

Bericht Nr. 2/95

Assoziation von Pollen und  
partikulären Aerosolen  
in Linz 1991  
II. Teil

Autoren: H. Schinko  
R. Schmidt

**Herausgeber:**  
**Magistrat Linz, Amt für Umweltschutz**  
**Leiter: Mag. Dr. Walter Medinger**  
**A-4041 Linz, Hauptstraße 1-5**  
**Tel: (0732) 2393-2690**  
**Fax: (0732) 711276**

# Assoziation von Pollen und partikulären Aerosolen in Linz 1991

## H. Teil

Prim. Dr. Herwig Schinko und Univ.Prof. Dr. Roland Schmidt  
zusammen mit dem  
Amt für Umweltschutz des Magistrates Linz Mag. Dr.  
Walter Medinger und DiplIng. Wilfried Hager

### Einleitung

1992 wurde der erste Bericht über die Assoziation von Pollen und partikulären Aerosolen in Linz im Jahre 1991 vorgelegt. Mittels einer Burkard-Pollenfalle, aufgestellt auf dem Allgemeinen Krankenhaus der Stadt wurden parallel Staub- und Pollenimmission registriert. Im Untersuchungszeitraum zwischen März und September 1991 war die Staubbelastung in Linz durchschnittlich um das 1,9-fache höher als in Bad Ischl das als Vergleichsregion ohne Großindustrie am Nordrand der Alpen herangezogen wurde. Bei der quantitativen Analyse erwies sich der Staubeintrag unabhängig vom Polleneintrag. Atmosphärischer Feinstaub und Pollen von windblütigen Pflanzen stammen aus unterschiedlichen Emissionsquellen. Trotzdem bestand in knapp 60 Prozent der Zweistundenintervalle an den 11 untersuchten Tagen mit Pollenmaxima eine zufällige Koinzidenz von simultaner Staub- und Pollenimpaktion an der Meßstelle. Entsprechend wurde als erstes Belastungsmodell für den Menschen eine gleichzeitige Pollen-Feinstaubbelastung festgehalten. Diese Belastung bestand während 3/5 der Pollenflugzeit.

Daneben wurden Pollenkombinationen zum Beispiel von Erle-Hasel, Birke-Esche und Birke-Eiche als Allergenkombinationen beschrieben. Bei der qualitativen Analyse wurden Grobpartikel gefunden, die von Feinstaubpartikeln besetzt waren, unabhängig davon, ob es sich um Ruß, Kalzit oder Blütenstaubkörner handelte. Damit gibt es im urbanen bzw. industriellen Lebensraum eine zweite Belastungsform des Menschen durch Pollen und Feinstaub - nämlich Pollen mit oberflächlichem Feinstaubbeschlagn. Diese treffen zusammen die Effektororgane des Menschen. Aufgrund der Pollengröße werden vor allem der obere Atemtrakt - Nase, Rachen und Kehlkopf - als auch die Augenbindehäute von diesem biogenen-nonbiogenem Kombinat beschlagen. Partikuläre Aerosole zeigten in Tierversuchen Adjuvans/Verstärkerwirkung bei der Sensibilisierung gegenüber altgewohnten Allergenen. In japanischen Studien war in Abhängigkeit von Verkehrsnähe und -intensität die Zedernpollenallergie häufiger zu finden.

Die Burkard-Pollenfalle simuliert mit ihrem Luftdurchsatz von 12 Litern/Minute einen gering körperlich aktiven Erwachsenen im Außenraum. An ihr wurde atmosphärischer Feinstaub mit einem mittleren Durchmesser zwischen 6 und 10 Mikrometer und einem Bereich von 1 bis 80 um impaktiert. Der Schwebstaub enthält damit Fraktionen, die sich bei einem aerodynamischen Durchmesser (adD) > 10 um an den oberen und bei einem adD < 10 um an den Luftwegen unterhalb der Stimmbänder niederschlagen. Die Burkard-Pollenfalle erwies sich damit durch Bestimmung des gesamten Teilchenspektrums humanpathologisch brauchbarer als die Bestimmung der PM<sub>10</sub>-Fraktion, der "atemgängigen Teilchenfraktion", die nur für die tieferen Atemabschnitte repräsentativ ist. Großteilchen und Pollen impaktieren vorrangig an den oberen Luftwegen.

Das Pollenasthma, die allergische Entzündung der Bronchien, kann nach dieser aerodynamischen Konzeption nicht durch Pollen selbst verursacht sein. Das "Pollenparadoxon" des allergischen Bronchialasthmas kann nur durch Existenz kleinerer Allergenfraktionen im Größenbereich unter 10 um gelöst werden. Dazu bedarf es aber der Bestätigung der Hypothese einer Allergenfreisetzung aus den 10 bis 100 um großen Blütenstaubkörnern bzw. entsprechender Liberationsmechanismen.

In Ballungsräumen sind die Sensibilisierungsraten gegenüber Gräser- und Birkenpollen auch in Österreich erhöht. Es wurden daher eingehender Zusammenhänge zwischen Pollen frühblühender Bäume bzw. Gräser/Getreidearten und atmosphärischem Feinstaub untersucht sowie Umwelteinwirkungen auf diese Pollen semiquantitativ und qualitativ studiert und in drei Teilpublikationen aufgearbeitet. Sie sind im Anhang beigefügt. Diese Arbeiten wurden durch Detailinformationen ergänzt und erweitert.

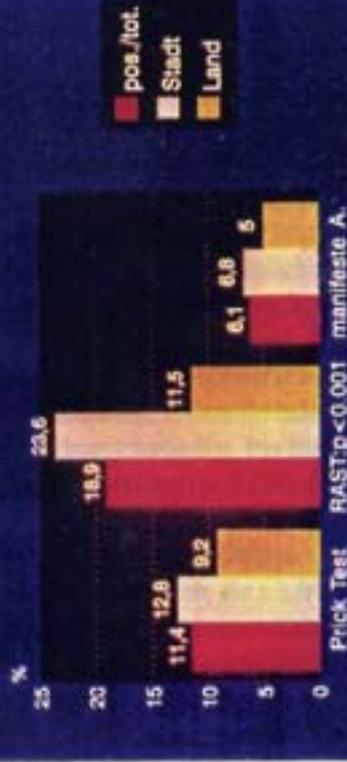
Bei der qualitativen Staubanalyse mittels Röntgendiffraktion und Rasterelektronenmikroskopie wurden in der Vorarbeit Quarz, Silikate bzw. silikatische Asche, Kalzitkörner, Gipskristalle, Tonminerale, NaCl-Salzkristalle, Eisensphäroide, sphärische karbonische Partikel und amorphe Rußpartikel gefunden. Der Feinstaubbesatz von Pollen wurde dabei nicht näher analysiert. Die Analyse der Oberflächenveränderungen und Oberflächenfracht von Pollen sollte im gegenständlichen zweiten Untersuchungsteil erfolgen.

Der urbane Lebensraum birgt eine komplexe Luftbelastung für den Menschen, aber auch seine pflanzliche Umwelt. Die pollenproduzierenden Pflanzen unterliegen ähnlichen Einflüssen wie der Mensch selbst - Industrie- und Verkehrsnoxen, aber auch sekundären Reaktionsprodukten wie Ozon. Zur biogenen jahreszeitlichen Belastung des Menschen - vor allem durch Pollen windblütiger Pflanzen, kommen jene aus Industrie und Gewerbe, Verkehr und Raumheizung. Die Belastung des Immunsystems und der Atemwege ist komplex und wird durch direkte und indirekte Rückwirkungen anthropogener Emissionen zurück auf den Menschen gesteigert. Am Ende dieser Arbeit wird daher das gegenwärtig abschätzbare Risiko von Luftbelastungen zusammenfassend als Szenario von Schadstoffrückwirkungen über Luft, Boden, Wasser, Pflanzen, Pollen und Pollenallergenen zurück auf den Menschen dargestellt. Die Rückkopplungen gleichen dabei einem Feedback-Mechanismus, den man metaphorisch als "anthropogenen Umweltbumerang" umschreiben könnte.

Pollen erweisen sich dabei selbst als Zielzellen für Umwelteinflüsse und damit als biologische Umweltindikatoren. Sie gewinnen in der Literatur zunehmend an Stellenwert bei der Analyse von Umweltveränderungen. Es stellt sich mehr und mehr heraus, daß die Alteration der Pollen und ihrer allergenen Komponenten aber auch humanpathologische Folgen und Bedeutung haben. Andererseits wird dem atmosphärischen Feinstaub zunehmende Aufmerksamkeit geschenkt, da er zumindest ähnliche atemfunktionelle und immunologische Bedeutung haben könnte wie die gasförmigen, sauren und volatilen Luftschadstoffe. Ähnlich wie bei diesen scheint es bei den partikulären Aerosolen keine sicheren biologischen Schwellen oder Schwellwerte und unterschiedliche individuelle Empfindlichkeiten zu geben. Informationen über Industrieregionen mit Stahlwerken weisen zudem auf deren spezifische Einflüsse hin, wobei andererseits die Bedeutung von Komponenten wie des aerogenen Eisens für den Menschen oder beispielsweise die Ozonentstehung noch nicht geklärt ist.

Die Luft ist ein komplexes Gemisch aus natürlichen und anthropogenen Gasen, feuchten und festen Aerosolen. Die Aerosolpartikel mit einer Größe zwischen 1 nm und 100 um (LIEBACK 1985 und LODGE et al. 1981) sind dabei statistisch, aber inhomogen in der Atmosphäre dispergiert. Grobpartikel ("coarse mode") haben einen aerodynamischen Durchmesser ( $a_D$ )

## GRÄSERPOLLENSENSIBILISIERUNG UND ALLERGIE BEI KINDERN



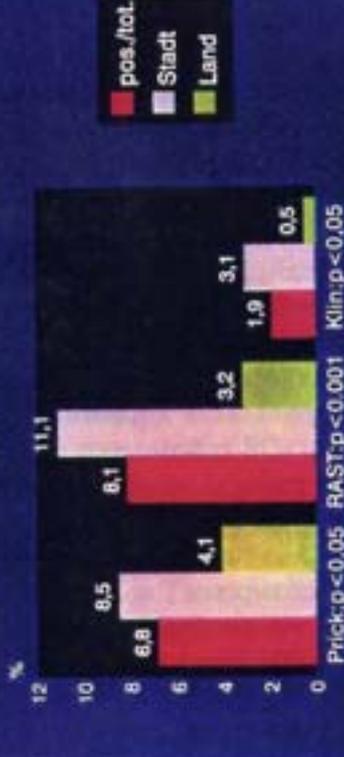
Popp et al., GESUNDE LUNGE

Abbildung 1 - Gräserpollensensibilisierung und Allergie bei Kindern in Österreich

Popp et al.: GESUNDE LUNGE

In der Stadt fand sich bei der manifesten Gräserallergie und im Haut-Allergietest (Prick-Test) gegen Gräserallergene ein nachteiliger Trend für Stadtkinder. Beim Nachweis von spezifischen Gräserallergen-Antikörpern (Gräser-Immunglobuline E = spezifische Gräser-IgE, RAST) im Blut fand sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Kindern in der Stadt und auf dem Land. Erhöhte Gräser-IgE-Antikörper als Ausdruck einer höheren Gräserallergierate bzw. häufigeren Sensibilisierung gegenüber Graspollensubstanzen wurden auffällig häufiger im städtischen als im ländlichen Raum vorgefunden.

## BIRKENPOLLENSENSIBILISIERUNG UND ALLERGIE BEI KINDERN



Popp et al., GESUNDE LUNGE

Abbildung 2 - Birkenpollensensibilisierung und Allergie bei Kindern in Österreich

Popp et al.: GESUNDE LUNGE

Ähnlich wie bei den Gräserallergien fand sich auch bei den Birkenpollen und Birkenallergenen ein Stadt-Landgefälle. Dabei wurden in Prozent Häufigkeit nicht nur statistisch signifikant erhöhte IgE-Werte (RAST; Birkenantikörper), sondern auch häufiger Krankheitsmanifestationen an Birkenallergien und positive Hauttests (Prick-Test) auf Birkenallergene gefunden.

von  $> 2\mu\text{m}$  (LODGE et al. 1981) und eine differenzierte humanpathologische Bedeutung je nach  $aD$  zwischen  $1-10$  oder  $>10\mu\text{m}$ . Die Grobpartikelfraktion enthält neben geogenen und anthropogenen Luftzusätzen aus Verkehr, Industrie und Energiewirtschaft in saisonaler Abhängigkeit auch Pollen und andere Pflanzenbestandteile/produkte. Feinpartikel werden die Teilchen mit einem  $aD < 1-2\mu\text{m}$  bezeichnet, nach anderer Nomenklatur aber als Ultrafeinstaub bezeichnet. Im physiologischen Sinne wird Feinstaub als die Staubfraktion mit Teilchendurchmesser zwischen  $1$  und  $10$  Mikrometer aufgefaßt. Sie ist für die Staubbelastung der Luftröhre und Bronchien bis hinunter zu den kleinsten Lufträumen, den Alveolen der Lunge, bedeutsam. Der Ultrafeinstaub umfaßt die Fraktion des "nucleation mode" (NM) ( $aD < 0,08\mu\text{m}$ ) und des "accumulation mode" (AM) ( $aD 0,08$  bis  $2\mu\text{m}$ ). Dem NM gehören die Sekundärpartikel der Luft als Reaktions- und Kondensationsprodukte (z.B.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  und  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  oder  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  und  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) gasförmiger Substanzen (z.B. des Ammoniak  $\text{NH}_3$  und des vorrangig aus der Verbrennung stammenden  $\text{SO}_2$  und ihrer Folgeprodukte  $\text{H}_2\text{SO}_3$  und  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) an. Im Linzer Untersuchungsraum, einem in seiner Luftsituation speziellen österreichischen Industriegebiet, trägt die chemische Industrie mit ihrem  $\text{NH}_3$ -Ausstoß wesentlich zur angesprochenen Schwefelsäureneutralisation bei. Ultrafeinstaub des AM (z.B. Titanoxid als Arbeitsplatz-Schadstoff) erwies sich in Tierexperimenten als toxisch für das Lungenparenchym. Bei den gegenständlichen Untersuchungen mit der BURKARD-Pollenfalle können aber nur atmosphärische Staubpartikel zwischen  $1$  und  $100\mu\text{m}$  Durchmesser, damit nur das ganze Spektrum der TSP (total suspended particles) bzw. SPM (suspended particulate matter) erfaßt werden. Die submikronische Staubfraktion ( $< 1\mu\text{m}$ ), einschließlich AM und NM, kann licht- und elektronenmikroskopisch nicht weiter differenziert werden. Unter Verwendung der Röntgenmikroanalyse lassen sich qualitativ anorganische Staubkomponenten praktisch nur der TSP detektieren. Damit können parallel zu Pollen eingetragene anorganische Stäube terrestrischen, maritimen oder industriell-zivilisatorischen Ursprungs in einem Größenbereich nachgewiesen werden, wie sie menschenpathogene Bedeutung haben. Die Pollenallergene werden hypothetisch in Staubfraktionen mit  $aD$  unter  $3-5\mu\text{m}$  erwartet. Sie entzogen sich aber methodenbedingt leider der Analyse in den gegenständlichen Untersuchungen.

Die unterschiedlichen Teilchengrößen der biogenen Krankheitsauslöser/noxen und die dadurch bedingten unterschiedlichen Hauptmanifestationsorte bei der Pollinose (Pollenniederschlag in den oberen Atemwegen; Typ-I-Allergie) und der exogen-allergischen Alveolitis (Sporen und Bakteriendeposition in den tiefen Atemabschnitten; vornehmlich Typ IQ-Allergie) lassen differenzierende physikalische bzw. aerodynamische Einflüsse auch bei den Allergenen und den Allergenträgern erkennen.

Betrachtet man biogene und nichtbiogene partikuläre Aerosole hinsichtlich ihrer Größe, ist festzuhalten, daß der Grobstaub mit einem  $aD > 10\mu\text{m}$  gegenwärtig vernachlässigt wird. Es können nicht nur ganze Pollen (mit durchschnittlichen Durchmessern zwischen  $20$  und  $30\mu\text{m}$ ) auf Augenbindehäute oder Nasenschleimhäute auftreffen, wo dann Allergene binnen kurzer Zeit ausgewaschen werden, sondern in Augen und Nase wird auch die heute bei der Luftgütemessung oft vernachlässigte atmosphärische Partikelfraktion über  $10\mu\text{m}$  impaktiert. Für die oberen Atemwege oberhalb der Stimmbänder ist diese Fraktion hypothetisch solange von Belang, zumindest untersuchungswürdig, bis ihre biologische Unwirksamkeit erwiesen ist. Grobpartikel sind aufgrund unserer früheren REM-EDX Untersuchungen chemisch nicht nur als Einzelsubstanz, sondern auch als Carrier für andere Feinstaubteilchen aufzufassen. Anthropogene organische chemische Verbindungen können bis zu einem Drittel der Luftaerosole betragen. Hypothetisch haften sie nicht nur an Pollen- oder Feinstauboberflächen, sondern verändern auch diese. Mit der angewandten Untersuchungsmethodik ließen sich nichtpartikuläre Luftbeimengungen jedoch nicht erfassen, obwohl sie zum Teil für die Oberflächenveränderungen der Blütenstaubkörner verantwortlich gehalten werden.

## Methodik

Auf die Darstellung der Untersuchungsanlage und angewandten Methoden, beschrieben im ersten Teil des Untersuchungsberichtes, wird verwiesen.

In Ergänzung zur Studie über die "Assoziation von Luftallergenen und partikulären Aerosolen in Linz 1991" wurde der Frage nach der qualitativen und quantitativen Partikelfracht allergologisch relevanter Pollen im Raum Linz nachgegangen. Dabei muß auf die zwischenzeitlich notwendig gewordene präzisere Unterscheidung zwischen Pollen und Pollenallergenen (Luftallergenen) hingewiesen werden. Pollen werden nunmehr nicht mehr als "Luftallergene", sondern als Allergen-Carrier aufgefaßt, die in und auf ihrer Oberfläche allergenes Material tragen.

Um einen direkten Bezug zur in der Vorstudie densitometrisch ermittelten Staub-Pollen-Ratio (SPR) zu haben, wurde derselbe mit Vaseline beschichtete und in Gelvatol eingebettete Melinexstreifen der Burkardfalle des Jahres 1991 verwendet. Diese Sieben-Tage-Pollenfalle ist in 15 m Höhe auf dem Allgemeinen öffentlichen Krankenhaus Linz montiert, entsprechend einer absoluten Seehöhe von etwa 275 m üdM. Quantitativ wurden jeweils 10 Pollenkörner folgender Pflanzenarten in bezeichnetem Zeitfenster auf ihre Partikelfracht im Lichtmikroskop untersucht:

a) Erle (Alnus)	am 16.3.1991	0800-1000 <sup>h</sup>
b) Birke (Betula)	5.4.1991	0800-1000 <sup>h</sup>
c) Esche (Fraxinus)	5.4.1991	1200-1400 <sup>h</sup>
d) Gräser (Poaceae) (Gramineae)	7.6.1991	1200-1400 <sup>h</sup>

Dafür wurde dasselbe Bildanalysesystem (LUCIA) wie für die Staubpartikelvermessung der oben erwähnten Studie verwendet. Die Angabe der Prozent Partikelfracht erfolgte als Prozent Pollenoberflächenbesatz pro sichtbarer Fläche Blütenstaubkorn. Einschränkungen ergeben sich, wie schon erwähnt, aus der subjektiven Schwellwertsetzung für die Umwandlung in ein Binärbild, aus der subjektiven Fokussierung (Möglichkeit der Erfassung von Partikeln, die nicht direkt der Pollenoberfläche angelagert sind) und daß nur eine Pollenhemisphäre des räumlichen Pollenkorns erfaßt ist. Um einen Bezug zur gleichzeitig gemessenen Staubbelastung der Luft herzustellen, wurde der Pollen-Partikelfrachtwert (Mittelwert und 2 Standardabweichungen aus den je 10 Einzeldaten) der 4 Beobachtungstage der mittleren Lichtextinktion der untersuchten 2-Stundenintervalle gegenübergestellt.

Zur qualitativen Elementaranalyse wurde die Partikelfracht der Pollenkörner im Rasterelektronenmikroskop (REM; JEOL JSM 35) und mit einem mit diesem gekoppelten energiedispersen Röntgenanalysengerät (EDX; HNU X-ray System 5000) untersucht und die Analysendaten geplottet. Die Analyse beschränkte sich dabei nicht nur auf die bezeichneten Pollenarten, sondern wurde auch auf andere weniger allergene Pollenkörner ausgedehnt. Methodenbedingt wurde vor allem die anorganische Staubfracht der Blütenstaubkörner beschrieben. Sie wird der Zusammensetzung des pollenfreien atmosphärischen Schwebstaubs wie auch früheren Immissionsdaten von Linz gegenübergestellt. Ein Vergleich mit einer Industrieregion Deutschlands (Duisburg und Düsseldorf) wird angestellt.

Integrität, Oberflächenveränderungen und Oberflächenfracht von Pollenkörnern werden auf REM-Aufnahmen nach Pflanzen geordnet dargestellt. Eisensphäroide wurden gesondert dargestellt wegen der Besonderheit ihres Vorkommens in Hüttennähe.

**Tabelle 1 - WINDBLUTIGE BLUTENPOLLEN - Monatssummen 1991**  
**LINZ versus GMUNDNERBERG (Gmdbg) für**  
**relevante Blütenstaubarten (einzeln\* und gesamt)**

\*Liste der Windblüter inkomplett

PFLANZE	Feber	März	Anril	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Total
	LINZ								
	Gmdbg								
ALNUS	12	3167	37	21	7	1			3245
Erle	9	3162	16	16	85	8			3296
BETULA	—	163	3923	390	16	3	—	—	4495
Birke		1	6068	588	17	2			6676
CORYLUS	2	654	23	2	—	—	—	—	679
Hasel	1	672	22						697
CYPERACEAE -		2	4	5	6	2	1	—	17
Ried/Sauer-	—	2	12	2	28				47
Gräser									
FAGUS	—	—	585	431	54	2	—	—	1070
Buche			209	793	142				1146
FRAXINUS	—	43	1622	55	3	—	—	—	1723
Esche		16	5745	58	2				5821
PLANTAG	—	—	2	50	39	129	12	14	246
O			10	84	172	208	24	4	502
POACEAE	—	1	13	213	524	1038	60	5	1854
Süßgräser			2	147	1247	1429	212	8	3037
QUERCUS	—	—	128	1868	44	1	—	—	2040
Eiche			15	434	116				566
RUMEX	—		20	151	62	21	1	—	255
Ampfer		1	5	94	184	44	2		330
SECALE	—	—	—	3	35	23	—	—	61
Getreide				3	49	37			89
POLLENtotal	14	5128	7456	4840	2117	2071	448	74	22148
pro Monat	12	4291	12852	4422	3527	3055	773	34	28966

Zum Verständnis der Pollengesamtsituation wird in Tabelle 1 die Pollenimmission in Linz und auf dem Gmundnerberg am Alpennordrand nach Pflanzen und Monatssummen detailliert. Der Gesamtpolleneintrag im Jahre 1991 der beiden Regionen wird gegenübergestellt, da die Pollenbelastung die Entwicklung von Pollinosen ("Pollenallergien") mitbestimmt.

Die Befunde und ihre Bedeutung wurden in einzelnen Schritten analysiert. Sie waren Anlaß, den Aspektwandel in der Aeroallergologie bzw. Allergotoxikologie anhand der Untersuchungsdaten darzustellen und ein "Szenario der allergologisch und immunologisch bedeutsamen anthropogenen Schadstoffeffekte" zu entwerfen. Siehe beigeschlossene Arbeiten.

## Ergebnisse

### 1. QUANTITATIVE ANALYSE

#### Oberflächenfracht der Pollenkörner

Nachstehende Tabelle gibt die Einzelwerte der Partikelfracht der Hemisphärenfläche der Pollen in Prozent wider:

Pollenkorn	ERLE 16.3.91	BIRKE 5.4.91	ESCHE 5.4.91	GRASER 7.6.91
1	2,95 %	1,45 %	1,47 %	2,67 %
2	3,13 %	2,09 %	3,13 %	6,22 %
3	4,76 %	0,98 %	1,05 %	4,31 %
4	2,17 %	0,82 %	1,00 %	11,84 %
5	1,02 %	1,13 %	1,11 %	2,97 %
6	1,32 %	0,52 %	2,92 %	7,77 %
7	8,28 %	1,42 %	0,76 %	6,83 %
8	11,25 %	0,66 %	2,43 %	1,58 %
9	0,98 %	0,86 %	0,74 %	22,83 %
10	0,67 %	2,81 %	1,02 %	23,25 %
Mittelwert	3,65 %	1,27 %	1,56 %	9,03 %
2 SD	3,52 %	0,71 %	0,91 %	7,96 %
SE	1,11 %	0,22 %	0,29 %	2,52 %
Median	2,65 %	1,05 %	1,08 %	6,63 %
<b>Lichtextinktion</b>				
2-Std-Mittel	45,0%	5,7%	11,75%	11,58%

**Tabelle 2 - Partikelfracht als Oberflächenbesatz der Hemisphärenfläche von Pollenkörnern in Prozent**

Grafik 1 stellt dabei den Staubbefugnis der Pollenkörner der Lichtextinktion gegenüber. Am 7.6.1991 zwischen 1200 und 1400 Uhr fand sich bei einer mittleren Lichtextinktion von 11,6

Prozent als Ausdruck einer relativ niedrigen Staubimmission eine überdurchschnittlich hohe Staubfracht auf den Gräserpollen. Der relativ hohe Staubbesatz bei der herrschenden Staubimmission lag über jener der anderen untersuchten Blütenstaubkörner von Birke, Erle und Esche, was bei der glatten Oberfläche der Gräserpollen verwundert. Dieser Befund ist auffällig, könnte jedoch bei der geringen Anzahl untersuchter Blütenstaubkörner pro Pollenspezies von einer Auswahlbias beeinflusst sein. Sollte sich in weiteren Untersuchungen jedoch die Tendenz der Gräserpollen zur Staubadsorption bestätigen, ließe sich bei der überproportionalen Staub-Pollenassoziation eine weitere Möglichkeit für die höhere Gräserpollensensibilisierung in Ballungsräumen diskutieren.

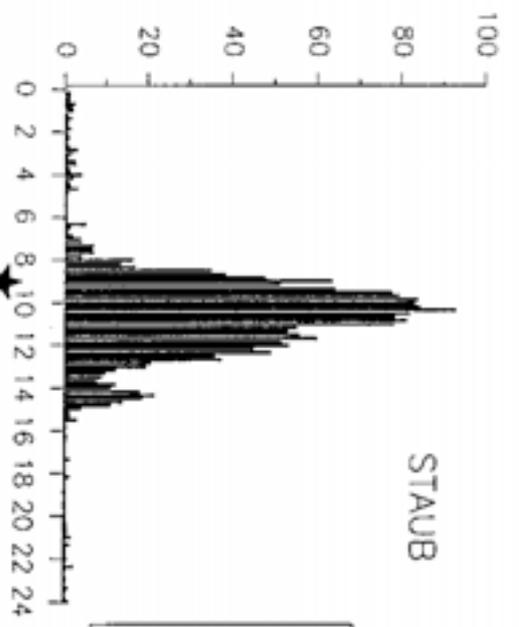
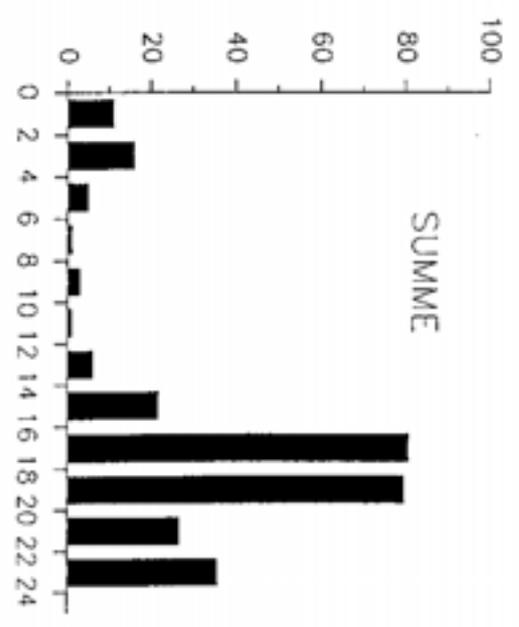
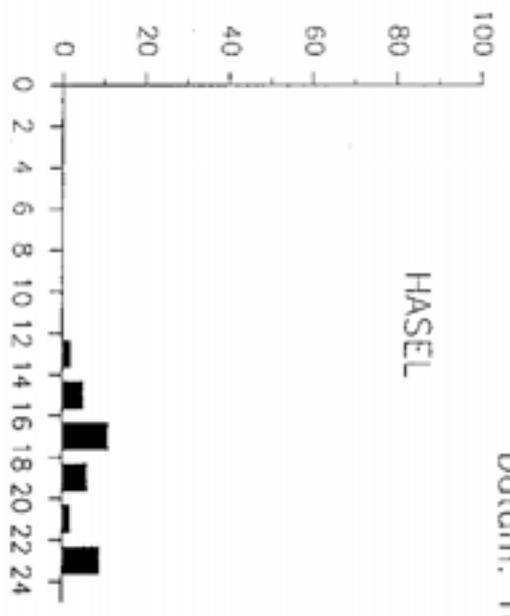
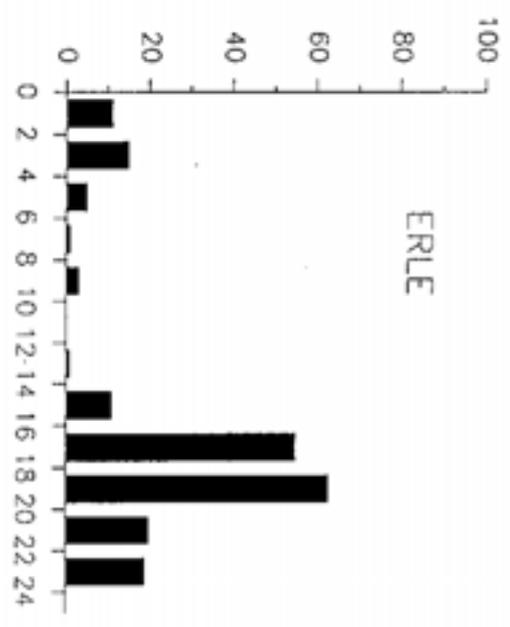
Auf den Abbildungen 3 bis 5 sind der Polleneintrag in Pollen/m<sup>3</sup> Luft und die Staubextinktion in Prozent Lichtextinktion pro 10-Minuten-Intervall am 16.3., 5.4 und 7.6.1991 dargestellt. Mit einem Sternchen (\*) markiert sind die 2-Stunden-Intervalle, die zur Pollen-Staubfracht-Bestimmung herangezogen wurden.

In den Abbildungen 6 bis 13 sind die zugehörigen lichtmikroskopischen Aufnahmen von je 10 ausgewerteten Pollen von Erle (Alnus), Birke (Betula), Esche (Fraxinus) und von getreide/gräserartigen Pflanzen (Gramineae und Poaceae) beigefügt:

	<u>Pflanzentart</u>	<u>Tas</u>	<u>Sammelperiode</u>
	je 10 Pollen/Spezies		
Abbildung 6	- Alnus (Erle)	16.3.1991	08-10Uhr
Abbildung 7	- Alnus (Erle)	16.3.1991	08-10Uhr
Abbildung 8	- Betula (Birke)	5.4.1991	08-10Uhr
Abbildung 9	- Betula (Birke)	5.4.1991	08-10Uhr
Abbildung 10	- Fraxinus (Esche)	5.4.1991	12-14Uhr
Abbildung 11	- Fraxinus (Esche)	5.4.1991	12-14Uhr
Abbildung 12	- Gramineae/Poaceae (Gräser)	7.6.1991	12-14Uhr
Abbildung 13	- Gramineae/Poaceae (Gräser)	7.6.1991	12-14Uhr

Datum: 16.3.

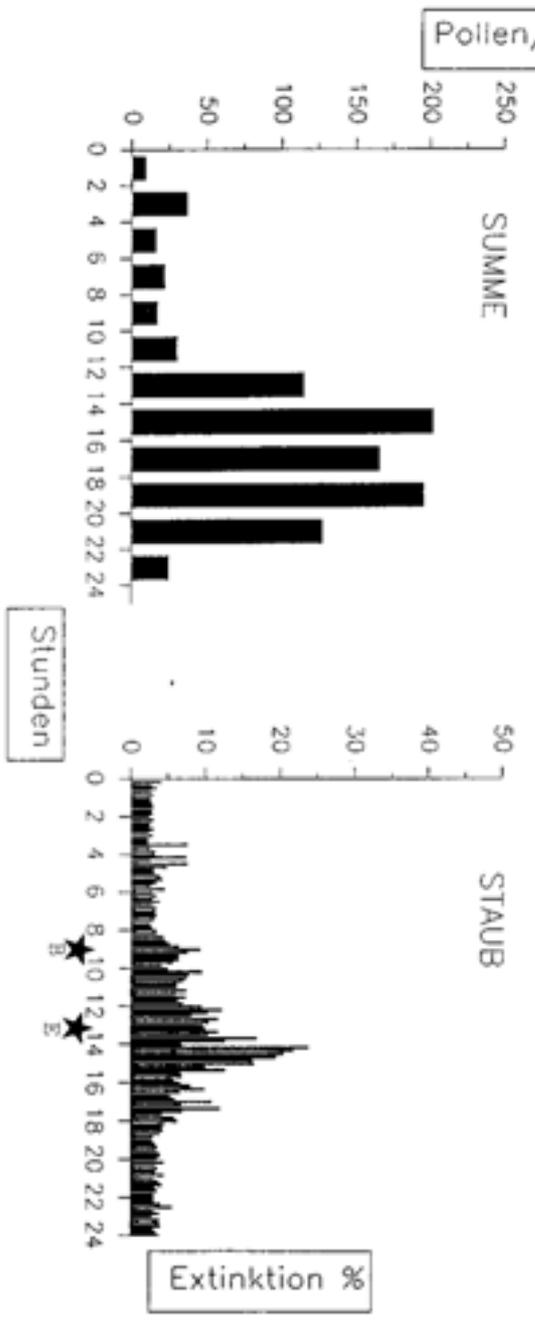
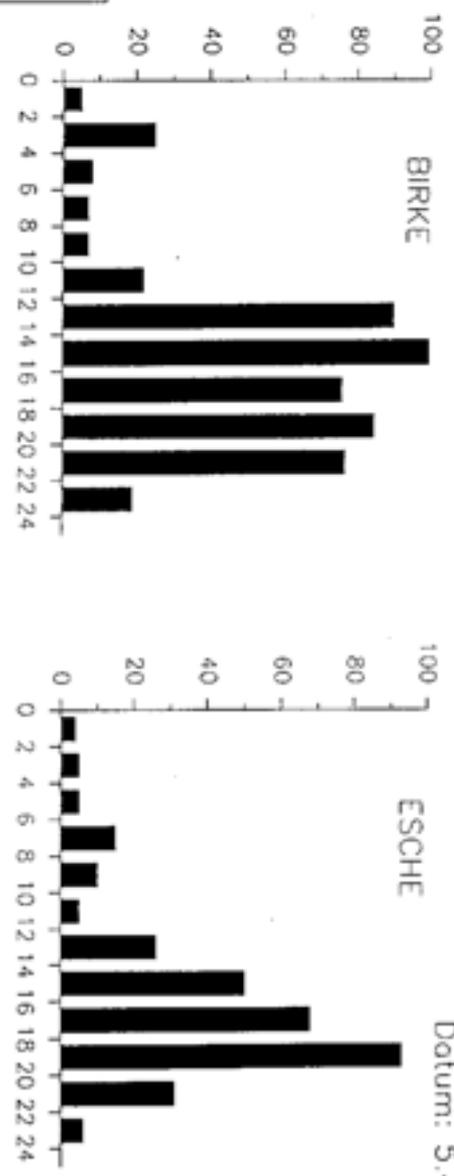
Pollen/m<sup>3</sup> Luft



Extinktion %

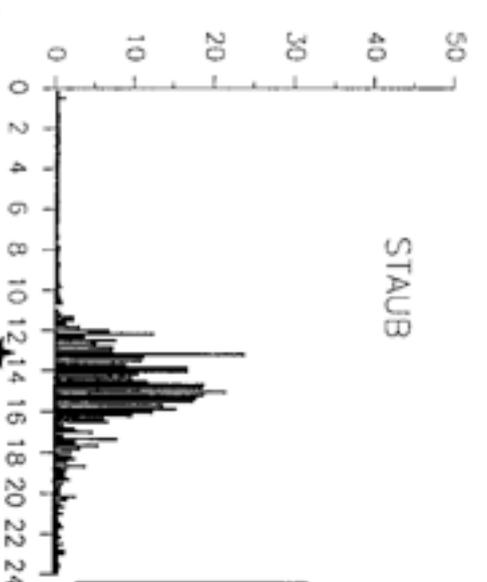
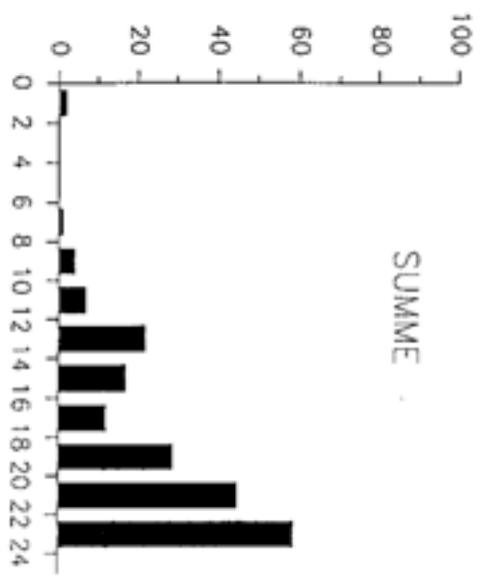
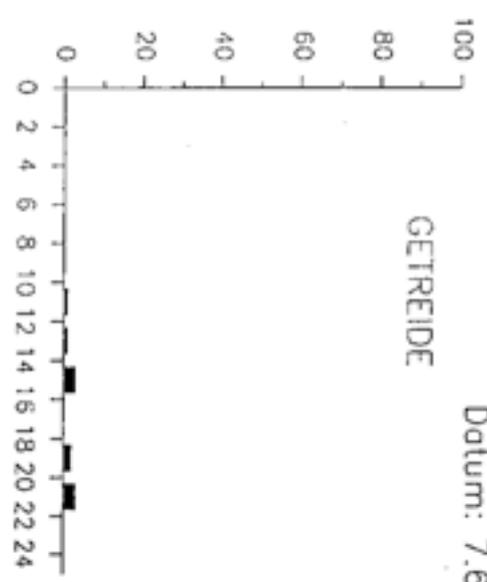
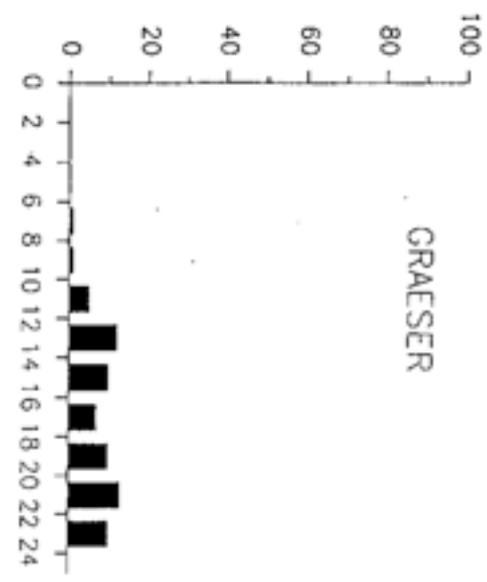
Stunden

Datum: 5.4.



Datum: 7.6.

Pollen/m<sup>3</sup> Luft



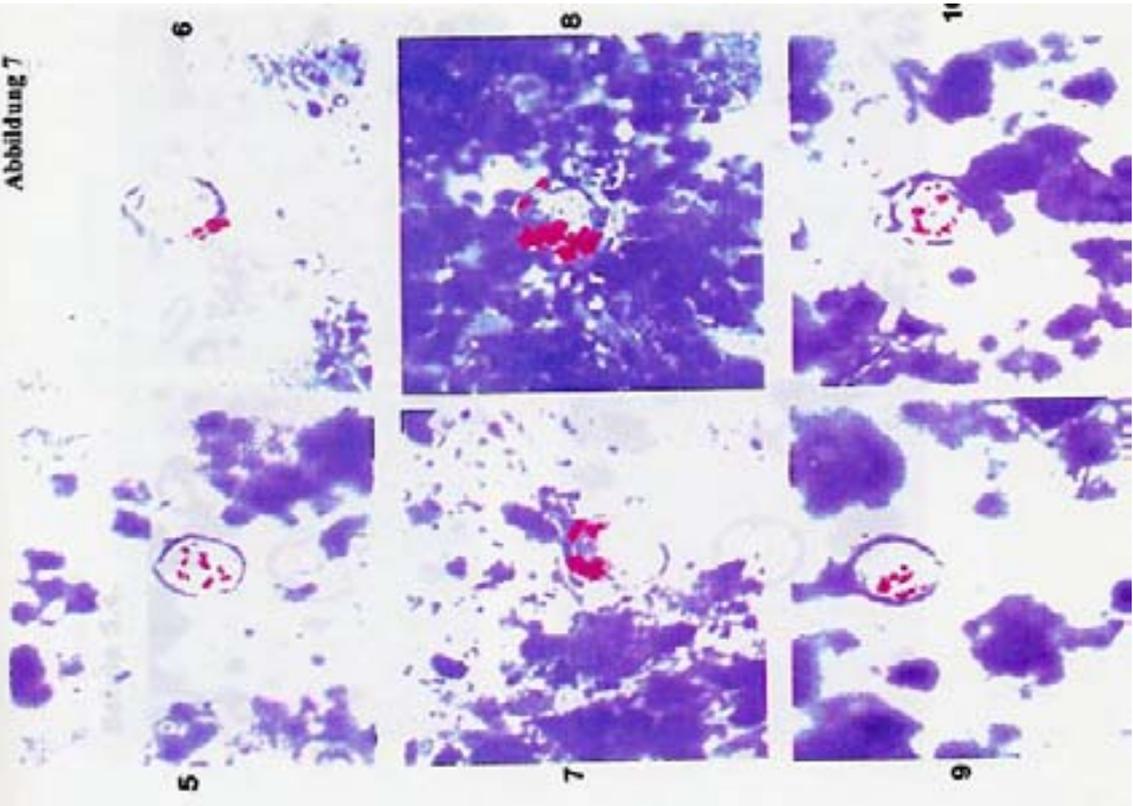
Extinktion %

Stunden

Alnus 16.3.

15

Abbildung 7



14

Abbildung 6

Alnus 16.3.

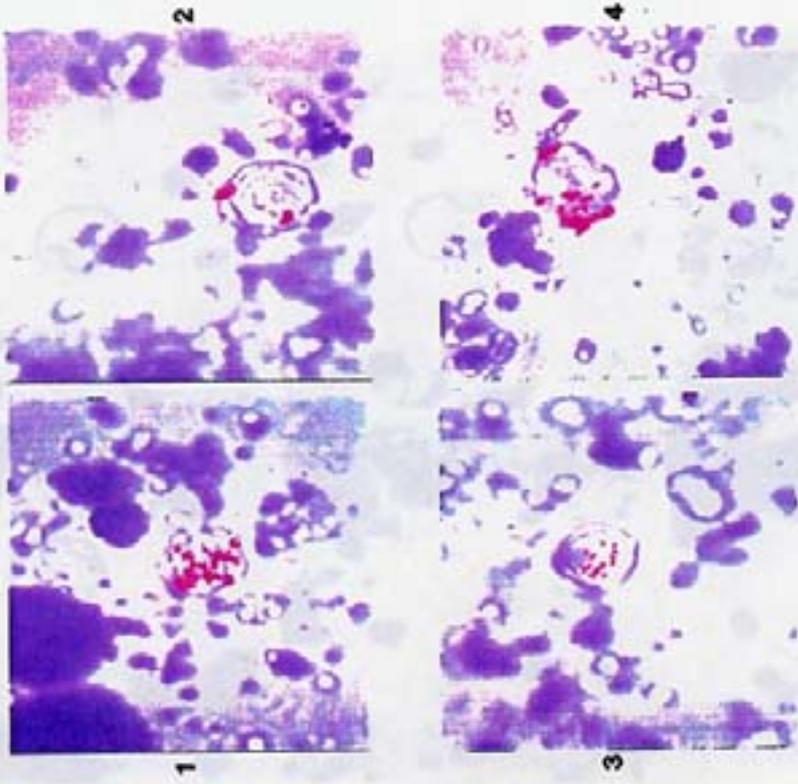


Abbildung 9

Betula 5.4.

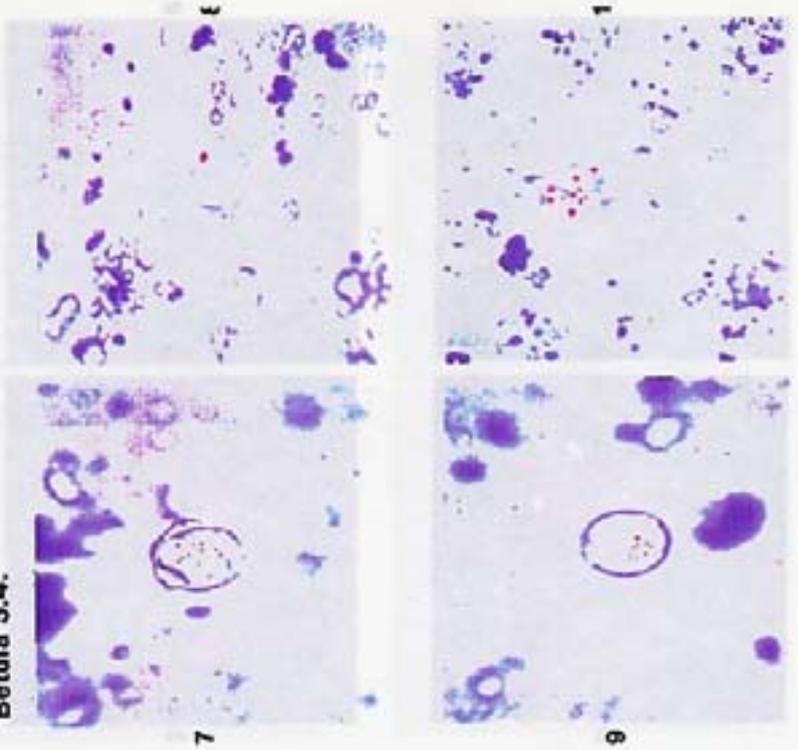


Abbildung 8

Betula 5.4.

