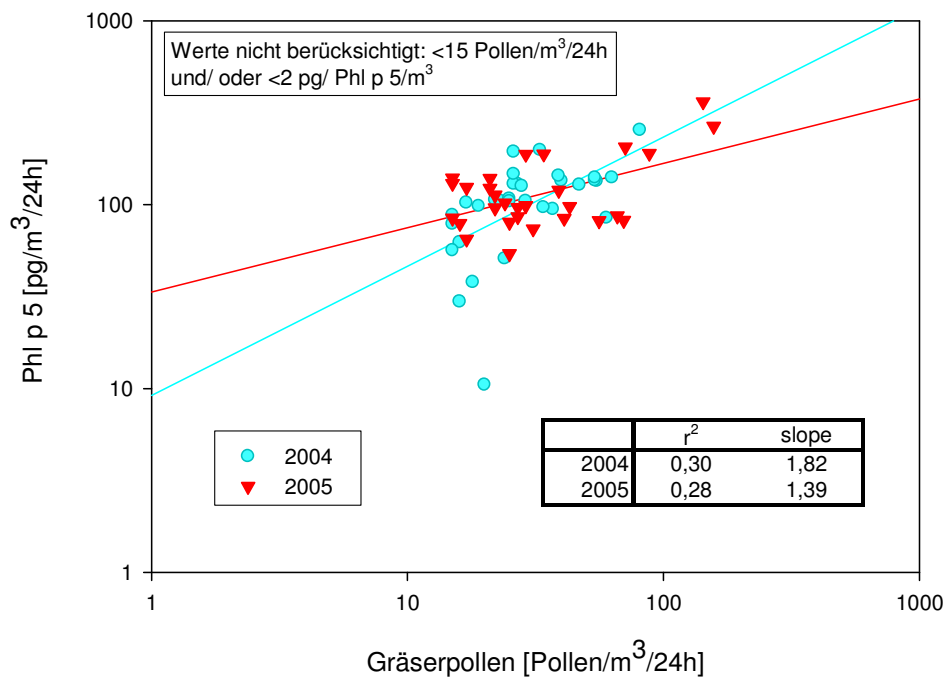


Abbildung 4.2.6: Regressionsanalyse Gräsersaison 2004/2005



- Allergen Phl p 5 wurde hierbei besonders in Stufe XL und M nachgewiesen. In Stufe S konnten wir Allergen nur in sehr geringen Konzentrationen nachweisen.

**Tabelle 4.2.1:** Prozentualer Anteil am Gesamtallergengehalt je nach Stufe und Jahr

Stufe	XL	M	S
2004	91%	7%	0,66%
2005	93%	6%	0,16%

#### 4.2.3.2 Wettereinfluss

- Im Vergleich zu den Vortagen angestiegene Luftfeuchtigkeit führte zu einem Abfall der Allergen- und Pollenbelastung in der Luft.
- Der Pollenpeak fand in einer Phase mit im Saisondurchschnitt niedriger relativer Luftfeuchtigkeit und relativ hohen Außentemperaturen statt.
- Im Jahr 2004 zeigte sich nach dem Auswaschen von Pollen und Allergen durch Regen ein erneuter Anstieg der Allergenbelastung in Stufe XL trotz geringem Pollenflug.

### 4.2.3.3 Vergleich der Messergebnisse der Jahre 2004/2005

**Tabelle 4.2.2:** Vergleich der Messergebnisse der Jahre 2004/2005

Jahr	Beginn der Sammlung	Dauer der Sammlung [Tage]	Summe gemessenes Allergen [pg Phl p 5/m3/Saison]	Summe gezählte Pollen [Pollen/m3/Saison]	Durchschnittliche Allergenbelastung pro Tag [pg Phl p 5/m3/ 24h]	Durchschnittliche Pollenbelastung pro Tag [Pollen/m3/24h]	Durchschnittlicher Phl p 5- Gehalt pro Pollen Phl p 5 [pg/Pollen]
2004	01.06.2004	57	4.554,80	1.172	79,91	20,56	3,89
2005	01.06.2005	58	5.076,90	1.432	87,53	24,69	3,55

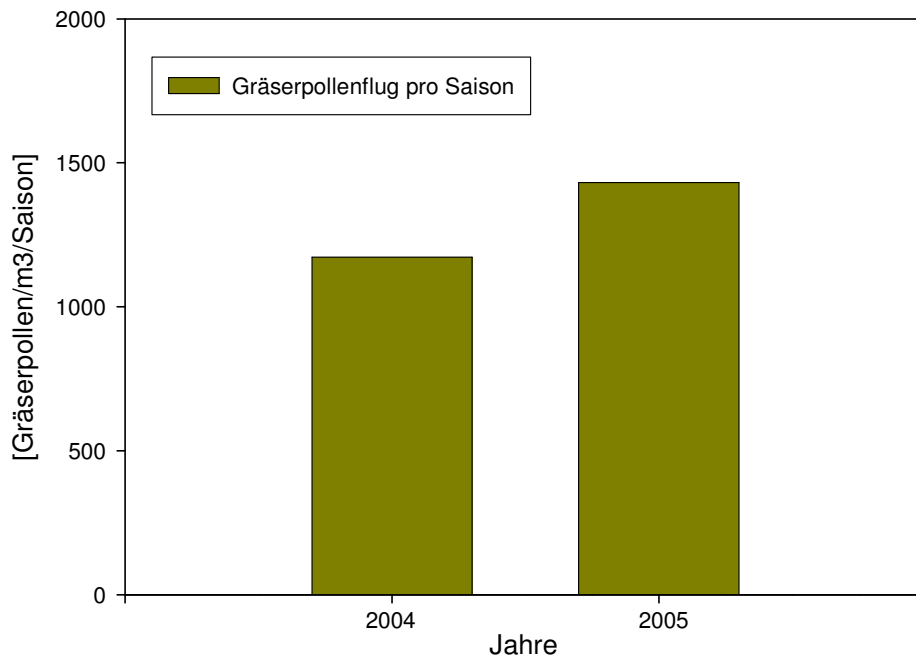
Die Werte verhalten sich in den Jahren 2004 und 2005 gegenläufig:

- Die Dauer der Sammlung war in beiden Jahren vergleichbar.
- Im Jahr 2005 war der Pollenflug etwas schwächer; es wurde insgesamt mehr Allergen Phl p 5 detektiert.
- Im Jahr 2004 war der Pollenflug stärker; es wurde insgesamt weniger Allergen gemessen.
- Rein rechnerisch zeigte sich im Verlauf der Saison 2005 ein etwas geringerer Phl p 5- Gehalt pro Pollen als in 2004.
- Der Allergengehalt pro Pollen variiert von Jahr zu Jahr, aber weniger deutlich als in der Birkenaison.

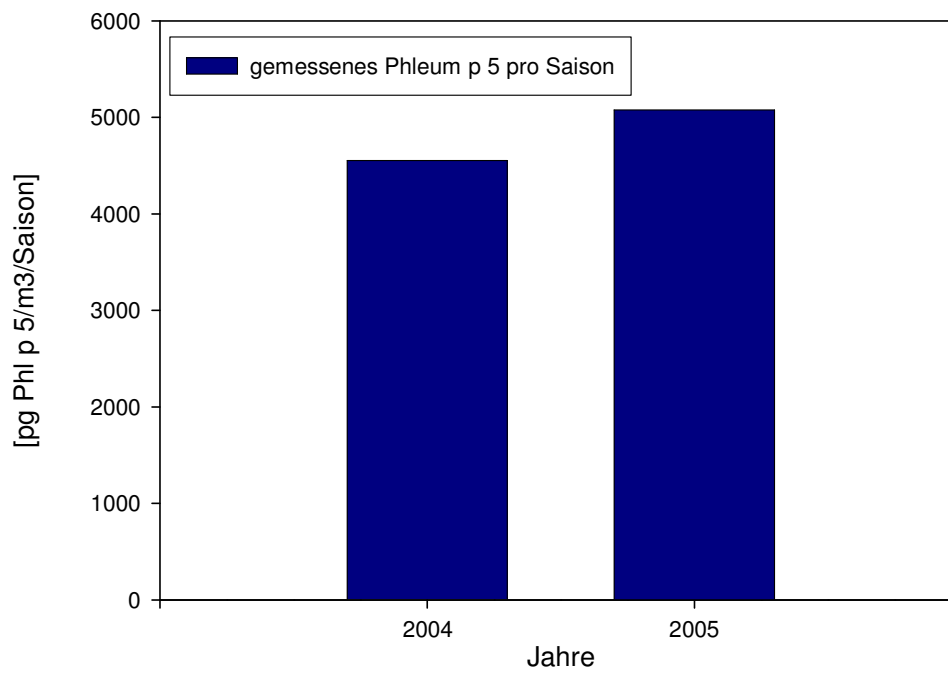
**Tabelle 4.2.3:** T- Test Gräsersaison 2004/2005

Jahre	Wahrscheinlichkeit eines ungepaarten T-Tests mit zweiseitiger Verteilung (homoskedastisch)
2004>2005	0,6260162

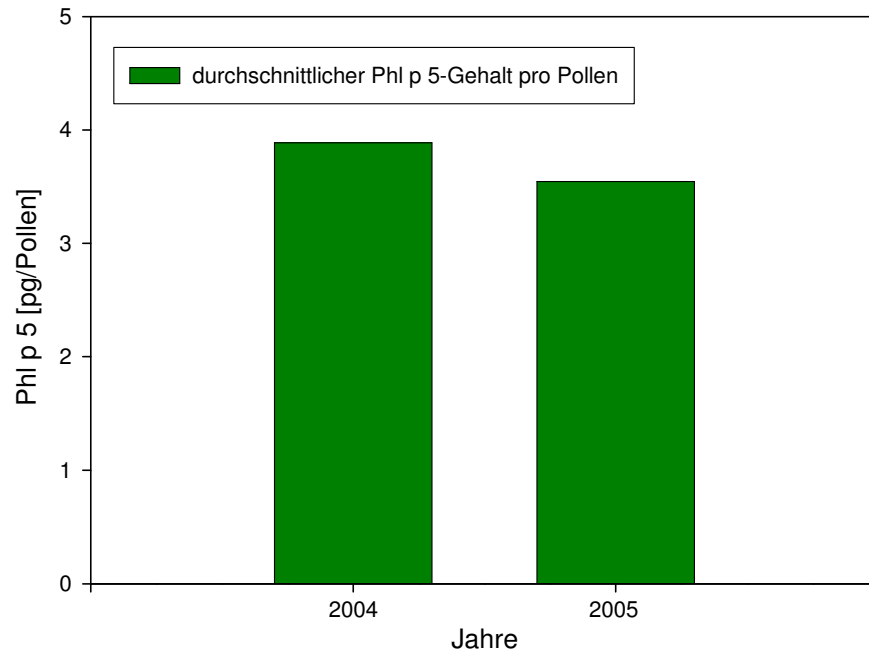
*Anmerkung:* Pollenwerte nicht berücksichtigt < 15 Pollen/ m3/ 24h; Phl p 5- Werte nicht berücksichtigt < 2 pg Phl p 5/ m3/ 24h



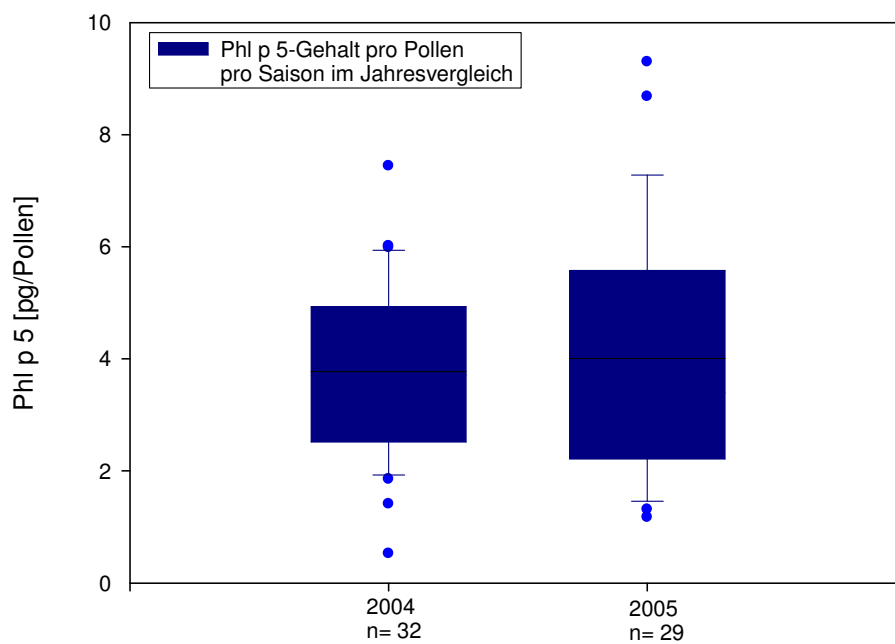
**Abbildung 4.2.7:** Gräserpollenflug pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005



**Abbildung 4.2.8:** Allergengehalt pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005



**Abbildung 4.2.9:** Durchschnittlicher Phl p 5- Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005

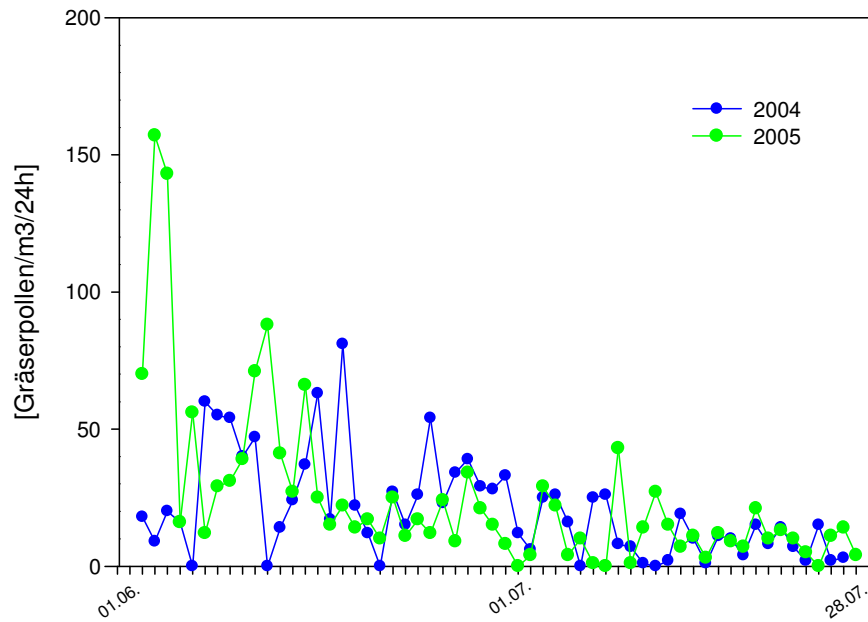


Pollenwerte nicht berücksichtigt < 15 Pollen/ m<sup>3</sup>; Phl p 5- Werte nicht berücksichtigt < 2 pg Phl p 5/ m<sup>3</sup>

**Abbildung 4.2.10:** Phl p 5- Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005

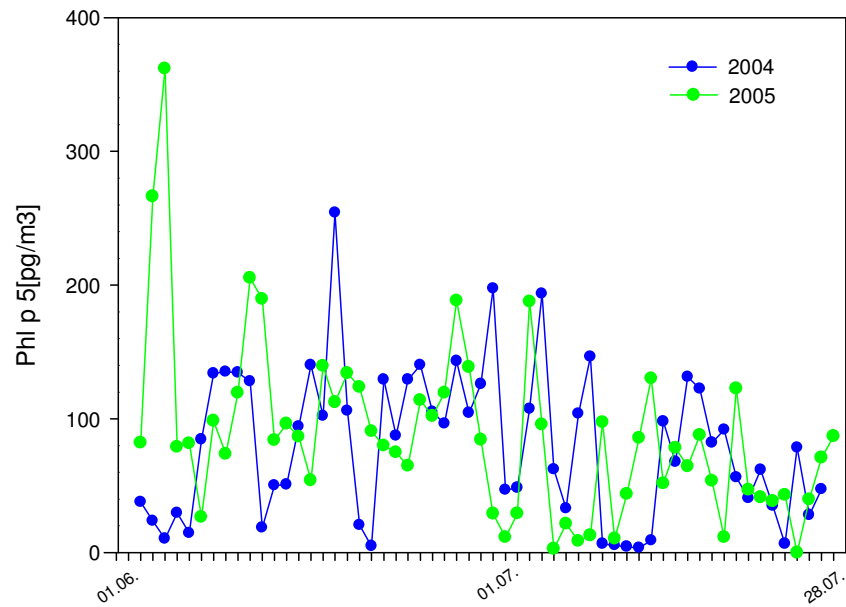
#### 4.2.3.3.1 Pollenpeak 2004/2005

Der Tag des höchsten Pollenflugs („Pollenpeak“) war sehr verschieden in 2004 (17.06.2004 mit 81 Pollen/m<sup>3</sup>/24h) und 2005 (03.06.2005 mit 157 Pollen/m<sup>3</sup>/24h).



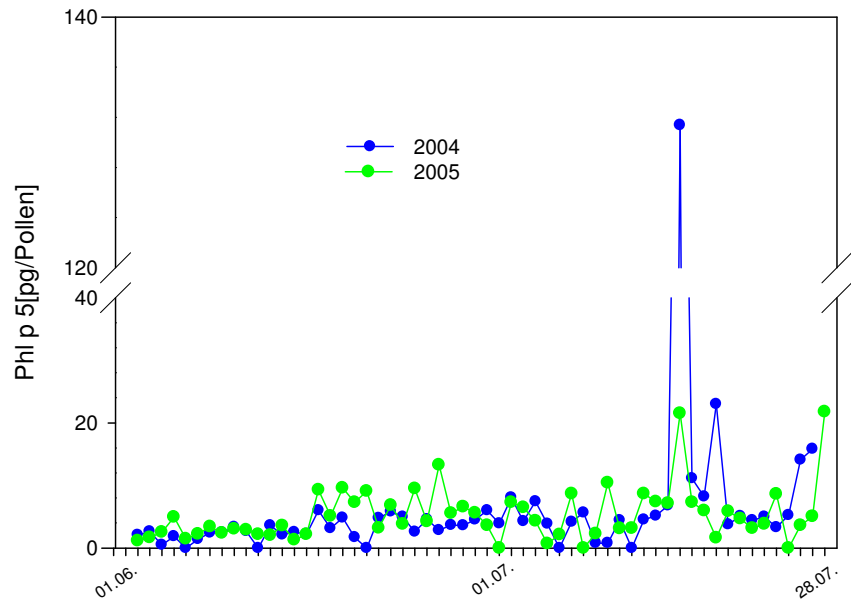
**Abbildung 4.2.11:** Gräserpollenflug im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2004/2005

Der Tag mit der höchsten gemessenen Allergenbelastung mit Phl p 5 fiel 2004 mit dem Pollenpeak zusammen. Im Jahre 2005 wurde die höchste gemessene Allergenkonzentration einen Tag nach dem Pollenpeak erreicht.



**Abbildung 4.2.12:** Phl p 5- Belastung im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2004/2005

Bei der Berechnung des Allergengehaltes pro Pollen unter Verwendung des Gesamtallergengehaltes pro Tag und der Pollenzählung pro Tag zeigen sich auch in der Gräsersaison deutliche Schwankungen.



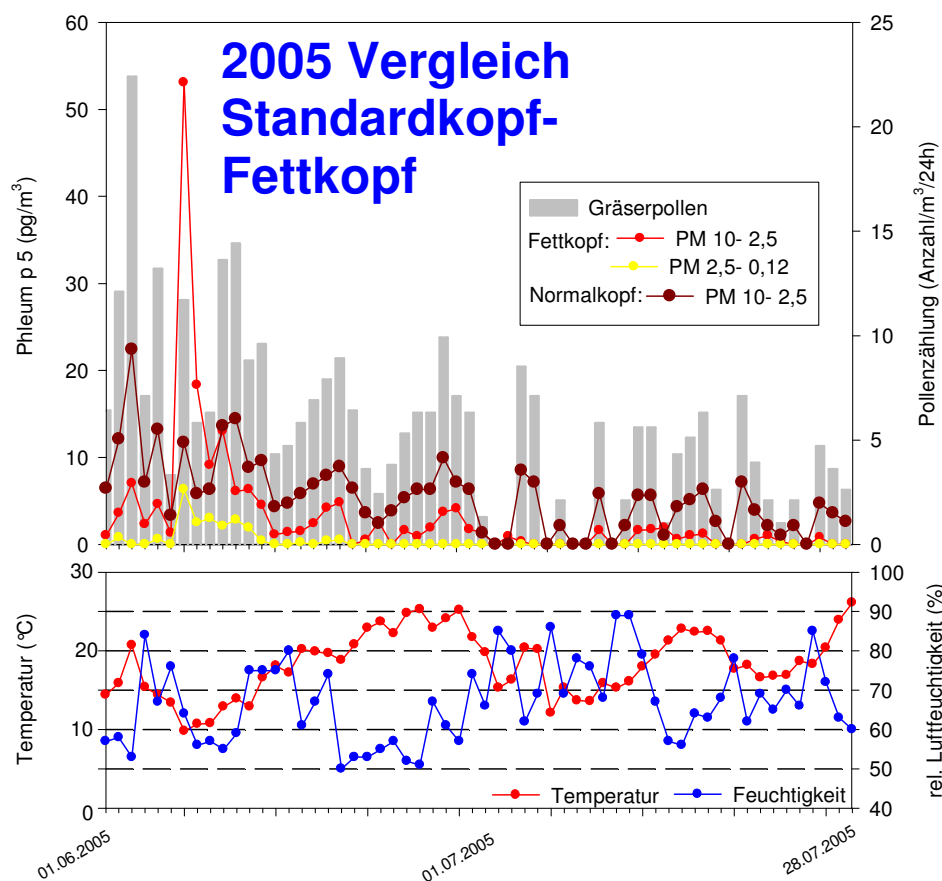
**Abbildung 4.2.13:** Berechnetes Phl p 5 pro Pollen im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2004/2005

#### 4.2.3.3.2 Vergleich Standardkopf und Fettkopf 2005

Die Datenkurven der Stufen S und M der beiden Köpfe verliefen unterschiedlich.

In der Stufe M wurden Konzentrationen von Phl p 5 der gleichen Größenordnung gemessen, wobei die höchste Konzentration in Stufe M im Fettkopf alle anderen Werte deutlich überragt. An diesem Tag (07.06.2005) zeigte sich auch ein Anstieg der Allergenkonzentration in Stufe S und am Folgetag eine immer noch über den Durchschnitt erhöhte Allergenkonzentration in Stufe M. Daher erscheint eine zunächst vermutete Fehlmessung ausgeschlossen.

In Stufe S wurden im Fettkopf höhere Konzentrationen Phl p 5 gemessen als im Standardkopf.



**Abbildung 4.2.14:** Vergleich Standardkopf und Fettkopf Gräsersaison 2005

Während der Saison wurden in Stufe M des Normalkopfes ca. 6% des insgesamt im Normalkopf gemessenen Allergens detektiert. Da beide Sammelköpfe nebeneinander standen, gehen wir davon aus, dass die Gesamtallergenlast der Saison in beiden Köpfen annähernd die gleiche ist, wobei diese im Fettkopf nicht bestimmt werden



konnte da die XL- Stufe des Fettkopfes aufgrund der Fettschicht nicht extrahierbar war. In Stufe M des Fettkopfes wurde ca. 3,5% des insgesamt im Normalkopf gemessenen Allergens detektiert. Aufgrund dieser Ergebnisse gehen wir davon aus, dass der „blow-through“ (direkter Weitertransport von Partikeln ohne Impaktion in der entsprechenden Stufe) ca. 2,5% beträgt.

