

Journal of Health Monitoring · 2023 8(S4)
DOI 10.25646/11648
Robert Koch-Institut, Berlin

Karl-Christian Bergmann^{1,2}, Randolph Brehler³,
Christina Endler⁴, Conny Höflich⁵,
Sabine Kespohl⁶, Maria Plaza⁷, Monika Raulf⁶,
Marie Standl⁸, Roma Thamm⁹,
Claudia Traidl-Hoffmann⁷, Barbora Werchan¹⁰

¹ Charité – Universitätsmedizin Berlin
Institut für Allergieforschung

² Fraunhofer-Institut für Translationale
Medizin und Pharmakologie ITMP, Berlin
Immunologie und Allergologie

³ Universitätsklinikum Münster
Klinik für Hautkrankheiten, Allergologie,
Berufsdermatologie und Umweltmedizin

⁴ Deutscher Wetterdienst, Freiburg
Zentrum für Medizin-Meteorologische
Forschung

⁵ Umweltbundesamt, Berlin
Fachgebiet II 1.5 Umweltmedizin und
gesundheitliche Bewertung

⁶ Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung, Institut der
Ruhr-Universität Bochum (IPA)
Abteilung Kompetenz-Zentrum Allergologie/
Immunologie

⁷ Universitätsklinikum Augsburg
Medizinische Fakultät, Umweltmedizin

⁸ Helmholtz Zentrum München
Environmental Health Center, Institut
für Epidemiologie

⁹ Robert Koch-Institut, Berlin
Abteilung für Epidemiologie und
Gesundheitsmonitoring

¹⁰ Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst,
Berlin

Eingereicht: 20.01.2023

Akzeptiert: 07.06.2023

Veröffentlicht: 06.09.2023

Auswirkungen des Klimawandels auf allergische Erkrankungen in Deutschland

Abstract

Hintergrund: Allergische Erkrankungen, vor allem Inhalationsallergien, haben ein epidemisches Ausmaß erreicht, und Umweltfaktoren spielen eine wichtige Rolle bei ihrer Entstehung. Der Klimawandel beeinflusst Auftreten, Häufigkeit und Schwere allergischer Erkrankungen.

Methode: Die Inhalte dieses Artikels wurden durch die Autorinnen und Autoren ausgewählt und entsprechend ihren Expertisen nach dem aktuellen Wissensstand kapitelweise erarbeitet. Die Kapitel wurden anschließend mit allen Autorinnen und Autoren diskutiert und abgestimmt.

Ergebnisse: Der Artikel beleuchtet direkte und indirekte Effekte des Klimawandels auf Allergien. Er geht näher auf Zusammenhänge zwischen Klimawandel und (neuen) Pollenallergenen sowie (neuen) beruflichen Inhalationsallergenen ein, erläutert Auswirkungen des Klimawandels auf das Krankheitsbild der Neurodermitis, geht auf Zusammenhänge zwischen Luftschadstoffen und Allergien ein und informiert über das Phänomen des Gewitterasthmas.

Schlussfolgerungen: Es besteht unter anderem Handlungsbedarf für die Bereiche Pollen- und Schimmelpilzsporenmonitoring, Allergie- und Sensibilisierungsmonitoring, Städteplanung unter allergologischen Gesichtspunkten und Veränderungen der Arbeitswelt.

Dieser Artikel ist Teil der Beitragsreihe zum Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023.

📌 KLIMAWANDEL · ALLERGIE · POLLEN · BERUF · INHALATIONSALLERGENE · LUFTSCHADSTOFFE · MONITORING

1. Allergien in Zeiten des Klimawandels

Allergische Erkrankungen, vor allem Inhalationsallergien, haben ein epidemisches Ausmaß erreicht, und Umweltfaktoren spielen eine wichtige Rolle bei ihrer Entstehung. Der Klimawandel geht mit der Veränderung weiter Bereiche unserer Umwelt einher und beeinflusst damit Auftreten, Häufigkeit und Schwere allergischer Erkrankungen.

Der vorliegende Beitrag beleuchtet direkte und indirekte Effekte des Klimawandels auf Allergien. Die Inhalte der

Arbeit wurden durch die Autorinnen und Autoren ausgewählt und entsprechend ihren Expertisen nach dem aktuellen Wissensstand kapitelweise erarbeitet. Die Kapitel wurden anschließend mit allen Autorinnen und Autoren diskutiert und abgestimmt.

Der Beitrag beginnt mit Begriffsdefinitionen und Häufigkeiten allergischer Erkrankungen und geht auf Pollen als Haupt-Trigger allergischer Atemwegserkrankungen näher ein. Anschließend werden Zusammenhänge zwischen Klimawandel und (neuen) Pollenallergenen sowie (neuen)

beruflichen Inhalationsallergenen näher beleuchtet und Auswirkungen des Klimawandels auf das Krankheitsbild der Neurodermitis dargelegt, Zusammenhänge zwischen Luftschadstoffen und Allergien werden erläutert, und es wird über das Phänomen des Gewitterasthmas informiert. Handlungsempfehlungen zu den Themen Pollen- und Schimmelpilzsporenmonitoring, Allergie- und Sensibilisierungsmonitoring, Städteplanung unter allergologischen Gesichtspunkten und Veränderungen der Arbeitswelt schließen den Beitrag ab.

1.1 Begriffsdefinitionen: Allergie, Sensibilisierung, Atopie

Eine Allergie bezeichnet eine übersteigerte Antwort des Immunsystems auf einen normalerweise harmlosen Stoff aus der Umwelt. Abhängig davon, auf welche Weise das Immunsystem auf diesen Stoff, das sogenannte Allergen, reagiert, werden vier Allergietypen unterschieden, von denen der Typ I, auch als Soforttyp bezeichnet, und der Typ IV am

häufigsten vorkommen (Tabelle 1). Klassische Typ-I-Allergien sind die allergische Rhinitis/Rhinokonjunktivitis, auch bekannt als Heuschnupfen, und das allergische Asthma bronchiale. Der klassische Vertreter einer Typ-IV-Allergie ist das allergische Kontaktekzem. Warum das Immunsystem auf manche Stoffe aus der Umwelt allergisch, d. h. übersteigert reagiert, ist nicht abschließend geklärt.

Im Kontext von Allergien wird von Typ-I-Sensibilisierung gesprochen, wenn allergenspezifische Immunglobulin E (IgE)-Antikörper im Blut nachgewiesen werden können und/oder der Hauttest (Prick- oder Intrakutantest) positiv ist. Nach erfolgter Sensibilisierung führt die erneute Exposition mit dem Allergen bei allergischen Menschen zur Freisetzung von Botenstoffen, die für die allergischen Symptome verantwortlich sind.

Unter Atopie (atopía, griech. = Ortlosigkeit) wird eine familiär auftretende Neigung zur Entwicklung allergischer Erkrankungen (insbesondere vom Soforttyp/Typ I) auf der Grundlage einer immunologischen Überempfindlichkeit

Bezeichnung (Typ)	Art bzw. Ablauf der Reaktion	Dauer vom Kontakt zum Auftreten	Erscheinungsform (Beispiele)
Typ I Soforttyp, Frühtyp	Vermittlung durch IgE-Antikörper; Freisetzung von Botenstoffen (v. a. Histamin)	Wenige Sekunden bis Minuten (evtl. 2. Reaktion nach 4–6 Stunden)	Allergische Rhinitis/Konjunktivitis, allergisches Asthma, Nesselsucht (Urtikaria), Insektengiftallergie, anaphylaktischer Schock
Typ II zytotoxischer Typ	Bildung von Komplexen aus Antigenen und Antikörpern; Zerstörung körpereigener Zellen	6–12 Stunden	Transfusionsreaktionen, manche Arzneimittelreaktionen und Autoimmunerkrankungen
Typ III Immunkomplextyp	Bildung von Antigen-Antikörper-Komplexen; Freisetzung Gewebe schädigender Substanzen	6–12 Stunden	Allergische Gefäßentzündung (Vaskulitis), Serumkrankheit, exogen-allergische Alveolitis (z. B. Farmerlunge)
Typ IV Spättyp, verzögerter Typ	Vermittlung durch Zellen (T-Lymphozyten)	12–72 Stunden	Allergisches Kontaktekzem, Arzneimittelreaktionen, Abstoßungsreaktionen von Transplantaten

Tabelle 1
Übersicht allergischer Reaktionstypen
Quelle: Allergieinformationsdienst [1]

von Haut und Schleimhäuten gegen Allergene verstanden, die mit einer erhöhten Produktion von IgE-Antikörpern und der Bildung von allergenspezifischen IgE-Antikörpern einhergeht. Atopikerinnen und Atopiker sind also eine Teilgruppe von Menschen mit Allergien und zeigen häufig einige typische klinische Zeichen. Dazu zählen eine doppelte Lidfalte am Unterlid (Dennie-Morgan-Falte), dunkle Haut im Bereich der Augen, die Ausdünnung der seitlichen Augenbrauen (Hertoghe-Zeichen), eine überwiegend trockene und juckende Haut sowie eine trockene Kopfhaut.

1.2 Häufigkeiten allergischer Erkrankungen und Sensibilisierungen

Allergische Erkrankungen haben über die letzten Jahrzehnte weltweit stark zugenommen und stagnieren zurzeit auf einem hohen Niveau. Schätzungen zufolge sind insgesamt rund 20–30 Millionen Menschen in Deutschland von Allergien betroffen [2], wobei das Alter bei Erstmanifestation einer Allergie tendenziell abnimmt [3]. Die Zunahme allergischer Erkrankungen ging mit zeitgleich stattfindenden Veränderungen in Lebensstil und Umwelt einher. Viele damit verbundene Faktoren konnten mit dem vermehrten Auftreten von Allergien in Zusammenhang gebracht werden, wie sich das beispielsweise an Ostdeutschland-Westdeutschland-Vergleichen oder an Bauernhofstudien illustrieren ließ [4].

Bevölkerungsbezogene Querschnittsdaten

Bevölkerungsrepräsentative Aussagen zur Epidemiologie allergischer Erkrankungen in Deutschland liefert das kontinuierliche Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-

Institut [5]. Für Erwachsene stammen die aktuellsten Daten aus der bundesweiten Befragungsstudie Gesundheit in Deutschland aktuell (GEDA 2019/2020-EHIS), die zwischen April 2019 und September 2020 durchgeführt wurde und in die der Fragebogen des alle fünf Jahre stattfindenden europäischen Gesundheitssurveys (European Health Interview Survey, EHIS) integriert ist. Basierend auf der Selbsteinschätzung der Befragten besteht ein Asthma bronchiale (einschließlich eines allergischen Asthmas) aktuell, d. h. in den letzten zwölf Monaten vor der Erhebung, bei 8 % der Erwachsenen. Fast ein Drittel der Erwachsenen (31 %) bejahte die Frage, aktuell von einer Allergie betroffen zu sein. Als Allergien werden in GEDA 2019/2020-EHIS „Heuschnupfen, allergische Reaktionen der Augen oder der Haut, Lebensmittelallergien oder andere Allergien (außer allergischem Asthma)“ erfragt. Frauen berichteten insgesamt häufiger von allergischen Erkrankungen betroffen zu sein als Männer [6].

Eine differenzierte Erhebung der Häufigkeit ärztlich diagnostizierter allergischer Erkrankungen fand zuletzt im bundesweiten Befragungs- und Untersuchungssurvey Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS) von 2008 bis 2011 statt. Damals gaben rund 16 % der Erwachsenen an, jemals die ärztliche Diagnose Heuschnupfen (allergische Rhinitis) erhalten zu haben. Allergische Rhinitis ist damit die häufigste allergische Erkrankung. Die Lebenszeitprävalenz für Asthma bronchiale lag bei rund 9 % (allerdings haben nicht alle Asthma-Formen eine allergische Genese). Ähnlich häufig wie das Asthma bronchiale war das allergische Kontaktekzem, das auch bei etwa jedem elften Erwachsenen (9 %) schon einmal im Leben ärztlich diagnostiziert worden war. Weniger präva-

lent waren jemals gestellte Arzt Diagnosen für Nahrungsmittelallergie (5 %), Neurodermitis (4 %) und Insektengiftallergie (3 %). Mit Ausnahme der Neurodermitis waren Frauen häufiger von allergischen Erkrankungen betroffen als Männer [7].

Höher noch als die Zahl der Erkrankten ist die Zahl der Sensibilisierten. Die DEGS-Studie ergab, dass bei 50 % der Erwachsenen in Deutschland im Serum allergenspezifische IgE-Antikörper gegen Umweltallergene nachweisbar waren. 34 % der Erwachsenen waren beispielsweise gegen eine Mischung aus Lieschgras-, Roggen-, Birken-, Beifußpollen, Katze, Hund, Hausstaubmilbe und *Cladosporium herbarum* (sx1-Allergenmischung) sensibilisiert, 26 % gegen Nahrungsmittelallergene (wobei lediglich 2 % ausschließlich gegen Nahrungsmittelallergene sensibilisiert waren) und jeweils 19 % gegen Gräser- bzw. Baumpollen. Gegen Kräuterpollen waren 11 % sensibilisiert [8].

Für Kinder und Jugendliche wurden zuletzt auf Basis der zweiten Folgerhebung der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS Welle 2; Datenerhebung 2014 bis 2017) bevölkerungsbezogene Prävalenzen allergischer Erkrankungen und Sensibilisierungen abgeleitet. Demnach erhielten 11 % aller Kinder und Jugendlichen im Alter von 0 bis 17 Jahren schon einmal im Leben die ärztliche Diagnose Heuschnupfen, bei Asthma bronchiale waren es 6 %. Jungen waren jeweils häufiger betroffen als Mädchen. Die Lebenszeitprävalenz für Neurodermitis betrug 13 %, wobei Mädchen häufiger betroffen waren als Jungen. Bei jeweils 3 % der Mädchen und der Jungen wurde schon einmal im Leben ein allergisches Kontaktekzem ärztlich diagnostiziert [9].