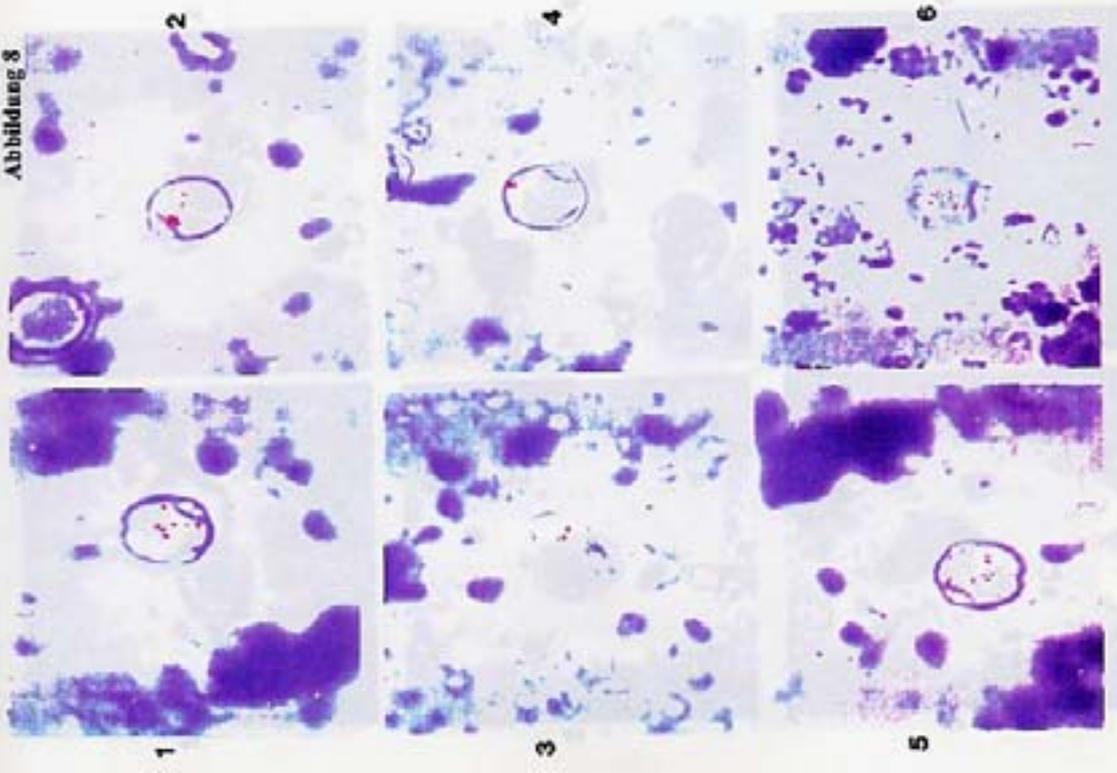


Abbildung 11

Fraxinus 5.4.

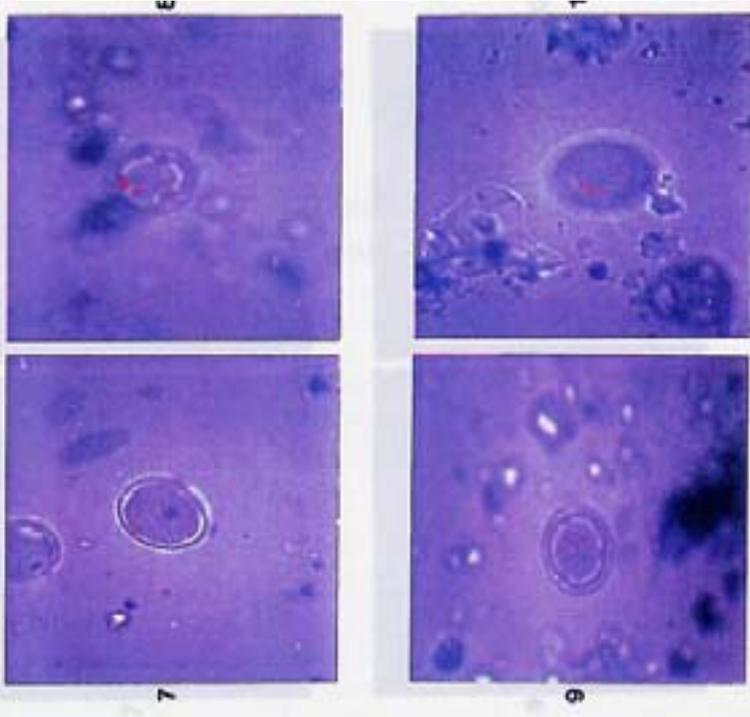


Abbildung 10

Fraxinus 5.4.

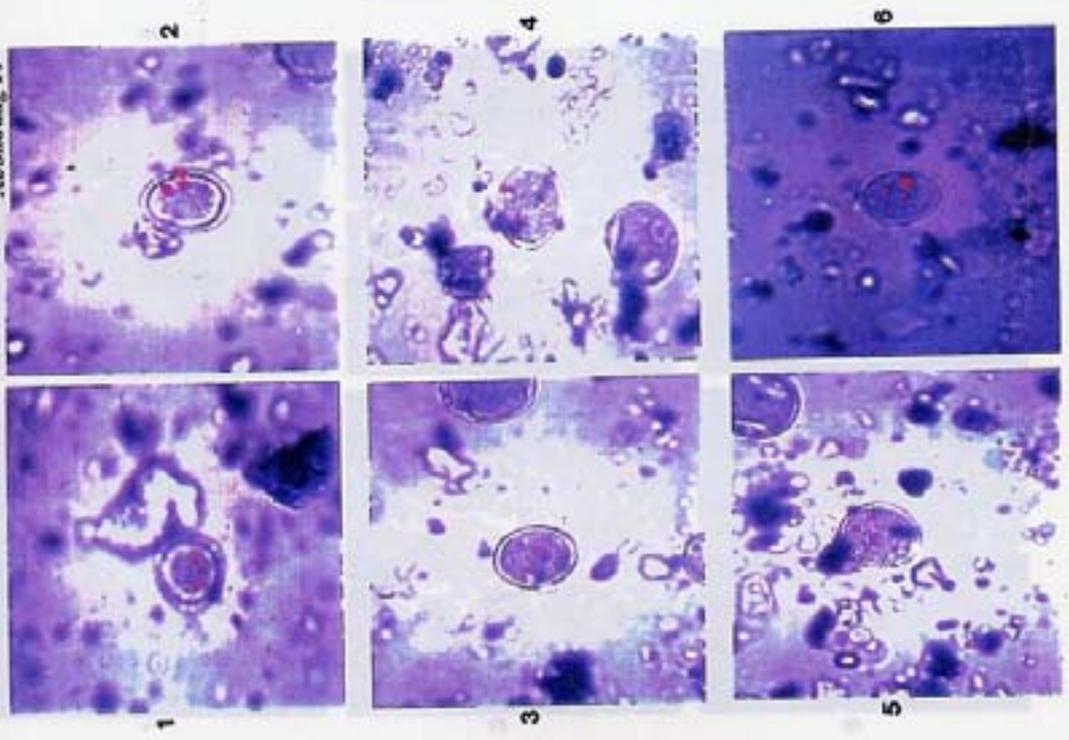


Abbildung 12

Gramineae 7.6.

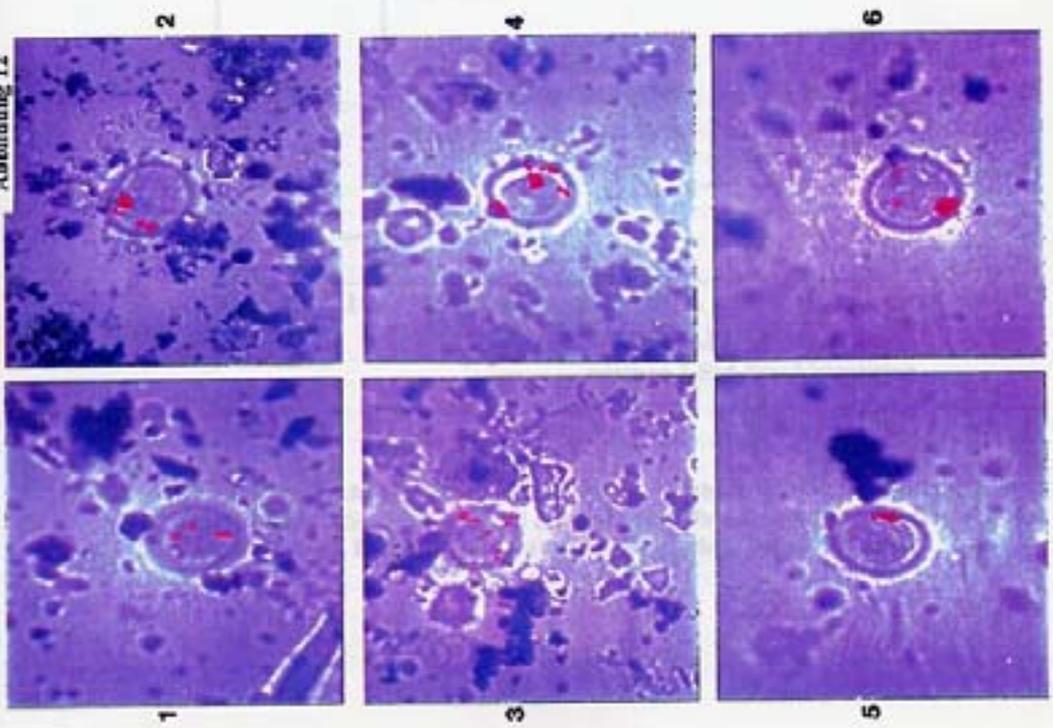
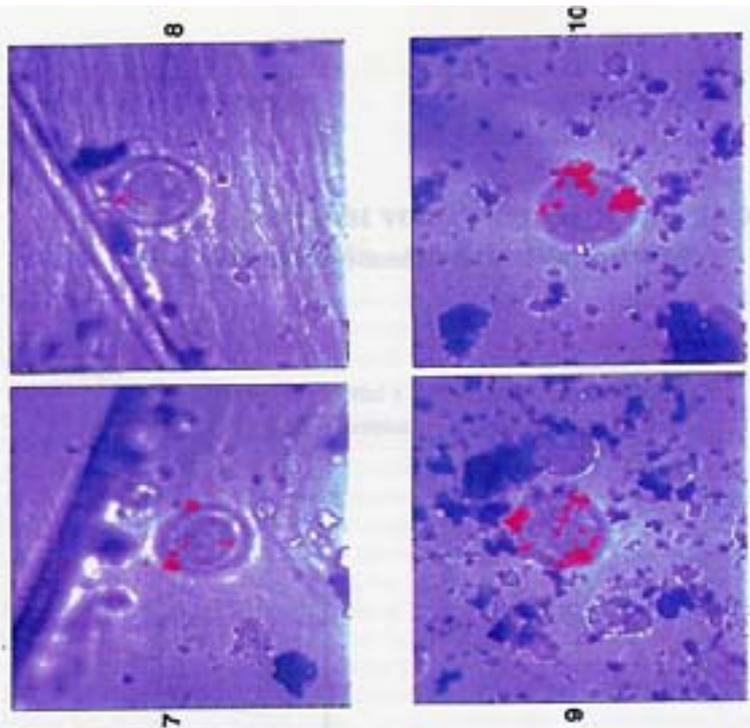


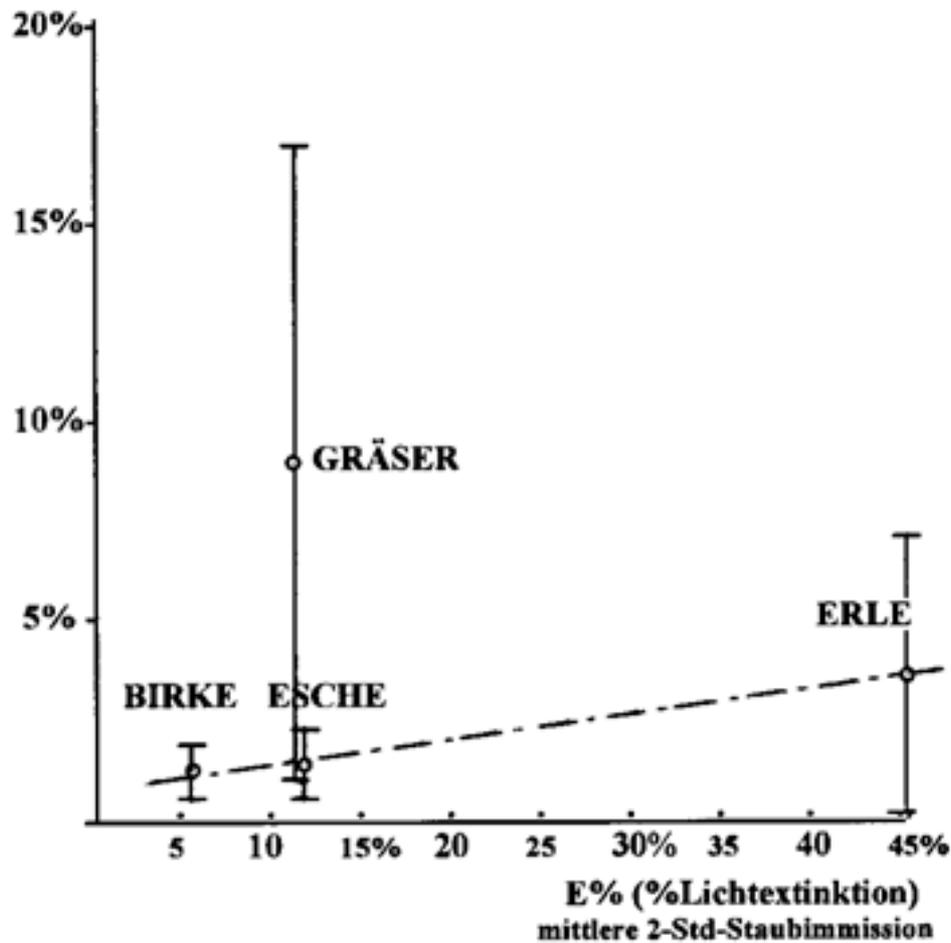
Abbildung 13

Gramineae 7.6.



## Partikelfracht von Pollen (in % Oberflächenbesatz) bei mittlerer 2-Stunden-Staubimmission

Staubfracht (Mittel  $\pm$  2 Standardabweichungen)  
A% (von Staub besetzte Pollenoberfläche in %)



Grafik 1 - Oberflächenfracht von Pollen versus mittlere Lichtextinktion in Prozent im untersuchten 2-Stundenintervall (als Substitut für Staubimmission) für Birken-, Erlen-, Eschen- und Gräserpollen zwischen März 1991 und Juni 1991

## 2. QUALITATIVE ANALYSE

### 2a. REM-Abbildungen von Pollen

Beim Screening mit dem REM kamen sowohl nicht bis gering staubbefrachtete als auch stärker staubbeladene Pollenkörner zur Darstellung. Ähnlich fanden sich bei den Pollen zum Teil intakte Oberflächen, zum Teil aber auch deutliche Abnormitäten der Pollenhülle. Diese besteht aus einer äußeren Hüllschicht (Exine) und einer inneren Hüllschicht (Intine). Die Exine erscheint bei den Gräser- und Getreidepollen relativ glatt, regelmäßig granuliert bei Hasel- und Birke und rauh, maschen- bis wabenartig bei Eschen- und Weidenpollen. Der Verlust der pollentypischen Oberflächentextur bestand teilweise in Hüllendefekten wie Rissen, teilweise in Protrusionen mit Verlust der typischen Oberflächenstruktur und teilweise auch im Hüllenkollaps oder umschriebenen Einziehungen. Die Blütenstaubkörner muteten in ihrer Degeneration mitunter "gealtert" an, ohne daß methodenbedingt ihr genaues Alter bestimmt werden konnte. Mit einer nur vorübergehenden Sedimentation der Pollen und ihrer Wiederaufwirbelung bei trockenem Schönwetter wie an den untersuchten Tagen mit maximalem Pollenflug muß gerechnet werden. Während die Integrität der Pollenkörner für die Bestäubung wesentliche Voraussetzung ist, scheint ihre Allergenität für den Menschen nicht an die Intaktheit der ganzen Blütenstaubkörner gebunden. Allergene dürften in den Hüllschichten der Pollen lokalisiert sein, sodaß deren Desintegration oder Auswaschung allergenes Material freisetzt. Da die Hüllsubstanzen polymerisierte Karotinoide oder Flavonoide enthalten, sind sie lipophil und lipolytischen chemischen Einflüssen zugänglich. Mechanismen der Oberflächenveränderung wurden nicht studiert.

### 2b. EDX-Elementaranalyse

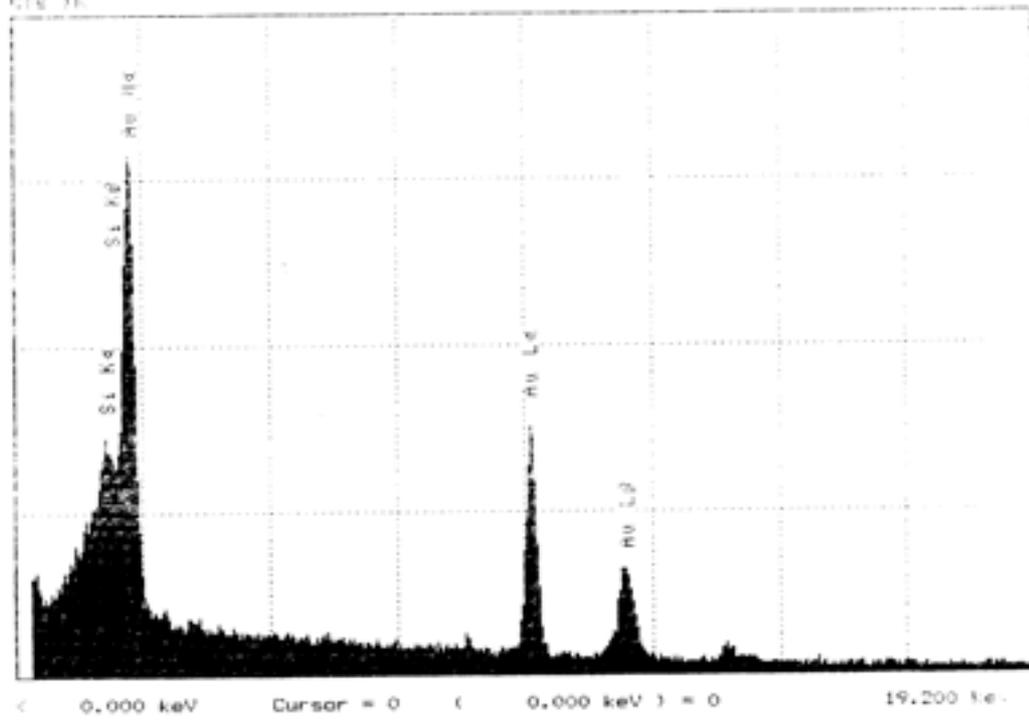
Die Oberfläche der Blütenstaubkörner war in der Regel mit (Fein)Staubteilchen deutlich  $< 3-5$  um besetzt. Die Elementaranalyse der partikulären Pollenfracht mittels EDX-Technik Heß Silizium, Kalzium, Eisen, Natrium, Kalium, Aluminium, Brom, Chlor, aber auch Mangan, Zink und Titan als anorganische Komponenten nachweisen. Die Abbildungen 14 bis 29 zeigen typische Beispiele von Spektren der Röntgen-Diffraktions-Analysen. In Kombination mit den morphologischen Charakteristika bei der REM-Analyse konnten diese Elemente Silikaten, Kalzit, Tonmineralen, Eisensphäroiden und komplexeren Stäuben zugeordnet werden.

Eisen fand sich praktisch nie in irregulärer eckiger, sondern nur in runder Form. Das legt den Schluß nahe, daß die Eisenimmissionen der Luft in 15 m über dem Boden durch industrielle Eisenemissionen dominiert wurden und Eisenkorrosion bzw. verkehrsbedingter Eisen/Stahlabrieb am Untersuchungsstandort keine Rolle spielten. Der Eisengehalt der Luft war typisch für eine Stahlregion hoch und quantitativ nach dem Silikat/Quarzeintrag anzusetzen. Die Bedeutung des Lufteisens für Pollen, Pflanzen und Menschen ist nicht geklärt. Die Luftgehalt an Eisen reicht jedenfalls nicht für eine systemische Überladung des menschlichen Organismus im Sinne der (Hämo)Siderose aus. Katalysatoreffekte des Redox-Systems Eisen sind dagegen wahrscheinlich und bei der Ozonentstehung und anderen chemischen (Sekundär)Reaktionen in der Luft anzunehmen, vor allem die Teilnahme des Eisens an oxidativen Prozessen.

In der Mehrzahl fanden sich nicht nur ein Element bzw. eine Staubart auf den Pollenkörnern, sondern Element- und Staubkombinationen - beispielsweise zwischen

EG&G Ortec System 5000  
Spectra Plotting Program  
Printplot V02.05

Sample ID: Erie\_Aufn.5  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Presets: Off  
Real Time: 116.02 Sec. Live Time: 106.68 Sec.  
10% Deadtime 1180 Counts/Second  
Acquisition date: 05-Mar-92 Acquisition time: 16:14:42  
Ch: 1K



**Abbildung 14 - EDX-Plot der Röntgendiffraktionsanalyse.**  
 Neben Gold (Au), das methodisch bedingt von der Präparation der Probe stammt, wird Silizium detektiert. Das analysierte Feinstaubpartikel auf der Pollenoberfläche wird daher einer Siliziumverbindung (Quarz oder Silikat zugeordnet). Das REM läßt morphologisch zwischen beiden Si-Verbindungen unterscheiden.

H2U X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.12

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

Presents Live Time 60 Seconds

Real Time: 79.37 Sec. Live Time: 60.00 Sec.

2k Deadtime: 1117 Counts/Second

Mag: 1.000000 Date: 27-Jun-93 Acquisition time: 15:47:05

20.00k

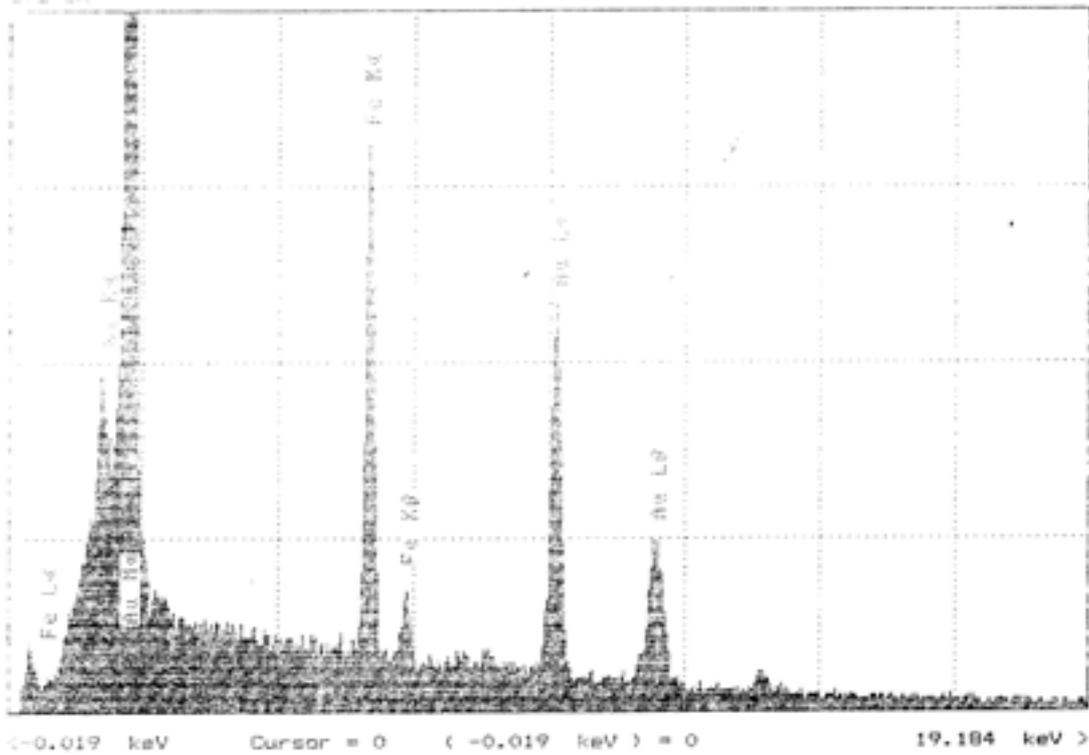
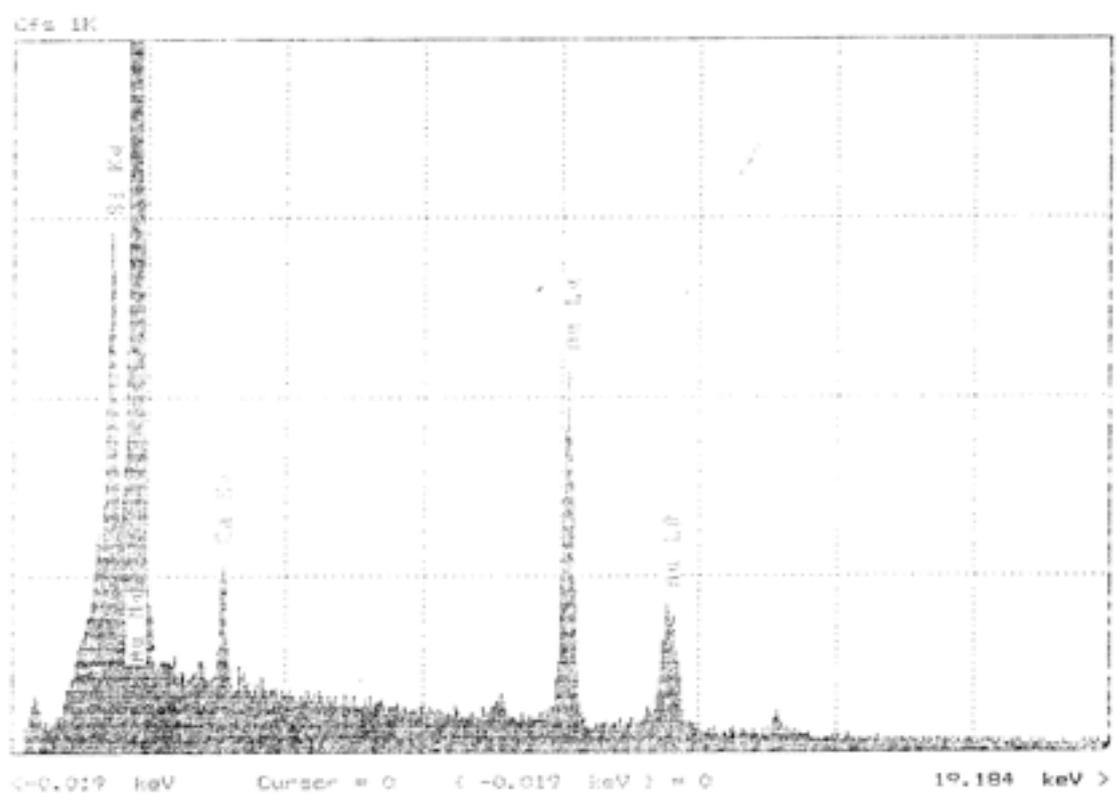


Abbildung 15 - Plot der Röntgendiffractionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.5  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Live Time 60 - Seconds  
Real Time: 75.59 Sec. Live Time: 60.00 Sec.  
20% Deadtime 2682 Counts/Second  
Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 13:11:21



**Abbildung 16 - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Neben Si liegt Ca vor.**

EG&G Ortec System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V02.05

Sample ID: Erle Aufn.8 ansitzender Dreck

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

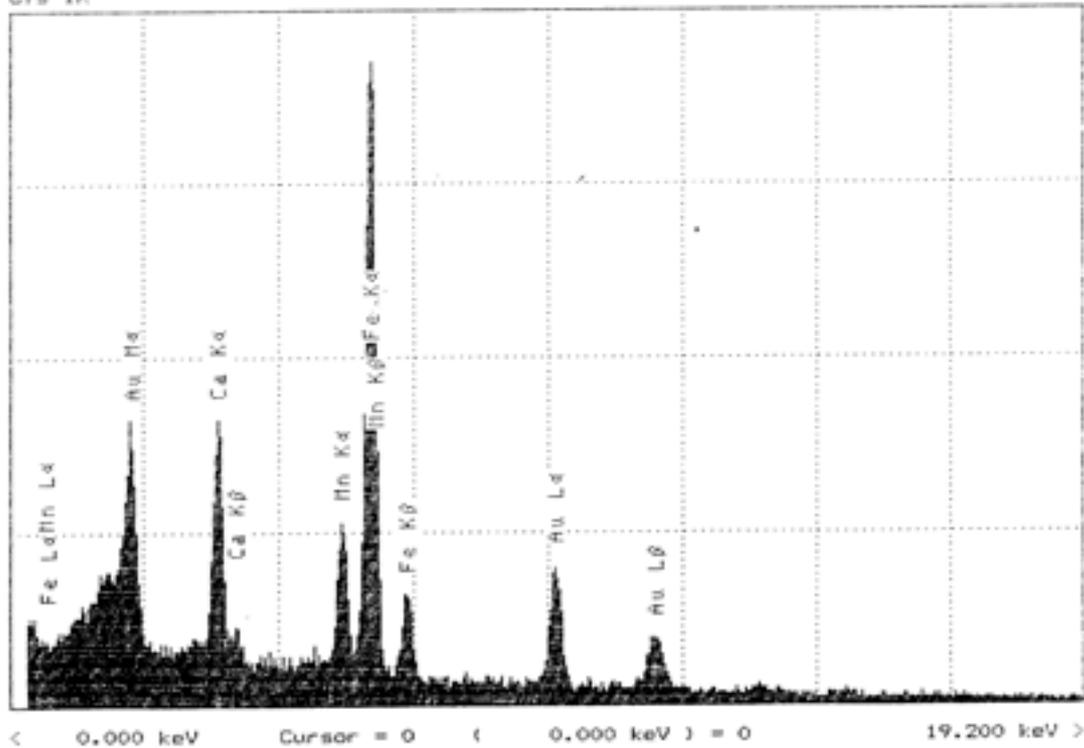
Preset: Off

Real Time: 79.87 Sec. Live Time: 69.51 Sec.

13% Deadtime 1718 Counts/Second

Acquisition date: 05-Mar-92 Acquisition time: 16:44:27

Cfs 1K

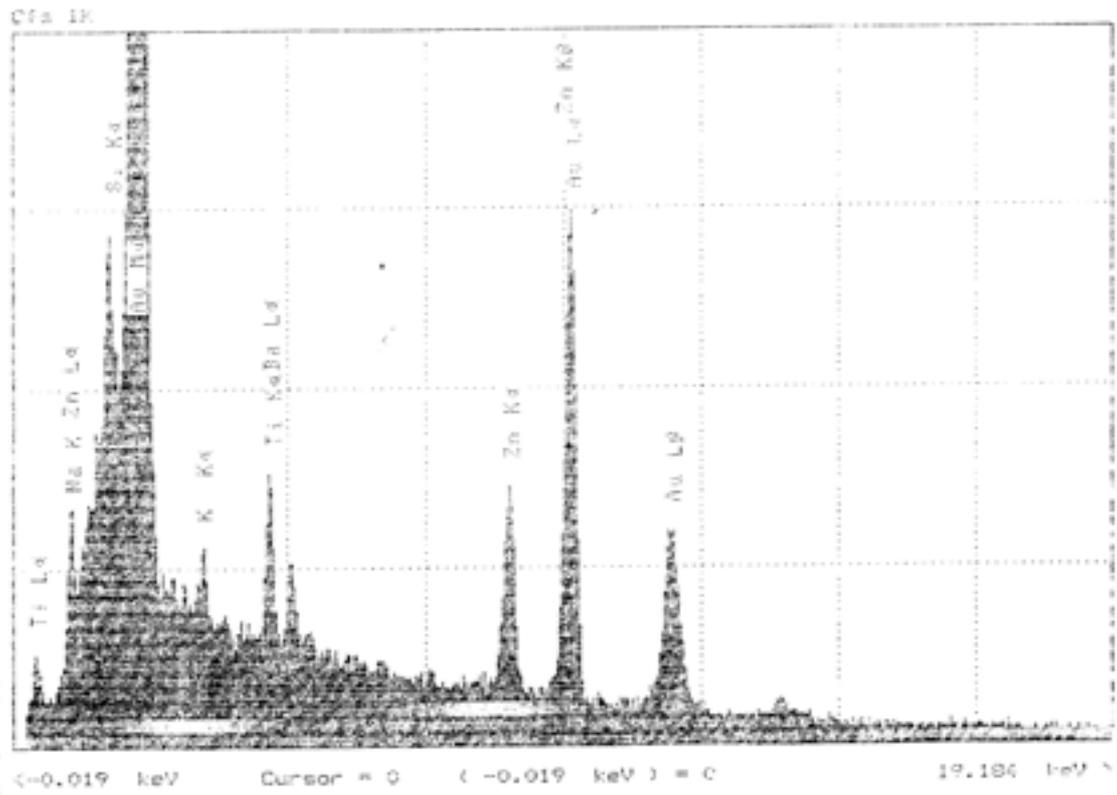


**Abbildung 17** - Plot der Röntgendiffractionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Nebeneinander wurden Ca, Fe und Mn nachgewiesen.

28/5/10

INU X-RAY System 5000  
Spectra Plotting Program  
Printplot V3.000

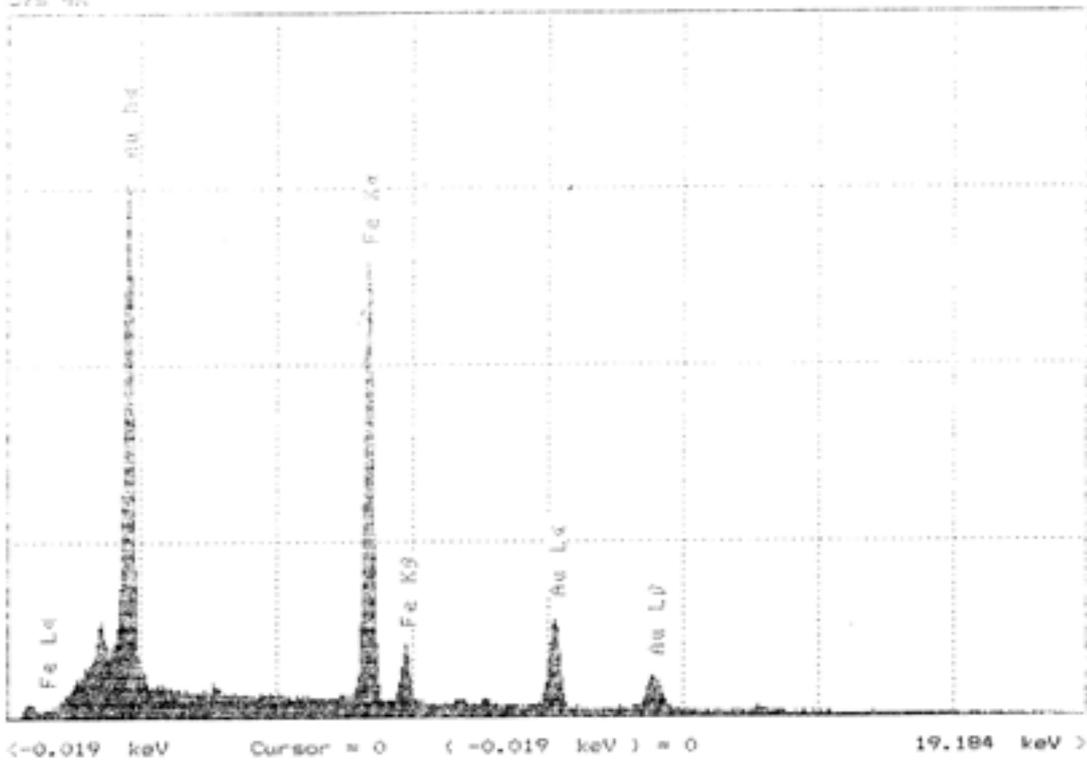
Sample ID: Aufn.10  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Live Time 60 Seconds  
Real Time: 09.09 Sec. Live Time: 60.00 Sec.  
32% Deadtime 4595 Counts/Second  
Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 13:23:56



**Abbildung 18** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Bei einem Nachweis von K, Na, Si, Ti und Zn liegt eine komplexere metallische Verbindung vor.

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.16  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Live Time 60 Seconds  
Real Time: 66.05 Sec. Live Time: 60.00 Sec.  
10% Deadtime 2301 Counts/Second  
Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 16:40:37  
cps 4K



**Abbildung 19 - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Beim Nachweis von Fe und einer sphärischen Form im REM-Bild handelt es sich um ein Eisen-sphäroid. Die Kugelform spricht für seine industrielle Herkunft.**

30 16/16

EDX X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.16

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

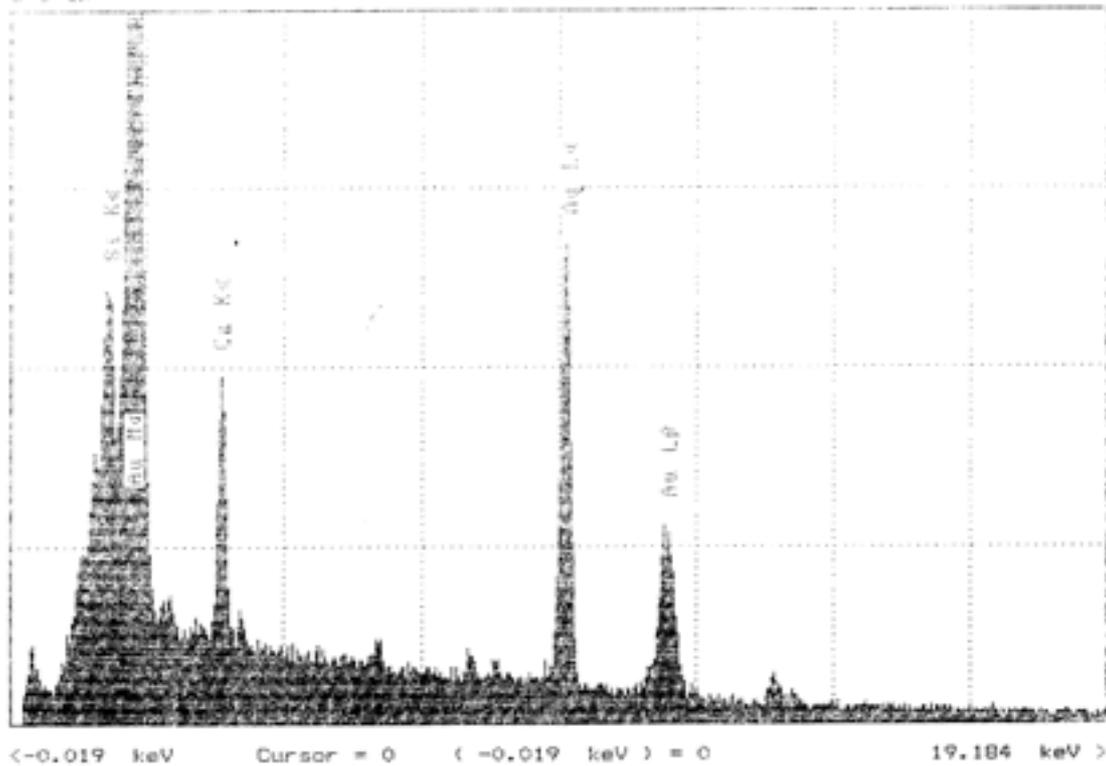
Presets: Live Time 60 Seconds

Real Time: 01.64 Sec. Live Time: 60.00 Sec.

26% Deadtime 3732 Counts/Second

Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 16:53:19

File 16



**Abbildung 20** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn mit Nachweis von Ca und Si.

HPM X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.1

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

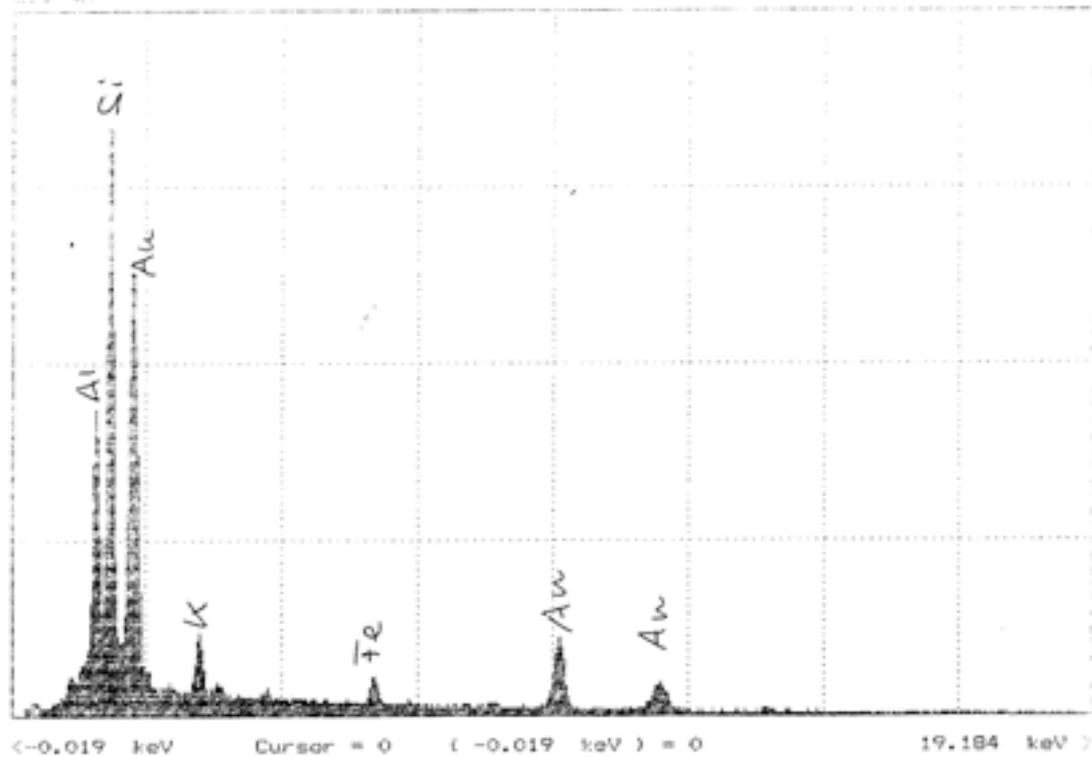
Preset: Off

Real Time: 88.01 Sec. Live Time: 66.01 Sec.

25% Deadtime 3381 Counts/Second

Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 12:35:31

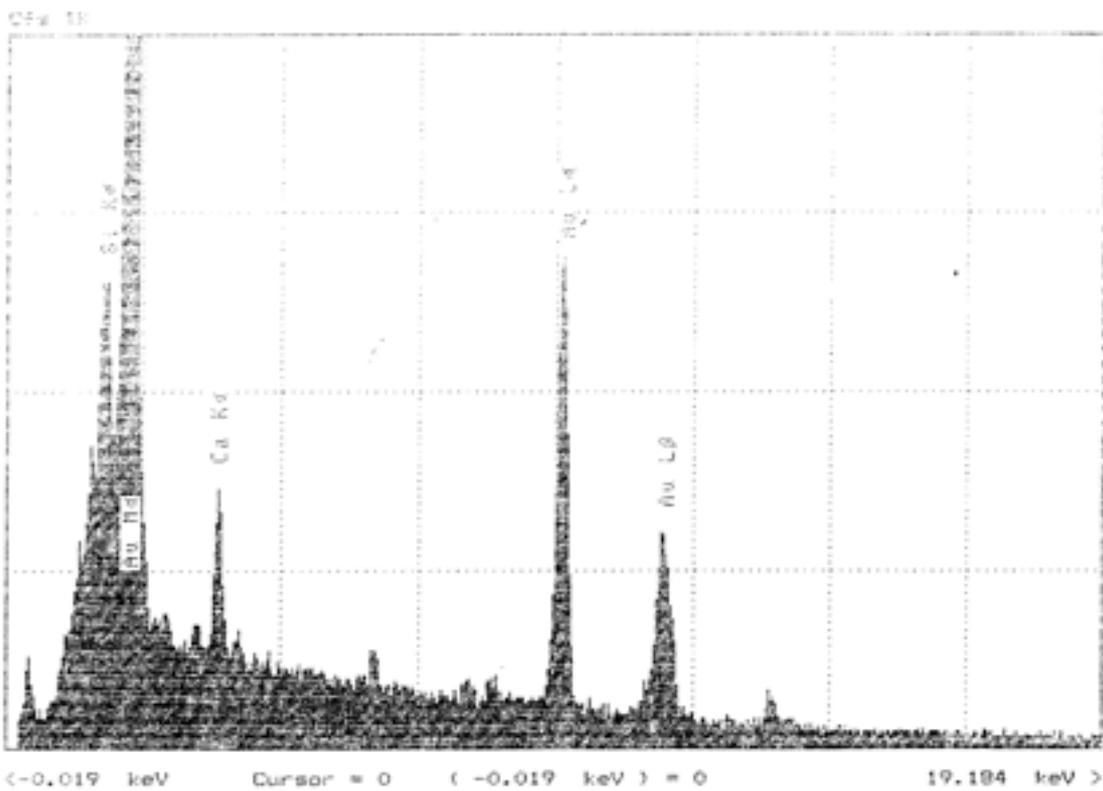
Sta 48



**Abbildung 21** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines komplexen Staubpartikels auf einem Pollenkorn. Neben Si und Fe wurden auch Al und K nachgewiesen.

