

Ambrosia Pollen-Konzentrationen in Baden-Württemberg

Uwe Kaminski¹, Beate Alberternst², Thomas Gabrio³, Michael Böhme³, Stefan Nawrath² und Heidrun Behrendt⁴

¹Deutscher Wetterdienst Freiburg, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung

²Arbeitsgruppe Biodiversität Friedberg

³Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart

⁴Klinische Kooperationsgruppe Umweltdermatologie und Allergologie TUM/Helmholtz Zentrum München, ZAUM - Zentrum Allergie und Umwelt, Technische Universität München, München

Korrespondenzautor: Uwe Kaminski, E-mail: uwe.kaminski@dwd.de

Zusammenfassung

In welchem Ausmaß stellen die Pollenemissionen vorhandener Ambrosia-Bestände in Baden-Württemberg bereits eine Belastung für die Anrainer-Bevölkerung dar? Zur Beantwortung dieser Frage wurde der Ambrosia-Pollenflug in einem Gebiet mit großen Ambrosia-Beständen (Waghäusel) mit einem Kontrollgebiet mit geringen Ambrosia-Beständen (Ravensburg, Bad Waldsee-Reute) verglichen. Aufgrund der bekannten Kreuzreaktivität zwischen Allergenen aus *Ambrosia artemisiifolia* und Beifuss-Arten, z.B. *Artemisia vulgaris*, wurde zusätzlich zur Messung der Ambrosiapollen-Konzentration auch Beifuss-Pollenflug und Gesamtpollenflug detektiert.

Die vergleichende Analyse der Pollendaten, die mittels Burkardfallen erhoben worden waren, zeigt, dass die angenommenen Schwellenkonzentrationen von 3-6 Pollen nur an einzelnen wenigen Tagen erreicht oder überschritten wurden: In den "Kontrollgebieten" Ravensburg und Bad Waldsee-Reute nur im Hitzejahr 2006 und in Waghäusel in allen Jahren der Messung 2006-2008. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Emissionen aus lokalen Quellen (noch) nicht ausreichen, um allergologisch relevant zu sein. Die gemessenen Pollenkonzentrationen, die derzeit in Baden-Württemberg vorhandenen Ambrosia-Populationen sind noch nicht so hoch wie in Ungarn oder Frankreich, wo sich die Ambrosie massiv ausgebreitet hat und Pollenkonzentrationen von mehreren Tausend erreicht werden können. Die Untersuchungen zeigen jedoch, dass in der unmittelbaren Nähe größerer Ambrosia-Vorkommen höhere Pollenkonzentrationen erreicht werden können. Luftmassenherkunftsanalysen ergaben, dass die höchsten Ambrosia-Pollen-Konzentrationen bei Ferntransport aus Südfrankreich beobachtet werden. Die Frage, ob die lokale Pollenkonzentration bereits bei langfristiger Einwirkung zu einer Sensibilisierung der unweit der Pflanzenbestände wohnenden Bevölkerung führen kann, lässt sich nicht abschließend klären, da die Schwellenkonzentration für eine Sensibilisierung nicht wirklich bekannt ist. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich. Ebenso liefern die dreijährigen Untersuchungen noch keine belastbaren Zusammenhänge zwischen meteorologischen Bedingungen und dem Flug von Ambrosia-Pollen, die insbesondere Aussagen über den Transport und Rückschlüsse auf Emissionsquellen erlauben. Hierzu müssen erst weitere Messreihen aus der Pollensaison mehrerer Jahre ausgewertet werden.

Schlagwörter: Ambrosia, Beifuss, Pollen, Meteorologie, Ferntransport, Sensibilisierung

Abstract

Ambrosia pollen concentrations in Baden-Wuerttemberg

To which extent do pollen emissions of existing Ambrosia plants in Baden-Württemberg already represent a load for the population nearby? To answer this question, the number of Ambrosia pollen was compared in an area with large Ambrosia in place (Waghäusel) with a control area without Ambrosia or with only small Ambrosia populations (Ravensburg, Bad Waldsee-Reute).

Because of a well-known cross reactivity between allergens from *Ambrosia artemisiifolia* and mugwort kinds, e.g. *Artemisia vulgaris*, in addition to Ambrosia pollen we also determined mugwort pollen and the total pollen number.

The comparative analysis of the number of pollen, which had been sampled by means of Burkard traps, showed that the assumed threshold concentrations of 3-6 grains were reached or exceeded only on a few days: In the control areas Ravensburg and Bad Waldsee-Reute only in the heat-year 2006, but in Waghäusel during all years from 2006 to 2008. Thus it can be assumed that the emissions from local sources still are not sufficient to be of allergological relevance.

At present the measured pollen concentrations of existing Ambrosia populations in Baden-Württemberg are not yet as high as in Hungary or France, where Ambrosia plants substantially spread and pollen concentrations are in the order of several thousands. However, there are higher pollen concentrations in the direct proximity of larger Ambrosia populations in Germany than in a greater distance of the source.

Air mass origin analyses showed that the highest Ambrosia pollen concentrations occurred with long-range transport from Southern France. The question, whether the local pollen concentration can already lead, during long-term effect, to a sensitization of the people living nearby Ambrosia populations, cannot be clarified finally, since the threshold concentration for a sensitization is unknown.

Therefore further investigations are necessary. In addition, the three-year investigations supply still no loadable connections between meteorological conditions and the transport of Ambrosia pollen, which permit in particular statements about transport and conclusions on emission sources. Further series of measurements have to be evaluated from the pollen season of several years.

Keywords: Ambrosia (ragweed), mugwort, pollen, meteorology, long-range transport, sensitization

1 HINTERGRUND

Ambrosia-Pollen stellen in vielen Ländern wie z.B. den USA (Arbes et al. 2005), Ungarn (Kadocsa und Juhasz 2002, Makra et al. 2005), Kroatien (Cvitanovic et al. 2007), Italien (Asero 2007) und Frankreich (Déchamp und Méon 2002, Laaidi et al. 2003) eine gesundheitliche Belastung für die Bevölkerung dar. Studien haben gezeigt, dass Sensibilisierungen mit der Menge der inhalierten Pollen korrelieren (Jäger 2000). Aus diesem Grund ist es wichtig, kontinuierlich Messdaten über die Belastung der Bevölkerung durch Ambrosia-Pollen zu erheben. In Deutschland basieren alle Polleninformationen auf Daten der Stiftung Polleninformationsdienst (PID).