## 5 Diskussion

### 5.1 Methodische Aspekte

#### 5.1.1 ChemVol®-Sampler

Die Methode der größenabhängig fraktionierten Sammlung von Umluftpartikeln besitzt methodische Schwachstellen:

Unserer Ansicht nach konnte der ChemVol®-Sampler keine befriedigende größenabhängige Fraktionierung der Partikel in der Luft herbeiführen. Der „blow-off“ (zeitversetzter Weitertransport des Partikels durch den Luftstrom nach bereits erfolgter Impaktierung) und „bounce-off“ (Abprallen des Partikels am Substrat der entsprechenden ChemVol®-Stufe) des Impaktors scheinen deutlich zu sein; dies bestätigte unsere Betrachtung der entnommenen Filter im Raster-Elektronen-Mikroskop.

Dadurch konnte der Allergengehalt besonders der unteren Stufen nicht eindeutig Partikeln einer bestimmten aerodynamischen Größe zugeordnet werden. Weiterhin handelt es sich bei der Quantifizierung der Abscheidegrößen um einen „50%-cut-off“, das bedeutet >50% der gewünschten Partikelfraktion werden an der entsprechenden ChemVol®-Stufe impaktiert. Dies führt zur Impaktierung von bis zu 50% der Partikelfraktion an anderen Orten.

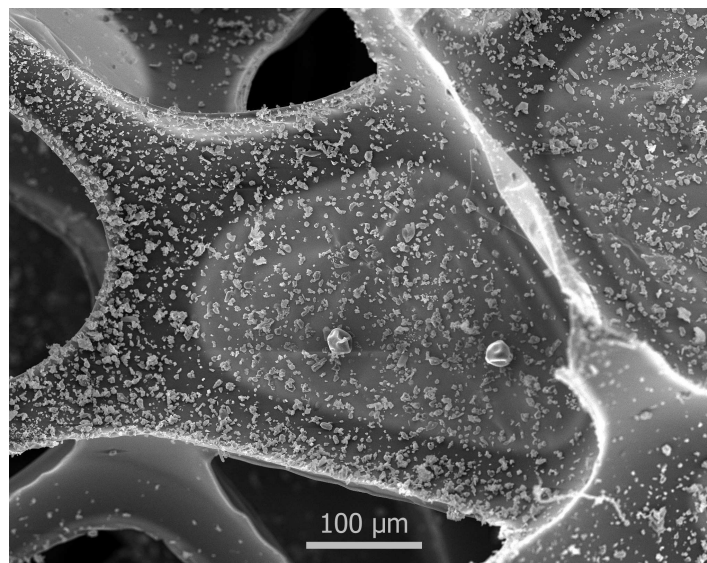
Auch in vergleichbaren Versuchen anderer Autoren zeigten sich die Phänomene „bounce-off“ und „blow-off“<sup>62,80</sup>:

RIEDIKER et al. verwendeten 2000<sup>80</sup> während der Birkenpollensaison zwei Stufen-Impaktoren wobei ein Impaktor komplett mit Faserfiltern als Sammelsubstrat bestückt war und der andere Impaktor als obere Stufe eine Etage (Sammlung von Partikeln der Größe 4,2 -10,2 µm) mit Silikonfett besaß. Der Impaktor ohne die Fettschicht zeigte einen starken „bounce-off“ und „blow-off“ der Pollen, d.h. die Pollen konnten nicht in den oberen Impaktorstufen nach ihrer aerodynamischen Größe impaktiert werden, sondern prallten dort am Sammelsubstrat ab und wurden weitergeleitet bis teilweise zum Backup-Filter als unterste Stufe des Impaktors. Dieser Effekt wurde im Impaktor mit der Silikonfettschicht deutlich reduziert. Zur Bestimmung des tatsächlichen Allergengehalts der Partikel, die kleiner sind als Pollen, favorisierte RIEDIKER deshalb die Nutzung eines Impaktors mit eingebrachter Silikon-Fett-Schicht. Seine Resultate beschreiben

einen deutlich geringeren Allergengehalt in der Fraktion der kleinen Partikel als in der Fraktion der intakten Pollen.

In den in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Sammelperioden wurde kein „Back-up“-Filter verwendet. Das heißt, in unserem Versuchsaufbau ist es möglich, dass Allergen durch den Kopf durchgeleitet und in keiner der Stufen impaktiert und damit detektiert wurde („blow-through“). Aufgrund der oben erläuterten Berechnungen nehmen wir einen „blow-through“ von 2,5%- 3% der Gesamtallergenmenge an. (In Folgeversuchen unserer Arbeitsgruppe konnte mittlerweile gezeigt werden, dass kein Allergen mit dem Back-up- Filter aufgefangen werden konnte. Aufgrund dieser Erkenntnisse nehmen wir an, dass der „blow-through“ insgesamt geringer ist als erwartet.)

Eine weitere methodische Fehlerquelle ergibt sich aus der praktischen Durchführung der Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler: Man kann den Ort der Interaktion von Partikeln und Allergen bei der Sammlung mit dem ChemVol®-Sampler nicht genau bestimmen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu bestimmten Vorgängen erst innerhalb des ChemVol®-Samplers kommt, da die Filter des ChemVol®-Samplers jeweils nach 24 Stunden gewechselt wurden. So kann eine Reaktion der Allergene mit Partikeln der Umluft direkt auf dem Filter weder bestätigt noch ausgeschlossen werden. Man kann also nicht genau definieren, zu welchem Zeitpunkt und an welchem Ort (vor oder nach Impaktion) es zu Reaktionen gekommen ist. Man bezeichnet dieses Phänomen auch als „on-filter-effect“. <sup>30</sup>



**Abbildung 5.1.1:** Birkenpollen im ChemVol®- Filter mit Partikeln der Umluft im Rasterelektronenmikroskopischen Bild/ Filter entnommen aus Stufe M des Standardkopfes am 16.04.2005

Eine weitere denkbare Fehlerquelle der Messung wäre die mögliche Fragmentierung und damit verbundene Veränderung der aerodynamischen Eigenschaften von Pollen direkt im ChemVol®-Sampler-Kopf kurz vor der Impaktion. Pollen sind Flugkörper, deren morphologischer Durchmesser zwischen 15 und 60 µm beträgt. Die im ChemVol®-Sampler impaktierten Teilchen werden anhand des aerodynamischen Durchmessers aufgetrennt. Unklar ist, wie sich der aerodynamische Durchmesser im Vergleich zum morphologischen Durchmesser verhält. Es ist durchaus denkbar, dass diese beiden Größen stark voneinander abweichen und Pollen deshalb nicht in der theoretisch bestimmten Stufe impaktiert werden.

Eventuell verändern Pollen auch abhängig von bestimmten Faktoren wie Feuchtigkeit ihren aerodynamischen Durchmesser.

Aufgrund der aufgeführten möglichen Fehlerquellen entschlossen wir uns zu einer Aufsummierung der einzelnen Auftrennstufen, um eine Aussage über den Gesamtgehalt von Allergenen in der Umluft machen zu können. Der Vergleich dieses Wertes mit den Pollenflugzählungen kann weiter interpretiert werden, denn obwohl aufgrund der oben erwähnten Fehlerquellen einzelnen Allergenträger gar nicht erfasst werden, betrifft dies alle Tage in gleichem Maße und ein Vergleich der Tage untereinander ist zulässig.

#### **5.1.1.1 Fettkopf 2005**

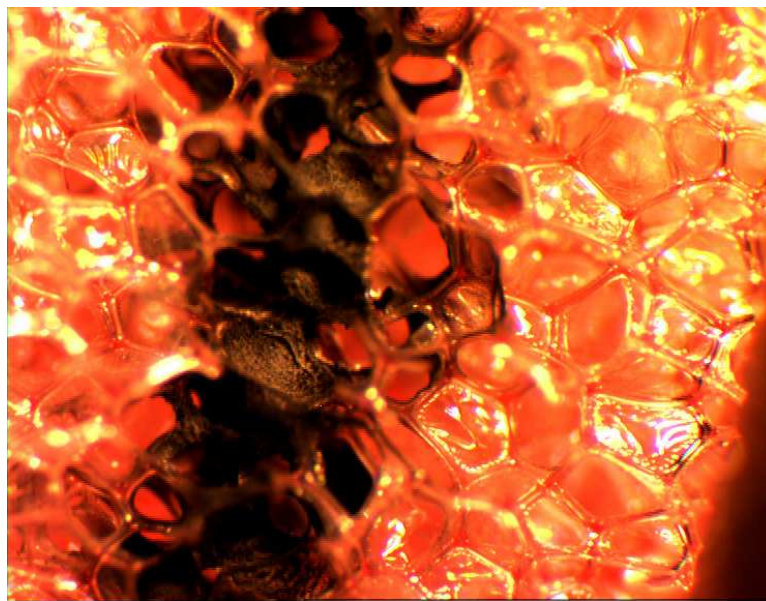
Um den oben erwähnten Fehlerquellen entgegenzuwirken, entschlossen wir uns 2005 zu einer Erweiterung des Versuchsaufbaus durch Einbringen einer Fettschicht in der Stufe XL zur Verhinderung des „bounce“- und „blow-offs“ analog zu den Versuchen von RIEDIKER et. al. 2000<sup>80</sup>. Wir konnten mit dieser Ergänzung einen „bounce“- und „blow-off“ weitgehend ausschließen, der „blow-through“ war allerdings weiterhin nicht quantifizierbar.

Der Allergenpeak in der Stufe M des Fettkopfes während der Gräserpollensaison 2005 könnte resuspendierte Teilchen nach starkem Pollenflug gefolgt von hoher Feuchtigkeit darstellen.<sup>65,114</sup> Da wir dieses Phänomen allerdings in anderen erhobenen Werten nicht wieder finden, werten wir den Allergenpeak aufgrund seiner Divergenz vom Pollenpeak als Artefakt. Der Versuchsaufbau mit Fettkopf wurde nicht weiter fortgesetzt.

### 5.1.1.2 Interaktion von Allergen und Dieselruß in Stufe S

Die nachgewiesenen Konzentrationen von Allergen in Stufe S waren stets sehr gering. In Stufe S werden auch Dieselrußpartikeln impaktiert. Diese Karbonaggregate sind in ihrer äußeren Schicht chemisch aktiv.

In einem Titrationsversuch einer Bet v 1-Lösung mit Laborruß konnten wir zeigen, dass der Allergengehalt der Lösung bei Titration mit Dieselruß deutlich und kontinuierlich abnimmt. Deshalb vermuten wir auch in Stufe S des ChemVol®-Samplers eine Adsorption des vermutlich ursprünglich vorhandenen Allergens an Dieselruß. Dieses Phänomen könnte den erschwerten Nachweis von Allergen in Stufe S erklären.



**Abbildung 5.1.2:** Stereoauflichtmikroskopische Betrachtung eines Filters der Stufe S in 64-facher Vergrößerung/ Filter entnommen nach Testbestäubung und 24 Std. Laufzeit der Pumpe

### 5.1.2 Pumpenwechsel 2005

Ebenso führte die Nutzung einer weiteren Pumpe mit veränderten Volumenflüssen im Jahr 2005 zu veränderten Abscheidegrößen („cut-off“) der Partikel. Die Daten in dieser Arbeit wurden in der Einheit pg Allergen/m<sup>3</sup> Luftvolumen/Tag angegeben. Dadurch kann die Allergenlast der einzelnen Stufen und Sammelperioden trotzdem verglichen werden. Allerdings muss man beachten, dass der „cut-off“ in Stufe XL im Jahr 2004 (ca. 1500 l/min.) anders war als in 2005 (ca. 900 l/min). Die Abtrennung der groben (Stufe XL+M) von den feinen Partikeln (Stufe S) blieb allerdings trotz leichter Verschiebung der Fraktionierungsstufen erhalten.

Trotz erfolgter Volumenflussmessung der Pumpen mit dem Anemometer, konnte die Pumpenleistung nicht genau kalibriert werden, da diese stark von der Außentemperatur abhängt, die nicht dokumentiert wurde. In Zukunft wird für die ChemVol®-Versuche unseres Instituts ein speziell konstruiertes Volumenmessgerät eingesetzt.

### **5.1.3 Versuchsaufbau mit Schutzzelten**

Ein möglicher Einfluss der Schutzzelte, die über dem ChemVol®-Sampler aufgebaut waren, auf das aerodynamische Verhalten der Pollen konnte während der in dieser Arbeit betrachteten Versuchsreihe nicht ausgeschlossen werden. In Folgeversuchen des Instituts zeigte sich keine messbare Beeinflussung der Messergebnisse durch die Verwendung der Schutzzelte.

### **5.1.4 Wetterdokumentation**

Meteorologische Parameter wurden nur in Form von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit betrachtet. Nicht oder nur teilweise dokumentiert wurden Parameter wie Windrichtung, Windstärke, Regen und Gewitter. Dadurch können konkrete Mechanismen wie zum Beispiel zur Erklärung des Thunderstormasthmas<sup>65,114</sup> nicht genau beurteilt werden.

Die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes wurden immer für den Zeitraum 0- 24 Uhr des jeweiligen Tages erhoben. Pollenflug und ChemVol®-Sampler-Auswertung liefen jeweils von 12- 12 Uhr an zwei aufeinander folgenden Tagen. Bei Betrachtung von Wetter und Pollenflug- bzw. ChemVol®-Kurven im Vergleich kann es somit zu geringfügigen Verschiebungen kommen.

### **5.1.5 REM-Auszählung der ausgewechselten ChemVol®-Filter**

Die Auszählung der Rasterelektronenmikroskopischen Bilder der nach der Sammlung entnommenen Filter während der Birkenpollenflugzeit kann nicht zur Beurteilung des verhältnismäßigen Vorhandenseins von Pollen in den einzelnen Fraktionen herangezogen werden. Trotz des "blinden" Versuchsaufbaus kann die Zählung nicht als objektiv gelten, da die Größe der auszuzählenden Filteranteile nicht genau quantifiziert werden konnte.

In Zukunft wird ein weiteres Partikelsammelgerät mit Flachfiltern neben dem ChemVol®-Sampler verwendet werden. Auf den Flachfiltern soll das Allergen mit Antikörpern im Raster-Elektronen-Mikroskop sichtbar gemacht werden. Dies könnte die Differenzierung zwischen Pollen und kleinen Allergenbeladenen Partikeln ermöglichen.

## 5.2 Inhaltliche Aspekte

### 5.2.1 Im ChemVol®-Sampler impaktierte Partikel

Die in dieser Arbeit erhobenen Daten zeigen, dass es möglich ist, mit dem ChemVol®-Sampler Allergen in verschiedenen Partikelfractionen zu detektieren. Sie zeigen weiterhin, dass der Gesamtallergengehalt der Umluft weitgehend mit dem Pollenflug korreliert. Es wurde durchschnittlich 90% des Gesamtallergengehalts in der Partikelfraktion der Stufe XL (> PM 10) gefunden. Dieser Wert korreliert hierbei eng mit dem Pollenflug, was zu der Annahme führt, dass in Stufe XL hauptsächlich Pollen und grobe Partikelkonglomerate impaktiert werden. In Stufe M (PM 10- 2,5) kann an Tagen mit starkem Pollenflug ebenso Allergen nachgewiesen werden, wobei die Werte annähernd proportional zum Pollenflug verlaufen. Aufgrund von oben erläuterten methodischen Überlegungen könnte es sich hierbei ebenso um impaktierte Pollen handeln.<sup>80,95</sup>

Der Allergengehalt in Stufe S (PM 2,5- 0,12) kann nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden, was wir auf das methodische Problem der Interaktion von Dieselruß und Allergen in dieser Stufe zurückführen.

Deshalb ist es für die Detektion des Allergens in den Stufen XL+M zwingend erforderlich, dass diese von den Dieselrußpartikeln in Stufe S abgetrennt werden. Denn die Ergebnisse unserer Dieselrußtitration zeigen die Adsorption des Allergens an Dieselrußpartikeln, die ohne eine durch den ChemVol®-Sampler herbeigeführte Abtrennung auch die größeren Partikel betreffen könnte.

Die Frage nach dem Auftreten von kleinen Allergen beladenen Partikeln in der Umluft beurteilen andere Autoren wie folgt:

GLOVSKY et al. zeigten 2003 Pollenfragmente der Größe 30 nm- 4 µm, die nach Hydratation von Pollen entstanden.<sup>36</sup> Für die Bewertung unserer mit dem ChemVol®-Sampler erhobenen Daten bedeutet das, dass wir nach einer Phase mit relativ hoher Luftfeuchtigkeit Allergen in Form von Partikeln, die nicht Pollen sind, in allen Fraktionen nachweisen müssten. Dies gelingt uns nur in der Birkensaison 2004.

2007 zeigten DE LINARES et al.<sup>24</sup> in einem vergleichbaren Experiment mit dem Oliven-Allergen Ole e 1 die höchste Allergenität in der Gruppe der Partikel zwischen 3,3 und 0,7 µm. Dies interpretierten sie als die allergische Aktivität der mit Allergen beladenen kleineren Partikel, wobei sie die Pollen in den anderen Stufen

impaktiert sahen, in der interessanterweise kein Allergen nachgewiesen werden konnte, obwohl Olivenpollen als Hauptquelle des Allergens Ole e 1 fungieren.

Das Auftreten von kleinen Allergen geladenen Partikeln zeigten auch RANTIO-LEHTIMAKI et al. 1994 in einem vergleichbaren Versuch mit einem gröbenselektiven Aerosolsamplern (SSBAS) und einer Burkard-Pollenfalle. Hierbei war die Pollenanzahl, die von beiden Modellen detektiert wurde, nicht gleich aber signifikant korreliert. Allergen wurde in allen Partikelfractionen auch ohne die Präsenz von Pollen gefunden.<sup>79</sup>

Auch SCHÄPPI et al. zeigten in ihren Versuchen das Auftreten von kleinen Allergen geladenen Teilchen.<sup>88,89</sup> (*siehe unten*)

In einem Experiment zeigten SPIEKSMÄ et al. 1995 die Präsenz von atmosphärischem Graspollenallergen in allen Fraktionen der feinen und ultrafeinen Partikel auch unter Abwesenheit von Pollen während der Graspollenflugsaison.<sup>95</sup> Der Gehalt der Allergen geladenen feinen Partikel korrelierte hierbei mit dem Pollenflug.

Die Annahme von kleinen Allergen geladenen Partikeln kann anhand unserer Daten aufgrund der oben aufgeführten methodischen Überlegungen weder bestätigt noch abgelehnt werden.

## **5.2.2 Entwicklung von Pollenflug und detektiertem Allergengehalt im Verlauf der Saison**

Die Allergenität der ChemVol®-Samplern gemessenen Teilchen und die Pollenzählung in der Burkard-Pollenfalle sind im Jahr 2004 nicht proportional zueinander. So gibt es Tage mit wenig Pollenflug und viel Allergen in der Luft und Tage mit sehr viel Pollenflug und wenig Allergen in der Luft. Diese Relation von Pollenflug und Allergengehalt der Luft verändert sich im Laufe der Pollenflugsaison mehrfach. Dies zeigt auch der aus diesen beiden Werten berechnete theoretische Wert  $\mu\text{g Allergen pro Pollen}$ , der von der Annahme ausgeht, dass Pollen die einzigen Allergenträger der Umluft sind.

Das Phänomen des wechselnden Allergengehalts von Pollen zeigten auch RANTIO-LEHTIMAKI et al. 1994: Die gemessene Allergenkonzentration war nicht abhängig vom Pollenflug, d.h. an Tagen mit wenig Pollenflug fand man punktuell viel Allergen in der Luft. Ebenso fand man an einigen Tagen mit sehr viel Pollenflug wenig Allergen in der Luft, was die Annahme aufkommen ließ, dass Pollen auch leer von Allergen sein könnten.<sup>76,79</sup>



Auch andere Autoren zeigten die Disproportionalität von Pollenflug und Allergen und vermuten als Ursache hierfür eine Variabilität im Allergengehalt des Pollens.<sup>49,79</sup>

MADEJA et al.<sup>62</sup> verglichen 2003 die Resultate zweier baugleicher Hirst- Volumen-abhängigen Partikelsammler. Ein Sammler diente hierbei zur Pollenzählung, der zweite Sammler diente zur Immunodetektion des Allergens Bet v 1. Diese wurde anhand von Röntgendichtemessungen bei gesammelten Proben durchgeführt. Hierbei korrespondierten Birkenpollenzählung und der gemessene Allergengehalt meist miteinander. Trotzdem fand man an einzelnen Tagen trotz hohen Pollenflugs kein Allergen oder bei wenig Pollenflug viel Allergen. Als Ursache hierfür wurden fehlerhafte Pollen oder Allergen beladene, feine Partikel angenommen.

Unsere Daten zeigen teilweise einen relativen Anstieg des Allergengehalts der Umluft zu Ende einer Pollenflugsaison bei abnehmendem oder gleich bleibendem Pollenflug. Wir bezeichnen dies als das „end-of-season“- Phänomen. Bemerkenswert ist der hohe Gesamtallergengehalt im Vergleich zu sehr wenig Pollenflug am Ende der Messperioden Gräser 2004 und Birke 2004. In dieser Zeit entspricht der Gesamtallergengehalt trotz niedrigem Pollenflug in etwa dem Gesamtallergengehalt an den Tagen mit maximalem Pollenflug.

Eine mögliche Erklärung hierfür wäre die Variation im Allergengehalt von Pollen. Dieses Phänomen bestätigen auch aktuelle Versuche unseres Instituts, die eine Variation des Allergengehalts von Pollen in einer Größenordnung bis zum 6-fachen des Ausgangswerts zeigen.<sup>16</sup>

Aufgrund unserer Daten nehmen wir das Auftreten von hyperallergenen Pollen zu Ende der Pollenflugsaison Birke 2004 und Gräser 2004 an.

Dennoch wäre auch das vermehrte Auftreten von Allergen geladenen Partikeln der Größenordnung > PM 10 („Partikelkonglomerate“) als Ursache für die hohe Allergenlast in diesem Zeitraum denkbar. Allergenbeladene Partikelkonglomerate könnten die Allergenlast in Stufe XL deutlich erhöhen, ohne im Pollenflug abgebildet zu sein. Diesbezüglich weiterführende Versuche werden aktuell von unserer Arbeitsgruppe geplant.

Das Auftreten von anderen Pollen mit Kreuzreaktivität mit dem Allergen Bet v 1 z.B. Eichenpollen<sup>49</sup> zu Ende des Birkenpollenflugs konnte durch die Pollenzählung von Fr. Dr. I. Weichenmeier weitgehend ausgeschlossen werden.

Das „end-of-season“-Phänomen, das auch von anderen Autoren gezeigt wurde,<sup>79,87</sup> impliziert, dass die Pollenzählungen besonders zu Ende der Pollenflugsaison keine gute Darstellung der tatsächlichen Exposition des Menschen durch Allergen ist.

### **5.2.3 Einfluss der Parameter Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf Pollenflug und Allergengehalt der Umluft**

Die in der Arbeit erhobenen Daten zeigen weiterhin den Einfluß der meteorologischen Parameter Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf den Pollenflug und Allergengehalt in der Luft. So findet der „Pollenpeak“ immer an einem Tag mit im Vergleich zu den vorangegangenen Tagen niedriger relativer Luftfeuchtigkeit und erhöhter Temperatur statt. Ein kurzfristiger Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit (Regen) führt jedoch zu einem Auswaschen von Allergen und Pollen aus der Luft.