37 % der Kinder und Jugendlichen in Deutschland waren gegen die sx1-Allergenmischung bestehend aus den oben genannten acht Inhalationsallergenen sensibilisiert. Die Prävalenz von Sensibilisierungen gegen Lieschgras- und Roggenpollen, Birkenpollen bzw. Hausstaubmilben lag zwischen 14 und 23 %, die Prävalenz gegen die meisten der getesteten Tier- und Nahrungsmittelallergene zwischen 5 und 11 %. Jungen waren generell häufiger sensibilisiert als Mädchen.

Eine spezielle Faktoranalyse bezüglich der Sensibilisierungsmuster identifizierte für Mädchen und Jungen gleichermaßen sieben Sensibilisierungsgruppen, nämlich „Lieschgras-/Roggenpollen“, „Birkenpollen/Apfel“, „Lebensmittel/Beifußpollen“, „Hausstaubmilben“, „Tiere“, „Kuhmilch/Eiklar“ und „Schimmelpilze“ [9, 10].

Bevölkerungsbezogene Längsschnittdaten

Untersuchungen zu Entwicklungen auf individueller Ebene (Längsschnitt) im Rahmen der KiGGS-Kohorte ergaben, dass jedes fünfte Mädchen (21 %) und jeder dritte Junge (29 %) im Verlauf von zehn Lebensjahren eine Sensibilisierung gegen zumindest eines der sx1-Allergene neu entwickelt hat (kumulative 10-Jahres-Inzidenz). Auf der anderen Seite zeigte sich, dass eine einmal nachgewiesene Sensibilisierung größtenteils persistierte. Nur bei 11 % der betroffenen Mädchen und 6 % der betroffenen Jungen war die sx1-Sensibilisierung gut zehn Jahre später nicht mehr nachweisbar (Remission) [11]. Längsschnittliche Ergebnisse bei Erwachsenen weisen darauf hin, dass es sich bei der beobachteten Zunahme der Prävalenz von sx1-Sensibilisierungen am ehesten um einen Kohorteneffekt handelt, bedingt durch höhere Prävalenzen in jüngeren Geburtskohorten [12].

Allergische Erkrankungen, vor allem Inhalationsallergien, haben ein epidemisches Ausmaß erreicht. Einer der häufigsten Auslöser von Inhalationsallergien sind die in Pollen enthaltenen Allergene.

1.3 Allergie-Trigger Pollen

Der häufigste Auslöser allergischer Atemwegserkrankungen sind Pollen bzw. die darin enthaltenen Allergene.

Pollen besteht aus Pollenkörnern, die einen Durchmesser von weniger als $10\ \mu\text{m}$ (z. B. Pollen des Wald-Vergissmeinnicht) bis zu mehr als $100\ \mu\text{m}$ (z. B. Pollen der Weißtanne) haben können [13].

Pollen dient der Fortpflanzung der Pflanzen. Die Übertragung der Pollenkörner von der männlichen Anthere auf die weibliche Narbe wird als Bestäubung bezeichnet. Dabei werden zwei grundlegende Arten der Bestäubung unterschieden: Bei Autogamie (Selbstbestäubung) wird der Pollen auf die Narbe derselben Blüte oder auf die Narbe einer anderen Blüte derselben Pflanze (Geitonogamie) übertragen. Bei Allogamie (Fremdbestäubung) erfolgt die Übertragung des Pollens einer Pflanze auf die Blüte einer anderen Pflanze. Für die Bestäubung werden Transportvektoren wie Wasser (Hydrogamie), Tiere (Zoogamie) oder Wind (Anemogamie) genutzt. Die häufigste Methode der Pollenübertragung ist die Zoogamie, in Deutschland speziell die Insektenbestäubung (Entomogamie), z. B. beim Löwenzahn oder dem Apfelbaum.

Aus allergologischer Sicht spielen anemophile Pflanzen, d. h. Pflanzen mit Eigenschaften, die die Übertragbarkeit von Pollen durch Wind begünstigen, hierzulande aber die größte Rolle: Die meisten Allergie-relevanten Pollentaxa gehören zu dieser Gruppe. Die im Allgemeinen große Menge an Pollen anemophiler Pflanzen in der Luft führt zu einer erhöhten Exposition des Menschen gegenüber diesen Pollen, womit sich auch die Möglichkeit erhöht, eine Sensibilisierung und allergische Symptome zu entwickeln. Typi-

sche Vertreter anemophiler Pflanzen mit Allergie-relevantem Pollen sind Hasel, Erle, Birke, Eiche, Gräser und Beifuß. Aber auch Pollen entomophiler Pflanzen kann hierzulande in Mengen in die Luft gelangen, die ausreichen, eine Sensibilisierung oder Allergie auszulösen, z. B. der Pollen des Götterbaums [14].

2. Klimawandel und Allergien: Direkte und indirekte Effekte

Wie bereits im einleitenden Artikel des Sachstandsberichts erwähnt [15], hat sich in Deutschland die mittlere Lufttemperatur seit Beginn der flächendeckenden Wetteraufzeichnungen 1881 um etwa $1,6\ ^\circ\text{C}$ erhöht. Bis zum Ende des Jahrhunderts (2071–2100) wird in Deutschland je nach Emissionsszenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von mindestens $1\ ^\circ\text{C}$ bis hin zu mehr als $4\ ^\circ\text{C}$ erwartet, mit der stärksten Erwärmung in den Alpen und im Alpenvorland. Insgesamt wird erwartet, dass die Erwärmung in den verschiedenen Jahreszeiten ähnlich ausgeprägt sein wird mit Ausnahme des Frühjahrs, hier zeigen Modellrechnungen eine etwas geringere Erwärmung [16, 17]. Der Niederschlag in Deutschland hat seit 1881 in der Jahressumme um 8% zugenommen. Während die größte Zunahme dabei im Winter zu verzeichnen ist, gefolgt von Frühling und Herbst, hat der sommerliche Niederschlag hingegen leicht abgenommen. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts ist im Vergleich zum Zeitraum 1971–2000 eine Zunahme der jährlichen Niederschlagsmenge um weitere 8% zu erwarten. Dabei finden sich die größten Zunahmen mit bis zu 17% im Winter. Im Sommer hingegen ist tendenziell eine Abnahme des Niederschlags zu erwarten. Es sei anzumerken,

dass sich modellierte Änderungen unterhalb 10% nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterscheiden lassen [17].

Für die Pflanzenentwicklung spielen neben Temperatur und Niederschlag auch Verdunstung und Bodenfeuchte eine Rolle. Die Verdunstung nimmt in der Regel bei höheren Temperaturen zu. Wenn sich gleichzeitig die Niederschläge weniger stark verändern, führt das bei unveränderter Landnutzung zu einer schnelleren Austrocknung der Böden während der Vegetationsperiode. Die Zahl von Tagen mit niedriger Bodenfeuchte hat seit 1961 bereits deutlich zugenommen und wird weiter zunehmen [17, 18]. Folglich nimmt die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen innerhalb der Vegetationsperiode ab und es ist vermehrt mit Trockenheit und Dürre zu rechnen. Im Zeitraum 1971–2000 lag die durchschnittliche Anzahl der Dürremonate in Deutschland bei ungefähr zwei Monaten pro Jahr. Bei einer Erwärmung von 3 °C würde sich die Dürredauer verdoppeln [19]. Zugleich führt ein Temperaturanstieg zu einer Erhöhung des Potenzials für extreme Niederschlagsereignisse. In der Folge kann es verstärkt zu Überschwemmungen kommen [20]. Mit der Zunahme von Extremereignissen steigt auch das Potenzial für das sogenannte Gewitterasthma (Infobox).

2.1 Klimawandel und (neue) Pollenallergene

Veränderungen in der phänologischen Entwicklung Pollen-produzierender Pflanzen

Die Pflanzenentwicklung und damit auch die Pollensaison hängen maßgeblich vom Zusammenspiel von Temperatur und Niederschlag ab. Bereits in den letzten Dekaden des 20. Jahrhunderts haben sich die phänologischen Jahres-

Infobox

Extremwetter und Asthma

Im Zuge des Klimawandels und zunehmender Extremwetterereignisse könnte auch das Phänomen des Gewitterasthmas in Deutschland an Bedeutung gewinnen. So können vor allem bei Menschen mit Heuschnupfen und allergischem Asthma schwere Asthmaanfälle bei Gewittern auftreten. Auch bei Menschen, die nur an Heuschnupfen leiden, wurde bei Gewittern Asthma beobachtet. Das Phänomen des Gewitterasthmas trat bislang relativ selten auf: Weltweit wurden seit 1983 etwa 30 solcher Ereignisse registriert, vor allem in Australien und England. Die genauen Mechanismen des Gewitterasthmas sind noch nicht vollständig erforscht [21–23].

Wesentliche Merkmale von Gewitterasthma sind:

- ▶ Auftreten vorwiegend im späten Frühjahr und Sommer bei speziellen Wetterereignissen wie z. B. Gewitter oder Konvergenzlinien
- ▶ (Ungewöhnlich) hohe Konzentration von Aeroallergenen in der Luft, zum Teil auch schon Tage vor dem Wetterereignis (Aeroallergene in Verbindung mit Gewitterasthma sind vor allem Gräserpollen, ferner auch Baum- und Kräuterpollen sowie Pilzsporen; durch Wetteränderungen wie Niederschlag, Zunahme der Feuchtigkeit und Blitzaktivität können Pollen fragmentiert werden, wodurch kleinere, gut lungengängige Partikel entstehen, an die Allergene gebunden sind und die durch starke Fallwinde zum Boden transportiert werden)
- ▶ Auftreten der Symptome häufig während der ersten 20 bis 30 Minuten des Wetterereignisses (erhöhtes Risiko für schwere Symptome wie z. B. akute Asthmaanfälle, erhöhtes Risiko für Zunahme von Besuchen in der Notaufnahme)

zeiten, d. h. die Eintrittsdaten unterschiedlicher Entwicklungsstadien von Pflanzen (von der Blüte bis zum Blattfall), teilweise deutlich verschoben [17], was auch eine Verschiebung der Pollensaison nach sich zog. So zeigt sich am Beispiel von Hasel, dass sich der Beginn der Blüte seit 1951 um etwa einen Monat verfrüht hat, während der Beginn

der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbst), der hier als Indikator für das Ende der Vegetationsperiode herangezogen wird, nur geringfügig später eingetreten ist (Abbildung 1). Das Ende der Vegetationsperiode wird in aller Regel weniger durch die Temperatur als vielmehr durch die Tageslänge gesteuert. Dadurch bleiben der Eintritt des Spätherbtes und der Zeitpunkt des Winterbeginns relativ konstant, sodass sich durch den früheren Beginn des Frühlings die Vegetationsperiode verlängert [17]. Ein ähnlicher Trend wie bei der Hasel zeigt sich auch bei der Schwarzerle, einer in Deutschland weit verbreiteten Erlenart. Zudem lässt vor allem die nicht einheimische Purpurerle die Erlenpollensaison früher beginnen. In sehr milden Wintern und an be-

günstigen Standorten können Hasel und Purpurerle sogar schon im November zu blühen beginnen [24, 25]. In manchen Jahren fliegen die letzten Gräser- und Brennnesselpollen ebenfalls im November [25].

Phänologie und Pollensaison laufen nicht zwangsläufig synchron. So können beispielsweise Pollen aus klimatisch begünstigten Gebieten, in denen die Blüte bereits eingesetzt hat, über weite Distanzen in Gebiete transportiert werden (Ferntransport), in denen die Blüte noch nicht eingesetzt hat, und dadurch die Pollensaison auch dort früher beginnen lassen.

Es ist davon auszugehen, dass durch den fortschreitenden Klimawandel eine weitere Verfrühung der Pollensaison

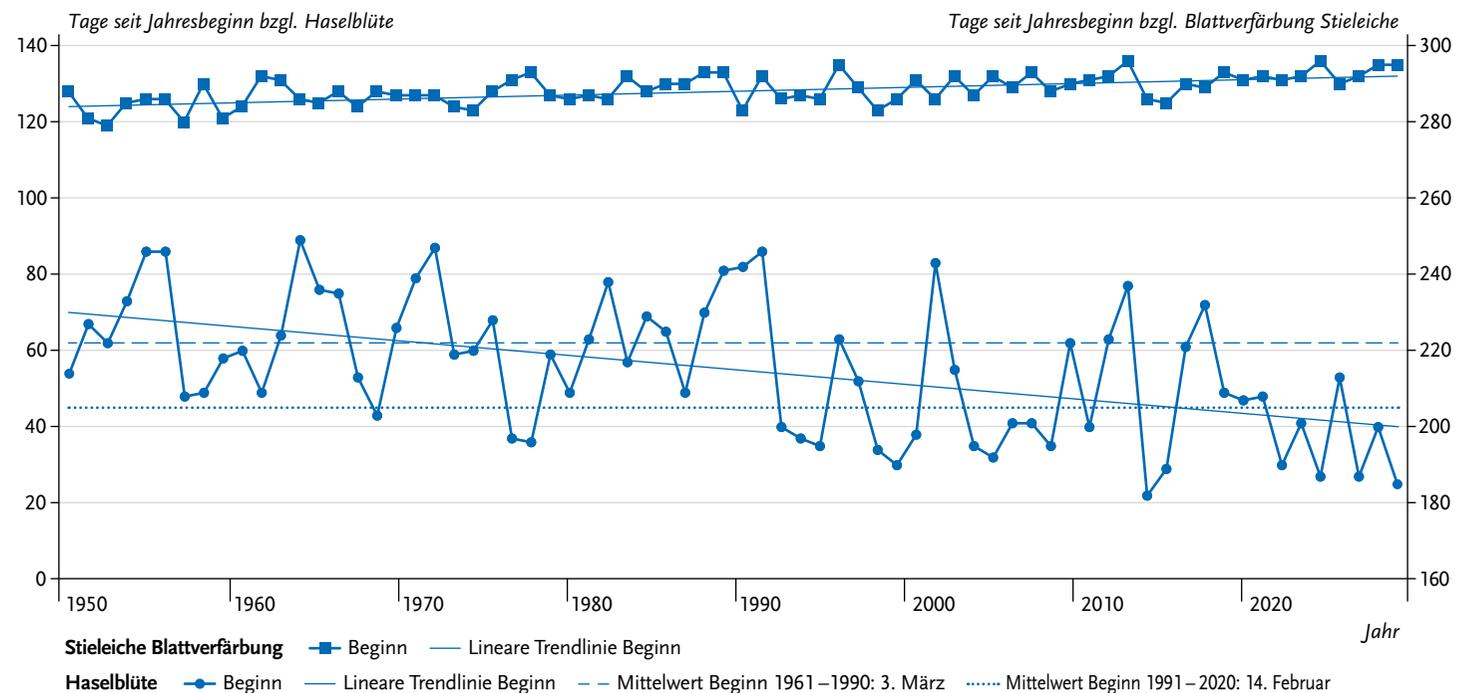


Abbildung 1

Blühbeginn Hasel und Blattverfärbung Stieleiche seit 1951 als Indikatoren für Start und Ende der Vegetationsperiode

Quelle: Deutscher Wetterdienst [26]

Die Blühzeiten und damit das zeitliche Auftreten von Pollen ändern sich. Auch Veränderungen der Pollenkonzentration und Veränderungen im Spektrum allergener Pollen sind zu erwarten.

zu erwarten ist, auch wenn Pflanzen der gemäßigten Breiten für die Blühinduktion oft eine gewisse Kälteexposition während der kalten Jahreszeit benötigen und infolge steigender Temperaturen das Kältebedürfnis gegebenenfalls nicht mehr gewährleistet werden kann. Ettinger et al. [27] fanden z. B. heraus, dass es bei einer Erwärmung im Winter von über 4 °C (mittlere Temperatur) zu einer Verspätung in der Phänologie im Frühjahr infolge einer verringerten Kälteexposition kommen kann.