Auf die Pollenkonzentration verschiedener allergener Spezies haben nicht nur die meteorologischen Gegebenheiten, sondern auch die Höhe der Sammelstation über Grund einen entscheidenden Einfluss. So werden besonders in Städten und hier an in 55 m bzw. 30 m hohen Stationen höhere Konzentrationen von Baum- und Gräserpollen gemessen als in 10 m Höhe oder bodennah (Bryant et al. 1989, Galán et al. 1995, Leuschner 1999). Im Gegensatz dazu wird in der Literatur bei Kräuterpollen, insbesondere der Beifuss, für oberflächennahe Messstationen (1,8 m über Grund) übereinstimmend eine 5- bis 10-fach höhere Pollenkonzentration angegeben als in 12-15 m Höhe über Grund, unabhängig von der geographischen Lage (von Wahl und Puls 1989, Rantio-Lehtimäki et al. 1991, Spieksma et al. 2000). Wurde der Beifuss geschnitten, reduzierte sich das Verhältnis "street level/roof level" um etwa die Hälfte, vorausgesetzt, die Pflanzen standen näher als 20 m vom Sammler entfernt (Spieksma et al. 2000). Dies sind aber nur wenige Studien und die Autoren sagen selber, dass diese Aussagen nur im Mittel stimmen und an einzelnen Tagen oder in bestimmten Stunden während des Tages die Verhältnisse komplett anders sein können. Diese Situationen werden von den aktuellen lokalen atmosphärischen Bedingungen oder der großräumigen Wetterlage bestimmt. Wichtige Parameter sind hier die Windrichtung und die Stärke der atmosphärischen Turbulenz. Beifuss-Pollen haben eine ähnliche Größe und Dichte wie Ambrosia-Pollen und sollten demzufolge die gleichen Flugeigenschaften aufweisen. In der vorliegenden Studie waren in den Pollenfällen nur an wenigen Tagen mehr Beifuss-Pollen am Boden als in der Höhe.

Ähnliche Untersuchungen wie für Beifuss-Pollen sind für den Pollenflug von Ambrosia-Arten derzeit nicht verfügbar. Eine ältere Arbeit von Raynor et al. (1973), die die Ambrosia-Pollenkonzentrationen in fünf verschiedenen Höhen von 1,5 m bis 108 m über Grund zwischen 1960 und 1971 in Long Island, New York verfolgt haben, zeigte zwar eine starke vertikale Variabilität von Tag zu Tag, aber keine

nennenswerten systematischen Höhenunterschiede. Demgegenüber konnten dieselben Autoren in Feldversuchen bestätigen, dass in unmittelbarem Umkreis in der Windfahne ("downwind") von kleineren lokalen Pflanzenbeständen durchaus erhöhte Konzentrationen gemessen werden können, wobei Bestandsgröße, umgebende Vegetation und meteorologische Bedingungen weitere Einflussgrößen darstellen (Raynor et al. 1968). Der Beitrag lokaler Bestände zur Hintergrundkonzentration von Ambrosia-Pollen, welche durch Ferntransport hervorgerufen werden, wurde kürzlich auch für die Region Genf eindrücklich vorgestellt (Clot 2009). Um aussagekräftige Informationen zum Eintrag von Pollenemissionen aus kartierten lokalen Beständen zu erhalten, müssen deshalb mehrere Messstationen in unterschiedlicher Höhe und Entfernung zur potenziellen Quelle installiert und ausgewertet werden.

2 MATERIAL UND METHODE

Während der Ambrosiasaison in den Jahren 2006-2008 wurden in den Orten Ravensburg/Waldsee-Reute und Waghäusel mit Hilfe von Burkardfallen Pollen gesammelt und unter dem Mikroskop ausgezählt. Ravensburg (RAV) sollte dabei als Bereich mit Repräsentanz für geringes, Waghäusel (WAG) dagegen für hohes Ambrosia-Vorkommen gelten. Im Bereich Ravensburg wurde eine Messstelle in etwa 15 Meter Höhe auf dem Flachdach des Landratsamtes zur Erfassung der Hintergrundkonzentration der Pollen und eine zweite Messstelle im Kloster Reute (REU) in der Nähe von Ravensburg in Bodennähe, zur Erfassung von potenziellen Nahquellen aufgestellt (► Tab. 1). In Waghäusel wurde 2006 eine Burkard-Pollenfalle auf dem Flachdach der Schiller-Schule in etwa 5 m Höhe installiert (WAG-1). Erst für die Ambrosia-Pollensaison 2007 wurde ein weiterer Sammler in Waghäusel aufgebaut, um an diesem Standort – wie bereits in Ravensburg 2006 – zwei Sammler in unterschiedlichen Höhen betreiben zu können. Ein entsprechender Messplatz, der zur Erfassung des Ferntransports von Ambrosia-Pollen geeignet schien, konnte auf einem alten Zuckersilo in 55 m Höhe (WAG-2) eingerichtet werden. Unterschiedliche Messhöhen geben Hinweise zur Unterscheidung zwischen Nah- und Fernquellen.

Zusätzlich zu den Ambrosia-Pollen wurden noch Raps (Brassica), Goldrute (Solidago), Beifuss (Artemisia) und Sonnenblume (Helianthus) ausgewertet, da die Erfassung aller potenziell relevanten Spätsommer-Pollenarten zur Abschätzung der Gesamtbelastung und ihrer realen Gefährdung notwendig und sinnvoll erschien. Beifuss trägt im Juli/August nennenswert zur Pollenbelastung bei. Aufgrund der bekannten Kreuzreaktivität zwischen Allergenen aus *Ambrosia artemisiifolia* und Beifuss-Arten, z.B. *Artemisia*

TABELLE 1: Standorte, Expositionszeitpunkt und Installationshöhe der Burkard-Pollenfallen und der Sigma-2 Pollensammler in den Untersuchungsgebieten

Standort	Kürzel	Expositionszeitpunkt		
		2006	2007	2008
Waghäusel Schillerschule	WAG-1 Sigma-2 1	Burkard (5 m)*	Burkard (5 m) Sigma-2 (2 m)	Burkard (5m) Sigma-2 (5 m)
Waghäusel Zuckerfabrik	WAG-2 Sigma-2 2	–	Burkard (55 m) Sigma-2 (2 m)	Burkard (55 m) Sigma-2 (55 m)
Waghäusel OT Wiesental ²	Sigma-2 3	–	Sigma-2 (2 m)	–
Waghäusel Hochzeitswiese ²	Sigma-2 4	–	Sigma-2 (2 m)	–
Waghäusel südlich OT Kirrlach ²	Sigma-2 5	–	Sigma-2 (2 m)	–
Ravensburg, Landratsamt	RAV	Burkard (15 m)	Burkard (15 m)	Burkard (15 m)
Bad Waldsee-Reute Klostergarten	REU	Burkard (2,5 m)	Burkard (2,5 m)	Burkard (2,5 m)
*) In Klammern: Standhöhe über Grund				
²) zusätzliche Messstationen				

vulgaris, wurde zusätzlich zur Messung der Ambrosia-Pollenkonzentration auch Beifuss-Pollenflug und Gesamtpollenflug detektiert.