Im vergleichbaren Versuchen wurde der Wettereinfluss differenzierter betrachtet: Größere, mit Allergen beladene Partikel schienen durch meteorologische Faktoren beeinflussbar, hingegen feine mit Allergen beladene Partikel nicht.<sup>76,79</sup>

Als essentiell für die Entstehung von kleinen Allergen geladenen Partikel wurden meteorologische Faktoren von SCHÄPPI et al. bewertet. Sie nutzten 1997<sup>87,88</sup> während der Birkensaison einen Hochvolumen- Luft- Sampler, der die Partikel in größer als 7,2 µm und kleiner als 7,2 µm auftrennte. Hierbei verwendete er Faserfilter als Sammelsubstrat. Es zeigte sich eine direkte Korrelation zwischen dem in der Burkard-Pollenfalle gemessenen Pollenflug und dem Allergengehalt der im Sampler impaktierten Partikel. Es gab aber auch Tage ohne Pollenflug aber mit messbarer Allergenkonzentration in der Luft. Bei Betrachtung der meteorologischen Rahmenbedingungen zeigten sich bei starkem Regenfall wenig Pollenflug und ein niedriger Allergengehalt in der Luft. Nach oder während leichtem Regenfalls (< 1 mm pro Tag) stiegen Pollenflug und Bet v 1- Konzentration bei größeren Partikeln sofort an. Kurze Zeit später stieg auch der Bet v 1-Gehalt in der Fraktion der kleinen atemwegsgängigen Partikel an und herrschte dann als Allergen tragende Fraktion vor. Dies wird durch unsere Ergebnisse nicht bestätigt, da bei uns besonders in der groben Fraktion die Allergenlast nach hoher Luftfeuchtigkeit anstieg.

1999 veröffentlichte SCHÄPPI die Ergebnisse eines vergleichbaren Versuches während der Gräserpollensaison, wobei er sich auf das Allergen Phl p 5 konzentrierte.<sup>89</sup> Hierbei korrelierte der Allergengehalt der größeren Partikel wieder eng mit der Pollenzählung. Es zeigte sich wiederum ein Zusammenhang mit der Witterung: Die Fraktion von

größeren Allergenhaltigen Partikeln, die Pollen entsprechen könnten, dominierten an trockenen Tagen ohne Regenfall. An Tagen mit leichtem Regenfall dominierten kleinere allergenhaltige Partikel entsprechend allergenhaltigen Stärkegranula aus rupturierten Pollen. Ihr Gehalt war bei leichtem Regenfall bis zu zehnfach erhöht gegenüber trockenen Tagen. SCHÄPPI zeigte in dieser Studie auch einen positiven Zusammenhang zwischen dem hohen Gehalt von atemwegsgängigen, Allergen geladenen Partikeln und der Notwendigkeit einer ambulanten Behandlung wegen asthmatischen Symptomen. Hierbei stieg die Notwendigkeit einer ambulanten Asthmabehandlung zwei Tage nach dem Regenfall an – im Sinne einer symptomatischen Antwort.

In unseren Ergebnissen zeigt sich ein Anstieg der Allergenbelastung in Stufe XL (> PM 10) nach dem Pollenpeak gefolgt von hoher Luftfeuchtigkeit.

Hierbei könnte es sich auch um die von SCHÄPPI 1997 und 1999<sup>88,89</sup> beschriebene Resuspension der Pollenfragmente handeln, die mit einiger Zeitlatenz nach dem Pollenpeak zu beobachten ist. Hierbei steigt der Allergengehalt nach hohem Pollenflug gefolgt von ansteigender Luftfeuchtigkeit und dann wieder trockenem Wetter an.

Allerdings setzt diese Theorie in unserem Fall die Annahme einer Konglomeration dieser kleinen Partikel voraus, da wir Allergen besonders in Stufe XL detektieren konnten.

Eine klinische Studie bezüglich der Korrelation der im ChemVol®-Sampler detektierten Allergenkonzentrationen mit klinischen Symptomen bei sensitiven Patienten steht als Folgeversuch noch aus.

#### **5.2.4 Erhobene Werte im Jahresvergleich**

Die in dieser Arbeit erhobenen Daten zeigen, dass die Summe des gezählten Pollenflugs deutlich von Jahr zu Jahr variiert. Ebenso gibt es eine deutliche Veränderung in der Menge des ausgeschütteten Allergens pro Pollenflugsaison. Wir führen dies auf eine Veränderung des Allergengehalts der Pollen von Jahr zu Jahr zurück. Meteorologische Daten des Vorjahres wie Temperatur und Niederschlag, die den Pollenflug laut vieler Autoren beeinflussen<sup>8,28,34,94</sup>, wurden für unsere Versuchsreihen zwar dokumentiert, der untersuchte Zeitraum von drei Jahren erscheint aber zu kurz um generelle Aussagen machen zu können. Dennoch sehen wir im Ansatz Beobachtungen andere Autoren bezüglich einer Rhythmik im Jahrespollenflug bestätigt.<sup>31,39,94</sup>

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Partikel aus der Umluft gesammelt, ihrer aerodynamischen Größe nach in einem Impaktor aufgetrennt und mit dem in der Burkard-Pollenfalle gemessenen Pollenflug verglichen. Weiterhin wurden die so erhobenen Daten anhand der vom Wetterdienst aufgezeichneten Wetterparameter analysiert.

Wir konnten zeigen, dass der Allergengehalt der Umluft weitgehend mit dem Pollenflug korreliert. Weiterhin konnten wir zeigen, dass es sich hierbei um keine proportionale Beziehung handelt, sondern der Allergengehalt von Pollen innerhalb der Pollenflugsaison und von Jahr zu Jahr scheinbar variiert. Wir konnten weder bestätigen noch ausschließen, dass außer den Pollen andere Allergenhaltige Partikel in der Luft zu finden sind. Es konnte gezeigt werden, dass Allergen in allen Partikelfractionen zu finden ist. Den Großteil des Allergens (je nach Sammlung 88% – 93% des in der gesamten Sammelperiode gemessenen Allergens) findet man hierbei in der Partikelfraktion  $> PM_{10}$ , wo vor allem Pollen impaktiert werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass besonders die relative Luftfeuchtigkeit einen großen Einfluss auf Pollenflug und Allergengehalt der Umluft hat. Hohe relative Luftfeuchtigkeit (im Sinne von Regen) führt zu einem Absinken des Pollenflugs und der Allergenkonzentration in der Umluft.

Zu Ende der Pollenflugsaison zeigten sich teilweise relativ hohe Allergenkonzentrationen in der Umluft. Dies führten wir auf eine Veränderung des Allergengehalts der Pollen in dieser Zeit zurück. Eine Resuspension von Pollenfragmenten aufgrund von vorangegangener hoher Luftfeuchtigkeit ist allerdings auch denkbar.

Wir konnten somit zeigen, dass die Pollenzählungen nicht ausreichend die tatsächliche Allergenbelastung der Umluft darstellen. Aufgrund der Disproportionalität von Pollenflug und Allergenlast der Umluft sehen wir für die Zukunft die Notwendigkeit einer Erweiterung der normalen Pollenflugvorhersagen durch Allergenmessungen, um die Exposition von sensibilisierten Personen durch Aeroallergene besser abschätzen zu können. Die Relation von Allergenbelastung und klinischen Symptomen bei sensibilisierten Patienten sollte in Zukunft anhand von epidemiologischen Studien überprüft werden.

## 7 Literaturverzeichnis

1. <<http://www.loratyn.com>>, Pollenflugkarten 2005
2. **Aberg N, Hesselmar B, Aberg B, Eriksson B:** Increase of asthma, allergic rhinitis and eczema in Swedish schoolchildren between 1979 and 1991. *Clin Exp Allergy* 25: 815-819, 1995
3. **Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J:** Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* [Orl.]Hämét-Ahti) pollen. *Clinical and Environmental Allergy* 28: 1384-1388, 1998
4. **Bedinger P:** The Remarkable Biology of Pollen. *The Plant Cell* 4: 879-887, 1992
5. **Behrendt H, Becker WM:** Localization, release and bioavailability of pollen allergens: the influence of environmental factors. *Curr Opin Immunol* 13: 709-715, 2001
6. **Behrendt H, Becker WM, Friedrichs KH, Darsow U, Tomingas R:** Interaction between Aeroallergens and Airborne Particulate Matter. *Int Arch Allergy Immunol* 99: 425-428, 1992
7. **Behrendt H, Becker W, Fritzsche C, Sliwa- Tomczok W, Tomczok J, Friedrichs KH, Ring J:** Air pollution and Allergy: Experimental Studies on Modulation of Allergen Release from Pollen by Air Pollutants. *Int Arch Allergy Immunol* 113: 69-74, 1997
8. **Behrendt H, Krämer U, Ring J:** Allergien- eine Umwelterkrankung. *mensch+umwelt spezial* 15: 34-44, 2002
9. **Behrendt H, Krämer U, Schäfer T, Kasche A, Eberlein-König B, Darsow U, Ring J:** Allergotoxicology- A Research Concept to Study the Role of Environmental Pollutants in Allergy: *Horgrefe&Huber*, 13: 122-128, 2001
10. **Behrendt H, Tomczok J, Sliwa-Tomczok W, Kasche A, Ebner von Eschenbach C, Becker WM, Ring J:** Timothy Grass (*Phleum pratense* L.) Pollen as Allergen Carriers and Initiators of an Allergic Response. *Int Arch Allergy Immunol* 118: 414-418, 1999
11. **Brunekreef B, Janssen NA, de Hartog J, Harssema H, Knappe M, van Vliet P:** Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology* 8: 298-302, 1997
12. **Bufe A:** The Biological Function of Allergens: Relevant for the Induction of Allergic Diseases? *Int Arch Allergy and Immunol* 117: 215-219, 1998

13. **Burge HA:** An update on pollen and fungal spore aerobiology. *J Allergy Clin Immunol* 110: 544-552, 2002
14. **Bush RK:** Aerobiology of pollen and fungal allergens. *J Allergy Clin Immunol* 84: 1120-4, 1989
15. **Busse WW, Reed CE, Hoehne JH:** Where is the allergic reaction in ragweed asthma? *J Allergy Clin Immunol* 50: 289-93, 1972
16. **Buters JTM, Kasche A, Weichenmeier I, Schober W, Klaus S, Traidl - Hoffmann C, Menzel A, Huss -Marp J, Krämer U, Behrendt H:** Year-to-Year Variation in Release of Bet v 1 Allergen from Birch Pollen: Evidence for Geographical Differences Between West and South Germany. *Int Arch Allergy and Immunol* 145: 122-130, 2008
17. **Chapman M D, Pomes A, Breiteneder H, Ferreira F:** Nomenclature and structural biology of allergens. *J Allergy Clin Immunology* 119: 414-420, 2007
18. **D'Amato G, Liccardi G:** Outdoor Environmental Injury of the Airways and Development of Allergic Respiratory Diseases. *Pulmonary Pharmacology & Therapeutics* 11: 369-374, 1998
19. **D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, Cazzola M:** Respiratory allergic disease induced by outdoor air pollution in urban areas. *Monaldi Arch Chest Dis.* 57: 161-163, 2002
20. **D'Amato G, Spiekma FTM, Liccardi G, Jager S, Russo M, Kontou-Fili K, Nikkels H, Wüthrich B, Bonini S:** Pollen-related allergy in Europe. *Allergy* 53: 567-578, 1998
21. **D'Amato G:** Airborne paucimicronic allergen-carrying particles and seasonal respiratory allergy. *Allergy* 56: 1109-1111, 2001
22. **D'Amato G, Cecchi L, Bonini S, Nunes C, Annesi-Maesano I, Behrendt H, Liccardi G, Popov T, Van Cauwenberge P:** Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 62: 976-990, 2007
23. **D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, Holgate S:** Environmental risk factors and allergic bronchial asthma. *Clin Exp Allergy* 35: 1113-1124, 2005
24. **De Linares C, Nieto-Lugilde D, Alba F, Diaz de la Guardia C, Galan C, Trigo MM:** Detection of airborne allergen (Ole e 1) in relation to *Olea europaea* pollen in S Spain. *Clin Exp Allergy* 37: 125-132, 2007

25. **Delfino RJ, Bechlake M, Hanley JA:** The Relationship of Urgent Hospital Admissions for Respiratory Illnesses to Photochemical Air Pollution Levels in Montreal. *Environmental Research* 67: 1-19, 1994
26. **Demokritou P, Kavouras IG, Ferguson ST, Koutrakis P:** Development of a High Volume Cascade Impactor for Toxicological and Chemical Characterization Studies. *Aerosol Science and Technology* 36: 925-933, 2002
27. **Diaz-Sanchez D:** The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease. *Allergy* 52: 52-6, 1997
28. **Eberlein-Konig B, Ring J, Behrendt H:** [Allergy and the environment]. *Ther Umsch* 58: 259-261, 2001
29. **Edwards J, Walters S, Griffith RK:** Hospital admissions for asthma in preschool children: relationship to major roads in Birmingham, United Kingdom. *Arch Environ Health* 49: 223-7, 1994
30. **Emberlin J:** The effects of air pollution on allergenic pollen. *Eur Resp Rev* 8: 164-167, 1998
31. **Emberlin J, Smith M, Close R, Adams-Groom B:** Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester, United Kingdom, 1996-2005. *Int J Biometeorol* 51: 181-91, 2007
32. **Estrella N, Menzel A, Kramer U, Behrendt H:** Integration of flowering dates in phenology and pollen counts in aerobiology: analysis of their spatial and temporal coherence in Germany (1992-1999). *Int J Biometeorol* 51: 49-59, 2006
33. **Frew AJ, Salvi SS:** Diesel exhaust particles and respiratory allergy. *Clin Exp Allergy* 27: 237-239, 1997
34. **Galan C, Garcia M, Alcazar H, Dominguez P:** Meteorological variation effect on aerobiology--new tools on pollen forecasting. *Allerg Immunol (Paris)* 38: 203-8, 2006
35. **Glovsky MM, Miguel AG, Cass GR:** Particulate Air Pollution: Possible Relevance in Asthma. *Allergy and Asthma Proceedings* 18: 163-166, 1997
36. **Glovsky MM, Taylor PE, Esch R, Miguel AG, House J, Tran L, Flagan RC:** Respirable Allergenic Aerosols Produced from Pollen and Molds. XVII World Asthma Congress, 155-160, 2003

37. **Grote M, Vrtala S, Niederberger V, Valenta R, Reichelt R:** Expulsion of allergen-containing materials from hydrated rye grass (*Lolium perenne*) pollen revealed by using immunogold field emission scanning and transmission electron microscopy. *J Allergy Clin Immunol* 105: 1140-1145, 2000
38. **Grote M, Vrtala S, Valenta R:** Monitoring of Two Allergens, Bet v I and Profilin, in Dry and Rehydrated Birch Pollen by Immunogold Electron Microscopy and Immunoblotting. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 41: 745-750, 1993
39. **Hallsdóttir M:** Birch pollen abundance in Reykjavík, Iceland. *Grana* 38: 368-373, 1999
40. **Heinrich J, Hoelscher B, Jacob B, Wjst M, Wichmann HE:** Trends in allergies among children in a region of former East Germany between 1992-1993 and 1995-1996. *Eur Resp J* 26: 107-113, 1999
41. **Heinrich J, Hoelscher B, Frye C, Meyer I, Wjst M, Wichmann HE:** Trends in prevalence of atopic diseases and allergic sensitization in children in Eastern Germany. *Eur Respir J* 19: 1040-6, 2002
42. **Heinrich J, Richter K, Frye C, Meyer I, Wölke G, Wjst M, Nowak D, Magnussen H, Wichmann HE:** Die Europäische Studie zu Atemwegserkrankungen bei Erwachsenen (ECRHS). *Pneumologie* 56: 297-303, 2002
43. **Heinrich J, Richter K, Magnussen H, Wichmann HE:** Is the prevalence of atopic disease in East and West Germany already converging? *European Journal of Epidemiology* 14: 239-245, 1998
44. **Helander ML, Savolainen J, Ahlholm J:** Effects of air pollution and other environmental factors on birch pollen allergens. *Allergy* 52: 1207-1214, 1997
45. **Hermann-Kunz E, Thierfelder W:** Verbreitung allergischer Krankheiten in Deutschland; Der Bundes-Gesundheitssurvey- Bausteine der Gesundheitssurveillance in Deutschland. Berlin: Robert Koch-Institut, 2002, pp 12
46. **Hill DJ, Smart IJ, Knox RB:** Childhood asthma and grass pollen aerobiology in Melbourne. *Med J Aust* 1: 426-9, 1979
47. **Hirsch T, Weiland S, v. Mutius E:** Pollenflug und allergische Sensibilisierung gegen Frühblüher bei Kindern in München und Dresden. *Pneumologie* 55: 223, 2001



48. **Hjelmroos M, Schumacher MJ, Van Hage-Hamsten M:** Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int Arch Allergy Immunol* 108: 368-76, 1995
49. **Holmquist L, Ekeboom A, Kübler KA, Vesterberg O:** Airborne birch and oak pollen grains and birch pollen allergens at a common sampling station in Stockholm. *Grana* 44: 104-107, 2005
50. **Iwanami Y, Sasakuma T, Yamada Y:** Pollen: Illustrations and scanning electronmicrographs- Physiology of pollen. 141-167; New York, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1988
51. **Jackson M:** Allergy: the making of a modern plague. *Clin Exp Allergy* 31: 1665-71, 2001
52. **Janssen NA, Brunekreef B, van Vliet P, Aarts F, Meliefste K, Harssema H, Fischer P:** The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness, and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren. *Environ Health Perspect* 111: 1512-8, 2003
53. **Jilek A, Swoboda I, Breiteneder H, Fogy I, Ferreira F, Schmid E, Heberle-Bors E, Scheiner O, Rumpold H, Koller HT, Breitenbach M:** Biological functions, isoforms, and environmental control in the *Bet v 1* gene family. Vienna: CRC Press Inc., 1992
54. **Kihlström A, Lilja G, Pershagen G, Hedlin G:** Exposure to birch pollen in infancy and development of atopic disease in childhood. *J Allergy Clin Immunol* 110: 78-82, 2002
55. **Klabuschnigg A, Gotz M, Horak F, Jager S, Machalek A, Popow C, Haschke F, Skoda-Turk R:** Influence of aerobiology and weather on symptoms in children with asthma. *Respiration* 42: 52-60, 1981
56. **Knox RB, Suphioglu C:** Pollen allergens: development and function. *Sex Plant Reprod* 9: 318-323, 1996
57. **Knox RB, Suphioglu C, Taylor P, Desai R, Watson HC, Peng JL, Bursill LA:** Major grass pollen allergen *Lol p 1* binds to diesel exhaust particles: implications for asthma and air pollution. *Clin Exp Allergy* 27: 246-251, 1997
58. **Krämer U, Link E, Oppermann H, Ranft U, Schäfer T, Thriene B, Behrendt H, Ring J:** Die Schulanfängerstudie in West- und Ostdeutschland (SAWO): Trends in Allergien und Sensibilisierungen 1991-2000. *Gesundheitswesen* 64: 657-663, 2002

59. **Kramer U, Link E, Behrendt H:** [Geographic and time trends of pollen count due to beeches, grass and mugwort (*Artemisia*) in Germany]. *Pneumologie* 55: 229-230, 2001
60. **Lemmen C, Schober W, Buters J, Behrendt H:** Dieselruß und Allergien. *Allergo J* 13: 311-22, 2004
61. **Lewis SA, Corden JM, Forster GE, Newlands M:** Combined effects of aerobiological pollutants, chemical pollutants and meteorological conditions on asthma admissions and A & E attendances in Derbyshire UK, 1993-96. *Clin Exp Allergy* 30: 1724-1732, 2000
62. **Madeja J, Wypasek E, Plytycz B, Sarapata K, Harmata K:** Quantification of airborne birch (*Betula* sp.) pollen grains and allergens in Krakow. *Arch Immunol Ther Exp (Warsz)* 53: 169-74, 2005
63. **Majd A, Chehregani A, Moin M, Gholami M, Kohno S, Nabe T, Shariatzade MA:** The effects of air pollution on structures, proteins and allergenicity of pollen grains. *Aerobiologia* 20: 111-118, 2004
64. **Markovic-Housley Z, Degano M, Lamba D, von Roepenack-Lahaye E, Clemens S, Susani M, Ferreira F, Scheiner O, Breiteneder H:** Crystal Structure of a Hypoallergenic Isoform of the Major Birch Pollen Allergen Bet v 1 and its Likely Biological Function as a Plant Steroid Carrier. *Journal of Molecular Biology* 325: 123-133, 2003
65. **Marks GB, Colquhoun J, Girgis ST, Hjelmroos Koski M, Treloar ABA, Hansen P, Downs SH, Car NG:** Thunderstorm outflows preceding epidemics of asthma during spring and summer. *Thorax* 56: 468-471, 2001
66. **Melen E, Wickman M, Nordvall SL, Van Hage-Hamsten M, Lindfors A:** Influence of early and current environmental exposure factors on sensitization and outcome of asthma in pre-school children. *Allergy* 56: 646-652, 2001
67. **Menzel A:** Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int J Biometeorol* 44: 76-81, 2000
68. **Miyabara Y, Ichinose T, Takano H, Lim HB, Sagai M:** Effects of diesel exhaust on allergic airway inflammation in mice. *J Allergy Clin Immunol* 102: 805-812, 1998
69. **Monn C, Koren HS:** Bioaerosols in ambient air particulates: a review and research needs. *Rev Environ Health* 14: 79-89, 1999

70. **Movérare R, Westritschnig K, Svensson M, Hayek B, Bende M, Pauli G, Sorva R, Haahtela T, Valenta R, Elfman L:** Different IgE Reactivity Profiles in Birch Pollen- Sensitive Patients from Six European Populations Revealed by Recombinant Allergens: An Imprint of Local Sensitization. *Int Arch Allergy Immunol* 128: 325-335, 2002
71. **Namork E, Johansen B, Lovik M:** Detection of allergens adsorbed to ambient air particles collected in four european cities. *Toxicology letters* 165: 71-78, 2006
72. **Nel AE, Diaz-Sanchez D, Ng D, Hiura T, Saxon A:** Enhancement of allergic inflammation by the interaction between diesel exhaust particles and the immune system. *J Allergy Clin Immunol* 102: 539-554, 1998
73. **Ninan TK, Russell G:** Respiratory symptoms and atopy in Aberdeen schoolchildren: evidence from two surveys 25 years apart. *Bmj* 304: 873-5, 1992
74. **Nowak D, Heinrich J, Jorres R, Wassmer G, Berger J, Beck E, Boczor S, Claussen M, Wichmann H E, Magnussen H:** Prevalence of respiratory symptoms, bronchial hyperresponsiveness and atopy among adults: West and East Germany. *Eur Resp J* 9: 2541-52, 1996
75. **Ormstad H, Johansen B, Gaarder PI:** Airborne house dust particles and diesel exhaust particles as allergen carriers. *Clin Exp Allergy* 28: 702-708, 1998
76. **Pehkonen E, Rantio-Lethimäki A:** Variations in airborne pollen antigenic particles caused by meteorologic factors. *Allergy* 49: 472-477, 1994
77. **Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD:** Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287: 1132-41, 2002
78. **Pschyrembel W:** *Klinisches Wörterbuch*. Berlin: de Gruyter, 1997, Vol 258
79. **Rantio- Lehtimaki A, Viander M, Koivikko A:** Airborne birch pollen antigens in different particle sizes. *Clin Exp Allergy* 1: 23-8, 1994
80. **Riediker M, Koller T, Monn C:** Differences in size selective aerosol sampling for pollen allergen detection using high-volume cascade impactors. *Clin Exp Allergy* 30: 867-873, 2000
81. **Riediker M, Monn C, Koller T, Stahel WA, Wuthrich B:** Air pollutants enhance rhinoconjunctivitis symptoms in pollen-allergic individuals. *Ann Allergy Asthma Immunol* 87: 311-8, 2001
82. **Ring J, Eberlein-Koenig B, Behrendt H:** Environmental pollution and allergy. *Ann Allergy Asthma Immunol* 87: 2-6, 2001