Einfluss des Klimawandels auf die Pflanzenproduktivität

Infolge steigender CO₂-Konzentrationen ist eine Zunahme der Pollenmenge zu erwarten, was z. B. Experimente an Ambrosia [28, 29] und Wiesen-Lieschgras [30] belegen. Hohe Pollenkonzentrationen treten auch in sogenannten Mastjahren auf. Das sind Jahre, in denen es bei bestimmten Baumarten zu einer gesteigerten Samenproduktion kommt. Mastjahre unterliegen dabei einem spezifischen Zyklus; für Buche, zum Beispiel, beträgt dieser etwa drei bis sechs Jahre und für Eiche sechs bis zwölf Jahre [31]. Auch wenn der Pollen von Buche und Eiche (Familie Buchengewächse) ein geringeres Allergienpotenzial aufweist, kann die Allergenbelastung durch Kreuzreaktivitäten auf Pollen botanisch verwandter Arten – Birke, Erle, Hasel (Familie Birkengewächse) – erhöht sein. Darüber hinaus häuften sich in den letzten Jahren Mastjahre, was mit dem Klimawandel in Zusammenhang gebracht wird [32, 33]. Nimmt die Frequenz von Mastjahren zu, könnten Bäume aufgrund des erhöhten Energiebedarfs wiederum anfälliger z. B. für Schädlinge und Trockenheit werden. Sind Bäume der gemäßigten Breiten einem andauernden Wassermangel ausgesetzt, wirkt sich dies negativ auf ihre

Entwicklung aus, z. B. durch einen Rückgang der Pollenproduktion [34–36]. Trockenheit bzw. lang andauernde Dürreperioden werden zukünftig häufiger auftreten, was die letzten Jahre beispielhaft gezeigt haben [19]. Der Wechsel von Wetterextremen (Dürre und Überschwemmungen durch Starkregenereignisse) kann zu Trockenstress und Staunässe führen, womit nicht jeder Baum gut umgehen kann. So ist zum Beispiel eine schleichende Verschlechterung des allgemeinen Zustandes städtischer Birken zu beobachten [37].

Aufgrund des Einflusses des Klimawandels auf die Pflanzenentwicklung treten Veränderungen in der Exposition der Bevölkerung mit allergenen Pollen auf. Diese betreffen (a) den Zeitpunkt des Pollenflugs, (b) die Pollenkonzentrationen, (c) das Pollenspektrum und (d) die Allergenität der Pollen, u. a. in Verbindung mit Änderungen der Luftqualität, siehe [Abschnitt 2.4 Luftschadstoffe](#).

Änderungen im zeitlichen Auftreten von Pollen

Benutzt man die symptomorientierte Definition einer Pollensaison der Europäischen Akademie für Allergologie und klinische Immunologie (European Academy of Allergy and Clinical Immunology [38]), so sind die stärksten Veränderungen in der Birkenpollengruppe zu beobachten (Hasel, Erle, Birke, Buche, Eiche, u. a.). Der Saisonbeginn dieser Gruppe trat in den letzten Jahrzehnten ca. zwei bis drei Wochen früher auf, endete allerdings auch früher [39–41]. Eine Dokumentation des früheren Beginns des Birkenpollenflugs ist auch anhand der seit Jahrzehnten veröffentlichten deutschlandweiten Pollenflugkalender der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) erkennbar [25]. Ähnliche Beobachtungen zeigen auch Daten zu Buchen-

pollen von zwei PID-Messstellen, die mehrere hundert Kilometer voneinander entfernt und in unterschiedlichen Höhen liegen [42].

Der Flug der Gräserpollen hat sich weniger stark verändert, mit einem tendenziell früheren Beginn. In einigen Ländern (Vereinigtes Königreich, Spanien, Portugal) wurde eine Verlängerung des Flugs von Gräserpollen beobachtet [43]. Infolge wärmerer Herbstmonate ist auch mit einem verlängerten Flug von Beifuß- und Ambrosiapollen zu rechnen; auf der Grundlage der Messungen zwischen 2011 und 2016 gibt der Pollenflugkalender 4.0 für Beifuß- und Ambrosiapollen ein mögliches Auftreten von Juni bis Ende Oktober/Anfang November an [25].

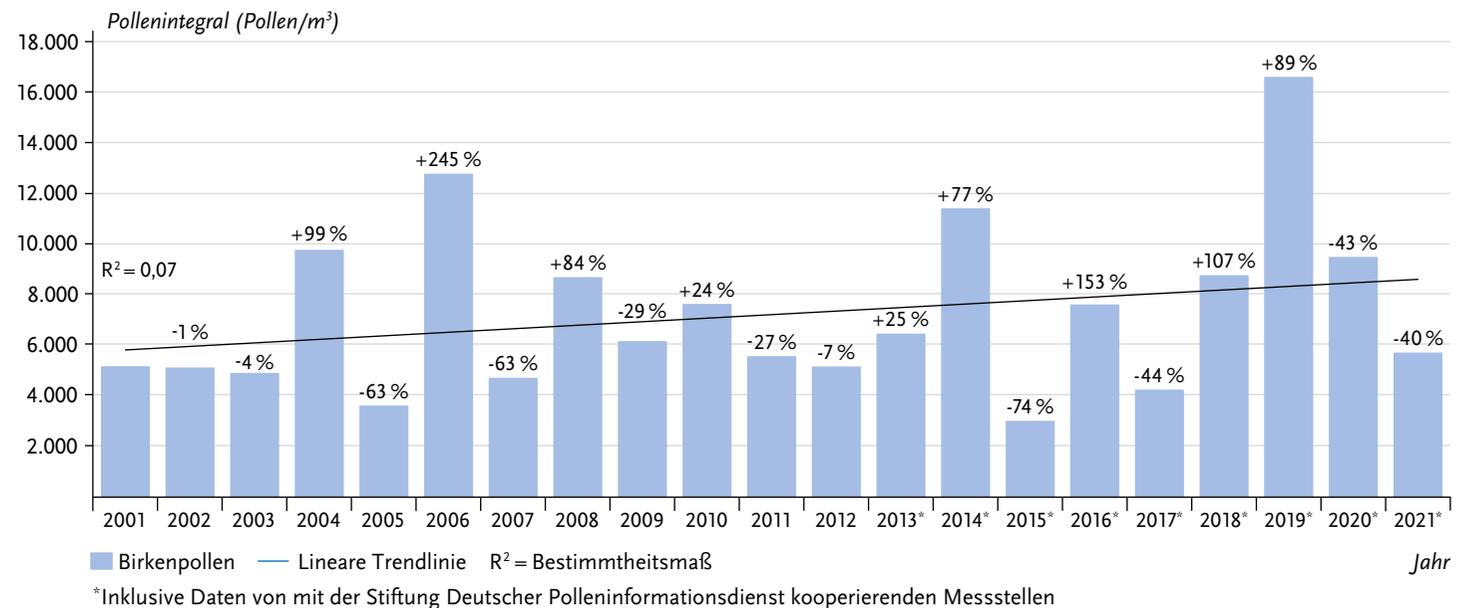
Insgesamt ergibt sich durch den früheren Beginn der Baumpollen- und die Verlängerung der Kräuterpollensaison

in den Herbst hinein eine Spreizung der Pollensaison der allergenen Pflanzenarten – und damit eine Verlängerung der Beschwerdeperiode für diejenigen Menschen mit einer Pollenallergie, die sowohl auf Baum- als auch auf Gräser- und Kräuterpollen allergisch reagieren. Da Polysensibilisierungen grundsätzlich ein höheres Risiko zur Entwicklung stärkerer Symptome und Asthma bronchiale haben [44], stellt die verlängerte Expositionszeit für diese Personengruppe ein besonderes Risiko dar.

Veränderungen von Pollenkonzentrationen

Die Jahressummen der in Deutschland relevanten allergenen Pollen unterlagen in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten ständigen Veränderungen. So folgte z. B. bei der Birke einem Jahr mit hoher Pollenfreisetzung häufig ein Jahr mit

Abbildung 2
Übersicht über die mittlere in Deutschland an verschiedenen Messstationen pro Jahr gemessene Zahl an Birkenpollen mit Trendlinie. Prozentangaben zeigen die jeweilige Veränderung gegenüber dem Vorjahr an.
Quelle: Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst [46]



geringerer Freisetzung. In der Tendenz hat die mittlere Jahrespollensumme für Birke aber zugenommen ([Abbildung 2](#)). Für die PID-Messstelle in München hat auch die Zahl der Tage mit hohen Birkenpollenkonzentrationen (≥ 100 Pollen/m³) signifikant zugenommen [45].

Die einzige bisher publizierte Darstellung des Verlaufs der Jahrespollensummen von 23 Pollentypen aus 97 Messorten in Europa über die letzten Jahrzehnte ergab für zehn von ihnen signifikante Zunahmen, darunter Erle, Birke, Hasel, Esche, Platane, Eiche und Zypressengewächse. Dagegen zeigte die Jahrespollensumme von Beifuß eine signifikante Abnahme [47].

Die Ausprägung allergischer Symptome hängt aber nicht nur von der Pollenkonzentration ab. Maßgeblich ist auch der Allergengehalt der Pollen. Ein Gräserpollenkorn enthält < 1 bis 9 Pikogramm (pg) Phl p 5 (Majorallergen der Gräserpollen), der Mittelwert liegt bei $2,3$ pg Phl p 5. Dabei setzen Gräserpollen Phl p 5 nicht kontinuierlich frei, sodass Patientinnen und Patienten trotz Pollenflug abhängig von klimatischen Bedingungen auch symptomfrei sein können. Die Konzentration freier Allergene steigt mit der Luftfeuchtigkeit [48]. Die Symptomatik von Menschen mit Allergien hängt damit nicht nur vom Ausmaß des Pollenflugs ab, sondern auch von klimatischen Bedingungen [49].

Veränderungen im Spektrum allergener Pollen

Im Zuge des Klimawandels wird sich das Spektrum allergener Pollen in Deutschland sehr wahrscheinlich weiter ändern:

(A) Die allergologische Bedeutung von Pollen einiger freiwachsender, aber nicht heimischer Pflanzenarten wird zunehmen.

(B) Neue Pollenallergene werden hinzukommen.

(C) Die allergologische Bedeutung von Pollen einiger heimischer Pflanzenarten kann sich im weiteren Verlauf ändern.

Auf Szenario A wird im Folgenden näher eingegangen. Für Szenario B stehen beispielhaft die Pollen des Olivenbaums [50, 51], für Szenario C beispielhaft die Pollen der Birke [52].

Szenario A, Beispiel 1: Pollen der Beifuß-Ambrosie

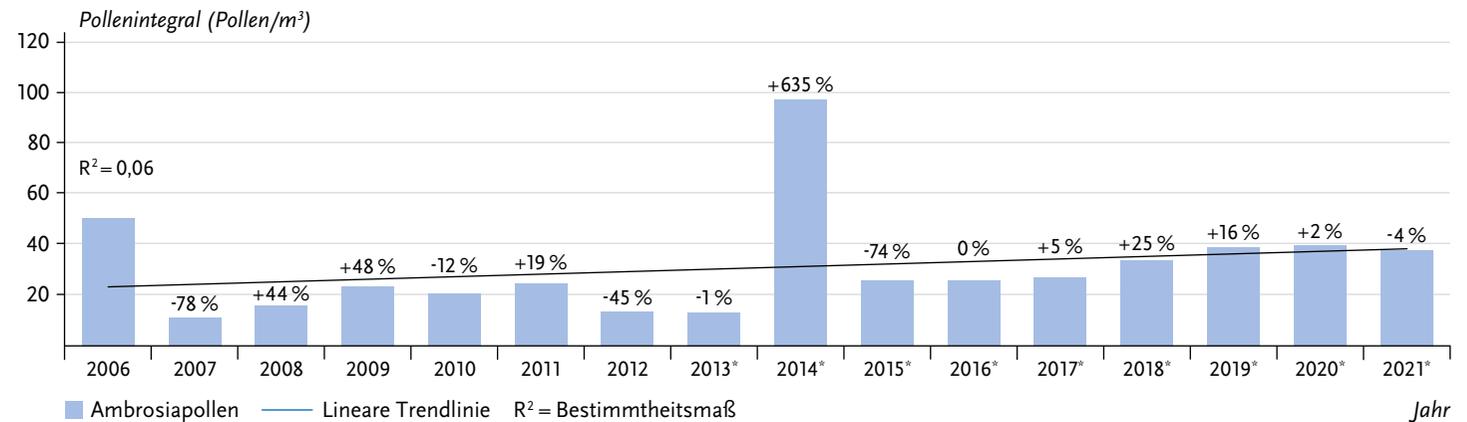
Die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) ist in Nordamerika beheimatet und produziert in großen Mengen Pollen mit einem hohen Sensibilisierungs- und Allergiepotenzial [53, 54]. In den USA sind ebenso viele Menschen gegen die Beifuß-Ambrosie sensibilisiert wie gegen Gräser [55]. Nach Europa gelangte die Pflanze wahrscheinlich über Getreide oder Kleesaat und ist heute vor allem in der Ukraine, in Ungarn, Italien (Po-Ebene) und Frankreich (Rhonetal) verbreitet. In Deutschland wurde sie bereits 1860 wild wachsend gefunden und galt lange als unbeständig und selten, seit einigen Jahren breitet sie sich aber weiter aus [53, 54]. Neben dem Eintrag durch den Menschen scheinen die aktuellen Veränderungen des Klimas das Wachstum der Pflanze und deren Pollen- bzw. Allergenproduktion zu fördern [56].