Zu den Beifuss/Ambrosia-verwandten Arten gehören außerdem die Sonnenblume, die zwar mit Beifuss stark kreuzreagiert, aber nur schwach mit Ambrosia (Fernandez et al. 1993, Weber 2005) und die Goldrute mit sehr schwacher Kreuzreaktivität zu Ambrosia (Weber 2001). Beide Arten rufen berufsbedingte allergische Rhinokonjunktivitiden hervor, spielen in der Allgemeinbevölkerung als Allergieauslöser allerdings eine untergeordnete Rolle.

In Ergänzung zu den Burkard-Fallen wurden 2007 in Waghäusel im Abstand von 50 m bis 3,5 km zu den Standorten der Burkard-Sammler fünf Sigma-2-Passivsammler (VDI 2119 1997) aufgestellt, die das Messnetz verdichten und mögliche Ambrosia-Quellen identifizieren sollten. Mit der Verdichtung des Messnetzes sollte auch überprüft werden, warum 2006 derart wenige Ambrosia-Pollen in den Burkard-Fallen zu finden waren, obwohl im Umkreis der Fallen viele Ambrosia-Pflanzen vorhanden waren, von denen zahlreiche auch geblüht hatten.

2008 wurden erneut an allen Standorten (WAG-1, WAG-2, RAV, REU) die vier Burkard-Fallen aufgestellt, in Waghäusel (WAG-1, WAG-2) zusätzlich noch jeweils ein Sigma-2-Sammler direkt neben der Burkard-Falle zur Doppelbestimmung im Rahmen einer Qualitätssicherung.

Als Pollen-Sammelgerät wurde, wie in Deutschland und zahlreichen anderen Ländern üblich, die Pollenfalle nach Burkard eingesetzt (Hirst 1952). Die mikroskopische Auswertung erfolgt im Durchlichtmikroskop bei 400-facher Vergrößerung. Das Probenahmegerät Sigma-2 ist detailliert in der VDI 2119, Blatt 4 (VDI 2119, 1997) beschrieben. Die Auszählung der Pollen auf den Haftfolien erfolgt wie bei den Burkardproben unter dem Mikroskop. Beim Sigma-2 werden zunächst die Pollen pro Fläche ausgezählt. Unter der Annahme einer Sinkgeschwindigkeit der Ambrosia-Pollen im Sammler von 1,2 cm/sec wurde dann die Pollendeposition in eine Pollen-Konzentration umgerechnet.

Zur Identifizierung von Fernquellen von Ambrosia-Pollen wurden für die Untersuchungsstandorte routinemäßig Trajektorien berechnet, die einen Hinweis darauf geben sollten, welchen Ursprung die Luftmasse hatte, die den Pollensammler erreichte. Mit Hilfe von Trajektorien (Luftmassenherkunftsanalysen) können Ambrosia-Quellen identifiziert werden, die weit entfernt von der Messstelle liegen und einen Beitrag zur lokalen Pollenkonzentration liefern.

3 ERGEBNISSE

3.1 POLLEN-MESSUNGEN 2006

Bedingt durch den späten Start des Projektes liegen für den Standort Waghäusel für die Monate Juli und August 2006

keine Pollendaten vor. Die PID-Station Heidelberg hatte in diesem Zeitraum aber bereits 31 Ambrosia-Pollen gemeldet, die PID-Station Freiburg beim DWD konnte im Juli und August drei Ambrosia-Pollen in den Fallen entdecken. Im September 2006 wurden in Waghäusel an sechs Tagen insgesamt 15 Ambrosia-Pollen gezählt. Nimmt man an, dass in Waghäusel in dem fehlenden Zeitraum in etwa genauso viele Pollen gezählt worden wären wie in Heidelberg, so wären in der Ambrosia-Saison 2006 in Waghäusel etwa 45 Pollen aufgetreten. Die Peak-Konzentration betrug sieben Pollen am 2. September, gefolgt von vier Pollen pro Tag am 1. September. An den anderen Tagen wurde nur jeweils ein Pollen analysiert. Vergleicht man das Auftreten der Pollen im tageszeitlichen Verlauf, sind in den frühen Morgenstunden (0-6 Uhr) und in den späten Abendstunden (20-24 Uhr) mit jeweils sechs Pollen die höchsten Konzentrationen zu beobachten. Kein Ambrosia-Pollenflug fand zwischen 10 und 16 Uhr statt. Das tageszeitliche Auftreten von Ambrosia-Pollen deutet auf Ferntransport, da Pflanzen aus lokalen Beständen ihre Pollen normalerweise am frühen Vormittag ausschütten. Auch die Gesamtzahl von Beifusspollen war mit 23 Pollen niedrig und zeigt – da nur im September gemessen werden konnte – mit Sicherheit das Ende der Saison an. Die PID-Station Heidelberg meldete im Juli und August 2006, also in dem Zeitraum, in dem die Daten in Waghäusel fehlen, 28 Artemisia-Pollen und Freiburg 115. Insgesamt hätten in der Artemisia-Saison 2006 also deutlich mehr als 23 Beifuss-Pollen gesammelt werden können, wenn man die Pollenfallen bereits früher hätte aufstellen können.

Am Standort Ravensburg wurde Ambrosia-Pollenflug zwischen dem 21. August und 23. September beobachtet und betrug in der Summe 28 Pollen. Im September fand an 7 Tagen Ambrosia-Pollenflug statt ($\Sigma n = 20$ Pollen). Der Höchstwert von sechs Pollen wurde am 3. September gemessen. Im tageszeitlichen Verlauf traten die meisten Pollen (7) zwischen 18 und 20 Uhr auf. Zwischen 8 und 18 Uhr wurden relativ gleichmäßige Anzahlen von Pollen (1-3) beobachtet. Kein Pollenflug konnte zwischen 2 und 8 Uhr nachgewiesen werden. Die Beifuss-Pollenkonzentration war mit insgesamt zehn Pollen, die verteilt zwischen dem 12. August und Ende September gemessen wurden, auffallend niedrig. Vor dem Start der Messungen am 7. August sind mit großer Sicherheit aber auch schon Beifuss-Pollen geflogen, wodurch die Gesamtzahl dieser Art bestimmt größer als zehn war.

Am Standort Bad Waldsee-Reute (REU) wurden an insgesamt 13 Tagen zwischen 22. August und 23. September Ambrosia-Pollen detektiert ($\Sigma n = 37$ Pollen). Die höchste Tagessumme trat dabei am 2. September mit 15 Pollen auf. Ein Vergleich der Messwerte mit der Referenzmessstelle der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst in Freiburg zeigt ebenfalls das Maximum der Saison 2006 am 2. September mit 21 Ambrosia-Pollen.

Der Beifusspollenflug erstreckte sich über August und September mit Peaks von > 10 Pollen am 11. und 18. August. Die Gesamtpollenzahl betrug 67. Wie in Ravensburg sind vor dem Start der Messungen am 7. August mit großer Sicherheit aber auch schon Beifuss-Pollen geflogen, wodurch die Gesamtzahl dieser Art bestimmt größer als 67 war. Obwohl in der Region Waghäusel zahlreiche Pflanzen zur Blüte kamen, waren sehr wenige Pollen in den Pollenfallen zu finden. Aus diesem Grund wurde in der Ambrosia-Saison 2007 das Messnetz verdichtet.

3.2 POLLEN-MESSUNGEN 2007

2007 war die Zahl gemessener Ambrosia-Pollen an allen Messstationen WAG-1, RAV und REU niedrig und lag meist unter 15 Pollen. Eine Ausnahme bildete die neu hinzugekommene Pollenstation WAG-2 in 55 m Höhe mit $\Sigma n = 32$. Hier wurden im August 2007 an neun Tagen insgesamt 23 Ambrosia-Pollen gezählt. Leider fehlt hier der Zeitraum bis zum 20. August, da vom Betreuer eine Fehlfunktion der Burkard-Falle übersehen wurde. Die PID-Station Heidelberg hatte bis zu diesem Termin 29 Ambrosia-Pollen gemeldet, Freiburg 8.

Die tatsächliche Pollenmenge an der Messstelle WAG-2 dürfte im August also höher sein. Im September 2007 wurden an sechs Tagen insgesamt neun Ambrosia-Pollen ausgewertet. Im Gegensatz zu den "Kontroll"-Arealen Ravensburg und Reute, in denen der Artemisia-Pollenflug relativ schwach war und nie länger als an 4-5 aufeinander folgenden Tagen auftrat ($\Sigma n_{RAV} = 35$, $\Sigma n_{REU} = 50$), wurde in Waghäusel WAG-1 in 5 m Höhe mit insgesamt 173 Pollen zwischen dem 21. Juli und dem 1. September starker Beifuss-Pollenflug gemessen.

Die Schwellenkonzentration von drei Pollen pro Tag wurde an insgesamt 17 Tagen überschritten (RAV 2 Tage), davon diejenige von sechs Pollen an 13 Tagen (RAV 0 Tage). Bedingt durch den Ausfall der Pollenfälle bis zum 20. August in Waghäusel WAG-2 konnten hier insgesamt 32 Beifusspollen nach dem 21. August gemessen werden. Auch hier dürfte die Gesamtpollenzahl für Beifuss deutlich darüber liegen, da in WAG-1 bis zu diesem Termin bereits 162 Pollen gesammelt worden waren und in der restlichen Saison nur noch elf Pollen hinzukamen. In der ersten Septemberhälfte wurden nur einzelne Pollen gezählt, da in diesem Zeitraum eine kühle Witterung mit nordwestlichen bis nördlichen Winden herrschte.

Die Doppelbestimmung der Pollenkonzentration mit der Burkard-Falle und den Sigma-2-Sammlern im Jahr 2007 zeigte vergleichbare Konzentrationen.

Die meisten Pollen wurden in beiden Sammlern im Zeitraum 20.08.-09.09.07 (KW 34-36) gezählt mit besonders

hohen Konzentrationen in einem Passivsammler, der in einem Vorgarten (WAG-3) stand und in dem Sammler auf der Hochzeitswiese (WAG-4), wo größere Pflanzenbestände beobachtet wurden. Besonders viele Pollen wurden wahrscheinlich am 28.08.07 (KW 35) auf der Hochzeitsbaumwiese aufgewirbelt, da die Ambrosien während der Vollblüte abgemäht wurden. Einen Hinweis, dass die gemessenen hohen Pollenmengen aus Nahquellen stammen, liefert das mikroskopische Bild. Im Gegensatz zu Pollen, die schon längere Zeit in der Luft sind, liegen die Pollen aus Nahquellen in Agglomeraten vor. Bis zu 30 Ambrosia-Pollen wurden beobachtet, die eng aneinander klebten. Der 1.500 m entfernt aufgestellte Passivsammler WAG-5 zeigte keine auffällig hohen Pollenanzahlen. Die Doppelbestimmung und die Verdichtung des Messnetzes hatte gezeigt, dass die 2006 gemessenen Pollenkonzentrationen realistisch sind und dass die Ambrosiabestände in Waghäusel noch zu klein sind, um in einer gewissen Entfernung noch erhöhte Pollenkonzentrationen zu messen.

Nach der Mahd am Standort Waghäusel wurden ab September in allen Sammlern nur noch ganz wenige Pollen gezählt, die wahrscheinlich von Pflanzen stammten, die bei der Mahd übersehen wurden.

3.3 POLLEN-MESSUNGEN 2008

Am Standort Waghäusel (WAG-1) wurden im August 2008 an fünf Tagen insgesamt neun Ambrosia-Pollen gezählt. Die höchste Anzahl war fünf Pollen pro Tag (19. Aug.). Im September wurden an sieben Tagen zwölf Pollen gezählt, mit der höchsten Anzahl von vier Pollen am 3. des Monats.

Am Standort WAG-2 auf dem Zuckersilo wurden im August 2008 an sieben Tagen insgesamt zehn und im September 2008 an sieben Tagen insgesamt 22 Ambrosia-Pollen gezählt. Der höchste Wert trat am 3. September auf.

Am Standort Ravensburg (RAV) wurden im August 2008 an vier Tagen insgesamt sechs Ambrosia-Pollen gezählt. Die höchste Anzahl war zwei Pollen pro Tag (22. Aug.). Im September 2008 wurden an fünf Tagen insgesamt acht Ambrosia-Pollen beobachtet. Der höchste Wert trat am 10. September mit drei Pollen auf.

Der Standort Reute (REU) zeigte im August 2008 an sechs Tagen insgesamt acht Ambrosia-Pollen. Die höchste Anzahl war drei Pollen pro Tag (19. Aug.). Im September 2008 wurden an zehn Tagen insgesamt 16 Ambrosia-Pollen gezählt. Der höchste Wert trat am 6. September mit vier Pollen auf. Freiburg hatte am 2. September mit 13 Pollen die höchste Pollenmenge des Monats. Insgesamt war die Pollenanzahl im Jahr wieder relativ gering.

Untersucht man den Artemisia-Pollenflug in 2008, so fällt auf, dass Ravensburg und Reute wie schon im Vorjahr mit 33 bzw. 82 Pollen vergleichsweise geringe Pollengesamtzahlen haben, obwohl einzelne Tage in Reute (REU: 7. August Tagesgesamtmenge 32 Pollen und 12. August Tagesgesamtmenge 14 Pollen) starken Pollenflug zeigen. Dies geht möglicherweise auf zusätzliche Emission der im Klostergarten vorkommenden *Artemisia annua* zurück. Beide Pollen der beiden Arten sind morphologisch ähnlich. Auch in Waghäusel WAG-1, der Bodenstation, wurden mit $n = 110$ Pollen im Vergleich zum Vorjahr (173) vergleichbare Werte gemessen.