83. **Ring J, Krämer U, Schäfer T, Behrendt H:** Why are allergies increasing?  
Current opinion in Immunology 13: 701-708, 2001
84. **Sagai M, Furuyama A, Ichinose T:** Biological effects of diesel exhaust particles (DEP). III. Pathogenesis of asthma like symptoms in mice. Free Radic Biol Med 21: 199-209, 1996
85. **Schäfer T, Heinrich J, Bohler E, Klemm E, Merkl J, Ruhdorfer S, Weigl L, Wessner D, Wichmann HE, Ring J:** MONICA/ KORA- Studiengruppe: [Allergies in adults]. Gesundheitswesen 67: 187-92, 2005
86. **Schäfer T, Ring J:** Allergien. Dtsch Med Wochenschr 127: 781-3, 2002
87. **Schäppi GF, Monn C, Wuthrich B, Wanner HU:** Direct determination of allergens in ambient aerosols: methodological aspects. Int Arch Allergy Immunol 110: 364-70, 1996
88. **Schäppi GF, Suphioglu C, Taylor PE, Knox RB:** Concentration of major birch tree allergen Bet v 1 in pollen and respirable fine particles in the atmosphere. Allergy and Clinical Immunology 100: 656-661, 1997
89. **Schappi GF, Taylor PE, Pain MC, Cameron PA, Dent AW, Staff IA, Suphioglu C:** Concentrations of major grass group 5 allergens in pollen grains and atmospheric particles: implications for hay fever and allergic asthma sufferers sensitized to grass pollen allergens. Clin Exp Allergy 29: 633-41, 1999
90. **Schappi GF, Taylor PE, Staff IA, Rolland JM, Suphioglu C:** Immunologic significance of respirable atmospheric starch granules containing major birch allergen Bet v 1. Allergy 54: 478-483, 1999
91. **Schäppi GF, Taylor PE, Staff IA, Suphioglu C, Knox RB:** Source of Bet v 1 loaded inhalable particles from birch revealed. Sex Plant Reprod 10: 315-323, 1997
92. **Schwartz J, Slater D, Larson TV, Pierson WE, Koenig JQ:** Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. Am Rev Respir Dis 147: 826-31, 1993
93. **Shima M, Nitta Y, Adachi M:** Traffic-related air pollution and respiratory symptoms in children living along trunk roads in Chiba Prefecture, Japan. J Epidemiol 13: 108-119, 2003
94. **Spiekma FT, Emberlin J, Hjelmroos M, Jäger S, Leuschner RM:** Atmospheric birch (Betula) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. Grana 34: 51-57, 1995

95. **Spieksma FT, Nikkels BH, Dijkman JH:** Seasonal appearance of grass pollen allergen in natural, pauci-micronic aerosol of various size fractions. Relationship with airborne grass pollen concentration. *Clin Exp Allergy* 3: 234-9, 1995
96. **Spieksma FTM, Kramps JA, Van der Linden AC, Nikkels BH, Plomp A, Koerten HK, Dijkman JH:** Evidence of grass-pollen allergenic activity in the smaller micronic atmospheric aerosol fraction. *Clinical & Experimental Allergy* 20: 273-280, 1990
97. **SRU ( Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen):** Umwelt und Gesundheit. Sondergutachten 1999. Stuttgart
98. **Stanley RG, Linskens HF:** Pollen-Biologie, Biochemie, Gewinnung und Verbreitung. Greifenberg: Urs Verlag, 1985
99. **Stevens WJ, Ebo DG, Hagendorens MM, Bridts CH, De Clerck LS:** Is the prevalence of specific IgE to classical inhalant aeroallergens among patients with respiratory allergy changing? Evidence from two surveys 15 years apart. *Acta Clin Belg* 58: 178-82, 2003
100. **Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst:** Gesamtdeutscher Pollenflugkalender (1992-1994), 33175 Bad Lippspringe
101. **Strachan DP:** Family size, infection and atopy: the first decade of the "hygiene hypothesis". *Thorax* 55 Suppl 1: 2-10, 2000
102. **Strachan DP:** Hay fever, hygiene, and household size. *Bmj* 299: 1259-60, 1989
103. **Suphioglu C:** Thunderstorm asthma due to grass pollen. *Int Arch Allergy Immunol* 119: 37, 1999
104. **Suphioglu C, Singh MB, Taylor P, Bellomo R, Holmes P, Puy R, Knox RB:** Mechanism of grass-pollen-induced asthma. *Lancet* 339: 569-72, 1992
105. **Swoboda I, Dang TCH, Heberle- Bors E, Vicente O:** Expression of Bet v 1, the major birch pollen allergen, during anther development. *Protoplasma* 187: 103-110, 1995
106. **Swoboda I, Jilek A, Ferreira F, Engel E, Hoffmann- Sommergruber K, Scheiner O, Kraft D, Breiteneder H, Pittenauer E, Schmid E, Vicente O, Heberle- Bors E, Ahorn H, Breitenbach M:** Isoforms of Bet v 1, the Major Birch Pollen Allergen, Analyzed by Liquid Chromatography, Mass Spectrometry, and cDNA Cloning. *The Journal of Biological Chemistry* 270: 2607-2613, 1995

107. **Takafuji S, Suzuki S, Koizumi K, Tadokoro K, Ohashi H, Muranaka M, Miyamoto T:** Enhancing effect of suspended particulate matter on the IgE antibody production in mice. *Int Arch Allergy Immunol* 90: 1-7, 1989
108. **Takafuji S, Suzuki S, Muranaka M, Miyamoto T:** Influence of environmental factors on IgE production. *Ciba Found Symp* 147: 188-201, 1989
109. **Takano H, Yoshikawa T, Ichinose T, Miyabara Y, Imaoka K, Sagai M:** Diesel exhaust particles enhance antigen-induced airway inflammation and local cytokine expression in mice. *Am J Respir Crit Care Med* 156: 36-42, 1997
110. **Taylor B, Wadsworth J, Wadsworth M, Peckham C:** Changes in the reported prevalence of childhood eczema since the 1939-45 war. *Lancet* 2: 1255-7, 1984
111. **Taylor PE, Flagan RC, Miguel AG, Valenta R, Glovsky MM:** Birch pollen rupture and the release of aerosols of respirable allergens. *Clin Exp Allergy* 34: 1591-6, 2004
112. **Taylor PE, Flagan RC, Valenta R:** Release of allergens as respirable aerosols: a link between grass pollen and asthma. *J Allergy Clin Immunology* 109: 51-56, 2002
113. **Taylor PE, Jacobson KW, House JM, Glovsky MM:** Links between Pollen, Atopy and the Asthma Epidemic. *Int Arch Allergy Immunol* 144: 162-170, 2007
114. **Taylor PE, Jonsson H:** Thunderstorm asthma. *Curr Allergy Asthma Rep* 4: 409-13, 2004
115. **Traidl-Hoffmann C, Kasche A, Jakob T, Huger M, Plötz S, Feussner I, Ring J, Behrendt H:** Lipid mediators from pollen act as chemoattractants and activators of polymorphonuclear granulocytes. *J Allergy Clin Immunology* 109: 831-838, 2002
116. **Traidl-Hoffmann C, Kasche A, Menzel A, Jakob T, Thiel M, Ring J, Behrendt H:** Impact of pollen on human health: more than allergen carriers? *Int Arch Allergy Immunol* 131: 1-13, 2003
117. **Traidl-Hoffmann C, Mariani V, Hochrein H, Karg K, Wagner H, Ring J, Mueller MJ, Jakob T, Behrendt H:** Pollen-associated phytoprostanes inhibit dendritic cell interleukin-12 production and augment T helper type 2 cell polarization. *J Exp Med* 201: 627-636, 2005
118. **UGZ (Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich):** Porträt der Luftschadstoffe-Stadt Zürich. *Luftbilanz*, p 6, 2000

119. **v. Mutius E, Fritsch C, Weiland SK, Röhl G, Magnussen H:** Prevalence of asthma and allergic disorders among children in united Germany: a descriptive comparison. *BMJ* 305: 395-399, 1992
120. **Vrtala S, Grote M, Duchêne M, van Ree R, Kraft D, Scheiner O, Valenta R:** Properties of tree and grass pollen allergens: Reinvestigation of the linkage between solubility and allergenicity. *Int Arch Allergy Immunol* 102: 160-9, 1993
121. **Wuthrich B:** Epidemiology of the allergic diseases: are they really on the increase? *Int Arch Allergy Immunol* 90: 3-10, 1989

## 8 Anhang

### 8.1 Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1.5.1:</b> Mit Partikeln der Umluft beladene <i>Betula verrucosa</i> - und <i>Fraxinus excelsior</i> -Pollen im Rasterelektronenmikroskopischen Bild .....	10
<b>Abbildung 1.5.2:</b> Gesamtdeutscher Pollenflugkalender (nach Pollenflugdaten von 1992-1994) <sup>100</sup> .....	11
<b>Abbildung 1.6.1:</b> <i>Betula verrucosa</i> -Pollen im Rasterelektronenmikroskopischen Bild mit Partikeln der Umluft.....	14
<b>Abbildung 1.7.1:</b> Nomenklatur von Partikeln (mit freundliche Genehmigung von Prof. Dr. J. Buters).....	18
<b>Abbildung 1.7.2:</b> Kraftfahrzeugentwicklung in Deutschland (Verkehr in Zahlen 2005, Bundesamt für Statistik) .....	19
<b>Abbildung 1.7.3:</b> Grafische Darstellung verschiedener Depositionsorte im Atemtrakt des Menschen für diverse Partikelgrößenklassen in der Atemluft <sup>118</sup> .....	20
<b>Abbildung 2.1.1:</b> ChemVol®- Sampler .....	28
<b>Abbildung 2.1.2:</b> Einzelne Etagen des ChemVol®- Samplers/ Aufsicht von oben .....	28
<b>Abbildung 2.1.3:</b> Einzelne Etagen des ChemVol®- Samplers mit abmontierter Aufprallplatte ohne Sammelsubstrat/ Aufsicht von unten.....	31
<b>Abbildung 2.1.4:</b> Ausgewechselte Polyurethanschaum-Filter .....	32
<b>Abbildung 2.1.5:</b> ChemVol®-Sampler unter Schutzzelt.....	34
<b>Abbildung 2.1.6:</b> Aufbau von zwei ChemVol®-Samplern 2005 .....	34
<b>Abbildung 2.2.1:</b> Burkard-Pollenfalle .....	40
<b>Abbildung 3.2.1:</b> Polyurethanschaumfiltermaterial in stereoauflichtmikroskopischer Betrachtung; 40-fache Vergrößerung.....	43
<b>Abbildung 4.1.1:</b> Ergebnisse Birkenpollensaison 2003 .....	45
<b>Abbildung 4.1.2:</b> Ergebnisse Birkenpollensaison 2004.....	47
<b>Abbildung 4.1.3:</b> Gesamtallergengehalt Birkenpollensaison 2004 .....	49
<b>Abbildung 4.1.4:</b> Ergebnisse Birkenpollensaison 2005 .....	50
<b>Abbildung 4.1.5:</b> Gesamtallergengehalt Birkenpollensaison 2005 .....	52
<b>Abbildung 4.1.6:</b> Fettkopf Birkenpollensaison 2005.....	53
<b>Abbildung 4.1.7:</b> Regressionsanalyse Birkensaison 2003-2005.....	54
<b>Abbildung 4.1.8:</b> Birkenpollenflug pro Saison im Jahresvergleich 2003-2005.....	57



<b>Abbildung 4.1.9:</b> Allergengehalt pro Saison im Jahresvergleich 2003-2005 .....	57
<b>Abbildung 4.1.10:</b> Durchschnittlicher Bet v 1-Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich 2003-2005 .....	58
<b>Abbildung 4.1.11:</b> Bet v 1- Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich .....	58
<b>Abbildung 4.1.12:</b> Birkenpollenflug im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2003-2005 .....	59
<b>Abbildung 4.1.13:</b> Bet v 1-Belastung im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2003-2005 .....	60
<b>Abbildung 4.1.14:</b> Berechnetes Bet v 1 pro Pollen im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2003-2005 .....	61
<b>Abbildung 4.1.15:</b> Vergleich Standardkopf und Fettkopf Birkensaison 2005 .....	62
<b>Abbildung 4.1.16:</b> Bet v 1-Titration mit Diesel .....	63
<b>Abbildung 4.2.1:</b> Ergebnisse Gräserpollensaison 2004 .....	64
<b>Abbildung 4.2.2:</b> Gesamtallergengehalt Gräserpollensaison 2004 .....	66
<b>Abbildung 4.2.3:</b> Ergebnisse Gräserpollensaison 2005 .....	67
<b>Abbildung 4.2.4:</b> Gesamtallergengehalt Gräserpollensaison 2005 .....	69
<b>Abbildung 4.2.5:</b> Fettkopf Gräserpollensaison 2005 .....	70
<b>Abbildung 4.2.6:</b> Regressionsanalyse Gräsersaison 2004/2005 .....	71
<b>Abbildung 4.2.7:</b> Gräserpollenflug pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	74
<b>Abbildung 4.2.8:</b> Allergengehalt pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	74
<b>Abbildung 4.2.9:</b> Durchschnittlicher Phl p 5- Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	75
<b>Abbildung 4.2.10:</b> Phl p 5- Gehalt pro Pollen pro Saison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	75
<b>Abbildung 4.2.11:</b> Gräserpollenflug im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	76
<b>Abbildung 4.2.12:</b> Phl p 5- Belastung im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	77
<b>Abbildung 4.2.13:</b> Berechnetes Phl p 5 pro Pollen im Verlauf der Pollenflugsaison im Jahresvergleich 2004/2005 .....	78
<b>Abbildung 4.2.14:</b> Vergleich Standardkopf und Fettkopf Gräsersaison 2005 .....	79
<b>Abbildung 5.1.1:</b> Birkenpollen im ChemVol®- Filter mit Partikeln der Umluft im Rasterelektronenmikroskopischen Bild/ Filter entnommen aus Stufe M des Standardkopfes am 16.04.2005 .....	82

**Abbildung 5.1.2:** Stereoauflichtmikroskopische Betrachtung eines Filters der Stufe S in 64-facher Vergrößerung/ Filter entnommen nach Testbestäubung und 24 Std. Laufzeit der Pumpe ..... 84

## **Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 2.1.1:** Volumenflussmessung der Beckerpumpe ..... 29

**Tabelle 2.1.2:** Allergen- Standardverdünnungen ..... 37

**Tabelle 4.1.1:** Prozentualer Anteil am Gesamtallergengehalt je nach Stufe und Jahr.. 55

**Tabelle 4.1.2:** Vergleich der Messergebnisse der Jahre 2003-2005 ..... 56

**Tabelle 4.1.3:** T- Test Birkensaison 2003-2005..... 56

**Tabelle 4.2.1:** Prozentualer Anteil am Gesamtallergengehalt je nach Stufe und Jahr.. 72

**Tabelle 4.2.2:** Vergleich der Messergebnisse der Jahre 2004/2005 ..... 73

**Tabelle 4.2.3:** T- Test Gräsersaison 2004/2005 ..... 73

## 8.2 Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®- Sammlung Birkensaison 2003

	PM >10	PM 10- 2,5	PM 2,5- 0,12	Tagessumme	Pollenflug	Betv 1-Pollengehalt°
Einheit	Betv1 [pg/m3]	Betv1 [pg/m3]	Betv1 [pg/m3]	Betv1 [pg/m3]	Anzahl/m3	Betv1 [pg/Pollen]
Normalkopf	Rechnung 1	Rechnung 2	Rechnung 3	Rechnung 4	Rechnung 5	Rechnung 6
Datum						
31. Mrz	kein	kein	kein			
1. Apr	Nachweis	Nachweis	Nachweis			
2. Apr						
3. Apr						
4. Apr						
5. Apr						
6. Apr						
7. Apr						
8. Apr						
9. Apr					22	
10. Apr					2	
11. Apr	kein	kein	kein		2	
12. Apr	Nachweis	Nachweis	Nachweis		10	
13. Apr	0,0			0,0	34	0,0
14. Apr	57,7			57,7	162	0,4
15. Apr	79,6			79,6	511	0,2
16. Apr	184,2			184,2	1601	0,1
17. Apr	77,1			77,1	639	0,1
18. Apr	74,4			74,4	454	0,2
19. Apr	0,0	kein	kein	0,0	66	0,0
20. Apr	142,5	Nachweis	Nachweis	142,5	540	0,3
21. Apr	0,0			0,0	241	0,0
22. Apr	32,3			32,3	137	0,2
23. Apr	122,3			122,3	799	0,2
24. Apr	84,8			84,8	575	0,1
25. Apr	54,0			54,0	349	0,2
26. Apr	68,3			68,3	657	0,1
27. Apr	0,0			0,0	129	0,0
28. Apr	46,0			46,0	536	0,1
29. Apr	0,0			0,0	126	0,0

### 8.3 Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®- Sammlung Birkensaison 2004

	PM >10	PM 10- 2,5	PM 2,5- 0,12	Tagessumme	Pollenflug	Betv1-Pollengehalt °
Einheit	Betv1 [pg/m3]	Betv1 [pg/m3]	Betv1 [pg/m3]	Betv1 [pg/m3]	Anzahl/m3	Betv1 [pg/Pollen]
Normalkopf						
Datum						
18. Mrz	107,1	12,4		119,5		
19. Mrz	112,5	13,4		125,9		
20. Mrz	92,9	18,8	1,8	113,4		
21. Mrz	17,5	5,6	1,5	24,6		
22. Mrz	30,6	4,1	0,3	35,0		
23. Mrz	35,3	2,2	0,0	37,5		
24. Mrz	19,7	1,5	0,0	21,2		
25. Mrz	16,3	0,0	0,0	16,3		
26. Mrz	25,2	2,2	0,0	27,4		
27. Mrz	14,1	0,0	0,0	14,1		
28. Mrz	8,6	0,4	0,0	8,9		
29. Mrz	16,4	0,0	0,0	16,4		
30. Mrz	24,3	1,0	0,4	25,6		
31. Mrz	9,2	0,0	0,0	9,2	3	3,1
01. Apr	12,6	0,0	0,0	12,6	0	
02. Apr	73,8	3,8	0,7	78,2	124	0,6
03. Apr	34,2	2,9	0,0	37,1	15	2,5
04. Apr	41,4	7,3	0,0	48,6	36	1,4
05. Apr	34,9	6,9	0,0	41,9	5	8,4
06. Apr	14,9	3,2	0,0	18,1	11	1,6
07. Apr	23,5	2,7	0,0	26,2	8	3,3
08. Apr	19,7	2,4	0,0	22,1	6	3,7
09. Apr	24,8	4,8	0,0	29,6	20	1,5
10. Apr	19,5	2,8	0,0	22,3	9	2,5
11. Apr	40,2	2,2	0,4	42,8	9	4,8
12. Apr	86,9	9,5	0,3	96,7	173	0,6
13. Apr	93,3	13,0	0,0	106,3	211	0,5
14. Apr	64,5	8,3	0,4	73,2	131	0,6
15. Apr	83,0	14,8	0,4	98,1	395	0,2
16. Apr	118,6	28,3	0,9	147,8	729	0,2
17. Apr	102,3	13,5	0,4	116,2	236	0,5
18. Apr	84,8	14,8	0,0	99,7	250	0,4
19. Apr	46,1	7,8	0,0	54,0	74	0,7
20. Apr	94,1	15,1	0,0	109,2	221	0,5
21. Apr	139,8	17,5	0,5	157,8	512	0,3
22. Apr	131,7	14,0		145,6	195	0,7
23. Apr	150,0	22,7		172,7	417	0,4
24. Apr	116,8	14,3		131,1	301	0,4
25. Apr	68,5	6,6		75,1	21	3,6
26. Apr	72,8	5,4		78,2	70	1,1
27. Apr	78,0	8,3		86,2	68	1,3
28. Apr	85,2	12,6		97,8	134	0,7
29. Apr	96,1	12,9		109,0	230	0,5

## 8.4 Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®- Sammlung Birkensaison 2005

	PM >10	PM 10- 2,5	PM 2,5- 0,12	Tagessumme	Pollenflug	Betv1-Pollengehalt°
Einheit	Betv1[pg/m3]	Betv1[pg/m3]	Betv1[pg/m3]	Betv1[pg/m3]	Anzahl/m3	Betv1[pg/Pollen]
Normalkopf	Rechnung 1	Rechnung 2	Rechnung 3	Rechnung 4	Rechnung 5	Rechnung 6
Datum						
24. Mrz	0,6	0,0	0,0	0,6		
25. Mrz	50,8	7,2	0,0	58,0		
26. Mrz	3,4	0,0	0,0	3,4		
27. Mrz	1,7	0,5	0,0	2,2		
28. Mrz	1,2	3,0	0,0	4,2		
29. Mrz	1,4	1,6	0,0	3,0	1	3,0
30. Mrz	1,6	0,5	0,0	2,0	0	
31. Mrz	4,8	2,8	0,0	7,6	1	7,6
1. Apr	1,9	0,7	0,0	2,6	0	
2. Apr	2,2	0,0	0,0	2,2	3	0,7
3. Apr	0,8	1,1	0,7	2,6	9	0,3
4. Apr	31,3	4,2	0,6	36,1	38	1,0
5. Apr	31,7	6,9	1,4	39,9	78	0,5
6. Apr	281,8	8,4	0,0	290,1	321	0,9
7. Apr	166,9	14,2	3,1	184,1	143	1,3
8. Apr	3,4	3,6	0,6	7,6	10	0,8
9. Apr	17,4	5,6	0,0	23,1	12	1,9
10. Apr	31,4	6,3	1,0	38,8	28	1,4
11. Apr	55,5	10,0	0,4	65,9	48	1,4
12. Apr	305,8	16,5	1,6	323,9	131	2,5
13. Apr	341,0	20,6	0,5	362,1	237	1,5
14. Apr	2361,4	83,4	1,2	2445,9	1571	1,6
15. Apr	2667,3	85,1	10,8	2763,2	2256	1,2
16. Apr	1870,2	79,7	7,5	1957,4	3522	0,6
17. Apr	299,7	65,9	15,2	380,8	248	1,5
18. Apr	97,7	23,1	8,1	129,0	20	6,4
19. Apr	5,4	5,0	2,1	12,5	7	1,8
20. Apr	301,0	18,0	4,6	323,6	167	1,9
21. Apr	186,2	20,4	2,7	209,3	190	1,1
22. Apr	388,6	28,3	0,0	416,9	258	1,6
23. Apr	330,2	39,2	0,1	369,4	332	1,1
24. Apr	225,1	21,9	0,3	247,3	188	1,3
25. Apr	274,6	29,9	0,9	305,3	12	25,4
26. Apr	36,1	11,8	0,4	48,3	194	0,2
27. Apr	48,0	14,9	0,4	63,2	23	2,7
28. Apr	206,7	36,4	0,00	243,2	162	1,5
29. Apr	161,4	15,0	0,00	176,4	90	2,0
30. Apr	223,1	15,5	0,00	238,6	140	1,7
1. Mai	286,6	23,8	0,00	310,4	162	1,9
2. Mai	208,4	15,0	0,00	223,4	160	1,4
3. Mai	57,9	11,4	0,00	69,3	37	1,9
4. Mai	39,1	10,1	0,00	49,2	14	3,5
5. Mai	28,9	7,9	0,00	36,7	4	9,2