In den Jahren 2006 und 2014 waren in Deutschland erhebliche Einträge von Ambrosiapollen über Ferntransport, wahrscheinlich aus Ungarn, nachweisbar ([Abbildung 3](#)). Aufgrund bestehender Kreuzreaktivitäten zum heimischen Beifuß hätten trotz des einmaligen Ereignisses klinische Beschwerden bei gegen Beifuß allergischen Patientinnen und Patienten auftreten können. Daten dazu existieren aber nicht.

Abbildung 3

Übersicht über die mittlere in Deutschland an verschiedenen Messstationen pro Jahr gemessene Zahl an Ambrosiapollen mit Trendlinie. Prozentangaben zeigen die jeweilige Veränderung gegenüber dem Vorjahr an.

Quelle: Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst [46]



*Inklusive Daten von mit der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst kooperierenden Messstellen

Verglichen mit den Ferntransportereignissen der Jahre 2006 und 2014 und mit dem deutschlandweiten Jahresdurchschnitt sind in der Region um Drebkau im südöstlichen Brandenburg seit etlichen Jahren deutlich höhere Pollenkonzentrationen nachweisbar, die aus der Etablierung der Pflanze in dieser Region resultieren (Tabelle 2).

Die klinische Relevanz dieser seit Jahren bestehenden Exposition ist bisher nicht umfassend untersucht. Daten aus Italien legen jedoch nahe, dass primäre Sensibilisierungen gegen Ambrosiapollen in der Region um Drebkau inzwischen deutlich höher sein dürften als im landesweiten Durchschnitt [58].

Für die Jahre 2041 bis 2060 gehen Lake et al. [59] auf der Grundlage unterschiedlicher Klimamodelle, verschiedener Pflanzenausbreitungsmodelle und zweier RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways, RCP4.5 und RCP8.5) für Gebiete im Süden Deutschlands davon aus, dass klinisch relevante Konzentrationen von Ambrosiapollen bereits im Juli/August auftreten werden. Darü-

ber hinaus werden die Pollenkonzentrationen in der Hauptblütezeit über dem gesamten Bundesgebiet mindestens doppelt so hoch liegen wie im Vergleichszeitraum 1985–2005 und auch in der Nachsaison noch in klinisch relevanten Größenordnungen nachweisbar sein [59]. Bezüglich der bevölkerungsbezogenen Sensibilisierungen gegen Ambrosiapollen wird für Deutschland von einem Anstieg von 0 bis 10 % im Zeitraum 1985–2005 auf 15 bis 25 % im Zeitraum 2041–2060 ausgegangen [59].

Szenario A, Beispiel 2: Pollen des Glaskrauts

Das Aufrechte Glaskraut (*Parietaria officinalis*) ist in Mittel- und Südeuropa verbreitet und gilt in Deutschland als Archäophyt (d. h. vor 1492 dauerhaft eingetragene Pflanzenart). In südeuropäischen Ländern liegen patientenbezogene Sensibilisierungsraten gegen Glaskraut um die 20 %, in Deutschland liegt der Prozentsatz unter 10 % (Pricktest-Daten: [60], allergenspezifische IgE-Daten: [61]). Im Zuge des Klimawandels könnten sich Glaskrautpflanzen in

Tabelle 2
Jahressummen an Ambrosiapollen im Jahr 2010
an Messstellen in Nordrhein-Westfalen (NRW),
Bayern und Brandenburg
 Quelle: Höflich [56]

Standort der Messstelle	Jahrespollensumme (Pollen/m ³)
Nordrhein-Westfalen (Mönchengladbach)	5
Bayern (München)	6
Brandenburg (Drebkau)	Knapp 2.500

Daten je einer Messstelle. Datenquellen NRW, Bayern: Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst, Details siehe Höflich et al. [50]. Datenquelle Brandenburg: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg [57].

Deutschland ausbreiten und in der Folge zu einer Zunahme der Zahl von Patientinnen und Patienten mit einer Glaskrautallergie führen.

Szenario A, Beispiel 3: Pollen des Götterbaums

Der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) ist mit Ausnahme der Antarktis auf allen Kontinenten vertreten, aber nur in Teilen von Asien heimisch. In Deutschland ist er derzeit vor allem innerhalb städtischer Wärmeinseln anzutreffen. Mit zunehmender Erwärmung ist mit seiner Ausbreitung über die Wärmeinseln hinaus zu rechnen [62]. Der Baum ist überwiegend insektenbestäubt, sein Pollen kann aber auch über den Wind verbreitet werden und könnte über mögliche Kreuzreaktivitäten hinaus auch hierzulande allergene Bedeutung erlangen [62–64].

2.2 Klimawandel und (neue) berufliche Inhalationsallergene tierischen, pflanzlichen und mikrobiellen Ursprungs

Infolge des Klimawandels werden sich in vielfältiger Weise die Bedingungen von Beschäftigten an verschiedenen Arbeitsplätzen verändern. Der Land- und Forstwirtschaftssektor mit mehr als 44 Millionen Arbeitsplätzen in der Euro-

päischen Union (etwa 9,2 % der Gesamtbeschäftigten) und knapp einer Million Arbeitskräften in Deutschland [65] ist in hohem Maße klimaanfällig. Dabei weisen Studien auf starke regionale Unterschiede bei der räumlichen Verteilung der Klimaauswirkungen hin. Dies macht sich z. B. in den nördlichen Gebieten nicht nur in der Variabilität der Ernteerträge bemerkbar, sondern auch in einer Zunahme von Schädlingsbefall und Krankheiten, die wiederum zu gesundheitlichen Problemen bei den exponierten Beschäftigten führen können.

Eichenprozessionsspinner (EPS)

Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) gehören zu den Nachtfaltern (Familie: Zahnspinner). Die Brennhaare der Raupe können bei Menschen sowohl dermale (sogenannte Raupendermatitis) als auch respiratorische Beschwerden verursachen. Aus der gleichen Unterfamilie stammen der Pinienprozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa*) und der Kiefernprozessionsspinner (*Thaumetopoea pinivora*), deren Verbreitung bisher überwiegend in Südeuropa beschrieben wurde, aber durch den fortschreitenden Klimawandel auch in Deutschland zu erwarten ist.

Prozessionsspinner, in Deutschland bisher überwiegend EPS, sind Profiteure des Klimawandels und führen nicht nur zu forstwirtschaftlichen Schäden in den befallenen Gebieten, sondern stellen auch eine gesundheitliche Gefährdung für den Menschen, u. a. für Landschafts- und Baumpfleger, dar. Die schwankenden Wetterbedingungen können einen großen Einfluss auf die Entwicklung dieses Nachtfalters haben [66]. Sehr starke Populationen wurden in den Frühjahrsmonaten bei milder Witterung beobachtet, wenn

Insbesondere Beschäftigte im Außenbereich sind durch Expositionen gegenüber pflanzlichen und tierischen Profiteuren des Klimawandels betroffen.

die Bedingungen besonders während des Falterfluges und der Eiablage im vorausgegangenen Spätsommer gut waren (wenig Wind und Niederschlag, viel Sonne).

Die gesundheitliche Gefährdung geht insbesondere vom dritten Larvenstadium aus, in dem die Raupen Brennhaare bilden, die das Protein Thaumetopoein (Nesselgift) enthalten. Die feinen Haare brechen leicht, können mit dem Wind hunderte Meter weit fliegen und sich über Widerhaken auf der Haut von Menschen und Tieren festsetzen. Bei direktem Kontakt mit den Brennhaaren der EPS kann es zu mechanisch-irritativen, toxischen und auch allergischen Reaktionen kommen, die zu Hautirritationen, Augenreizungen, Fieber, Schwindel und in Einzelfällen sogar zum allergischen Schock führen können. Beim Einatmen der feinen Härchen können zudem Atembeschwerden wie Bronchitis und Asthma auftreten.

Zecken

Zu den weiteren Profiteuren des Klimawandels gehören die Zecken, die wärmere Lufttemperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit bevorzugen. Vorausgegangene warme Sommer und milde Winter führen schon im Frühjahr zur Zeckenvermehrung. Die Zeckenart, die überall in Europa verbreitet ist, ist der Gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*). Eine ausführlichere Übersicht zum Einfluss des Klimawandels auf Zecken und andere Vektoren findet sich als Teil dieses Sachstandsberichts in Beermann et al. [67].

Der Gemeine Holzbock breitet sich durch mildere Winter in immer nördlichere und höher gelegene Gebiete aus und ist nicht nur bedeutsam als Überträger von Borreliose und Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME), sondern kann auch Sensibilisierungen induzieren. So zeigte sich in einer

Studie in Südwestdeutschland, dass Forstangestellte sowie Jägerinnen und Jäger eine hohe Prävalenz an durch Zeckenstiche verursachtem Alpha-Gal-Syndrom haben. Dabei kann es zu einer (verzögerten) allergischen Reaktion durch rotes Fleisch (z. B. Rindfleisch, Wildfleisch) kommen [68].

Cryptostroma corticale

Ein weiteres gesundheitliches Problem, das durch den Klimawandel verstärkt werden könnte und insbesondere Beschäftigte während der Holzfällung einschließlich Holzbe- und -verarbeitung betrifft, stellt der Pilz *Cryptostroma corticale* dar. Seit Anfang der 2000er-Jahre tritt der Pilz aufgrund der Trockenheit und der wärmeren Sommer auch in unseren Breiten auf. Trockenheit und Hitzeperioden haben in den letzten Jahren zu einem verstärkten Ausbruch der Rußrindenkrankheit bei Ahornbäumen durch *Cryptostroma corticale* geführt. Der Befall mit *Cryptostroma corticale* verfärbt das Holz und macht es für die weitere Verarbeitung unbrauchbar. Das führt einerseits zu erheblichen forstwirtschaftlichen Schäden in der Holzindustrie, andererseits kann das Einatmen der Konidiosporen bei exponierten Personen zu gesundheitlichen Problemen führen und die Ursache für eine exogen allergische Alveolitis (Typ III-Allergie, siehe [Tabelle 1](#)) sein. Auch dieses ist ein berufliches Risiko (mit-)verursacht durch den Klimawandel [69].

Schimmelpilze

Erhöhte Feuchtigkeit kombiniert mit höheren Temperaturen und CO₂-Werten fördert das Pilzwachstum. Beschäftigte, die unmittelbar nach Hochwasserereignissen Renovierungsarbeiten durchführten, waren einer erhöhten Belastung mit Schimmelpilzen ausgesetzt [70]. Neben Sporen

sind auch Fragmente von Myzelfäden (0,2 bis 10 mm Länge) luftgetragene Allergenträger, die in noch größeren Mengen als Sporen auftreten können. Eine Schimmelpilzallergenexposition besteht also sowohl gegenüber Sporen als auch gegenüber Myzelfragmenten. Schimmelpilzexpositionen können verschiedene Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege und der Haut verursachen, beispielsweise allergischen Schnupfen oder Asthma.

Hanfgewächse

Hanfgewächse gehören ebenfalls zu den Profiteuren des Klimawandels, da die Pflanze unter einer erhöhten UV-Strahlenbelastung, wie sie durch den Klimawandel entstehen kann, besser gedeiht. Darüber hinaus gewinnen Cannabis und Hanfgewächse als Rohstoffe mit anwachsender Produktpalette für Faserprodukte, Nahrungs- und Arzneimittel zunehmend an Bedeutung. Die steigende Produktpalette auf Hanfbasis führt dazu, dass immer mehr Beschäftigte in diesem wachsenden Industriezweig arbeiten. Durch eine Exposition gegenüber Bestandteilen der Cannabispflanze an diesen Arbeitsplätzen treten zunehmend mehr gesundheitliche Probleme auf, insbesondere auch allergische Beschwerden [71]. Sussman et al. [72] weisen darauf hin, dass durch die Zunahme der Cannabisverwendung hier ein Szenario vergleichbar mit dem durch Naturlatex-Exposition im Gesundheitswesen in den 1980er- und 1990er-Jahren auftreten könnte.

Neue Allergene im Zusammenhang mit der Nahrungs- und Futtermittelherstellung

Neben den direkten Einflüssen des Klimawandels auf die Allergenexposition an Arbeitsplätzen und damit häufig auch

auf die Gesundheit der Beschäftigten finden durch den Klimawandel auch Lebensstiländerungen statt (z. B. vegane Ernährung, Insekten als Nahrungsquelle, fermentierte Pflanzenprodukte als Fleischersatz). Eine Folge dieser Lebensstiländerungen ist u. a. auch bei der Nahrungsmittelherstellung der verstärkte Einsatz von Enzymen, die wiederum zu Sensibilisierungen und allergischen Beschwerden führen können [73].