1000 X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

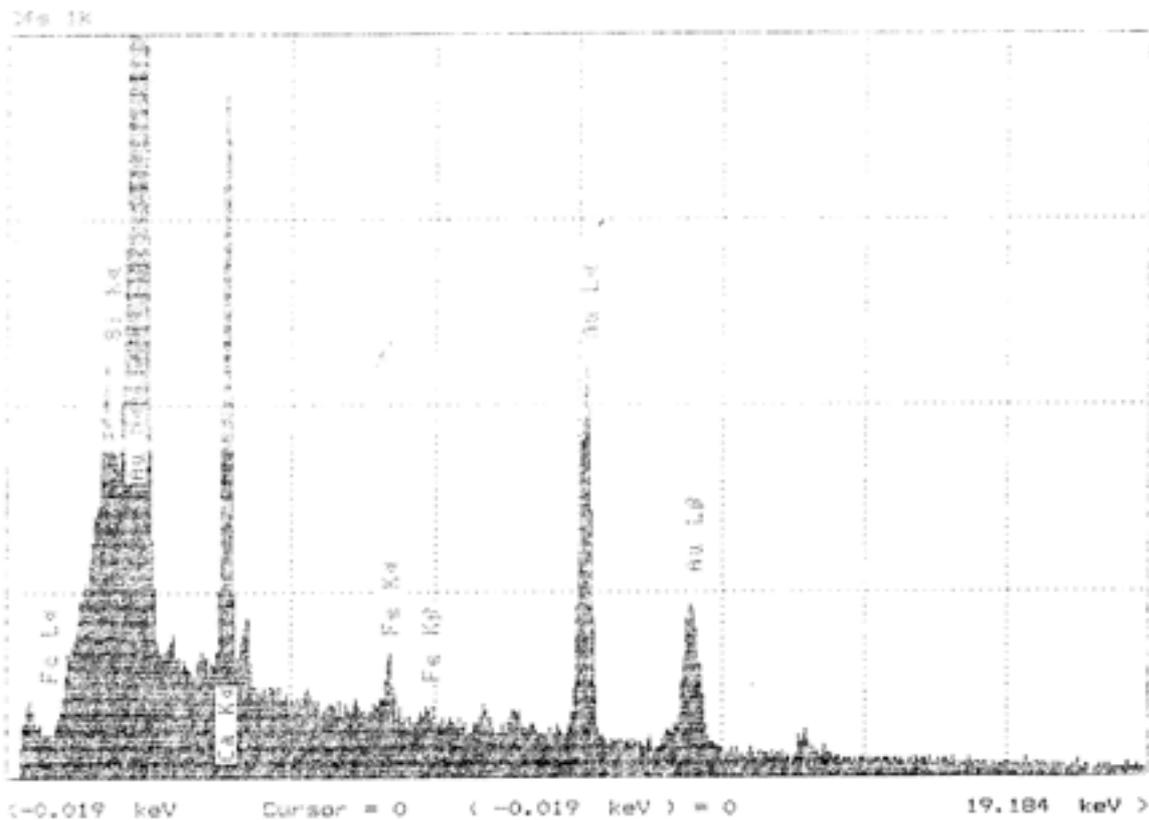
Sample ID: Aufn.15  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Live Time 60 Seconds  
Real Time: 62.21 Sec. Live Time: 60.00 Sec.  
25% Deadtime 3514 Counts/Second  
Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 16:37:36



**Abbildung 22 - Plot der Röntgendiffractionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn - wieder mit Nachweis von Ca und Si.**

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

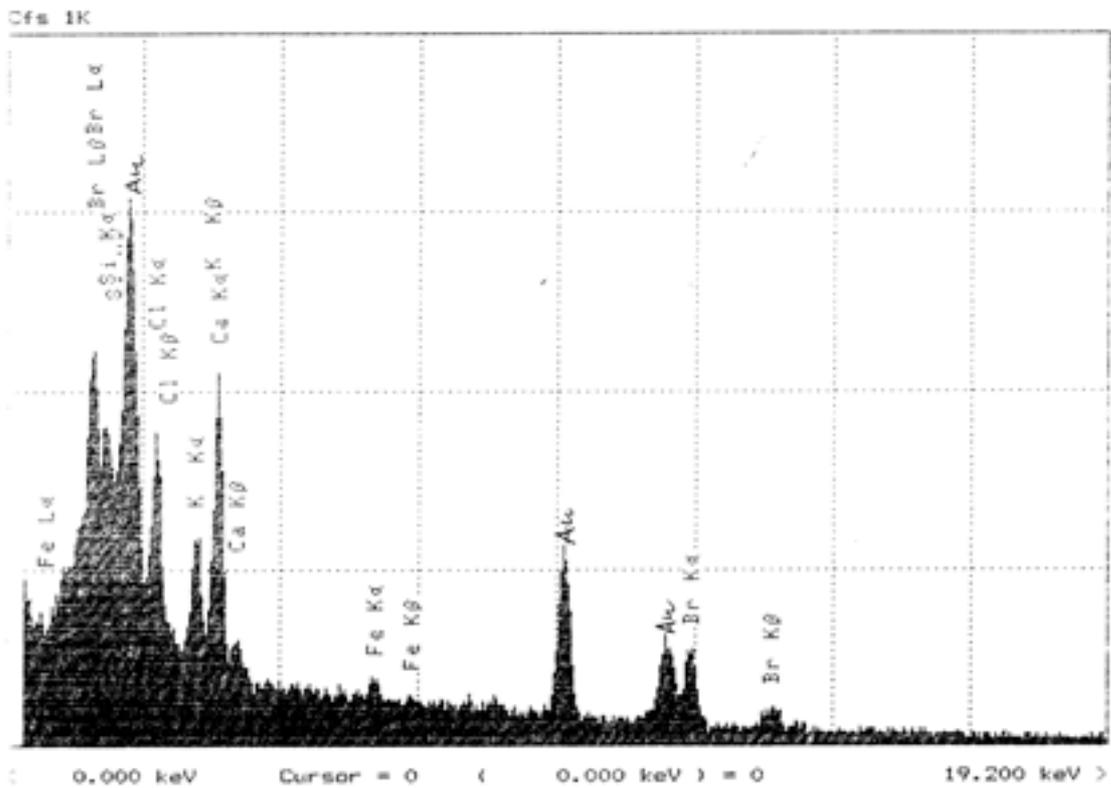
Sample ID: Aufn.17  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Live Time 60 Seconds  
Real Time: 61.51 Sec. Live Time: 60.00 Sec.  
26% Deadtime 3599 Counts/Second  
Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 17:52:00



**Abbildung 23** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Pollenkorn. Die Koinkidenz von Si mit Fe weist auf eine Herkunft der beiden Verbindungen aus der Stahlindustrie hin.

EG&G Ortec System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V02.05

Sample ID: aufn. <sup>2</sup>2  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Off  
Real Time: 169.65 Sec. Live Time: 154.99 Sec.  
7% Deadtime 933 Counts/Second  
Acquisition date: 05-Mar-92 Acquisition time: 15:26:45



**Abbildung 24 - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Auch Br- und Cl-hältige Verbindungen konnten auf der Pollenoberfläche gefunden werden.**

35  
23/2

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.2

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

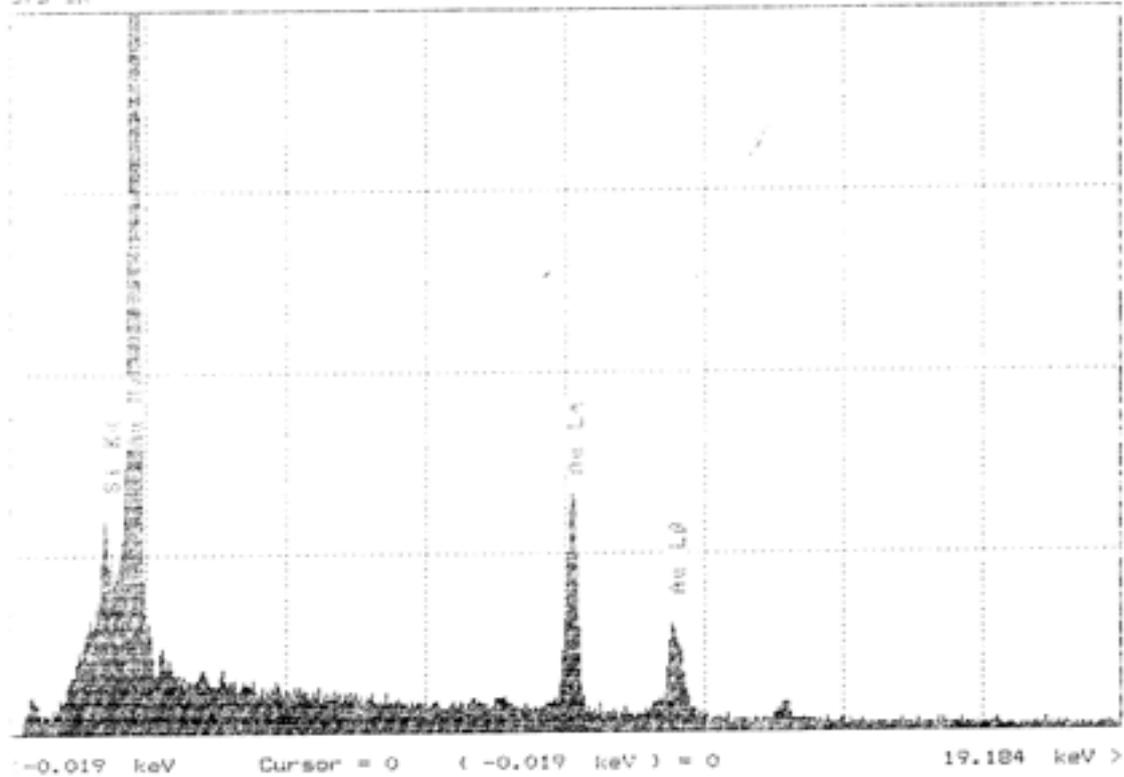
Preset: Live Time 60 Seconds

Real Time: 69.57 Sec. Live Time: 60.00 Sec.

14% Deadtime 1699 Counts/Second

Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 12:47:46

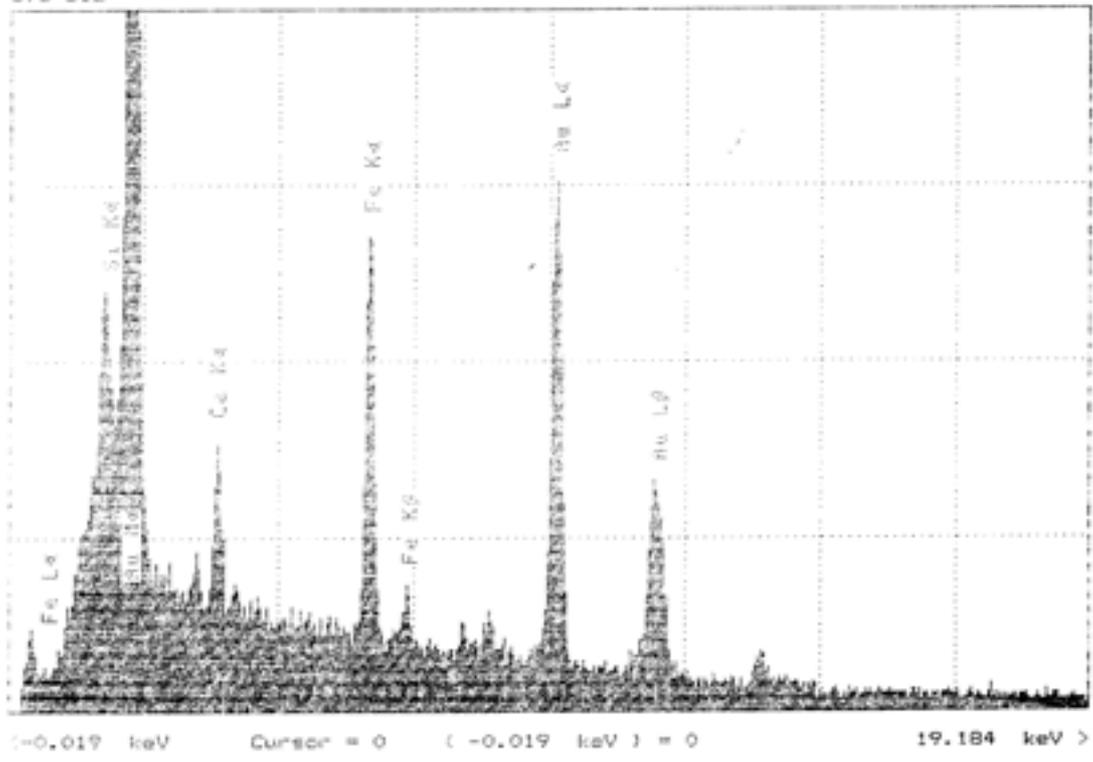
2fa 1K



**Abbildung 25 - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn mit Siliziumnachweis.**

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.13  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Live Time 60 Seconds  
Real Time: 71.30 Sec. Live Time: 60.00 Sec.  
15% Deadtime 1933 Counts/Second  
Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 16:09:04  
C# 512



**Abbildung 26 - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn - Detektion von Ca, Fe und Si.**

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.19

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

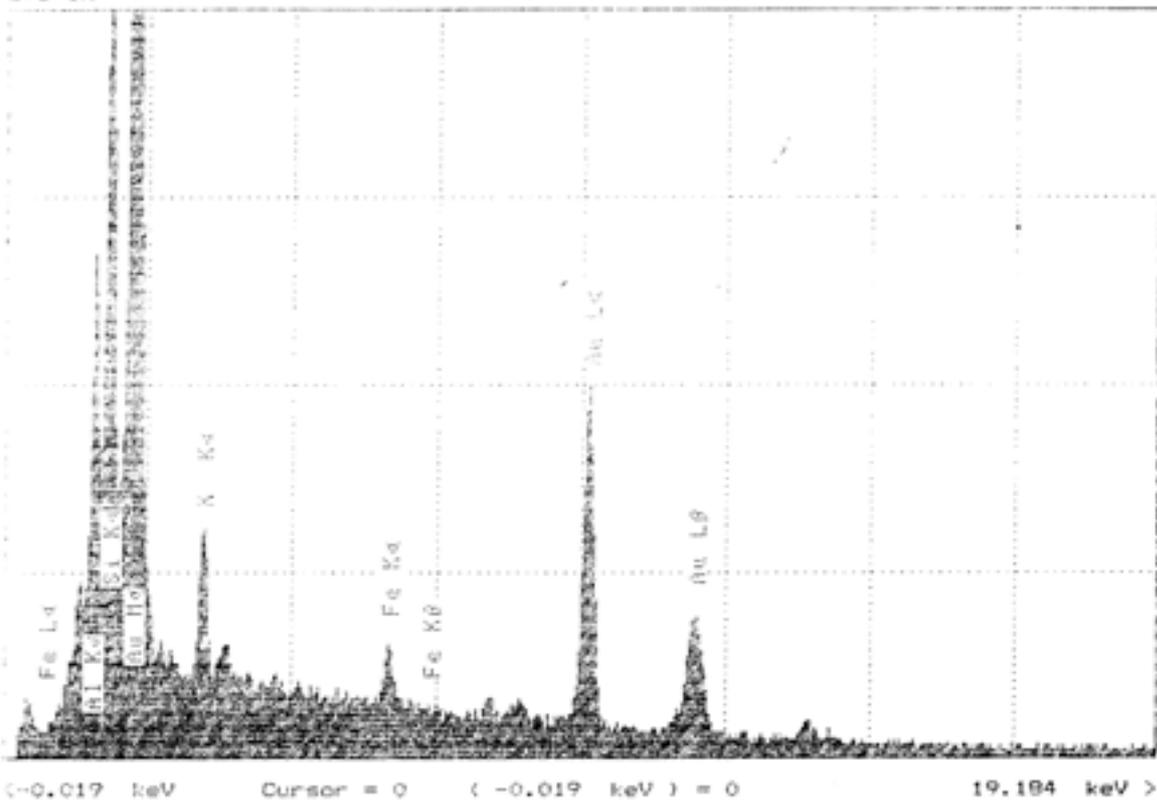
Preset: Live Time 60 Seconds

Real Time: 76.93 Sec. Live Time: 60.00 Sec.

22% Deadtime 2952 Counts/Second

Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 18:09:05

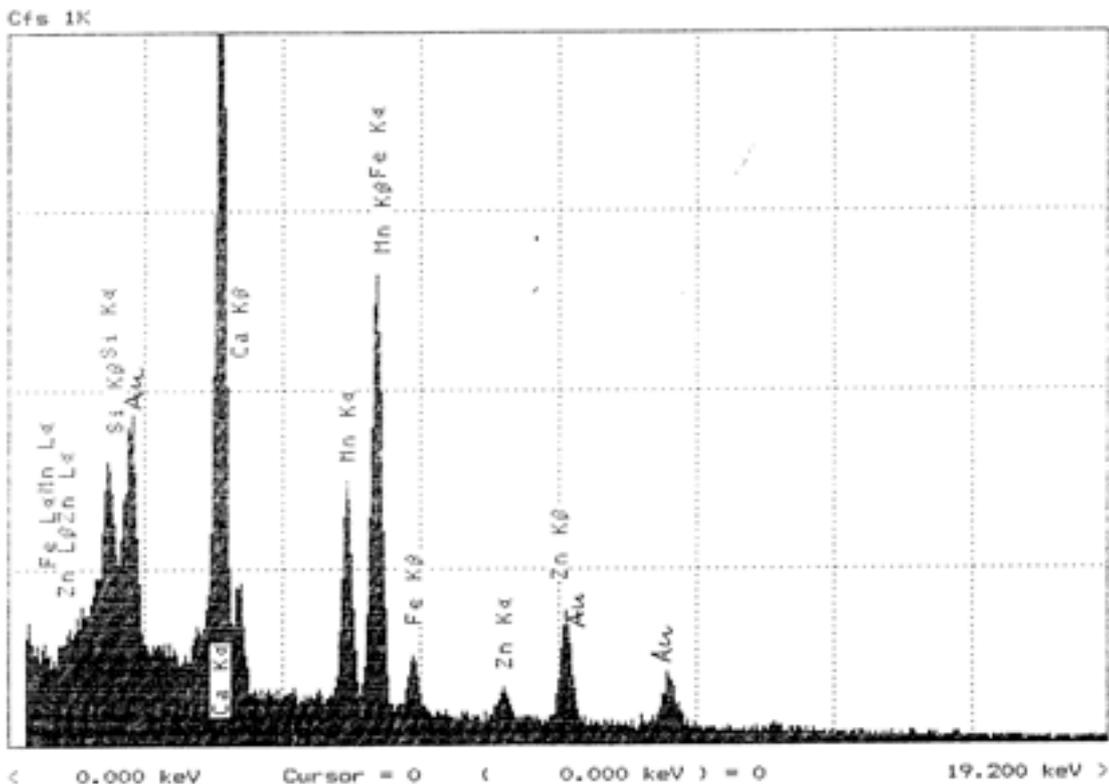
07s 1K



**Abbildung 27** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Neben Fe und Si liegt auch eine K-hältige Feinstaubkomponente vor.

EG&G Ortec System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V02.05

Sample ID: aufn.1  
Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch  
Preset: Off  
Real Time: 74.11 Sec. Live Time: 60.60 Sec.  
19% Deadtime 2565 Counts/Second  
Acquisition date: 05-Mar-92 Acquisition time: 15:13:15



**Abbildung 28** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Pollenkorn. Komplexe metallische Verbindung mit Fe, Mn und Zn neben Ca und Si.

HNU X-RAY System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V3.000

Sample ID: Aufn.3

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

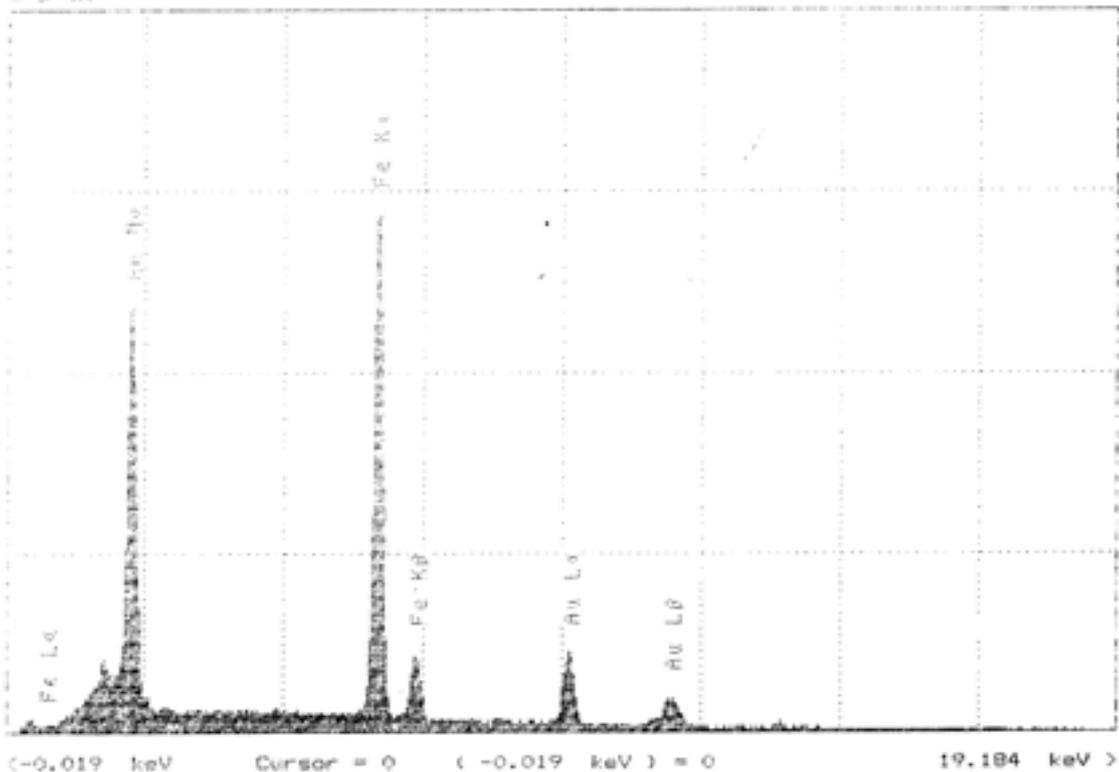
Preset: Live Time 60 Seconds

Real Time: 01.04 Sec. Live Time: 60.00 Sec.

28% Deadtime 3770 Counts/Second

Acquisition date: 27-Jun-93 Acquisition time: 13:00:32

Cps 4K



**Abbildung 29** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenstaubkorn. Bei uniformem Nachweis von Eisen ist wiederum ein Eisensphäroid am Pollen agglomeriert.

EG&G Ortec System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V02.05

Sample ID: Aufn.3 Erie

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

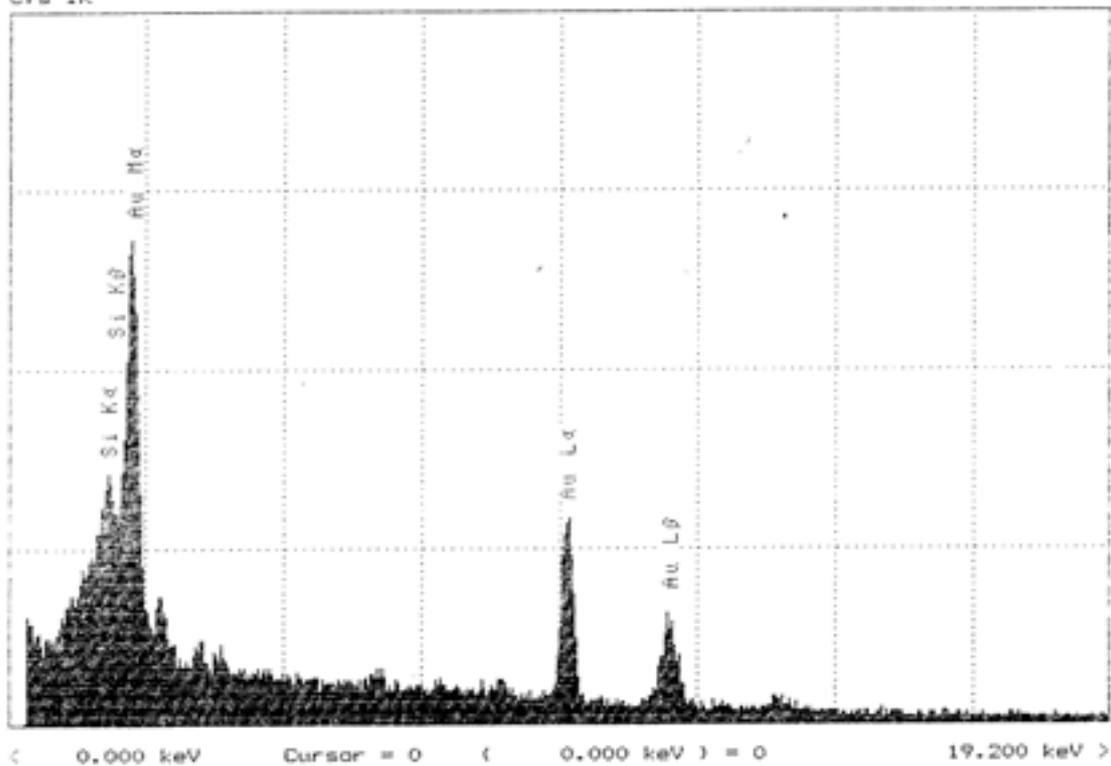
Preset: Off

Real Time: 158.53 Sec. Live Time: 148.20 Sec.

6% Deadtime 760 Counts/Second

Acquisition date: 05-Mar-92 Acquisition time: 15:33:16

Cfs 1K



**Abbildung 30** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines Staubpartikels auf einem Blütenpollen mit Silizium (Si) als einziges metallisches Element neben dem wiederkehrenden methodischen Gold (Au).

EG&G Ortec System 5000  
Spectrum Plotting Program  
Printplot V02.05

Sample ID: Fe - Kugel Aufn. 4

Energy Range: 0 - 20 keV 10 eV/ch

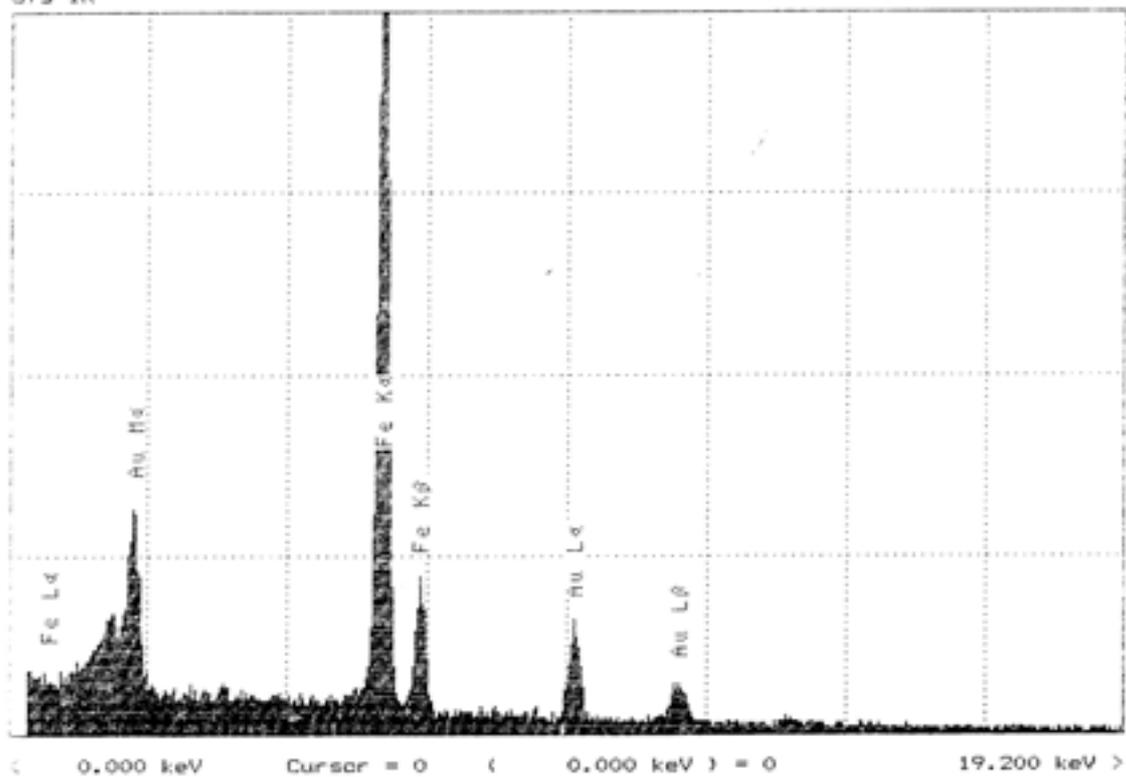
Preset: Off

Real Time: 64.17 Sec. Live Time: 56.02 Sec.

13% Deadtime 1631 Counts/Second

Acquisition date: 05-Mar-92 Acquisition time: 15:39:05

Cfs 1K



**Abbildung 31** - Plot der Röntgendiffraktionsanalyse (EDX) eines freien Eisensphäroids. Kein Unterschied zu einem an einem Pollen adhärennten Eisenpartikel.

Silizium - Kalzium  
Silizium - Eisen  
Silizium - Aluminium - Kalium (mit und ohne Brom oder Chlor)  
Eisen - Mangan  
Eisen - Kalzium  
Titan - Zink - Natrium - Kalium

in einfachen und komplexeren Paletten (siehe beigeschlossene EDX-Plots). Es gab keinen Vorzug einer bestimmten Staub-Assoziation mit einer bestimmten Pollenart.

Tonminerale besetzten häufig die Pollenoberfläche - siehe Pollenabbildung 32/5, 32/7, 32/11, 32/12, 32/13, 32/16, 32/18, 32/19, 32/20, 32/22, 32/23, 32/24 und 32/25. Sie fanden sich dabei teilweise zusammen mit Eisensphäroiden oder Kalzit auf der Pollenhülle. Im Gegensatz zum freien Schwebstaub wiesen wir auf den Pollen keine Gipskristalle nach. An Stellen, wo sich Feinstaub den Pollenkörnern anlagerte, fanden sich kaum Oberflächenveränderungen, weshalb wir die beschriebenen Staubkomponenten nicht als primär hüllenschädigend ansehen. Wir vermuten andere chemische Verbindungen hinter der Alteration der Pollenhülle. Die Degeneration der Pollenoberfläche betrifft alle vorgefundenen Blütenstaubarten.

## 2c. Organische Oberflächenaggregate

Wesentlich scheint uns die Detektion von organischen Oberflächenagglomeraten - Abbildung 32/6, 32/12, 32/14, 32/16 und 32/25. Sie waren mehrheitlich globulär, in einem Fall diskoid in Übereinstimmung mit deutschen Beobachtungen bei Birken- und Gräserpollen. Die organischen Auflagerungen wiesen Durchmesser zwischen 1 und 5 µm auf. Sie fanden sich vorwiegend bei oberflächenveränderten Blütenstaubkörnern, was oberflächenschädigende Einflüsse als Ursache oder Begünstigung der "Extrusion" von Exinen- oder Intinenanteilen nahelegt. Im Gegensatz zu den relativ homogen wirkenden Oberflächengranula in mikronischer bis submikronischer Dimension, die bei in vitro-Inkubation mit Ammonium-Karbonat-Puffer auftreten, und dem eher scheibenförmigen Pollenkitt bei insektenbestäubten Pflanzen imponieren die Oberflächenextrusionen bei unseren Beobachtungen hauptsächlich globulär. Sie zeigten keine Assoziation mit präformierten Poren. Bei Korrosion von Pollen wurden vergleichbare "Endexinenbläschen" als Degenerationszeichen beschrieben. Von der Düsseldorfer Arbeitsgruppe um Heidrun Behrendt wurde die IgE-Immunität solcher Oberflächenagglomerate und damit die Allergenität der Pollenprotuberanzen dokumentiert. Wir fanden die organischen Auflagerungen nicht auf eine bestimmte Pollenspezies beschränkt. Sie sind offenbar ein universelles Umwelt-Pollenphänomen. Neben Staub- kommt es so auch zur Allergenpräsentation auf der Pollenoberfläche.

Neben dem Pollenflug ist auch eine aerogene Verbreitung von allergenen Pollensubstanzen von Birken und Gräsern durch Größenfraktionierung in High-Volume-Samplern und immunchemische Nachweise gesichert worden. Antigene Aktivität des atmosphärischen Feinstaubes läßt sich über den Pollenflug hinaus nachweisen. Sie übersteigt und überdauert die Pollenpräsenz in der Luft. Es muß demnach einen Liberationsmechanismus für allergenes Pollenmaterial geben. Die Beobachtung des Erscheinens von organischem Material auf der Pollenoberfläche veranlaßte uns zur Hypothese, daß es sich dabei um den für die Aerosolisation von Pollenproteinen erforderlichen Freisetzungsmechanismus handelt. In den angesprochenen Hochvolums-Samplern wurden allergene Partikel in Dimensionen gefunden, die mit den von uns detektierten organischen globulären Oberflächenanlagerungen im Größenbereich zwischen 1 und 5 µm übereinstimmen. Allergenes Material findet sich jedoch auch in Staubfraktionen mit Teilchendurchmessern unter 1 µm.

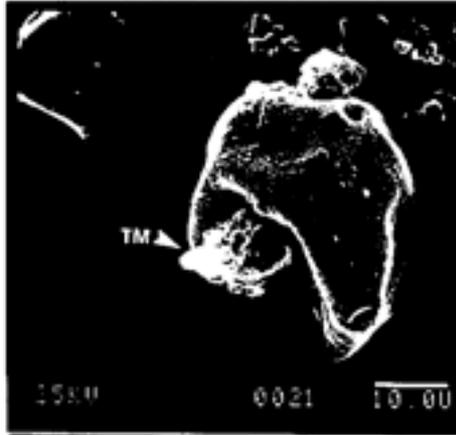
Das Zusammentreffen von organischen Oberflächenagglomeraten und Oberflächenalteration der Pollen eröffnet weiters die Perspektive einer durch Luftschadstoffe geforderten oder beschleunigten Allergenliberation aus der Hüllschicht der Pollenkörner unter entsprechenden Umwelteinflüssen. Damit könnte theoretisch das Allergenangebot in Ballungs- und Industriegebieten höher werden als auf dem Land. Eine nach Stadt- und Landbereichen getrennte Quantifizierung der Pollenallergene gibt es bislang nicht. In der Regel besteht bei den Pollen eine höhere Belastung auf dem Land. Konkret betrug diese 1991 auf dem Gmundnerberg im oberösterreichischen Salzkammergut das 1,3-fache jener von Linz. Leider konnten wegen der angewandten Methodik nur Pollen, aber keine Pollenallergene identifiziert werden.

**REM (Raster-Elektronen-Mikroskopische) Abbildungen - Übersicht** (Seiten 44-48)

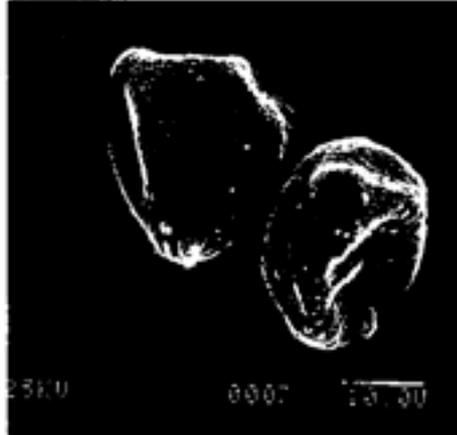
Abbildung 1-30 von verschiedenen Pollen sind als Untergruppe der Abbildung 32 nummeriert.

<b>Abbildung</b>	<b>32/1-6</b>	<b>Alnus (Erle)</b>	<b>vom 16.3.91</b>
	4	fehlende bis geringe Partikelfracht	
	5 6	Tonminerale (TM) organische Partikelfracht (org)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/7-10</b>	<b>Corylus (Hasel)</b>	<b>vom 16.3.91</b>
	7	Tonminerale	
	8	fehlende bis geringe Partikelfracht	
	9	Tonminerale (TM), Eisensphäroid (Fe)	
	10	fehlende Partikelfracht	
<b>Abbildung</b>	<b>32/11-14</b>	<b>Betula (Birke)</b>	<b>vom 5.4.91</b>
	11 12	Tonminerale (TM)	
	13 14	Tonminerale (TM), Eisensphäroide (Fe)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/15</b>	<b>Calzit</b>	
		organische Partikel	
<b>Abbildung</b>	<b>32/16</b>	<b>Fraxinus (Esche)</b>	<b>vom 5.4.91</b>
		Titanoxid (Ti), Zink (Zn) u.a.	
		Salix (Weide)	vom 5.4.91
		Tonminerale (TM), Calzit, Eisensphäroid (Fe), org.Partikel (org)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/17</b>	<b>Quercus (Eiche)</b>	<b>vom 5.4.91</b>
		minimale Staubfracht	
<b>Abbildung</b>	<b>32/18</b>	<b>Pinus (Föhre)</b>	<b>vom 7.6.91</b>
		Tonminei alpni tikel (TM)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/19-20</b>	<b>Picea (Fichte)</b>	<b>vom 7.6.91</b>
		Tonminerale (TM), Calzit, Eisensphäroide (TM)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/21-24</b>	<b>Poaceae (Gräser)</b>	<b>vom 7.6.91</b>
		Tonminerale (TM), Calzit mit Beimengungen, Eisensphäroide (Fe)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/25</b>	<b>Juglans (Walnuß)</b>	<b>vom 5.4.91</b>
		Tonminerale (TM), organische Partikel (org)	
<b>Abbildung</b>	<b>32/26-30</b>	<b>Eisensphäroide (Fe)</b>	
		teilweise mit zusätzlicher Partikelfracht	

7



8

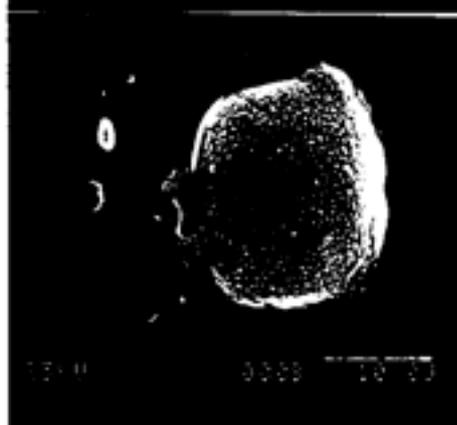


Corylus 16.3.

9



10



11

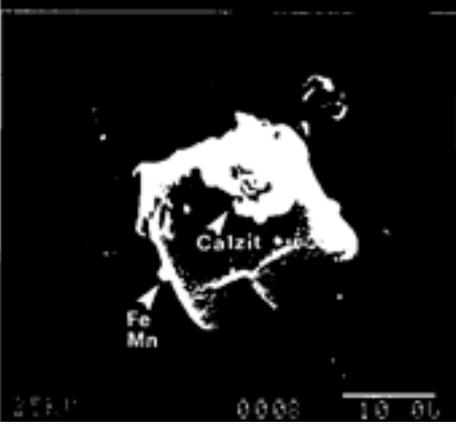


12

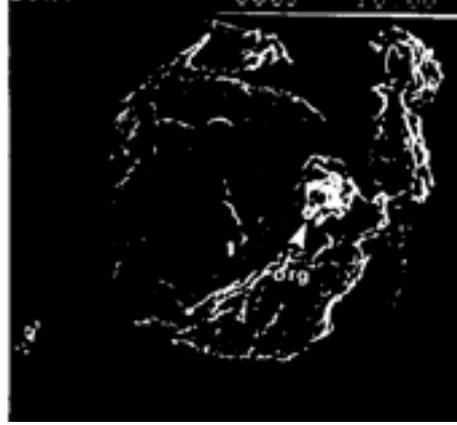


Betula 5.4.

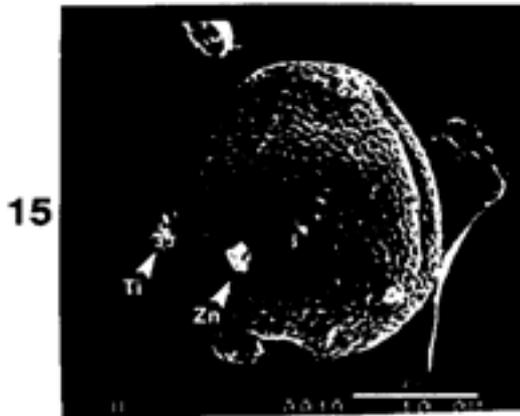
13



14



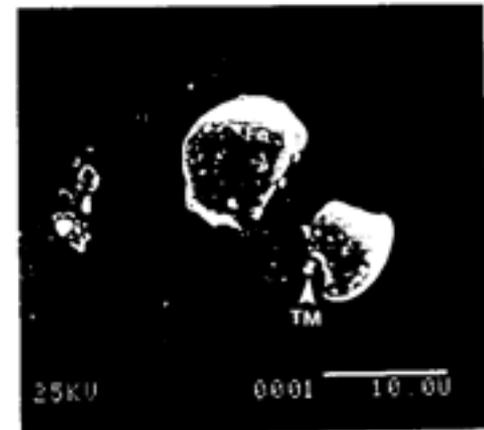
**Fraxinus 5.4.**



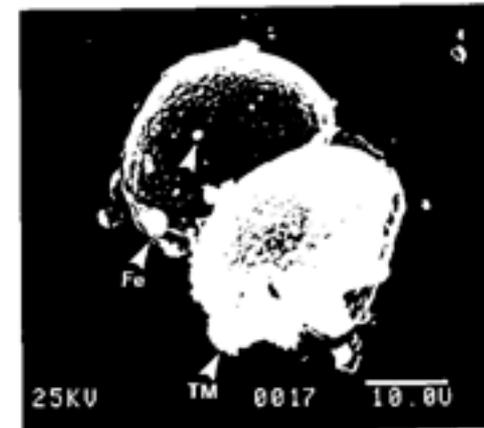
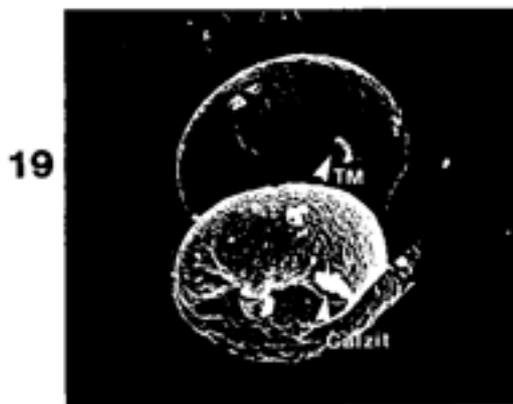
**Salix 5.4.**



**Quercus 5.4.**



**Pinus 7.6.**

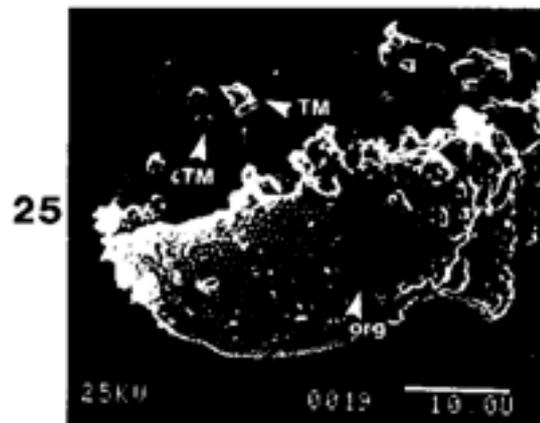
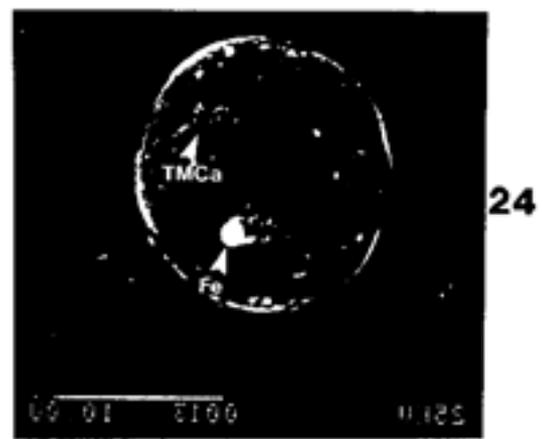
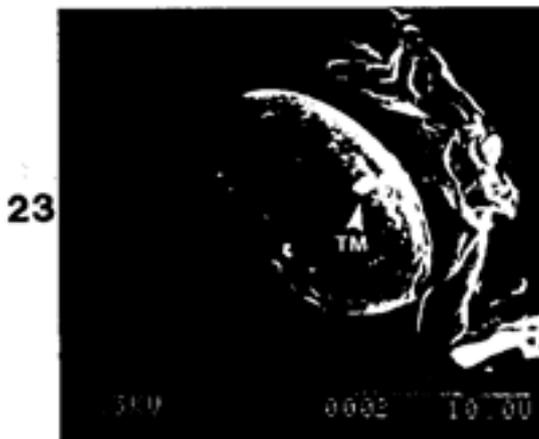
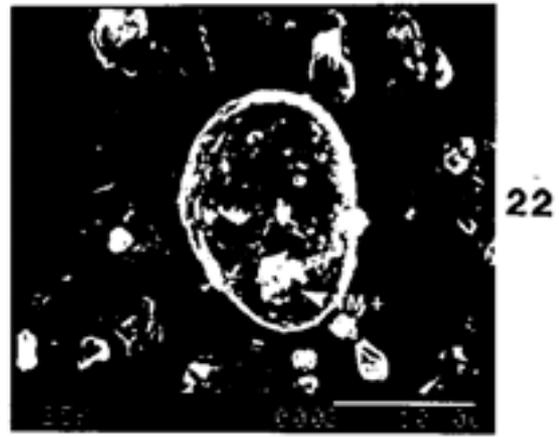
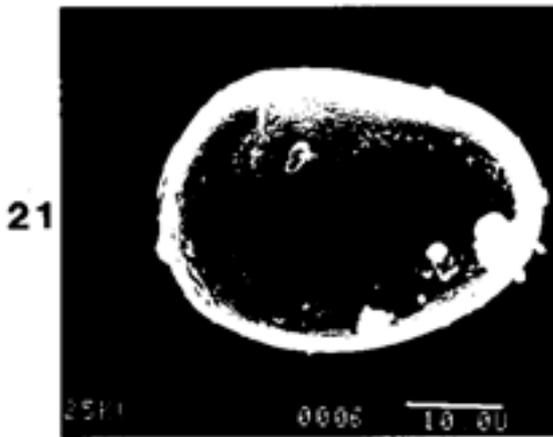


**Picea 7.6.**

**Abbildung 32/15-20 - Pollen von Fraxinus (Esche), Salix (Weide), Quercus (Eiche), Föhre (Pinus) und Fichte (Picea) mit unterschiedlich veränderter Oberfläche und Oberflächenfracht**

Abbildung 32/21-25

Poaceae 7.6.