## 8.5 Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®- Sammlung Gräsersaison 2004

	PM >10	PM 10- 2,5	PM 2,5- 0,12	Tagessumme	Pollenflug	Phlp5-Pollengehalt°
Einheit	Phlp5[pg/m3]	Phlp5[pg/m3]	Phlp5[pg/m3]	Phlp5[pg/m3]	Anzahl/m3	Phlp5[pg/Pollen]
Normalkopf						
Datum						
01.06.2004	33,3	4,6	0,0	37,9	18	2,1
02.06.2004	21,0	2,7	0,0	23,8	9	2,6
03.06.2004	9,1	0,8	0,6	10,5	20	0,5
04.06.2004	22,5	5,5	1,7	29,6	16	1,9
05.06.2004	12,5	2,2	0,0	14,6	0	
06.06.2004	78,8	5,3	0,6	84,6	60	1,4
07.06.2004	118,2	15,2	0,7	134,0	55	2,4
08.06.2004	121,1	12,5	1,6	135,2	54	2,5
09.06.2004	122,8	10,0	1,8	134,6	40	3,4
10.06.2004	106,7	19,3	2,1	128,0	47	2,7
11.06.2004	16,4	2,3	0,0	18,7	0	
12.06.2004	47,2	3,1	0,0	50,3	14	3,6
13.06.2004	46,7	3,4	0,7	50,8	24	2,1
14.06.2004	88,1	6,0	0,3	94,4	37	2,6
15.06.2004	126,5	12,7	0,9	140,1	63	2,2
16.06.2004	92,2	9,3	0,7	102,3	17	6,0
17.06.2004	232,6	21,5	0,0	254,2	81	3,1
18.06.2004	95,9	8,9	1,2	106,0	22	4,8
19.06.2004	18,6	2,0	0,0	20,5	12	1,7
20.06.2004	4,9	0,0	0,0	4,9	0	
21.06.2004	122,8	5,6	0,9	129,3	27	4,8
22.06.2004	82,0	4,4	1,1	87,5	15	5,8
23.06.2004	121,3	7,0	1,0	129,4	26	5,0
24.06.2004	123,3	15,8	1,3	140,3	54	2,6
25.06.2004	98,3	6,0	0,9	105,2	23	4,6
26.06.2004	90,0	6,5	0,0	96,5	34	2,8
27.06.2004	131,1	10,8	1,3	143,2	39	3,7
28.06.2004	94,7	9,0	0,8	104,5	29	3,6
29.06.2004	114,0	11,6	0,4	126,1	28	4,5
30.06.2004	182,2	13,5	1,8	197,6	33	6,0
01.07.2004	43,3	3,6	0,0	46,9	12	3,9
02.07.2004	43,3	4,3	0,9	48,5	6	8,1
03.07.2004	94,7	11,8	1,1	107,6	25	4,3
04.07.2004	177,1	15,7	0,8	193,5	26	7,4
05.07.2004	58,2	4,0	0,0	62,2	16	3,9
06.07.2004	29,8	2,3	0,9	33,0	0	
07.07.2004	98,1	5,6	0,3	104,0	25	4,2
08.07.2004	139,7	6,8	0,0	146,4	26	5,6
09.07.2004	1,5	4,5	0,7	6,7	8	0,8
10.07.2004	0,0	5,3	0,2	5,5	7	0,8
11.07.2004	1,5	2,6	0,3	4,5	1	4,5
12.07.2004	0,0	3,6	0,0	3,6	0	
13.07.2004	9,1	0,0	0,0	9,1	2	4,5
14.07.2004	91,7	6,4	0,0	98,1	19	5,2
15.07.2004	65,8	2,1	0,0	67,9	10	6,8
16.07.2004	128,9	2,4	0,0	131,4	1	131,4
17.07.2004	119,1	3,4	0,0	122,6	11	11,1
18.07.2004	79,7	2,5	0,0	82,3	10	8,2
19.07.2004	90,3	1,7	0,0	91,9	4	23,0
20.07.2004	53,3	2,9	0,0	56,3	15	3,8
21.07.2004	37,2	2,3	1,2	40,8	8	5,1
22.07.2004	58,7	2,3	0,9	61,9	14	4,4
23.07.2004	32,5	2,1	0,3	34,9	7	5,0
24.07.2004	6,4	0,0	0,2	6,6	2	3,3
25.07.2004	74,9	3,6	0,0	78,5	15	5,2
26.07.2004	26,4	1,8	0,0	28,2	2	14,1
27.07.2004	45,7	1,7	0,0	47,4	3	15,8

## 8.6 Allergengehalte der einzelnen Fraktionen der ChemVol®- Sammlung Gräsersaison 2005

	PM >10	PM 10- 2.5	PM 2,5- 0,12	Tagessumme	Pollenflug	Phlp5-Pollengehalt °
Einheit	Phlp5[pg/m3]	Phlp5[pg/m3]	Phlp5[pg/m3]	Phlp5[pg/m3]	Anzahl/m3	Phlp5[pg/Pollen]
Normalkopf						
Datum						
01.06.2005	75,7	6,4	0,0	82,1	70	1,2
02.06.2005	254,2	12,1	0,0	266,3	157	1,7
03.06.2005	339,6	22,4	0,0	361,9	143	2,5
04.06.2005	71,9	7,1	0,0	79,0	16	4,9
05.06.2005	67,7	13,2	0,8	81,7	56	1,5
06.06.2005	23,3	3,3	0,0	26,6	12	2,2
07.06.2005	86,1	11,7	0,8	98,5	29	3,4
08.06.2005	66,7	5,8	1,2	73,7	31	2,4
09.06.2005	113,2	6,3	0,0	119,4	39	3,1
10.06.2005	191,7	13,6	0,0	205,3	71	2,9
11.06.2005	172,2	14,4	3,0	189,7	88	2,2
12.06.2005	75,3	8,8	0,0	84,1	41	2,1
13.06.2005	86,8	9,6	0,0	96,4	27	3,6
14.06.2005	82,3	4,3	0,0	86,6	66	1,3
15.06.2005	49,3	4,7	0,0	54,0	25	2,2
16.06.2005	133,7	5,8	0,0	139,5	15	9,3
17.06.2005	104,5	6,9	1,0	112,4	22	5,1
18.06.2005	125,7	7,9	0,6	134,2	14	9,6
19.06.2005	114,2	8,9	0,6	123,8	17	7,3
20.06.2005	84,4	6,4	0,0	90,8	10	9,1
21.06.2005	76,4	3,6	0,0	80,0	25	3,2
22.06.2005	72,6	2,4	0,0	74,9	11	6,8
23.06.2005	61,1	3,8	0,0	64,9	17	3,8
24.06.2005	108,7	5,3	0,0	114,0	12	9,5
25.06.2005	95,8	6,3	0,0	102,1	24	4,3
26.06.2005	113,2	6,3	0,0	119,4	9	13,3
27.06.2005	178,5	9,9	0,0	188,3	34	5,5
28.06.2005	131,6	7,1	0,0	138,7	21	6,6
29.06.2005	78,1	6,3	0,0	84,4	15	5,6
30.06.2005	27,8	1,3	0,0	29,0	8	3,6
01.07.2005	11,5	0,0	0,0	11,5	0	
02.07.2005	29,2	0,0	0,0	29,2	4	7,3
03.07.2005	179,2	8,5	0,0	187,6	29	6,5
04.07.2005	88,2	7,1	0,6	95,8	22	4,4
05.07.2005	2,8	0,0	0,0	2,8	4	0,7
06.07.2005	19,4	2,1	0,0	21,5	10	2,2
07.07.2005	8,7	0,0	0,0	8,7	1	8,7
08.07.2005	12,8	0,0	0,0	12,8	0	
09.07.2005	91,7	5,8	0,0	97,5	43	2,3
10.07.2005	10,4	0,0	0,0	10,4	1	10,4
11.07.2005	41,7	2,1	0,0	43,8	14	3,1
12.07.2005	80,2	5,6	0,0	85,8	27	3,2
13.07.2005	124,7	5,6	0,0	130,2	15	8,7
14.07.2005	50,7	1,0	0,0	51,7	7	7,4
15.07.2005	74,0	4,3	0,0	78,3	11	7,1
16.07.2005	59,4	5,1	0,0	64,5	3	21,5
17.07.2005	81,6	6,3	0,0	87,8	12	7,3
18.07.2005	51,0	2,6	0,0	53,7	9	6,0
19.07.2005	11,5	0,0	0,0	11,5	7	1,6
20.07.2005	115,6	7,1	0,0	122,7	21	5,8
21.07.2005	43,1	3,9	0,0	46,9	10	4,7
22.07.2005	39,2	2,1	0,0	41,3	13	3,2
23.07.2005	37,5	1,0	0,0	38,5	10	3,8
24.07.2005	41,0	2,1	0,0	43,1	5	8,6
25.07.2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0
26.07.2005	35,1	4,7	0,0	39,8	11	3,6
27.07.2005	67,4	3,6	0,0	71,0	14	5,1
28.07.2005	84,4	2,6	0,0	87,0	4	21,8

## 8.7 Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung

### Birkenpollensaison 2004

Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wind, Wetter	
eingewechselt		mit Röhrchen	mit Röhrchen		Starttemp. 25,5°C	Startfeuchte 28 %	Uhrzeit	und sonstiges	
	am:	XL	40,2172	40,2044	-0,0128		12:40h	trocken, sonnig	
1	Donnerstag	M	39,0160	39,0000	-0,0160	min. / max 24h		Windrichtung: Pforte	
	18.03.	S	38,6662	38,6502	-0,0160	9,7°C / 20°C	20% / 52%		
		XL	40,5222	40,3402	-0,1820	min. / max 24h	min. / max 24h	12:10 h	trocken, sonnig
2	Freitag	M	38,9831	38,9642	-0,0189	10,4°C / 21,8°C	27% / 68%		bewölgt, windig
	19.03.	S	38,7659	38,6245	-0,1414				Windrichtung: Mensa
		XL	40,1351	40,1566	0,0215	min. / max 24h	min. / max 24h	12:30 h	trocken, sehr windig
3	Samstag	M	38,9772	38,9173	-0,0599				sonnig, bewölkt
	20.03.	S	38,9060	38,8406	-0,0654	Zelt auf Sampler gefallen durch Sturm			Windrichtung: überall
		XL	40,2518	40,2639	0,0121	min. / max 24h	min. / max 24h	12:45 h	Sturm !!! Bewölkt
4	Sonntag	M	39,0289	39,0377	0,0088	11,5 °C / 19,4°C	35 % / 65%		Windrichtung: Klinik
	21.03.	S	38,5027	38,5109	0,0082				
		XL	40,1446	40,1553	0,0107	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	bewölkt, windig, sonnig
5	Montag	M	39,1321	39,1369	0,0048	3,5°C / 19,4°C	31% / 84%		trocken
	22.03.	S	38,6205	38,6294	0,0089				Windrichtung: überall
		XL	40,2930	40,2897	-0,0033	min. / max 24h	min. / max 24h	11:45h	Regen
6	Dienstag	M	38,9523	38,9542	0,0019	2,8°C / 14,1°C	31% / 78%		Windrichtung: Pforte
	23.03.	S	38,7131	38,7238	0,0107				
		XL	40,2283	40,2318	0,0035	min. / max 24h	min. / max 24h	11:45h	Schnee !!!
7	Mittwoch	M	39,0148	39,0189	0,0041	0,7°C / 14,1°C	31% / 88%		Windrichtung: Pforte
	24.03.	S	38,6335	38,6437	0,0102	Zelt auf Sampler gefallen durch Schnee			
		XL	40,0738	40,0871	0,0133	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	Schnee !!!
8	Donnerstag	M	39,0171	39,0229	0,0058	0,3°C / 5,8°C	51% / 89%		Windrichtung: Klinik
	25.03.	S	38,6593	38,6779	0,0186				
		XL	40,2713	40,2830	0,0117	min. / max 24h	min. / max 24h	12:45h	trocken, bewölkt
9	Freitag	M	39,0214	39,0269	0,0055	0,1°C / 6,4°C	45% / 66%		Windrichtung: Pforte
	26.03.	S	38,5507	38,5648	0,0141				
		XL	40,2945	40,3028	0,0083	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	windig, bewölkt
10	Samstag	M	39,0577	39,0628	0,0051	0,1°C / 6,4°C	37% / 66%		Windrichtung: Mensa und ZAUM
	27.03.	S	38,6688	38,6868	0,0180				
		XL	40,2043	40,2215	0,0172	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	windig, bewölkt, sonnig
11	Sonntag	M	39,1363	39,1472	0,0109	0,1°C / 8,9°C	32% / 73%		Windrichtung: Mensa und ZAUM
	28.03.	S	38,5627	38,5855	0,0228				
		XL	40,1099	40,1281	0,0182	min. / max 24h	min. / max 24h	12:15h	trocken, sonnig
12	Montag	M	39,0966	39,1059	0,0093	0,1°C / 12,1°C	30% / 78%		Windrichtung: Mensa
	29.03.	S	38,7938	38,8245	0,0307				
<b>bis zum 30.März alle Filter nach Sammlung 24h im Exikator, dann gewogen, dann -80°C</b>									
		XL	40,1165	40,1463	0,0298	min. / max 24h	min. / max 24h	13:30h	trocken, sonnig
13	Dienstag	M	39,0597	39,0707	0,0110	0,2°C / 15,1°C	36% / 81%		Windrichtung: Pforte
	30.03.	S	38,5532	38,5817	0,0285				
<b>ab 31. März Filter nach Sammlung gleich gewogen und -80°C, ohne Trocknung im Exikator</b>									
		XL	40,2133	40,2638	0,0505	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	trocken, sonnig
14	Mittwoch	M	39,0247	39,0551	0,0304	0,1°C / 16,3°C	33% / 78%		Windrichtung: Pforte
	31.03.	S	38,7198	38,7653	0,0455				
		XL	40,1425	40,1796	0,0371	min. / max 24h	min. / max 24h	14:00h	trocken, sonnig
15	Donnerstag	M	39,1420	39,1683	0,0263	3,5°C / 21,1°C	24% / 80%		Windrichtung: Pforte
	01.04.	S	38,8577	38,9063	0,0486				
		XL	40,2587	40,2986	0,0399	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	trocken, sonnig
16	Freitag	M	39,0580	39,0822	0,0242	2,7°C / 21,6°C	29% / 87%		Windrichtung: Mensa
	02.04.	S	38,6603	38,6853	0,0250				
		XL	40,1718	40,1935	0,0217	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	trocken, bewölkt
17	Samstag	M	38,9656	38,9699	0,0043	6,2°C / 23,5°C	23% / 80%		Windrichtung: Mensa
	03.04.	S	38,7925	38,7820	-0,0105				



	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wind, Wetter und sonstiges
	eingewechselt							Uhrzeit	
	am:	XL	40,2279	40,3629	0,1350	min. / max 24h	min. / max 24h	15:00h	
18	Sonntag 04.04.	M	38,9393	38,9546	0,0153	4,1°C / 17,8°C	35% / 81%		trocken, bewölkt
		S	38,6927	38,7014	0,0087				Windrichtung: Mensa
19	Montag 05.04.	M	39,0999	38,1128	-0,9871	4,4°C / 16,2°C	34% / 86%	12:00h	Regen
		S	38,6840	38,6934	0,0094				Windrichtung: Mensa
20	Dienstag 06.04.	M	39,0611	39,0770	0,0159	4,9°C / 13,8°C	41% / 78%	12:00h	Regen + Schnee
		S	38,7278	38,7402	0,0124				Windrichtung: Mensa
21	Mittwoch 07.04.	M	38,9447	38,9593	0,0146	1,2°C / 12,1°C	49% / 85%	12:20h	Regen+Schnee+Sonne
		S	38,5661	38,5815	0,0154				Windrichtung: Mensa
22	Donnerstag 08.04.	M	38,9347	38,9516	0,0169	2,1°C / 11,1°C	44% / 79%	12:20h	Regen+Schnee+Sonne
		S	38,5825	38,6019	0,0194				Windrichtung: ZAUM
23	Freitag 09.04.	M	39,0759	39,0838	0,0079	0,1°C / 13,3°C	30% / 85%	15:00h	trocken, bewölkt, windig, Sonne
		S	38,7370	38,7491	0,0121				Windrichtung: Mensa
24	Samstag 10.04.	M	39,2635	39,2880	0,0245	3,0°C / 12,2°C	35% / 70%	12:00h	bewölkt, windig, trocken
		S	38,9582	39,0083	0,0501				Windrichtung: Mensa
25	Sonntag 11.04.	M	39,2565	39,2676	0,0111	3,0°C / 12,2°C	35% / 83%	12:00h	bewölkt, regnerisch
		S	38,9299	38,9535	0,0236				Windrichtung: Klinik
26	Montag 12.04.	M	39,3151	39,3290	0,0139	1,1°C / 13,8°C	30% / 90%	12:30h	trocken, bewölkt, windig, Sonne
		S	38,9995	39,0201	0,0206				Windrichtung: Pforte
27	Dienstag 13.04.	M	39,3396	39,3571	0,0175	3,2°C / 14,8°C	28% / 62%	12:10h	sonnig, windig, trocken
		S	38,9900	39,0159	0,0259				Windrichtung: Pforte
28	Mittwoch 14.04.	M	39,4002	39,4142	0,0140	4,7°C / 13,8°C	31% / 71%	12:00h	trocken, bewölkt, windig
		S	38,9296	38,9544	0,0248				Windrichtung: Pforte
29	Donnerstag 15.04.	M	39,2052	39,2225	0,0173	1,2°C / 17,1°C	32% / 77%	12:00h	trocken, sonnig
		S	38,9184	38,9443	0,0259				Windrichtung: ZAUM
30	Freitag 16.04.	M	39,4626	39,4769	0,0143	4,5°C / 20,2°C	25% / 81%	13:00h	trocken, sonnig
		S	38,9438	38,9673	0,0235				Windrichtung: Pforte
31	Samstag 17.04.	M	39,3290	39,3485	0,0195	3,5°C / 21,8°C	23% / 86%	12:10h	trocken, sonnig
		S	38,8185	38,8363	0,0178				Windrichtung: Pforte
32	Sonntag 18.04.	M	39,2561	39,2741	0,0180	10,6°C / 23,6°C	22% / 65%	12:15h	trocken, bewölkt, windig
		S	38,8766	38,8895	0,0129				Windrichtung: Pforte
33	Montag 19.04.	M	39,2242	39,2259	0,0017	5,2°C / 22,8°C	29% / 90%	12:30h	über Nacht starker Regen und Gewitter, feucht
		S	38,9126	38,9161	0,0035				Windrichtung: Mensa
34	Dienstag 20.04.	M	38,9279	38,9368	0,0089	1,8°C / 16,1°C	27% / 85%	12:00h	trocken, sonnig
		S	38,7261	38,7341	0,0080				Windrichtung: Pforte
35	Mittwoch 21.04.	M	39,2017	39,2219	0,0202	6,8°C / 21,1°C	25% / 62%	12:00h	trocken, sonnig
		S	39,0610	39,0730	0,0120				Windrichtung: Pforte

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wind, Wetter und sonstiges
	eingewechselt	XL	40,6802	40,7172	0,0370	min. / max 24h	min. / max 24h	12:20h	
36	Donnerstag	M	39,2225	39,2420	0,0195	5,2°C / 23,1°C	26% / 86%		trocken, sonnig
	22.04.	S	38,8849	38,9059	0,0210				Windrichtung: Pforte
		XL	40,6066	38,8964	-1,7102	min. / max 24h	min. / max 24h	12:10h	trocken, sonnig,
37	Freitag	M	39,2254	39,2316	0,0062	7,2°C / 24,6°C	22% / 85%		wolkig
	23.04.	S	38,8829	38,8954	0,0125				Windrichtung: Pforte
		XL	40,5828	39,0418	-1,5410	min. / max 24h	min. / max 24h	13:00h	trocken, sonnig
38	Samstag	M	39,1433	39,1566	0,0133	7,4°C / 25°C	26% / 90%		Windrichtung: ZAUM
	24.04.	S	39,0270	40,6061	1,5791				
		XL	40,5509	40,5674	0,0165	min. / max 24h	min. / max 24h	12:15h	bewölkt, windig, trocken
39	Sonntag	M	39,2086	39,2172	0,0086	6,1°C / 18,2°C	29% / 81%		Wind: Mensa
	25.04.	S	38,8769	38,8927	0,0158				
		XL	40,6140	40,6366	0,0226	min. / max 24h	min. / max 24h	13:00h	Sonne, Wolken,
40	Montag	M	39,1631	39,1781	0,0150	5,2°C / 17,7°C	40% / 81%		trocken, windig
	26.04.	S	38,8807	38,9040	0,0233				Wind: Mensa
		XL	40,5013	40,5343	0,0330	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	trocken, sonnig
41	Dienstag	M	39,1695	39,1830	0,0135	3,9°C / 19,5°C	32% / 87%		Windrichtung: Mensa
	27.04.	S	38,8769	38,8967	0,0198				
		XL	40,6754	40,7061	0,0307	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	trocken, sonnig
42	Mittwoch	M	39,3407	39,3550	0,0143	5,1°C / 23,3°C	26% / 86%		Wind: Mensa
	28.04.	S	38,9530	38,9780	0,0250				
		XL	40,5833	40,6077	0,0244	min. / max 24h	min. / max 24h	12:00h	trocken, sonnig
43	Donnerstag	M	39,1596	39,1728	0,0132	7,7°C / 25,4°C	22% / 77%		Wind: Pforte
	29.04.	S	38,9254	38,9359	0,0105				