Auch Entwicklungen und Prozesse, die dem Klimawandel entgegenwirken und den Gedanken der Nachhaltigkeit verfolgen, können zu neuen oder veränderten Produkten und damit anderen Herstellungsprozessen und Expositionen an Arbeitsplätzen führen, sodass sich dieses auch als indirekte Beeinflussung des Klimawandels auf die Gesundheit der Berufstätigen auswirken kann. Als Beispiel sei hier die Exposition und das Sensibilisierungsrisiko bei der Herstellung von Phytase als Futterbestandteil von Nicht-Wiederkäuern (Geflügel, Schweine) genannt [74]. Durch Phytase lässt sich die Zugabe von anorganischem Phosphat vermindern und dadurch die Abwasserbelastung mit ausgedehntem Phosphat reduzieren.

2.3 Neurodermitis und Klimawandel

Neurodermitis (atopisches Ekzem, atopische Dermatitis) ist eine chronische, juckende, entzündliche Hauterkrankung, die für Patientinnen und Patienten eine erhebliche Belastung darstellt [75].

Sie wird durch Umweltveränderungen, wie sie bereits heute durch den Klimawandel in Deutschland und Europa auftreten, wie längere Hitzeperioden, Häufung von Tropennächten und höhere Durchschnittstemperaturen, ausge-

löst und verschlimmert. Menschen, die an Neurodermitis leiden, sollten Schutzmaßnahmen ergreifen, um sich vor UV-Strahlung und Hitze zu schützen. Frühwarnsysteme können Patientinnen und Patienten ermöglichen, ihren Alltag besser zu planen und ggf. bei extremer Hitze auf Aktivitäten im Freien zu verzichten oder sie auf die frühen Morgenstunden zu verlegen.

Einige Menschen mit Neurodermitis leiden zusätzlich unter einer Pollenallergie, wodurch die Symptomatik bei Hitze, Sonnen- und Pollenexposition weiter verschlimmert wird [76]. Der durch den Klimawandel veränderte Pollenflug kann somit genau für diese Gruppe zu einer erhöhten Symptomstärke führen [77].

Bestimmte Krankheiten können möglicherweise als Folge einer Exposition gegenüber schädlichen Umweltfaktoren oder fehlenden schützenden Faktoren gemeinsam mit der Neurodermitis auftreten. Hierzu gehören vor allem Allergien, allergisches Asthma, die eosinophile Ösophagitis (allergieähnliche Entzündung der Speiseröhre) und die Urtikaria (Nesselsucht). Die Neurodermitis ist ein Hauptrisikofaktor für die Entwicklung von Allergien [78]. Es wird vermutet, dass diese Erkrankungen durch komplexe genetische, epigenetische und immunologische Mechanismen in Verbindung stehen.

Aus dem demografischen Wandel und dem zunehmenden Auftreten von atopischen Erkrankungen im mittleren und fortgeschrittenen Lebensalter folgt, dass multimorbide und ältere Menschen auch immer mehr zu vulnerablen Gruppen für Folgen des Klimawandels werden.

2.4 Luftschadstoffe: Einfluss der Luftverschmutzung auf Pollenkörner, Aeroallergene und allergische Reaktionen

Experimentelle Studien zeigen, dass die kombinierte Wirkung von Pollen und Luftschadstoffen für Menschen mit Allergien besonders ungünstig ist. Die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit, wie von [Breitner-Busch et al. \[79\]](#) in diesem Sachstandsbericht beschrieben, und insbesondere auf Allergien der Atemwege hängen von einer Kombination von Faktoren ab, zu denen die Konzentrationen von Umweltschadstoffen (z. B. Stickstoffdioxid (NO₂), Kohlenmonoxid (CO), Ozon (O₃)), die Dauer der Exposition, die Belüftung, die klimatischen Bedingungen und die Wechselwirkung zwischen Schadstoffen und Pollen gehören. Was den letzten Punkt betrifft, so scheint die Luftverschmutzung mehrere Auswirkungen auf Pollenkörner zu haben: Veränderungen der biologischen und reproduktiven Funktionen, Veränderungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Pollenoberfläche, Veränderungen des allergenen Potenzials sowie eine adjuvante Wirkung, die potenzielle Gesundheitsrisiken erhöht [80].

Pollenwandschäden, Allergenfreisetzung und Verteilung in der Umwelt

Die Blüte- und Pollensaison reagiert empfindlich auf Umweltvariabilität in Bezug auf meteorologische Parameter, aber auch in Bezug auf Schadstoffe. In jüngster Zeit wurde eine frühere Blütezeit nachgewiesen, die auf die Kombination von höheren Temperaturen und Verstärterungsgrad zurückzuführen und an Standorten mit höheren NO₂-Konzentrationen am stärksten zu beobachten ist [40]. Anderer-

Pollenmonitoring ist ein wichtiges Instrument zur Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Gesundheit und sollte in die öffentliche Daseinsvorsorge aufgenommen werden.

seits wurde bei mehreren Arten eine Abnahme der Lebensfähigkeit und/oder der Keimung von Pollen beobachtet, die in vitro sehr niedrigen O₃- bzw. NO₂-Konzentrationen ausgesetzt waren [81, 82]. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass Pollen in der Natur beiden Schadstoffen gleichzeitig ausgesetzt und damit synergistische Effekte zu erwarten sind, da das Vorhandensein von O₃ die NO₂-Aufnahme erhöht. Das begünstigt die Nitrierung von Proteinen und beeinträchtigt somit die Protein-/Enzymfunktionen [83].

Verschiedenen Studien zufolge sind Pollenkörner in Gebieten mit hoher Luftverschmutzung kleiner und brüchiger als in Gebieten mit geringerer Luftverschmutzung. Die Wechselwirkung zwischen Luftschadstoffen und Pollenkörnern könnte die Pollenwand schädigen und die Menge der in die Umwelt freigesetzten Allergene erhöhen [84], die schließlich bis in die unteren Atemwege eindringen und asthmabedingte Symptome hervorrufen können.

Es gibt Hinweise darauf, dass der Klimawandel und Luftschadstoffe als Pflanzenstressoren die Morphologie der Antigene und damit das allergene Potenzial der Pollenpartikel verändern. Pollen aus städtischen Gebieten und aus stärker luftverschmutzten Regionen hat einen höheren Allergengehalt pro Pollenkorn [85]. Ein höherer Allergengehalt wurde in Extrakten von Birkenpollen nachgewiesen, der hohen O₃-Konzentrationen ausgesetzt war [86].

Darüber hinaus zeigen einige Studien, dass Allergenität und Lebensfähigkeit einiger Pollenarten zunehmen, wenn die Vegetation vermehrt mit bestimmten Schadstoffen belastet ist. Es wurde festgestellt, dass NO₂, ein wichtiger verkehrsbedingter Luftschadstoff, die Allergenität des Birkenpollenallergens Bet v 1 erhöht [87].

Schließlich wirken mehrere Luftschadstoffe als Adjuvantien (verstärkende Hilfsmittel), indem sie sich an Allergene binden und die IgE-Synthese stimulieren, was zu einer Verschlimmerung der Asthmasymptome führt. Mehrere in-vitro-Studien haben gezeigt, dass verkehrsbedingte Luftschadstoffe Pollen verändern können, was die Häufigkeit und Intensität der Symptome bei Menschen mit Allergien erhöht [80, 88]. Bei prädisponierten Personen kann die Sensibilisierung der Atemwege auf Aeroallergene gefördert werden [89]. Indem sie eine Entzündung der Atemwege auslösen, können Schadstoffe die Schleimhautbarriere schädigen und damit eine allergene Reaktion auslösen [90]. Eine Schädigung der Atemwegsschleimhaut kann den Zugang der eingeatmeten Allergene zu den Zellen des Immunsystems erleichtern.

3. Handlungsempfehlungen

3.1 Pollen- und Schimmelpilzsporenmonitoring

Klinische und gesellschaftliche Bedeutung des Pollen- und Schimmelpilzsporenmonitorings

Für die Vorbeugung und Behandlung von pollen- oder pilzsporenassoziierten allergischen Erkrankungen der Atemwege gibt es verschiedene, sowohl medikamentöse als auch nicht-medikamentöse Ansätze [91]. Einer der primär nicht-medikamentösen Ansätze besteht darin, sich – als Betroffene oder Betroffener, als behandelnde Ärztin oder behandelnder Arzt – darüber informieren zu können, wann, wo und in welcher Menge allergieauslösende Pollen oder Pilzsporen in der Luft vorhanden sind, um (a) diese Orte, wenn möglich zu meiden und (b) ggf. bereits vor dem Auf-

Abbildung 4
Pollen- und Sporenmessstationen im
PID-Messnetz, Stand Januar 2023
 Quelle: Stiftung Deutscher
 Polleninformationsdienst [97]



treten von Beschwerden antisymptomatisch wirkende Medikamente einnehmen zu können.

Die kontinuierliche Überwachung des Pollenflugs ermöglicht es darüber hinaus, lokale, regionale oder länderübergreifende Veränderungen des Pollenspektrums und

des Pollenflugs zu beobachten. Für solche Beobachtungen, die als eines der Instrumente bei der Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen Klimawandel, Natur und Gesundheit eingesetzt werden können, ist es notwendig, qualitativ hochwertige und langjährige Messreihen eines breiten Spektrums von Pollen- und Pilzsporenarten an denselben Standorten zu gewährleisten, wie von der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst seit 1983 realisiert.

Beprobung der Luft und Analyse von Pollen und Schimmelpilzsporen

Die Beprobung der Luft kann entweder passiv durch Sedimentation oder Filterung der Luft oder aktiv durch das Ansaugen eines definierten Luftvolumens mittels einer volumetrischen Pollen- und Sporenfalle erfolgen. Die anschließende Pollen- und Schimmelpilzsporenanalyse der Luftstaubproben erfolgt überwiegend lichtmikroskopisch, seltener durch DNA-Analyse oder durch neu entwickelte automatisierte Pollenbestimmung mittels verschiedener Verfahren (z. B. digitale Mikroskopie, Fluoreszenz) [92–96].

Status quo des Pollen- und Schimmelpilzsporenmonitorings in Deutschland

Wie in den meisten europäischen Ländern gibt es auch in Deutschland ein bundesweites Pollenmessnetz, welches hierzulande seit 1983 durch den PID betrieben wird. Eine Übersicht der aktuellen Messstandorte findet sich in [Abbildung 4](#).

Das PID-Messnetz arbeitet derzeit auf der Grundlage der volumetrischen Sporenfalle vom Hirst-Typ [93] und lichtmikroskopischer Pollenanalyse [95]. Ein Teil der gemessenen Pollendaten bildet eine der Grundlagen für die

Ein Allergie- und Sensibilisierungsmonitoring sollte sowohl auf Bevölkerung- als auch auf Patientenebene dauerhaft etabliert werden.

vom DWD erstellten Pollenbelastungsvorhersagen (Pollenflug-Gefahrenindex) für acht allergologisch bedeutsame Pollentypen [98]. Es ist bekannt, dass auch Pollen anderer Pflanzen und Schimmelpilzsporen Sensibilisierungen und Allergien auslösen. Das Monitoring des PID umfasst daher ein deutlich breiteres Spektrum von Pollentypen sowie einige allergologisch bedeutsame Pilzsporen, konkret *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum* und *Pleospora* an einer begrenzten Anzahl von Messstationen. Auf der Grundlage dieser Daten gibt der PID detaillierte wöchentliche Pollen- und Sporenflugvorhersagen für Deutschland heraus [99]. Das bundesweite Pollenmonitoring bildet zudem die Grundlage für gesamtdeutsche und regionale Pollenflugkalender, die in mehrjährigen Abständen neu herausgegeben werden [25].

Weiterentwicklung des Pollenmonitorings

Die langfristige Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung des deutschlandweiten Pollenmonitorings sowie die Weiterentwicklung und Ausdehnung des Pilzsporenmonitorings können nur bei einer gesicherten Finanzierung gewährleistet werden.

Vor diesem Hintergrund formierte sich 2017 der fachübergreifende Arbeitskreis Bundesweites Pollenmonitoring und erarbeitete ein Positionspapier zu Perspektiven für ein bundesweites Pollenmonitoring in Deutschland [100]. In dem Papier wird eingegangen auf (a) die gesundheitliche und ökonomische Bedeutung von Pollen und Pollendaten, (b) Methoden zur Messung von Pollendaten, (c) den Status quo des bundesweiten Pollenmessnetzes in Deutschland, (d) Pollenmessnetze anderer europäischer Staaten, (e) gesetzliche Rahmenbedingungen in Deutsch-

land und (f) Möglichkeiten für ein verlässliches bundesweites Pollenmessnetz. In seinem Fazit kommt der Arbeitskreis zu folgender Empfehlung: „Aufgrund der Bedeutung allergener Pollen für die menschliche Gesundheit und allergischer Erkrankungen für das Gesundheitssystem spricht sich der Arbeitskreis dafür aus, das bundesweite Pollenmonitoring in den Katalog staatlicher Aufgaben aufzunehmen, die der grundlegenden Versorgung der Bevölkerung mit wesentlichen Gütern und Dienstleistungen dienen (öffentliche Daseinsvorsorge).“ Weiter heißt es: „Hinsichtlich möglicher Zuständigkeiten im Rahmen der öffentlichen Daseinsvorsorge wurden im Arbeitskreis mehrere Lösungsansätze diskutiert. Dazu gehörte die Möglichkeit, eine Bundeseinrichtung, wie z. B. den DWD, mit der Fortführung und Weiterentwicklung des bundesweiten Pollenmessnetzes zu beauftragen. Eine andere Möglichkeit wäre, die Aufgabe an die Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst oder andere Einrichtungen zu übertragen. Unabhängig von der zukünftigen Zuständigkeit kommt der Kooperation von messtechnischen, klinischen und wissenschaftlichen Einrichtungen eine grundsätzliche Bedeutung für die adäquate gesundheitliche Vorsorge zu.“ [100, S. 659].