Die Station WAG-2 auf dem Zuckersilo in 55 m Höhe zeigt mit 372 Pollen eine über Faktor drei höhere Pollengesamtzahl für *Artemisia* mit Peak-Konzentrationen von über 40 Pollen pro Tag an als die Bodenmessstelle WAG-1. Die unterschiedlichen Pollenkonzentrationen in den zwei Höhen weisen auf Ferntransport hin. Vergleicht man die Pollenanzahlen der Messstellen Strasbourg, WAG-2 und Heidelberg, so erkennt man, dass zwar das zeitliche Vorkommen der Beifuss-Pollen in Strasbourg parallel verläuft, in WAG-2 auf dem Zuckersilo, aber 2,7-mal so viele Pollen gezählt wurden wie in Strasbourg und 3,7-mal so viel wie in Heidelberg. Die Pollen aus lokalen Quellen müssen in der Pollenfalle auf dem Zuckersilo also von einem überregionalen Beitrag überlagert worden sein, der zu einer zusätzlichen *Artemisia*-Pollenbelastung geführt hat. Bis auf zwei Tage gelangten in 55 m Höhe auf dem Zuckersilo in WAG-2 immer mehr Beifuss-Pollen in die Fallen als am Boden an der Station WAG-1.

Die Zusammenschau der Daten an den drei Messstationen (► Tab. 2) verdeutlicht, dass vergleichsweise wenig *Ambrosia*-Pollen in den Pollenfallen gesammelt wurden. 2007 lagen die Pollenwerte an den meisten Stationen auf Grund der Witterung niedriger als in den beiden Vergleichsjahren 2006 und 2008.

Insgesamt liegen die *Ambrosia*-Pollenkonzentrationen am Boden in Waghäusel und in der Kontrollregion in der gleichen Größenordnung. Höhere Konzentrationen wurden in der Höhe gemessen, was wieder auf Ferntransport hinweist. Untersucht man die Anzahl von Überschreitungstagen einer angenommenen Schwellwertkonzentration von 3-6 *Ambrosia*-Pollen (► Tab. 3), so zeigt sich, dass diese Schwellwerte nur an einzelnen wenigen Tagen erreicht oder überschritten wurden: In den "Kontrollgebieten" Ravensburg und Bad Waldsee-Reute nur im Hitzejahr 2006 und in Waghäusel in allen Jahren der Messung 2006-2008.

Die Anzahl der Beifuss-Pollen übersteigt an allen Messstellen und an allen Orten die Zahl der *Ambrosia*-Pollen. In der Region um Ravensburg wächst relativ wenig Beifuss und dementsprechend sind hier auch die Pollenzahlen niedriger

TABELLE 2: Gesamt Pollenanzahl in den Jahren 2006-2008 jeweils in den Monaten Juli, August und September

	2006			2007				2008			
	WAG-1 ¹⁾	RAV	REU	WAG-1 ²⁾	WAG-2 ³⁾	RAV	REU	WAG-1	WAG-2	RAV	REU
Ambrosia	> 15	28	38	6	> 32	11	14	21	32	14	24
Artemisia	> 23	> 10	> 67	173	> 32	35	50	110	372	33	82
Helianthus	> 0	3	9	0	> 0	0	2	1	0	2	21
Solidago	> 7	8	4	1	> 0	3	3	15	24	52	11
Brassica	> 3	4	3	2	> 9	3	0	2	4	6	1
Sonstige	> 1035	1674	2809	3973	> 3088	3227	2535	2676	3761	2608	2783
Summe	> 1083	1727	2290	4155	> 3161	3279	2604	2825	4193	2715	2922

¹⁾ Start der Messungen erst am 29. August 2006; die tatsächliche Pollenanzahl dürften also deutlich höher sein.

²⁾ keine Daten vom 3.-12. Sept. und vom 21.-24. Sept. 2007; in Heidelberg und Freiburg wurden in dieser Zeit aber auch keine Ambrosia- und Artemisia-Pollen gemeldet.

³⁾ Messungen erst ab 20. August 2007.

und sie stimmen mit denen in den Nachbarländern überein (pers. Auskunft S. Jäger Wien). Die Werte in Reute sind höher, da sie durch die Pollen beeinflusst sind, die von Pflanzen aus dem Klostergarten stammen. Pollen der Gattung *Artemisia annua* und *Artemisia vulgaris* sind sich sehr ähnlich und schwer zu unterscheiden. Der Beifuss-Pollentrend der letzten neun Jahre für die PID Stationen Heidelberg und Freiburg macht deutlich, dass die Pollenmenge von Jahr zu Jahr stark schwankt, aber auch hier im Jahr 2007 mehr Beifuss-Pollen auftraten als 2006 oder 2008.

TABELLE 3: Anzahl von Überschreitungstagen einer angenommenen Schwellwertkonzentration von 3-6 Ambrosia-Pollen

	WAG-1	WAG-2	RAV	REU
2006	> 2	-	2	2
2007	0	3	0	0
2008	2	2	0	0

3.4 WETTERVERHÄLTNISSE

Einflüsse der meteorologischen Bedingungen auf die auftretenden Ambrosia-Pollenkonzentrationen sind bekannt (Holmes und Bassett 1963, Barnes et al. 2001).

Inwieweit die Wetterverhältnisse bei dieser Studie einen Einfluss auf den Ambrosia-Pollenflug besitzen, kann bei der Kürze der Datenzeitreihe nur im Rahmen von Fallstudien beschrieben werden: Entscheidende meteorologische Größen für den Pollenflug sind Temperatur, Niederschlag und vor allem Windstärke und Windrichtung.

Die Wetterverhältnisse haben einerseits Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzen und somit auch auf die Pollenbildung, andererseits beeinflussen die Wetterverhältnisse auch

den Pollenflug. ► **Abbildung 1** zeigt die monatliche Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel 1961-90 für die Ambrosia-Saison 2006-2008. Während 2006 positive Temperaturabweichungen bis 5°C auftraten, war das Jahr 2007 eher normal.

Das Jahr 2008 war etwa ein Grad wärmer als die Bezugsperiode. Die höchsten Pollenmengen werden bei einer für die Pflanze und die Pollenausschüttung günstigen Witterung beobachtet.

Eine bzgl. der Interpretation der Messungen entscheidende Frage ist die nach den Emissionsquellen, insbesondere, ob Peak-Konzentrationen Ursache lokaler Quellen sind oder durch Ferntransport verursacht werden. Dabei spielen natürlich Windgeschwindigkeit und -richtung eine große Rolle. Am 2. September 2006, also der Tag, an dem nahezu bei allen Messstellen der maximale Tageswert der gemessenen Konzentrationen aufgetreten ist, weisen die südwestliche Windrichtung und die zeitweise kräftige Windgeschwindigkeit um 10 Knoten (etwa 20 km/h) – vor allem im Feldbergniveau bei etwa 15 Knoten (30 km/h), als die für den Ferntransport ausschlaggebende Höhe – darauf hin, dass der Transport aus Bereichen in Frankreich als zusätzliche Quelle in Frage kommt, da hier bekanntermaßen bereits erhebliche Populationen von Ambrosia-Pflanzen existieren. Dafür spricht auch, dass an der südwestlichsten Messstation (Freiburg), die sich zudem in etwa 30 m Höhe befindet, die höchsten Werte gemessen wurden. Außerdem herrschten im Untersuchungsgebiet relativ hohe Temperaturen um 25 Grad und es war niederschlagsfrei. Für die Pollenemission und den Transport von Pollen herrschten somit durchaus günstige Bedingungen.

Vertiefende Kenntnis kann hier die Betrachtung der zugehörigen Trajektorie bringen. ► **Abbildung 2** zeigt im linken Teil ein Beispiel einer Trajektorienberechnung für den

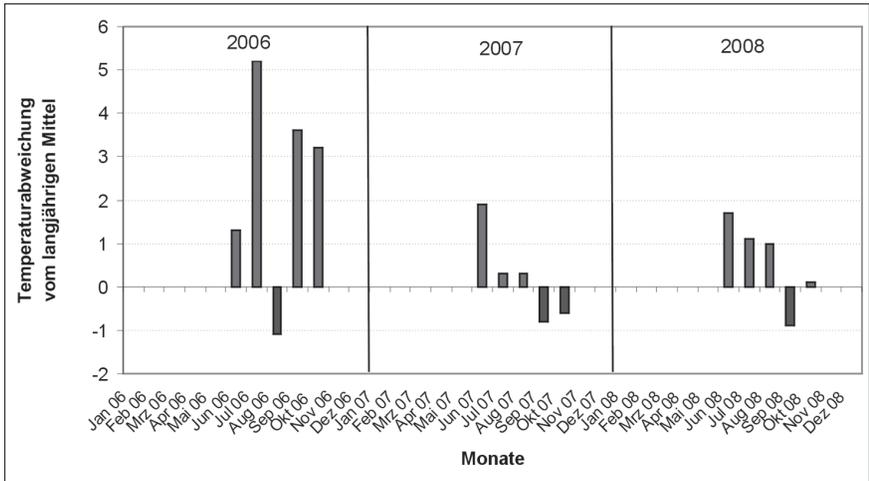


ABB. 1: Mittlere Temperaturabweichungen in Deutschland vom langjährigen Mittel (1961-90) für den Zeitraum Juni-Oktober 2006-2008

2. September 2006. In einer horizontalen xy-Darstellung wird der Weg der Luftmasse dargestellt. Man sieht, dass die Luftmasse ihren Ursprung 4-5 Tage früher nördlich von England hatte, dann mit einer nordwestlichen Strömung über die Alpen geführt wurde und von hier über Norditalien und Südfrankreich Freiburg i. Br. erreichte. Auf diesem Weg könnte die Luft sowohl in Norditalien als auch in Südfrankreich mit Ambrosia-Pollen beladen worden sein (hier sind große Ambrosia-Vorkommen bekannt), die in den Burkard-Fallen am 2. oder 3. September 2006 in Freiburg (21 Pollen in 30 m Höhe), Waghäusel (sieben Pollen in 5 m Höhe), Reute (15 Pollen in 2,5 m Höhe) und Ravensburg (sechs Pollen in 18 m Höhe) nachgewiesen wurden und die die höchsten Konzentrationen der gesamten Ambrosia-Saison 2006 waren.

Die Betrachtung von Trajektorien unterstützt die Vermutung, dass diese Peak-Konzentrationen durch Ferntransport verursacht wurden. Eine weitere Tatsache, die auf Fernquellen hinweist, ist das tageszeitliche Pollenaufkommen. Ambrosia-Pollen von Nahquellen würden wie in der Literatur beschrieben (Laaidi et al. 2003) am frühen Morgen, ab 6 Uhr auftreten und zwischen 10 und 12 Uhr ihr Maximum erreichen. In der Zeit zwischen 7 und 19 Uhr aber

wurden die wenigsten Pollen gezählt. Dies könnte bedeuten, dass trotz lokaler Quellen in den untersuchten Gebieten der Ferntransport überwiegt und die Bestände noch zu klein sind, um nennenswert zum Pollenflug quantitativ beizutragen. Damit ist eine Situation beschrieben, wie sie in der ersten Hälfte der 90er Jahre in Norditalien beobachtet wurde (Pizzulin Sauli et al. 1992, Goracci und Goracci 1996, Mandrioli et al. 1998, Carosso und Gallesio 2000, Ridolo et al. 2007).

Im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961-90 war das Jahr 2007 eher normal. Das Jahr 2008 war zwar etwa ein Grad wärmer als die Bezugsperiode, für die Entwicklung der Ambrosia war 2008 aber lange nicht so günstig wie das Jahr 2006, welches fünf Grad wärmer als die Bezugsperiode war. Die höchsten Anzahlen von Ambrosia-Pollen wurden im Jahr 2007 an fast allen Standorten und an der Messstelle in Freiburg am 17. September beobachtet. Betrachtet man wieder die Trajektorien, die Waghäusel, Ravensburg und Freiburg erreichten, so wird deutlich, dass auch in diesem Fall Ferntransport – wenn auch bei geringeren Windgeschwindigkeiten um 5 Knoten – das Auftreten des Maximums verursacht hat (► Abb. 2, rechts).

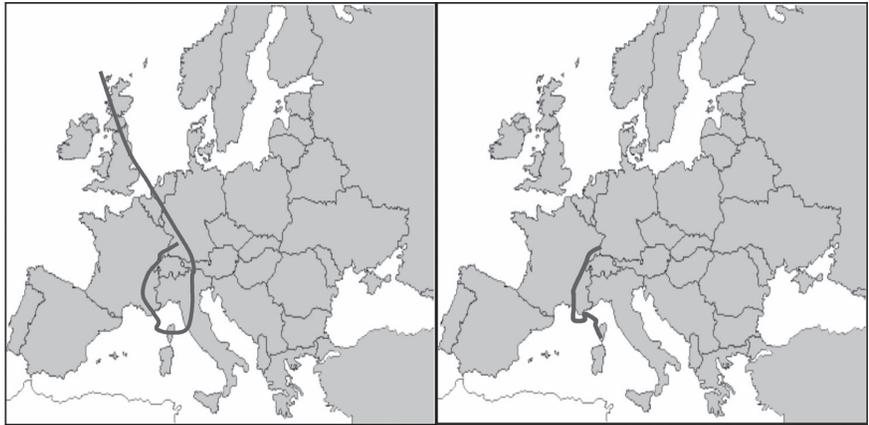


ABB. 2: Ursprung der Luftmasse, die am 2. Sept. 2006 (links) und am 17. Sept. 2007 (rechts) das Untersuchungsgebiet erreichte

Im Vergleich zum Jahr 2006 (> 15 Pollen, da Messbeginn erst am 29. August 2006) wurden 2007 am Standort WAG-1 (6) deutlich weniger Ambrosia-Pollen gezählt. Der 2007 erstmals mit einer Pollenfalle bestückte Standort WAG-2 auf dem Zuckersilo in 55 m Höhe zeigte 2007 und 2008 mit jeweils 32 Pollen eine deutlich größere Anzahl als die Bodenmessstelle WAG-1 (6 im Jahr 2007 und 21 im Jahr 2008) und insgesamt die höchsten Anzahlen von allen im Projekt betrachteten Standorten (► Tab. 2). Dies zeigt, dass der überwiegende Anteil der Pollen durch Ferntransport an die Messstelle gelangt sein muss und den lokalen Anteil überlagerte.

Ein weiterer Grund für die geringe Anzahl von Ambrosia-Pollen an der Bodenmessstelle war die ungünstige Witterung, die einem starken Pollenflug entgegenwirkte, obwohl die Pflanzen zumeist schon gut entwickelt waren. Wie ein Vergleich mit den Pollenmessdaten des PID zeigt, wurden im Jahr 2007 niedrige Ambrosia-Pollenanzahlen gemessen, aber relativ große Mengen an Beifuss. Die größten Mengen an Beifuss wurden 2008 an der Station Waghäusel-2 in 55 m Höhe gefunden.

Pollen, die durch große Bestände wie z.B. in der Gegend um Lyon emittiert werden, gelangen durch turbulente Durchmischung in größere Höhen und werden von hier mit der Höhenströmung weiter transportiert. Auf ihrem Transportweg unterliegen die Pollen einmal dem Prozess der Sedimentation, d.h. auf Grund ihres Gewicht fallen sie wieder in tiefere Luftschichten und dann zum Boden und des weiteren werden die Pollen durch meteorologische Parameter wie Temperatur, Regen, Feuchte und Wind beeinflusst. Je weiter die Pollen von der Quelle fort transportiert werden, desto geringer ist die Pollenkonzentration, die am Boden gemessen wird, vorausgesetzt es werden dem Luftpaket keine nennenswerten Mengen an Pollen durch Bestände auf dem Transportweg hinzugefügt. Die ► Abbildung 3 zeigt die Jahressummen der Ambrosia-Pollenkonzentration für Stationen in unterschiedlicher Entfernung von Heidelberg (0).

Die höchsten Konzentrationen treten in Lyon auf (ca. 650 km Entfernung zu Heidelberg), wo große Ambrosiabestände bekannt sind. An allen weiteren Stationen, die immer weiter von der Quelle Lyon entfernt liegen, werden stetig abnehmende Pollenkonzentrationen gemessen. Das Kontrollgebiet Ravensburg passt gut in diese Kurve. Die Stationen Heidelberg und Waghäusel zeigen höhere Pollenkonzentrationen, was auf mögliche Beiträge durch lokale Bestände hinweist. Die Pollenkonzentration an diesem Standort setzt sich also aus einem lokalen Anteil und einem Beitrag zusammen der durch Fernquellen (Lyon) herantransportiert wird.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Gegenwärtig kommt in Baden-Württemberg bezüglich der Belastung der Umgebungsluft mit Ambrosia-*artemisiifolia* Pollen dem Ferntransport eine große Bedeutung zu. Emissionen aus lokalen Beständen tragen nur zu einem geringen Anteil zur Belastung der Umgebungsluft bei, obwohl die Pollenkonzentrationen in unmittelbarer Nähe eines Ambrosia-Bestandes relativ hoch sein können. Auch Zink (2009) kommt in einer Modellsimulation des Ambrosiapollenfluges mit COSMO-ART zu dem Ergebnis, dass der Ferntransport eine wichtige Quelle für Ambrosiapollen in Deutschland darstellt.

Die Witterung während der Wachstumsperiode der Ambrosia und das Wetter während der Blütezeit haben einen erheblichen Einfluss auf die Pollenkonzentration. Ambrosiabestände in Deutschland sind zu klein, um flächendeckend derart hohe Pollenanzahlen zu erzeugen wie in Ungarn oder Südfrankreich. Das derzeitige Pollenmessnetz ist zu grobmaschig, um Pollen lokaler Bestände zu erfassen. Es lässt sich abschließend nicht klären, ob eine lokal

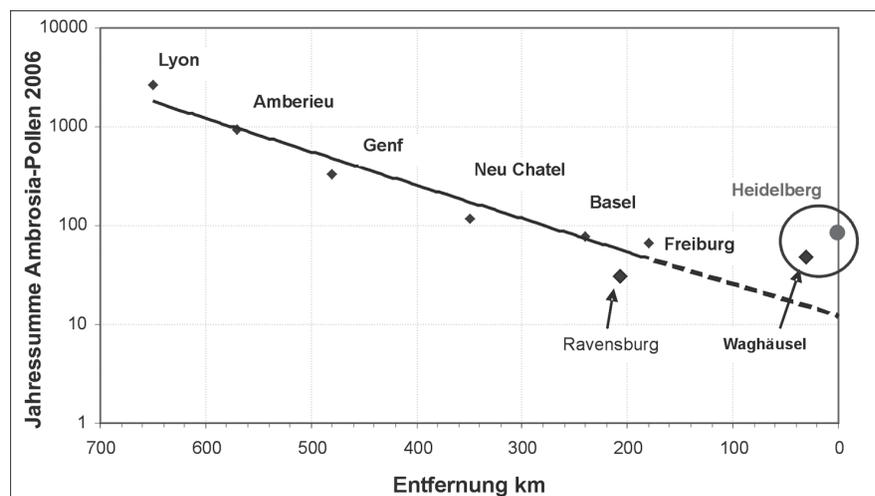


ABB. 3: Jahressummen der Ambrosia-Pollenkonzentration für Stationen in unterschiedlicher Entfernung von Heidelberg (0). Die höchsten Konzentrationen treten in Lyon auf (ca. 650 km Entfernung zu Heidelberg), wo große Ambrosiabestände bekannt sind

erhöhte Pollenkonzentration bei langfristiger Einwirkung bereits zu einer Sensibilisierung der unweit der Pflanzenbestände wohnenden Bevölkerung oder ggf. zu klinischen Symptomen führen kann.

Derzeit zeigt sich in Baden-Württemberg eine ähnliche Situation wie in Norditalien Mitte der 1990er Jahre mit geringen messbaren Pollenmengen, Polysensibilisierungen und bereits relativ hohen Sensibilisierungsraten. Dort wurden keine Gegenmaßnahmen ergriffen, die Ambrosie hat sich seither rasant in Norditalien ausgebreitet und ist dort mittlerweile von hoher allergologischer Relevanz. Um neu auftretende gesundheitliche Risiken durch die Ausbreitung invasiver Arten und der durch sie ausgelösten Krankheiten frühzeitig erkennen zu können, ist ein fortlaufendes Monitoring der Pflanzenverbreitung, des Pollenfluges und der gesundheitlichen Auswirkungen erforderlich, welches frühzeitig Tendenzen aufzeigt. Ein solches Monitoring sollte aufgebaut werden.

5 LITERATUR

- Alberternst B, Behrendt H, Gabrio T, Kaminski U (2009): Abschlussbericht – Forschungsprogramm, Herausforderung Klimawandel- Verbundprojekt Ambrosia-Pollen: Einfluss klimatischer Faktoren und ihrer bisherigen sowie erwarteten Änderung bezüglich der Zunahme von Sensibilisierungen am Beispiel von Ambrosia-Pollen, Hrsg. LGA Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart, Stuttgart
- Arbes SJ, Gergen PJ, Elliott L, Zeldin DC (2005): Prevalence of positive skin test responses to 10 common allergens in the US population: Results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *J Allergy Clin Immunol* 116: 377-383
- Asero R (2007): The changing pattern of ragweed allergy in the area of Milan, Italy. *Allergy* 62: 1097-1099
- Barnes C, Pacheco F, Landuyt J, Hu F, Portnoy J (2001): The effect of temperature, relative humidity, and rainfall on airborne ragweed pollen concentrations. *Aerobiologia* 17: 61-68
- Bryant RB, Emberlin JC, Norris-Hill J (1989): Vertical variation in pollen abundance in North-Central London. *Aerobiologia* 5: 123-137
- Carosso A, Gallesio MT (2000): Allergy to ragweed: clinical relevance in Turin. *Aerobiologia* 16: 155-158
- Clot B (2009): Ambrosia grower, allergy provider. Vortrag auf dem 6th Symposium on Environmental Allergy and Allergotoxicology: Climate Change and Allergy, München, 29.-31. Januar 2009
- Cvitanovic S, Znaor L, Kanceljak-Macan B, Macan J, Gudelj K, Grbic D (2007): Allergic rhinitis and asthma in southern Croatia: impact of sensitization to Ambrosia elatior. *Croat Med J* 48 (1): 68-75
- Déchamp C, Méon H (2002): *Ambrosiées, Polluants Biologiques*. Arpam-Edition, Lyon. 287 S.
- Fernandez C, Martin-Esteban M, Fiandor A et al. (1993): Analysis of cross-reactivity between sunflower pollen and other pollens of the Compositae family. *J Allergy Clin Immunol* 92: 660-667
- Galán C, Alcázar P, Domínguez E, Villamandos F, Infante F (1995): Airborne pollen grain concentrations at two different heights. *Aerobiologia* 11 (2): 105-109
- Goracci E, Goracci G (1996): Ragweed pollen presence in Livorno: Aerobiological and sensitization data. *Aerobiologia* 12: 139-140
- Hirst JM (1952): An automatic volumetric spore trap. *The Annals of Applied Biology* 39: 257-265
- Holmes RM, Bassett IJ (1963): Effect of Meteorological Events on Ragweed Pollen Count. *Int J Biometeor* 7: 27-34
- Jäger S (2000): Ragweed (Ambrosia) sensitisation rates correlate with the amount of inhaled airborne pollen. A 14-year study in Vienna, Austria. *Aerobiologia* 16: 149-153
- Kadocska E, Juhász M (2002): Study of airborne pollen composition and allergen spectrum of hay fever patients in south Hungary (1990-1999). *Aerobiologia* 18: 203-209
- Laaidi M, Laaidi K, Besancenot J-P, Thibaudon M (2003): Ragweed in France: an invasive plant and its allergenic pollen. *Ann Allergy Asthma Immunol* 91: 195-201
- Leuschner RM (1999): Comparison between pollen counts at ground and at roof level in Basel (Switzerland). *Aerobiologia* 15, 143-147
- Makra L, Juhasz M, Beczi R, Borsos E (2005): The history and impacts of airborne Ambrosia (Asteraceae) pollen in Hungary. *Grana* 44: 57-64
- Mandrioli P, Di Cecco M, Andina G (1998): Ragweed pollen: The aeroallergen is spreading in Italy. *Aerobiologia* 14: 13-20
- Pizzulin Sauli M, Larese Filon F, Rizzi Longo L (1992): Ragweed presence in Trieste: Clinical and aerobiological data. *Aerobiologia* 8: 16-20
- Rantio-Lehtimäki A, Koivikko A, Kupias R, Makinen Y, Pohjola A. (1991). Significance of sampling height of airborne particles for aerobiological information. *J. Allergy* 46: 68-76
- Raynor GS, Ogden EC, Hayes JV (1973): Variations in Ragweed pollen concentration to a height of 108 meters. *J Allergy* 51: 199-207
- Raynor GS, Ogden EC, Hayes JV (1968): Effect of a local source on ragweed pollen concentrations from background sources. *J Allergy* 41: 217-225
- Ridolo E, Albertini R, Giordano D, Soliani L, Usberti I, Dall'Aglio PP (2003): Airborne Pollen Concentrations and the Incidence of Allergic Asthma and Rhino conjunctivitis in Northern Italy from 1992 to 2003. *Int Arch Allergy Immunol* 142: 151-157 (DOI: 10.1159/000096441)
- Spiekma FT, van Noort P, Nikkels H (2000): Influence of nearby stands of Artemisia on street-level versus roof-top-level ratio's of airborne pollen quantities. *Aerobiologia* 16: 21-24
- VDI 2119 Blatt 4 (1997): Messung partikelförmiger Niederschläge - Mikroskopische Unterscheidung und größenfraktionierte Bestimmung der Partikeldeposition auf Haftfolien, Probenahmegerät Sigma-2, VDI Düsseldorf
- Von Wahl P-G, Puls KE (1989): The emission of mugwort pollen (*Artemisia vulgaris* L.) and its flight in the air. *Aerobiologia* 5: 55-63
- Weber RW (2001): Cross-reactivity of plant and animal allergens. *Clin Rev Allergy Immunol* 21: 153-202
- Weber RW (2005): Cross-reactivity of pollen allergens: recommendations for immunotherapy vaccines. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 5 (6): 6-569
- Zink K (2009): Modellierung der Ausbreitung von Ambrosiapollen mit COSMO-ART. Diplomarbeit im Fach Meteorologie. Institut für Meteorologie und Klimaforschung Universität Karlsruhe (TH)/Forschungszentrum Karlsruhe. 83 S.