## 8.8 Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung

### Birkenpollensaison 2005

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wetter	
	eingewechselt		mit Röhrchen	mit Röhrchen		Starttemp. 25,5°C	Startfeuchte 28 %	Uhrzeit		
	am:	XL	2,1399	2,1713	0,0314					
1	Donnerstag	M	0,5970	0,6141	0,0171	min. / max 24h	min. / max 24h		bewölkt, trocken	
	24. Mrz. 05	S	0,3539	0,3920	0,0381	7,1 21,2	41 91	12h		
	Freitag	XL	2,2095	2,2543	0,0448	min. / max 24h	min. / max 24h			
2	25.03.	M	0,6943	0,7017	0,0074	3,0 15,8	55 91		regnerisch, bewölkt	
		S	0,3464	0,3577	0,0113			13h		
	Samstag	XL	2,1036	2,1639	0,0603	min. / max 24h	min. / max 24h			
3	26.03.	M	0,7876	0,9267	0,1391	5,5 16,9	52 90		sonnig, windig, trocken	
		S	0,3429	0,3590	0,0161			12h		
	Sonntag	XL	2,1727	2,1939	0,0212	min. / max 24h	min. / max 24h			
4	27.03.	M	0,6932	0,7088	0,0156	6,7 14,5	60 87		bewölkt, trocken	
		S	0,3576	0,3913	0,0337			12.15h		
	Montag	XL	2,1629	2,2062	0,0433	min. / max 24h	min. / max 24h			
5	28.03.	M	0,6576	0,6652	0,0076	6,9 18,9	41 90		bewölkt, trocken	
		S	0,3570	0,3667	0,0097			12.15h		
	Dienstag	XL	2,1469	2,1815	0,0346	min. / max 24h	min. / max 24h			
6	29.03.	M	0,6118	0,6181	0,0063	8,2 21,2	35 89		sonnig, trocken	
		S	0,3498	0,3611	0,0113			12h		
	Mittwoch	XL	2,1525	2,1938	0,0413	min. / max 24h	min. / max 24h			
7	30.03.	M	0,5932	0,6029	0,0097	4,8 13	45 91		Regen	
		S	0,3485	0,3790	0,0305			12h		
	Donnerstag	XL	2,1652	2,1853	0,0201	min. / max 24h	min. / max 24h			
8	31.03.	M	0,6226	0,6353	0,0127	0,3 17,1	28 67		sonnig, trocken	
		S	0,3558	0,3949	0,0391			12h		
	Freitag	XL	2,1438	2,1588	0,0150	min. / max 24h	min. / max 24h			
9	01.04.	M	0,6599	0,6707	0,0108	0,1 16,1	28 67		sonnig, trocken	
		S	0,3510	0,3788	0,0278			12h		
	Samstag	XL***	2,1367	2,1585	0,0218	min. / max 24h	min. / max 24h			
10	02.04.	M	0,5736	0,5862	0,0126	0,1 21	26 79		sonnig, trocken	
	verwechselt?	S	0,3519	0,3779	0,0260			12h		
	Sonntag	XL	2,1769	2,2052	0,0283	min. / max 24h	min. / max 24h			
11	03.04.	M	0,6381	0,6559	0,0178	1,9 23,2	26 78		sonnig, trocken	
		S	0,3427	0,3688	0,0261			12.10h		
	Montag	XL	2,1604	2,1906	0,0302	min. / max 24h	min. / max 24h			
12	04.04.	M	0,5427	0,5580	0,0153	5,5 22,8	24 55		sonnig, trocken	
		S	0,3593	0,3824	0,0231			12.30h		
	Dienstag	XL	2,1495	2,1817	0,0322	min. / max 24h	min. / max 24h			
13	05.04.	M	0,6280	0,6405	0,0125	7,2 22,6	24 80		sonnig, trocken	
		S	0,3377	0,3582	0,0205			12h		
	Pumpentausch: ab hier: 900 l / min !!!!!!!									
	Mittwoch	XL	2,0283	2,0585	0,0302	min. / max 24h	min. / max 24h			
14	06.04.	M	0,7382	0,7587	0,0205	10,5 23,8	23 53		sonnig, trocken	
		S	0,3469	0,3626	0,0157			12h		
	Donnerstag	XL	2,1235	2,1559	0,0324	min. / max 24h	min. / max 24h			
15	07.04.	M	0,5768	0,5853	0,0085	9,1 20,4	30 77		Regen	
		S	0,3465	0,3586	0,0121			12h		
	Freitag	XL	2,1835	2,2153	0,0318	min. / max 24h	min. / max 24h			
16	08.04.	M	0,5794	0,6418	0,0624	2,7 10,4	65 86		Regen	
		S	0,3537	0,3632	0,0095			12.15h		
	Samstag	XL	2,1951	2,2368	0,0417	min. / max 24h	min. / max 24h			
17	09.04.	M	0,5945	0,6297	0,0352	0,1 10,4	33 87		Regen	
		S	0,3472	0,3560	0,0088			12.20h		

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wetter
	eingewechselt	XL	2,2464	2,2045	-0,0419	min. / max 24h	min. / max 24h	Uhrzeit	
18	Sonntag	M	0,6185	0,6235	0,0050	1,4 12	30 76		bewölkt, trocken
	10.04.	S	0,3686	0,3810	0,0124			12h	
	Montag	XL	2,1814	2,2437	0,0623	min. / max 24h	min. / max 24h		
19	11.04.	M	0,6100	0,6160	0,0060	4,4 16,1	32 77		bewölkt, trocken
		S	0,3479	0,3652	0,0173			12h	
	Dienstag	XL	2,2107	2,2387	0,0280	min. / max 24h	min. / max 24h		
20	12.04.	M	0,6201	0,6287	0,0086	7,1 17,7	35 78		trocken
		S	0,3417	0,3709	0,0292			12.20h	
	Mittwoch	XL	2,1391	2,1730	0,0339	min. / max 24h	min. / max 24h		
21	13.04.	M	0,6936	0,7175	0,0239	3,7 19,1	36 88		trocken, wolkig
		S	0,3786	0,4082	0,0296			13h	
	Donnerstag	XL	2,1754	2,1680	-0,0074	min. / max 24h	min. / max 24h		
22	14.04.	M	0,5835	0,5977	0,0142	8,7 22,1	32 74		sonnig, trocken
		S	0,3513	0,3739	0,0226			11.40h	
	Freitag	XL	2,1731	2,2101	0,0370	min. / max 24h	min. / max 24h		
23	15.04.	M	0,6805	0,6986	0,0181	6,3 25,1	23 86		sonnig, trocken
		S	0,3495	0,3704	0,0209			12.25h	
	Samstag	XL	2,1781	2,2057	0,0276	min. / max 24h	min. / max 24h		
24	16.04.	M	0,7147	0,7234	0,0087	5,1 21,8	25 73		sonnig, trocken
		S	0,3549	0,3638	0,0089			12.45h	
	Sonntag	XL	2,1886	2,2185	0,0299	min. / max 24h	min. / max 24h		
25	17.04.	M	0,6809	0,6874	0,0065	6,3 20,2	24 80		trocken, etwas wolkig
		S	0,3624	0,3701	0,0077			12.30h	
	Montag	XL	2,1389	2,1547	0,0158	min. / max 24h	min. / max 24h		
26	18.04.	M	0,5780	0,5837	0,0057	7,7 9,3	7,1 91		Regen
		S	0,3533	0,3651	0,0118			12h	
	Dienstag	XL	2,1512	2,1596	0,0084	min. / max 24h	min. / max 24h		
27	19.04.	M	0,5988	0,6027	0,0039	5,1 10,4	79 89		Regen
		S	0,3850	0,3919	0,0069			12h	
	Mittwoch	XL	2,1849	2,1910	0,0061	min. / max 24h	min. / max 24h		
28	20.04.	M	0,6353	0,6387	0,0034	1 11,7	28 89		Regen
		S	0,3475	0,3575	0,0100			12h	
	Donnerstag	XL	2,0963	2,1363	0,0400	min. / max 24h	min. / max 24h		
29	21.04.	M	0,5982	0,6067	0,0085	0,1 14,7	28 70		trocken, windig
		S	0,3645	0,3768	0,0123			12h30	
	Freitag	XL	2,1745	2,1962	0,0217	min. / max 24h	min. / max 24h		
30	22.04.	M	0,6280	0,6399	0,0119	0,1 19,7	26 77		trocken, windig, sonnig
		S	0,3477	0,3650	0,0173			11h45	
	Samstag	XL	2,2068	2,2260	0,0192	min. / max 24h	min. / max 24h		
31	23.04.	M	0,6184	0,6269	0,0085	6,8 20,8	25 85		trocken, windstill, sonnig
		S	0,3800	0,3947	0,0147			12h30	
	Sonntag	XL	2,1728	2,2307	0,0579	min. / max 24h	min. / max 24h		
32	24.04.	M	0,6497	0,6584	0,0087	10,2 21,7	36 87		trocken, bewölkt
		S	0,3658	0,3788	0,0130			11h45	
	Montag	XL	2,1169	2,1328	0,0159	min. / max 24h	min. / max 24h		
33	25.04.	M	0,6036	0,6108	0,0072	7,5 14,6	60 90		Regen
		S	0,3520	0,3652	0,0132			12h00	
	Dienstag	XL	2,1288	2,1610	0,0322	min. / max 24h	min. / max 24h		
34	26.04.	M	0,7031	0,7157	0,0126	6,3 20,1	39 86		bewölkt, windig, trocken
		S	0,3480	0,3574	0,0094			11h40	
	Mittwoch	XL	2,0377	2,1718	0,1341	min. / max 24h	min. / max 24h		
35	27.04.	M	0,7019	0,7078	0,0059	5,4 18,5	34 88		Regen
		S	0,3418	0,3460	0,0042			10h30	

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wetter
	eingewechselt	XL	2,1618	2,1811	0,0193	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
36	Donnerstag 28.04.	M	0,7012	0,7157	0,0145	5,4 23,7	24 88		trocken, Sonne
		S	0,3528	0,3639	0,0111			12h00	
	Freitag 29.04.	XL	2,1712	2,1808	0,0096	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
37		M	0,7038	0,7113	0,0075	10,9 26	29 89		trocken, Sonne
		S	0,3513	0,3613	0,0100			12h30	
	Samstag 30.04.	XL	2,1006	2,1118	0,0112	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
38		M	0,7022	0,7089	0,0067	10,6 30,3	20 84		trocken, Sonne
		S	0,3550	0,3669	0,0119			12h50	
	Sonntag 01.05.	XL	2,1141	2,1105	-0,0036	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
39		M	0,6850	0,6972	0,0122	11 31,4	20 87		trocken, Sonne
		S	0,3586	0,3730	0,0144			13h00	
	Montag 02.05.	XL	2,0890	2,1257	0,0367	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
40		M	0,7046	0,7238	0,0192	15,7 33,2	20 67		sonnig, trocken
		S	0,3489	0,3607	0,0118			12h00	
	Dienstag 03.05.	XL	2,1081	2,1818	0,0737	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
41		M	0,7008	0,7081	0,0073	11,7 25,3	35 91		Wolken, trocken
		S	0,3549	0,3601	0,0052				
	Mittwoch 04.05.	XL	2,1257	2,1416	0,0159	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
42		M	0,7087	0,7164	0,0077	9,2 23,1	31 87		trocken
		S	0,3469	0,3529	0,0060			11h30	
	Donnerstag 05.05.	XL	2,1652	2,1818	0,0166	<u>min. / max 24h</u>	<u>min. / max 24h</u>		
43		M	0,7097	0,7151	0,0054				wechselhaft
		S	0,3705	0,3777	0,0072			12h50	

## 8.9 Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung

### Gräserpollensaison 2004

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen /mg/l	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wind, Wetter
	eingewechselt		mit Röhrchen	mit Röhrchen		Starttemp.	Startfeuchte	Uhrzeit	und sonstiges
	am:	XL	40,7013	40,7213	0,0200	Wetter letzten 24h			Sonne, Wolken, trocken
1	Dienstag	M	39,2293	39,2385	0,0092	min. / max 24h	min. / max 24h		Windrichtung:
	01.06.	S	38,8063	38,8179	0,0116	10,5°C / 23,5°C	27% / 91%	12:20h	Pforte / ZAUM
	Mittwoch	XL	40,6451	40,7191	0,0740	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, Wolken, trocken
2	02.06.	M	39,2732	39,2979	0,0247	11,5°C / 24,3°C	30% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9254	38,9486	0,0232			12:30h	Mensa
	Donnerstag	XL	40,6781	40,7036	0,0255	min. / max 24h	min. / max 24h		Regen
3	03.06.	M	39,2509	39,2637	0,0128	11,1°C / 22,2°C	49% / 93%		Windrichtung:
		S	38,8062	38,8243	0,0181			12:30h	Mensa
	Freitag	XL	40,6847	40,7169	0,0322	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, Wolken
4	04.06.	M	39,3957	39,4119	0,0162	11,4°C / 23,2°C	39% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9179	38,9397	0,0218			12:20h	Pforte / Mensa
	Samstag	XL	40,6234	40,6462	0,0228	min. / max 24h	min. / max 24h		Wolken
5	05.06.	M	39,2990	39,3102	0,0112	10,1°C / 19,5°C	49% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9659	38,9774	0,0115			12:06h	Klinik / Pforte
	Sonntag	XL	40,5921	40,6061	0,0140	min. / max 24h	min. / max 24h		Wolken
6	06.06.	M	39,2129	39,2182	0,0053	6,5°C / 24,4°C	31% / 92%		Windrichtung:
		S	38,8303	38,8388	0,0085		Rasen gemäht !	12:18h	Klinik / Pforte
	Montag	XL	40,6503	40,6709	0,0206	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, trocken
7	07.06.	M	39,2149	39,2273	0,0124	10,4°C / 30,1°C	26% / 91%		Windrichtung:
		S	38,8097	38,8244	0,0147			11:45h	Pforte / Mensa
	Dienstag	XL	40,5673	40,5872	0,0199	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, wolkig
8	08.06.	M	39,2163	39,2262	0,0099	13,8°C / 32,5°C	25% / 83%		Windrichtung:
		S	38,8398	38,8544	0,0146			12:20h	Pforte / ZAUM
	Mittwoch	XL	40,6837	40,7106	0,0269	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, trocken
9	09.06.	M	39,1669	39,1807	0,0138	16,2°C / 34,1°C	20% / 74 %		Windrichtung:
		S	38,9451	38,9653	0,0202			11:30h	Mensa
	Donnerstag	XL	40,6446	40,7753	0,1307	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, trocken
10	10.06.	M	39,3323	39,3593	0,0270	17,1°C / 33,9°C	26% / 89%		Windrichtung:
		S	38,8964	38,9250	0,0286			12:00h	Mensa
	Freitag	XL	40,6414	40,6727	0,0313	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, Wolken, Regen
11	11.06.	M	39,1215	39,1395	0,0180	14,6°C / 23,5°C	57% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9411	38,9580	0,0169			12:10h	von überall
	Samstag	XL	40,7618	40,7888	0,0270	min. / max 24h	min. / max 24h		Wolken, Regen
12	12.06.	M	39,3278	39,3455	0,0177	10,1°C / 20,9°C	39% / 87%		Windrichtung:
		S	38,9595	38,9781	0,0186			12:10h	Mensa
	Sonntag	XL	40,5900	40,6070	0,0170	min. / max 24h	min. / max 24h		Wolken
13	13.06.	M	39,2718	39,2855	0,0137	8,8°C / 23,1°C	33% / 91%		Windrichtung:
		S	38,8114	38,8244	0,0130			12:15h	ZAUM
	Montag	XL	40,6620	40,6879	0,0259	min. / max 24h	min. / max 24h		trocken, Sonne, Wolken
14	14.06.	M	39,2085	39,2244	0,0159	9,8°C / 25,2°C	27% / 91%		Windrichtung:
		S	38,7788	38,7965	0,0177			13:00h	Pforte
	Dienstag	XL	40,6882	40,7199	0,0317	min. / max 24h	min. / max 24h		trocken, bewölkt
15	15.06.	M	39,2299	39,2462	0,0163	12,5°C / 24,8°C	31% / 90%		Windrichtung:
		S	38,7345	38,7529	0,0184			12:45h	Mensa
	Mittwoch	XL	40,7406	40,7616	0,0210	min. / max 24h	min. / max 24h		feucht
16	16.06.	M	39,2171	39,2313	0,0142	9,4°C / 25,5°C	29% / 85%		Windrichtung:
		S	38,9061	38,9189	0,0128				Pforte
	Donnerstag	XL	40,5855	40,7044	0,1189	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, trocken
17	17.06.	M	39,2732	39,2917	0,0185	14,1°C / 27,8°C	25% / 75%		Windrichtung:
		S	38,7510	38,7667	0,0157			13:00h	Pforte

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wind, Wetter
	<b>eingewechselt</b>	XL	40,5223	40,5509	0,0286	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>	<b>Uhrzeit</b>	<b>und sonstiges</b>
18	Freitag	M	39,1632	39,1795	0,0163	11,7°C / 23,7°C	43% / 91%		bewölkt
	18.06.	S	38,8545	38,8737	0,0192			11:45h	Windrichtung: Pforte
	<b>Samstag</b>	XL	40,6184	40,6992	0,0808	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		bewölkt
19	19.06.	M	39,3210	39,3582	0,0372	10,7°C / 19,1°C	49% / 89%		Windrichtung:
		S	38,8574	38,8822	0,0248			12:05h	Pforte
	<b>Sonntag</b>	XL	40,6402	40,6650	0,0248	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Regen
20	20.06.	M	39,1246	39,1398	0,0152	6,8°C / 20,2°C	51% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9748	38,9886	0,0138			12:20h	Pforte / Mensa
	<b>Montag</b>	XL	40,2360	40,6636	0,4276	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		bewölkt, feucht
21	21.06.	M	39,1116	39,1257	0,0141	11,2°C / 24°C	28% / 88%		Windrichtung:
		S	38,8924	38,9070	0,0146			12:00h	Pforte
	<b>Dienstag</b>	XL	40,7109	40,7313	0,0204	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		bewölkt, Regen, Sonne
22	22.06.	M	39,1310	39,1452	0,0142	11,1°C / 28,7°C	36% / 89%		Windrichtung:
		S	38,8320	38,8439	0,0119			12:00h	Pforte
	<b>Mittwoch</b>	XL	40,6161	40,6414	0,0253	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Sonne, Wolken
23	23.06.	M	39,1878	39,2004	0,0126	14,2°C / 30,1°C	29% / 89%		Windrichtung:
		S	38,9098	38,9186	0,0088			12:00h	Pforte
	<b>Donnerstag</b>	XL	40,6017	40,6345	0,0328	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Sonne, Wolken
24	24.06.	M	39,1365	39,1585	0,0220	13,8°C / 26,8°C	25% / 61%		Windrichtung:
		S	38,7900	38,8050	0,0150			12:00h	Pforte
	<b>Freitag</b>	XL	40,5484	40,5484	0,0000	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Regen, Sonne
25	25.06.	M	39,4088	39,4088	0,0000	8,4°C / 23,6°C	31% / 86%		Windrichtung:
		S	38,7608	38,7608	0,0000			12:00h	Pforte
	<b>Samstag</b>	XL	40,6349	40,6478	0,0129	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Sonne
26	26.06.	M	39,2789	39,2867	0,0078	14,1°C / 29,9°C	24% / 76%		Windrichtung:
		S	38,8404	38,8551	0,0147			12:00h	Pforte
	<b>Sonntag</b>	XL	40,7239	40,7366	0,0127	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		bewölkt
27	27.06.	M	39,3440	39,3509	0,0069	18,3°C / 32,2°C	25% / 86%		Windrichtung:
		S	38,9367	38,9492	0,0125			12:35h	Pforte / Mensa
	<b>Montag</b>	XL	40,6832	40,6967	0,0135	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Regen, Wind, Sonne
28	28.06.	M	39,3933	39,4063	0,0130	12,8°C / 27,2°C	29% / 83%		Windrichtung:
		S	38,8837	38,8953	0,0116			13:00h	Pforte
	<b>Dienstag</b>	XL	40,5539	40,5799	0,0260	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Sonne, trocken
29	29.06.	M	39,2590	39,2715	0,0125	11,4°C / 27,2°C	21% / 83%		Windrichtung:
		S	38,9072	38,9283	0,0211			12:00h	Pforte
	<b>Mittwoch</b>	XL	40,5579	40,5844	0,0265	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Sonne, trocken
30	30.06.	M	39,3033	39,3176	0,0143	13,7°C / 29,2°C	24% / 77%		Windrichtung:
		S	38,9146	38,9356	0,0210			12:40h	Pforte
	<b>Donnerstag</b>	XL	40,5391	40,5866	0,0475	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Wind, Wolken
31	01.07.	M	39,1809	39,2108	0,0299	12,9°C / 22,0°C	45% / 91%		Windrichtung:
		S	38,8870	38,9175	0,0305			12:00h	Pforte
	<b>Freitag</b>	XL	40,7444	40,7514	0,0070	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Regen
32	02.07.	M	39,2381	39,2453	0,0072	11,4°C / 23,2°C	32% / 90%		Windrichtung:
		S	38,9712	38,9794	0,0082			13:10h	Klinik
	<b>Samstag</b>	XL	40,7950	40,8061	0,0111	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		bewölkt, sehr windig
33	03.07.	M	39,2151	39,2213	0,0062	10,8°C / 26,2°C	24% / 72%		Windrichtung:
		S	38,7697	38,7780	0,0083			12:40h	Pforte
	<b>Sonntag</b>	XL	40,7812	40,7912	0,0100	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		sonnig
34	04.07.	M	39,3190	39,3288	0,0098	15,1°C / 29,2°C	21% / 80%		Windrichtung:
		S	38,8009	38,8122	0,0113			12:50h	Pforte, Rasenmäher!
	<b>Montag</b>	XL	40,6454	40,9032	0,2578	<b>min. / max 24h</b>	<b>min. / max 24h</b>		Sonne, Wolken, Wind
35	05.07.	M	39,2086	39,2356	0,0270	15,1°C / 28,4°C	32% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9195	38,9987	0,0792			11:40h	überall, sehr windig