Juglans 5.4.

## Eisensphäroide

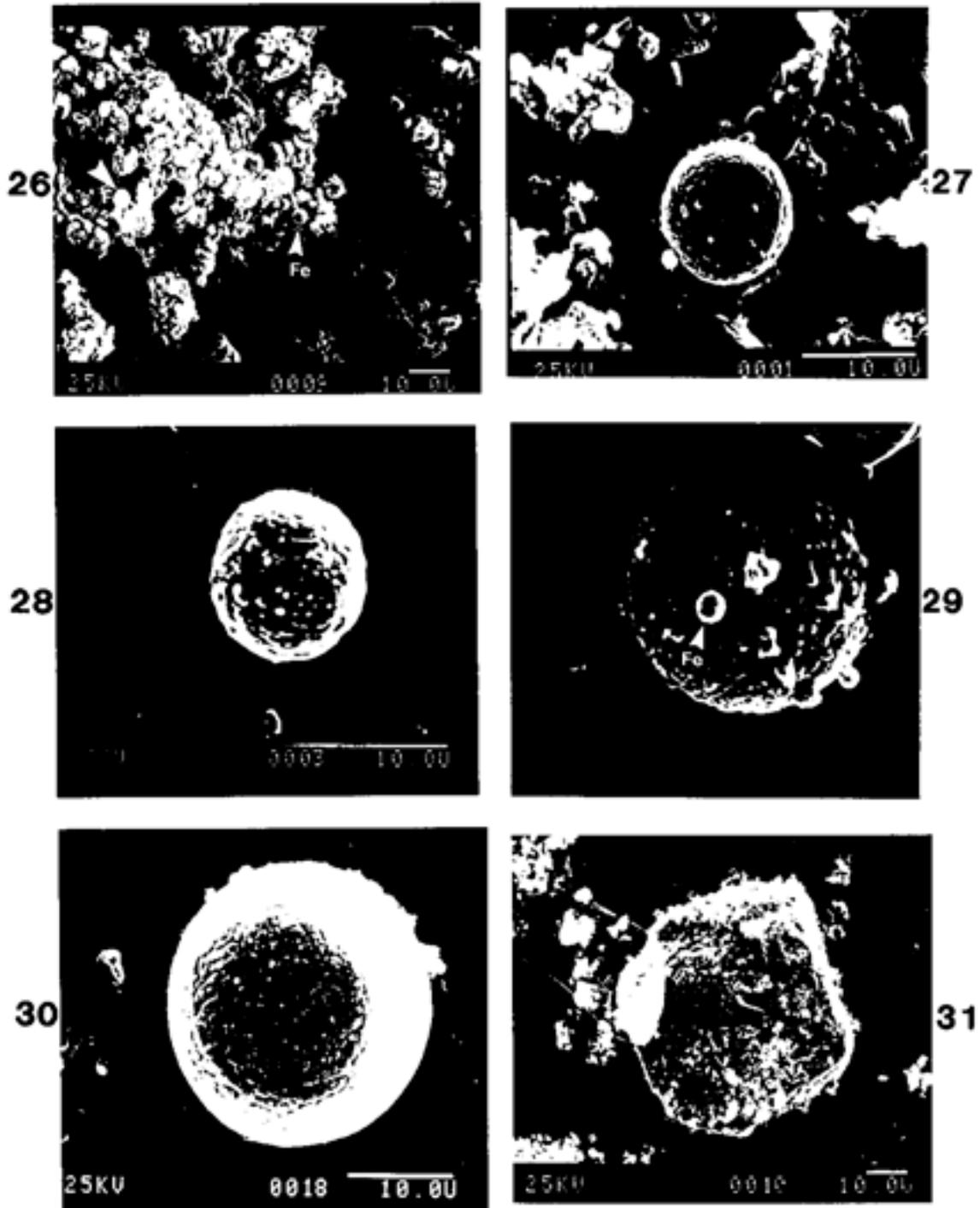


Abbildung 32/26-31

Schlacke

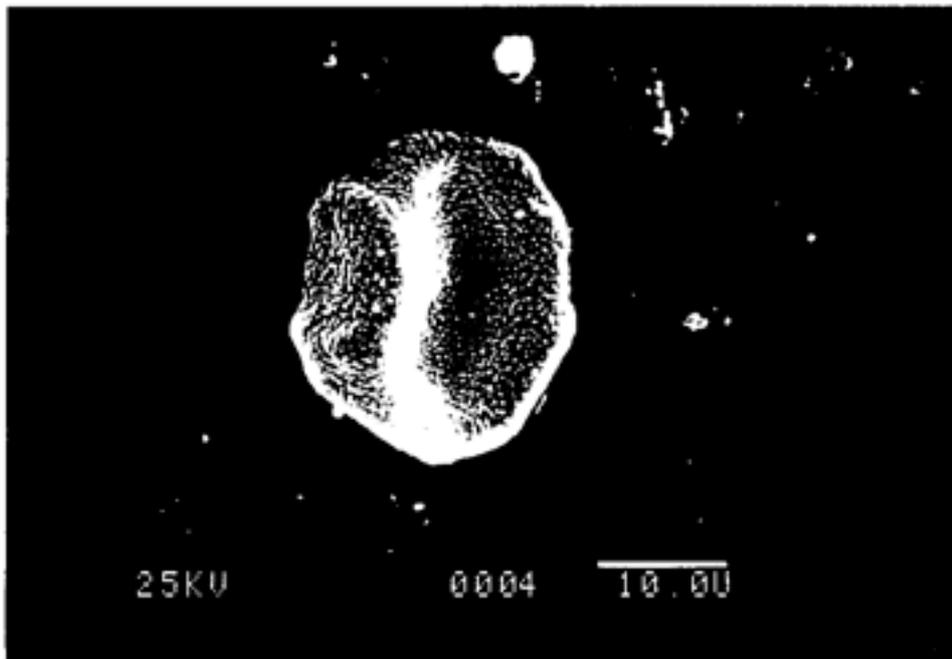


Abbildung 32/1 - Pollenkorn von Alnus (Erle), impaktiert am 16.3.1991 während eines starken Pollenfluges. Nur wenige Feinstaubteilchen mit Durchmessern  $< 1 \mu\text{m}$  haften der Oberfläche an.



Abbildung 32/2 - Erlenpollen mit teilweiseem Verlust der typischen Oberflächentextur. Die Außenhülle zeigt Risse und glatte Vorwölbungen. Pollen unterliegen auf ihrem Flug Umwelteinflüssen, die für Oberflächenveränderungen sorgen.

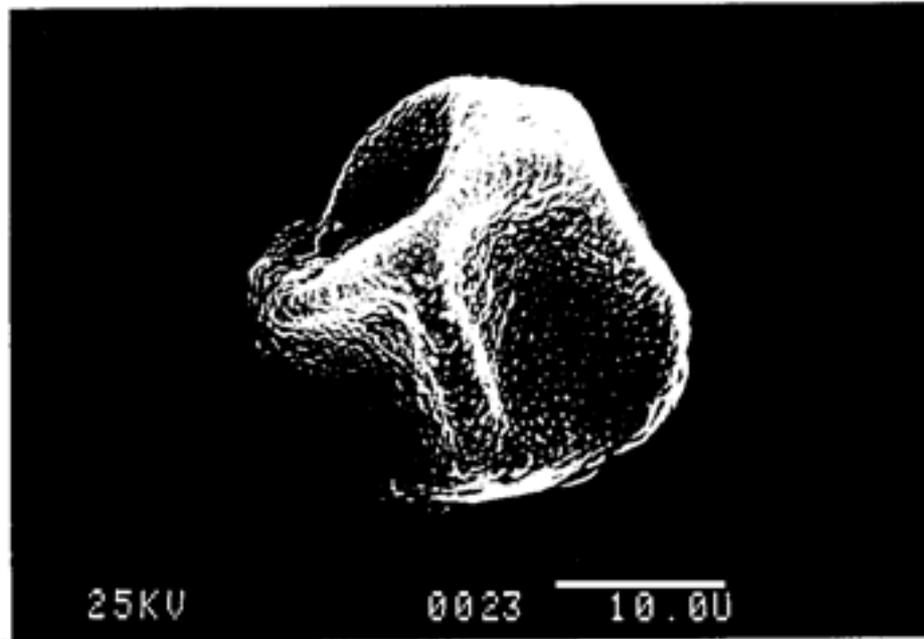


Abbildung 32/3 - Alnus (Erle) - intaktes Blütenstaubkorn ohne faßbaren Staubbeslag.



Abbildung 32/4 - Erlenpollen mit deutlicher Alteration der Außenhülle (Exine). Glatte Areale, z. T. wulstförmige und halbkugelige Protuberanzen.

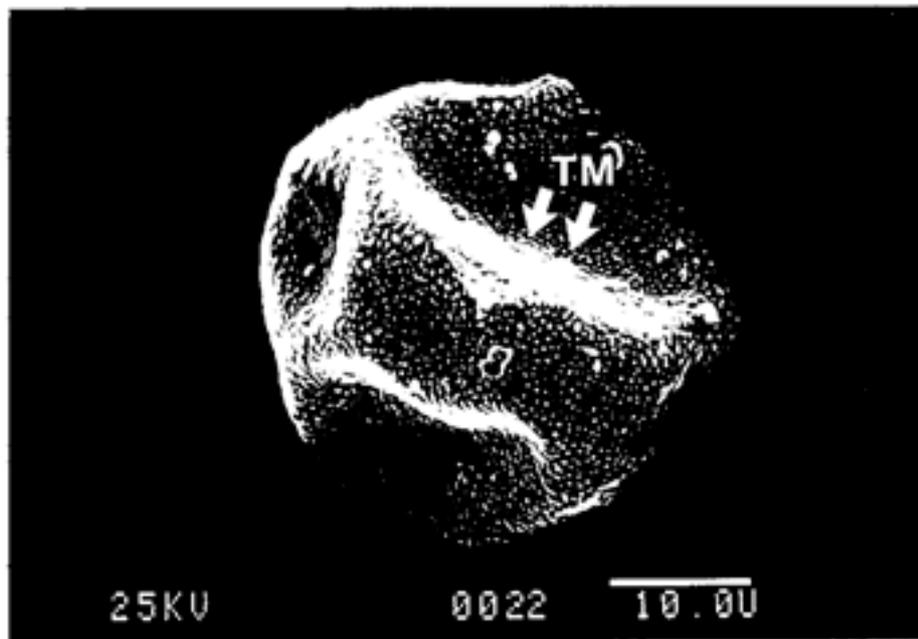


Abbildung 32/5 - Alnus-(Erlen-)Pollen mit Tonmineralen (TM) an seiner Oberfläche (↘↘ mit Pfeilen markiert)



Abbildung 32/6 - Blütenstaubkorn einer Erle. Mit org markiert sind zwei globuläre organische Agglomerate mit einem Durchmesser von 2 und 4  $\mu\text{m}$ , wahrscheinlich extrudiertem (End)Exinenmaterial entsprechend.

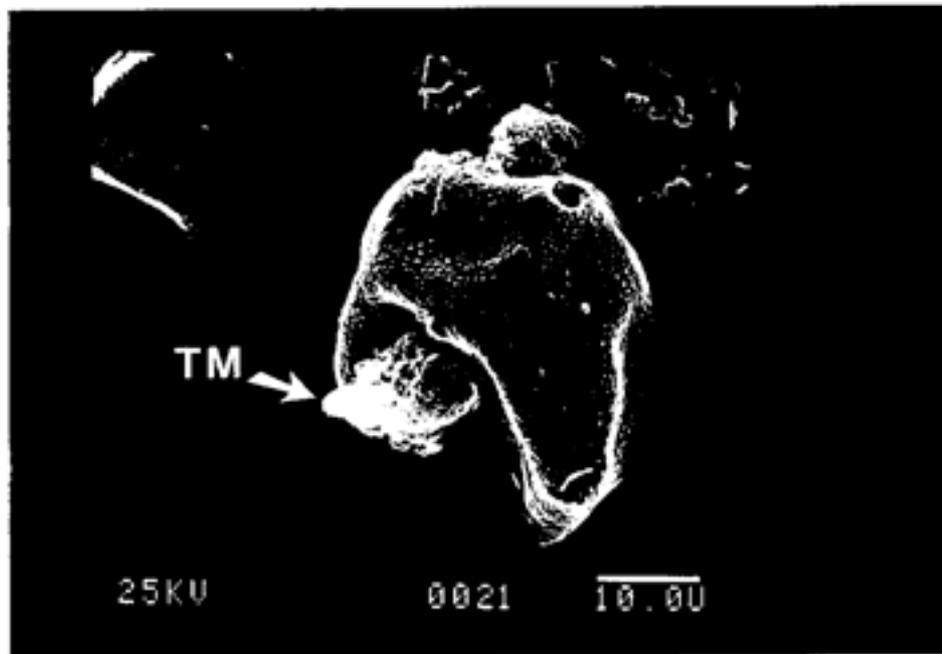


Abbildung 32/7 - Corylus: Haselpollenkorn mit angelagertem Agglomerat, das sich bei der kombinierten EDX/REM-Analyse Tonminerale (TM) zuordnen ließ.

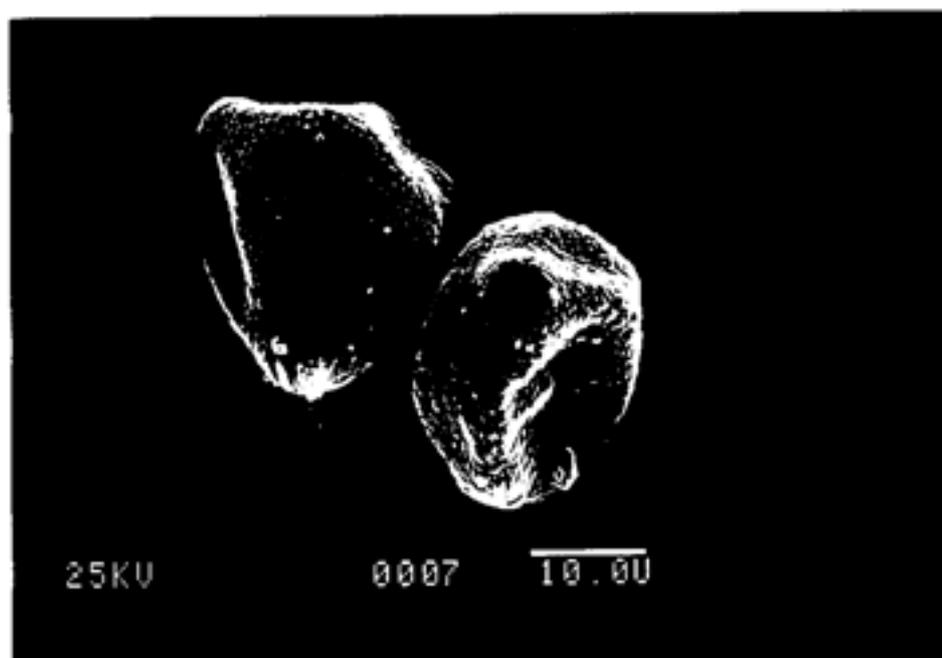


Abbildung 32/8 - Weitere Haselpollen mit wenig Feinstaub  $< 1\mu\text{m}$  und umschriebenen Exinen(Außenhüllen)veränderungen.

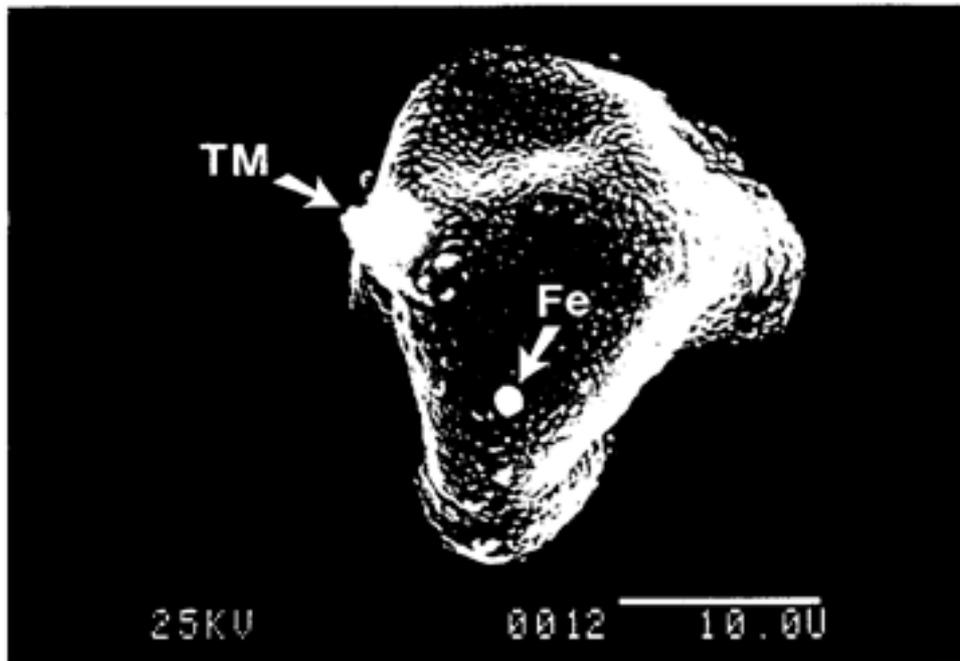


Abbildung 32/9 - Blütenstaubkorn einer Hasel. Neben einer Hüllenprotuberanz findet sich ein ca. 1,2  $\mu\text{m}$  großes Eisenpartikel (Fe).

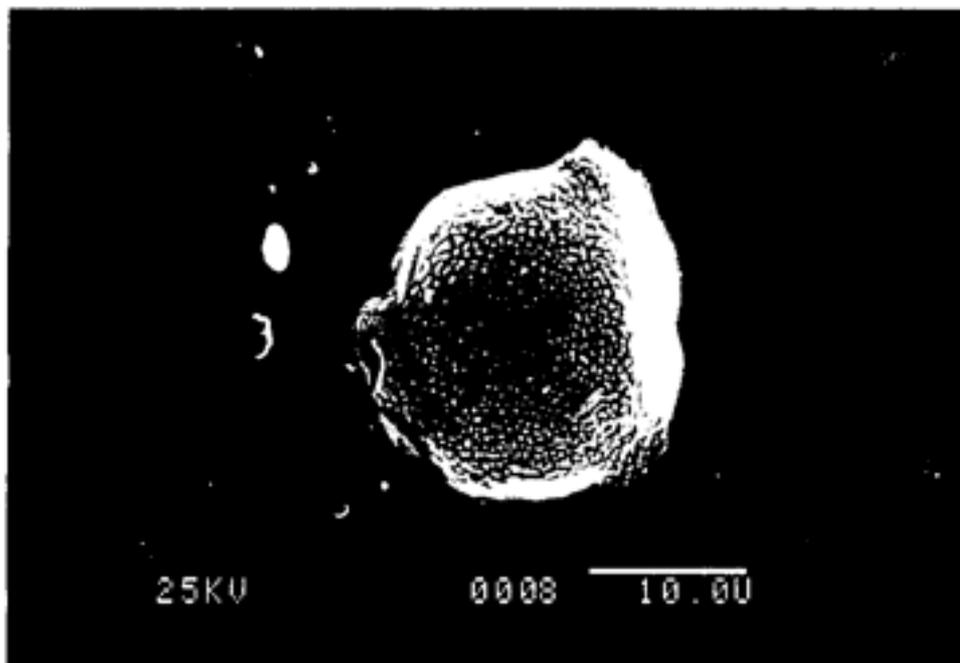


Abbildung 32/10 - Haselpollen - Sein größter Durchmesser beträgt 24  $\mu\text{m}$ . Es ist damit ähnlich wie die Blütenstaubkörner anderer Pflanzenarten nicht atemwegsgängig, d.h. es impaktiert im Nasen-Rachenraum, bevor es in die Atemabschnitte unterhalb der Stimmbänder gelangen kann.

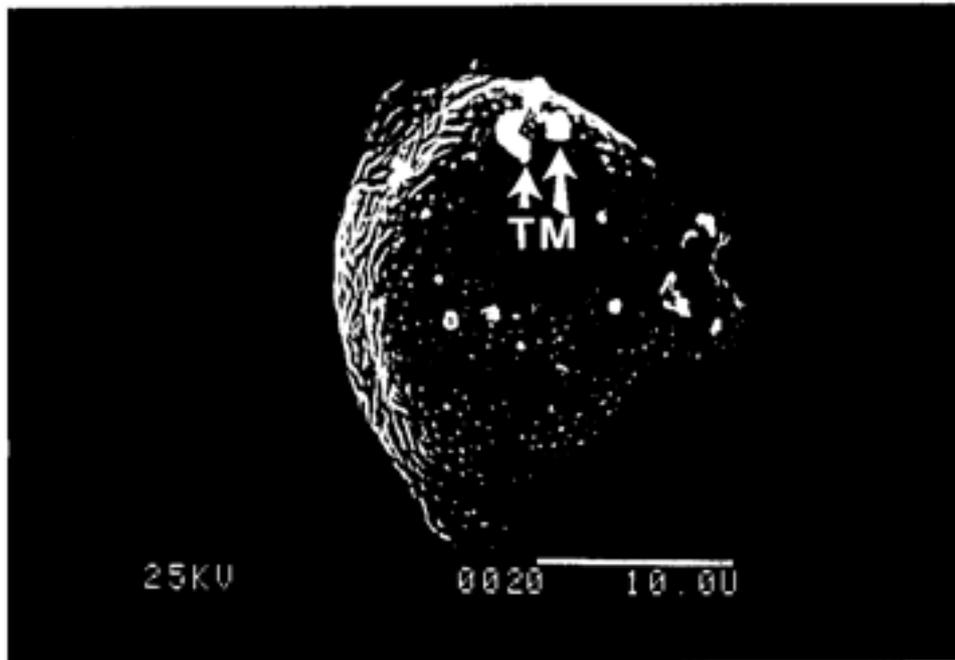


Abbildung 32/11 - Betula (Birke): Auf dem Pollenkorn haften an der mit ↑↑ markierten Stelle Tonminerale (TM) an. Daneben finden sich kleine Staubkörnchen der Ultrafeinstaubfraktion.

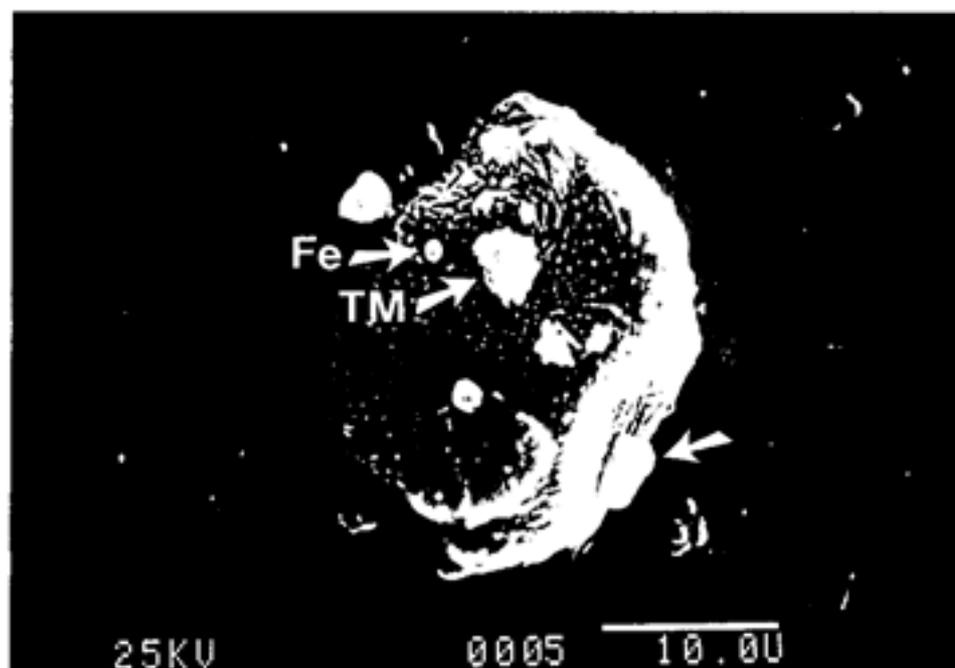


Abbildung 32/12 - Birkenpollenkorn mit multiplen Oberflächenveränderungen und unterschiedlichen adsorbierten Staubteilchen (Fe Eisensphäroide, TM Tonminerale)

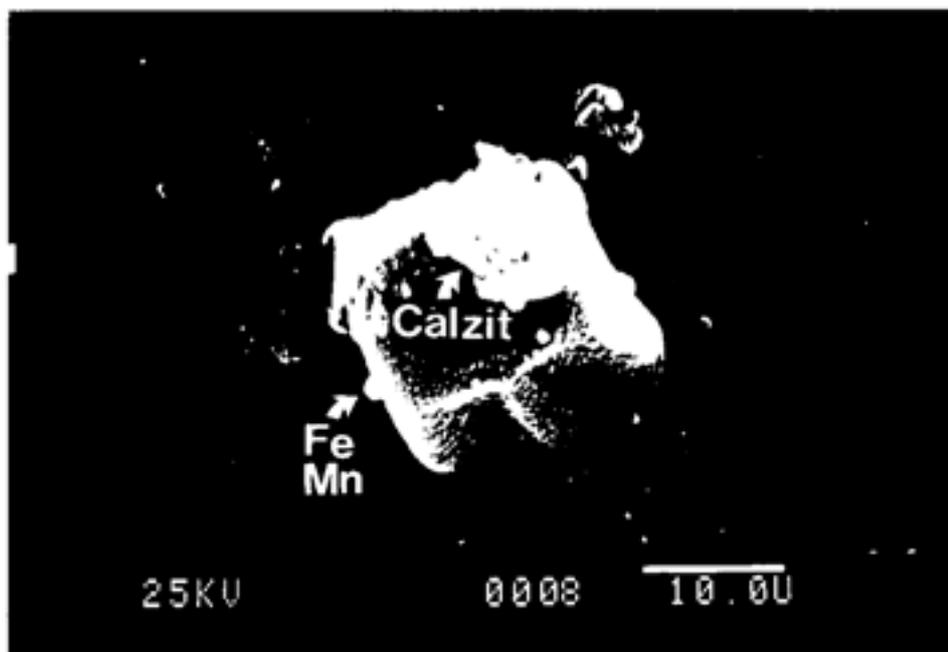


Abbildung 32/13 - Birkenpollenkorn: Dem 25  $\mu\text{m}$  großen Blütenstaubkorn sitzt ein kleiner Calzitpartikel auf.

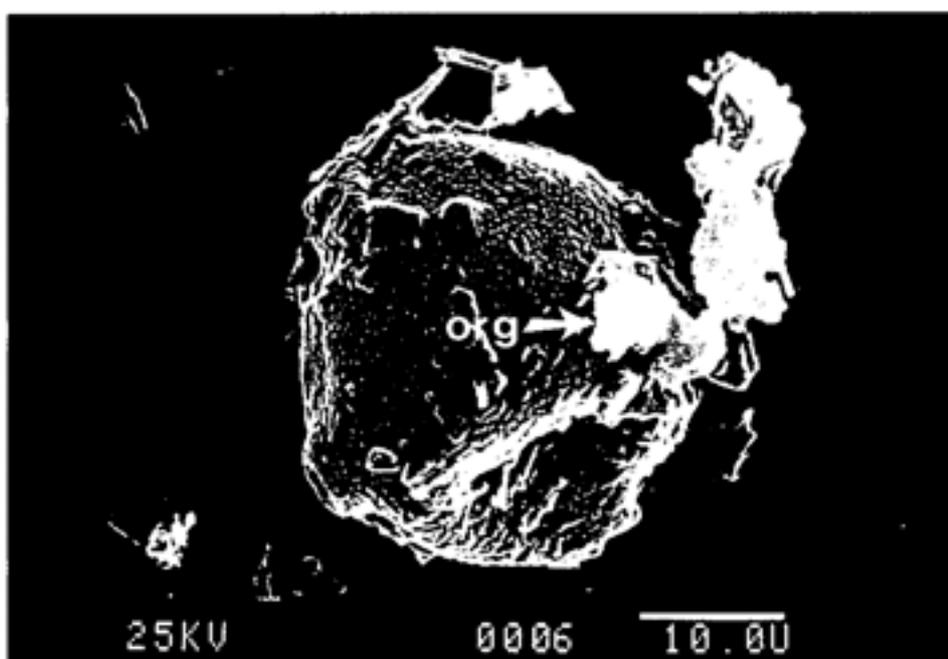


Abbildung 32/14 - Dieser Birkenpollen ist ausgeprägt oberflächenverändert („gealtert“). Mit  $\uparrow$  markiert ist organisches Material (org).

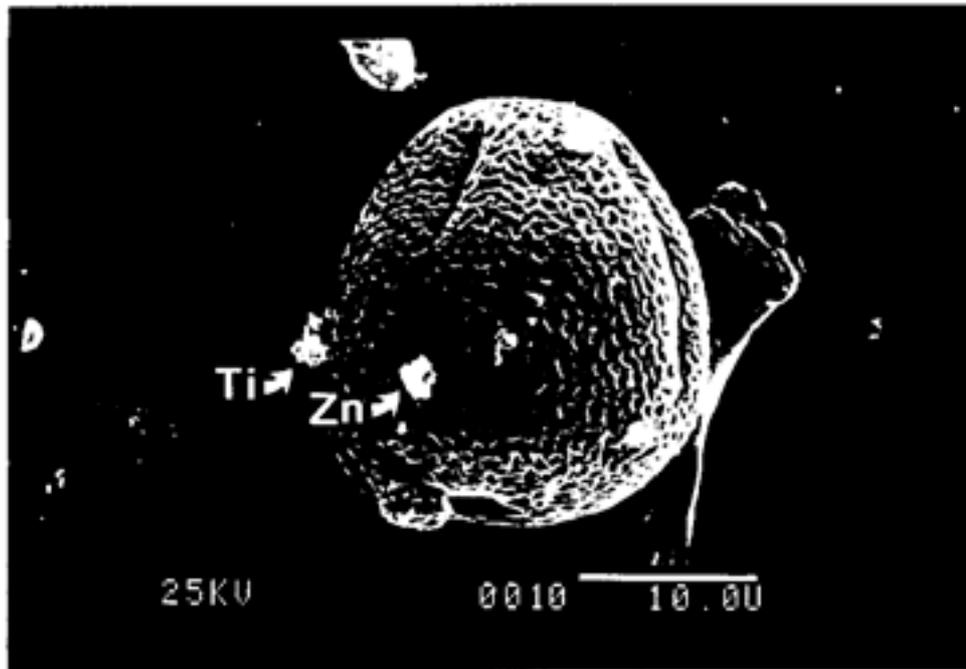


Abbildung 32/15 - Dem Fraxinus-(Eschen-)Pollen sind sowohl ein titan(Ti)- als auch ein zink(Zn)haltiger Partikel adhären. Über den genauen physikalisch-chemischen Haftmechanismus gibt es keine ausreichende Information.

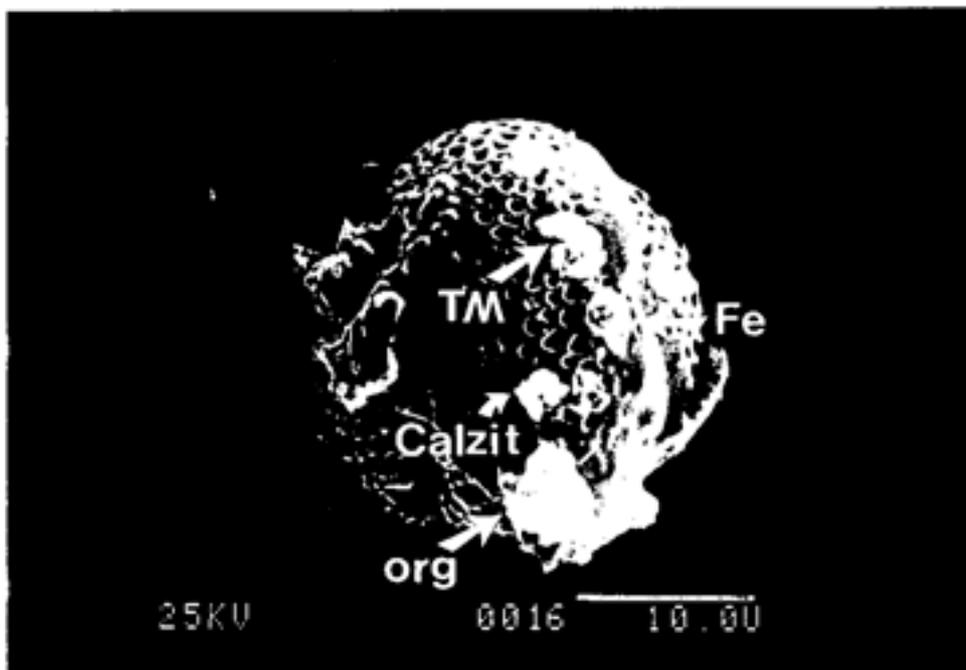


Abbildung 32/16 - Dem stark oberflächenalterierten Blütenstaubkorn der Weide (Salix) sind der Reihe nach von oben nach unten Tonminerale (TM), Eisen (Fe), Calzit und organisches Material (org) aufgelagert.

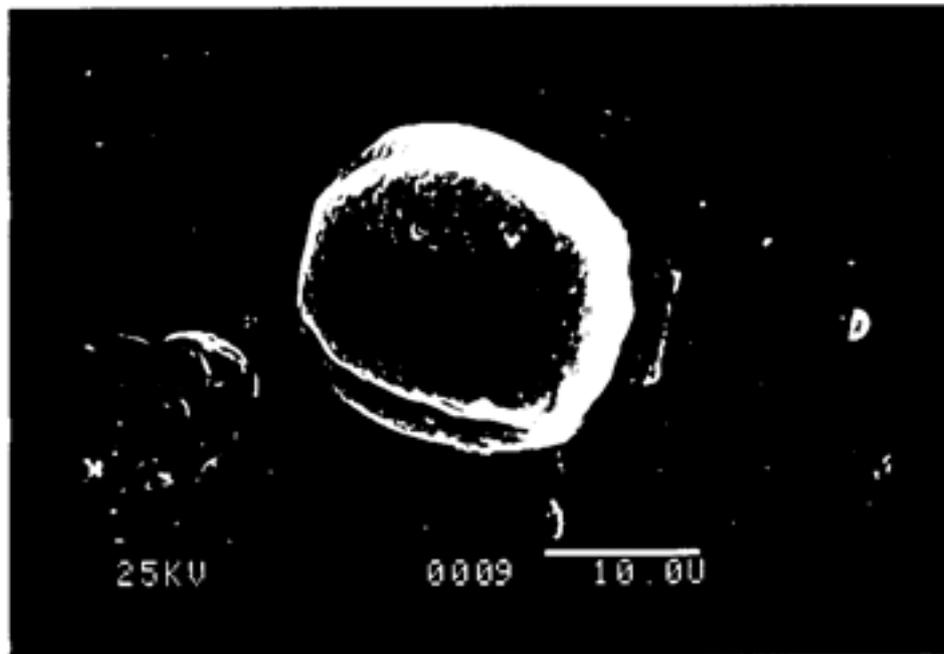


Abbildung 32/17 - Intaktes Blütenstaubkorn der Eiche (Quercus). Eichenpollen kommen im Linzer Raum vegetationsbedingt häufiger vor als am Alpennordrand.

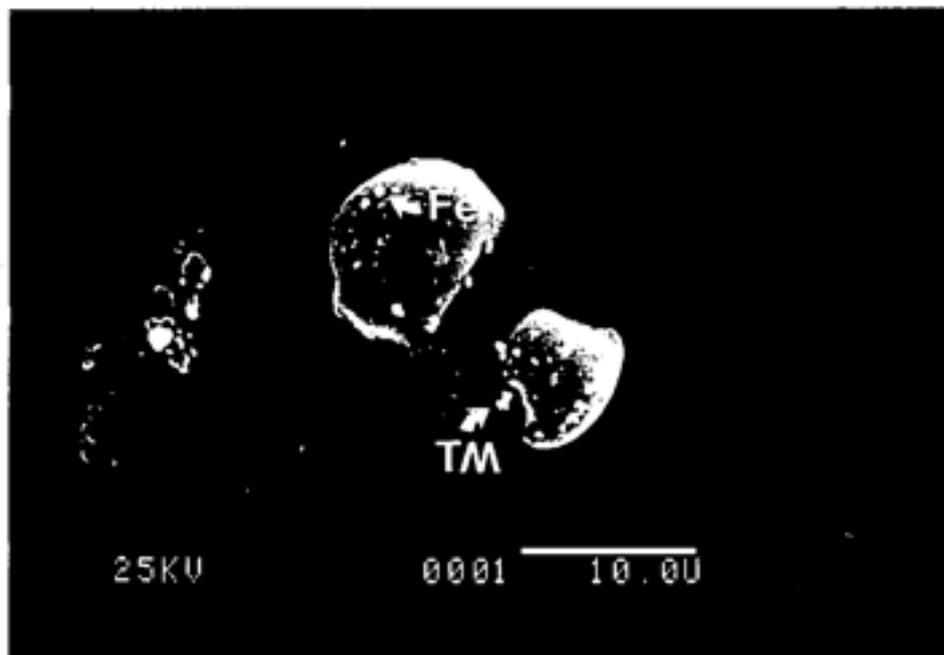


Abbildung 32/18 - Föhrenpollen (Pinus) mit vielen kleinen Staubteilchen. Einzelne davon wurden als Tonmineralien identifiziert.

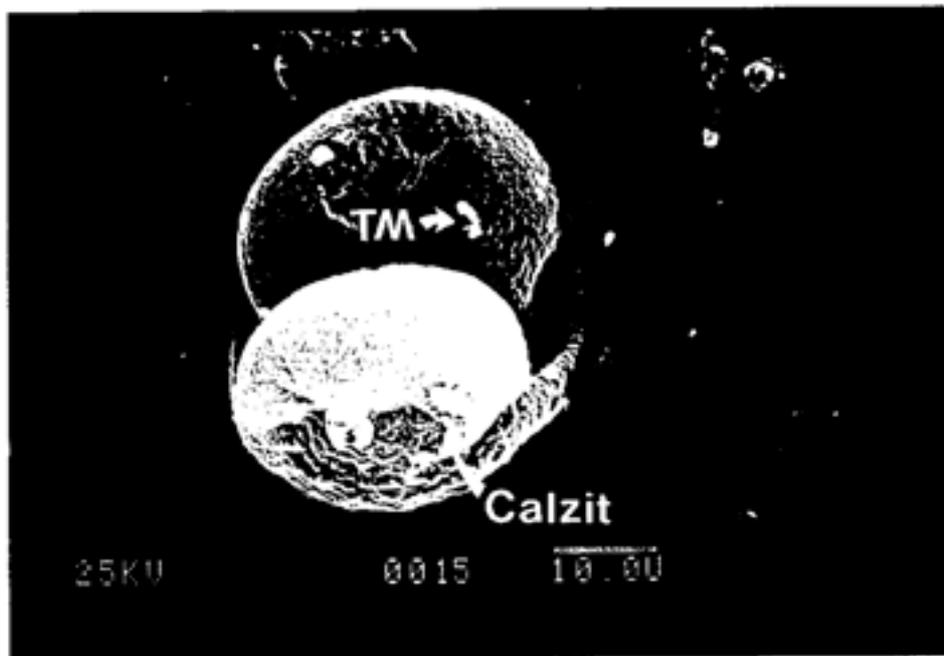


Abbildung 32/19 - Fichtenpollen (*Picea*) mit Oberflächenläsion und einzelnen Staubpartikeln, die als Tonmineralien (TM) und Calzit ausgemacht wurden.

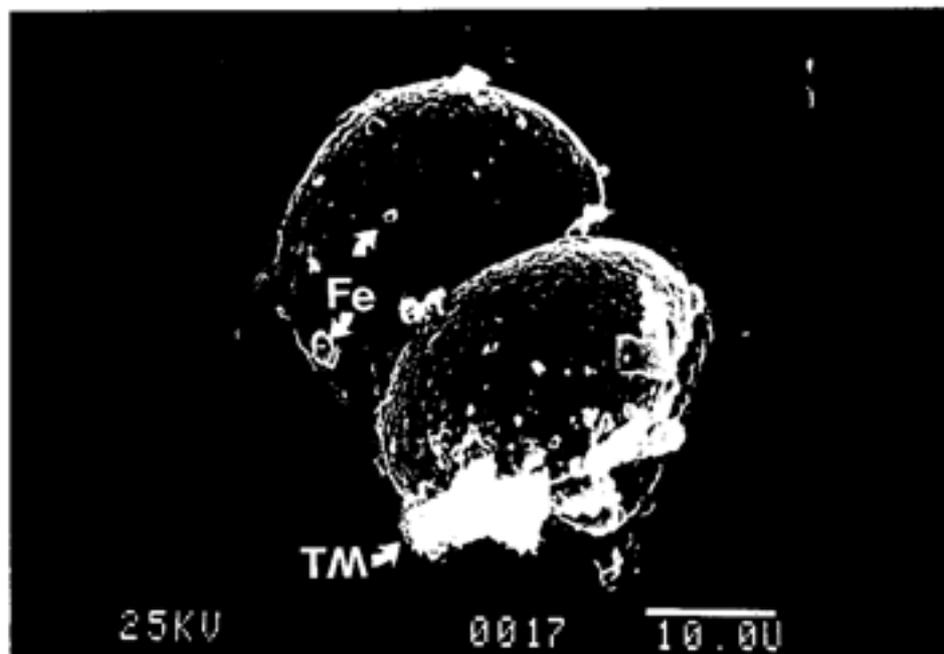


Abbildung 32/20 - Fichtenpollen mit aufgebrochener und teilweise eingedellter Hülle. Bei komplexem Staubbeslag sind Eisen (Fe) und Tonmineralien (TM) gekennzeichnet.

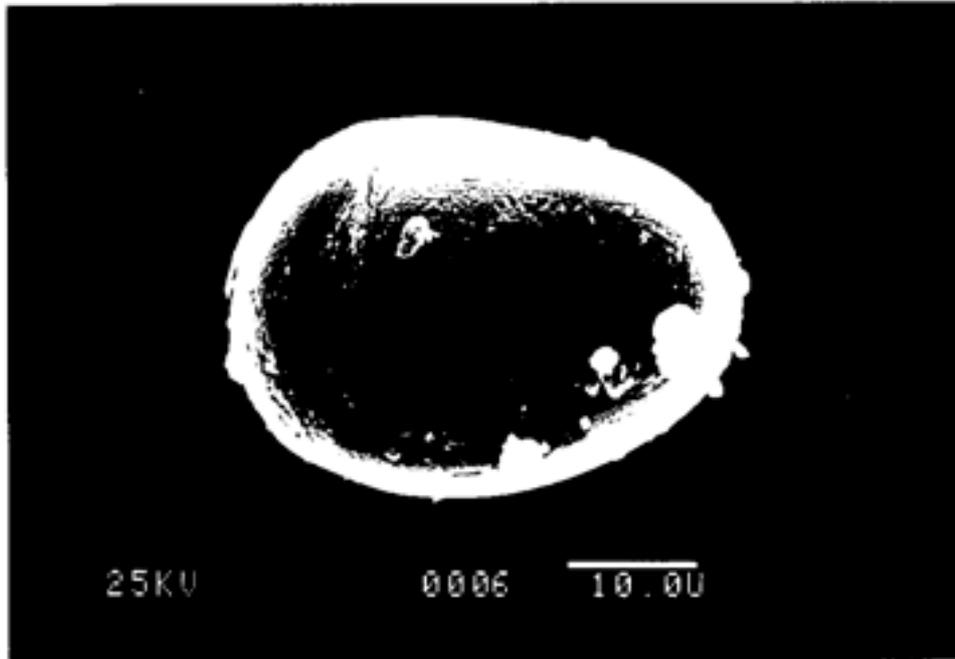


Abbildung 32/21 - Graspollen mit einer Dimension von  $29 \times 37 \mu\text{m}$  und glatter Oberfläche. Trotzdem haften Staubteilchen mit einer Größe von  $< 1 \mu\text{m}$  bis zu  $6 \mu\text{m}$  an. Ein Riß in der Hülle spiegelt denaturierende Einwirkungen.

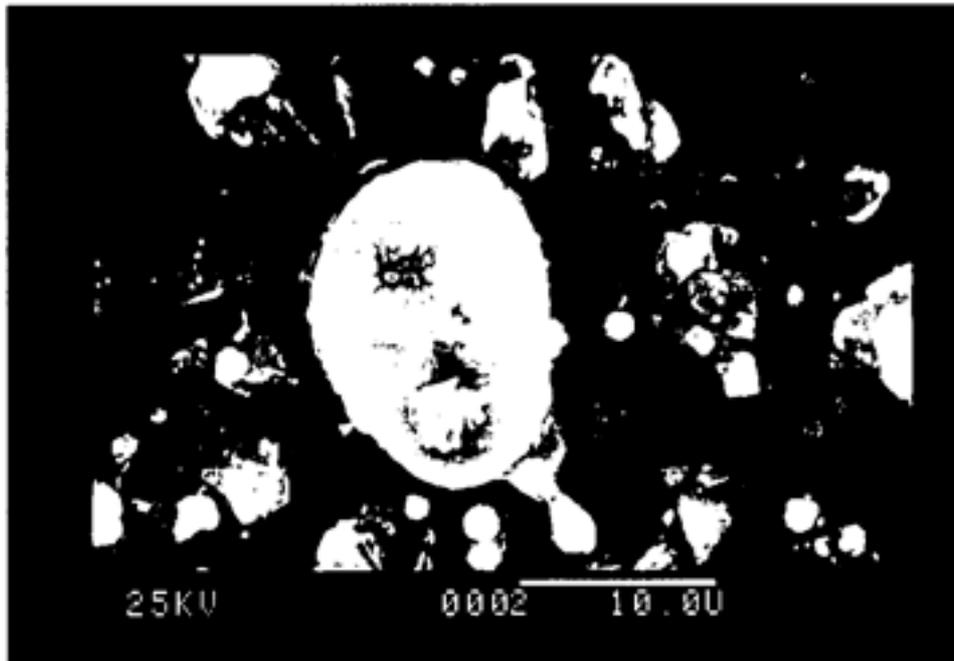


Abbildung 32/22 - Graspollen in staubigem Hintergrund. Auf seiner Oberfläche ein deutlicher Staubbeschlag. Die Oberflächenstruktur wiederum teilweise zerstört.