3.2 Allergie- und Sensibilisierungsmonitoring

Monitoring auf Bevölkerungsebene

Allergien haben aufgrund der Anzahl Betroffener in Deutschland eine hohe Public-Health-Relevanz. Um Allergien im Kontext klimawandelbedingter Veränderungen mit geeigneten Maßnahmen der Primär-, Sekundär- und Tertiärprävention zu begegnen, sind die Beschreibung des Ist-

Bei der Planung von Stadtgrün muss das allergene Potenzial von Pflanzen berücksichtigt werden.

Zustands sowie die Beobachtung von Entwicklungen über die Zeit (Trends) im Sinne einer indikatorengestützten Surveillance kontinuierlich erforderlich. Surveillance ist durch die Weltgesundheitsorganisation definiert als „systematische, fortlaufende Erhebung, Zusammenführung und Analyse von Daten [...] und die zeitnahe Bereitstellung von Public-Health-Informationen zur Bewertung und Reaktion im Bereich der öffentlichen Gesundheit“ [eigene Übersetzung nach [101, S. 14]).

Geeignete Allergieindikatoren betreffen einerseits Häufigkeit und Therapie manifester Erkrankungen mit klinischen Symptomen. Andererseits ist die Sensibilisierung als krankheitsnaher Risikofaktor relevant, da das Immunsystem einen zunächst harmlosen Umweltstoff (Allergen) als schädlich einstuft und mit einer allergenspezifischen Immunantwort reagiert. Nach erfolgter Sensibilisierung kann jeder weitere Kontakt mit dem Allergen zu Symptomen führen. In Deutschland besteht durch das bisherige Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut mit den bevölkerungsrepräsentativen Befragungs- inklusive Untersuchungssurveys bei Erwachsenen (DEGS) und Kindern/Jugendlichen (KiGGS) eine tragfähige Grundlage für die Etablierung einer Public-Health-Surveillance, die Allergien als nicht übertragbare Erkrankungen einschließt [102]. Informationsgrundlage sollten dabei sowohl Befragungs- und Untersuchungsdaten als auch Daten der amtlichen Statistik sowie Abrechnungs- und Versorgungsdaten sein. Darüber hinaus sollten Verläufe der häufigsten allergischen Erkrankungen (dazu zählen u. a. die Typ I-Erkrankungen allergische Rhinitis und allergisches Asthma bronchiale und die Typ IV-Erkrankung allergisches Kontaktekzem) über mehrere Altersgruppen hinweg gemeinsam untersucht werden.

Monitoring auf Ebene der Patientinnen und Patienten

Neben einem kontinuierlichen Monitoring auf Bevölkerungsebene dienen patientenbezogene Monitoring-Systeme dazu, Diagnostik, Schwere und Verlauf allergischer Erkrankungen im Rahmen des Versorgungssystems effizient zu erfassen. Informationsgrundlage sind hierbei in der Regel Daten, die zeitlich sehr engmaschig zentrums- bzw. studienspezifisch erhoben werden [60, 61].

Für die adäquate Versorgung von Patientinnen und Patienten vor allem mit Inhalationsallergien erscheint ergänzend zum Sensibilisierungsmonitoring auf Bevölkerungsebene ein solches System auf Patientenebene sinnvoll. In Ergänzung zu einem Register könnte ein Sensibilisierungsmonitoring auf Patientenebene gezielt Allergene in das Monitoring einbeziehen, die klinisch relevant werden könnten, im klinischen Alltag aber derzeit keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen, wie beispielsweise *Amb a 1*, das Hauptallergen von *Ambrosia*. Dies setzt voraus, dass für seltene und neue Allergene geeignete diagnostische Tools zur Verfügung stehen [61].

Die konkrete Ausgestaltung solch eines Monitorings könnte in Analogie zu den vom Arbeitskreis Bundesweites Pollenmonitoring erarbeiteten Perspektiven für ein bundesweites Pollenmonitoring fachübergreifend erarbeitet werden [100].

3.3 Städteplanung unter allergologischen Gesichtspunkten

Städtisches Grün kann einen Teil der negativen Auswirkungen des Klimawandels reduzieren. Parks, Straßenbäume, begrünte Fassaden und Dächer bilden Erholungsräume,

Kälteinseln, Gebäudekühlung, spenden Schatten, verbessern die Luftqualität und wirken sich positiv auf das Gesamtfinden von Menschen aus [15].

Aber welches städtische Grün sollte angepflanzt werden? Diese Frage kann unter verschiedenen Gesichtspunkten angegangen werden. So hat die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) aus ihrer seit den 1970er-Jahren geführten und regelmäßig überarbeiteten Straßenbaumliste im Jahr 2022 Zukunftsbäume für die Stadt ausgewählt, die dem Aspekt der Klimarobustheit Rechnung tragen [103].

Unter allergologischen Gesichtspunkten muss in diese Frage der Aspekt des allergenen Potenzials von Stadtgrün einbezogen werden (z. B. [104]). So wäre es sowohl unter gesundheitlichen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll, weiterhin Bäume anzupflanzen, auf deren Pollen eine Vielzahl von Menschen in Deutschland allergisch reagiert [105] oder im Laufe des Lebens eine Allergie entwickeln könnte [106]. Ebenso wenig sinnvoll wäre es, auf bisher gebietsfremde und an hohe Lufttemperaturen angepasste Bäume zu setzen, sofern sie ein hohes allergenes Potenzial haben, wie dies zum Beispiel für den

Olivenbaum gilt [60]. Um dem allergologischen Aspekt von Stadtgrün Rechnung zu tragen, empfahlen Bergmann et al. [107] 2012 Städten und Kommunen, bei der Bepflanzung des öffentlichen Raums Rücksicht auf Pollenallergiker zu nehmen und veröffentlichten eine Liste von in Berlin ansässigen Baum- und Straucharten, die für Neuanpflanzungen aus allergologischer Sicht geeignet sind. Diese Liste wird derzeit überarbeitet und sollte mit der GALK-Liste der Zukunftsbäume zusammengeführt werden.

3.4 Veränderungen in der Arbeitswelt gerecht werden

Obwohl eine genaue Einschätzung der gesundheitlichen, aber auch wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels auf die Arbeitswelt derzeit nicht möglich ist, müssen die mit dem Klimawandel verbundenen Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz im globalen Arbeitsschutz verstärkt adressiert werden (Abbildung 5). So müssen angepasste Bewertungsmaßstäbe und Schutzmaßnahmen bereitgestellt werden. Dies erfolgte beispielsweise für Auswirkungen einer erhöhten UV-Strahlenbelas-

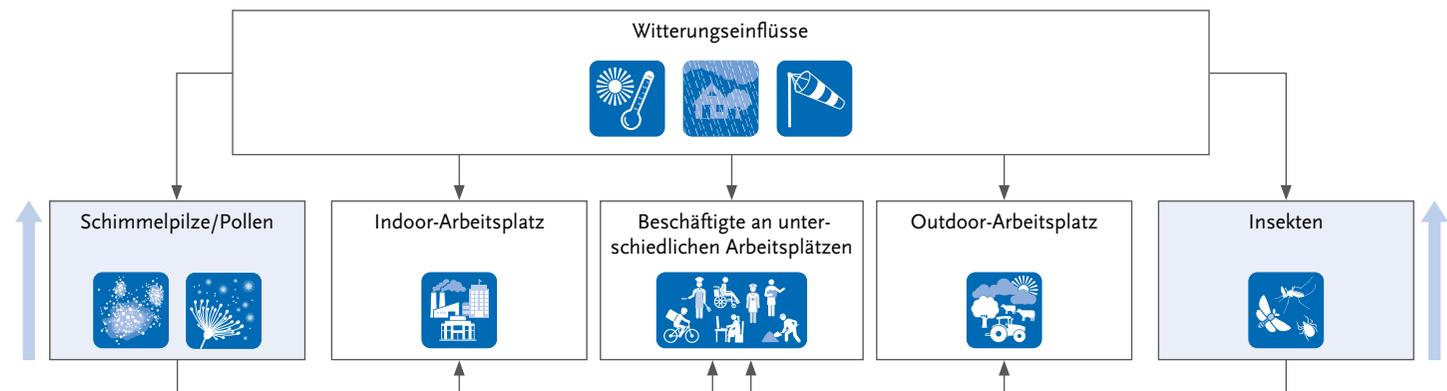


Abbildung 5

Einfluss von Faktoren des Klimawandels auf Umwelt und damit auf die Beschäftigten an unterschiedlichen Arbeitsplätzen: Exemplarisch sind nur einige Allergenquellen, bei denen mit einer Zunahme der Exposition zu rechnen ist, dargestellt

Quelle: Eigene Darstellung nach Raulf, Hut, Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Die mit dem Klimawandel verbundenen Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz müssen im globalen Arbeitsschutz verstärkt adressiert werden.

tung bei Outdoorarbeiten. Diesem Umstand wurde durch eine neue Berufskrankheit (BK5103) Rechnung getragen, indem bestimmte UV-bedingte Hautkrebsarten anerkannt werden können [108]. Neben klimawandelbedingten Stressoren wie Hitze und UV-Strahlung sollten auch Infektionskrankheiten und Allergien im Fokus stehen.

Wichtig ist aber auch, betroffene Berufsgruppen über mögliche Auswirkungen des Klimawandels adäquat zu informieren und gezielt Präventionsmaßnahmen zu implementieren. Zur Prävention insbesondere allergischer Erkrankungen gehört eine frühzeitige und zielgenaue Diagnostik, die laufend an die veränderten Bedingungen angepasst wird. Die Forschung ist gefordert, Wissen hinsichtlich Art, Verbreitung und Auswirkung z. B. von Allergenen zu erweitern, das als Grundlage für präventive Maßnahmen dienen kann. Der Klimawandel erreicht alle gesellschaftlichen Bereiche und macht auch vor der Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz nicht halt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Insbesondere Inhalationsallergien, aber auch andere Erkrankungen aus dem atopischen Formenkreis, haben weltweit zugenommen und ein epidemisches Ausmaß erreicht. Klimaveränderungen haben durch Einfluss auf Flora und Fauna Auswirkungen auf das Vorkommen von Aeroallergenen. So können polysensibilisierte Pollenallergikerinnen und Pollenallergiker aufgrund von Veränderungen der Blüteperiode von Pflanzen heute fast ganzjährig unter Allergiesymptomen leiden. Ausführlichere Informationen zum Themenkomplex finden sich in [Abschnitt 2.1 Klimawandel und \(neue\) Pollenallergene](#).

Der Auslösung allergischer Symptome geht immer die Phase der Sensibilisierung durch Allergenexposition voraus. Umweltfaktoren wie Luftschadstoffe und Klima beeinflussen die Allergenität von Pollen durch chemische Modifikationen und Aneinanderlagerung von Allergenen (Agglomeration), die zur Bildung neuer Allergene (Neoallergene) führen können [109, 110]. Auf der anderen Seite können Umweltschadstoffe durch Schädigung der Haut- und Schleimhautbarriere die Penetration von Allergenen in Haut und Schleimhäute fördern, das Immunsystem modulieren, Inflammation hervorrufen und dadurch die individuelle Empfindlichkeit zur Entwicklung von Allergien beeinflussen [109]. Ausführlichere Informationen zu diesen Themenkomplexen finden sich in [Abschnitt 2.3 Neurodermitis und Klimawandel](#) und [Abschnitt 2.4 Luftschadstoffe](#).

Symptome allergischer Reaktionen werden durch freigesetzte Mediatoren ausgelöst. Die Stärke der Reaktion hängt von der Allergenkonzentration ab und damit einerseits von der Pollenkonzentration, andererseits von der Menge und der Struktur der aus Pollen freigesetzten Allergene, die wiederum auch von klimatischen Bedingungen abhängen [49]. Deutlich wird dies bei einem Phänomen, das als Gewitterasthma Bedeutung erlangt hat. Menschen mit Heuschnupfen können in solchen außergewöhnlichen Situationen schwere Asthmaanfälle erleiden, die vorher nicht bestanden [111]. Einen detaillierteren Einblick in das Phänomen Gewitterasthma gibt die [Infobox](#) dieses Artikels.

Unwetter und Starkregen führen zu Überschwemmungen; feuchte Wohnungen sind prädestiniert für Schimmelpilz- und Bakterienwachstum. Gefährdet sind nicht nur Menschen, die feuchte Wohnungen/Häuser bewohnen, sondern auch Beschäftigte, die mit Sanierung und Abriss

beschäftigt sind [112, 113]. Klimaveränderungen führen zu Veränderungen in Flora, Fauna und Funga, d. h. der in einem Gebiet vorkommenden Pilze. Zunehmende Temperaturen begünstigen das Wachstum von Pflanzen und Pilzen sowie die Verbreitung von Tieren, darunter auch Schädlingen, die ansonsten in wärmeren Regionen beheimatet sind. Bestandteile von Insekten werden insbesondere in warmen Klimaregionen als relevante Aeroallergene angesehen. Ausführlichere Informationen dazu finden sich in [Abschnitt 2.2 Klimawandel und \(neue\) berufliche Inhalationsallergene](#).

Für eine zielführende allergologische Diagnostik müssen alle Allergene, auch die, die bislang in Deutschland eine untergeordnete Rolle spielen und/oder gespielt haben, zur Verfügung stehen. Derzeit stellt die Allergen-Immuntherapie immer noch die einzige Behandlungsmöglichkeit dar, die darauf zielt, bei Patientinnen und Patienten individuell Toleranz gegen Allergene zu induzieren. Dabei müssen Allergenextrakte dem jeweiligen Sensibilisierungsprofil gegebenenfalls angepasst werden. Da Klimaveränderungen dazu führen können, dass Pflanzen neue Allergene exprimieren oder sich die quantitative Zusammensetzung der Allergene ändert, muss sichergestellt werden, dass in Extrakten die relevanten Allergene in adäquater Konzentration enthalten sind. Ausführlichere Darlegungen zum Thema Sensibilisierungsmonitoring und weitere Handlungsempfehlungen finden sich in [Abschnitt 3 Handlungsempfehlungen](#).