	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	Temp [C]	Feuchte [%]	eingewechselt	Wind, Wetter und sonstiges
	eingewechselt	XL	40,6766	40,7006	0,0240	min. / max 24h	min. / max 24h		
36	Dienstag	M	39,2990	39,3176	0,0186	13,5°C / 26,5°C	47% / 92%		bewölkt
	06.07.	S	38,9462	38,9684	0,0222			12:30h	Windrichtung: Pforte
	Mittwoch	XL	40,6388	40,6615	0,0227	min. / max 24h	min. / max 24h		bewölkt, sonnig
37	07.07.	M	39,3531	39,3732	0,0201	14,7°C / 30,7°C	41% / 93%		Windrichtung:
		S	38,7920	38,8142	0,0222			13:00h	Mensa
	Donnerstag	XL	40,6774	40,7033	0,0259	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne Wolken, Unwetter-
38	08.07.	M	39,4012	39,4158	0,0146	11,9°C / 32,2°C	36% / 93%		Regen über Nacht !
		S	39,0014	39,0155	0,0141			12:00h	Windrichtung: Pforte
	Freitag	XL	40,5000	40,5328	0,0328	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, Wind, Wolken
39	09.07.	M	39,3614	39,3832	0,0218	10,9°C / 24,6°C	31% / 85%		Windrichtung:
		S	38,9431	38,9574	0,0143			12:00h	Pforte / Mensa
	Samstag	XL	40,6720	40,7159	0,0439	min. / max 24h	min. / max 24h		starker Regen, Sonne
40	10.07.	M	39,2897	39,3092	0,0195	10,7°C / 21,1°C	40% / 85%		Windrichtung:
		S	39,2012	39,2131	0,0119			13:45h	Klinik
	Sonntag	XL	40,7084	40,9612	0,2528	min. / max 24h	min. / max 24h		Regen, Sonne, Wolken
41	11.07.	M	39,4577	39,4799	0,0222	10,5°C / 21,7°C	39% / 79%		Windrichtung:
		S	38,9995	39,0122	0,0127	Wasser auf XL-Filter (Regen)		13:35h	Pforte
	Montag	XL	40,7166	40,7403	0,0237	min. / max 24h	min. / max 24h		Regen+ Sonne
42	12.07.	M	39,4488	39,4641	0,0153	10,9°C / 20,8°C	45% / 89%		Windrichtung:
		S	39,0087	39,0160	0,0073			13:00h	Pforte
	Dienstag	XL	40,7137	40,7174	0,0037	min. / max 24h	min. / max 24h		Regen+ Sonne
43	13.07.	M	39,4312	39,4417	0,0105	10,1°C / 21°C	45% / 89%		Windrichtung:
		S	39,1518	39,1654	0,0136			12:00h	Pforte / Mensa
	Mittwoch	XL	40,7163	40,7278	0,0115	min. / max 24h	min. / max 24h		Regen+ Sonne
44	14.07.	M	39,4847	39,5026	0,0179	12,7°C / 23,2°C	37% / 88%		Windrichtung:
		S	39,1179	39,1350	0,0171			11:50h	Pforte
	Donnerstag	XL	40,7069	40,7115	0,0046	min. / max 24h	min. / max 24h		Regen+ Sonne
45	15.07.	M	39,3876	39,4056	0,0180	12,7°C / 24,7°C	37% / 92%		Windrichtung:
		S	38,9951	39,0149	0,0198			13:00h	Pforte
	Freitag	XL	40,7418	40,7341	-0,0077	min. / max 24h	min. / max 24h		trocken, Wolken, Sonne
46	16.07.	M	39,3504	39,3580	0,0076	13,2°C / 30,8°C	33% / 93%		Windrichtung:
		S	39,1089	39,1217	0,0128			12:00h	Pforte
	Samstag	XL	40,4287	40,4191	-0,0096	min. / max 24h	min. / max 24h		trocken, sonnig
47	17.07.	M	39,2557	39,2623	0,0066	16,9°C / 32,5°C	30% / 89%		Windrichtung:
		S	38,8164	38,8264	0,0100			12:00h	Mensa / ZAUM
	Sonntag	XL	40,5588	40,5571	-0,0017	min. / max 24h	min. / max 24h		trocken, sehr warm
48	18.07.	M	39,4369	39,4493	0,0124	17,7°C / 32,8°C	27% / 86%		Windrichtung:
		S	38,9875	39,0083	0,0208			12:20h	Pforte
	Montag	XL	40,6323	40,6382	0,0059	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne
49	19.07.	M	39,3334	39,3476	0,0142	15,2°C / 33,1°C	32% / 92%		Windrichtung:
		S	39,1473	39,1685	0,0212			13:00h	ZAUM
	Dienstag	XL	40,7043	40,7039	-0,0004	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne
50	20.07.	M	39,4662	39,4789	0,0127	14,7°C / 33,9°C	31% / 92%		Windrichtung:
		S	39,0878	39,1065	0,0187	über Nacht Unwetter & starker Regen		13:00h	Pforte
	Mittwoch	XL	40,7540	40,7691	0,0151	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne
51	21.07.	M	39,2038	39,2144	0,0106	17,3°C / 32,7°C	31% / 90%		Windrichtung:
		S	39,0982	39,1149	0,0167			11:45h	Pforte
	Donnerstag	XL	40,8655	40,8728	0,0073	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, Gewitter
52	22.07.	M	39,2845	39,2906	0,0061	16,1°C / 32,8°C	30% / 91%		Windrichtung:
		S	38,9646	38,9795	0,0149			12:00h	Mensa
	Freitag	XL	40,6294	40,6438	0,0144	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, Wolken
53	23.07.	M	39,3033	39,3183	0,0150	16,8°C / 34,1°C	31% / 89%		Windrichtung:
		S	38,8548	38,8754	0,0206			12:35h	Pforte
	Samstag	XL	40,7616	40,7712	0,0096	min. / max 24h	min. / max 24h		Sonne, trocken
54	24.07.	M	39,3263	39,3415	0,0152	14,7°C / 27,1°C	39% / 93%		Windrichtung:
		S	38,9513	38,9771	0,0258			13:30h	Pforte
	Sonntag	XL	40,6184	40,6288	0,0104	min. / max 24h	min. / max 24h		trocken, Sonne
55	25.07.	M	39,2850	39,2913	0,0063	15,0°C / 28,9°C	29% / 82%		Windrichtung:
		S	38,9815	39,0016	0,0201			13:00h	Pforte
	Montag	XL	40,7504	40,7519	0,0015	min. / max 24h	min. / max 24h		Wolken, trocken
56	26.07.	M	39,1807	39,1862	0,0055	12,5°C / 24,6°C	41% / 91%		Windrichtung:
		S	39,2108	39,2283	0,0175			12:00h	Pforte
	Dienstag	XL	40,7949	40,7952	0,0003	min. / max 24h	min. / max 24h		Wolken, trocken
57	27.07.	M	39,1800	39,1879	0,0079	9,7°C / 24,8°C	27% / 91%		Windrichtung:
		S	39,0010	38,9972	-0,0038			13:00h	



## 8.10 Entnahmeprotokoll der ChemVol®- Sammlung

### Gräserpollensaison 2005

Phlp5- Sammlung, Sommer 2005							
	Datum	Fraktion	Gewicht vorher	Gewicht nachher	Teilchen [mg]	eingewechselt	Wetter
	eingewechselt					Uhrzeit	
	am:	XL	2,1397	2,1501	0,0104		
1	Mittwoch	M	0,7047	0,7136	0,0089		sonnig
	01.06.	S	0,3663	0,3818	0,0155	12:15h	
	Donnerstag	XL	1,9993	2,0490	0,0497		
2	02.06.	M	0,6988	0,7119	0,0131		sonnig
		S	0,3518	0,3681	0,0163	12h15	
	Freitag	XL	2,1382	2,1653	0,0271		
3	03.06.	M	0,7009	0,7153	0,0144		sonnig
		S	0,3387	0,3508	0,0121	12h00	
	Samstag	XL	2,1531	2,1642	0,0111		
4	04.06.	M	0,6991	0,7050	0,0059		Regen
		S	0,3538	0,3626	0,0088	12h50	
	Sonntag	XL	2,1551	2,1706	0,0155		
5	05.06.	M	0,7072	0,7149	0,0077		bewölkt
		S	0,3771	0,3840	0,0069	12h00	
	Montag	XL	2,0076	2,0123	0,0047		
6	06.06.	M	0,6969	0,7005	0,0036		regnerisch
		S	0,3468	0,3531	0,0063	12h15	
	Dienstag	XL	2,1502	2,1533	0,0031		
7	07.06.	M	0,7018	0,7062	0,0044		wechselhaft
		S	0,3561	0,3603	0,0042	12h00	
	Mittwoch	XL	1,9273	1,9334	0,0061		
8	08.06.	M	0,7025	0,7082	0,0057		bewölkt
		S	0,3503	0,3547	0,0044	12h40	
	Donnerstag	XL	2,1158	2,1247	0,0089		
9	09.06.	M	0,7043	0,7092	0,0049		bewölkt
		S	0,3511	0,3521	0,0010	12h15	
	Freitag	XL	2,0805	2,0878	0,0073		
10	10.06.	M	0,6753	0,5800	-0,0953		bewölkt
		S	0,3465	0,3533	0,0068	13h15	
	Samstag	XL	2,1314	2,1407	0,0093		
11	11.06.	M	0,6997	0,7084	0,0087		bewölkt
		S	0,3462	0,3629	0,0167	12h20	
	Sonntag	XL	2,1483	2,1615	0,0132		
12	12.06.	M	0,7023	0,7101	0,0078		bewölkt
		S	0,3478	0,3638	0,0160	12h00	
	Montag	XL	1,9734	1,9837	0,0103		
13	13.06.	M	0,7064	0,7113	0,0049		wechselhaft, sonnig
		S	0,3732	0,3831	0,0099	12h30	
	Dienstag	XL	2,1651	2,1818	0,0167		
14	14.06.	M	0,7062	0,7159	0,0097		sonnig
		S	0,3396	0,3509	0,0113	12h00	
	Mittwoch	XL	2,1775	2,1823	0,0048		
15	15.06.	M	0,6973	0,7014	0,0041		wechselhaft, bewölkt
		S	0,3676	0,3761	0,0085	12h20	
	Donnerstag	XL	2,1088	2,1274	0,0186		
16	16.06.	M	0,7152	0,7268	0,0116		sonnig
		S	0,3388	0,3548	0,0160	12h00	
	Freitag	XL	2,1316	2,1491	0,0175		
17	17.06.	M	0,6970	0,7107	0,0137		sonnig, bewölkt
		S	0,3441	0,3588	0,0147	13h20	

	<u>Datum</u>	<u>Fraktion</u>	<u>Gewicht vorher</u>	<u>Gewicht nacher</u>	<u>Teilchen [mg]</u>	<u>eingewechselt</u>	<u>Wetter</u>
	<b>eingewechselt</b>	XL	2,1125	2,1132	0,0007	<b>Uhrzeit</b>	
<b>18</b>	<b>Samstag</b> <b>18.06.</b>	M	0,7049	0,7111	0,0062		sonnig
		S	0,3640	0,3748	0,0108	13h30	
	<b>Sonntag</b> <b>19.06.</b>	XL	2,1629	2,1744	0,0115		
<b>19</b>		M	0,6969	0,7042	0,0073		sonnig
		S	0,3388	0,3467	0,0079	13h30	
	<b>Montag</b> <b>20.06.</b>	XL	2,1595	2,1720	0,0125		
<b>20</b>		M	0,7094	0,7198	0,0104		sonnig
		S	0,3540	0,3640	0,0100	12h30	
	<b>Dienstag</b> <b>21.06.</b>	XL	2,1953	2,2180	0,0227		
<b>21</b>		M	0,6827	0,6977	0,0150		sonnig
		S	0,3407	0,3550	0,0143	11h45	
	<b>Mittwoch</b> <b>22.06.</b>	XL	2,1287	2,1497	0,0210		
<b>22</b>		M	0,6905	0,7046	0,0141		sonnig
		S	0,3473	0,3668	0,0195	12h15	
	<b>Donnerstag</b> <b>23.06.</b>	XL	2,1840	2,2052	0,0212		
<b>23</b>		M	0,7077	0,7244	0,0167		sonnig
		S	0,3591	0,3803	0,0212	12h00	
	<b>Freitag</b> <b>24.06.</b>	XL	2,0803	2,1012	0,0209		
<b>24</b>		M	0,6984	0,7123	0,0139		sonnig
		S	0,3403	0,3528	0,0125	12h15	
	<b>Samstag</b> <b>25.06.</b>	XL	2,1783	2,2039	0,0256		
<b>25</b>		M	0,7162	0,7296	0,0134		sonnig
		S	0,3568	0,3682	0,0114	12h20	
	<b>Sonntag</b> <b>26.06.</b>	XL	2,0981	2,1195	0,0214		
<b>26</b>		M	0,6996	0,7108	0,0112		sonnig
		S	0,3460	0,3635	0,0175	12h00	
	<b>Montag</b> <b>27.06.</b>	XL	2,1470	2,1652	0,0182		
<b>27</b>		M	0,6976	0,7133	0,0157		heiß, sonnig
		S	0,3713	0,3920	0,0207	12h00	trocken
	<b>Dienstag</b> <b>28.06.</b>	XL	2,1011	2,1287	0,0276		
<b>28</b>		M	0,7330	0,7487	0,0157		heiß
		S	0,3400	0,3612	0,0212	12h00	
	<b>Mittwoch</b> <b>29.06.</b>	XL	2,1342	2,1506	0,0164		
<b>29</b>		M	0,7039	0,7157	0,0118		heiß
		S	0,3409	0,3525	0,0116	12h00	nachts Gewitter und Regen
	<b>Donnerstag</b> <b>30.06.</b>	XL	2,1672	2,2990	0,1318		
<b>30</b>		M	0,7006	0,7411	0,0405		trocken, wolkig
		S	0,3453	0,3940	0,0487	12h00	
	<b>Freitag</b> <b>01.07.</b>	XL	2,0985	2,1193	0,0208		
<b>31</b>		M	0,6905	0,7005	0,0100		Regen, kalt
		S	0,3326	0,3411	0,0085	11h30	
	<b>Samstag</b> <b>02.07.</b>	XL	2,1087	2,1159	0,0072		
<b>32</b>		M	0,7049	0,7095	0,0046		Regen
		S	0,3624	0,3703	0,0079	13h00	
	<b>Sonntag</b> <b>03.07.</b>	XL	2,1077	2,1191	0,0114		
<b>33</b>		M	0,7479	0,7559	0,0080		sonnig
		S	0,3592	0,3704	0,0112	12h15	leicht bewölkt
	<b>Montag</b> <b>04.07.</b>	XL	2,1255	2,1359	0,0104		
<b>34</b>		M	0,7162	0,7232	0,0070		sonnig
		S	0,3560	0,3637	0,0077	13h00	abends Unwetter, starker Regen
	<b>Dienstag</b> <b>05.07.</b>	XL	2,1847	2,1835	-0,0012		
<b>35</b>		M	0,7098	0,7124	0,0026		Regen
		S	0,3604	0,3650	0,0046	12h30	

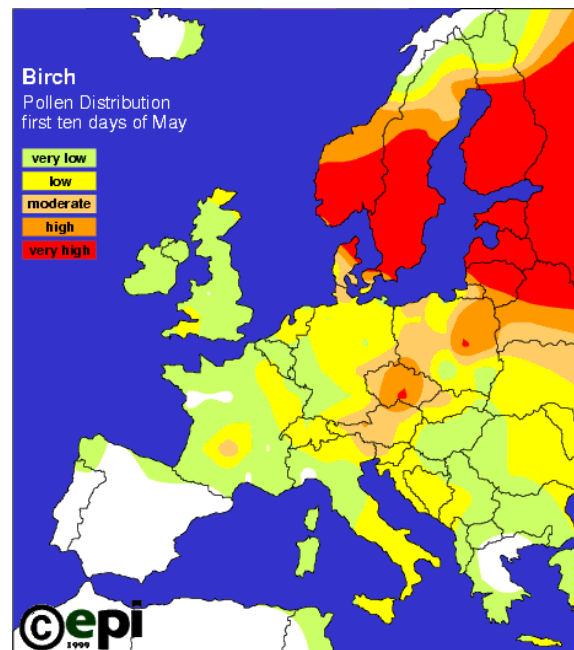
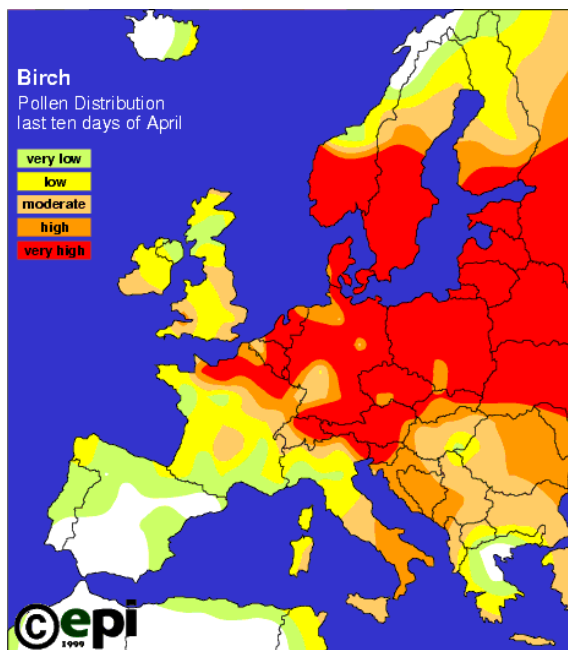
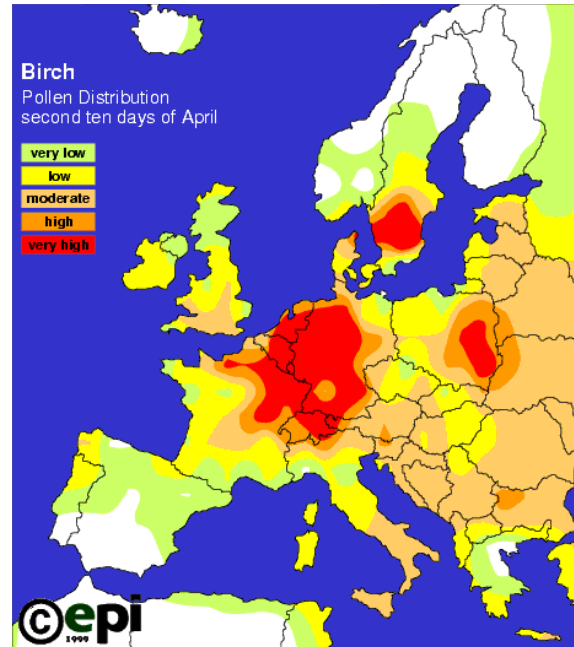
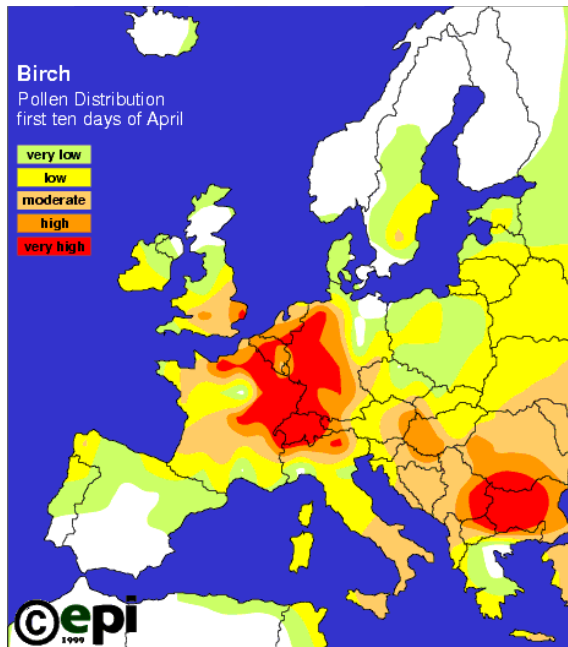
	<u>Datum</u>	<u>Fraktion</u>	<u>Gewicht vorher</u>	<u>Gewicht nachher</u>	<u>Teilchen [mg]</u>	<u>eingewechselt</u>	<u>Wetter</u>
	<u>eingewechselt</u>	XL	2,2186	2,2275	0,0089		
<b>36</b>	<u>Mittwoch</u> <u>06.07.</u>	M	0,7217	0,7270	0,0053		Sonne, Wolken
		S	0,3624	0,3671	0,0047	12h00	etwas Regen
	<u>Donnerstag</u>	XL	2,1430	2,1717	0,0287		
<b>37</b>	<u>07.07.</u>	M	0,7097	0,7189	0,0092		Regen
		S	0,3404	0,3490	0,0086	12h00	
	<u>Freitag</u>	XL	2,0889	2,0897	0,0008		
<b>38</b>	<u>08.07.</u>	M	0,7102	0,7117	0,0015		Regen
		S	0,3400	0,3445	0,0045	17h00	
	<u>Samstag</u>	XL	2,1274	2,1500	0,0226		
<b>39</b>	<u>09.07.</u>	M	0,7018	0,7135	0,0117		Sonne, Wolken
		S	0,3528	0,3696	0,0168	11h30	
	<u>Sonntag</u>	XL	2,1402	2,1563	0,0161		
<b>40</b>	<u>10.07.</u>	M	0,7064	0,7198	0,0134		wolzig, regnerisch
		S	0,3575	0,3768	0,0193	13h40	
	<u>Montag</u>	XL	2,0912	2,0963	0,0051		
<b>41</b>	<u>11.07.</u>	M	0,7057	0,7152	0,0095		Regen
		S	0,3236	0,3357	0,0121	12h00	
	<u>Dienstag</u>	XL	2,1492	2,1580	0,0088		
<b>42</b>	<u>12.07.</u>	M	0,7110	0,7158	0,0048		Sonne
		S	0,3348	0,3481	0,0133	12h00	
	<u>Mittwoch</u>	XL	2,1369	2,1443	0,0074		
<b>43</b>	<u>13.07.</u>	M	0,7136	0,7239	0,0103		Sonne, Wolken
		S	0,3301	0,3456	0,0155	12h00	
	<u>Donnerstag</u>	XL	2,1543	2,1694	0,0151		
<b>44</b>	<u>14.07.</u>	M	0,6881	0,6992	0,0111		Sonne, trocken
		S	0,3356	0,3540	0,0184	13h30	
	<u>Freitag</u>	XL	2,1416	2,1583	0,0167		
<b>45</b>	<u>15.07.</u>	M	0,6880	0,6988	0,0108		Sonne
		S	0,3652	0,3830	0,0178	11h30	
	<u>Samstag</u>	XL	2,1328	2,1478	0,0150		
<b>46</b>	<u>16.07.</u>	M	0,6966	0,7064	0,0098		Sonne
		S	0,3563	0,3716	0,0153	11h45	
	<u>Sonntag</u>	XL	2,1609	2,1804	0,0195		
<b>47</b>	<u>17.07.</u>	M	0,7122	0,7257	0,0135		Sonne
		S	0,3298	0,3455	0,0157	13h00	
	<u>Montag</u>	XL	2,1198	2,1397	0,0199		
<b>48</b>	<u>18.07.</u>	M	0,6938	0,7070	0,0132		Sonne
		S	0,3550	0,3673	0,0123	12h00	
	<u>Dienstag</u>	XL	2,1036	2,1154	0,0118		
<b>49</b>	<u>19.07.</u>	M	0,6977	0,7084	0,0107		regnerisch
		S	0,3663	0,3759	0,0096	11h45	
	<u>Mittwoch</u>	XL	2,1282	2,1432	0,0150		
<b>50</b>	<u>20.07.</u>	M	0,7127	0,7224	0,0097		regnerisch
		S	0,3594	0,3658	0,0064	11h50	
	<u>Donnerstag</u>	XL	2,1337	2,1468	0,0131		
<b>51</b>	<u>21.07.</u>	M	0,7063	0,7121	0,0058		regnerisch
		S	0,3144	0,3215	0,0071	11h45	
	<u>Freitag</u>	XL	2,1452	2,1565	0,0113		
<b>52</b>	<u>22.07.</u>	M	0,6882	0,6949	0,0067		regnerisch
		S	0,3318	0,3437	0,0119	12h00	

	<u>Datum</u>	<u>Fraktion</u>	<u>Gewicht vorher</u>	<u>Gewicht nachher</u>	<u>Teilchen [mg]</u>	<u>eingewechselt</u>	<u>Wetter</u>
	<b>Samstag</b>	XL	2,1624	2,1692	0,0068		
<b>53</b>	<b>23.07.</b>	M	0,7132	0,7145	0,0013		bewölkt, windig
		S	0,3326	0,3440	0,0114		
	<b>Sonntag</b>	XL	2,0067	2,0374	0,0307		
<b>54</b>	<b>24.07.</b>	M	0,6931	0,7079	0,0148		bewölkt
		S	0,3413	0,3670	0,0257	12h15	
	<b>Montag</b>	XL	2,1206	2,1317	0,0111		
<b>55</b>	<b>25.07.</b>	M	0,7120	0,7183	0,0063		Regen
		S	0,3795	0,3859	0,0064	11h45	
	<b>Dienstag</b>	XL	2,2395	2,2509	0,0114		
<b>56</b>	<b>26.07.</b>	M	0,7895	0,7961	0,0066		Sonne
		S	0,4029	0,4141	0,0112	11h45	
	<b>Mittwoch</b>	XL	2,1225	2,1407	0,0182		
<b>57</b>	<b>27.07.</b>	M	0,7062	0,7143	0,0081		Sonne
		S	0,3721	0,3843	0,0122	12h15	
	<b>Donnerstag</b>	XL	2,0762	2,0999	0,0237		
<b>58</b>	<b>28.07.</b>	M	0,7009	0,7214	0,0205		Sonne
		S	0,3416	0,3655	0,0239	12h15	