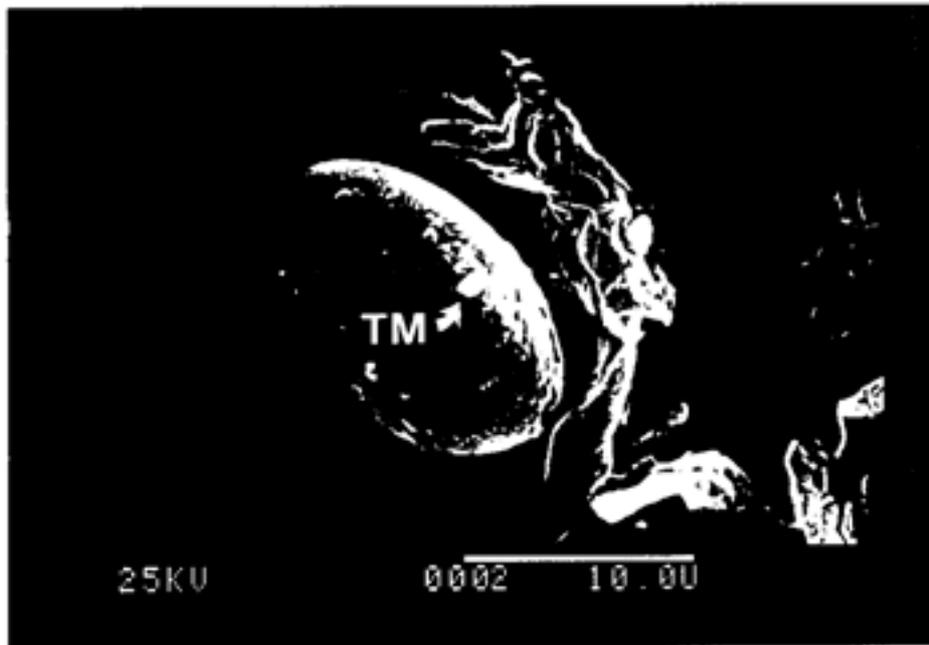


Abbildung 32/23 - Graspollen mit Tonmineralien (TM) auf seiner Hülle.

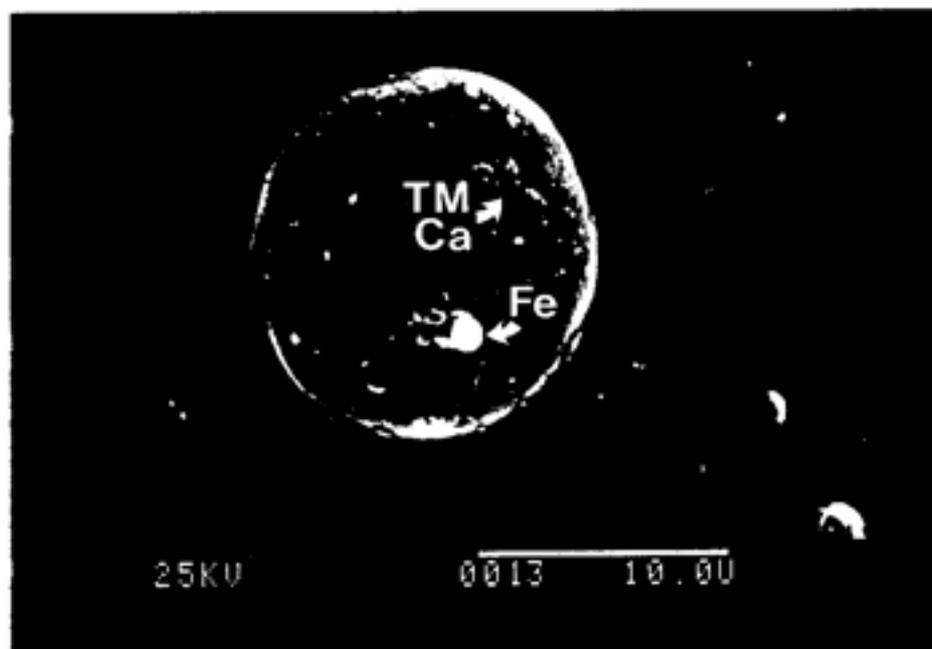


Abbildung 32/24 - Intaktes Blütenstaubkorn von Gräsern (Poaceae) mit einem Ultrafeinstaubbeslag, der neben Eisen (Fe) auch Tonmineralien (TM) und Calciumverbindungen (Ca) enthält.

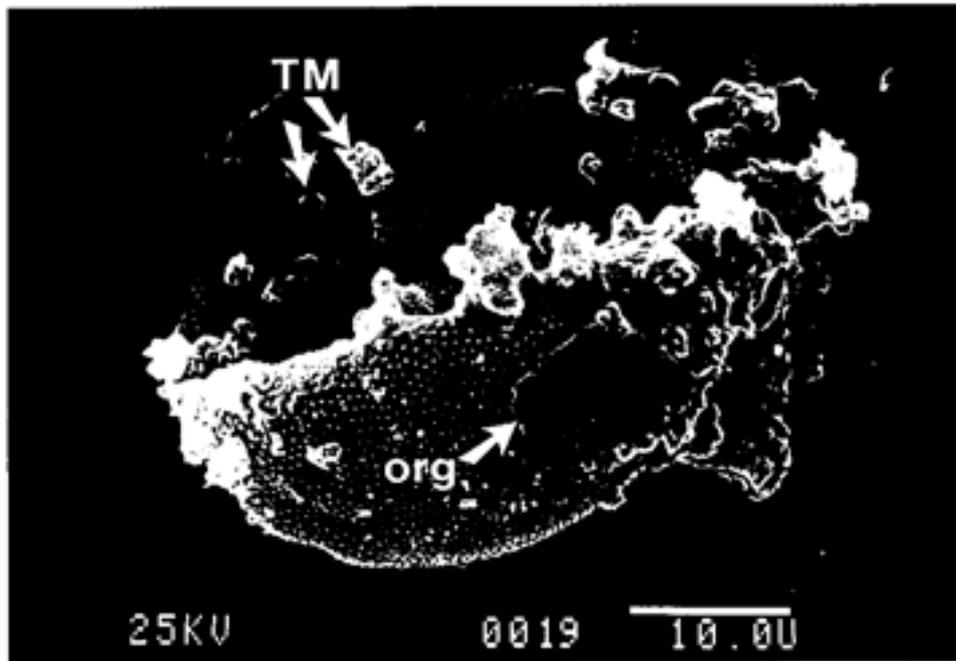


Abbildung 32/25 - Juglans (Walnuß): Dieses Pollenkorn ist eingefaltet und wahrscheinlich nur mehr ein „Jeerer Pollensack“. Neben weitgehendem Verlust der Oberflächentextur imponiert ein reicher Staubbefall und ein großer diskoider Partikel aus organischem Material.

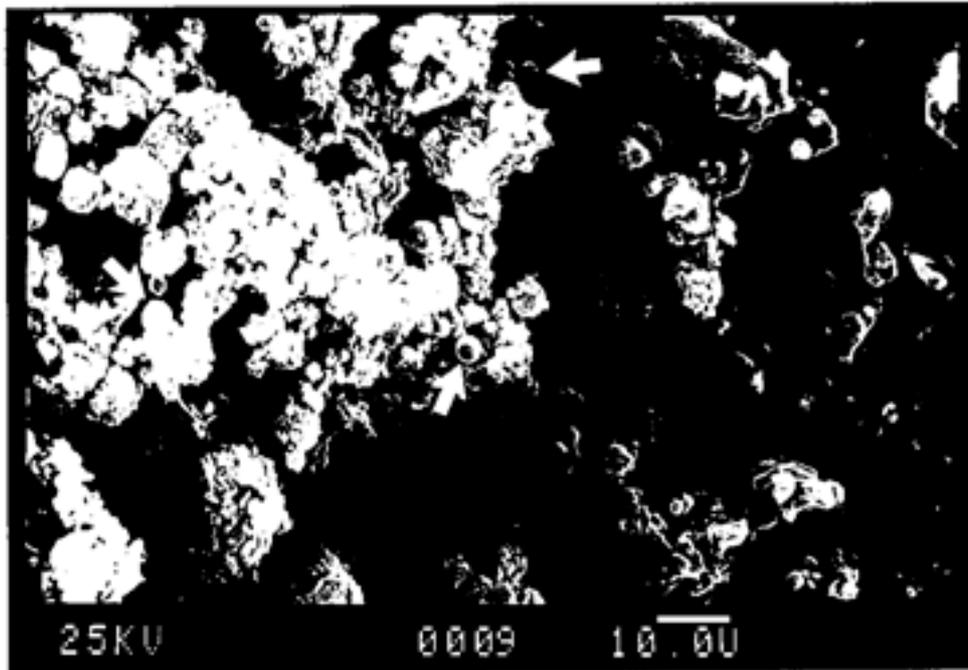


Abbildung 32/26 - Komplexer atmosphärischer Staub, in dem kleine kugelförmige Gebilde mit einem Durchmesser von  $4\mu\text{m}$  bis unter  $1\mu\text{m}$  auffallen. Es handelt sich dabei um Eisensphäroide ( $\text{Fe} \updownarrow$ ) aus der Eisen/Stahlproduktion.

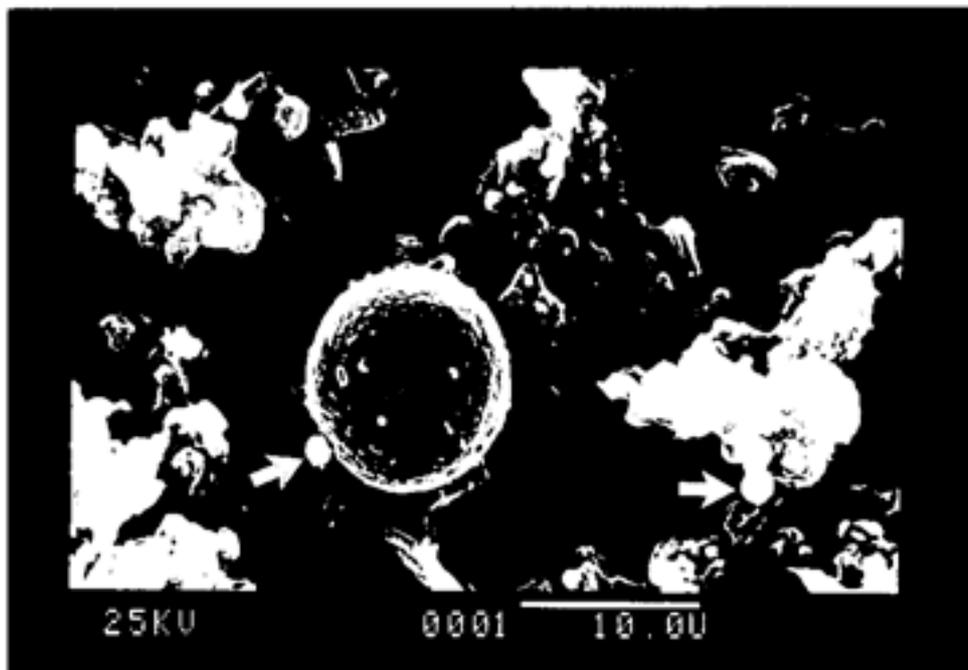
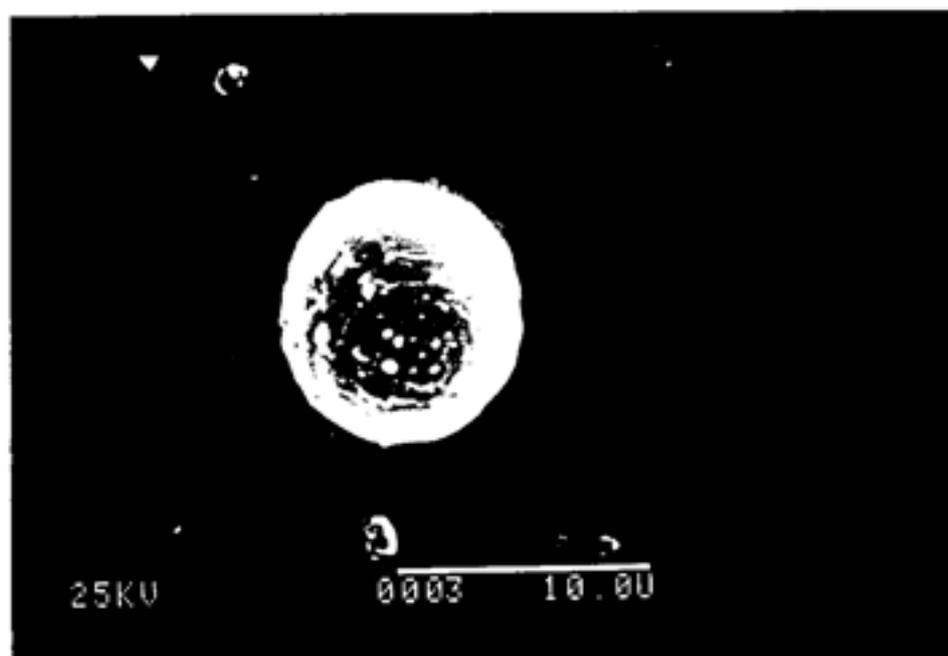
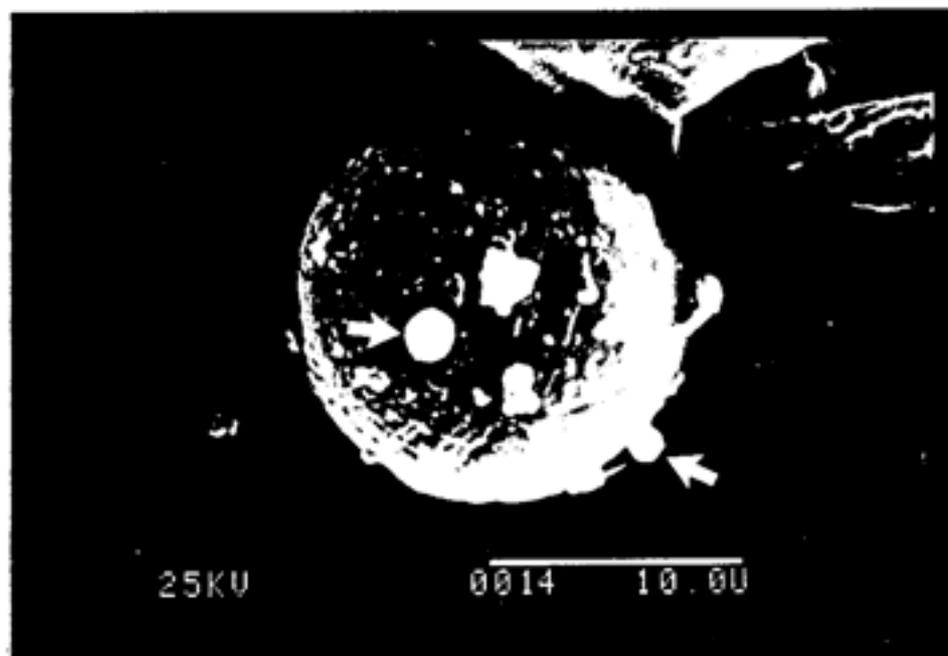


Abbildung 32/27 - Intaktes Blütenstaubkorn umgeben von reichlich Staub. In diesem und auf dem Pollen in unterschiedlicher Größe kugelige Eisensphäroide als eine Art „Indikator-Staubkomponente“ für den Eisen/Stahlhüttenbetrieb.



**Abbildung 32/28** - Multiple submikronische Eisenpartikel auf einem Pollen. Ähnlich wie in Duisburg, einer „Stahlstadt“ in Deutschland, trug auch in Linz Eisen deutlich zur Staubimmission bei. Die genaue biologische Bedeutung des atmosphärischen Eisens ist unbekannt.



**Abbildung 32/29** - Pollen mit Eisensphäroiden. In der Seitansicht scheint ein Eisenteilchen relativ breitbasig der Pollenoberfläche aufzusitzen als möglicher Hinweis auf eine bindende ev. pollen(exinen)eigene „Kontaktsubstanz.“

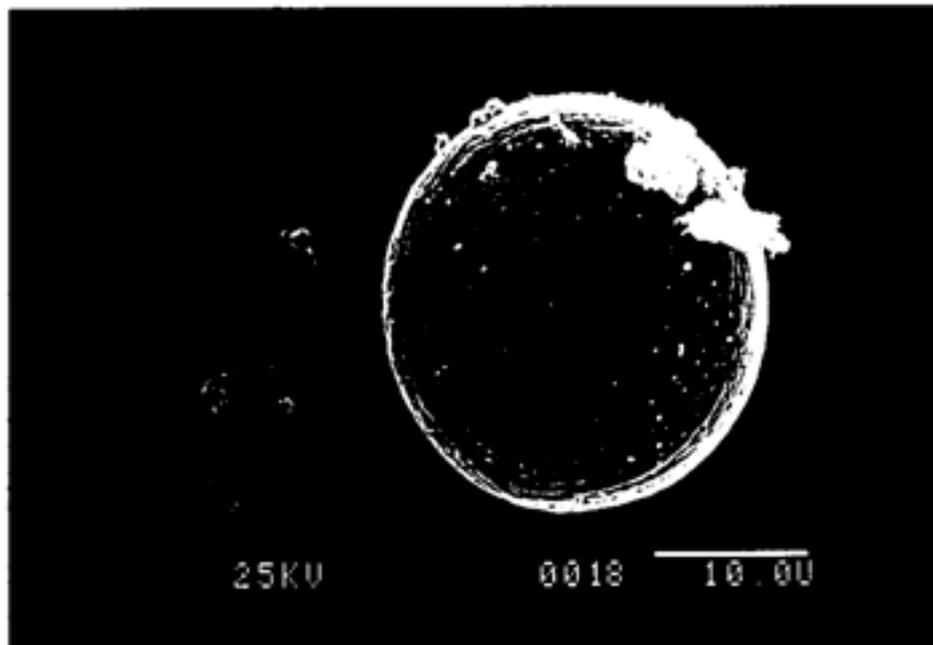


Abbildung 32/30 - Neben größeren bis 5µm großen Staubteilchen finden sich zahlreiche sphärische Eisenpartikel über die intakte Pollenoberfläche verteilt.

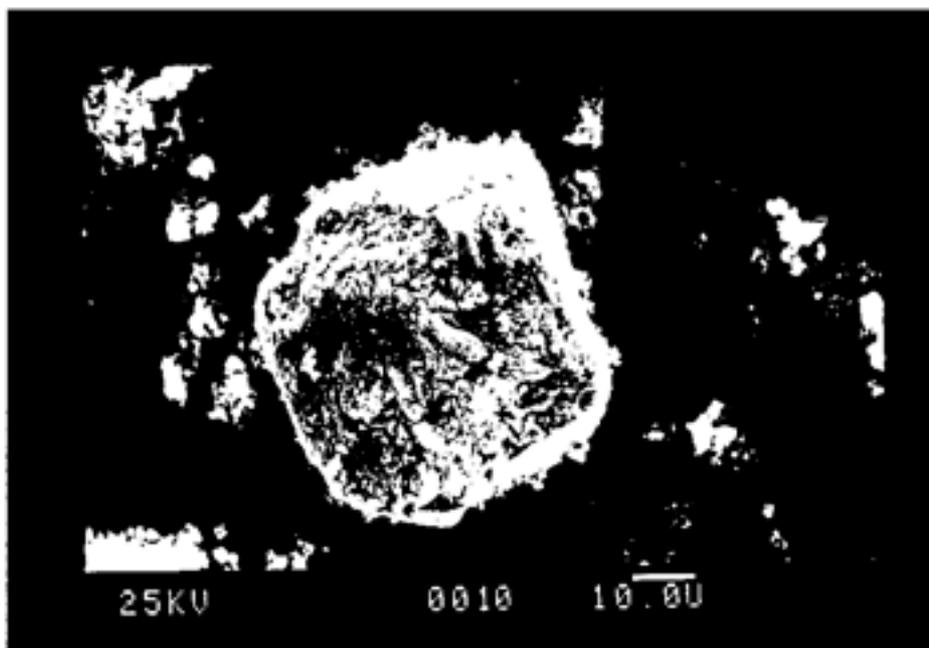


Abbildung 32/31 - Schlacketeilchen. Analog zu Pollen zeigen auch andere atmosphärische Großpartikel wie Schlacke oder Calzitkörner einen sekundären Staubesatz als Ausdruck eines „allgemeinen“ abiogenen „Haftmechanismus“.

## Zusammenfassung

Im Teil II des Untersuchungsberichtes über Zusammenhänge zwischen partikulären Aerosolen und Pollen wurde quantitativ und qualitativ die partikuläre Oberflächenfracht von Blütenstaubkörnern frühblühender Bäume sowie von Gräsern und Getreide im Ballungsraum mit gleichzeitiger Schwerindustrie und Großchemie für 1991 detaillierter untersucht.

Dabei wurden Pollenkörner unterschiedlich, jedoch bis zu 23 Prozent staubbefrachtet gefunden. Die Zusammensetzung der Staubfracht entspricht im wesentlichen den chemischen und morphologischen Komponenten des freien atmosphärischen Schwebstaubes. Organische chemische oder niedrig molekulare Verbindungen entzogen sich methodenbedingt dem Nachweis, obwohl sie für die beobachteten Oberflächenveränderungen der Pollen verantwortlich sein könnten.

Unerwartet wurden organische Oberflächenaggregate auf alterierten Blütenstaubkörnern gefunden. Ob sie das morphologische Substrat eines Freisetzungsmechanismus von Pollenallergenen sind, wird diskutiert. Freie, von Pollen dissoziierte Pollenallergene in globulärer Form wurden in der Literatur in einer Dimension berichtet, wie sie bei den von uns analysierten Pollenkörnern an der Außenhülle auftraten. Pollen präsentieren damit einerseits adsorbierten Feinstaub als wahrscheinlich auch Pollenallergene an ihrer Oberfläche.

Pollen sind humanpathologisch einerseits Allergen-Carrier, andererseits selbst ein Bioindikator für Umwelteinflüsse, da sie selbst Umwelteinwirkungen über Boden, Wasser, Pflanze und Luft ausgesetzt sind. Während der nächsten Jahre wird die Aufmerksamkeit auf wissenschaftliche Ergebnisse über die Beeinflussung von Pflanzen und ihren Blütenstaub durch Verkehr und industriell-gewerbliche Immissionen zu richten sein, da sie die Begrünung entlang der Verkehrswege und der städtischen Grünzonen mit "hypo- oder non-allergenen Pflanzen" beeinflussen könnten. Anthropogene Luft Schadstoffe wirken in mehreren Rückkopplungsschleifen - direkt und indirekt als eine Art "immunologischer Umweltbumerang" auf den Menschen selbst zurück.

Die eingehendere stufenweise Aufarbeitung, die medizinische Bewertung, die Einordnung in die gegenwärtige umweltmedizinische Problematik und die Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse sowie der gegenständlichen Literatur der letzten Jahre finden sich in den angeschlossenen Arbeiten mit den Titeln:

- 1) Pollen und partikuläre Aerosole im Ballungsraum
- 2) Oberflächenfracht von Pollen im Ballungsraum - vor allem aber in
- 3) **Pollen, Pollenallergene und partikuläre Luftschadstoffe - Aspektewandel**  
(siehe Anhang 3)

Der Auftrag zu diesem zweiten Teil der Staub-Pollenuntersuchungen erfolgte durch das Amt für Umweltschutz des Magistrates der Landeshauptstadt Linz unter der Leitung von Mag. Dr. Walter Medinger. Die Pollen- und Staubanalysen wurden von Univ.Prof. Dr. Roland Schmidt durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse sowie die Bewertung ihrer Bedeutung für den Menschen und die Publikation besorgte Prim. Dr. Herwig Schinko mit Unterstützung von Herrn Dipl. Ing. Wilfried Hager.

**Linz, Dezember 1994**

**Herwig A.E. Schinko**  
**Abteilung für Atem- und Lungenkrankheiten**  
**Allgemeines Krankenhaus, Linz**

### **Einleitung**

Pollen windblütiger Pflanzen gewannen als Allergenträger im 20. Jahrhundert zunehmend an humanpathologischer Bedeutung<sup>1</sup>. Die Größe der Blütenstaubkörner schwankt zwischen 10 und 100  $\mu$  (im Mittel zwischen 20 und 30 $\mu$ ). Diese aerodynamischen Durchmesser ließen eine Deposition nur an den Augen und im oberen Atemtrakt proximal der Glottis erwarten. Tatsächlich kennen wir jedoch nicht nur eine Pollinose der Augen, Nase und des Rachenraumes, sondern auch eine allergische Reaktion der subglottischen Atemwege. Die allergische Affektion der unteren Atemwege läßt ein allergenes Pollenmaterial unter 10  $\mu$  erwarten. Bei passender individueller Disposition wird ein allergisches Bronchialasthma durch frühblühende Bäume, Gräser und Getreidepollen induziert. In den USA ist die Sensibilisierung gegenüber Ambrosia (Ragweed) weit verbreitet. In Europa breiten sich diese Pflanze und mit ihr Pollen mit hohem Sensibilisierungspotential rasch aus.

Wachsendes Wissen über die allergenen Komponenten von Pollen und zunehmendes Verständnis der immunologischen Schleimhaut- und Gewebsreaktionen auf Aeroallergene könnten zur Vernachlässigung der Wissensgrundlagen über Pollengeneration, -Verbreitung, -deposition, -keimung und Allergenfreisetzung besonders unter Umwelteinflüssen führen<sup>2</sup>. Die Aufstellung von Pollenfallen brachte uns Informationen über Blütezeiten und Flugverhalten von Pollen windblütiger Pflanzen und erlaubte eine diagnoseweisende Korrelation mit saisonalen Atemsymptomen, obwohl die Symptomatik der Pollenimmission nachhinkt. Neben der beobachteten Vorverschiebung vor allem der Baumblüte während der letzten Jahre fallen konkomitante dunkel bis schwarze Staubniederschläge auf Registrier streifen der Pollenfallen auf. Pflanzen, Pollen und Menschen stehen gleichzeitig unter dem Einfluß dieser Stäube wie auch anderer Luftschadstoffe. Pollen ändern sich unter Schadstoffeinwirkung, sodaß ihre Verwendung als Bioindikatoren diskutiert wird. Für Ballungsräume wird eine höhere Pollenimmission als für Reinluftgebiete berichtet<sup>3</sup>. Verkehrsbelastete Ballungsgebiete sind im Vergleich zu Regionen mit geringerem Luftschadstoffgehalt durch höhere Allergen- Sensibilisierungsraten gekennzeichnet<sup>4,5</sup>.

Atmosphärischer Feinstaub selbst hat nicht minder große menschenpathogene Bedeutung als der Blütenstaub anemophiler Pflanzen. Verstärkte Lufttrübung (Haze), erhöhte Luftkonzentrationen an Black smoke (BS), TSP (Total suspended particles) bzw. SPM (Suspended particulate matter) und  $PM^{10}$  (Particulate matter, Schwebstaub von 10 $\mu$  und kleiner) sind statistisch signifikant mit der Variabilität an Todesfällen, Spitalsaufnahmen wegen Atem- und Kreislaufproblemen, Ambulanzbesuchen, Exazerbationen von chronischen Bronchitiden und Bronchialasthma assoziiert<sup>6,7,8,9,10</sup>.  $PM_{10}$  führt dosisabhängig zu einer Reduktion spirometrischer Parameter<sup>11,12</sup>. Die Freisetzung des atmosphärischen Feinstaubes erfolgt durch Industrie und Gewerbe, Verkehr und Energiegewinnung (einschließlich Hausbrand) in hoher Konzentration vor allem in Ballungsräumen. Tatsächlich findet eine parallele Immission von potentiell allergenen Pollen und von geogenem und anthropogenem Staub statt. Im Tierversuch potenzieren partikuläre Dieselverbrennungsrückstände und andere Luftschadstoffe adjuvant die Ovalbumin-Allergisierung im Atemtrakt von Tieren<sup>13</sup>. Derzeit dominiert in der Medizin häufig

noch die Vorstellung einer luftschadstoffbedingten Vorschädigung des Atemtraktes (Epithel-läsion, "mechanischer" Barrierenverlust) als Voraussetzung für eine konsekutiv erhöhte Infektanfälligkeit oder allergische Sensibilisierung, obwohl zunehmend simultane zytotoxische und zellfunktionelle Veränderungen v.a. der immunologisch bedeutsamen Zellen beschrieben werden. Die komplexe Immissionssituation in Ballungsgebieten durchkreuzt die (Wunsch)Vorstellung von einfachen monokausalen funktionellen und morphologischen Umwelt-Mensch-Zusammenhängen. Voraussetzung für die Erforschung von interaktiven Umweltnoxen und -einflüssen ist die Kenntnis ihres realen kombinierten Vorkommens, ihrer Zeitigkeit und Quantität.

Linz ist eine österreichische Industriestadt mit etwas über 200.000 Einwohnern. Im Großraum leben über 300.000 Menschen. Eine mehrortige Luftgüteüberwachung mit 10 größeren Meßstationen ist etabliert. Geografisch weist der Ballungsraum mit einer Lage an einer Donaukrümmung in einem nur nach Süden und Südwesten offenen Becken eine Besonderheit auf. Hügel begrenzen im Westen, Norden und Osten die Stadt mit einer Eisen-Stahl- und gleichzeitigen chemischen Großindustrie. Als weitere wesentliche Schadstoffemittenten sind der Verkehr, eine Kleinindustrie und v.a. während der Heizperiode Haushalte und Hausbrand neben anderen Kleinverbrauchern anzusehen. Während der letzten Dekade kam es vor allem durch Maßnahmen im Bereiche der Großindustrie zu einer bedeutenden Verbesserung der Luftgüte. Der Ferneintrag von Luftschadstoffen beträgt aufgrund von Modellrechnungen heute bereits 30-40 Prozent der Gesamtmission. Die Untersuchungen von Pollen und Schwebstaub im Jahre 1991 fallen bereits in eine Zeit rückläufiger Luftbelastungen, doch durch meteorologisch-industrielle "worst-case-Situationen" war die Schwebstaubbelastung mit der während der frühen 80er Jahre vergleichbar.

Detaillierter betrachtet wurden die Blütenstaub- und Feinstaubimmission zwischen 3/91 und 9/91. Ein Datenvergleich zwischen Linz und Reinluftgebieten am nördlichen Alpenrand wurde angestellt und die Assoziation von Pollen und atmosphärischen TSP in Linz näher untersucht. Die Teilchendurchmesser, die anorganische Zusammensetzung und die Aggregation des Schwebstaubes wurden qualitativ analysiert und dem Bodeneintrag und Bodenanalysen gegenübergestellt. Quantitativ und qualitativ wurde auch die Staubfracht einzelner Blütenstaubkörner untersucht.

## **Methodik**

Da die vollständigen Untersuchungsergebnisse unpubliziert sind und nur in Form eines ersten Teilberichtes an das Magistrat der Landeshauptstadt Linz<sup>14</sup> und eines Kurzvortrages bei der 13. Arbeitstagung für Umwelt-Allergie-Arbeitsmedizin in Linz<sup>15</sup> aus dem Jahre 1992 vorliegen, werden Methodik und Ergebnisse dargestellt.

Blütenpollen wurden am Landeskrankenhaus Gmundnerberg am Traunsee in einem Reinluftgebiet an der Alpennordseite und auf dem Allgemeinen Krankenhaus in Linz (hier in 15 m Höhe über dem Boden) in einem industriellen und verkehrsmäßigen Ballungsraum mittels Burkard-Pollenfalle gesammelt. Am AKH Linz wurde ein Doppelstreifen für die spätere licht- und rasterelektronenoptische Streifenauswertung (REM) sowie Röntgenmikroanalyse (EDX) aufgezogen.

Die Pollen der Sammelperiode März bis September 1991 wurden lichtmikroskopisch differenziert. Numerisch wurden Tages-, Monats- und Gesamtzahlen angegeben. Näher analysiert wurden elf Tage mit Pollenmaxima von Proben der Sammelstelle in Linz. Dabei wurden die Blütenstaubkörner nach Art und Zahl pro zwei Stunden dem impaktierten Staub

gegenübergestellt. Der Gesamtschwebstaub (TSP) wurde in 10-Minutenintervallen mittels Lichtextinktion (Angabe in Prozent) quantifiziert. Analog dem logarithmischen Ventilations/Perfusionsmodell der Lunge wurden für 2-Stunden-Abschnitte aus den Relativwerten von Pollen und Staubextinktion Staub-Pollen-Rationes bestimmt mit Definition ausschließlicher Staub- oder Pollenpräsenz bei Unterschreiten des 3 %-Anteils bzw. Überschreiten des gut 30-fachen des Vergleichsparameters. Für jeden einzelnen Untersuchungstag wurde mittels linearer Korrelation untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen mittlerer 2-Stunden-Staubextinktion und Polleneintrag pro 2-Stundenintervall besteht.

Als Hintergrundinformation wurden die Monatsmittelwerte für PM<sub>10</sub> zwischen März und September 1991 an den Meßorten Bad Ischl einer industriefreien Kleinstadt am Alpennordrand ca. 20 km südlich der Pollenmeßstelle Gmundnerberg, denen des Linzer Industrieraumes gegenübergestellt. Die Luftgütemeßstelle in Linz befindet sich 800 m von der Burkard-Pollenfalle auf dem Allgemeinen Krankenhaus entfernt.

Vom atmosphärischen Feinstaub an den Tagen mit Pollenmaxima (12.3, 16.3., 17.3., 3.4., 5.4., 8.5., 10.5., 22.5., 7.6., 11.7. und 2.9.1991) wurde mittels Bildanalyse-System LUCIA ferner der mittlere Durchmesser und die mittlere Fläche der Schwebstaubkörner ermittelt, da der aerodynamische Durchmesser der Schwebstaubteilchen die Atemwegsgängigkeit bestimmt. Elektronenoptische Aufnahmen kombiniert mit einer Röntgenmikroanalyse erlaubten eine morphologische und chemische Zuordnung, methodenbedingt vor allem von anorganischen metallischen Elementen. Weiters wurde mit gleicher Technik die Staubfracht einzelner Pollenkörner (je 10 Birken-, Erlen-, Eschen- und Gräserpollen) quantitativ in % staubbesetzter Pollenoberfläche bestimmt und der zeitlich zugehörigen mittleren 2-Stunden-Staubkonzentration gegenübergestellt. Qualitativ wurde mittels REM-EDX die Zusammensetzung der Mikroagglomerate an der Pollenoberfläche der genannten als auch auf anderen Blütenstaubkörnern analysiert.

## **Ergebnisse**

### **1. Vergleich der Pollenimmission im Ballungsraum und Reinluftgebiet**

Zwischen März und September 1991 wurden bei Sammlung mit der Burkard-Falle an der Meßstelle in Linz gesamt 22.148 und an jener auf dem Gmundnerberg 28.966 Pollen gezählt. Damit wurde entgegen anderen Ballungsräumen (Düsseldorf, Köln, Wien) im Linzer Industriegebiet ein geringerer Blütenstaubeintrag während der Pollensaison 1991 als im 70 km entfernten Reinluftgebiet festgestellt. Während die einzelnen Gesamtpollenzahlen bei Erle, Hasel, Buche und Ampfer vergleichbar waren, wurden für Birke, Esche, Gräser und Getreide und Wegerich am Gmundnerberg deutlich höhere Blütenstaubmengen nachgewiesen. Im Gegensatz dazu war die Zahl der Blütenstaubkörner für Eichen vegetationsbedingt in Linz beträchtlich höher als im Voralpengebiet. Neu trat in Linz Ambrosia auf. Ragweed breitet sich in Österreich gegenwärtig in Ost-West-Richtung aus.

### **2. Vergleich der PM<sub>10</sub>-Immission im Ballungsraum und Reinluftgebiet**

Im gleichen Zeitraum betrug das durchschnittliche Monatsmittel atmosphärischen Feinstaub-eintrags im Linzer Industrieraum 64 µg/m<sup>3</sup> Luft, während es an der Meßstelle in Bad Ischl etwas südlich des Meßpunktes Gmundnerberg um 29 µg/m<sup>3</sup> schwankte. Die Monatsmittel von 109 und 70 µg/m<sup>3</sup> in Linz im März und April 1991 spiegeln die ausklingende Heizperiode

wieder. Im Linzer Raum wurden PM<sub>10</sub>-Tiefstwerte im Juli und August mit 43 und 49 µg/m<sup>3</sup> und damit nach der Pollenhauptsaison gefunden.

### **3. Pollen-Schwebstaub-Charakteristika und -Assoziation an 11(12) Tagen mit Pollenmaxima**

Zwischen 3/91 und 9/91 wurden 11 Tage mit Pollenmaxima ausgewählt, wobei am 12.3., 16.3. und 17.3. sowie am 3.4 und 5.4.1991 relativ hohe Staubkonzentrationen gemessen wurden. Demgegenüber lagen die Tagesmittelwerte an PM<sub>10</sub> an den übrigen Tagen mit Pollenpeaks am 8.5., 10.5. und 22.5., 7.6., 11.7. und 2.9.1991 mehr oder minder deutlich unterhalb 100 µg/m<sup>3</sup>.

Bei Korrelation der mittleren 2-Stunden-TSP-Konzentration (gemessen in % Lichtextinktion alle 10 Minuten) mit der an der Burkardfalle impaktierten Pollenzahl/2 Stunden (12 Intervalle/Tag) an insgesamt 12 Tagen, den 11 aufgehsteten sowie dem 12.6.1991 mit einem diskreten Gräserpollenmaximum, fand sich bei linearer Regression nur an einem einzigen Tag eine schwache Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von lediglich  $r=0,52$ . An den elf übrigen Tagen bestand kein statistischer Zusammenhang zwischen Pollenzahl und atmosphärischer Schwebstaubkonzentration. Dies ist Ausdruck voneinander unabhängiger Emissionsquellen für TSP und Pollen. Andererseits schließt diese mangelnde Beziehung zwischen Blütenstaub und Schwebstaub mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit einen wesentlichen Einfluß der atmosphärischen Staubpartikel auf die Pollendeposition aus. Nichtsdestotrotz ist jedoch bei Anwendung eines dem Ventilations/Perfusionsmodell der Lunge analogen logarithmischen Modells eines "Staub-Pollen-Matching" das gleichzeitige Vorhandensein von Pollen und Schwebstaubpartikeln während 58,3% von 144 Zweistunden-Beobachtungsintervallen aufgefallen. Die simultane Inhalation von pollen- und schwebstaubhaltiger Luft im Freien und in verminderter Konzentration auch in Innenräumen an Schönwettertagen mit Pollenmaxima überwiegt. Damit bedarf es nicht der Annahme einer partikulären Vorschädigung der Mukosa der Atemwege vor Pollen/Allergenkontakt. Atmosphärische Staubwirkungen koinzidieren mit immunologischen Effekten inhalierter Pollen. Durch dieses wenn auch zufällige Zusammentreffen von Blüten- und Schwebstaub im Ballungsraum wird für den Expositionsfall der simultane modulatorische Einfluß von partikulären Luftschadstoffen auf immunologische Prozesse vorstellbar.

Während die an den Untersuchungstagen dominanten Pollen von Erle, Hasel, Birke, Esche, Eiche, Ampfer, Gräsern, Brennessel und Ambrosia aufgrund ihres Durchmessers von mehr als 10 Mikrometern kaum die Atemwege unterhalb der Stimmbänder erreichen, lag der mittlere Durchmesser des impaktierten Feinstaubs im Linzer Zentralraum durchschnittlich zwischen 5 und 10 µ. Er war bei einem Größenbereich zwischen 1 und 80 µ in hohem Maße atemwegsgängig. Aufgrund des gefundenen aerodynamischen durchmessers der Schwebstaubteilchen ist ein Niederschlag bis in die Lungenperipherie anzunehmen.

### **4. Qualitative Schwebstoffanalyse für 11 Tage mit Pollenmaxima**

Bei der qualitativen REM und EDX-Analyse wurden die von Staubeintrag und von Bodenanalysen bekannten Elemente Silizium, Kalzium, Eisen, Schwefel, Zink, Mangan, Kalium, Natrium und Titan, jedoch kein partikelgebundenes Blei und auch keine unter der Nachweisgrenze liegenden "Spurenmetalle" gefunden. Si lag in Form von Quarz und Silikaten vor, Ca als Kalzit oder Gips. Daneben wurden Tone detektiert. Eisen imponierte elektronenoptisch als Eisensphäroide. NaCl in kristalliner Form wurde auf die Salzstreuung zurück-

geführt. Sphärische Karbonpartikel wurden als vorwiegende Residuen von Kohle/Koksverbrennung während der auslaufenden Heizperiode v.a. im März gesehen.

In Tabelle 3 sind die atmosphärischen Feinstäube von Düsseldorf, Duisburg und Linz bzw. der Bodeneintrag und Bodengehalt an verschiedenen Elementen in Linz zusammengestellt. Vom geogenen Partikelhintergrund heben sich die anthropogenen Silikate, Gips, Eisensphäroide und Karbonmikrosphären ab.

Größere Staubpartikel, wie Kalzit- oder Quarzkörner, Schlacketeilchen, sphärische Karbonpartikel, aber auch Pollen selbst waren häufig mit einem sekundären Staubfilm beschlagen, der einen Teilchendurchmesser von wenigen Mikrometern bis hin zu submikronischen Dimensionen aufwies. Immunologisch-allergologisch scheinen die Pollen-Feinstaubagglomerate bedeutsam, weil die Blütenstaubkörner einerseits selbst unmittelbar partikulären Schadstoffwirkungen ausgesetzt sind, andererseits anhaftend ein potentiell zytotoxisches Agens oder agglomeriertes Adjuvans für eine gesteigerte Sensibilisierung mitführen.

## **5. Quantitative und qualitative Analyse der Pollenstaubfracht**

Tabelle 4 gibt die Staubfracht von je 10 Erlen-, Birken-, Eschen- und Gräserpollen am 16.3., 5.4. und 7.6.1991 in % feinstaubbedeckter Pollenoberfläche wieder. Dabei nahm nach subjektiver Einschätzung der Staubbeschlag der Pollen mit der Stärke der Schwebstaubimmission zu. Blütenstaub von Erlen, Birke und Esche zeigten eine statistische lineare Beziehung zwischen der mittleren 2-Stunden-Staubkonzentration (TSP-bedingte Lichtextinktion) und dem partikulären Oberflächenbesatz. Von diesem Muster wichen nur Gräserpollen ab. Bei der limitierten Pollenzahl kann nicht zwischen einem methodischen Artefakt oder einer wirklich größeren Staubaffinität von Gräserpollen unterschieden werden. Allgemein nahm die Staubbindung nicht nur mit dem Ausmaß der Schwebstaubimpaktion, sondern auch mit der Rauheit der Pollenoberfläche zu. Die Gräserpollen mit ihrer glatten Außenhülle (Exine) bilden dabei eine Ausnahme.

Die qualitative REM und EDX-Analyse der Staubpartikel auf unterschiedlichen Pollen ließ ähnliche Komponenten wie zuvor im atmosphärischen Feinstaub aufdecken. Einzig Gips konnte nicht auf Pollenoberflächen gefunden werden. Silikataschen waren relativ häufig nachweisbar, aber auch Elementkombination wie Silizium-Kalzium, Silizium-Aluminium-Kalium mit Brom und Chlor. Andererseits wurden auf Pollen Assoziante von Eisen bzw. mikrosphärischem Eisen mit Tonmineralien, Kalzium, Zink und Mangan repetitiv entdeckt.

Der auffälligste Befund waren mit der EDX-Analyse nicht differenzierbare organische Partikel an der Pollenoberfläche mit unterschiedlichen Größen von wenigen Mikrometern bis hinunter in den submikronischen Bereich, wie sie bereits von anderen Autoren beschrieben wurden. Eine weitere chemische Analyse dieser mikroglobulären Formationen war aufgrund der Untersuchungsanlage nicht möglich. Einerseits ist Pollenkitt, ein Lipid der Exine, als Oberflächensubstanz denkbar (Vorkommen vor allem bei insektenbestäubten Pflanzen), andererseits wurden durch immunchemische Präparationen diese Extrusionen als allergen-reaktiv und damit als Glykoproteide mit Typ-1-Reaktivität identifiziert. Die genaue Entstehung und Funktion dieser Oberflächenproteide und -lipide ist ungeklärt - ob sie der Erkennung, Adhäsion oder Keimung dienen, durch Präaktivierung entstehen oder nur eine Folge wässriger Elution sind. Das Auftreten immunogenen Materials an der Pollenoberfläche erleichtert jedenfalls hypothetisch die Allergenpräsentation und den Allergen-Schleimhautkontakt. Im Falle der Ablösung bzw. Aerosolisation dieser biogenen Pollenoberflächensubstanzen entsteht eine niedrig-

mikronische bzw. submikronische Fraktion von Pollenbestandteilen, die respirabel ist und in tiefere Atemabschnitte eindringen kann.