Der Klimawandel beeinflusst unsere Gesundheit und unser Leben zunehmend. Politik und Gesellschaft und insbesondere die Mitarbeitenden im Gesundheitswesen sind aufgefordert, Erkenntnisse aus wissenschaftlicher Grundlagenforschung, Umwelt-, Arbeitswelt- und Krankheitsmonitoring in ihrem Handeln strikt zu berücksichtigen.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Conny Höflich
Umweltbundesamt

Fachgebiet II 1.5 – Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung
Corrensplatz 1
14195 Berlin

E-Mail: conny.hoeflich@uba.de

Zitierweise

Bergmann KC, Brehler R, Endler C, Höflich C, Kespohl S et al. (2023)
Auswirkungen des Klimawandels auf allergische Erkrankungen
in Deutschland.
J Health Monit 8(S4): 82–110.
DOI 10.25646/11648

Die englische Version des Artikels ist verfügbar unter:
www.rki.de/jhealthmonit-en

Förderungshinweis

Die Koordination der Publikation erfolgte im Rahmen des Projekts KlimGesundAkt, das durch das Bundesministerium für Gesundheit gefördert wird (Kapitel 1504; Titel 54401 HJ2021; Laufzeit 07/2021–06/2024).

Interessenkonflikt

Randolf Brehler gibt Vortragstätigkeiten (ALK, Allergopharma, Almirall, Astra Zeneca, Behring, Bencard, GlaxoSmithKline, HAL Allergie, Leti, MedUpdate, Merck, Novartis, Omnicuris, Oto-Rhino-Laryngologischer Verein, Sanofi, Stallergenes, Thermo-Fischer) und Beratertätigkeiten (Allergopharma, Astra Zeneca, GlaxoSmithKline, HAL Allergie, Leti, Lofarma, Novartis) an. Die anderen Autorinnen und Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Beiträge der Autorinnen und Autoren

Alle Autorinnen und Autoren haben vergleichbare Beiträge geleistet und sind nach alphabetischer Reihenfolge aufge-

listet. Abstract: Redaktionsteam; Allergien in Zeiten des Klimawandels: Redaktionsteam; Begriffsdefinitionen Allergie, Sensibilisierung, Atopie: Bergmann KC, Thamm R; Häufigkeiten allergischer Erkrankungen und Sensibilisierungen: Standl M, Thamm R; Allergie-Trigger Pollen: Bergmann KC, Werchan B; Klimawandel und Allergien, Direkte und indirekte Effekte: Endler C; Infobox, Extremwetter und Asthma: Endler C; Veränderungen in der phänologischen Entwicklung Pollen-produzierender Pflanzen: Endler C; Einfluss des Klimawandels auf die Pflanzenproduktivität: Endler C; Änderungen im zeitlichen Auftreten von Pollen: Bergmann KC; Veränderungen von Pollenkonzentrationen: Bergmann KC; Veränderungen im Spektrum allergener Pollen: Bergmann KC, Höflich C; Klimawandel und (neue) berufliche Inhalationsallergene tierischen, pflanzlichen und mikrobiellen Ursprungs: Kespohl S, Raulf M; Neurodermitis und Klimawandel: Traidl-Hoffmann C; Luftschadstoffe, Einfluss der Luftverschmutzung auf Pollenkörner, Aeroallergene und allergische Reaktionen: Plaza M, Traidl-Hoffmann C; Pollen- und Schimmelpilzsporenmonitoring: Höflich C, Werchan B; Allergie- und Sensibilisierungsmonitoring: Höflich C, Thamm R; Städteplanung unter allergologischen Gesichtspunkten: Höflich C; Veränderungen in der Arbeitswelt gerecht werden: Kespohl S, Raulf M; Zusammenfassung und Ausblick: Brehler R

Das Redaktionsteam bestand aus Karl-Christian Bergmann, Randolph Brehler, Christina Endler und Conny Höflich. Die Zusammenführung der Referenzen erfolgte durch Roma Thamm. Die Koordination der Arbeit erfolgte durch Conny Höflich.

Danksagung

Das RKI-Koordinationsteam des Projekts KlimGesundAkt dankt Sophie Gepp, Elke Hertig, Claudia Hornberg, Tanja-Maria Kessel, Andreas Matzarakis, Odile Mekel, Susanne Moebus, Jonas Schmidt-Chanasit, Alexandra Schneider, Klaus Stark, Wolfgang Straff und Maike Voss für die beratende Tätigkeit in der projektbegleitenden Fachgruppe.

Literatur

1. Allergieinformationsdienst (2023) Wie entsteht eine Allergie? www.allergieinformationsdienst.de/immunsystem-allergie/entstehung-von-allergien.html (Stand: 02.05.2023)
2. Klimek L, Vogelberg C, Werfel T (Hrsg) (2018) Weißbuch Allergie in Deutschland. Springer Berlin, Heidelberg
3. Langer S, Horn J, Kluttig A et al. (2020) Häufigkeit von Asthma bronchiale und Alter bei der Erstdiagnose – Erste Ergebnisse der NAKO Gesundheitsstudie. Bundesgesundheitsbl 63(4):397–403
4. Von Mutius E, Vercelli D (2010) Farm living: Effects on childhood asthma and allergy. Nat Rev Immunol 10(12):861–868
5. Robert Koch-Institut (2019) Gesundheitsmonitoring. www.rki.de/gesundheitsmonitoring (Stand: 26.04.2023)
6. Heidemann C, Scheidt-Nave C, Beyer AK et al. (2021) Gesundheitliche Lage von Erwachsenen in Deutschland – Ergebnisse zu ausgewählten Indikatoren der Studie GEDA 2019/2020-EHIS. J Health Monit 6(3):3–27. <https://edoc.rki.de/handle/176904/8749> (Stand: 12.06.2023)
7. Thamm R, Hey I, Thamm M (2018) Epidemiologie allergischer Erkrankungen: Prävalenzen und Trends in Deutschland. In: Klimek L, Vogelberg C, Werfel T (Hrsg) Weißbuch Allergie in Deutschland. Springer Berlin, Heidelberg, S. 27–51
8. Haftenberger M, Laussmann D, Ellert U et al. (2013) Prävalenz von Sensibilisierungen gegen Inhalations- und Nahrungsmittelallergene: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsbl 56(5-6):687–697

9. Thamm R, Poethko-Müller C, Hüther A et al. (2018) Allergische Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland – Querschnittergebnisse aus KiGGs Welle 2 und Trends. *J Health Monit* 3(3):3–18.
<https://edoc.rki.de/handle/176904/5765> (Stand: 12.06.2023)
10. Schmitz R, Ellert U, Kalcklösch M et al. (2013) Patterns of sensitization to inhalant and food allergens – findings from the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents. *Int Arch Allergy Immunol* 162(3):263–270
11. Thamm R, Poethko-Müller C, Thamm M (2018) Allergische Sensibilisierungen im Lebensverlauf – Ergebnisse der KiGGs-Kohorte. *J Health Monit* 3(1):71–75.
<https://edoc.rki.de/handle/176904/3039> (Stand: 12.06.2023)
12. Laussmann D, Steppuhn H, Haftenberger M et al. (2015) Monitoring allergenspezifischer Sensibilisierungen bei Erwachsenen in Deutschland. In: Rieger MA, Hildenbrand S (Hrsg) Dokumentation der 55. Wissenschaftlichen Jahrestagung der DGAUM (Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin eV). DGAUM, Tübingen, S. 194
13. Beug HJ (2004) Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München
14. Bergmann KC, Werchan M, Werchan B (2020) Allergy to tree-of-heaven pollen in Germany: Detection by positive nasal provocation. *Allergo J Int* 29:126–128
15. Hertig E, Hunger I, Kaspar Ott I et al. (2023) Klimawandel und Public Health in Deutschland – Eine Einführung in den Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023. *J Health Monit* 8(S3):7–35.
<https://edoc.rki.de/handle/176904/11074> (Stand: 12.06.2023)
16. Deutscher Wetterdienst (2023) Klimaatlas.
www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html (Stand: 20.01.2023)
17. Deutscher Wetterdienst (2022) Nationaler Klimareport; 6. überarbeitete Auflage. DWD.
www.dwd.de/nationalerklimateport (Stand: 20.01.2023)
18. Puhlmann H, Albrecht A, Wolf T (2021) Klimaänderungen: Auswirkungen auf den Wasserhaushalt von Wäldern. *Wasserwirtschaft* 111(6):33–36
19. Thober S, Marx A, Boeing F (2018) Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland. Helmholz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Leipzig.
www.ufz.de/export/data/2/207531_HOKLIM_Brosch%C3%BCre_final.pdf (Stand: 12.06.2023)
20. Blöschl G, Hall J, Viglione A et al. (2019) Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573(7772):108–111
21. Chatelier J, Chan S, Tan JA et al. (2021) Managing exacerbations in thunderstorm asthma: Current insights. *J Inflamm Res* 14:4537–4550
22. Idrose NS, Dharmage SC, Lowe AJ et al. (2020) A systematic review of the role of grass pollen and fungi in thunderstorm asthma. *Environ Res* 181:108911
23. Löhmus M, Lind T, Maclachlan L et al. (2022) Combined exposure to birch pollen and thunderstorms affects respiratory health in Stockholm, Sweden – A time series analysis. *Int J Environ Res Public Health* 19(10):5852
24. Gehrig R, Gassner M, Schmid-Grendelmeier P (2015) *Alnus x spaethii* pollen can cause allergies already at Christmas. *Aerobiologia* 31:239–247
25. Werchan M, Werchan B, Bergmann KC (2018) Deutscher Pollenflugkalender 4.0 – Update mit Messdaten von 2011 bis 2016. *Allergo J* 27(3):18–20
26. Deutscher Wetterdienst (2023) Phänologie – Daten Deutschland.
www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten_deutschland/daten_deutschland_node.html (Stand: 12.06.2023)
27. Ettinger AK, Chamberlain CJ, Morales-Castilla I et al. (2020) Winter temperatures predominate in spring phenological responses to warming. *Nat Clim Chang* 10(12):1137–1142
28. Wayne P, Foster S, Connolly J et al. (2002) Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres. *Ann Allergy Asthma Immunol* 88:279–282
29. Ziska LH, Caulfield FA (2000) Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), a known allergy-inducing species: Implications for public health. *Aust J Plant Physiol* 27:893–898

30. Albertine JM, Manning WJ, Dacosta M et al. (2014) Projected carbon dioxide to increase grass pollen and allergen exposure despite higher ozone levels. *PLoS ONE* 9(11):e111712
31. Wohlgenuth T, Nussbaumer A, Burkart A et al. (2016) Muster und treibende Kräfte der Samenproduktion bei Waldbäumen. *Schweiz Z Forstwes* 167(6):316–324
32. Hacket-Pain A, Bogdziewicz M (2021) Climate change and plant reproduction: Trends and drivers of mast seeding change. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 376(1839):20200379
33. Nussbaumer A (2020) Mast behaviour in European forest tree species: Triggers, inhibitors, and resource dynamics mechanisms. Doctoral dissertation: ETH Zurich. www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/480828 (Stand: 12.06.2023)
34. Haase D, Hellwig R (2022) Effects of heat and drought stress on the health status of six urban street tree species in Leipzig, Germany. *Trees For People* 8:100252
35. Meier M, Vitasse Y, Bugmann H et al. (2021) Phenological shifts induced by climate change amplify drought for broad-leaved trees at low elevations in Switzerland. *Agric For Meteorol* 307:108485
36. Obladen N, Dechering P, Skiadaresis G et al. (2021) Tree mortality of European beech and Norway spruce induced by 2018–2019 hot droughts in central Germany. *Agric For Meteorol* 307:108482
37. Landgraf M, Gehlsen J, Rumbou A et al. (2016) Absterbende Birken im urbanen Grün Berlins – Eine Studie zur Virusinfektion. In: Dujesiefken D (Hrsg) *Jahrbuch der Baumpflege* 2016. Haymarket, Braunschweig, S. 276–283
38. Pfaar O, Bastl K, Berger U et al. (2017) Defining pollen exposure times for clinical trials of allergen immunotherapy for pollen-induced rhinoconjunctivitis – An EAACI position paper. *Allergy* 72(5):713–722
39. Estrella N, Menzel A, Kramer U et al. (2006) Integration of flowering dates in phenology and pollen counts in aerobiology: Analysis of their spatial and temporal coherence in Germany (1992–1999). *Int J Biometeorol* 51(1):49–59
40. Kolek F, Plaza MDP, Leier-Wirtz V et al. (2021) Earlier flowering of *Betula pendula* Roth in Augsburg, Germany, due to higher temperature, NO₂ and urbanity, and relationship with *Betula* spp. *Pollen Season*. *Int J Environ Res Public Health* 18(19):10325
41. Menzel A, Yuan Y, Matiu M et al. (2020) Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Glob Chang Biol* 26(4):2599–2612
42. Simoleit A, Wachter R, Gauger U et al. (2016) Pollen season of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and temperature trends at two German monitoring sites over a more than 30-year period. *Aerobiologia* 32:489–497
43. Fernandez Rodriguez S, Adams-Groom B, Tormo Molina R et al. (2012) Temporal and spatial distribution of *Poaceae* pollen in areas of southern United Kingdom, Spain and Portugal. The 5th European Symposium on Aerobiology. Krakow, Poland 3–7 September 2012. *Alergologia Immunologia* 9(2–3):153
44. Siroux V, Ballardini N, Soler M et al. (2018) The asthma-rhinitis multimorbidity is associated with IgE polysensitization in adolescents and adults. *Allergy* 73(7):1447–1458
45. Bergmann KC, Buters J, Karatzas K et al. (2020) The development of birch pollen seasons over 30 years in Munich, Germany – An EAACI Task Force report. *Allergy* 75(12):3024–3026
46. Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (2023) Pollen- und Pilzsporenflug in Deutschland 2001 – 2022. www.pollenstiftung.de/pollen-im-fokus/pollenflug-rueckblick.html (Stand: 20.01.2023)
47. Ziello C, Sparks TH, Estrella N et al. (2012) Changes to airborne pollen counts across Europe. *PLoS ONE* 7(4):e34076
48. Buters J, Prank M, Sofiev M et al. (2015) Variation of the group 5 grass pollen allergen content of airborne pollen in relation to geographic location and time in season. *J Allergy Clin Immunol* 136(1):87–95.e6
49. Maya-Manzano JM, Oteros J, Rojo J et al. (2022) Drivers of the release of the allergens Bet v 1 and Phl p 5 from birch and grass pollen. *Environ Res* 214(Pt 3):113987
50. Höflich C, Balakirski G, Hajdu Z et al. (2016) Potential health risk of allergenic pollen with climate change associated spreading capacity: Ragweed and olive sensitization in two German federal states. *Int J Hyg Environ Health* 219(3):252–260
51. Villalba M, Rodriguez R, Batanero E (2014) The spectrum of olive pollen allergens. From structures to diagnosis and treatment. *Methods* 66(1):44–54