## 8.11 Pollenflugentwicklung in Europa

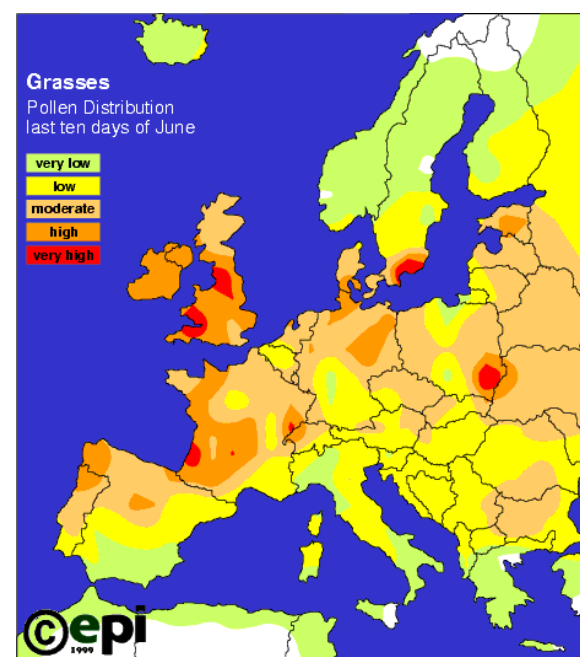
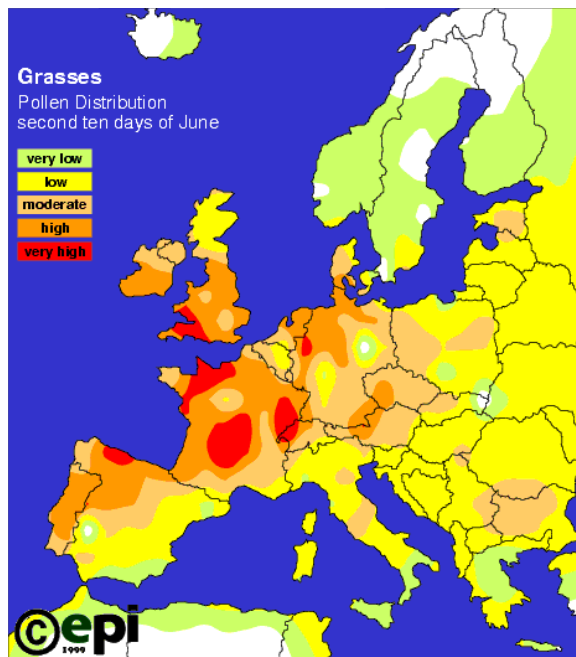
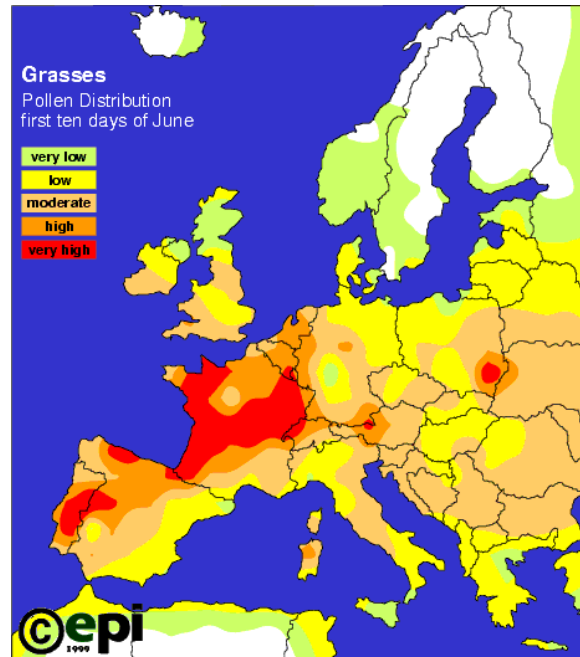
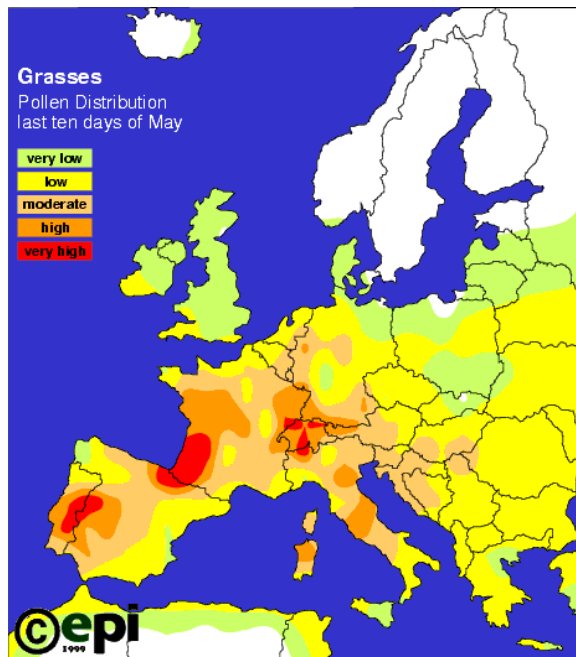
### 8.11.1 Birke

aus [www.loratyn.com](http://www.loratyn.com)<sup>1</sup>, 2005

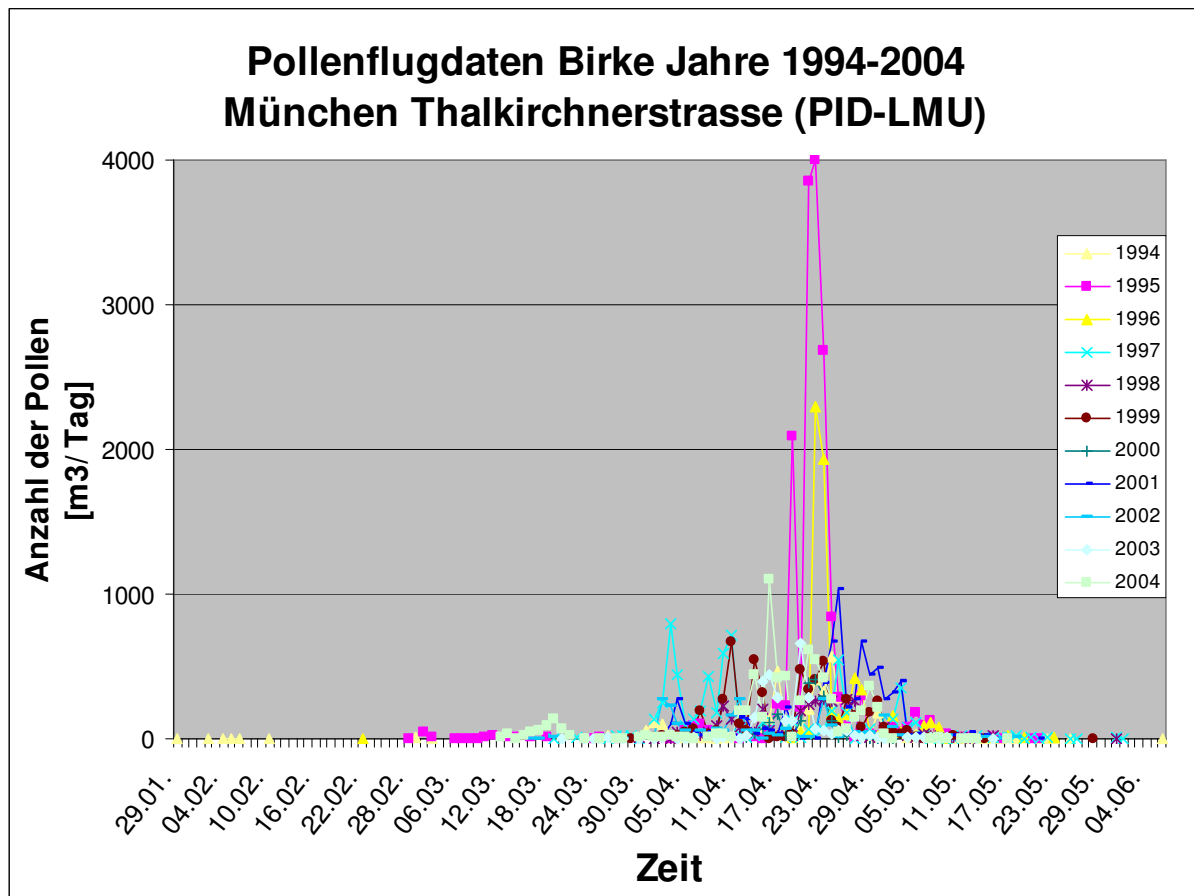


## 8.11.2 Gräser

aus [www.loratyn.com](http://www.loratyn.com)<sup>1</sup>, 2005



## 8.12 Pollenflugdaten des Pollenfluginformationsdienstes in München

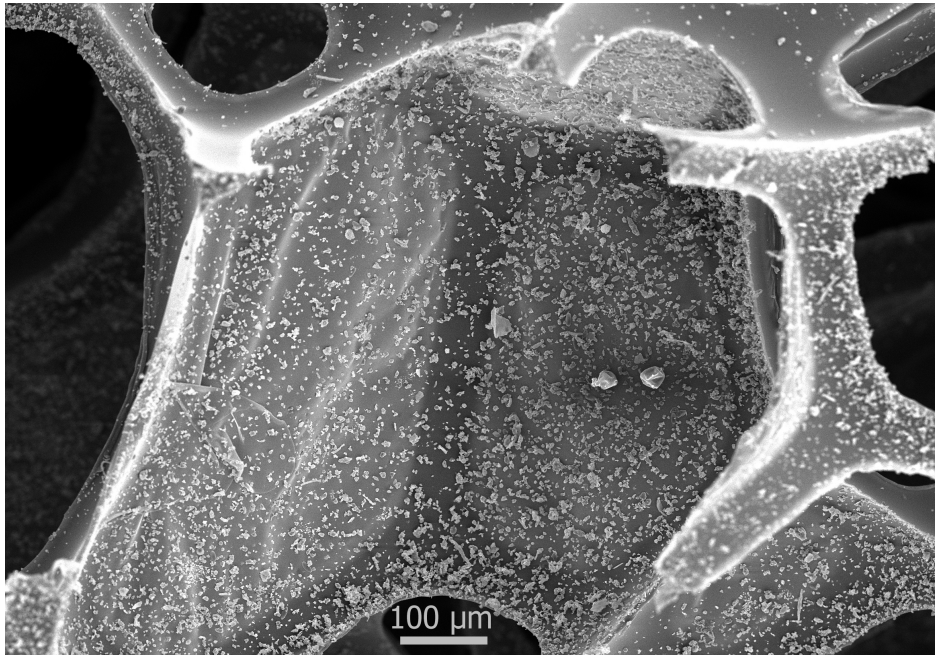


## 8.13 Ergebnisse REM-Betrachtung ausgewechselter ChemVol®-Filter

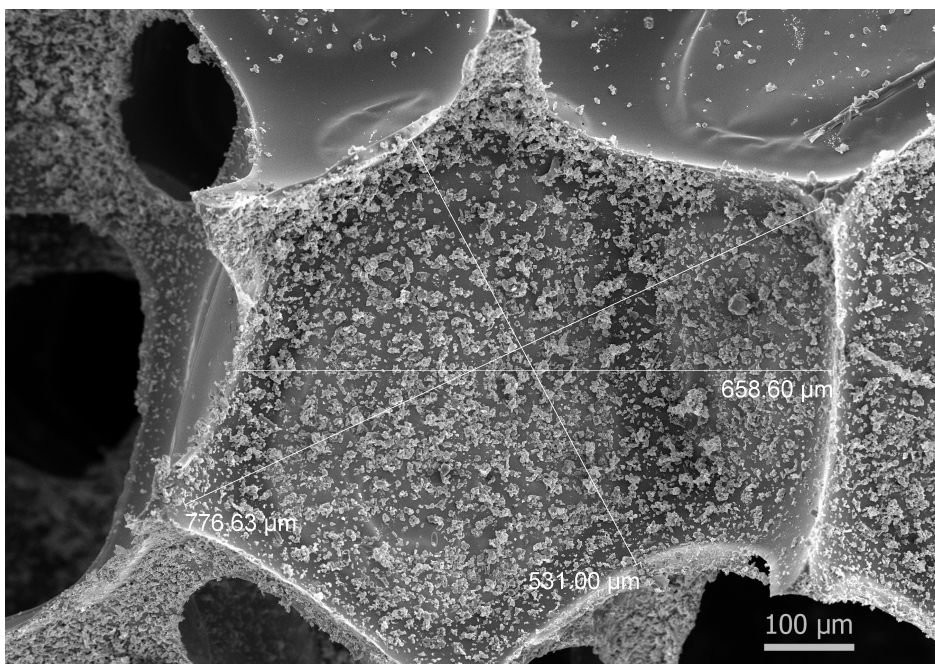
15.04.2005		Einzelwerte (pro 10 Sichtfelder)			Mittelwert	Standardabweichung	Standardabweichung[%]	Fett/nichtFett
PM 2,5	mit Fett	15	25	34	24,67	9,50	38,53	
								0,49
PM 2,5	ohne Fett	42	64	46	50,67	11,72	23,13	
23.04.2005								
PM 2,5	mit Fett	0						0,00
PM 2,5	ohne Fett	11						
16.04.2005								
PM 2,5	mit Fett	7	13	15	11,67	4,16	35,69	
								0,31
PM 2,5	ohne Fett	30	44	39	37,67	7,09	18,84	

## 8.14 Rasterelektronenmikroskopische Bilder der ausgewechselten ChemVol®-Filter

(in Zusammenarbeit mit Frau Dr. med. vet. I. Weichenmeier)

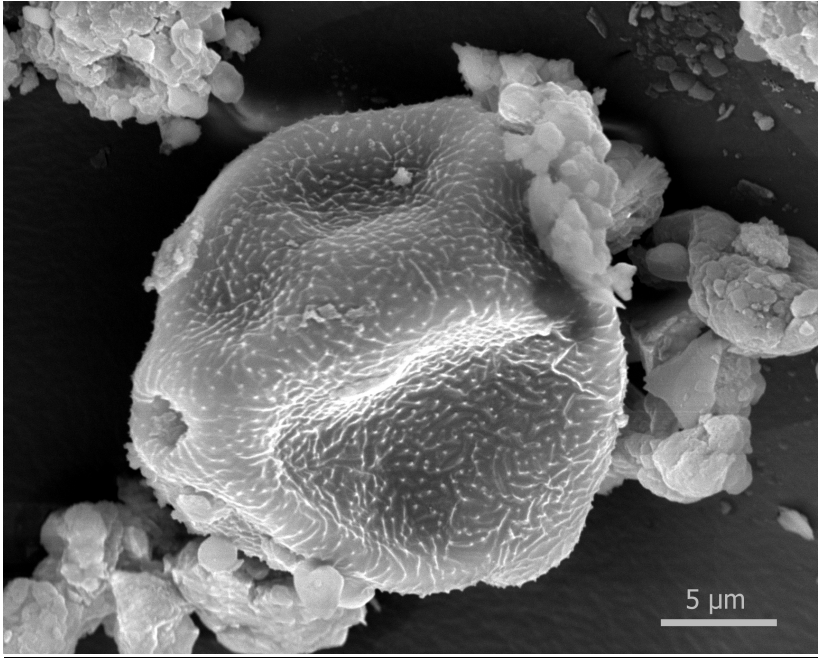
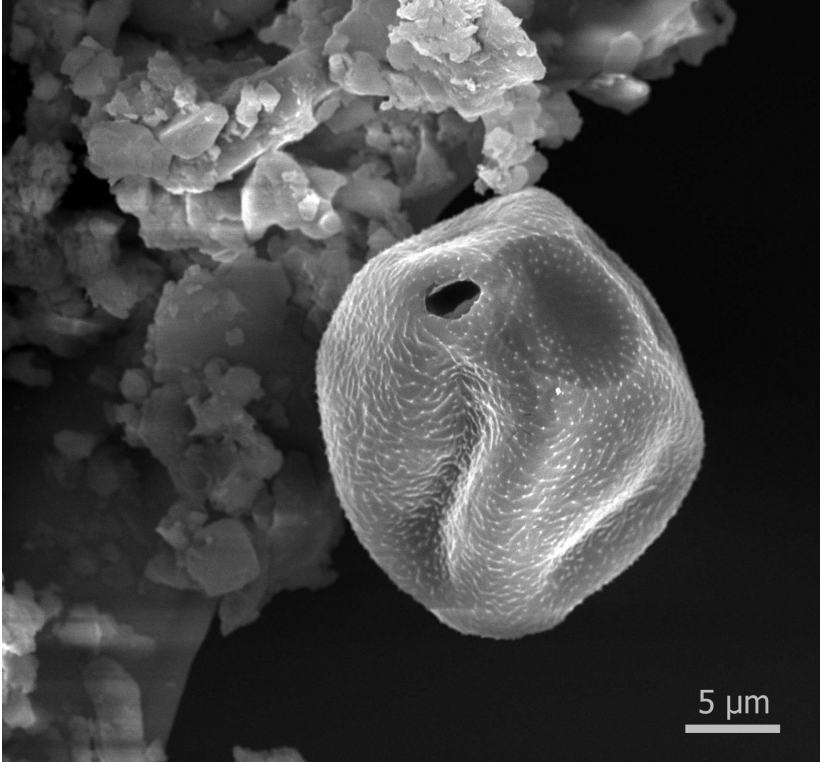


Filter der Stufe M, entnommen am 16.04.2005 (Birkensaison) aus dem Fettkopf;  
zwei Pollen sichtbar



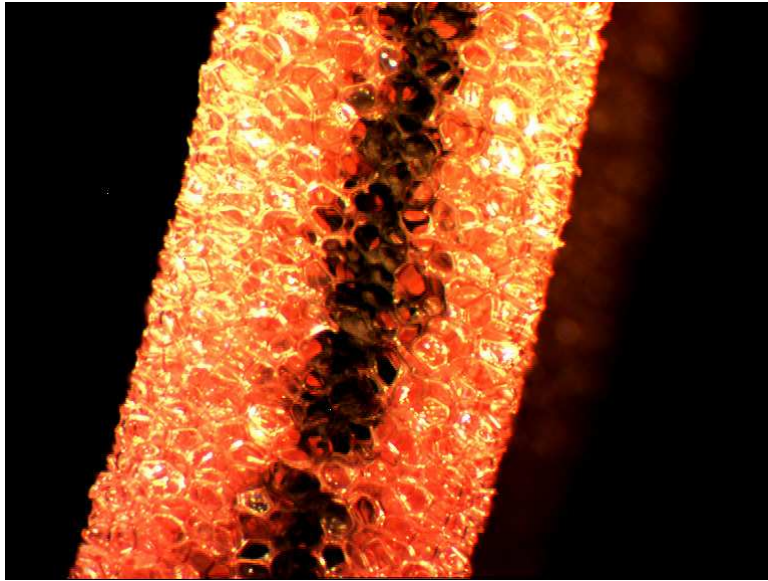
Filter der Stufe M, entnommen am 17.04.2005 (Birkensaison) aus dem Fettkopf;  
ein Pollen sichtbar



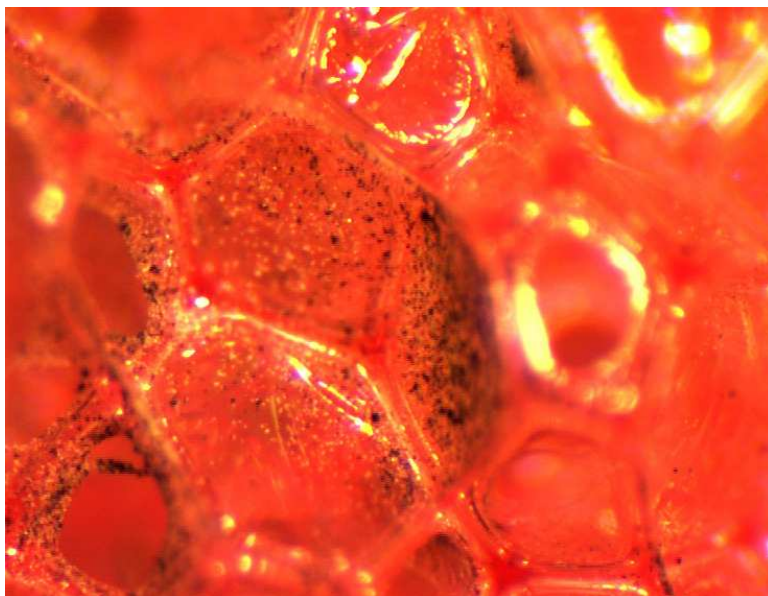


Birkenpollen mit Schmutzpartikeln der Umluft

## 8.15 Lichtmikroskopische Betrachtung der ausgewechselten Filter



Stereoauflichtmikroskopische Betrachtung eines Filters der Stufe S in 25,2-facher Vergrößerung



Stereoauflichtmikroskopische Betrachtung eines Filters der Stufe M in 160-facher Vergrößerung

## 9 Danksagung

Danken möchte ich Frau Prof. Dr. H. Behrendt, die mir die Durchführung meiner Doktorarbeit am Zentrum für Allergie und Umwelt München ermöglichte.

Insbesondere möchte ich Herrn Prof. Dr. J. Buters für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung während der Durchführung der Doktorarbeit danken.

Ganz besonderer Dank gilt Antje Wallmuth für die Perfektionierung des Versuchsaufbaus, die geduldige Vorbereitung und Auswertung der zahlreichen ELISAs, die vielen Erklärungen und die hervorragende Betreuung des kompletten Laboranteils dieser Arbeit.

Außerdem möchte ich Ingrid Weichenmeier danken, die mich in die Geheimnisse der Rasterelektronenmikroskopie einweihte.

Sie war zusammen mit Christine Weil für die Auswertung der Pollenfalle zuständig. Für die Bereitstellung der daraus entstandenen Daten und eine sehr gute Zusammenarbeit gilt Ihnen beiden mein größter Dank.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Wolfgang Kreyling und Herrn Dr. Ottmar Schmid von Helmholtz-Zentrum München (ehemals GSF), die mir in Fragen der Aerodynamik mit Rat und Tat zur Seite standen.

Danken möchte ich auch Gudrun Pusch, die mich jederzeit und bei allem unterstützte und dabei vor nichts zurück schreckte. Ihr danke ich auch für die vielen lustigen Momente, die wir mit dem ChemVol auf der Wiese verbrachten und für das fleißige Korrekturlesen meiner Doktorarbeit.

Weiterhin danke ich den Mitarbeitern des Zentrum für Allergie und Umwelt Dr. Wolfgang Schober, Steffi Lubitz, Luise Weigand, Daniela Rödl, Katrin Bitterer, Oguz Özkese und Heidi Reindl für die fleißige Teamarbeit beim Auswechseln der ChemVol-Filter sogar am Wochenende.

Außerdem danke ich Dr. Martina Thiel für die Unterstützung bei der Literaturrecherche.

Darüber hinaus danke ich allen anderen Mitarbeitern des Zentrums Allergie und Umwelt für ein schönes Arbeitsklima und eine gute Stimmung.

Danken möchte ich auch Handwerksmeister Ertl von der Dermatologischen Klinik am Biederstein und seinen Mitarbeitern, die uns bei der Planung und Umsetzung des veränderten Versuchsaufbaus immer wieder geduldig unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mir mein Studium ermöglicht hat und mir immer zur Seite stand.

Darüber hinaus danke ich meiner WG und meinen Freunden, die mich während des Studiums unterstützt und begleitet haben.

## 10 Lebenslauf

von Stefanie Ochs

geboren am 14.12.1980 in Frankfurt am Main

### 10.1 Ausbildung

- 1987-1991 Struwelpeterschule, Niederdorfelden**
- 1991-2000 Georg-Büchner-Gymnasium, Bad Vilbel**  
Abitur 2000, Durchschnittsnote 1,4
- 2000-2001 Magister-Studium der Romanistik und Psychologie an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt/ Main**
- 2001-2003 Studium der Humanmedizin (Vorklinik) an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt/ Main**  
Ärztliche Vorprüfung 2003, Note 2,33
- 2003-2008 Studium der Humanmedizin (klinischer Abschnitt) an der TU München**  
Staatsexamen Juni 2008, Note 2
- 2005-2009 Promotion am Zentrum Allergie und Umwelt, TU München**  
Thema: Allergenmessung und Allergeninteraktion in der Umluft