Das Auftreten von Polleninhaltsstoffen an der Pollenoberfläche könnte das morphologische Korrelat der Entstehung allergener PM<sub>10</sub>-Komponenten bzw. immun wirksamer Schwebstaubfraktionen in Dimensionen kleiner als 10 µm bis hin zu Dimensionen unter 1 µm sein. Als Folge der Extrusion und Elution von Polleninhalt kommt es so einerseits zur Dissoziation zwischen Pollen- und Pollenallergenen, d.h. zur "Abkoppelung allergenen Materials und Potentials" von Pollenkörnern<sup>17</sup>, andererseits zur saisonalen Untermischung von allergenen Substanzen in den atmosphärischen PM<sub>10</sub>-Feinstaub<sup>17,18</sup>, dessen Zusammensetzung dann nicht mehr allein von geogenem Hintergrund, industriellen Produktionsverhältnissen, Verkehrsintensität und unterschiedlichen Verbrennungsprozessen, Sekundärreaktionen und Säuregehalt, sondern auch vom Aeroallergeneintrag mitbestimmt wird.

## Diskussion

Im Gegensatz zu historischen Pollenberichten von Wien-Wienerwaldregion und Daten aus dem norddeutschen Industriegebiet gab es 1991 im Linzer Ballungs- bzw. Industriegebiet einen um rund 30 Prozent geringeren Polleneintrag als im Reinluftgebiet an den Alpen. In Linz wurde nur bei Eichenstaubkörnern eine signifikant höhere Belastung beobachtet. Am Alpennordrand dagegen wurden bei Birke, Esche, Süßgräsern und einzelnen anderen Pflanzen höhere Pollendepositionen registriert. Neu war in Linz die von Osten kommende Invasion von Ambrosia. Umgekehrt fand man in Linz im Bereiche der Pollenmeßstelle beim atmosphärischen Schwebstaub zwischen 3/91 und 9/91 eine durchschnittlich 1,9-fach höhere Belastung als bei einer Staubmeßstelle in Bad Ischl einem Erholungsgebiet im Salzkammergut. Dieses Mehr an Staubgehalt der Luft korreliert mit dem kalkulierten Anteil der Großindustrie (Stahlhütte und Chemie) mit 3.103 Tonnen Ausstoß pro Jahr (71,6%) an der Gesamtstaubemission von 4.334 t/a. Staubpartikel aus industriellen Quellen - wie Eisen- und Stahlwerken - oder von Kohle- oder Treibstoff(Öl)verbrennung herrührend, werden für den Menschen bzw. die Morbidität (immunologisch und toxisch) und Mortalität als bedeutsamer angesehen als der Einfluß geogener Stäube<sup>19</sup>.

Im Einklang mit Analysen von Bodenproben und von eingetragem nicht-biogenem Staub in Linz und vergleichbar auch mit Untersuchungsergebnissen von Duisburg und Düsseldorf wurden mittels REM und EDX industrielle Staubkomponenten wie Silikate, Gips, Eisensphäroide, zink-, magnesium-, kalium-, natrium- und titanhaltige Verbindungen gefunden. Trotz quantitativ großem Anteil an Blei in chemischen Analysen, ließ sich Pb in den partikulären Fraktionen nicht entdecken. Sphärische Karbonpartikel fanden sich nur bis April. Sie wurden daher den Haushalten und der Heizperiode zugeordnet. Die porösen Karbonpartikel sind als Art „fliegende Aktivkohle" Adsorbens für eine Reihe von Elementen wie Ca, Cl, Fe, K, Mg, S, Si und Zn bzw. deren chemische Verbindungen - wahrscheinlich auch für wässrige Aerosole, saure und volatile Substanzen (Kohlenwasserstoffverbindungen). Andererseits wurden Quarz, Kalzit, Streusalz und Tonminerale als anthropogene und geogene Luftbestandteile angesehen.

Kleiner dimensionierter Feinstaub fand sich auf größeren Partikeln wieder - auf Quarzkristallen, Kalzit, Schlacken ebenso wie auf Pollen<sup>20</sup>. Nur Gips ließ sich nicht auf Blütenstaubkörnern nachweisen. Kohlenwasserstoffe und kohlenstoffhaltige Verbindungen entzogen sich ähnlich wie die Spurenmetalle methodenbedingt der Röntgenmikroanalyse, quantitativ stellen die C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-Verbindungen aufgrund früherer Messungen jedoch je nach Saison mit 10-18

Prozent einen ähnlich hohen Luftlastanteil wie die Mineralien (ohne Eisen)<sup>21</sup>. Aufgrund der lipophilen Pollenoberfläche müssen wir auch eine Assoziation zwischen volatilen Substanzen und Blütenstaub annehmen, wenngleich die Kohlenwasserstoffverbindungen vorrangig der submikroskopischen Aerosolfraction zugehören. Neben der gleichzeitigen Einwirkung voneinander getrennte Stoffe (Immissionsmodell S+s) repräsentiert die Pollen-Feinstaubaggregation ein zweites humanes Immissionsmodell (S+s) - das der simultanen Einwirkung von Wirkstoffkombinationen auf menschliche Erfolgsorgane.

Stahlstädte wie Linz oder Duisburg sind durch einen hohen Eisengehalt der Luft charakterisiert, jedoch auch Großstädte wie London fallen durch einen beträchtlichen Lufteisengehalt auf<sup>22</sup>. In Form von Sphäroiden kommt Eisen sowohl frei als auch an Pollen agglomeriert vor. Die genaue biologische Bedeutung des aerogenen Eisens (als Redoxsystem, als Katalysator, als Indikator für andere Stahlhüttenemittate oder Schwermetallbelastungen) ist unklar. Nach trachealer Instillation wird es bei Mäusen in der Lunge sowohl intra- als auch extrazellär gefunden<sup>23</sup>.

PM<sub>10</sub> beschreibt die Atemweggängigkeit des atmosphärischen Feinstaubes. Eine negative Dosis-Wirkungsbeziehung ist für spirometrische Atemparameter etabliert. Aufgrund der komplexen und je nach Emissionsquellen recht unterschiedlichen Staubzusammensetzung der Schwebstaubpartikel unter 10 Mikron ist PM<sub>10</sub> als Immissionskriterium für Menschen- und epidemiologische Studien ziemlich undifferenziert und hinsichtlich der Angabe der Staubzusammensetzung ergänzungsbedürftig<sup>24</sup>.

Die Sensibilisierung durch Aeroallergene, gemessen an einem Gesamt-IgE über 100 kU/l, lag bei Probanden aus Linz und Wien bei 41,9% und auf dem Land bei Einwohnern fern von Industrie und Verkehr bei 34,9% (kein signifikanter Unterschied)<sup>25</sup>. Beim Vergleich von spezifischem IgE gegen ein oder mehrere Aeroallergene, bei Phadiotop<sup>R</sup>-Untersuchungen, hausstaubmilben- und grasspezifischem IgE fanden sich im Ballungsgebiet signifikant höhere Prävalenzen, wobei Milbensubstanzen klassische Indoor-Allergene und Graspollen typische Outdoor-Allergen-Carrier sind.

Sensibilisierung und Allergien hängen bei Kindern von Art und Grad der Pollenbelastung ab<sup>26</sup>. In Tierexperimenten verstärkte die Applikation von partikulären Dieselerbrennungsrückständen als "Adjuvans" zusätzlich zu Ovalbumin unspezifisch die Typ-I-Reaktivität auf Ovalbumin. In Übereinstimmung damit wurde aus Japan in Abhängigkeit von größerer Verkehrsdichte eine höhere Allergisierungsrate gegenüber Zedernpollen berichtet. In ähnliche Richtung weist in Österreich die höhere Sensibilisierungsfrequenz gegenüber Gräsern in luftbelasteten Gebieten. Bei der Quantifizierung der Staubfracht von Einzelpollen fiel bei Graspollen ein gegenüber Birken-, Erlen- und Eschenblütenstaub relativ höherer Feinstaubbeslag im Vergleich zur Staubhintergrundimmission auf. Wegen der auf je zehn Pollen beschränkten Zahl und unregelmäßiger Staubimmission auf den Impaktionsstreifen ist keine definitive Einschätzung möglich. Feinstaub in höherer Menge auf Graspollen könnte wegen seiner örtlichen Nähe ein wirksames "atmosphärisches Adjuvans" für eine gesteigerte Sensibilisierung gegenüber Graspollenallergenen darstellen und damit die höhere Gräserallergierate in Ballungsräumen mit/teilerklären. Bedeutsamer wäre die Beobachtung einer relativ erhöhten Staubfracht von Gräserpollen im Lichte des berichteten Auf- und Austretens von allergenem Pollenmaterial an der Exinenoberfläche, sodaß Staub und Allergen den Schleim- und Bindehäuten nebeneinander präsentiert werden.

Organisches Material auf Pollenoberflächen könnte Pollenkitt, ein Lipid der Exine, als auch ein allergenes Glykoprotein sein. In niedrig- und submikronischen Fraktionen von Aerosolen wurden Pollenallergene in höheren Konzentrationen auch nach Spitzen des Pollenfluges nach-

gewiesen<sup>17</sup>. Andererseits wurde das Austreten von organischem Material auf der Pollenexine als schadstoffbedingte Präaktivierung von Blütenstaub interpretiert. Offen bleibt derzeit, ob das Erscheinen von Pollenmaterial auf der Exine ein normales oder abnormes Phänomen einer Pollenelution/aktivierung darstellt<sup>3</sup>. Das organische Pollenoberflächenmaterial weist Durchmesser unter 3-4 Mikrometer auf. Nach Ablösen und Aerosolisation erscheint es in der PM<sub>10</sub>-Fraktion, die damit auch eine biogene bzw. allergene Komponente erhält. Durch die Liberation von Pollenmaterial wird verständlich, wie Pollenallergene die Atemwege nicht nur in und auf Pollen als Carrier, sondern auch als freies kleinstpartikuläres oder amorphes Material zusammen mit atmosphärischem Feinstaub anderer chemischer Zusammensetzung erreichen können und ferner Pollenallergene auch für tiefere Atemabschnitte respirabel sind. Organisches Material auf Pollen stellt wahrscheinlich das morphologische Substrat der Allergenfreisetzung aus Pollen dar. Dem widerspräche nicht die postulierte frühzeitige Freisetzung unter dem Luftschadstoffeinfluß in Industrie- und Ballungsräumen. Eine Überlagerung von PM<sub>10</sub>- und allergischen Effekten sowie eine Immunmodulation durch den pollenassoziierten atmosphärischen Schwebstaub werden erwartet.

Anschrift des Verfassers:

Prim. Dr. Herwig Schinko  
Abteilung für Atem- und Lungenkrankheiten  
Allgemeines öffentliches Krankenhaus  
Krankenhausstraße 9  
A-4020 LINZ

## BLÜTENPOLLEN windblütig - 3/91 bis 9/91

Monatssummen	Ballungsraum	Alpenrand
	L I N Z	Gmundnerberg
Feber	14	12
März	5128	4291
April	7456	12852
Mai	4840	4422
Juni	2117	3527
Juli	2071	3055
August	448	773
September	74	34
<b>GESAMT</b>	<b>22148 (1.0)</b>	<b>28966 (1.31)</b>

**Tabelle 1** - Pollenimmission in Linz (industrieller Ballungsraum mit Stahlhütte und Großchemie) und am nördlichen Alpenrand (Reinluftgebiet, Gmundnerberg).  
Gesamtpollenzahl/Monat im Jahre 1991

## BLÜTENPOLLENwindblütig 3/91-9/91

PFLANZE	Ballungsraum	Alpenrand
	l L I N Z	Gmundnerberg
Erle ALNUS	3245	3296
Birke BETULA	4495	6676* 1.49
Hasel CORYLUS	679	697
Buche FAGUS	1070	1146
Esche FRAXINUS	1723	5821* 3.38
Eiche QUERCUS	2040	566° 0.28
Riedgr.CYPERACEAE	17	47
Süßgräser POACEAE	1854	3037* 1.64
Getreide SECALE	61	89
Wegerich PLANTAGO	246	502* 2.04
Ampfer RUMEX	255	330

**Tabelle 2** - Gesamtpollenzahl/Pflanzenart während der Blühsaison 1991 für den Linzer Ballungs/Industrieräum und das Reinluftgebiet am Alpennordrand (Gmundnerberg, Salzkammergut)

Element	LINZ Boden (mg/kg) 4/88-3/89	LINZ Eintrag ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ ) 4/88-3/89	LINZ Atmosphär. Staub (EM-RöMiAn) 1/91-9/91	LINZ Pollenfracht (EM-RöMiAn) 1/91-9/91	DUISBURG Atmosphärischer ( $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft) 4/86-9/86 EDX=RöMiAn 46452 ng/m <sup>3</sup>	DUSSELDORF Feinstaub ( $64\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft) 4/86-9/86 EDX=RöMiAn 45178 ng/m <sup>3</sup>
<b>Si</b>	na	na	Quarz, Silikate, Tone	idem		
<b>Ca</b>	54.560	930-16.550	Kalzit, Tonminerale Gips	Kalzit kein Gips	na	na
<b>Fe</b>	32.000	508-8.370	Eisensphäroide	Eisensphäroide	16338 ng/m <sup>3</sup>	6899 ng/m <sup>3</sup>
<b>Al</b>	na	na	nn	Nachweis	13783 ng/m <sup>3</sup>	14586 ng/m <sup>3</sup>
<b>S</b>	na	na	Gips	kein Gips	1281 ng/m <sup>3</sup>	390 ng/m <sup>3</sup>
<b>Mg</b>	7.500	268-3.190	nn	nn	455 ng/m <sup>3</sup>	77 ng/m <sup>3</sup>
<b>Pb</b>	6.620	na	nn	nn	182 ng/m <sup>3</sup>	237 ng/m <sup>3</sup>
<b>Zn</b>	4.800	47-346	Nachweis	Nachweis	91 ng/m <sup>3</sup>	77 ng/m <sup>3</sup>
<b>Mn</b>	730	26-738	Nachweis	Nachweis	364 ng/m <sup>3</sup>	0ng/m <sup>3</sup>
<b>Cu</b>	584	5-12(34)	nn	nn	nn	nn
<b>V</b>	115	2-55	nn	nn	nn	nn
<b>Ni</b>	80	4-13(41)	nn	nn	nn	nn
<b>Cd</b>	75	0,65	nn	nn	nn	nn
<b>Na</b>	na	na	Streusalz	Nachweis	na	na
<b>K</b>	na	na	Nachweis	Nachweis	na	na
<b>Ti</b>	na	na	Nachweis	Nachweis	na	na
<b>C</b>			Karbonpartikel	Organ.OF-Material	na	na
<b>Benzoapyren</b>	na	na	na	na	32,7 $\mu\text{g}/\text{g}$ (0,0033%) 2,3ng/m <sup>3</sup>	11,2 $\mu\text{g}/\text{g}$ (0,0011%) 0,7ng/m <sup>3</sup>

**Tabelle 3 - Atmosphärischer Feinstaub in Linz (in Boden, in Luft, auf Pollen), Duisburg und Düsseldorf- 1988/89,1991 und 1986<sup>3,16</sup>**

na nicht analysiert

nn nicht nachgewiesen

% der Partikel enthalten Element bei EDX(RöntgenMikroAnalyse) in Duisburg und Düsseldorf

Element	LINZ Boden (mg/kg) 4/88-3/89	LINZ Eintrag (µg/m <sup>2</sup> d) 4/88-3/89	LINZ Atmosphär.Staub (EM-RöMiAn) 1/91-9/91	LINZ Pollenfracht (EM-RöMiAn) 1/91-9/91	DUISBURG Atmosphärischer F e i n s t a u b (70µg/m <sup>3</sup> Luft) 4/86-9/86 EDX=RöMiAn	DUSSELDORF Atmosphärischer F e i n s t a u b (64µg/m <sup>3</sup> Luft) 4/86-9/86 EDX=RöMiAn
<b>Si</b>	na	na	Quarz, Silikate, Tone	idem	66,36%	70,59%
<b>Ca</b>	54.560	930-16.550	Kalzit, Tonminerale Gips	Kalzit kein Gips	na	na
<b>Fe</b>	32.000	508-8.370	Eisensphäroide	Eisensphäroide	23,34%	10,78%
<b>Al</b>	na	na	nn	Nachweis	19,69%	22,79%
<b>S</b>	na	na	Gips	kein Gips	1,83%	0,61%
<b>Mg</b>	7.500	268-3.190	nn	nn	0,65%	0,12%
<b>Pb</b>	6.620	na	nn	nn	0,26%	0,37%
<b>Zn</b>	4.800	47-346	Nachweis	Nachweis	0,13%	0,12%
<b>Mn</b>	730	26-738	Nachweis	Nachweis	0,52%	0,00%
<b>Cu</b>	584	5-12(34)	nn	nn	nn	nn
<b>V</b>	115	2-55	nn	nn	nn	nn
<b>Ni</b>	80	4-13(41)	nn	nn	nn	nn
<b>Cd</b>	75	0,65	nn	nn	nn	nn
<b>Na</b>	na	na	Streusalz	Nachweis	na	na
<b>K</b>	na	na	Nachweis	Nachweis	na	na
<b>Ti</b>	na	na	Nachweis	Nachweis	na	na
<b>C</b>			Karbonpartikel	Organ.OF-Material	na	na
<b>Benzoapyren</b>	na	na	na	na	32,7µg/g(0,0033%) 2,3ng/m <sup>3</sup>	11,2µg/g(0,0011%) 0,7ng/m <sup>3</sup>

**Tabelle 3 - Atmosphärischer Feinstaub in Linz (in Boden, in Luft, auf Pollen), Duisburg und Düsseldorf- 1988/89,1991 und 1986<sup>316</sup>**

na nicht analysiert

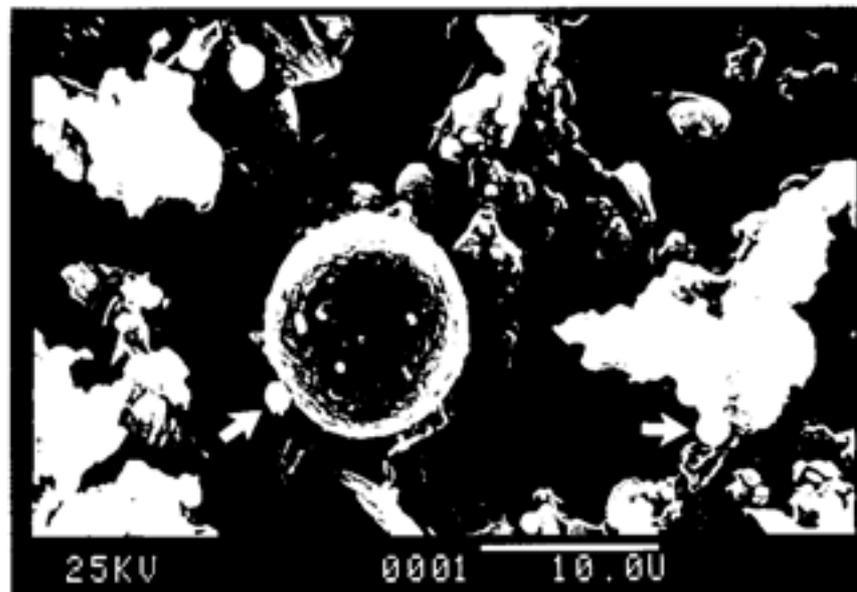
nn nicht nachgewiesen

% der Partikel enthalten Element bei EDX(RöntgenMikroAnalyse) in Duisburg und Düsseldorf

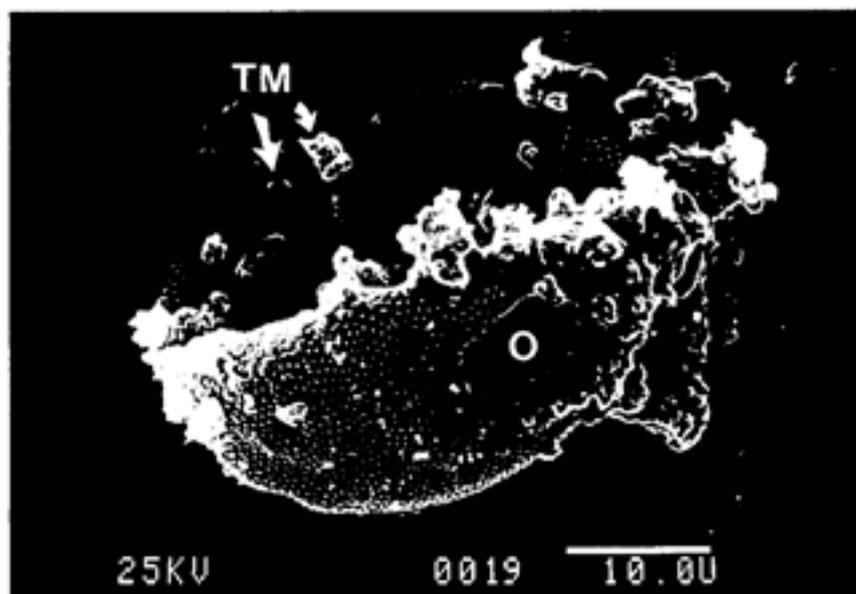
**PARTIKELFRACHT (Fläche d. Pollenkörner %)**  
**Vergleich mit**  
**LICHTEXTINKTION (Burkard-Streifen %)**

	<b>FRACHT</b>	<b>EXTINKTION</b>
	<b>(M±SD%,10 Pollen)</b>	<b>(2-Std-Mittel)</b>
<b>ERLE</b> <i>Alnus</i> (16.3.91,08-10 <sup>h</sup> )	3.65±3.52%	45.0%
<b>BIRKE</b> <i>Betula</i> (5.4.91,08-10 <sup>h</sup> )	1.27±0.71%	5.7%
<b>ESCHE</b> <i>Fraxinus</i> (5.4.91,12-14 <sup>h</sup> )	1.56±0.91%	11.8%
<b>GRÄSER</b> (7.6.91,12-14 <sup>h</sup> )	9.03±7.96%	11.6%

**Tabelle 4** - Staubfracht der je 10 Pollen einer Art in Gegenüberstellung zur atmosphärischen Feinstaubimmission (TSP gemessen in % Lichtextinktion) im zugehörigen 2-Stunden-Intervall an Tagen mit Pollenmaxima. Überdurchschnittliche Staubbiladung von Gräserpollen



**Abbildung 1** - Pollenkorn inmitten von atmosphärischem Feinstaub. Schwebstaubteilchendurchmesser von  $< 1\mu\text{m}$  bis zu  $80\mu\text{m}$ . An der Pollenoberfläche selbst haften feine Staubpartikel.  $\blacktriangleright$  markiert ein Eisensphäroid.



**Abbildung 2** - Juglans-(Walnuß-)Pollen mit anorganischer Staubfracht (TM markiert Tonmineralien). Daneben ein organisches Oberflächenagglomerat (O), wahrscheinlich vom Blütenstaubkorn selbst stammend.

## Literatur

1. MUTIUS, E.V., MARTINEZ, F.D., FRITZSCH, Ch., NICOLAI, H., THIEMANN, H. (1993): Difference in the Prevalence of Asthma Between East and West Germany: The Role of Atopic Sensitization. Eur Resp J 6, Suppl 17, Poster 0470
2. SOLOMON, W.R. (1984): Aerobiology of Pollinosis. -1 Allergy Clin Immunol 74, 449
3. BEHRENDT, H., FRIEDRICH, K.H., KAINKA-STÄNICKE, E., DARSOW, U, BECKER, W.M., TOMINGAS, R. (1991): Allergens and Pollutants in the Air - A Complex Interaction. - in: RING, J., PRZYBILLA, B. (Eds.): New Trends in Allergy m, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 467
4. ISHIZAKI, T., KOIZUMI, K, ISHIYAMA, Y. (1987): Studies of Prevalence of Japanese Cedar Pollinosis among Residents in a Densely Cultivated Area.- Ann Allergy 58, 265
5. ISLAM, ES, DOLGNER, K, SCHLIPKÖTER, H.W. (1990): Lungenfunktionsstatus von Frauen in einem ländlichen und einem städtisch-industriellen Gebiet Nordrhein-Westfalens. - Pneumologie 44, 329
6. UTELL, M.J., SAMET, J.M. (1993): Particulate Air Pollution and Health - New Evidence on an Old Problem. - Am Rev Respir Dis 147, 1334
7. HOLLAND, W.W. (1987): Smog and the Respiratory Tract. - Prax Klin Pneumol 41, 811
8. SCHWARTZ, J., MARCUS, A. (1990): Mortality and Air Pollution in London: A Time Series Analysis. - Am J Epidemiol 131, 185
9. SCHWARTZ, I, DOCKERY, D.W. (1992): Particulate Air Pollution and Daily Mortality in Steubenville, Ohio. - Am JEpidemiol 135, 12
10. POPE m, CA. (1989): Respiratory Disease Associated with Community Air Pollution and a Steel Mill, Utah Valley. - Am J Pub Health 79, 623
11. DOCKERY, D.W., WARE, I, FERRIS, B.G., SPEIZER, F.E., COOK, N.R., HERMAN, St.M. (1982): Change in Pulmonary function in children Associated with Air Pollution Episodes. - J Air Poll Contr Assoc 32, 937
12. STUDNICKA, M., SPENGLER, J., BENKE, A., FRISCHER, Th., NEUMANN, M. (1991): Short Term Effects of Acid Aerosols and Ozone on Lung Function in Children. - ATS Abstract
13. TAKAFUJI, Sh., SUZUKI, Sh., KOIZUMI, K, TADOKORO, K, MIYAMOTO, T., IKEMORI, K, MURANAKA, M. (1987): Diesel Exhaust Particulates Inoculated by the Intranasal Route have an Adjuvant Activity for IgE Production in Mice. - J Allergy Clin Immunol 79, 639
14. SCHINKO, H, SCHMIDT, R. (1992): Assoziation von Luftallergenen und partikulären Aerosolen in Linz 1991. - Untersuchung für das Magistrat der Stadt Linz, Österreich
15. SCHINKO, H. (1993): Assoziation von Luftallergenen und partikulären Aerosolen. - Atemw Lungenkrkh 19, S 94

16. LANDESREGIERUNG, O.Ö. (1990): Untersuchungen zur Immissionssituation von Staubbiederschlag im Raum Linz und Umgebung in der Zeit von April 1988 bis April 1989. Meßbericht
17. RANTIO-LEHTIMÄKI, Au., VLANDER, M., KOIVIKKO, A. (1992): Airborn Birch Pollen Antigens in Different Particle Sizes. - Thesis, University of Turku, Department of Biology
18. SPIEKSMÄ, F.Th.M., KRAMPS, J.A., Van der LINDEN, A.C., NUCKELS, B.H., PLOMP, A., KOERTEN, H.K, DIJKMAN, J.H. (1990): Evidence of Grass-PoUen Allergenic Activity in the Smaller Micronic Atmospheric Aerosol Fraction. - Clin Exper Allergy 20, 273
19. OZKAYNAK, H., THURSTON, G.D. (1987): Associations between 1980 U.S. Mortality Rates and Alternative Measures of Airborne Particle Concentration. - Risk Anal 7,449
20. BEHRENDT, H., BECKER, W.M., FRIEDRICH, KH., DARSOW, U., TOMINGAS,R (1992): Interaction between Aeroallergens and Airborne Particulate Matter. - Lit Arch Allergy Immunol 99, 425
21. LANDESREGIERUNG, O.Ö. (1986): Schwermetalle im Meßstaub n, Messungen 1984-1985. - Analytische Luftgütestudie für den Raum Linz, IAC Technische Universität, Wien
22. SCHWARZ, M.J., MOORCROFT, J.S., LAXEN, DP., THOMPSON, M., ARMORGIE, C. (1988): Baseline Metal-in-Dust Concentrations in Greater London. - Sei Total Environ 68, 25
23. FINCH, G.L., BASTACKY, S.J., HAYES, T.L., FISHER, G.L. (1987): Low Temperature Scanning Electron Microscopy of Particle-Exposed Mouse Lung. - J Microsc 147 (Part 2), 193
24. DOST, F.N. (1991): Acute Toxicology of Components of Vegetation Smoke. - Rev Environ Contam Toxicol 119, 1
25. POPP, W., ZWICK, H, STEYRER, K, RAUSCHER, H, WANKE, T. (1989): Sensitization to Aeroallergens Depends on Environmental Factors. - Allergy 44, 572
26. ZWICK, H, POPP, W. et al. (1991): Pollen Sensitization and Allergy in Children Depend on Pollen Load. - Allergy 46, 362

Herwig A.E. Schinko, Walter Medinger, Wilfried Hager

## **Abstrakt**

Streifen der Burkard-Pollenfalle zeigten 1991 im Linzer Ballungs- und Industrieraum an vier Frühlingstagen mit Pollenmaxima eine gleichzeitige Pollen- und Staubimmission während mehr als 50 Prozent der Registrierzeit. Atmosphärischer Feinstaub ähnlicher Zusammensetzung fand sich neben und auf den Blütenstaubkörnern. Die Pollenoberfläche war zu 1-23% feinstaubbedeckt. Neben agglomerierten Feinstaubpartikeln wurden auch organische Partikel mit einer Größe von  $<3\mu\text{m}$  an der Pollenoberfläche nachgewiesen, die Pollenkitt und/oder allergenem Polleneiweiß entsprachen. Bei Ablösung werden diese organischen Partikel im Gegensatz zu Pollen auch für tiefere Atemwege respirabel. Das gemeinsame Auftreten von Schwebstaub mit und auf Pollen sowie von Feinstaub zusammen mit Pollenallergenen hat einerseits Bedeutung für Kombinationswirkungen und eröffnet andererseits eine Erklärungsmöglichkeit für verstärkte Sensibilisierungen gegenüber Pollenallergenen in Ballungsgebieten.

## **Abstract**

In Linz, an industrial town with approximately 200.000 inhabitants, stripes of a Burkard pollen-trap revealed simultaneous pollen- and TSP-immission over more than half of the time recorded at four days with pollen peaks in spring 1991. The anorganic compounds of atmospheric dust on and around pollen analyzed by x-ray-diffraction showed comparable compositions. On light microscopy the surface of pollens was covered by fine dust particles (size predominantly  $<3\mu\text{m}$ ) to an extent of 1 to 23 percent. Besides anorganic particles organic matter of  $<3\mu\text{m}$  was detected on the surfaces of various pollens as well. They either represented "pollen-kitt" (a lipophilic adhesive compound of the exine) or cytoplasmatic material of the pollen with IgE-reactivity. When these pauci-micronic organic particles dissipate from the pollen surface they become respirable and reach the lower airways. As suspended atmospheric particles appear often together with or attached to pollen or hit the airways blended with pollen allergens combined effects and higher sensitization rates against pollenallergens are expected to result in polluted areas.

## **Einleitung**

Pollen sind Aeroallergenträger. Die Pollenallergene von Erle, Hasel, Birke, Eiche, aber auch von Gräsern, Getreide und Kräutern sind typische Aeroallergene des Außenraums, die bei genetisch disponierten zu allergischen Manifestationen vom Sofort-Typ an Konjunktiven, Nase, Rachen und Bronchien führen können. In Ballungsräumen fällt zum Teil eine höhere Sensibilisierungsrate gegenüber diesen pflanzlichen Glykoproteiden als in ländlichen Gebieten auf, sodaß Kofaktoren und Mechanismen bislang unbekannter Art die Entwicklung dieser Typ-I-Allergien fördern müssen. In Tierversuchen wurde eine adjuvante Wirkung von Dieselruß bei der Entstehung einer IgE-vermittelten Hypersensitivität gegenüber Pollen japanischer Zedern nachgewiesen.

In Ballungsräumen und Industriegebieten findet sich andererseits eine erhöhte Luftfracht an atmosphärischem Feinstaub, der selbst abträgliche Auswirkungen auf die menschlichen Atemwege hat. Pollen- und Schwebstaubimmission weisen keine statistische Beziehung zueinander auf. Trotzdem atmet der Mensch selbst an Schönwettertagen mit Pollenmaxima im Linzer Ballungsraum bis zu 60 Prozent der Zeit mit der Außenluft Blüten- und Schwebstaub gleichzeitig ein. Frühere Beobachtungen eines Feinstaubbeschlages von Pollenkörnern windblütiger Pflanzen veranlaßten eine detailliertere Studie über die Oberflächenverhältnisse von Pollen im Linzer Raum.

## **Methode**

Von vier Tagen mit Pollenspitzen im Frühjahr 1991 wurden Streifen einer Burkard-Pollenfalle auf dem Allgemeinen Krankenhaus Linz in 15 Meter Höhe über dem Boden, rund drei bis vier Kilometer nördlich einer Großchemie (Chemie Gruppe Linz) und einer Stahlhütte (VÖEST) licht- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Der Partikelbesatz der Pollenoberflächen von Baum- und Gräserpollen wurde mit dem Bildanalyseprogramm LUCIA bestimmt und in Prozent Oberflächenbeschlages angegeben. Qualitativ wurden die Elemente anorganischer Teilchen auf den Blütenstaubkörnern mittels Röntgenmikroanalyse (EDX) ermittelt.

## **Resultate und Diskussion**

An den vier untersuchten Tagen mit Pollenmaxima gab es jeweils nur eine geringe Staubbelastung. Die 40 ausgewerteten Pollen (je 10 von Birke, Erle, Esche und Gräsern) zeigten einen Oberflächenbeschlages zwischen 1 und 23 Prozent - im Mittel je nach Pflanze zwischen 1,3 und 9,0 Prozent.

Bei der Elementaranalyse fanden sich an der Pollenoberfläche Si, Ca, Na, K, Fe, Ti und selten andere in Form von Silikaten, Kalziumkarbonaten, Tonmineralien und Eisensphäroiden neben anorganischen Schlacken mit Natrium und Kalium und Spuren von Titanverbindungen. Im Gegensatz zum freien Schwebstaub wurde auf den Blütenstaubkörnern kein Gips gefunden. Ähnlich wie gröbere Schlackenteilchen, Quarz- und Kalzitkristalle trugen Pollen Feinstaubpartikel von einer Größe kleiner als drei bis vier Mikrometern. Blei wurde weder in freien atmosphärischen Schwebstaubteilchen noch in an Pollen adhärennten Feinstaubpartikeln mit einer Größe über ein Mikrometer detektiert. Der Staub auf den Blütenstaubkörnern hatte qualitativ annähernd die gleiche Zusammensetzung wie die von der EDX-Analyse des freien Schwebstaubs oder chemischen Analysen her bekannte Luftstaubkomposition.

Auf den Pollen wurden weiters nicht-anorganische Partikel ebenfalls von einer Größe von drei Mikrometern oder kleiner entdeckt. Mikroskopisch haben diese organischen Teilchen im untersten Mikrometerbereich keine Ähnlichkeit mit amorphem Dieselruß, der gewöhnlich unter 1 µm dimensioniert ist, auch nicht mit anderem Ultrafeinstaub. Als Erklärung für sphärisches oder diskoides organisches Material auf der Pollenoberfläche kommt einerseits Pollenkitt in Frage. Pollenkitt ist eine lipophile Substanz, die von der Pollenhülle, an die Pollenoberfläche austritt. Pollenkitt findet sich in der Regel allerdings eher bei entomophilen Pollen von insektenbestäubten und kaum bei anemophilen Pollen von windblütigen Pflanzen. Andererseits müssen wir ein Austreten von cytoplasmatischem Pollenmaterial annehmen. Bei Pollenpräparation kommt es bei wässriger wie bei organischer Elution relativ rasch binnen Minuten bis wenigen Stunden zum Austritt von Polleninhalten. So eluiertes bzw. extrudiertes Material wies in deutschen Untersuchungen IgE-Reaktivität als Hinweis dafür auf daß es sich dabei um ein Pollenallergen bzw. Pollenprotein mit Typ-1-Reaktivität handelt. Die Pollenkörner zeigten

häufig gleichzeitig Strukturläsionen der Exine, der Pollenoberfläche, als Ausdruck einer "durchgemachten atmosphärischen Alterung".

Das organische Material auf der Pollenoberfläche verschiedener Blütenstaubkörner spiegelt eine Art Aktivierung oder Präaktivierung der Blütenstaubkörner durch atmosphärische Einflüsse wider. Dabei werden allergene Substanzen nicht mehr nur im Polleninneren gebunden transportiert, sondern zusammen mit nichtbiogenem Feinstaub auch auf der Pollenoberfläche präsentiert. In anderen Studien über Birken- und Gräserpollen wurden Pollenallergene in niedrig- und submikronischen Staubfraktionen nachgewiesen als Ausdruck freigesetzter von Blütenstaubkörnern dissoziierter Polleninhalts. So stellt der Nachweis von Polleninnenmaterial auf der Pollenoberfläche möglicherweise das elektronenmikroskopische Korrelat dessen Freisetzung - per Extrusion oder Elution - vor Übergang in die Aerosolphase dar.

Wenn sich solche organischen Oberflächenpartikel von der Exine, der Pollenoberfläche, ablösen, werden sie aufgrund ihrer Größe von  $<3\mu\text{m}$  im Gegensatz zu den Pollen mit einem durchschnittlichen Durchmesser zwischen 20 und 40 Mikrometern (Bereich 10-100 $\mu\text{m}$ ) für subglottische Atemwege respirabel. Erst dermaßen freigesetzte Pollenallergene können in die Bronchien eindringen und zu allergischen Reaktionen auch in den tieferen Atemabschnitten führen.

Aufgrund ihrer Größe gehören diese organischen Oberflächenagglomerate der Pollen zur Fraktion  $\text{PM}_{10}$  (Particulate Matter - Schwebstaubteilchen kleiner als  $10\mu\text{m}$ ) bzw.  $\text{PM}_5$  und  $\text{PM}_{2.5}$  (Particulate Matter - atmosphärische Feinstaubteilchen unter 5,0 bzw.  $2,5\mu\text{m}$ ). Bei Ablösen von der Pollenoberfläche müssen wir dieses allergene Material in genannten Staubfraktionen erwarten. Damit weist der inhalierte atmosphärische Feinstaub chemisch aber nicht mehr nur organische und anorganische, sondern auch biogene bzw. allergene Komponenten auf. Von der Arbeitsgruppe um Heidrun Behrendt wird die Hypothese einer Agglomeration von abgelösten Pollenallergenen an Feinstaubpartikel diskutiert. Während der Pollenfreisetzung und eine kurze Zeit über den Pollenflug hinaus sind Pollenallergene zumindest als Beimischung zum Schwebstaub der Luft anzunehmen. Dies ist bei der saisonalen Bewertung von  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_5$  und  $\text{PM}_{2.5}$ , aber auch bei TSP-Effekten (Total Suspended Particles - Schwebstaubteilchen jeglicher Größe) auf die oberen wie unteren Atemwege zu berücksichtigen. Die Massenkonzentrationen  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_5$  und  $\text{PM}_{2.5}$  erweisen sich in biologischer Hinsicht relativ undifferenziert. Während der Blütezeit windblütiger Pflanzen erreicht jedenfalls allergenes Pollenmaterial in Ballungsräumen zusammen mit Feinstaub auch periphere Atemräume. Die Kombinationswirkung auf die Sensibilisierung und allergische Zweitreaktion beim Menschen sind noch nicht untersucht. Sie stellen jedoch eine mögliche Erklärung für erhöhte Sensibilisierungsraten in Gebieten mit dichter Besiedlung, hohem Verkehrsaufkommen und Großindustrie dar.

## **Zusammenfassung**

Pollen sind Allergenträger. In Abhängigkeit vom umgebenden atmosphärischen Feinstaub werden sie auch zum Carrier für feine Schwebstaubpartikel. Bei einem Teil der Blütenstaubkörner tritt Pollenkitt und allergenes Eiweiß an der Pollenoberfläche aus/auf. Der Nachweis von cytoplasmatischem Pollenmaterial an der Pollenoberfläche wird als Hinweis einer Extrusion von Pollenallergen bereits während des Pollenfluges angesehen. Niedrig mikronische Partikel mit IgE-Reaktivität im Schwebstaub werden als Konsequenz dieser Allergenfreisetzung interpretiert. Die tiefer inhalierbaren Schwebstaubfraktionen  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_5$  und  $\text{PM}_{2.5}$  erhalten so in saisonaler Abhängigkeit allergenes Pollenmaterial untermischt. Die Partikel-

Pollen- und Feinstaub-Pollenallergen-Kombination kommt als ein potentieller Mechanismus für eine verstärkte Sensibilisierung gegenüber Aeroallergenen der Außenluft in Ballungs- und Industrieräumen in Frage.

## Literatur

- [1] BEHRENDT H., K.H. FRIEDRICH, E. KAINKA-STÄNICKE, U. DARSOW, W.M. BECKER, R. TOMINGAS: Allergens and plutants in the air - a complex interaction In: RING I, B. PRZYBILLA (Eds): New Trends in Allergy m, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 467-478, (1991)
- [2] KREYLING W.G.: Is the mass concentration of particulate air pollution the appropriate parameter for respiratory health effects? Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin, 195/3, 198-199,(1994)
- [3] RANTIO-LEHTIMÄKI Au., M. VIANDER, A. KOIVIKKO: Airborn birch pollen antigens in different particle sizes. Thesis, University of Turku, Department of Biology, 1-10,(1992)
- [4] SCHINKO H., R. SCHMIDT: Assoziation von Luftallergenen und partikulären Aerosolen in Linz 1991 - Untersuchung für das Magistrat der Landeshauptstadt Linz, Österreich (1992)
- [5] SOLOMOON K: Aerobiology of pollinosis. J Allergy Clin Immunol 74, 449-461 (1984)
- [6] SPIEKSMAS F. et al.: Evidence of grass-pollen allergenic activity in the smaller micronic atmospheric aerosol fraction. Chn Exper Allergy 20, 273-280, (1990)
- [7] TAKAFUJI Sh. et al.: Diesel exhaust particulates inoculated by the intranasal route have an adjuvant activity for IgE-production in mice. J Allergy Chn Immunol 79, 639-645, (1987)

Die Untersuchung wurde durch die Unterstützung des Magistrates der Landeshauptstadt Linz, Amt für Umweltschutz ermöglicht. Für die Pollenanalysen wird Doz. Dr. R. Schmidt besonders gedankt.

### Anschrift:

Prim. Dr. Herwig A.E. Schinko  
Abteilung für Atem- und Lungenkrankheiten  
Allgemeines öffentliches Krankenhaus  
Krankenhausstraße 9  
A-4020 LINZ

### Koautoren:

Mag. Dr. Walter Medinger und Dipl.Ing. Wilfried Hager  
Umweltamt des Magistrates der  
Landeshauptstadt Linz  
Hauptstraße 1-5  
A-4040 LINZ

## ANHANG 3

Sonderdruck aus

---

# *Allergologie*

Immunbiologische Grundlagen -Diagnostik  
und Therapie für Praxis und Klinik

---

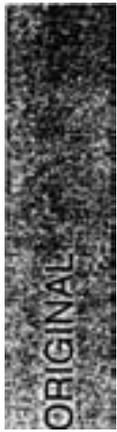


Dusterl-Verlag Dr. Karl Feistle  
München-Deisenhofen

## LITERATUR

- [1] *Ackermann-Liebrich U., J. Schwarte, Ph. Leuenberger, Ch. Monn and the SAPALDIA Team*: Chronic exposure to air pollution and pulmonary function in adults (SAPALDIA Study). Abstract ATS Meeting, San Francisco 1993.
- [2] *Behrendt H.*: Allergotoxikologie: Ein Forschungskonzept zur Untersuchung des Einflusses von Umweltschadstoffen auf die Allergieentstehung. *Allergo J.* 2, (SI), 37<sup>^</sup>\*1 (1993).
- [3] *Braun Ch., U. Ackermann, J. Schwartz, KP. Gnehm, M. Rutishauser; H. U. Wanner*: Air Pollution and Respiratory Symptoms in Preschool Children. *Am. Rev. Respir. Dis.* 145, 42-47 (1992).
- [4] Bundesamt für Umweltschutz (BUS): Schriftenreihe Umweltschutz. Nr. 76: Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz 1950-2010. BUS, 1987.
- [5] Bundesamt für Umweltschutz (BUS): Schriftenreihe Umweltschutz. Nr. 52: Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe. BUS 1986.
- [6] *Dockery D. W., CA. Pope, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B. G. Ferris, F.E. Speizer*: An Association between Air Pollution and Mortality in six U. S. Cities. *New Eng. J. Med.* 329, 1753-1759 (1993).
- [7] *Finlayson-Pitts B.J., J.N Pitts*: Atmospheric Chemistry. John Wiley & Sons, New York 1986.
- [8] *Fritsch, Ch., E. von Mutius, S.K. Weiland, G. Roll, H. Magnussen*: Prävalenz asthmatischer und allergischer Erkrankungen bei Schulkindern - Ein Vergleich zwischen Leipzig und München. *Allergo J.* 3/1. 11-16 (1994).
- [9] *Ishizaki T, K. Koizumi, R. Ikemori, Y. Ishiyana, E. Kushibiki*: Studies of Prevalence of Japanese Cedar Pollinosis among the Residents in a densely cultivated area. *Ann. Allergy* 58, 265-270 (1987).
- [10] Kernforschungszentrum Karlsruhe PUG2: Charakterisierung anthropogener Stäube in der Außenluft an typischen Standorten in Baden-Württemberg; zeitliche und örtliche Verteilung ausgewählter toxischer und kanzerogener Staubbestandteile (1991).
- [11] *Marple V.A., K.L. Rubow, W. Turner, J.D. Spengler*: Low Flow Sharp Cut Impactors for Indoor Air Sampling: Design and Calibration. *J. Air Pollution Assoc.* 37, 1303-1307 (1987).
- [12] *Monn Ch., G. Schächli, O. Brändli, Ph. Leuenberger and the SAPALDIA Team*: PM<sub>10</sub> Concentration and Aerosol Particle size distribution in eight regions in Switzerland. *J. Aerosol Sei.* 25, (SI), 159-160 (1994).
- [13] *Monn Ch., O. Brändli, G. Schächli, Ph. Leuenberger and the SAPALDIA Team*: PM<sub>10</sub> and Total Suspended Particulates in Urban, Rural and Alpine Air in Switzerland. (in preparation for Atmospheric Environment).
- [14] *Pope CA., D. W. Dockery*: Acute Health Effects of PM<sub>10</sub> Pollution on Symptomatic and Asymptomatic Children. *Am. Rev. Dis.* 145, 1123-1128 (1992).
- [15] *Schwartz I.*: Particulate Air Pollution and Chronic Respiratory Disease. *Environmental Research* 62, 7-13 (1993).
- [16] *Spiekma F.Th.M., J.A. Kramps, A.C. Van der Linden, H. Nikkeis Bep. A. Plomp, H.K. Koerten, J.H. Dijkman*: Evidence of Grass Pollen Allergenic Activity in the smaller micronic atmosphere Aerosol fraction. *Clin. exp. Allergy* 20, 273-280 (1990).

Dr. sc. nat. Ch. Monn  
Clausiusstraße 21  
CH-8092 Zürich



## Pollen, Pollenallergene und partikuläre Luftschadstoffe - Aspektewandel

H.A.E. SCHINKO<sup>1</sup>, W. MEDINGER<sup>1</sup> und W. HAGER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Atem- und Lungenkrankheiten, Allgemeines Krankenhaus Linz,

<sup>2</sup> Amt für Umweltschutz, Magistrat Linz

**Pollen, Pollenallergene und partikuläre Luftschadstoffe - Aspektewandel.** In Österreich finden sich wie in Ballungsräumen und Industriegebieten westlichen Typs erhöhte Sensibilisierungsraten gegenüber Indoor- und Outdoor-Allergenen, einschließlich der gegenüber Birken- und Gräserpollenallergenen. Erhöhte Konzentrationen von atmosphärischem Schwebstaub aus Verkehr und Industrie gehen erhöhten Allergieraten parallel. Untersucht wurden für Linz, eine österreichische Industriestadt mit großchemischer und Stahlindustrie, Pollen, atmosphärischer Schwebstaub und deren Beziehung zueinander mittels Burkard-Pollenfalle, Licht- und Rasterelektronenmikroskop sowie Röntgenmikroanalyse. Bei durchschnittlich doppelt so hoher  $PM_{10}$ -Staubbelastung im Industrieraum verglichen mit einem Reinluftgebiet wurde an 11 Tagen mit Pollenflugspitzen zwischen 3/1991 und 9/1991 eine zufällige gleichzeitige Pollen- und Staubimmission während knapp 60% der untersuchten 2-Stunden-Intervalle gefunden. Auf teilweise oberflächenveränderten Blütenstaubkörnern wurden Staubteilchen im niedrigen Mikrometerbereich detektiert, wobei die Pollenoberfläche an den Schönwettertagen zwischen 0 und 23% staubbeschlagen war. Die Staubzusammensetzung auf den und um die Pollen zeigte eine ähnliche Komposition. Zusätzlich fanden sich unabhängig von der Pflanzenspezies an der Pollenoberfläche granuläre, globuläre und zum Teil diskoide organische Agglomerate mit einem Durchmesser zwischen 1 und 3  $\mu m$  (bis maximal 5  $\mu m$ ) als wahrscheinlicher Ausdruck eines Freisetzungsmechanismus und als Erklärung für das Auftreten von Pollenallergenen in den niedrig mikronischen und submikronischen atmosphärischen Schwebstaubfraktionen. Die Grobstaub-Pollenassoziation, die gleichzeitige Feinstaub- und Pollenallergenpräsentation auf der Pollenoberfläche und die Untermischung von Pollenallergenen zu den respirablen Staubfraktionen ( $PM_{10}$  und  $PM_{25}$ ) sind 3 Modelle für simultane toxische und allergische Einwirkungen. In Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser der biogenen/nonbiogenen Partikel werden unterschiedliche Abschnitte des Atemtraktes belastet. Der Auffassung der toxischen Vorschädigung der Atemwege wird die Konzeption der gleichzeitigen toxisch-allergischen Affektion als Hypothese für die erhöhte allergische Sensibilisierung bzw. beobachtete Immunmodifikation in westlichen Ballungsräumen gegenübergestellt. Die Wirkungssynergie resultiert dabei aus einem synchronen Einwirken am gleichen Wirkort bzw. Erfolgsorgan oder aus einer vorangehenden externen Wirkstoffassoziation vor gemeinsamer Deposition im Atemtrakt. Über die Exposition hinaus werden Wechselwirkungen zwischen toxischen und immunologischen Prozessen durch ihr Anhalten (Effektdauer) und ihre zeitliche Überlagerung bestimmt.

**Schlüsselwörter:** Luftschadstoffbelastung - atmosphärischer Schwebstaub (PM, TPS) - Pollen - Pollenallergene - Aeroallergie - Atemwege.

**Pollen, pollen allergens and particulate matter - change of view.** In Austria as in other industrial and densely populated areas especially of the Western hemisphere sensitization against indoor- and outdoor-allergens (including birch- and grasspollen) is higher. Exact causes and mechanisms are not established, but air pollution by particulate matter is found to be higher in these regions and its amount seems to parallel the increased incidence of aeroallergies. Pollen, atmospheric total suspended particles as well as their association were studied in Linz, an Austrian city with a chemical and steel plant. Pollen and dust were sampled by a Burkard pollen trap and analyzed morphologically by light (LM) and electron microscopy (REM). For chemical identification X-ray diffraction analysis (roentgen-microanalysis, EDX) was used. On average the  $PM_{10}$ -load was 1.9-times higher in Linz when compared to a less polluted area. On 11 days with sunny weather between 3/91 and 9/91 pollen concentrations peaked. Immission of pollen and TSP occurred to overlap by chance at almost 60 percent of the 2-hour-intervals studied. Dust particles of low micronic size adhered to the surface of pollen grains covering between 0 and 23 percent of their surface. Dust on and around pollen revealed similar composition. In addition granular, globular and discoid organic material with a diameter of 1-3  $\mu m$  (maximum 5  $\mu m$ ) was detected on the pollen surface. Surface texture was altered in a number of grains screened. The occurrence of organic matter on the pollen surface seems to represent the extrusion of pollen allergen as well as the hypothetical mechanism of liberation of pollen allergens necessary to explain the seasonal appearance of allergic/immune-reactive material in low and submicronic fractions of atmospheric dust. The association of coarse particulate matter and pollen, the simultaneous presentation of fine dust particles and allergens on the pollen surface and the seasonal blend of allergic material into the respirable fraction of atmospheric dust ( $PM_{10}$ ,  $PM_5$  and  $PM_{25}$ ) represent each a model of synchronous toxic and allergic affliction of airways. Depending on the aerodynamic diameter biogenic as well as non-biogenic particles will be deposited at different sites of the respiratory tract. Frequent mucosal injury before allergen exposure is a current concept to explain the increase of allergic sensitization and immunological reactions. Simultaneous impactation of toxic and allergic particulate material seems to be a second cause and of similar importance for the enhancement of an allergic process. Synergy arises from two mechanisms - 1. synchronous affection of the same site and organ and 2. the external association of toxic and allergic compounds before their combined attack on mucosal membranes. As long as toxic and immunologic effects last as long they will overlap and interact.

**Key words:** Air pollution - particulate matter (PM) - total suspended particles (TSP) - pollen - pollenallergens - aeroallergy - airways.

## Einleitung

Die Luft ist ein komplexes Gemisch aus natürlich vorkommenden und anthropogen verursachten Gasen, feuchten und partikulären Aerosolen. Bei den Luftpartikeln sind humanbiologisch einerseits Aerosolgröße und Aerosolzusammensetzung, andererseits auch die Aerosolimmunogenität bedeutsam, d.h. die Luftschadstoffeigenschaft, eine unspezifische Inflammation oder spezifische Immunreaktion hervorzurufen. Luftpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser (aD) über 10 µm werden hauptsächlich im oberen Atemtrakt - vom Nasen- über den Rachenraum bis hin zu den Stimmbändern impaktiert. Das gilt sowohl für nonbiogene Schwebstäube als auch für Pollen windblütiger Pflanzen. Allergieauslösende Pollen mit einem Durchmesser zwischen 10 und 100 µm (im, in der Mehrzahl zwischen 20 und 30 µm, sollten hypothetisch kaum die tieferen Atemabschnitte unterhalb des Kehlkopfes erreichen. Während sich Pollenallergien (Pollinosen) erwartbar im Nasen-Rachenraum manifestieren, erreichen in der Regel weder Birken- noch Gräserpollen die Bronchien. Ein Pollenasthma im engen Sinne kann es aus aerodynamischer Sicht nicht geben. Voraussetzung für allergische Affektionen der Bronchien und der Lungen ist das Eindringen allergenen Materials mit einem aD kleiner als 10 µm in die zentralen bis peripheren Atemwege wie es bei der exogen allergischen Alveolitis, z.B. der Farmerlunge der Fall ist. Partikel mit einem aD < 3-5 µm gelangen bis in die kleinsten Lufträume der Alveolen. Damit sind für die tieferen Atemwege und kleinsten Atemabschnitte die respirablen Staubfraktionen PM<sub>10</sub>, PM<sub>5</sub> und PM<sub>2,5</sub> mit aD < 10, 5 und 2,5 µm wesentlich. Bei der Luftgüteüberwachung werden in Linz wie an den anderen österreichischen Meßstellen fortlaufend die PM<sub>10</sub>-Werte registriert. Die für den oberen Atemtrakt relevante Staubteilchenfraktion über 10 µm wird dagegen nicht routinemäßig erfaßt.

Für das allergische Bronchialasthma und damit die Bronchialimmunologie war der Nachweis von Pollenallergenen von Birken, Gräsern und Traubenkraut (Ragweed-Ambrosia) in niedrig und submikronischen Fraktionen des atmosphärischen Staubes wesentlich [9, 33, 39, 40]. Entsprechend muß ein Liberationsmechanismus für Pollenallergene aus Pollen postuliert werden, der potentiell unter Umwelteinwirkungen eine Verstärkung erfahren kann. Während pflanzenbiologisch die Integrität des ganzen Pollens gewahrt bleiben muß, bedarf es humanbiologisch für allergische Sensibilisierungen oder allergische Folgereaktionen lediglich des Kontaktes mit freigesetzten Pollenallergenen. Diese werden aufgrund ihres Proteincharakters im Größenbereich < 1 µm erwartet. Die Zahl der Pollenhauptallergene ist meist auf wenige beschränkt (Birken 2, Gräser bis 5). Ihre Lokalisation auf den Pollen ist nicht exakt bekannt.

Während der letzten Dekaden des 20. Jahrhunderts

nahm die Häufigkeit von Atemwegsallergien zu [1, 27, 42]. Die Zunahme der Asthmaprävalenz wird durch Studien mit identer Methodik für Neuseeland und Europa (Schweiz, Schweden) belegt, ist aber auch bei der Zedernallergie in Japan offenkundig [19, 28]. Die Umwelt muß daher geänderte Bedingungen und Mechanismen für eine höhere Sensibilisierung gegenüber an sich langgewohnten »archaischen Allergenen« als auch Reaktionsverstärker bereithalten. Die anthropogene Luftschadstoffbelastung von Pflanzen, Tieren und Menschen nahm in diesem Jahrhundert meßbar zu. In Tierversuchen wurde eine allergologisch bedeutsame Adjuvanswirkung von partikulären Dieselverbrennungsrückständen (Hauptquellen: Verkehr, Industrie, kalorische Kraftwerke und Ölfeuerung) bei nasaler Ovalbuminsensibilisierung gefunden [41], als auch eine höhere Atemwegsensibilisierung gegenüber Ovalbumin nach Ozon- und Stickstoffdioxidexposition (Außenraumquellen: Verkehr, Industrie-Sonneneinstrahlung) dokumentiert [6, 24]. Ozon- und Stickstoffdioxid entfalten ihre Hauptwirkung ähnlich wie Tabakrauch und die Verbrennungsrückstände von Diesel in den kleinen, terminalen Atemabschnitten. Sie bewirken vornehmlich eine neutrophile Inflammation. Im Gegensatz dazu ist die IgE-vermittelte Pollenallergie von einer lymphozytär-mastozytär-eosinophilen Inflammation dominiert. Während Tabakschäden beim Menschen und Dieselrauch in Experimenten bei Tieren als Small-airways-disease beginnen und von peripher nach zentral ascendieren, steigt die Aeroallergie gewöhnlich von den oberen zu den tieferen Atemwegen ab.

Während es in Linz, einem österreichischen Ballungsraum, wie allgemein in der westlichen Hemisphäre gelang, die Schwefeldioxid- und die Gesamtstaubblastung zu senken, blieben erhalten oder stiegen die Verkehrsstaub-, die Stickoxid- und Ozon- sowie auch die Tabakrauch- und chemische Belastung, so daß heute ein neuer westlicher dem alten östlichen Luftschadstoff-Belastungstyp gegenübergestellt wird [29, 43, 45]. Vor allem der westliche Belastungstyp ist mit höheren Allergieraten gegenüber Außenraum- und Innenraumallergenen vergesellschaftet. Ein Stadt-Land-Gefälle bei Sensibilisierungen gegenüber Outdoor- (Birken- und Gräserallergie) und Indoor-Allergenen (Hausstaubmilbenallergie) wurde auch in Österreich gefunden [31, 32]. Zur Aufdeckung von synergischen biogenen und nonbiogenen partikulären Luftbelastungen wurden die gegenständlichen Untersuchungen über Pollen und atmosphärischen Schwebstaub im oberösterreichischen Zentralraum angestellt. Partikuläre Luftbelastungen gehen gewöhnlich erhöhten Pollenallergieraten parallel.

Linz ist eine österreichische Industriestadt an der Donau am Südrande eines Granitplateaus in einer halb-offenen Beckenlage mit einer chemischen Groß- und Eisen/Stahlindustrie und einer typisch westlichen Wohn- und Verkehrsentwicklung. Im Großraum leben rund

350000 Menschen. Ein aktiv koordinierendes Amt für Umweltschutz der Stadt betreibt zusammen mit der oberösterreichischen Landesregierung im Linzer Großraum ein flächendeckendes Meßnetz mit 10 größeren Meßstationen. Von schwerpunktmäßigen Untersuchungsprojekten (Analysen von Staubeintrag und spirometrische Untersuchungen bei Kindern im Pflichtschulalter) liegen umfangreiche Umweltinformationen vor. Ziel der gegenständlichen Arbeit ist die Aufdeckung von Pollenveränderungen sowie von Zusammenhängen und Wechselbeziehungen zwischen Pollen und atmosphärischen Schwebstäuben im Ballungsgebiet sowie die Entwicklung eines Konzeptes potentieller Rückkoppelungen von anthropogenen Umweltbelastungen direkt und indirekt über windblütige Pflanzen zurück auf den Menschen.

### Material und Methodik

Auf Parallelstreifen, aufgezogen auf einer Trommel einer Burkard-Pollenfalle 15 Meter über dem Straßenniveau bzw. auf einer Seehöhe von 247 m ü.d.M., wurden der Polleneintrag und atmosphärische Schwebstaubimmissionen (TSP total suspended particulate - Schwebstaub jeglicher Größe) registriert. Näher analysiert wurden 11 Tage mit Pollenmaxitna im Zeitraum zwischen März und September 1991 (12.3., 16.3., 17.3., 3.4., 5.4., 8.5., 10.5., 22.5., 7.6., 11.7. und 2.9.1991). Der Gesamtschwebstaub (TSP) wurde in 10-Minuten-Intervallen mittels Lichtextinktion (Angabe in Prozent) quantifiziert. Eingetragene Blütenstaubkörner wurden nach ihrer Art zugeordnet und als Zahl pro m<sup>3</sup> Luft und 2-Stunden-Intervall für die dominierende Pollenspezies und als Gesamtpollenzahl angegeben. Analog dem logarithmischen Ventilations-Perfusionsmodell der Lunge wurden für die 2-Stunden-Abschnitte aus Relativwerten (bezogen auf die Tagesmengen) Staub-Pollen-Ratios berechnet. Als ausschließliche Staub- bzw. Pollenpräsenz wurde ein Unterschreiten des 3%-Anteiles bzw. Überschreiten des 30fachen des Vergleichsparameters definiert. Für jeden der 11 Untersuchungstage wurde mittels linearer Korrelation untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen mittlerer 2-Stunden-Staubextinktion und Polleneintrag während der 12 2-Stunden-Intervalle eines Beobachtungstages besteht. Staub- und Pollenemission folgen vereinfacht unten skizzierten Modell zweier unterschiedlicher Emissionsquellen. Nach unterschiedlich langer Transmission kommt es an der Burkard-Pollenfalle als Substitut für einen Menschen mit geringer körperlicher Aktivität und einem durchschnittlichen Atemminutenvolumen von 12 Litern/Minute zu einer bestimmten Pollen- bzw. Staubimmission/-impaktion.

Als Hintergrundinformationen sind die Staub-Jahresemissionen in Linz 1991 und 1992 nach Verursachergruppe in Tabelle 1 aufgelistet. Der Reihenfolge nach sind an der regionalen Staubbelastung die Stahl/Schwerindustrie (VÖEST-Alpine), der Kraftfahrzeugverkehr, die Großchemie (CHEMIE-Gruppe) und während der Heizperiode private Haushalte und Heizwerke sowie kleinere Gewerbe/Betriebsstätten beteiligt. Ferner wurde die Linzer Staubbelastung mit der eines gering-belasteten »Reinluftgebietes« (Bad Ischl) während der Studienperiode 3/91-9/91 verglichen.

Mittels Bildanalyseprogramm LUCIA wurde der Bereich der maximalen Staubteilchendurchmesser und deren mittlere Größe sowie die mittlere Fläche der Schwebstaubkörner ermittelt. Weiterhin

Tab. 1 Kalkulierte Jahresstaubemission in Tonnen/Jahr in Linz. Der Bedeutung nach belasten in folgender Reihenfolge die VÖEST-Stahlwerke, der Verkehr, die chemische Großindustrie, private Haushalte, Heizwerke und sonstige Betriebsstätten die Luft. Der Trend rückläufiger Schwebstaubbelastung zwischen 1991 und 1992 ist auch für die Dekade davor repräsentativ. Die Schwebstaubzusammensetzung hat sich verschoben, entsprechend änderte sich auch die Belastung von Pflanzen, Pollen und Menschen.

Jahresemissionen - Linz 1991 & 1992		
Emittentengruppe	Staub 91	Staub 92
VÖEST-Alpine	2547 t/a	1537 t/a
Chemie-Gruppe	556	471
Heizwerke	43	22
Sonst. Betriebsstätten	56	53
Verkehr	916	937
Private Haushalte	216	206
Linz gesamt	4334	3226

### Emission-Transmission-Immission Reaktion-Agglomeration

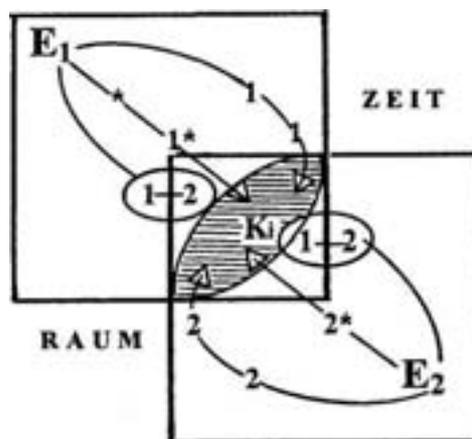


Abb. 1 Emissions-Transmissions-Immissionsmodell. Voraussetzung für Schadstoffkombinationen ist die Schadstoffeinwirkung im gleichen Raum zur gleichen Zeit auf das gleiche Individuum/Erfolgsorgan bzw. die zeitliche Überlagerung von Schadstoffeffekten. Die atmosphärische Schwebstaub- und die Pollenimmission zeigen eine zufällige, aber häufige Überlagerung in ca. 60% der Zeit.

E = Emittenten, Stoffquellen; 1,2 = Emittate (Staub, Pollen, Gase); 1\*, 2\* = Reaktionsprodukte und aktivierte Produkte; \* = Reaktions/Aktivierungsmechanismus; 1-2 = Externe Aerosol-Kombination; O = Erfolgsorgan; -\* = Transmission; Ki = Interne Kombination bei Effektüberlagerung.

wurde mit gleicher Technik der Staubbesatz einzelner Pollenkörner (je 10 Birken-, Erlen-, Eschen- und Gräserpollen) quantitativ erfaßt, in Prozent staubbesetzter Pollenoberfläche angegeben und der zeitlich zugehörigen mittleren 2-Stunden-Staubkonzentration gegenübergestellt.

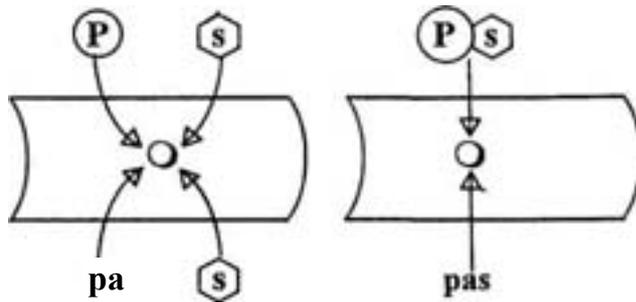


Abb. 2 Modelle von Schadstoffkombinationen. P + s: Pollen und atmosphärischer Schwebstaub treffen synchron auf die Abschnitte des oberen Atemtraktes auf oder führen dort zu überlappenden toxischen und allergischen Reaktionen, pa + s: Pollenallergene und atmosphärischer Feinstaub erreichen zeitgleich die infraglottischen Atemwege. Feinstaub (z. B. Dieselerbrennungsprodukte) verstärkt die allergische Sensibilisierung über einen Adjuvanseffekt. P<sup>s</sup>: Feinstaub adsorbiert an der Pollenoberfläche - beschlägt als Feinstaub-Pollenkombinat die Konjunktiven und Nasen/Rachenschleimhaut, pas: Gemisch von Pollenallergenen und atmosphärischem Feinstaub wirkt auf die tieferen Atemwege ein.

Elektronenoptische Aufnahmen (REM), kombiniert mit einer Röntgenmikroanalyse (EDX), erlaubten eine morphologische und chemische Zuordnung, methodenbedingt vor allem von anorganischen metallischen Staubelementen. Qualitativ wurde mit dieser REM-EDX-Technik auch die Zusammensetzung der Mikroagglomerate auf der Pollenoberfläche der genannten als auch weiterer erfaßter Blütenstaubkörner vor allem der 11 Untersuchungstage von März bis Juni analysiert. Details der zweiteiligen Studie sind in den Originalarbeiten für das Amt für Umweltschutz des Magistrates der Stadt Linz enthalten [37, 38]. Die REM-EDX-erhobenen

Zusammensetzungen des freien Schwebstaubes und des Staubes auf den Blütenstaubkörnern wurden mit früheren chemischen Analysen immittierten atmosphärischen Staubes (Luft- und Bodeneintrag) der Jahre 1987/88/89 verglichen [26].

Resultate

Tabelle 1 gibt die kalkulierten Luftstaubbelastungen in Linz für die Jahre 1991 und 1992 wider. Die Konzentrationen der partikulären Luftbestandteile waren während der letzten Dekade im Linzer Ballungsraum vor allem auf Grund der Maßnahmen im großindustriellen Bereich rückläufig, während bei den Verkehrsemissionen keine rückläufigen Tendenzen beobachtet wurden.

Der Polleneintrag zeigte in Linz im Vergleich zu einem Reinluftgebiet am Nordrand der Alpen quantitative Unterschiede bei

Faktor Reinluftgebiet/Industriegebiet

Birke	1,49
Esche	3,38
Eiche	0,28
Süßgräser	1,64
Wegerich	2,04

womit bei Birke und Gräsern 1991 höhere Gesamtbelastungen am Alpennordrand als im Linzer Ballungsgebiet bestanden. Durch die Besonderheit der lokalen Vegetation wurden in Linz mehr Eichenpollen als im nördlichen Alpenvorland gezählt und umgekehrt mehr Eschenpollen im weniger belasteten Gebiet an der Pollenfälle eingetragen. Vergleichbare Pollenimmissionen wurden

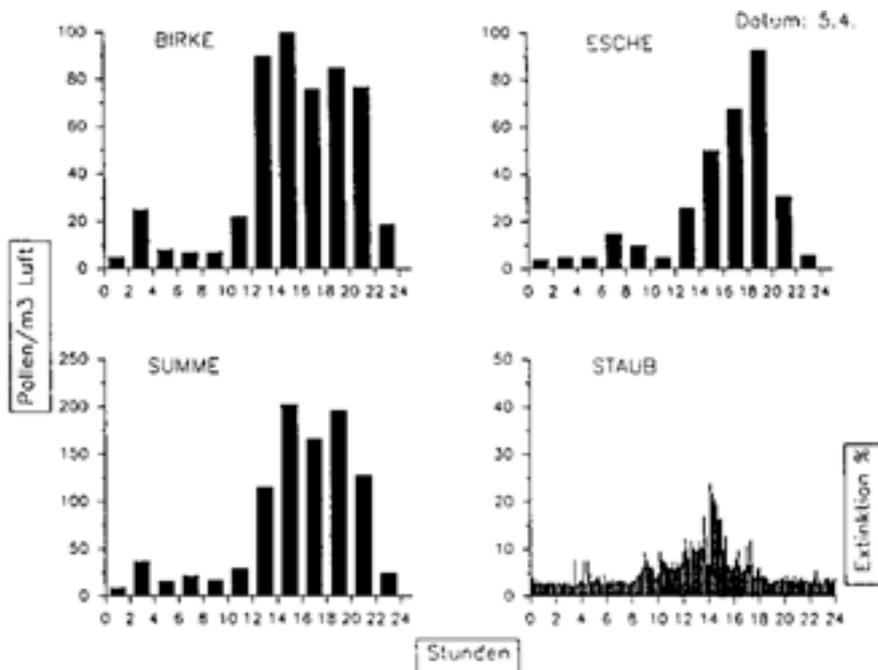


Abb. 3 Pollen- und Staubimmission am 5.4.1991. Dargestellt ist die Pollenbelastung in Pollen/m<sup>3</sup> Luft für 12 2-Stunden-Intervalle: Gesamtpollenbelastung (SUMME - links unten). Dominierende Pollenart BIRKE (links oben) und zweithäufigste Pollensorte ESCHE (rechts oben). Gegenübergestellt ist die Staubbelastung (rechts unten), aufgetragen als Lichtextinktion des Registrierstreifens der Burkard-Pollenfälle (für je 10-Minuten-Abschnitte). Statistisch besteht keine signifikante Beziehung zwischen Pollen- und Staubkonzentrationen. Eine Überlagerung von Pollen- und Staubbelastung ist jedoch offenkundig.

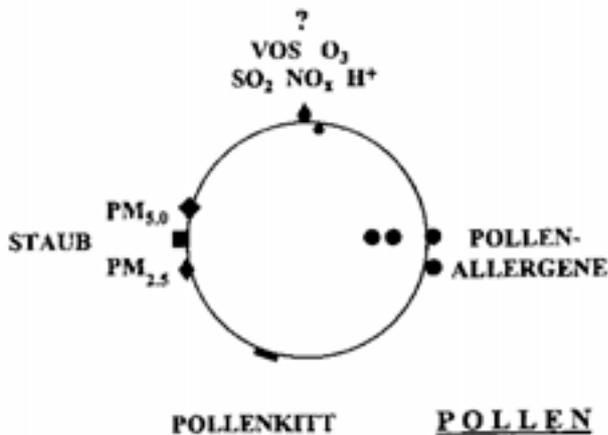


Abb. 4 Oberflächenfracht von Pollen, a) Atmosphärischer Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von unter 5 bzw. 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{5.0}$  und  $\text{PM}_{2.5}$ ) haftet in Abhängigkeit von der Luftstaubbelastung an der Pollenoberfläche z.B. Tonminerale, Eisen-sphäroide, Kalzit u. a. b) Pollenkitt ist eine lipophile Substanz der Pollenhülle, die als Oberflächenfilm vor allem auf der Oberfläche von Blütenstaubkörnern insektenbestäubter (entemophiler) Pflanzen auftritt. Pollenkitt dürfte bei Pollen von windblütigen Pflanzen keine wesentliche Bedeutung haben, c) Pollenallergene erscheinen durch Extrusion als granuläre, glomeruläre und diskoide Agglomerate an der Pollenoberfläche. Nach Abscherung werden sie hypothetisch der respirablen Schwebstaubfraktion untermischt, d) Niedrigmolekulare Luftschadstoffe - VOS (volatile organische Substanzen) und Ozon ( $\text{O}_3$ ) wirken wie andere Luftkomponenten (Schwefeldioxid, Schwefelsäure, Stickoxide, Protonen u. a.) auf die Pollenhülle ein. Die Pollenhülle besteht aus einer äußeren (Exine) und inneren Hüllschicht (Intine).

in den beiden Vergleichsregionen für Erle, Hasel, Buche, Getreide und Ampfer registriert. Die Gesamtpollenbelastung war im Reinluftgebiet um einen Faktor 1,31 höher als im Industrieraum.

Das durchschnittliche Monatsmittel atembaren atmosphärischen Schwebstaubes ( $\text{PM}_{10}$ ) betrug  $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Luft in Linz, während es an der Meßstelle im Reinluftgebiet in Bad Ischl im Mittel bei  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lag. Die Luft in Linz, bewertet rund 2-5 km nördlich bzw. nordwestlich vom Industriestandort aus, war aufgrund der zur Verfügung stehenden Paralleldaten von 6 kompletten Vergleichsmonaten durchschnittlich 1,9fach mehr belastet als jene am Alpennordrand. Die Linzer Monatsmittel von 109 und  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Monaten März und April 1991 spiegelten die ausklingende Heizperiode wider. Im Juli und August 1991 wurden in Linz die Tiefstwerte der  $\text{PM}_{10}$ -Monatsmittel mit 43 und  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen - allerdings außerhalb der Pollenhauptsaison.

Abbildung 3 zeigt Pollen- und Staubimmission am 5.4.1994, an dem ein starker Birken- und Eschenpollenflug registriert wurde. Birkenpollen wurden vor allem zwischen 12 und 22 Uhr in höherer Konzentration (Ma-

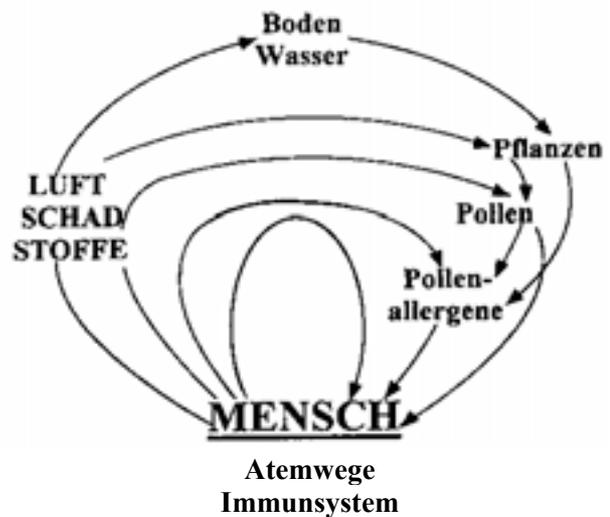


Abb. 5 Immunologische Rückkoppelungen anthropogener Luftschadstoffe auf den Menschen (»Umweltbumerang«). Mehrfache Rückkoppelung durch direkte Rückwirkung der Luftschadstoffe auf den Menschen, Beeinträchtigung der Pflanzen über Luft- und Bodenimmission, direkte Schadstoffwirkung auf Pollen (Schwermetallgehalt, Aktivierung, Schädigung der Pollenhüllen, Staubadsorption) sowie Effekte auf die Pollenallergene selbst (Allergenänderung, Zunahme des Allergengehalts von Pollen, Untermischung unter atmosphärischen Feinstaub).

ximum  $100 \text{ Birkenpollen}/\text{m}^3$  Luft) eingetragen. Bei einer relativ konstanten basalen Luftstaubbelastung (staubbedingte Lichtextinktion zwischen 3-4%) war die Staubimmission zwischen 8 und 12 sowie 15 und 18 Uhr knapp doppelt so hoch. Um 14 Uhr wurde eine Staubimmissionsspitze mit einer Maximalextinktion von 20-23% erreicht.

Eine statistisch signifikante Korrelation zwischen Pollen und Staubeintrag wurde an 10/11 Tagen nicht errechnet als Ausdruck dafür, daß sich Pollen- und Staubquellen unterscheiden und auch die Präzipitation der biogenen und nonbiogenen Partikel am Meßort keine wesentlichen Gemeinsamkeiten aufweist. Nur an einem von 11 Untersuchungstagen wurde eine geringe lineare Korrelation zwischen Pollen- und Staubimmission gefunden. Allerdings bestand während knapp 60 Prozent der analysierten Zweistundenintervalle eine zeitliche Überlagerung von Staub- und Pollenimpaktion an der Pollenfalle. Analog ist für Schönwettertage mit Pollenmaxima während ca.  $3/5$  der Zeit eine Belastung der Augen- und vor allem der oberen Atemwege gleichzeitig durch Pollen und Staub zu erwarten.

Staub fand sich auf den Registrierstreifen licht- und elektronenoptisch nicht nur von Blütenstaubkörnern getrennt, sondern auch um und auf Pollen. Die Oberfläche von 40 ausgewerteten Pollenkörnern war zwischen 0-23% - Erle im Mittel zu 3,7%, Birke 1,3%, Esche 1,6% und Gräser 9,0% staubbesetzt. Damit sind Blütenstaubkörner nicht nur Träger von Pollenallergenen, son-

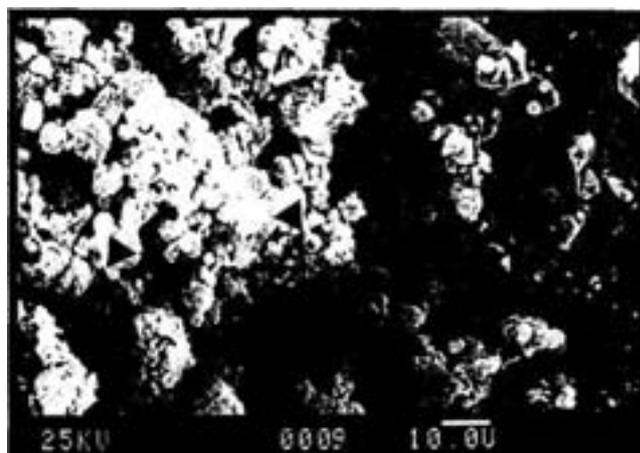


Abb. 6 Atmosphärischer Schwebstaub mit komplexer Zusammensetzung. Mit Pfeil T sind Eisensphäroide markiert. Der aerodynamische Durchmesser des Schwebstaubs (über oder unter 10  $\mu\text{m}$ ) bestimmt den Ort der vorwiegenden Partikeldeposition und damit auch den Wirkort in den oberen oder unteren Atemwegen. In saisonaler Abhängigkeit finden sich Pollenallergene den atmosphärischen Fein- und Ultrafeinstaubfraktionen untermischt.

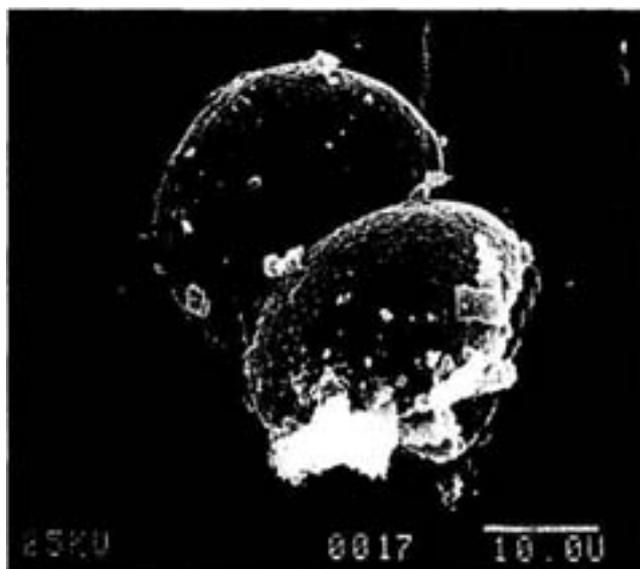


Abb. 7 Fichtenpollenkorn (Picea). Die Pollenoberfläche ist verändert und deformiert. Sie trägt eine beträchtliche atmosphärische Feinstaubfracht.

dem in bestimmtem Umfang auch von atmosphärischem Staub.

Staub auf Pollen wird damit zusammen mit den Pollen selbst Konjunktiven und Nasenschleimhäuten präsentiert bzw. mit Pollen und deren Allergenen deponiert. Je höher die staubbedingte Lichtextinktion des Registrierstreifens war, desto höher war auch die Staubfracht der Pollen. Überproportional hoch war die Oberflächenbeladung der Gräserpollen. Aufgrund der geringen Pollenzahl (lediglich je 10 pro Pollenart) mit entspre-

chender Selektionsbias können daraus keine sicheren Schlüsse auf eine mögliche verstärkte Affinität der Graspollenoberfläche für Feinstaubpartikel bzw. allfälliger immunologischer Konsequenzen gezogen werden.

Der freie atmosphärische Staub selbst wies an den einzelnen Studientagen statistisch einen durchschnittlichen Partikeldurchmesser zwischen 6 und 10  $\mu\text{m}$  mit einem Streubereich von 1 bis 80  $\mu\text{m}$  auf. Die submikronische Fraktion konnte nicht berücksichtigt werden. Mit dieser Verteilung der Staubteilchendurchmesser ist eine Staubbelastung der oberen wie auch der unteren Atemwege zu erwarten. Pollen werden aufgrund ihres relativ großen Durchmessers für gewöhnlich nur bei verstärkter körperlicher Aktivität mit Steigerung der Atemminutenventilation auf über 30-40 l/min und bei forcierter Mundatmung in der Lufttröhre und beschränkt in den ersten Bronchialgenerationen impaktiert.

Bei der EDX-Analyse wurden im freien Schwebstaub [24] als auch im Staub, der an der Pollenoberfläche adhärent war, Silizium, Kalzium, Eisen, Schwefel, Zink, Mangan, Natrium, Kalium und Titan nachgewiesen. Zusammen mit dem morphologischen REM-Bild wurden sie Quarz, Silikaten, Tonen, Kalzit und Eisensphäroiden um und auf Pollenkörnern zugeordnet. Eisensphäroide weisen wegen ihrer kugelförmigen Form auf ihre industrielle Herkunft hin. Eisenteilchen in irregulärer Form - herührend von Rost, Korrosion bzw. Abrieb - wurden nicht detektiert. Gips als atmosphärisches Reaktionsprodukt fand sich nur frei und nie an Blütenstaub fixiert. Streusalz, Ruß, Karbonpartikel und komplexer mit EDX nicht weiter differenzierbarer Feinstaub waren weitere Bestandteile des freien Staubs. Die qualitative Staubanalyse entsprach damit dem früher erhobenen quantitativen Boden- und Lufteintrag in Linz in den Jahren 1988/89 [26] und glich der atmosphärischen Staubbelastung von Duisburg in Deutschland 1986 [3].

Die Blütenpollen allergener als auch anderer Pflanzenspezies erschienen zum Teil intakt und unverändert, zum Teil jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt oberflächenverändert (Abb. 8 a-c). Es fanden sich Risse in der Pollenhülle. Stellenweise fehlte die regelmäßige pollenspezifische Oberflächentextur. Andere Pollenoberflächen waren eingedellt oder es lagen nur mehr leere Pollensäcke vor. Die Blütenstaubkörner sind offenkundig während ihrer Luftverfrachtung Umwelteinflüssen ausgesetzt, die ihre Integrität beeinträchtigen und Oberfläche angreifen. Das Alter der impaktierten Pollen ließ sich durch die angewandte Methodik nicht bestimmen, ebenso nicht, ob aufgewirbelte schon einmal gesetzte ältere Blütenstaubkörner mitgesammelt wurden.

Auf der Oberfläche unterschiedlicher Pollen wurden nicht nur anorganische Staubpartikel (Abb. 8 b), sondern auch ähnlich 1 bis 3  $\mu\text{m}$  (maximal 4-5  $\mu\text{m}$ ) große, organische, zum Teil granuläre und globuläre (wie auf Abb. 8 c), zum Teil angedeutet diskoide Agglomerate gefunden. In deutschen Untersuchungen wurde solchen Pol-

Abb. 8a-8c Erlenpollen (Alnus),

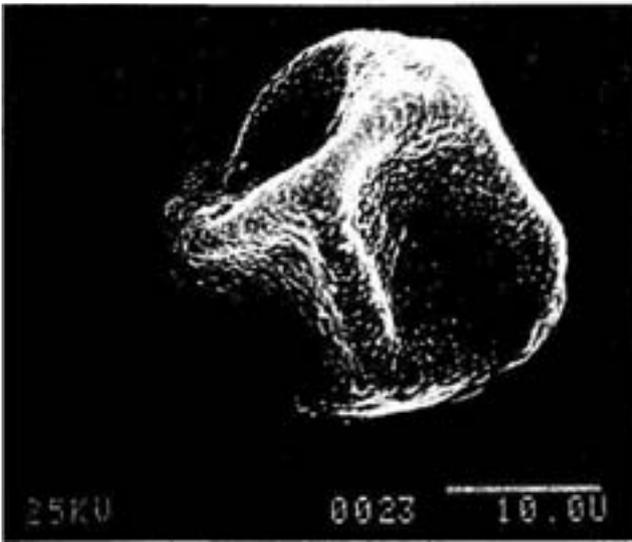


Abb. 8a Intaktes Erlenpollenkorn ohne Partikelfracht auf der Oberfläche.

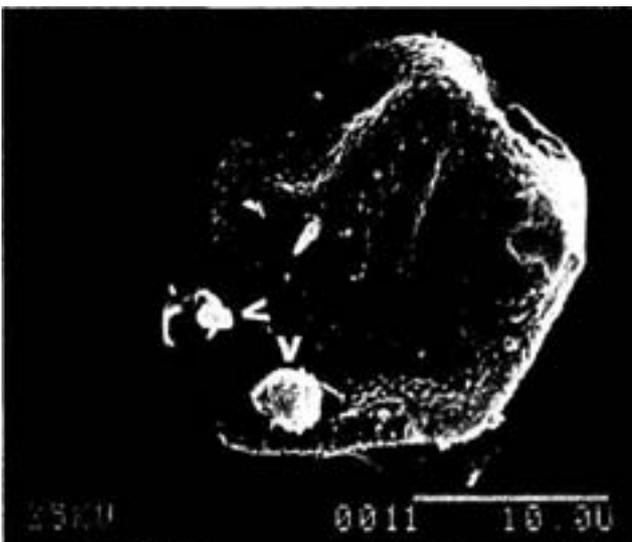


Abb. 8c Deformiertes Blütenstaubkorn mit 2 organischen Agglomeraten. Die Pollenoberfläche zeigt einen teilweisen Verlust der Oberflächentextur. Die Pfeile vv markieren kleine globuläre organische Partikel mit hypothetischer IgE-Reaktivität (Pollenallergene) - ev. sogenannte Endexinenbläschen.

lenagglomeraten Immunreaktivität zugeordnet und in transmissionselektronischen Aufnahmen eine Extrusion von Anteilen der Intine durch Mikrokanälchen der Exine nachgewiesen. Es scheinen dabei zwei Formen von Auflagerungen aufzutreten - gleichgroße granuläre mikronische und unterschiedlich große sphärische Aggregate mit einem Durchmesser im unteren Mikrometerbereich. Sie entsprechen möglicherweise Bläschen der

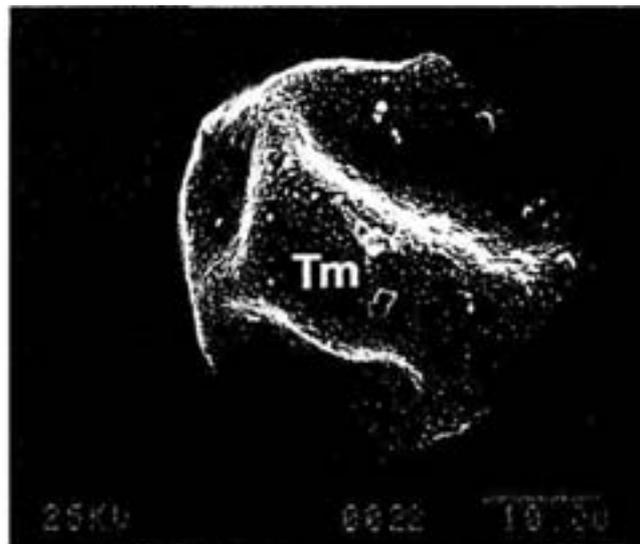


Abb. 8b Beschlag mit atmosphärischem Feinstaub. Tm: markiert Tonminerale.

Endexine als Degradationsprodukt [35]. Exine und Intine sind zumindest bei Ambrosia die wahrscheinlichen Carrier bzw. Lokalisationsorte von Pollenallergenen [18, 22]. Luftschadstoffe scheinen die Pollenoberfläche so zu alterieren, zu schädigen oder (zur Extrusion) zu aktivieren, daß sie permeabel wird. Jedenfalls treten organische Oberflächenaggregate in einer Größe auf, die auf Grund ihres Durchmessers bis in die kleinsten und periphersten Atemwege eindringen können. Sie wurden teilweise zusammen mit Feinstaub - etwa der Fraktion  $PM_{2,5}$  entsprechend - an der Blütenstauboberfläche präsentiert. Hypothetisch können die organischen Partikel abgeschert, freigesetzt und dann dem anderen atemgängigen atmosphärischen Feinstaub saisonal untermengt werden. Freie biogene Anteile und Pollenfragmente entzogen sich aufgrund der benützten analytischen Methode dem Nachweis. Sie konnten nicht im komplexen Schwebstaub nachgewiesen werden.

## Diskussion

In österreichischen Ballungszentren finden sich wie in Industrie- und Ballungsräumen westlichen Typs erhöhte Sensibilisierungsraten gegen Innenraumallergene (Hausstaubmilben) und Außenraumallergene (Birken- und Gräserpollenallergene) in Analogie zu der japanischen Zedernpollenallergie in verkehrsreichen Regionen. Höheren Allergieraten gehen höhere Belastungen an atmosphärischem Staub parallel. Für partikuläre Dieselverbrennungsrückstände wurde eine Adjuvanswirkung bei der Ovalbuminsensibilisierung im Tierexperiment nachgewiesen. Die atmosphärische Staubbelastung hat während der letzten Dekade im Linzer Industrieraum

deutlich abgenommen, betrug jedoch 1991 während der Pollenflugzeit zwischen März und September noch das 1,9fache der  $PM_{10}$ -Belastung einer Kleinstadt in einem Reinluftgebiet am Alpennordrand. Während die großindustriellen Staubemissionen deutlich reduziert werden konnten, blieben der gasförmige und partikuläre Verkehrsausstoß unbeeinflusst.

Die Gesamtpollenbelastung liegt im weniger schadstoffbelasteten Gebiet 1,3fach über dem Industriegebiet. Auch bei den Birken- und Gräserpollen fand man 1991 im Reinluftgebiet höhere Polleneinträge. An den 11 Tagen mit Pollenflugspitzen zwischen 3/1991 und 9/1991 konnte nur an einem Tag eine schwache statistische Beziehung zwischen atmosphärischem Feinstaub und impaktierter Pollenzahl festgestellt werden. Entsprechend liegen nicht nur unterschiedliche Emissionsquellen bei Staub und Blütenstaub vor, sondern fehlen auch Hinweise für gemeinsame Präzipitationsmechanismen. Trotz Fehlens einer Korrelation besteht an Schönewettertagen aber eine weitgehend zufällige Superposition von Schweb- und Blütenstaub Immission bzw. eine entsprechende Augen- und Atemwegsbelastung in knapp 60% der Zeit.

Blütenpollen werden aufgrund ihrer Größe zwischen 10 und 100  $\mu m$ , mehrheitlich zwischen 20 und 30  $\mu m$  in den oberen Atemwegen, vor allem im Nasenraum deponiert. Der atmosphärische Staub zeigt eine breite Streuung der Partikeldurchmesser von submikronischen Dimensionen bis hin zu etwa 80  $\mu m$  [37]. Entsprechend wird er sowohl in den supra- als auch infraglottischen Atemabschnitten impaktiert und sedimentiert. Bei einem kleineren Staubteilchendurchmesser zwischen 5 und 10  $\mu m$  erreicht jedoch der Großteil des Schwebstaubs die unteren und peripheren Atemwege. Bei Luftgütemessungen wird allgemein nur die respirable Staubfraktion  $PM_{10}$  gemessen. Im Nasenrachenraum bis hin zu den Stimmbändern werden jedoch Pollen wie auch Grobstaubpartikel mit aerodynamischen Durchmessern ( $aD$ ) > 10  $\mu m$  abgesetzt, so daß in den oberen Luftwegen Kombinationseffekte von zeitgleich eintreffendem toxischen Grobstaub und Pollen zu erwarten sind.

Pollenallergene werden auf der Schleimhaut aus intakten Pollen freigesetzt. Zum Teil tragen Blütenstaubkörner kleinste Staubteilchen mit Durchmessern im unteren Mikrometerbereich. Der Staubbesatz von Erle, Esche, Birke und Gräserpollen schwankte an Tagen ohne relevante Inversionswetterlage zwischen 0 und 23%. Der überproportional hohe Staubbesatz von Gräserpollen muß wegen der geringen Zahl analysierter Pollen und der wahrscheinlichen Selektionsbias ohne Interpretation bleiben. Ein ergänzender Vergleich einer größeren Pollenzahl sollte jedoch klären, ob tatsächlich eine höhere Staubaffinität bei Gräserpollen besteht, weil damit ein potentieller Verstärkermechanismus für allergische Sensibilisierungen vorliegen könnte. Wegen des

Feinstaubbesatzes von Blütenstaubkörnern werden der Nasenschleimhaut zeitgleich am gleichen Ort Feinstaub und Pollenallergene präsentiert.

Die Zusammensetzung des Staubes auf und neben Pollen war ähnlich. Silizium als häufigstes Element kam als Quarz und als Silikat vor. Quarz kommt in atmosphärischem Schwebstaub in so niedrigen Konzentrationen vor, daß keine Staublungenerkrankung resultieren kann. Quarz in den vorliegenden Konzentrationen ist aber imstande, die Zellfunktion von Alveolarmakrophagen zu beeinflussen und zu modulieren. Eisen fand sich auf Pollen und unter Feinstaub in Form von Sphäroiden. Diese kugeligen Eisenpartikel weisen auf ihre industrielle Herkunft hin. Irreguläre Eisenteilchen dagegen stammen von Abrieb und Korrosion, wurden jedoch im untersuchten Probenmaterial nicht angetroffen. Eisen findet sich in der Nähe von Eisen- und Stahlhütten in hoher Konzentration in Luft und Boden. Die gemessenen Werte in Linz und in Duisburg sind vergleichbar [3, 26]. Die genauen biologischen Auswirkungen von Eisen in der Luft und auf Pollen sind nicht bekannt. Hypothetisch ist eine katalytische Wirkung (Fenton-Effekt) bei der Ozonentstehung anzunehmen.

Gips als sekundäres atmosphärisches Reaktionsprodukt zwischen Kalzium und Sulfat - zum Teil aus dem Hüttenprozeß - konnte in kristalliner Form im Staub, jedoch nicht auf Blütenstaubkörnern nachgewiesen werden. Ammoniumsulfat und Ammoniumhydrogensulfat im Fein- und Ultrafeinstaub waren mit der EDX-Technik nicht faßbar, wurden jedoch bei früheren Immittatanalysen in Linz wie in den USA in größerer Menge gefunden [24, 26]. Tone und Kalzit wurden frei und auf Pollen angetroffen. Sie werden biologisch ähnlich wie Gips als relativ inert aufgefaßt. Der organische Staubanteil kann bis zu einem Drittel des Gesamtstaubes betragen. Er entzog sich jedoch methodenbedingt in der gegenständlichen Untersuchung dem Nachweis, obwohl er für die allergische Sensibilisierung und Verstärkung allergischer Reaktionen von größerer Bedeutung sein könnte. Er findet sich vor allem in Verkehrs- und Feuerungsemissionen durch Verbrennung flüssiger Treib- und Brennstoffe, die sich durch ihre hohe H/C-Ratio (Wasserstoff/Kohlenstoffratio) von Kohle Verbrennungsrückständen mit niedriger H/C-Ratio unterscheiden [IS].

Pollen sind langerlebige, relativ widerstandsfähige Pflanzenzellen. Neben intakten Pollen fand sich eine größere Anzahl oberflächenveränderter Blütenstaubkörner. Die Oberflächenveränderung ist unabhängig von der Pflanzenspezies. Sie fand sich in Form von arealweise aufgehobener Oberflächentextur, zum Teil in Form von Rissen und Eindellungen sowie von leeren Pollensäcken. Pollenhüllen unterliegen offenkundig während ihrer Transmission Luftschadstoffeinflüssen. In der Exine, der äußeren Hüllschicht der Pollen, wurden Mikrotubuli nachgewiesen, durch die nach transmissionselektronischen Aufnahmen nach Pollenaktivierung Intinenmate-

rial (Intine = innere Pollenhüllschicht) an die Pollenoberfläche gelangt [3]. Das Vorkommen und der Austritt von Pollenkitt von der Intine auf die Exinenoberfläche ist bei windblütigen Pflanzen unwahrscheinlich [36]. Eine IgE-Reaktivität des Oberflächenmaterials wurde dokumentiert. Bei Gräser- und Birkenpollen ist die exakte Lokalisation der Hauptallergene nicht genau bekannt. Granuläre und globuläre Agglomerate wurden berichtet.

Bei qualitativer REM-EDX-Pollenanalyse wurden auch auf Erlenpollen kleinste sphärische organische Aggregare neben atmosphärischem Feinstaub (einschließlich Tonminerale) nachgewiesen: dargestellt auf den Abbildungen 8 b und 8 c. Bei Ambrosia (Ragweed) scheinen Pollenallergene in Intine und auch Exine integriert [18, 22]. Wenn Luftschadstoffe die Exine degradieren und aufbrechen und die Oberflächenintegrität verletzen, sollten Pollenproteine freigesetzt werden. Tatsächlich fanden sich bei Gräser-, Birken-, Ambrosia-, aber auch in der gegenständlichen Untersuchung auf anderen Pollenarten wie von Erle und Weide kleine granuläre und globuläre und seltener diskoide organische Auflagerungen vor allem auf alterierten Blütenstaubkörnern. Diese Agglomerate scheinen teils Folge aktiver Extrusion, teils Folge einer Oberflächenbeschädigung zu sein. In niedrig mikronischen und submikronischen und damit respirablen Staubfraktionen wurden Birken-, Gräser- und Ambrosiaallergene gefunden. Diese allergenen Substanzen müssen aus Pollen freigesetzt worden sein. Es wird daher angenommen, daß die organischen Auflagerungen auf der Pollenoberfläche mit einem Durchmesser zwischen 1 und 5 µm einen Übergangszustand bzw. Freisetzungsmechanismus von Pollenallergenen aus der Pollenhülle repräsentieren. Nach Loslösung bzw. Abscherung des organischen Materials in Mikrometergröße liegt dann eine respirable Form von Pollensubstanz vor, die bis in die peripheren Bronchien eindringen kann. Es gibt keine Untersuchungen, die darüber informieren, ob es während der letzten Jahrzehnte unter den herrschenden Luftbelastungen zu einer Zunahme freier Pollenallergene kam.

Dem Gräser- oder Birkenasthma liegt streng genommen im Gegensatz zur Rhinokonjunktivitis keine Pollinose, sondern eine Pollenallergenexposition und -reexposition zugrunde. Die erforderliche Freisetzung von Pollenallergenen aus Pollen führt hypothetisch zu der beobachteten zeitlichen Verzögerung zwischen Pollenbelastung der oberen und Pollenallergenbelastung der unteren Atemwege. Durch die Persistenz der Pollenallergene in der Luft über den Pollenflug hinaus - fraglich auch als Folge einer Wiederaufwirbelung des mikroskopisch kleinen organischen Materials nach vorangehender Sedimentation - könnte so die klinische Beobachtung eine Erklärung finden, daß saisonal Asthmabeschwerden zeitlich nicht selten den Rhinitisbeschwerden folgen bzw. die Asthmasymptomatik den Pollenflug wegen ih-

rer Koppelung an aerosolisierte Pollenallergene überdauert. Die Pollenrhinitis ist häufiger als das »Pollenasthma«. Ob dieser Häufigkeitsunterschied eine unterschiedlich starke Pollenallergenbelastung reflektiert, ist offen. Es ist denkbar, daß die Menge der aus den in der Nasenschleimhaut impaktierten Pollen ausgeschwemmten Pollenallergene (gebundene Allergene) die Menge der in die unteren Atemwege inhalieren freien Pollenallergene (freie Allergene) deutlich übertrifft. Führt solch eine unterschiedlich intensive Allergenbelastung zu einer unterschiedlichen bzw. einer zeitlich eventuell über Jahre verschobenen Krankheitsintensität, könnte eine Deszension von den oberen zu den unteren Atemwegen vorgetäuscht werden - Pseudodeszension. Immunchemische Methoden lassen die Allergengesamtmenge approximativ bestimmen. Die örtlich differenzierte Deposition von Pollen und Pollenallergenen stellt jedoch humanbiologisch die Bestimmung einer Gesamtallergenmenge (aus Pollen und freie Pollenallergene) in Zweifel [2]. Der immunchemische Nachweis von bestimmten Pollenallergenen würde jedoch Dauer und zeitlichen Fortbestand einer Allergenbelastung dokumentieren.

Organische Partikel finden sich neben Staubpartikeln auf der Pollenoberfläche. Im Falle allergenen Pollenmaterials werden damit Allergen und Staub nebeneinander der Nasenmukosa präsentiert. Die Untersuchungsanlage erlaubte den elektronenoptischen Nachweis von partikulären Agglomeraten auf den Pollen, die EDX aber nur eine genauere chemische Zuordnung von anorganischen metallischen Elementen. Auf Grund der Lipophilie der Pollenoberfläche sind jedoch auch Bindungen und Einwirkungen von volatilen organischen Substanzen (VOS - z.B. von Alkanen und Aromaten) und Ozon aus der Luft an der Pollenoberfläche anzunehmen, die zu deren Alteration bzw. »Alterung« beitragen können - siehe die Skizze der möglichen Oberflächenassoziate von Pollen (Abb. 4). Schwefeldioxid, bestimmt als Trockensubstanz, fand sich in einem Ausmaß zwischen 0,2-0,5% des Pollengewichtes. Stickstoffoxid lag eine Größenordnung darunter [30].

Konventionell hält man eine Epithelvorschädigung durch toxische Umwelttoxine für verantwortlich für die gesteigerte Sensibilisierung gegen die vorhandenen Aeroallergene. Die Grobstaub-Pollenassoziation, die simultane Feinstaub- und Pollenallergenpräsentation auf der Pollenoberfläche und die Untermischung von Pollenallergenen unter die respirablen Staubfraktionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> sind jedoch 3 Modelle für zeitgleiche toxische und allergische Einwirkungen. Der aerodynamische Durchmesser der biogenen wie non-biogenen Schwebstaubpartikel bestimmt den Ort der Deposition und damit auch der unspezifischen wie spezifischen immunologischen Schleimhautreaktion. Der Auffassung der toxischen Vorschädigung der Atemwege (Vorschädigungsmodell) wird die Konzeption der gleichzeitigen toxisch-allergischen Affektion als zweite Hypothese für die er-

höhte allergische Sensibilisierung bzw. beobachtete Immunmodifikation/verstärkung in westlichen Ballungsräumen gegenübergestellt (Synchroniemodell). Die Wirkstoffsynergie resultiert dabei einerseits aus einem synchronen, aber sonst voneinander unabhängigen Einwirken toxischer und allergener Stoffe am gleichen Wirkort bzw. Erfolgsorgan, andererseits aus einer vorangehenden externen Wirkstoffassoziation vor gemeinsamer Deposition im Atemtrakt - siehe Abbildungen 1 und 2. In Abhängigkeit von der Outdoor-Aktivität und der damit verbundenen gesteigerten Atemminutentventilation steigen parallel die Atemwegsbelastung durch toxischen Schwebstaub und Pollenallergene.

Polleneffekte können nicht nur isoliert betrachtet, sondern sollten auch in ihrer Interaktion mit anderen Luftschadstoffkomponenten gesehen werden. Als Synopsis und Szenario wird daher das Konzept der mehrfachen immunologischen Luftschadstoffrückwirkung auf den Menschen in Abbildung 5 skizziert. Die vom Menschen verursachten gasförmigen Luftschadstoffe, partikulären und flüssigen Aerosole wirken in einer ersten Feedback-Schleife auf ihn selbst bzw. seinen Atemtrakt zurück, modulieren seine Immunlage bzw. stören die Integrität der Schleimhautbarriere der Atemwege. Anthropogene Emissionen werden auch in den Boden eingetragen. Über Boden und Luft beeinträchtigen sie windblütige Pflanzen. Deren Pollen nehmen wie andere Pflanzenteile auch z.B. Schwermetalle z.B. Blei [12, 14, 23] auf. Pollen von Birken an verkehrsbelasteten Standorten zeigen einen höheren Gehalt an Bet-v-1, dem Birkenhauptallergen [8, 17]. Damit führen Pollen einerseits immunmodulierende Stoffe [20] mit sich und tragen andererseits eine höhere Allergenladung - ein zweiter und dritter Rückkopplungseffekt. Geänderte elektrophoretische Eigenschaften von Pollenallergenen wurden berichtet [4]. Damit scheinen Pollenallergene unter Umwelteinflüssen eine Änderung zu erfahren, d.h. unter deren Einwirkung Allergen-Isoformen zu entstehen. Der Mensch wird dadurch hypothetisch mit modifizierten Allergenen konfrontiert.

Luftschadstoffe wirken auf die Pollen selbst während ihrer Verfrachtung ein. Die Pollenoberfläche wird verändert und verstärkt durchlässig. Sowohl die Schädigung der Pollenhülle vor allem der Exine als auch eine Aktivierung der Intine führen zur Erhöhung der Permeabilität der Pollenhülle und zur vermehrten Extrusion von organischem Material. Dadurch präsentieren die Pollen vermehrt allergene Agglomerate an ihrer Oberfläche - zum Teil in unmittelbarer Nachbarschaft mit atmosphärischem Schwebstaub. In der Folge finden sich vermehrt auch freie Allergene, wenn die Blütenstaubkörner das allergene Oberflächenmaterial durch Abscherung in die Fein- und Ultrafeinstaubfraktion des atmosphärischen Schwebstaubes entlassen. Dieser allergene Feinstaub ist fähig, in die unteren Atemabschnitte einzudringen. Schließlich beobachten wir synchrone Luftschadstoff-

und Pollen(allergen)belastungen des Atemtraktes, d.h. gleichzeitige toxisch-allergische Wirkstoffeffekte. Saisonal unterschiedliche Pollen-Schwebstaub-Assoziationen und die Untermischung von Pollenallergenen unter einen atmosphärischen Feinstaub mit wahrscheinlicher Adjuvanswirkung [6] sind in stande (zumindest im Tierversuch), bei genetisch Disponierten die Pollen(allergen)-Sensibilisierung zu verstärken.

Konzeptionell kommt es unter unkontrollierten Luftschadstoffbedingungen zu einer mehrfach negativen immunologischen Rückkoppelung (»anthropogener Schadstoffbumerang«). Technische Teillösungen wie Feinstaubfilter für Personenkraftwagen, Ozonreduktoren oder eine Änderung der Bepflanzung entlang von Verkehrswegen oder in städtischen Parks [7, 10, 21], scheinen bei ganzheitlicher Sicht der Pollenallergie-Problematik mit Ursachen-Folgenbetrachtung zwar pragmatische Lösungsansätze für eine Expositionsprophylaxe/reduktion, aber unzureichende und vor allem keine kausalen Strategien zur Senkung von Atemwegsallergien. Pollen von Pflanzen zeigen in Abhängigkeit von ihrem Standort, vor allem vom Abstand von stark frequentierten Verkehrswegen und entsprechend ihrer Umweltresistenz, Änderungen in ihrer biologischen Aktivität (Keimung - Chromosomenalteration, Meiosestörung, Sterilität; aber auch Änderung der Keimschlauchentwicklung, Mitosebeeinflussung u.a.) [11, 13, 25, 44].

Aerogenen allergischen Reaktionen und Sensibilisierungen kann nach gegenwärtigem Verständnis auf 3 Ebenen entgegengewirkt werden [5]:

- durch Allergenreduktion - wirksam nur bei Innenraumallergenen,
- durch räumliche, zeitlich inhalative und ingestive Einschränkung der Allergenexposition und
- durch Senkung der allergenbegleitenden Schadstoffe, d. h. der Luftschadstoffe bzw. der toxischen Luftlasten.

### Zusammenfassung

Atmosphärischer Schwebstaub trifft alleine oder mit Pollen oder Pollenallergenen assoziiert den menschlichen Atemtrakt. Der aerodynamische Durchmesser der Partikel bestimmt den Depositions- und Reaktionsort. Pollen und Grobstaub impaktieren inspiratorisch in den oberen, Pollenallergene und Feinstaub beschlagen die unteren Atemwege. Feinstaub wird in zufälliger Beziehung neben und auf Pollenkörnern und dort zum Teil neben niedrig mikronischen organischen Agglomeraten gefunden. Das Erscheinen von organischem Material auf der Pollenoberfläche stellt den wahrscheinlichen Freisetzungsmechanismus für Pollenallergene dar. Die Beimengung von Pollenallergenen zu den mikronischen und submikronischen respirablen Schwebstaubfraktionen erklärt das »Pollenparadox« des allergischen Bronchial-

asthmas. Von ihrem aerodynamischen Durchmesser her können nicht Pollen, sondern nur aus Pollen freigesetzte Allergene die infraglottischen Atemwege erreichen.

Die häufige zeitliche Koinzidenz von Staub- und Pollen- bzw. von Staub- und Pollenallergenbelastung läßt dem Vorschädigungsmodell ein Synchroniemodell zur Erklärung der verstärkten Sensibilisierung gegen Pollenallergene zur Seite stellen. Anthropogene Emissionen können über mehrfache Rückkopplungsmechanismen auf den Menschen zurückwirken - über Luft und Boden, Pflanzen, eine Änderung von Pollen und Pollenallergenen sowie unterschiedliche Schadstoff-Blütenstaubassoziationen.

#### LITERATUR

- [1] *Aberg N.*: Asthma and allergic rhinitis in Sweden. *Clin. Exp. Allergy* 19, 59-63 (1989).
- [2] *Agarwal M.K., J.W. Yunginger, M.C. Swanson, C.E. Reed*: An immunochemical method to measure atmospheric allergens. *J. Allergy Clin. Immunol.* 68, 194-200 (1981).
- [3] *Behrendt H., K. H. Friedrich, E. Kainka-Stänicke, U. Darsow, WM. Becker, R. Tomingas*: Allergens and pollutants in the air - a complex interaction. In: Ring J., B. Przybilla: *New trends in allergy III*. Springer, Berlin 1991, 467-478.
- [4] *Behrendt K, WM. Becker, K.H. Friedrichs, U. Darsow, R. Tomingas*: Interaction between aeroallergens and airborne particulate matter. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 99, 425-428 (1992).
- [5] *Bessot J. C, F. de Blay, G. Pauli*: From allergen sources to reduction of allergen exposure. *Eur. Resp. J.* 7, 392-397 (1994).
- [6] *Biagini R.E., J. Moorman, TR. Lewis, L. Bernstein*: Ozone enhancement of platinum asthma in a primate model. *Am. Rev. Resp. Dis.* 134, 719-725 (1986).
- [7] *Bondar L.M., L. V. Chastokolenko*: Microsporogenesis as one of the possible bioindicators of highway polluting action. *Biol. Bauki (Mose.)* 79-84 (1990) (Abstract).
- [8] *Breiteneder H, O. Scheiner*: Environmental pollution and pollen allergy - a possible link. *Allergologie* 13, Sonderdruck, 434 (1990) (Abstract).
- [9] *Busse W.W, C.E. Reed, J.H. Hoehne*: Where is the allergenic reaction in ragweed asthma? Demonstration of ragweed antigen in airborne particles smaller than pollen. *J. Allergy Clin. Immunol.* 50, 289-293 (1972).
- [10] *Caramiello R., A. Potenza, P. Miglietta, C. Siniscalco*: Replanning the layout of an inner city park by planting species with a low allergological impact. *Aerobiologia* 8, 133-140 (1992).
- [11] *Comtois P, R.S. Schemenauer*: Tree pollen viability in areas subject to high pollutant deposition. *Aerobiologia* 7, 144-151 (1991).
- [12] *Ernst W.H., W.B. Bast-Cramer*: The effect of lead contamination of soils and air on its accumulation in pollen. *Plant and soil* 57, 491-496 (1980).
- [13] *Flückinger W, S. Braun, J.J. Oertli*: Der Einfluß verkehrsbedingter Luftverunreinigungen auf die Keimung und das Schlauchwachstum bei Pollen von *Nicotiana sylvestris*. *Environ. Pollut.* 16, 73-80 (1978).
- [14] *Free J.B., I.H. Williams, R.J.F.H. Pinsent, A. Townsend, M.S. Basi, C. L. Graham*: Using foraging honey bees to sample an area of trace metals. *Environ. Int.* 9, 9-12 (1983).
- [15] *Glikson M., R. Simpson, H. Polach, J. Taylor*: Microscopical TSP studies comparing a city center and suburban sites in Canberra, Australia. *Atmos. Environ.* 22, 1745-1758 (1988).
- [16] *Habenicht H.A., H.A. Bürge, M.L. Muilenberg, W.R. Solomon*: Allergen carriage by atmospheric aerosol. II. Ragweed pollen determinants in submicronic atmospheric fractions. *J. Allerg. Clin. Immunol.* 74, 64-67 (1984).
- [17] *Horak F., S. Jäger, J. Toth*: Klinische Reflexionen zur Aggressivitätssteigerung der Birkenpollen. *Atemw. Lungenkrkh.* 19 (Suppl), S91-S93 (1993).
- [18] *Hubscher T., A.H. Eisen*: Localisation of ragweed allergens in the intact ragweed pollen grain. *Int. Arch. Allergy* 42, 466-473 (1972).
- [19] *Ishizaki T, K. Koizumi, Y. Ishiyama*: Studies of prevalence of Japanese cedar pollinosis among residents in a densely cultivated area. *Ann. Allergy* 58, 265-270 (1987).
- [20] *Kiella, W. Hadnagy, N.H. Seemayer, H. Behrendt, R. Tomingas*: Inhalation studies with airborne particulates in rodents: cytotoxic and genotoxic effects of alveolar macrophages and bone marrow cells. In: Mohr U. et al.: *Advances in controlled clinical inhalation studies*. Springer, Berlin 1993, 323-336.
- [21] *Klug W*: Ausbreitung von Pollen in der Atmosphäre. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Bonn: Allergien durch Pollen und Sporen. Bericht über das Kolloquium, Mitteilung. Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung (DFG), Bonn: Deutsche Forschungsgemeinschaft, 29-33 (1970).
- [22] *Knox R.B., J. Heslop-Harrison, C.E. Reed*: Localisation of antigens associated with the pollen grain wall by immunofluorescence. *Nature* 225, 1066-1068 (1970).
- [23] *Krishanyya N.S.R., S.J. Bedi*: Effect of lead pollution on *Cassia toro* and *Cassia occidentalis* L. *Environ. Pollut. (A. Ecol. Biol.)* 40, 221-226 (1986).
- [24] *Landesregierung für Oberösterreich*: Untersuchungen zur Immissionsituation von Staubniederschlag im Raum Linz und Umgebung in der Zeit von April 1988 bis April 1989.
- [25] *Ma Te-Hsiu et al.*: Pollen mitosis and pollen tube growth inhibition by SO<sub>2</sub> in cultured pollen tubes of *Tradescantia*. *Env. Research.* 12, 144 (1976) (Abstract).
- [26] *Mamane Y., T. G. Dzabay*: Characteristic of individual particles at a rural site in the Eastern USA. *J. Air. Pollut. Contr. Assoc.* 36, 906-911 (1986).
- [27] *Mitchell E.A.*: Increasing prevalence in asthma in children. *N. Z. Med. J.* 96, 463-464 (1983).
- [28] *Miyamoto T, S. Takafuji*: Environment and allergy. In: Ring J., B. Rzybilla: *New trends in allergy III*. Springer, Berlin 1991, 459-466.
- [29] *Mutius E. von., Chr. Fritzsche, St.K. Weiland, G. Roll, H. Magnusson*: Prevalence of asthma and allergic disorders among children in united Germany: a descriptive comparison. *Brit. Med. J.* 305, 1395-1399 (1992).
- [30] *Noll K. E., E. Khalili*: Dry deposition associated with pollen. *Atmos. Environ.* 22, 601-604 (1988).
- [31] *Popp W et al.*: Sensitization to aeroallergens depends on environmental factors. *Allergy* 44, 572-575 (1989).
- [32] *Popp W et al*: *Gesunde Lunge*. Im Druck.
- [33] *Rantio-Lehtimäki A., M. Viander, A. Koivikko*: Airborne birch pollen antigens in different particle sizes. Thesis, University

- of Turku, Department of Biology, 1992.
- [34] *Riedel F.*: Tierexperimentelle Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Reizgasschädigung und bronchialer Sensibilisierung. *Allergologie* 12, 112-113 (1989).
- [35] *Rowley J.R., J.S. Rowley, J.J. Skvarla*: Corroded exines from *Havinga's* leaf mold experiment. *Palynology* 14, 53-80 (1990).
- [36] *Salomon W.R.*: Aerobiology of pollinosis. *J. Allergy. Clin. Immunol.* 74, 449-461.
- [37] *Schinko H., R. Schmidt*: Assoziation von Luftallergenen und partikulären Aerosolen in Linz 1991 - Teil I. Studie für das Magistrat der Stadt Linz, Österreich.
- [38] *Schinko H., R. Schmidt*: Assoziation von Luftallergenen und partikulären Aerosolen in Linz 1991 - Teil II. Studie für das Magistrat der Stadt Linz, Österreich, in Vorbereitung.
- [39] *Solomon W.R., H.A. Bürge, M.L. Muilenberg*: Allergen carriage by atmospheric aerosol. I. Ragweed pollen determinants in smaller micronic fractions. *J. Allergy Clin. Immunol.* 72, 443-447 (1983).
- [40] *Spijksma F.Th.M., J.A. Kramps, A.C. Van der Linden, B.H. Nikkeis, A. Plomp, H.K. Koerten, H.J. Dijkman*: Evidence of grass-pollen allergenic activity in the smaller micronic atmospheric aerosol fraction. *Clin. Exper. Allergy* 20, 273-280 (1990).
- [41] *Takafuji Sh., Sh. Suzuki, K. Koizumi, K. Tadokoro, T. Miyamoto, R. Ikemori, M. Muranaka*: Diesel exhaust particles inhaled by the nasal route have an adjuvant activity for IgE production in mice. *J. Allergy Clin. Immunol.* 77, 616-623 (1986).
- [42] *Vannier H.S., J. de Haller, C. Schopfer*: Prevalence de l'allergie chez les enfants et les adolescents. *Helv. Paediat. Acta* 39, 129-136 (1984).
- [43] *Wjst M., P. Reithmeir, S. Dold, A. Wulff, Th. Nicolai, E. v. Löffelholz-Colberg, E. v. Mutius*: Road traffic and adverse effects on respiratory health in children. *Brit. Med. J.* 307, 596-600 (1993).
- [44] *Wolters J.H.B., M.J. M. Martern*: Effects of air pollutants on pollen. *Botanical Review* 53, 372-414 (1987).

Prim. Dr. med. H.A.E. Schinko  
Krankenhausstraße 9 A-4020 Linz

# Biologische Verunreinigungen in der Raumluft

H.-U. WANNER

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich

**Biologische Verunreinigungen in der Raumluft.** Die häufigsten biologischen Verunreinigungen in der Raumluft sind Hausstaub- und Vorratsmilben, Schuppen von Haustieren, Bakterien und Pilze. Milben können sich vor allem auf Matratzen, Teppichen und Polstermöbeln anreichern, Mikroorganismen auf feuchten Oberflächen und in Luftbefeuchtern. Mögliche gesundheitliche Folgen sind allergische Reaktionen wie Reizungen der Augen- und Nasenschleimhäute, Husten, Atembeschwerden und Asthma. Dabei können noch weitere Faktoren einen Einfluß haben, wie zum Beispiel das Raumklima, Tabakrauch, chemische Schadstoffe und die individuelle Empfindlichkeit. Maßnahmen sind soweit möglich bei den Quellen zu treffen; wichtig ist das Vermeiden von Staubanreicherungen und einer zu hohen Luftfeuchtigkeit (nicht über 55-60%).

**Schlüsselwörter:** Raumluftverunreinigungen - Mikroorganismen - Milben - Raumklima - Klimaanlagen.

**Biological particles in indoor environment.** The most common biological particles in indoor environments are house dust and storage mites, dander from furred animals, bacteria and fungi. Mites can grow on mattresses, carpets and upholstered furniture, micro-organisms on wet surfaces and in humidifiers. Possible health effects are allergic reactions like irritations of the eyes and nose, coughs, dyspnoea and asthma. Other factors such as the indoor climate, tobacco smoke, chemical pollutants and individual sensitivity can influence these effects. Source control is the most effective measure for avoiding biological contaminations; most important is control of the relative humidity (lower than 55-60%).

**Key words:** Indoor pollutants - micro-organisms - mites - indoor climate - Ventilation Systems.

Nach den Schlußfolgerungen einer Arbeitsgruppe der WHO [7] sind Erkrankungen sowie Absenzen am Arbeitsplatz oder in Schulen zu einem großen Teil auf Infektionen und Allergien zurückzuführen, die durch Verunreinigungen der Raumluft verursacht werden. Von besonderer Bedeutung dürften dabei biologische Verunreinigungen sein, deren Quellen innerhalb von Gebäuden liegen. Diese Krankheitsursachen können durch gezielte Maßnahmen wirksam bekämpft werden.

Die folgenden Ausführungen basieren weitgehend auf dem Bericht »Biological Pollutants in Indoor Environment«, der im Rahmen der European collaborative action »Indoor Air Quality and its Impact on Man« ausgearbeitet wurde [1]. Dieser Bericht befaßt sich vor allem mit den Methoden zum Nachweis von Milben, Schuppen von Haustieren, Pilzen und Bakterien in der Raumluft sowie deren Vorkommen in Wohnbauten, öf-

fentlichen Gebäuden und nicht-industriellen Arbeitsplätzen. Ferner wurden Ergebnisse und Schlußfolgerungen der kürzlich veröffentlichten Übersichtsarbeiten von Spengler und Mitarbeiter [4], Sundell [5] und Verhoeff [6] miteinbezogen, sowie die an der 6. Internationalen Konferenz »Indoor Air Quality and Climate« vorgetragenen Referate von Nevelainen [2] und Pickering [3].

## Gesundheitliche Auswirkungen

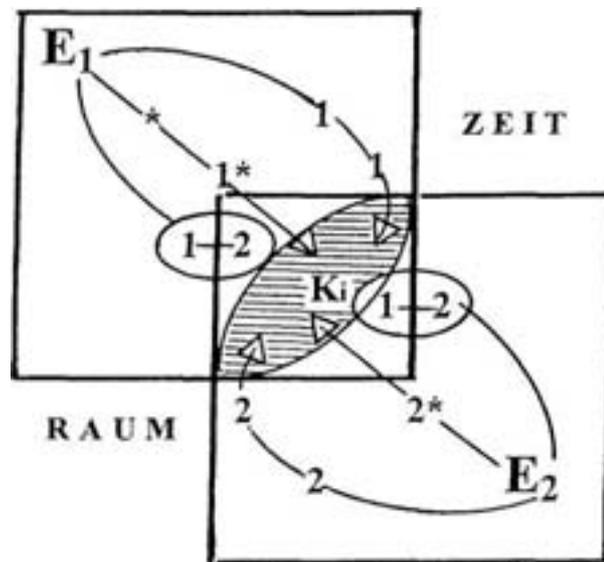
Am bekanntesten sind *allergische Reaktionen* wie Reizungen der Augen- und Nasenschleimhäute, Husten, Atembeschwerden und Asthma. Am häufigsten sind die durch Allergene von *Hausstaub- und Vorratsmilben* [8, 9] und *Schuppen von Haustieren* [10] verursachten Erkrankungen - vor allem in Wohnbauten und Schulen. So sind zum Beispiel in England etwa 80% der asthmatischen Kinder allergisch gegenüber Milben, und gemäß einer schwedischen Studie sind 57% der asthmatischen Kinder allergisch gegenüber Schuppen von Haustieren, insbesondere von Katzen und Hunden. Hausstaubmilben können sich vor allem auf Teppichen, Polstermöbeln und Matratzen anreichern (Tab. 1).

*Pilze und Bakterien* kommen innerhalb von Gebäuden im allgemeinen als *Saprophyten* in feuchter Umgebung vor. Zum Wachstum benötigen diese organische Verbindungen, wie sie im Staub, in Luftbefeuchtern, in Lüftungskanälen, in Tapeten oder Teppichen vorhanden sind (Tab. 2 und 3). Es gibt auch *pathogene Formen* wie zum Beispiel die Legionellen, die sich vor allem im Wasser von Luftbefeuchtern anreichern und zu infektiö-

Tab. 1 Allergene von Hausstaubmilben (Der p 1) im Hausstaub. Nach Brunekreef et al., zit. [1]

Probenahme Ort	Der p 1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Anzahl	Bereich
Wohnraum - ohne Teppich	29	0,03-1,30
Wohnraum - mit Teppich	68	0,03-5,91
Couch (gepolstert)	58	0,03-93,17
Schlafzimmer - ohne Teppich	34	bis 6,30
Schlafzimmer - mit Teppich	63	0,05-66,55
Matratzen	97	0,10-78,10

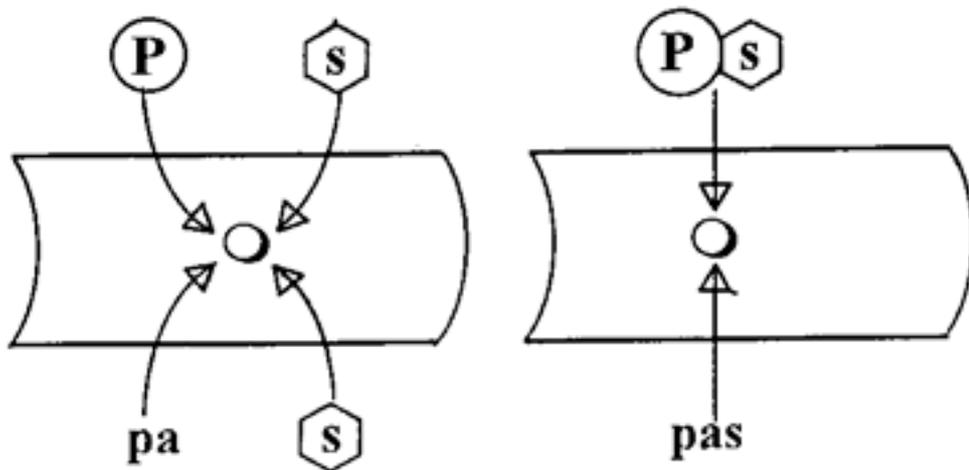
**Emission-Transmission-Immission  
Reaktion-Agglomeration**



- E** Emittenten, Stoffquellen
- 1,2** Emittate (Staub, Polleu, Gase)
- 1\*** Reaktionsprodukte und
- 2\*** aktivierte Produkte
- \*** Reaktions/Aktivierungsmechanismus
- (1 2)** Externe Aerosol-Kombination
- ∩** Erfolgsorgan
- Transmission
- Ki** Intere Kombination bei Effektüberlagerung

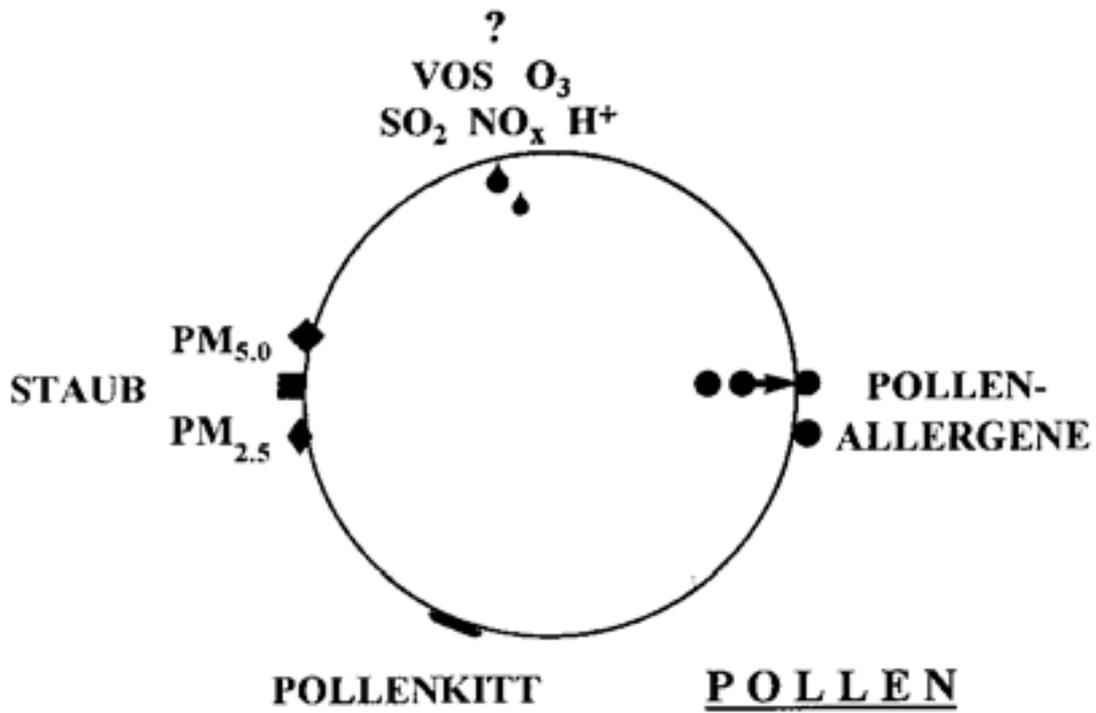
Grafik 1 - Emissions-Transmissions-Immissionsmodell

Voraussetzung für Schadstoffkombinationen ist die Schadstoffeinwirkung im gleichen Raum zur gleichen Zeit auf das gleiche Individuum/Erfolgsorgan - bzw. die zeitliche Überlagerung von Schadstoffeffekten. Die atmosphärische Schwebstaub- und die Pollenimmission zeigen eine zufällige, aber häufige Überlagerung in ca. 60 % der Zeit.



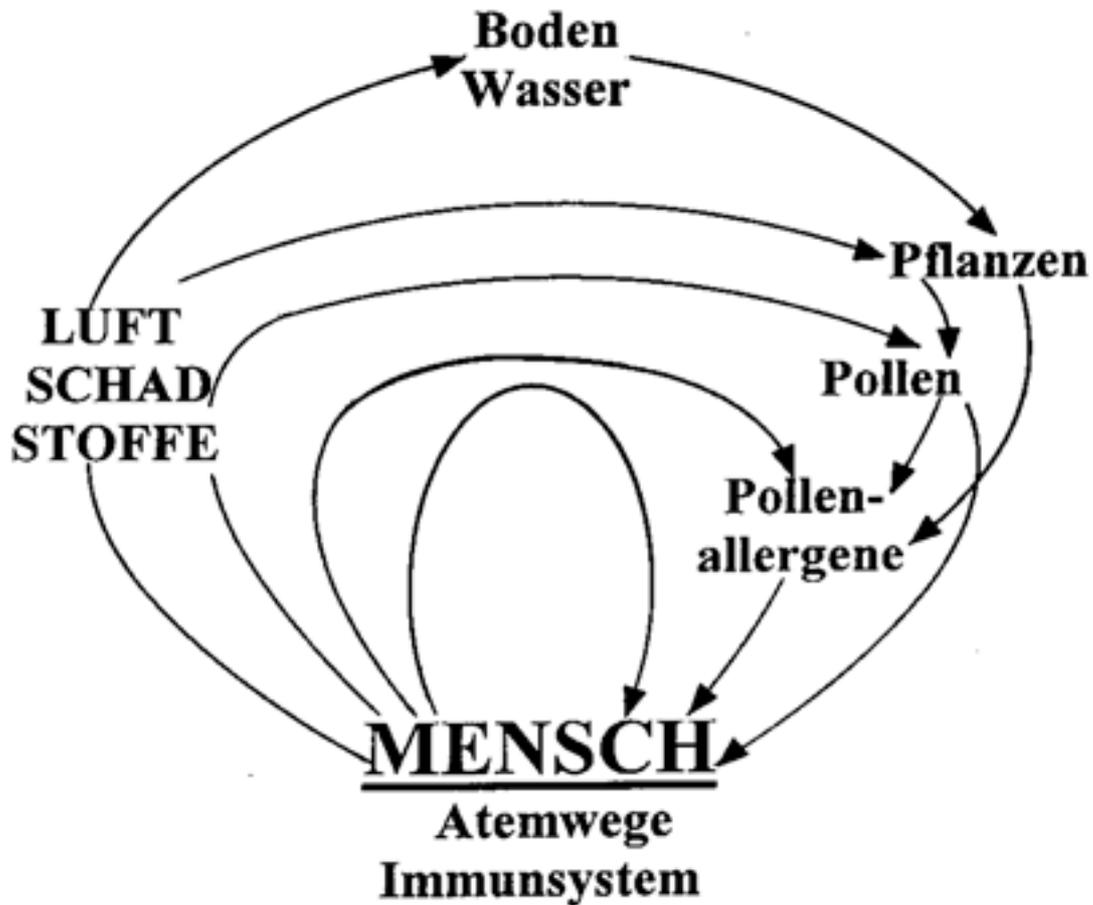
Grafik2 - Modelle von Schadstoffkombinationen

- P+s Pollen und atmosphärischer Schwebstaub treffen synchron auf die Abschnitte des oberen Atemtraktes auf oder führen dort zu überlappenden toxischen und allergischen Reaktionen
- pa+s Pollenallergene und atmosphärischer Feinstaub erreichen zeitgleich die infraglottischen Atemwege. Feinstaub (z.B. Dieselverbrennungsprodukte) verstärken die allergische Sensibilisierung über einen Adjuvanseffekt
- P<sup>s</sup> Feinstaub adsorbiert an der Pollenoberfläche - beschlägt als Feinstaub-Pollenkombinat die Konjunktiven oder Nasen/Rachenschleimhaut
- pas Gemisch von Pollenallergenen und atmosphärischem Feinstaub wirkt auf die tieferen Atemwege ein



**Grafik 4 - Oberflächenfracht von Pollen**

- a) **Atmosphärischer Feinstaub** mit einem aerodynamischen Durchmesser von unter 5 bzw. 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{5,0}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ ) haftet in Abhängigkeit von der Luftstaubbelastung an der Pollenoberfläche z.B. Tonminerale, Eisensphäroide, Kalzit u.a.
- b) **Pollenkitt** ist eine lipophile Substanz der Pollenhülle, die als Oberflächenfilm vor allem auf der Oberfläche von Blütenstaubkörnern insektenbestäubter (entemophiler) Pflanzen auftritt. Pollenkitt dürfte bei Pollen von windblütigen Pflanzen keine wesentliche Bedeutung haben.
- c) **Pollenallergene** erscheinen durch Extrusion als granuläre, glomeruläre und diskoide Agglomerate an der Pollenoberfläche. Nach Abscherung werden sie hypothetisch der respirablen Schwebstaubfraktion untermischt.
- d) **Niedrigmolekulare Luftschadstoffe** - **VOS** (volatile organische Substanzen) und Ozon ( $\text{O}_3$ ) wirken wie andere Luftkomponenten auf die Pollenhülle ein. Die Pollenhülle besteht aus einer äußeren (Exine) und inneren Hüllschicht (Intine).



**Grafik 5 - Immunologische Rückkoppelung anthropogener Luftschadstoffe auf den Menschen ("Umweltbumerang")**  
 Mehrfache Rückkoppelung durch direkte Rückwirkung der Luftschadstoffe auf den Menschen, Beeinträchtigung der Pflanzen über Luft und Bodenimmission, direkte Schadstoffwirkung auf Pollen (Schwermetallgehalt, Aktivierung, Schädigung der Pollenhüllen, Staubadsorption) sowie Effekte auf die Pollenallergene selbst (Allergenänderung, Zunahme des Allergengehalts von Pollen, Untermischung unter atmosphärischen Feinstaub)