52. Rojo J, Oteros J, Picornell A et al. (2021) Effects of future climate change on birch abundance and their pollen load. *Glob Chang Biol* 27(22):5934–5949
53. Buters J, Alberternst B, Nawrath S et al. (2015) *Ambrosia artemisiifolia* (ragweed) in Germany – Current presence, allergological relevance and containment procedures. *Allergo J Int* 24:108–120
54. Starfinger U (2007) Aktionsprogramm Ambrosia – Lässt sich die Ausbreitung der Beifußblättrigen Ambrosie in Deutschland noch verhindern? *UMID* 03/2007:27–30
55. Arbes SJ Jr, Gergen PJ, Elliott L et al. (2005) Prevalences 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(2):377–383
56. Höflich C (2018) Pollen-assoziierte allergische Erkrankungen in Zeiten des Klimawandels – Neue Daten zur Entwicklung in Deutschland. *UMID* 01/2018:5–14
57. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (2011) *Ambrosia – Erfahrungsbericht*.
58. Scala E, Villalta D, Uasuf CG et al. (2018) An atlas of IgE sensitization patterns in different Italian areas. A multicenter, cross-sectional study. *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 50(5):217–225
59. Lake IR, Jones NR, Agnew M et al. (2017) Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environ Health Perspect* 125(3):385–391
60. Burbach GJ, Heinzerling LM, Edenharter G et al. (2009) GA(2) LEN skin test study II: Clinical relevance of inhalant allergen sensitizations in Europe. *Allergy* 64(10):1507–1515
61. Höflich C, Balakirski G, Hajdu Z et al. (2021) Management of patients with seasonal allergic rhinitis: Diagnostic consideration of sensitization to non-frequent pollen allergens. *Clin Transl Allergy* 11(8):e12058
62. Bergmann KC, Werchan M, Werchan B (2020) Allergie auf Pollen des Götterbaumes in Deutschland: Nachweis mittels positiver nasaler Provokation. *Allergo J* 29(4):62–63
63. Marti-Garrido J, Corominas M, Castillo-Fernandez M et al. (2020) Allergy to *Ailanthus altissima* pollen: A local allergen to consider. *J Investig Allergol Clin Immunol* 30(6):452–454
64. Prenzel F, Treudler R, Lipek T et al. (2022) Invasive growth of *Ailanthus altissima* trees is associated with a high rate of sensitization in atopic patients. *J Asthma Allergy* 15:1217–1226
65. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023) Landwirtschaftliche Betriebe. www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/ausgewaehlte-merkmale-zv.html (Stand: 02.06.2023)
66. Seitz AT, Reschke R, Simon JC et al. (2019) Lepidopterismus – Eichenprozessionspinnerdermatitis – Vom seltenen Allergen zur sich ausbreitenden Erkrankung. *Allergologie* 42:79–82
67. Beermann S, Dobler G, Faber M et al. (2023) Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Vektor- und Nagetier-assoziierte Infektionskrankheiten. *J Health Monit* 8(S3): 36–66. <https://edoc.rki.de/handle/176904/11075> (Stand: 12.06.2023)
68. Fischer J, Lupberger E, Hebsaker J et al. (2017) Prevalence of type I sensitization to alpha-gal in forest service employees and hunters. *Allergy* 72(10):1540–1547
69. Kespohl S, Riebesehl J, Gruner J et al. (2022) Impact of climate change on wood and woodworkers – *Cryptostroma corticale* (sooty bark disease): A risk factor for trees and exposed employees. *Front Public Health* 10:973686
70. Rando RJ, Kwon CW, Lefante JJ (2014) Exposures to thoracic particulate matter, endotoxin, and glucan during post-Hurricane Katrina restoration work, New Orleans 2005 – 2012. *J Occup Environ Hyg* 11(1):9–18
71. Decuyper II, Green BJ, Sussman GL et al. (2020) Occupational allergies to cannabis. *J Allergy Clin Immunol Pract* 8(10):3331–3338
72. Sussman GL, Beezhold DH, Cohn JR et al. (2020) Cannabis: An emerging occupational allergen? *Ann Work Expo Health* 64(7):679–682
73. Sander I, Keller C, Czibor C et al. (2020) Unusual allergen in a butcher with respiratory symptoms. *Allergol Select* 4:105–109
74. Kuske M, Berndt K, Spornraft-Ragaller P et al. (2020) Occupational allergy to phytase: Case series of eight production workers exposed to animal feed additives. *J Dtsch Dermatol Ges* 18(8):859–865
75. Bieber T, Traidl-Hoffmann C, Schappi G et al. (2020) Unraveling the complexity of atopic dermatitis: The CK-CARE approach toward precision medicine. *Allergy* 75(11):2936–2938

76. Dittlein DC, Gilles-Stein S, Hiller J et al. (2016) Pollen and UV-B radiation strongly affect the inflammasome response in human primary keratinocytes. *Exp Dermatol* 25(12):991–993
77. Werfel T, Heratizadeh A, Niebuhr M et al. (2015) Exacerbation of atopic dermatitis on grass pollen exposure in an environmental challenge chamber. *J Allergy Clin Immunol* 136(1):96–103.e9
78. Paller AS, Spergel JM, Mina-Osorio P et al. (2019) The atopic march and atopic multimorbidity: Many trajectories, many pathways. *J Allergy Clin Immunol* 143(1):46–55
79. Breitner-Busch S, Mücke HG, Schneider A et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen der Außenluft. *J Health Monit* 8(S4):111–131. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
80. Senechal H, Visez N, Charpin D et al. (2015) A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. *ScientificWorldJournal* 2015:940243
81. Cuinica LG, Abreu I, Da Silva J (2014) In vitro exposure of *Ostrya carpinifolia* and *Carpinus betulus* pollen to atmospheric levels of CO, O₃ and SO₂. *Environ Sci Pollut Res Int* 21(3):2256–2262
82. Cuinica LG, Abreu I, Esteves Da Silva J (2014) Effect of air pollutant NO₂ on *Betula pendula*, *Ostrya carpinifolia* and *Carpinus betulus* pollen fertility and human allergenicity. *Environ Pollut* 186:50–55
83. Ghiani A, Bruschi M, Citterio S et al. (2016) Nitration of pollen aeroallergens by nitrate ion in conditions simulating the liquid water phase of atmospheric particles. *Sci Total Environ* 573:1589–1597
84. Ghiani A, Aina R, Asero R et al. (2012) Ragweed pollen collected along high-traffic roads shows a higher allergenicity than pollen sampled in vegetated areas. *Allergy* 67(7):887–894
85. Plaza MP, Alcazar P, Oteros J et al. (2021) Atmospheric pollutants and their association with olive and grass aeroallergen concentrations in Cordoba (Spain). *Environ Sci Pollut Res Int* 27(36):45447–45459
86. Gilles S, Behrendt H, Ring J et al. (2012) The pollen enigma: Modulation of the allergic immune response by non-allergenic, pollen-derived compounds. *Curr Pharm Des* 18(16):2314–2319
87. Grijthuijsen YK, Grieshuber I, Stocklinger A et al. (2006) Nitration enhances the allergenic potential of proteins. *Int Arch Allergy Immunol* 141(3):265–275
88. Schiavoni G, D'Amato G, Afferni C (2017) The dangerous liaison between pollens and pollution in respiratory allergy. *Ann Allerg Asthma Immunol* 118(3):269–275
89. D'Amato M, Cecchi L, Annesi-Maesano I et al. (2018) News on climate change, air pollution, and allergic triggers of asthma. *J Investig Allergol Clin Immunol* 28(2):91–97
90. D'Amato G, Chong-Neto HJ, Monge Ortega OP et al. (2020) The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. *Allergy* 75(9):2219–2228
91. Bergmann KC, Berger M, Klimek L et al. (2021) Nonpharmacological measures to prevent allergic symptoms in pollen allergy: A critical review. *Allergol Select* 5:349–360
92. Buters J, Clot B, Galán C et al. (2022) Automatic detection of airborne pollen: An overview. *Aerobiologia*
93. Hirst JM (1952) An automatic volumetric spore trap. *Ann Appl Biol* 39(2):257–265
94. Polling M, Sin M, De Weger LA et al. (2022) DNA metabarcoding using nrITS2 provides highly qualitative and quantitative results for airborne pollen monitoring. *Sci Total Environ* 806(Pt 1):150468
95. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft – Normenausschuss (Hrsg) (2019) Richtlinie VDI 4252 Blatt 4: Bioaerosole und biologische Agenzien – Ermittlung von Pollen und Sporen in der Außenluft unter Verwendung einer volumetrischen Methode für ein Messnetz zu allergologischen Zwecken. Beuth, Berlin
96. Werchan B, Werchan M, Mücke HG et al. (2017) Spatial distribution of allergenic pollen through a large metropolitan area. *Environ Monit Assess* 189(4):169
97. Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (2023). Pollenmessstationen in Deutschland. www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenmessstationen-in-deutschland.html (Stand: 04.01.2023)
98. Deutscher Wetterdienst (2022) Pollenflug-Gefahrenindex. www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrenindizespollen/gefahrenindexpollen.html (Stand: 19.11.2022)
99. Werchan B, Werchan M, Röseler S et al. (2021) Die Wochenpollenvorhersage der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) – Ein Hilfsmittel für Pollenallergiker und deren behandelnde Ärzte in Deutschland. *Allergologie* 44:920–926

100. Fachübergreifender Arbeitskreis „Bundesweites Pollenmonitoring“ (2019) Perspektiven für ein bundesweites Pollenmonitoring in Deutschland. Bundesgesundheitsbl 62(5):652–661
101. World Health Organization (2017) WHO guidelines on ethical issues in public health surveillance. WHO, Geneva. www.who.int/publications/i/item/who-guidelines-on-ethical-issues-in-public-health-surveillance (Stand: 26.04.2023)
102. Robert Koch-Institut (2021) Gesundheitsstudien des RKI. www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Studien_node.html. (Stand: 26.04.2023)
103. Bund deutscher Baumschulen e.V., Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz e.V. (2022) Zukunftsbäume für die Stadt. BdB e.V., GALK e.V. <https://epaper.galk.de/index.html#o> (Stand: 18.11.2022)
104. Carinanos P, Grilo F, Pinho P et al. (2019) Estimation of the allergenic potential of urban trees and urban parks: Towards the healthy design of urban green spaces of the future. Int J Environ Res Public Health 16(8):1357
105. Zuberbier T, Lötvall J, Simoens S et al. (2014) Economic burden of inadequate management of allergic diseases in the European Union: A GA(2)LEN review. Allergy 69(10):1275–1279
106. Markevych I, Ludwig R, Baumbach C et al. (2020) Residing near allergenic trees can increase risk of allergies later in life: LISA Leipzig study. Environ Res 191:110132
107. Bergmann KC, Zuberbier T, Augustin J et al. (2012) Klimawandel und Pollenallergie: Städte und Kommunen sollten bei der Bepflanzung des öffentlichen Raums Rücksicht auf Pollenallergiker nehmen. Allergo J 21(2):103–108
108. Diepgen TL, Brandenburg S, Aberer W et al. (2014) Skin cancer induced by natural UV-radiation as an occupational disease – Requirements for its notification and recognition. J Dtsch Dermatol Ges 12(12):1102–1106
109. Reinmuth-Selzle K, Kampf CJ, Lucas K et al. (2017) Air pollution and climate change effects on allergies in the anthropocene: Abundance, interaction, and modification of allergens and adjuvants. Environ Sci Technol 51(8):4119–4141
110. Zhao F, Elkelish A, Durner J et al. (2016) Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.): Allergenicity and molecular characterization of pollen after plant exposure to elevated NO₂. Plant Cell Environ 39(1):147–164
111. D'Amato G, Annesi-Maesano I, Cecchi L et al. (2019) Latest news on relationship between thunderstorms and respiratory allergy, severe asthma, and deaths for asthma. Allergy 74(1):9–11
112. American Thoracic Society (2017) Mold-specific concerns associated with water damage for those with allergies, asthma, and other lung diseases. Am J Respir Crit Care Med 196(7):P13–P14
113. Johanning E, Auger P, Morey PR et al. (2014) Review of health hazards and prevention measures for response and recovery workers and volunteers after natural disasters, flooding, and water damage: Mold and dampness. Environ Health Prev Med 19(2):93–99

Impressum

Journal of Health Monitoring

www.rki.de/jhealthmonit

Herausgeber

Robert Koch-Institut
Nordufer 20
13353 Berlin

Redaktion

Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring
Fachgebiet Gesundheitsberichterstattung
General-Pape-Str. 62–66
12101 Berlin
Tel.: 030-18 754-3400
E-Mail: healthmonitoring@rki.de

Verantwortlicher Redakteur

Dr. Thomas Ziese
Stellvertretung: Dr. Anke-Christine Saß

Redakteurinnen

Johanna Gutsche, Dr. Birte Hintzpeter, Dr. Kirsten Kelleher,
Dr. Livia Ryl, Simone Stimm

Satz

WEBERSUPIRAN.berlin, Alexander Krönke

Bildnachweis

Illustration auf Titel und Marginalspalte:
© elenabsl – stock.adobe.com

ISSN 2511-2708

Hinweis

Inhalte externer Beiträge spiegeln nicht notwendigerweise die
Meinung des Robert Koch-Instituts wider.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0
International Lizenz.



**Das Robert Koch-Institut ist ein Bundesinstitut im
Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit**