

Maschinelle Übersetzung von
svlw.ch.

Verbindlich ist Originalversion:
https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_indoor-air-quality-2020-07-01.pdf



ASHRAE-Positionsdokument zur Luftqualität in Innenräumen

(Indoor Air Quality IAQ) (Raum-Luft-Qualität RLQ)

Genehmigt vom ASHRAE-Vorstand am
1. Juli 2020

Läuft am 1.
Juli 2023
aus

© 2020 ASHRAE
ASHRAE - 1791 Tullie Circle, NE - Atlanta, Georgia 30329-2305 - 404-636-8400 - www.ashrae.org

AUSSCHUSS-LISTE

Das ASHRAE-Positionsdokument zur Luftqualität in Innenräumen wurde vom ASHRAE-Komitee für das Positionsdokument zur Luftqualität in Innenräumen entwickelt, das am 26. Januar 2018 unter dem Vorsitz von Donald Weekes Jr. gegründet wurde.

Donald Weekes Jr. (Vorsitzender)

In Air Environmental Ltd.
Ottawa, ON Kanada

John P. Lapotaire

Indoor Air Quality Solutions LLC
Winter Springs, FL, USA

Andrew Persily

NIST
Gaithersburg, MD USA

Jeffrey Siegel

Universität von Toronto
Toronto, ON
Kanada

Brent Stephens

Illinois Institute of Technology
Chicago, IL USA

Iain Walker

Lawrence Berkeley-Labor
Berkeley, CA USA

Pawel Wargocki

Technische Universität Dänemark
Kongens Lyngby, Dänemark

Bruce Weiss

SGS Forensische Laboratorien
Fountain Valley, CA USA

Zuständiger Ausschuss

Der Vorsitzende des ASHRAE-Ausschusses für Umweltgesundheit war ebenfalls von Amts wegen Mitglied:

Wade Conlan

Hanson Professional Services
Maitland, FL, USA

GESCHICHTE DER REVISIONS-/BESTÄTIGUNGS-/RÜCKZUGSDATEN

Im Folgenden werden die Daten der Überarbeitung, Bestätigung oder des Rückzugs aus diesem Dokument zusammengefasst: 1989 - Der BSB genehmigt das Positionsdokument mit dem Titel Raumlufqualität

28.6.2001 - BSB stimmt der Bestätigung des Positionsdokuments Raumlufqualität

2.10.2005 zu - BSB stimmt der Bestätigung des Positionsdokuments Raumlufqualität

7.21.2011 zu - BSB stimmt der Überarbeitung des Positionsdokuments Raumlufqualität 7.2.2014 zu - Technologierat bestätigt Positionsdokument Raumlufqualität

6.28.2017 - Technologierat bestätigt Positionsdokument Raumlufqualität 7.1.2020 - BSB genehmigt Überarbeitung des Positionsdokuments Raumlufqualität

Hinweis: Der Technologierat von ASHRAE und der zuständige Ausschuss empfehlen alle 30 Monate eine Überarbeitung, Bestätigung oder Rücknahme.

Hinweis: ASHRAE-Positionsdokumente werden vom Vorstand genehmigt und drücken die Ansichten der Gesellschaft zu einem bestimmten Thema aus. Zweck dieser Dokumente ist es, Personen, die sich für Fragen innerhalb der Fachkompetenz von ASHRAE interessieren, objektive, massgebliche Hintergrundinformationen zur Verfügung zu stellen, insbesondere in Bereichen, in denen solche Informationen bei der Ausarbeitung einer soliden öffentlichen Politik hilfreich sind. Ein verwandter Zweck ist es auch, als pädagogisches Instrument zu dienen, das die Position von ASHRAE für seine Mitglieder und Fachleute im Allgemeinen verdeutlicht und die Kunst und Wissenschaften im Bereich HLK&R fördert.

ABSTRACT

ASHRAE vertritt den Standpunkt, dass die Bereitstellung einer akzeptablen RLQ eine wesentlich für die Gebäudetechnik ist und dass bei allen Entscheidungen über Gebäude und Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HVAC) die Auswirkungen auf die RLQ berücksichtigt werden müssen. Diese Position gilt für alle Gebäudetypen, einschliesslich nachhaltiger und widerstandsfähiger Gebäude, bei denen Massnahmen zur Verringerung der Umweltauswirkungen und des Energieverbrauchs getroffen wurden.

ASHRAE empfiehlt weitere Forschungsarbeiten über die Auswirkungen der RLQ auf die Gesundheit, den Komfort, das Wohlbefinden, die Lernergebnisse und die Arbeitsleistung der Menschen sowie die kontinuierliche Entwicklung der Technologien, die für den Einsatz der RLQ in allen Arten von Gebäuden erforderlich sind.

ASHRAE hat sich verpflichtet, die RLQ-Standards und -Richtlinien aufrechtzuerhalten und zu aktualisieren und seine Führungsposition zu nutzen, um Forschung, Ausbildung und bewährte Praktiken in der RLQ zu fördern.

Der Anhang dieses Dokuments enthält Beweise zur Untermauerung dieser Positionen, einschliesslich der Auswirkungen der RLQ auf die menschliche Gesundheit, den Komfort, das Wohlbefinden, die Lernergebnisse und die Arbeitsleistung sowie die wirtschaftlichen Vorteile einer verbesserten RLQ.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Raumluftqualität (RLQ) ist wegen des Anschlusses an Lüftungs- und andere HVAC-Systeme in Gebäuden seit langem ein kritisches Thema für ASHRAE und seine Mitglieder.

Die ASHRAE-Standards 62.1 (gewerbliche und institutionelle Gebäude) und 62.2 (Wohngebäude) (ASHRAE 2019a, 2019b), die eine akzeptable RLQ unterstützen sollen, sind seit 1973 der Massstab für ASHRAE-Mitglieder und andere, die mit der RLQ zu tun haben (z.B. Praktiker; Auftragnehmer; Betriebshygieniker). ASHRAE hat sich durch seine Positionsdokumente, andere Normen und Richtlinien, Konferenzen und andere Bemühungen mit allen Aspekten der RLQ befasst.

Das sind die Positionen von ASHRAE:

- Die RLQ hat Auswirkungen auf die Gesundheit, den Komfort, das Wohlbefinden, die Lernergebnisse und die Arbeitsleistung der Menschen. Eine verbesserte RLQ bringt aus einer breiten Public-Health-Perspektive sowie für die einzelnen Gebäudeeigentümer und -nutzer erhebliche gesundheitliche und wirtschaftliche Vorteile.
- Die Bereitstellung einer akzeptablen RLQ ist ein wesentlicher Gebäudedienst und von zentraler Bedeutung für den Zweck von ASHRAE.
- Das Erreichen und Aufrechterhalten einer guten RLQ sollte in alle Entscheidungen einbezogen werden, die sich auf das Design und den Betrieb von Gebäuden und HVAC-Systemen auswirken, einschliesslich der Bemühungen um die Verbesserung der Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Belastbarkeit von Gebäuden.
- Die Bedeutung der RLQ und die Grundlagen für das Erreichen einer guten RLQ durch Gebäudeplanung und -betrieb sollten in die Bildungsprogramme aufgenommen werden.
- Die RLQ-Standards von ASHRAE sollten durch Bauvorschriften und -regeln übernommen werden.

1. DIE AUSSCHREIBUNG

Innenraumluft ist der dominierende Pfad für die Exposition gegenüber luftgetragenen Schadstoffen, da sich die Menschen die meiste Zeit in Innenräumen aufhalten und die Innenraumluft häufig zahlreiche Schadstoffe enthält, die sowohl aus Innen- als auch aus Aussenquellen stammen. Viele der Schadstoffe wirken sich auf Gesundheit, Komfort, Wohlbefinden, Lernergebnisse und Arbeitsleistung aus. Es ist wichtig, dass die RLQ bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Gebäuden und HLK-Systemen berücksichtigt wird. ASHRAE und seine Partner bemühen sich seit langem um eine Verbesserung der RLQ durch eine Reihe von Aktivitäten.

2. HINTERGRUND

Dieses Dokument enthält eine Diskussion über Innenraumluftqualität auf hohem Niveau, da ASHRAE viele informative Dokumente zur Innenraumluftqualität veröffentlicht hat, wie das Handbuch - - Grundlagen (ASHRAE 2017a) (insbesondere Kapitel 9 bis 12) und zwei RLQ-Leitfäden: "Indoor Air Quality Guide - Best Practices for Design, Construction and Commissioning" und "Residential Indoor Air Quality Guide": Best Practices for acquisition, design, construction, maintenance and operation" (ASHRAE 2009, 2018a).

Darüber hinaus werden viele andere wichtige RLQ-Themen hier nicht behandelt, da es separate Positionsdokumente gibt, die u.a. bestimmte Themen behandeln: Infektiöse Aerosole, Tabakrauch in der Umwelt, unentlüftete Verbrennungsvorrichtungen und RLQ, Filtration und Luftreinigung sowie Begrenzung von Schimmel und Feuchtigkeit in Gebäuden (ASHRAE 2020a, 2020b, 2020c, 2018b, 2018c). **Stattdessen konzentriert sich dieses Dokument auf Empfehlungen in mehreren grossen Bereichen, darunter Politik, Forschung und Bildung im Zusammenhang mit der RLQ.**

2.1 Übersicht

Eine etablierte und noch immer wachsende Literatur, die im Anhang dieses Dokuments zusammengefasst ist, hat dies gezeigt: (1) die RLQ sich auf die Gesundheit, den Komfort, das Wohlbefinden und die Arbeits- und Lernfähigkeit der Insassen auswirkt, und daher (2) **die Verbesserung der RLQ Vorteile auf gesellschaftlicher und individueller Ebene mit sich bringt.**

Die Raumluftqualität (RLQ) bezieht sich auf die Arten und Konzentrationen von Luftschadstoffen, die in Gebäuden gefunden werden. Und obwohl es keine allgemein akzeptierte Definition von "guter" RLQ gibt, gibt es drei weithin akzeptierte Ansätze zur Verbesserung der RLQ in Gebäuden:

- **Quellenkontrolle**

- Verwenden Sie Baumaterialien, Einrichtungsgegenstände, Geräte und Konsumgüter mit geringen Schadstoffemissionen;
- Minimierung von Schadstoffquellen in Innenräumen, die durch Aktivitäten der Bewohner verursacht werden;
- Verunreinigungen im Freien durch Filtration und Luftreinigung zu entfernen, bevor sie in ein Gebäude gelangen; und
- Planung, Betrieb und Wartung von Gebäudeumschliessungen, HVAC-Systemen und Klempnersystemen, um die Wahrscheinlichkeit von Feuchtigkeitsproblemen zu verringern und/oder sie schnell zu lindern, wenn sie auftreten.

- **Belüftung**
 - Stellen Sie sicher, dass den bewohnten Räumen saubere Luft zugeführt wird, um die von Innenquellen emittierten Schadstoffe wirksam zu verdünnen und zu entfernen, und dass die Luft in der Nähe örtlich begrenzter Innenquellen abgesaugt wird.
- **Luftreinigung**
 - Einsatz wirksamer Luftreinigungstechnologien zur Entfernung von Schadstoffen aus der Aussen- und der rezirkulierten Innenluft.

Kosten-Nutzen-Analysen haben ergeben, dass der gesundheitliche und wirtschaftliche Nutzen einer verbesserten RLQ weitaus grösser ist als die Kosten für die Umsetzung dieser Verbesserungen. Darüber hinaus gibt es viele Strategien, die dazu beitragen können, eine gute RLQ mit geringeren Energieauswirkungen zu erreichen, und es werden weiterhin andere Strategien entwickelt. Letztlich ist ein integrierter Designansatz erforderlich, der neben anderen Schlüsselaspekten der Gebäudeleistung wie Standortwirkungen, Wassernutzung und anderen Umweltauswirkungen sowohl die RLQ als auch die Energie berücksichtigt, um hochleistungsfähige Gebäude zu erreichen, die energieeffizient sind und eine gute RLQ erreichen. Weitere Informationen über integriertes Design im Zusammenhang mit der RLQ finden Sie im ASHRAE RLQ Design Guide.

2.2 ASHRAE-Aktivitäten zur Unterstützung des RLQ

ASHRAE stellt technische Ressourcen zur Verfügung, koordiniert und finanziert Forschung, organisiert Konferenzen und schult Praktiker über RLQ. ASHRAE hat auch Standards, Richtlinien und andere Ressourcen zur Verbesserung der RLQ entwickelt und unterstützt diese weiterhin. Beispielsweise veröffentlicht ASHRAE die folgenden Standards, die sich speziell an die RLQ richten:

- ANSI/ASHRAE-Norm 62.1, *Belüftung für akzeptable* Raumlufthqualität. Diese Norm, die erstmals 1973 veröffentlicht wurde, legt Mindestlüftung und andere RLQ-bezogene Anforderungen für andere Gebäude als Wohn- und Gesundheitsgebäude fest. Ihre Anforderungen an die Belüftungsrate der Aussenluft wurden in den International Mechanical Code und den Uniform Mechanical Code übernommen, die beiden in den USA am häufigsten verwendeten Modellbauvorschriften. Der Standard wird auch von den meisten Programmen für grünes Bauen, einschliesslich LEED, herangezogen.
- ANSI/ASHRAE-Norm 62.2, *Belüftung und akzeptable Raumlufthqualität in Wohngebäuden*. Diese Norm, die erstmals 2003 veröffentlicht wurde, gilt für Wohngebäude. Die Mindestlüftungsanforderungen aus diesem Standard wurden in Codes, einschliesslich des kalifornischen Title 24, sowie in LEED for Homes und das Indoor airPlus-Programm der US-Umweltschutzbehörde (EPA) übernommen.
- ANSI/ASHRAE/ASHE-Norm 170, *Belüftung von Gesundheitseinrichtungen* ASHRAE 2017b). Die Norm 170 fasste mehrere in ganz Nordamerika verwendete Dokumente in einer einzigen Norm zusammen. Er ist heute in den Bauvorschriften für Belüftungsanforderungen in Krankenhäusern und anderen Gesundheitseinrichtungen weit verbreitet.
- ANSI/ASHRAE/ICC/USGBC/IES-Norm 189.1, *Norm für den Entwurf von umweltfreundlichen Hochleistungsgebäuden mit Ausnahme von Wohngebäuden in Niedrigbauweise* (ASHRAE 2017c). Dieser Standard, der in Zusammenarbeit mit USBGC, dem International Code Council und der Illuminating Engineering Society (IES) entwickelt wurde, enthält RLQ-Anforderungen, die über die Anforderungen des Standards 62.1 hinausgehen. Der Standard wurde entwickelt, um als Teil freiwilliger Bewertungssysteme für umweltfreundliches/nachhaltiges Bauen, Anreizprogramme für umweltfreundliches Bauen und lokale Bauvorschriften übernommen zu werden. Die jüngste Version des

Standard (2017) dient als technischer Inhalt des International Green Construction Code 2018 (ICC 2018).

Darüber hinaus hat ASHRAE eine Reihe von Richtlinien und Design-Guides veröffentlicht, die Praktikern helfen, gute RLQ in Gebäuden zu erreichen:

- *ASHRAE-Leitfaden zur Luftqualität in Innenräumen - Best Practices für Entwurf, Konstruktion und Inbetriebnahme.* Dieser Leitfaden, der aus der Zusammenarbeit von sechs führenden Organisationen der Baubranche hervorgegangen ist, stellt bewährte Verfahren für Planung, Bau und Inbetriebnahme vor, die sich bei anderen Bauprojekten als erfolgreich erwiesen haben. Er bietet Informationen und Werkzeuge, die Architekten und Konstrukteure verwenden können, um ein RLQ-sensitives Gebäude zu erreichen, das die RLQ zusammen mit anderen Konstruktionszielen, Budgetbeschränkungen und funktionalen Anforderungen in den Entwurfs- und Bauprozess integriert.
- *ASHRAE-Leitfaden zur Luftqualität in Wohnräumen: Best Practices for Acquisition, Design, Construction, Maintenance and Operation* befasst sich mit RLQ-Fragen in Wohngebäuden.

Eine vollständigere Liste von Normen, Richtlinien und anderen relevanten ASHRAE-Publikationen ist im Anhang dieses Dokuments enthalten.

3. EMPFEHLUNGEN

- ASHRAE hat die folgenden Positionen inne:
 - Die RLQ hat Auswirkungen auf die Gesundheit, den Komfort, das Wohlbefinden, die Lernergebnisse und die Arbeitsleistung der Menschen. Eine verbesserte RLQ bringt aus einer breiten Public-Health-Perspektive sowie für die einzelnen Gebäudeeigentümer und -nutzer erhebliche gesundheitliche und wirtschaftliche Vorteile.
 - Die Bereitstellung einer akzeptablen RLQ ist ein wesentlicher Gebäudedienst und von zentraler Bedeutung für den Zweck von ASHRAE.
 - Das Erreichen und Aufrechterhalten einer guten RLQ sollte in alle Entscheidungen einbezogen werden, die sich auf das Design und den Betrieb von Gebäuden und HVAC-Systemen auswirken, einschliesslich der Bemühungen um die Verbesserung der Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Belastbarkeit von Gebäuden.
 - Die Bedeutung der RLQ und die Grundlagen für das Erreichen einer guten RLQ durch Gebäudeplanung und -betrieb sollten in die Bildungsprogramme aufgenommen werden.
 - Die RLQ-Standards von ASHRAE sollten durch Bauvorschriften und -regeln übernommen werden.
- ASHRAE empfiehlt grundlegende und angewandte RLQ-Forschung und Normenentwicklung in den folgenden Bereichen:

- Das Verhältnis von Belüftungsraten und Schadstoffkonzentrationen zu Gesundheit, Komfort, Wohlbefinden, Lernergebnissen und Arbeitsleistung der Insassen.
 - Ansätze zur Verbesserung der RLQ über die Verdünnungsventilation hinaus, z.B. Luftreinigung und Quellenkontrolle.
 - Entwicklung von Instrumenten, die eine wirtschaftliche Bewertung der Vorteile des RLQ für einzelne Gebäude und Gebäudegruppen ermöglichen.
 - Entwicklung von Überwachungs- und HLK-Anlagen zur Kontrolle der RLQ durch Messung von Schadstoffen.
 - Entwicklung der Diagnostik für die Inbetriebnahme und Wartung von Lüftungs- und zugehörigen RLQ-Systemen.
 - Die Rolle der RLQ beim Aufbau von Nachhaltigkeit und Widerstandsfähigkeit.
 - Entwicklung von RLQ-Kontrollsystemen und -Lösungen, die zu anderen Gebäudezielen beitragen, einschliesslich der Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen und der Unterstützung der Netzintegration.
 - Forschung über neue Schadstoffe, die Anlass zur Besorgnis geben, und Entwicklung von Technologien und Ansätzen zu deren Bekämpfung.
- ASHRAE hat sich verpflichtet:
 - Pflege und Aktualisierung der RLQ-Standards, Richtlinien und Handbücher;
 - Integration von Prinzipien der RLQ in ihre professionellen Ausbildungsprogramme
 - Förderung der RLQ-Forschung einschliesslich Tools und Anwendungen;
 - Using its leadership Position innerhalb internationaler Organisationen zur Förderung von Forschung, Ausbildung und bewährten Praktiken im RLQ.

4. REFERENZEN

ASHRAE 2020a. Positionsdokument zu infektiösen Aerosolen

ASHRAE 2020b. Positionspapier zum Tabakrauch in der Umwelt ASHRAE 2020c. Positionsdokument über unentlüftete Verbrennungsvorrichtungen und RLQ

ASHRAE, 2019a. ANSI/ASHRAE-Norm 62.1-2019: Belüftung für akzeptable Raumlufthqualität.

ASHRAE, 2019b. ANSI/ASHRAE-Norm 62.2-2019: Belüftung und akzeptable Raumlufthqualität in Wohngebäuden in Niedrigbauweise.

ASHRAE (Hrsg.), 2018a. Leitfaden zur Innenraumlufthqualität in Wohngebäuden: Beste Praktiken für Erwerb, Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb, ASHRAE. ASHRAE, Atlanta, GA.

ASHRAE, 2018b. ASHRAE-Positionsdokument über Filtration und Luftreinigung.

ASHRAE 2018c. ASHRAE-Positionsdokument zur Begrenzung von Schimmelpilzbefall und Feuchtigkeit in Innenräumen von Gebäuden

ASHRAE 2017a. Handbuch-Fundamentals. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE, 2017b. ANSI/ASHRAE-Norm 170-2017: Belüftung von Gesundheitseinrichtungen.

ASHRAE, 2017c, ANSI/ASHRAE/ICC/USGBC/IES-Norm 189.1, Norm für den Entwurf von umweltfreundlichen Hochleistungsgebäuden mit Ausnahme von Wohngebäuden in Niedrigbauweise

ASHRAE (Hrsg.), 2009. Leitfaden zur Luftqualität in Innenräumen: Beste Praktiken für Planung, Bau und Inbetriebnahme. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.

ICC, 2018. 2018 Internationaler Kodex für grünes Bauen (IgCC)

A. ANHANG

Dieser Anhang fasst die einschlägige Literatur zur Unterstützung des RLQ-Positionsdokuments von ASHRAE zusammen und bietet einen zusätzlichen Kontext für die in diesem Dokument enthaltenen Positionen und Empfehlungen.

A.1 Was ist Raumluftqualität?

Für die Zwecke dieses Dokuments bezieht sich die Innenraumluftqualität (RLQ) auf die Arten und Konzentrationen von Schadstoffen in der Innenraumluft, von denen bekannt ist oder vermutet wird, dass sie den Komfort, das Wohlbefinden, die Gesundheit, die Lernergebnisse und die Arbeitsleistung der Menschen beeinträchtigen. Zu den primären Klassen dieser Schadstoffe gehören Feinstaub (sowohl biologische, einschliesslich Allergene, potenzielle Krankheitserreger, als auch nicht-biologische), organische Gase (z.B. flüchtige und halbflüchtige organische Verbindungen) und anorganische Gase (z.B. Kohlenmonoxid, Ozon und Stickoxide). Andere Faktoren, die zur RLQ beitragen, sind Wasserdampf und Gerüche. Die Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen werden durch Konzentrationen im Freien, Belüftung und Infiltration, Emissionen in Innenräumen und eine Reihe anderer schadstoffspezifischer Quellen- und Senkenmechanismen (z.B. Ablagerung, chemische Reaktionen und Luftreinigung) beeinflusst.

Die RLQ hat Auswirkungen auf den Menschen durch die Exposition gegenüber Schadstoffen durch Inhalation, Haut und Einnahme. Die persönliche und Innenraum-Exposition gegenüber vielen luftgetragenen Schadstoffen ist im Allgemeinen höher als die Exposition im Freien (z.B. Meng et al., 2009; Morawska et al., 2013; Sexton et al., 2004; Wallace, 2000; Wallace et al., 1991, 1985), und die Mehrheit der Exposition des Menschen gegenüber Schadstoffen im Freien tritt typischerweise auch in Innenräumen auf (z.B. Asikainen et al., 2016; Azimi und Stephens, 2018; Chen et al., 2012, 2012; Logue et al., 2012; Weschler, 2006). Diese erhöhten Expositionen entstehen aufgrund des hohen Zeitaufwands, den Menschen in Innenräumen verbringen (Klepeis et al., 2001), und weil die Konzentrationen vieler Schadstoffe in Innenräumen höher sind als im Freien (z.B. Abt et al., 2000; Adgate et al., 2004; Meng et al., 2005; Rodes et al., 2010; Wallace et al., 1991; Zhang et al., 1994).

Während dieser Anhang nicht auf hygrothermische Bedingungen eingeht, erkennen die Empfehlungen des Positionsdokuments die Auswirkungen von Temperatur- und Feuchtigkeitsniveaus auf die RLQ durch Veränderungen der Schadstoffemissionsraten, das Wachstum von Mikroorganismen auf Gebäudeoberflächen, das Überleben von infektiösen Krankheitserregern in der Luft und auf Oberflächen, das Überleben von Hausstaubmilben (eine Quelle von Allergenen), die Wahrnehmung der Qualität der Innenraumluft durch die Menschen und letztlich die Auswirkungen von Feuchtigkeit und feuchtigkeitsbedingten Problemen (z.B. Schimmel, Pilze oder Hausstaubmilben) auf die Prävalenz von Symptomen in Gebäuden an.

A.2 Wie wirkt sich die RLQ auf Gesundheit, Komfort, Wohlbefinden, Lernergebnisse und Leistung aus?

Die RLQ hat Auswirkungen auf Gesundheit, Komfort, Wohlbefinden, Lernergebnisse und Leistung der Insassen (Jones, 1999; Spengler und Sexton, 1983; Sundell, 2004). Es gibt eine kleine, aber wachsende Menge an epidemiologischer Literatur, die speziell die Kontaminierung von Innenräumen in Verbindung mit Expositionen oder Quellen zu

verschiedenen negativen Gesundheitsauswirkungen, einschliesslich, aber nicht beschränkt auf: Verbrennungsgeräte (z.B. Gasherde) und Atemwegserkrankungen bei Kindern (z.B. Garrett et al., 1998; Kile et al., 2014; Lanphear et al., 2001; Melia et al., 1977); VOCs und Asthma bei Kindern (z.B. Rumchev, 2004); chemische Haushaltsprodukte und Atemwegssymptome bei Kindern (z.B. Sherriff, 2005) und Asthma bei Erwachsenen (z.B. Zock et al., 2007); Phthalate und Asthma und Allergiesymptome bei Kindern (z.B. Bornehag et al., 2004; Jaakkola und Knight, 2008; Kolarik et al., 2008); Haustierallergene und Asthma bei Kindern (z.B. Lanphear et al., 2001); Radonexposition und Lungenkrebs (Samet, 1989); luftübertragene Infektionskrankheiten wie Lungentuberkulose (TB) (Burrell, 1991), schweres akutes respiratorisches Syndrom (SARS) (Li et al., 2007), COVID-19 (ASHRAE, 2020) und Erkältung (Myatt et al., 2004); und Kohlenmonoxid (CO)-Vergiftung (Ernst und Zibrak, 1998); unter anderen.

Es wurden einige Versuche unternommen, die Belastung durch gesundheitliche Auswirkungen im Zusammenhang mit chronischer (d.h. langfristiger) Exposition gegenüber Schadstoffen in der Innenraumlufte zu quantifizieren. Zum Beispiel schätzten Logue et al. (2011) und Logue et al. (2012) die gesundheitlichen Auswirkungen einer langfristigen Exposition gegenüber Schadstoffen, die häufig in US-Haushalten gefunden werden, anhand der behinderungsangepassten Lebensjahre (Disability Adjusted Life Years, DALYs) ab, um eine Hierarchie der bedenklichen Schadstoffe aufzustellen. In ähnlicher Weise schätzten Asikainen et al. (2016) die jährliche Krankheitslast, die durch die Exposition gegenüber Luftschadstoffen in Wohngebäuden in der Europäischen Union verursacht wird, auf etwa 2,1 Millionen DALYs pro Jahr, hauptsächlich bedingt durch die Exposition gegenüber Feinstaub (Durchmesser $\leq 2,5 \mu\text{m}$; PM_{2,5}), der aus Quellen im Freien stammt, gefolgt von PM_{2,5} aus Quellen in Innenräumen.

Darüber hinaus ist übermässige Feuchtigkeit oder Nässe in Gebäuden mit einer Reihe von Problemen wie Schimmel, Hausstaubmilben und Bakterien verbunden; und die Exposition gegenüber feuchten Umgebungen ist mit Atemproblemen einschliesslich Asthma verbunden (z. B. Heseltine et al., 2009; IOM, 2004; Kanchongkittiphon et al., 2014; Mendell et al., 2011). Schadstoffe in Innenräumen können als Reizstoffe, Giftstoffe und Hilfsstoffe oder Träger von Allergenen wirken (Bernstein et al., 2008), die Produktivität des Menschen beeinträchtigen (Wargocki et al., 1999) und Geruchsprobleme verursachen. Neuere Erkenntnisse deuten auch darauf hin, dass Schadstoffe in der Innenraumlufte die kognitiven Funktionen beeinträchtigen können (Allen et al., 2016; Satish et al., 2012).

Eine der häufigsten Gesundheitsbeschwerden ist das Auftreten von gebäudebedingten Symptomen wie Augen-, Nasen- und Rachenreizungen, Konzentrations- und Denkschwierigkeiten, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Lethargie, Symptome der oberen Atemwege, Hautreizungen und Hautausschläge sowie ein insgesamt schlechtes Wohlbefinden (z.B. Bluysen et al., 1996; Mendell, 1993; Mendell und Smith, 1990; Weltgesundheitsorganisation, 1983). Der Begriff "Sick-Building-Syndrom" ("SBS") wurde verwendet, um die übermässige Prävalenz dieser Symptome zu beschreiben, ohne sie bestimmten Krankheitserregern oder Krankheiten oder Gebäudemerkmalen zuzuordnen, und wird als aufschlussreicher angesehen als Symptome, die mit dem Gebäude in Zusammenhang stehen (Redlich et al., 1997). Der Begriff "gebäudebezogene Krankheit" bezieht sich auf Krankheiten wie Überempfindlichkeitspneumonitis und Legionärskrankheit, die mit einer spezifischen Exposition gegenüber Krankheitserregern und anderen Schadstoffen in einem Gebäude verbunden sind (Bardana et al., 1988).

A.3 Was sind wirksame Wege zur Verbesserung der RLQ?

Der wichtigste Ansatz zur Verbesserung der RLQ ist die Quellenkontrolle sowohl in Innenräumen als auch im Freien (Carrer et al., 2018; Nazaroff, 2013). Die Reduzierung oder Minimierung von Schadstoffquellen in Innenräumen kann durch die Auswahl von Baumaterialien, Einrichtungsgegenständen und Pflegeprodukten mit niedrigen Emissionsraten, die Beschränkung der Verwendung von duftenden oder duftenden Produkten durch die Bewohner (Steinemann et al., 2011) und die Minimierung der Emissionen aus menschlichen Aktivitäten, beispielsweise durch die Installation von "Walk-Off"-Matten (Farfel et al., 2001; Layton und Beamer, 2009) erreicht werden. Eine andere Form der Quellenkontrolle ist die lokale Absaugung, bei der Schadstoffe entfernt werden, bevor sie sich in bewohnten Räumen mischen können, z.B. bei Dunstabzugshauben in Wohnräumen (Delp und Singer, 2012; Lunden et al., 2015), und in Nassräumen, z.B. in Badezimmer und Waschküchen.

Ein Element der Quellenkontrolle ist es, Gebäude trocken zu halten, z. B. durch Minimierung der Wasserdampfquellen in Innenräumen durch Quellenkontrolle und die Kontrolle der Feuchtigkeit mit Hilfe von Be- und Entfeuchtern sowie durch die Planung und den Bau von Gebäudehüllen und HVAC-Systemen, um Feuchtigkeitsprobleme zu begrenzen (ASHRAE, 2018a, 2009; Heseltine et al., 2009). Episodische Wasserereignisse, die unweigerlich auftreten (z.B. Überschwemmungen, Leckagen usw.), müssen schnell und effektiv bewältigt werden, um Wasserschäden und anhaltende Feuchtigkeit zu verhindern.

Nach einer wirksamen Quellenkontrolle wird die Belüftung eingesetzt, um Schadstoffe in Innenräumen mit sauberer Aussenluft zu verdünnen. Literaturübersichten zeigen, dass steigende Belüftungsraten zu besseren Gesundheitsergebnissen führten (z.B. Carrer et al., 2015; Sundell et al., 2011). Der Einsatz von Belüftung zur Verbesserung der RLQ sollte auch die Minimierung des Eintrags von Schadstoffen aus dem Freien in verschmutzter Umgebung einschliessen (z.B. Liu und Nazaroff, 2001; Singer et al., 2016; Stephens et al., 2012; Stephens und Siegel, 2012; Walker und Sherman, 2013), (z.B. durch die Verringerung von Gehäusedichtheit oder die wirksame Filterung der Aussenluftzufuhr).

Die dritte Strategie, nach Quellenkontrolle und Belüftung, ist die Reinigung der Raumluft durch Partikelfiltration und Reinigung der gasförmigen Luft. Das ASHRAE-Positionsdokument über Filtration und Luftreinigung (ASHRAE, 2018b) und der Leitfaden der US-Umweltschutzbehörde zu Luftreinigern im Haushalt (US EPA, 2018) befassen sich beide mit vielen wichtigen Fragen im Zusammenhang mit Filtration und Luftreinigung, ebenso wie die jüngsten Literaturübersichten (z.B. Fisk, 2013; Zhang et al., 2011). Beispielsweise wurde nachgewiesen, dass Partikelfilter die Konzentration von Schwebeteilchen in Innenräumen reduzieren, und einige empirische Belege zeigen, dass ihr Einsatz positive Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. Es hat sich gezeigt, dass einige Sorptionsmittel-Luftreiniger die Konzentrationen gasförmiger Schadstoffe wirksam reduzieren, wenn auch mit minimalen empirischen Daten über ihre Auswirkungen auf die Gesundheit.

Die komplexe Beziehung zwischen dem RLQ und den äusseren Umweltbedingungen sowie die Auswirkungen des Klimawandels erfordern eine Verlagerung hin zur Gestaltung und zum Betrieb von Gebäuden, die nicht nur komfortabel und gesund für die Bewohner, sondern auch nachhaltig sind. Es wird allgemein angenommen, dass ein gutes

RLQ nur mit erhöhtem Energieverbrauch erreicht werden kann. Es gibt jedoch viele Strategien, die sowohl eine hohe RLQ sichern als auch den Energieverbrauch reduzieren können, darunter eine erhöhte Luftdichtheit der Gebäudehülle, Wärmerückgewinnung, bedarfsgesteuerte Lüftung und verbesserte Systemwartung (Persily und Emerich, 2012). Darüber hinaus werden dynamischere Belüftungsstrategien entwickelt, die zeitversetzte und andere variable Lüftungsstrategien wie die intelligente Lüftung ermöglichen (z. B. Rackes und Waring, 2014; Sherman et al., 2012; Sherman und Walker, 2011).

A.4 Was sind die wirtschaftlichen Kosten und Vorteile einer Verbesserung der RLQ?

Sozioökonomische Kosten der Luftverschmutzung können erheblich sein (Asikainen et al., 2016; Boulanger et al., 2017; Jantunen et al., 2011). Es wird davon ausgegangen, dass **eine verbesserte RLQ erhebliche wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt** (z.B. Aldred et al., 2016a, 2016b; Bekö et al., 2008; Brown et al., 2014; Chan et al., 2016; Fisk et al., 2012, 2011; Fisk und Chan, 2017; MacIntosh et al., 2010; Montgomery et al., 2015; Rackes et al., 2018; Zhao et al., 2015). **Der wirtschaftliche Nutzen ergibt sich aus einer höheren Arbeitsproduktivität** (z.B. Allen et al., 2016; Wargocki und Wyon, 2017), einer verbesserten Lernfähigkeit (z.B. Haverinen-Shaughnessy et al., 2011; Wargocki und Wyon, 2013), **niedrigeren Abwesenheitsraten** (z.B. Milton et al., 2000) **und geringeren Gesundheitskosten**. An den Arbeitsplätzen werden Massnahmen, die nur zu kleinen Leistungsverbesserungen oder Abwesenheiten führen, oft kosteneffektiv sein, da in entwickelten Ländern die Kosten für die Mitarbeiter (z.B. Gehälter, Gesundheitsleistungen) die Kosten für die Aufrechterhaltung einer guten RLQ bei weitem übersteigen (Wargocki et al., 2006; Woods, 1989). Zusätzlicher wirtschaftlicher Nutzen ist durch reduzierte Instandhaltungskosten und die Vermeidung von RLQ-Untersuchungen und -Sanierungsmassnahmen möglich, indem Gebäude so entworfen, gebaut und betrieben werden, dass die Wahrscheinlichkeit ernsthafter RLQ-Probleme, wie z.B. weit verbreitete Feuchtigkeit und Schimmelbildung, verringert wird.

Im Folgenden werden mehrere Studien zusammengefasst, die Kosten und Nutzen verbesserter Technologien zur Quellenkontrolle, Belüftung und Luftreinigung geschätzt haben:

Quellenkontrolle: Wargocki und Djukanovic (2005) schätzten die Kosten im Zusammenhang mit der Verbesserung des RLQ durch die Reduzierung der Belastung durch Verschmutzungsquellen in einem hypothetischen Gebäude. **Die zusätzlichen Investitionen in Energie, die ersten Kosten für HVAC und Wartung sowie die Kosten für den Bau des Gebäudes waren sehr kosteneffektiv, mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und einer geschätzten Kapitalrendite, die vier- bis siebenmal höher war als der angenommene Zinssatz von 3,2%.** Es wurde jedoch keine spezifische Analyse durchgeführt, um abzuschätzen, wie viel dieser Effekte auf die Quellenkontrolle und wie viel auf erhöhte Belüftungsraten zurückzuführen ist. Asikainen et al. (2016) schätzten, dass eine 25-prozentige Reduzierung der PM_{2.5}-Quellen in Innenräumen, eine 50-prozentige Reduzierung der VOCs und der Feuchtigkeit in Innenräumen sowie eine 90-prozentige Reduzierung von Radon, Kohlenmonoxid und Rauch aus zweiter Hand in Wohngebäuden in der Europäischen Union die mit der **Belastung der Innenraumluft in Wohngebäuden verbundene Krankheitslast um etwa 44% reduzieren könnte.**

Belüftung: Fisk et al. (2011) schätzten den kombinierten potenziellen jährlichen wirtschaftlichen Nutzen der Implementierung einer Kombination von IEQ-Verbesserungen in US-Büros (einschliesslich der Erhöhung der Belüftungsraten, des Hinzufügens

von Aussenluft-Economizern, der Beseitigung hoher Innentemperaturen im Winter und der Verringerung von Feuchtigkeits- und Schimmelproblemen) auf etwa 20 Milliarden Dollar pro Jahr. In ähnlicher Weise schätzten Fisk et al. (2012), dass die wirtschaftlichen Vorteile einer Erhöhung der Mindestlüftungsraten in US-Büros die Energiekosten bei weitem übersteigen und dass die Hinzufügung von Economizern Gesundheits- und Leistungsvorteile sowie eine geringere Abwesenheit bei gleichzeitiger Energieeinsparung bringen würde. Dorgan et al. (1998) schätzten die Kosten für die Verbesserung der Belüftung in 40% der Bürogebäude in den USA, die als ungesund gelten, d.h. die Norm 62.1 nicht erfüllen; die Amortisationszeit einer solchen Massnahme wurde auf unter 1,4 Jahre wegen der daraus resultierenden Vorteile für Gesundheit und Arbeitsleistung. Rackes et al. (2018) führten einen ergebnisbasierten Lüftungsrahmen zur Bewertung der Leistungs-, Gesundheits- und Energieauswirkungen ein, um Entscheidungen über die Belüftungsrate in US-Bürogebäuden zu treffen, und schätzten, dass der wirtschaftliche Nutzen einer erhöhten Belüftungsrate in Büros routinemässig grösser ist als zusätzliche Energiekosten oder negative Gesundheitskosten, die mit der Einführung von mehr Schadstoffen im Freien durch erhöhte Belüftung verbunden sind.

Filtration und Luftreinigung: Bekö et al. (2008) schätzten, dass die Gesundheits- und Produktivitätsvorteile von leistungsfähigeren Filtern deren Kosten in einem Beispiel-Bürogebäude um weit mehr als den Faktor 10 übersteigen würden. Montgomery et al. (2015) schätzten das Nutzen-Kosten-Verhältnis für eine verbesserte Filtration in Bürogebäuden in einer Reihe von Städten auf bis zu 10. Fisk und Chan (2017) schätzten in ähnlicher Weise das Nutzen-Kosten-Verhältnis für den Einsatz von Filtern und/oder tragbaren Luftreinigern sowohl in Wohnhäusern als auch in gewerblichen Gebäuden auf drei bis 133. In allen oben genannten Studien stellen die vermiedenen Gesundheitskosten den grössten Nutzen der Luftreinigung dar. Diese und andere Studien zu Kosten und Nutzen von Filtration und Luftreinigung wurden in Alavy und Siegel (2019) untersucht.

Begrenzte, auf Interviews basierende Studien mit Entscheidungsträgern im Baugewerbe in den USA haben gezeigt, dass sie dazu neigen, die positiven Auswirkungen von Lüftungs- und Filtrationsnachrüstungen zu unterschätzen, während sie die Kosten überschätzen (Hamilton et al., 2016). Diese Ergebnisse deuten auf die Notwendigkeit von Bildungsaktivitäten hin, um die Branche über die Kosten und den Nutzen einer guten RLQ zu informieren.

A.5 Zusammenfassung

Aus den in diesem Anhang zitierten Arbeiten geht klar hervor, dass die RLQ in Gebäuden ein wesentlicher Gebäudedienst ist, der für die Gebäudenutzer, -eigentümer und -planer und damit auch für ASHRAE von entscheidender Bedeutung ist. Die gesundheitlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen der RLQ sind beträchtlich, und daher ist es unerlässlich, die RLQ in allen Phasen der Gebäudeplanung, des Entwurfs und des Betriebs zu berücksichtigen. Zu den aktuellen Entwurfsansätzen und Technologien gehören die Erfüllung von Mindestanforderungen (z.B. für die Belüftung gemäss ASHRAE-Normen 62.1 und 62.2) und die Befolgung von Richtlinien für eine über die Mindestanforderungen hinausgehende Leistung (z.B. die ASHRAE RLQ-Konstruktionsrichtlinien)

REFERENZEN IM ANHANG

- Abt, E., Suh, H.H., Catalano, P., Koutrakis, P., 2000. Relativer Beitrag von Partikelquellen im Freien und in Innenräumen zu den Konzentrationen in Innenräumen. *Die Umwelt. Wissenschaftlich-Technol.* 34, 3579-3587. <https://doi.org/10.1021/es990348y>
- Adgate, J.L., Kirche, T.R., Ryan, A.D., Ramachandran, G., Fredrickson, A.L., Stock, T.H., Morandi, M.T., Sexton, K., 2004. Aussen-, Innen- und persönliche Exposition gegenüber VOCs bei Kindern. *Die Umwelt. Gesundheitsperspektive.* 112, 1386–1392.
- Alavy, M., Siegel, J.A., 2019. RLQ und energetische Auswirkungen von hocheffizienten Filtern in Wohngebäuden: Ein Überblick (RP-1649). *Wissenschaft und Technik für die gebaute Umwelt* 25, 261-271. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1526012>
- Aldred, J., Darling, E., Morrison, G., Siegel, J., Corsi, R., 2016a. Analyse der Wirtschaftlichkeit von kombinierten Partikel- und Aktivkohlefiltern zur Ozonbeseitigung in Innenräumen von Gebäuden. *Wissenschaft und Technik für die gebaute Umwelt* 22, 227- 236. <https://doi.org/10.1080/23744731.2016.1122500>
- Aldred, J., Darling, E., Morrison, G., Siegel, J., Corsi, R., 2016b. Nutzen-Kosten-Analyse von kommerziell erhältlichen Aktivkohlefiltern zur Ozonbeseitigung in Innenräumen von Einfamilienhäusern. *Innenraumluft* 26, 501-512. <https://doi.org/10.1111/ina.12220>
- Allen, J.G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., Spengler, J.D., 2016. Assoziationen kognitiver Funktionswerte mit Kohlendioxid, Belüftung und Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen bei Büroangestellten: Eine Studie zur kontrollierten Exposition grüner und konventioneller Büroumgebungen. *Environmental Health Perspectives* 124, 805-812. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>
- ASHRAE, 2020. Technische Anleitung von der ASHRAE Epidemie-Task Force, www.ashrae.org/covid19.
- ASHRAE, 2019a. ANSI/ASHRAE-Norm 62.1-2019: Belüftung für akzeptable Raumluftqualität.
- ASHRAE, 2019b. ANSI/ASHRAE-Norm 62.2-2019: Belüftung und akzeptable Raumluftqualität in Wohngebäuden in Niedrigbauweise.
- ASHRAE (Hrsg.), 2018a. Leitfaden zur Innenraumluftqualität in Wohngebäuden: Beste Praktiken für Erwerb, Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb, ASHRAE. ASHRAE, Atlanta, GA.
- ASHRAE, 2018b. ASHRAE-Positionsdokument über Filtration und Luftreinigung. ASHRAE (Hrsg.), 2009. Leitfaden zur Luftqualität in Innenräumen: Beste Praktiken für Entwurf und Konstruktion, und Inbetriebnahme. Amerikanische Gesellschaft der Heizungs-, Kälte- und Klimatechnik-Ingenieure, Atlanta, GA.
- Asikainen, A., Carrer, P., Kephelopoulos, S., Fernandes, E. de O., Wargocki, P., Hänninen, O., 2016. Verringerung der Krankheitslast durch Innenraumluftexposition in Wohngebäuden in Europa (Projekt HEALTHVENT). *Umweltgesundheit* 15, S35. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0101-8>
- Azimi, P., Stephens, B., 2018. Ein Rahmenwerk zur Abschätzung der US-Mortalitätsbelastung durch Feinstaubbelastung, die auf Mikroumgebungen in Innenräumen und im Freien zurückzuführen ist. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology.* <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0103-4>
- Bardana, E.J., Montanaro, A., O'Hollaren, M.T., 1988. Gebäudebedingte Krankheit. Eine Übersicht der verfügbaren wissenschaftlichen Daten. *Klinische Rev. Allergie* 6, 61-89.
- Bekö, G., Clausen, G., Weschler, C., 2008. Ist der Einsatz der Partikel-Luftfiltration gerechtfertigt? Kosten und Nutzen der Filtration im Hinblick auf die gesundheitlichen Auswirkungen, die Gebäudereinigung und die Produktivität der Bewohner. *Gebäude und Umwelt* 43, 1647-1657. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.006>
- Bernstein, J.A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I.L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., Tarlo, S.M., 2008. Die gesundheitlichen Auswirkungen der nichtindustriellen Luftverschmutzung in Innenräumen. *Zeitschrift für Allergie und klinische Immunologie* 121, 585-591. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.10.045>
- Bluyssen, P.M., Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O., Valbjorn, O., Bernhard, C.A., Roulet, C.A., 1996. Europäisches Projekt zur Prüfung der Luftqualität in Innenräumen in 56 Bürogebäuden. *Raumluft* 6, 221-238. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1996.00002.x>
- Bornehag, C.-G., Sundell, J., Weschler, C.J., Sigsgaard, T., Lundgren, B., Hasselgren, M., Hägerhed-Engman, L., 2004. Der Zusammenhang zwischen Asthma und allergischen Symptomen bei Kindern und Phthalaten im Hausstaub: Eine verschachtelte Fall-Kontroll-Studie. *Perspektiven der Umweltgesundheit* 112, 1393-1397. <https://doi.org/10.1289/ehp.7187>
- Boulanger, G., Bayeux, T., Mandin, C., Kirchner, S., Vergriette, B., Pernelet-Joly, V., Kopp, P., 2017. Sozioökonomische Kosten der Luftverschmutzung in Innenräumen: Eine vorläufige Schätzung für einige Schadstoffe von gesundheitlichem Interesse in Frankreich. *Umwelt International* 104, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.03.025>
- Brown, K.W., Minegishi, T., Allen, J., McCarthy, J.F., Spengler, J.D., MacIntosh, D.L., 2014. Verringerung der Exposition von Patienten gegenüber Asthma und Allergieauslösern in ihrem Zuhause: Eine Bewertung der Wirksamkeit der Filterstufen der Zwangsbelüftung. *Zeitschrift für Asthma* 51, 585-94. <https://doi.org/10.3109/02770903.2014.895011>
- Burrell, R., 1991. Mikrobiologische Agenzien als Gesundheitsrisiken in der Innenraumluft. *Die Umwelt. Gesundheitsperspektive.* 95, 29–34.
- Carrer, P., de Oliveira Fernandes, E., Santos, H., Hänninen, O., Kephelopoulos, S., Wargocki, P., 2018. Zur Entwicklung gesundheitsbasierter Beatmungsrichtlinien: Prinzipien und Rahmen. *IJERPH* 15, 1360. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071360>
- Carrer, P., Wargocki, P., Fanetti, A., Bischof, W., De Oliveira Fernandes, E., Hartmann, T., Kephelopoulos, S., Palkonen, S., Seppänen, O., 2015. Was sagt uns die wissenschaftliche Literatur über das Verhältnis von Lüftung und Gesundheit in öffentlichen und Wohngebäuden? *Gebäude und Umwelt* 94, 273-286. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.011>
- Chan, W.R., Parthasarathy, S., Fisk, W.J., McKone, T.E., 2016. Geschätzte Wirkung von Belüftung und Filtration auf chronische Gesundheitsrisiken in US-Büros, Schulen und Einzelhandelsgeschäften. *Raumluft* 26, 331-343. <https://doi.org/10.1111/ina.12189>
- Chen, C., Zhao, B., Weschler, C.J., 2012. Exposition in Innenräumen gegenüber "PM10 im Freien". *Epidemiologie* 23, 870-878. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31826b800e>
- Delp, W.W., Singer, B.C., 2012. Leistungsbewertung von Kochabzugshauben für Wohnhäuser in den USA.

- Umweltwissenschaften und -technologie 46, 6167-6173. <https://doi.org/10.1021/es3001079>
- Dorgan, C. B., Dorgan, C. E., Kanarek, M. S., & Willman, A. J. (1998). Vorteile für Gesundheit und Produktivität durch verbesserte Raumluftqualität. *ASHRAE-Transaktionen*, 104, 658.
- Ernst, A., Zibrak, J.D., 1998. Kohlenmonoxid-Vergiftung. *New England Journal of Medicine* 339, 1603-1608. <https://doi.org/10.1056/NEJM199811263392206>
- Farfel, M.R., Orlova, A.O., Lees, P.S.J., Bowen, C., Elias, R., Ashley, P.J., Chisolm, J.J., 2001. Vergleich von zwei Methoden der Bleistaubsammlung auf Bodenmatten und ihre Anwendung in Häusern vor 1950 und in neuen städtischen Häusern. *Environmental Science & Technology* 35, 2078-2083. <https://doi.org/10.1021/es0013071>
- Fisk, W.J., 2013. Gesundheitliche Vorteile der Partikelfiltration. *Innenraumluft* 23, 357-368. <https://doi.org/10.1111/ina.12036>
- Fisk, W.J., Black, D., Brunner, G., 2012. Veränderte Belüftungsraten in US-amerikanischen Büros: Auswirkungen auf Gesundheit, Arbeitsleistung, Energie und damit verbundene wirtschaftliche Aspekte. *Gebäude und Umwelt* 47, 368-372. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.001>
- Fisk, W.J., Schwarz, D., Brunner, G., 2011. Nutzen und Kosten eines verbesserten IEQ in US-Büros: Nutzen und Kosten verbesserter IEQ in US-Büros: Nutzen und Kosten verbesserter IEQ in US-Büros. *Indoor Air* 21, 357- 367. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00719.x>
- Fisk, W.J., Chan, W.R., 2017. Wirksamkeit und Kosten der Reduzierung der partikelbedingten Sterblichkeit durch Partikelfiltration. *Innenraumluft*. <https://doi.org/10.1111/ina.12371>
- Garrett, M.H., Hooper, M.A., Hooper, B.M., Abramson, M.J., 1998. Atmungssymptome bei Kindern und Exposition in Innenräumen gegenüber Stickstoffdioxid und Gasherden. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 158, 891-895.
- Hamilton, M., Rackes, A., Gurian, P.L., Waring, M.S., 2016. Wahrnehmung der Vorteile und Kosten der Verbesserung der Innenraumluftqualität in der US-Bauindustrie. *Raumluft* 26, 318-330. <https://doi.org/10.1111/ina.12192>
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D.J., Shaughnessy, R.J., 2011. Zusammenhang zwischen minderwertigen Belüftungsraten in Klassenzimmern und den akademischen Leistungen der Schüler: Unterdurchschnittliche Belüftungsraten in Klassenzimmern und akademische Leistungen der Schüler. *Raumluft* 21, 121-131. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00686.x>
- Heseltine, E., Rosen, J., Weltgesundheitsorganisation (Hrsg.), 2009. WHO-Richtlinien für die Luftqualität in Innenräumen: Feuchtigkeit und Schimmel. WHO, Kopenhagen.
- IOM, 2004. Feuchte Innenräume und Gesundheit. Nationales Institut für Medizin der Akademien, Washington, DC.
- Jaakkola, J.J.K., Ritter, T.L., 2008. Die Rolle der Exposition gegenüber Phthalaten aus Polyvinylchloridprodukten bei der Entstehung von Asthma und Allergien: Ein systematischer Überblick und Meta-Analyse. *Environmental Health Perspectives* 116, 845-853. <https://doi.org/10.1289/ehp.10846>
- Jantunen, M., Oliveira Fernandes, E., Carrer, P., Kephelopoulos, S., Europäische Kommission, Generaldirektion Gesundheit und Verbraucher, 2011. Förderung von Aktionen für gesunde Innenraumluft (IARLQ). Europäische Kommission, Luxemburg.
- Jones, A., 1999. Luftqualität und Gesundheit in Innenräumen. *Atmosphärische Umwelt* 33, 4535- 4564. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00272-1)
- Kanchongkittiphon, W., Mendell, M.J., Gaffin, J.M., Wang, G., Phipatanakul, W., 2014. Umweltbelastungen in Innenräumen und Verschlimmerung von Asthma: Eine Aktualisierung der 2000 Überprüfung durch das Institut für Medizin. *Perspektiven der Umweltgesundheit*. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307922>
- Kile, M.L., Coker, E.S., Smit, E., Sudakin, D., Molitor, J., Harding, A.K., 2014. Eine Querschnittsstudie über den Zusammenhang zwischen der Belüftung von Gasherden und chronischen Atemwegserkrankungen bei US-Kindern, die in NHANESIII eingeschrieben sind. *Umweltgesundheit* 13. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-71>
- Klepeis, N.E., Nelson, W.C., Ott, W.R., Robinson, J.P., Tsang, A.M., Switzer, P., Behar, J.V., Hern, S.C., Engelmann, W.H., 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): eine Ressource zur Bewertung der Belastung durch Umweltschadstoffe. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 11, 231-252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>
- Kolarik, B., Naydenov, K., Larsson, M., Bornehag, C.-G., Sundell, J., 2008. Der Zusammenhang zwischen Phthalaten im Staub und allergischen Erkrankungen bei bulgarischen Kindern. *Umwelt- und Gesundheitsperspektiven* 116, 98-103. <https://doi.org/10.1289/ehp.10498>
- Lanphear, B.P., Aligne, C.A., Auinger, P., Weitzman, M., Byrd, R.S., 2001. Wohnbedingte Expositionen im Zusammenhang mit Asthma bei US-Kindern. *Pädiatrie* 107, 505-511.
- Layton, D.W., Beamer, P.I., 2009. Migration von kontaminiertem Boden und luftgetragenen Partikeln zu Staub in Innenräumen. *Umweltwissenschaften und -technologie* 43, 8199- 8205. <https://doi.org/10.1021/es9003735>
- Li, Y., Leung, G.M., Tang, J.W., Yang, X., Chao, C.Y.H., Lin, J.Z., Lu, J.W., Nielsen, P.V., Niu, J., Qian, H., Sleigh, A.C., Su, H.-J.J., Sundell, J., Wong, T.W., Yuen, P.L., 2007. Die Rolle der Belüftung bei der Übertragung von Infektionserregern über die Luft in der von environment ? erstellten multidisziplinären systematischen Übersicht. *Innenraumluft* 17, 2-18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>
- Liu, D., Nazaroff, W.W., 2001. Modellierung der Schadstoffpenetration über Gebäudehüllen. *Atmos. Die Umwelt*. 35, 4451-4462. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00218-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00218-7)
- Logue, J.M., McKone, T.E., Sherman, M.H., Singer, B.C., 2011. Gefährdungsbeurteilung von chemischen Luftschadstoffen, gemessen in Wohnräumen. *Innenraumluft* 21, 92-109. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00683.x>
- Logue, J.M., Price, P.N., Sherman, M.H., Singer, B.C., 2012. Eine Methode zur Schätzung der chronischen gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen in US-Wohnsitzen. *Environmental Health Perspectives* 120, 216-222. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104035>
- Lunden, M.M., Delp, W.W., Singer, B.C., 2015. Erfassungseffizienz von kochbedingten feinen und ultrafeinen Partikeln durch Haushaltsabzugshauben. *Raumluft* 25, 45-58. <https://doi.org/10.1111/ina.12118>
- MacIntosh, D.L., Minegishi, T., Kaufman, M., Baker, B.J., Allen, J.G., Levy, J.I., Myatt, T.A., 2010. Die Vorteile der Luftreinigung des gesamten Hauses bei der Reduzierung der Belastung durch Feinstaub im Freien: eine Modellanalyse. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 20, 213-224. <https://doi.org/10.1038/jes.2009.16>

- Melia, R.J., Florey, C.D., Altman, D.G., Swan, A.V., 1977. Zusammenhang zwischen Gaskochen und Atemwegserkrankungen bei Kindern. *BMJ* 2, 149-152. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.6080.149>
- Mendell, M.J., 1993. Unspezifische Symptome bei Büroangestellten: Eine Übersicht und Zusammenfassung der epidemiologischen Literatur. *Innenraumluf* 3, 227-236. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1993.00003.x>
- Mendell, M.J., Mirer, A.G., Cheung, K., Tong, M., Douwes, J., 2011. Respiratorische und allergische gesundheitliche Auswirkungen von Feuchtigkeit, Schimmel und feuchtigkeitsbezogenen Mitteln: Eine Überprüfung der epidemiologischen Evidenz. *Environmental Health Perspectives* 119, 748-756. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002410>
- Mendell, M.J., Smith, A.H., 1990. Konsistentes Muster erhöhter Symptome in klimatisierten Bürogebäuden: eine Reanalyse epidemiologischer Studien. *Amerikanische Zeitschrift für öffentliche Gesundheit* 80, 1193-1199. <https://doi.org/10.2105/AJPH.80.10.1193>
- Meng, Q.Y., Spector, D., Colome, S., Turpin, B., 2009. Determinanten der Innenraum- und persönlichen Exposition gegenüber PM_{2,5} in Innenräumen und im Freien während der RIOPA-Studie. *Atmosphärische Umwelt* 43, 5750-5758. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.066>
- Meng, Q.Y., Turpin, B.J., Korn, L., Weisel, C.P., Morandi, M., Colome, S., Zhang, J. (Jim), Stock, T., Spector, D., Winer, A., Zhang, L., Lee, J.H., Giovanetti, R., Cui, W., Kwon, J., Alimokhtari, S., Shendell, D., Jones, J., Farrar, C., Maberti, S., 2005. Einfluss von Immissionsquellen (im Freien) auf die PM_{2,5}-Konzentrationen in Innenräumen und in Privathaushalten: Analysen von RIOPA-Daten. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 15, 17-28. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500378>
- Milton, D.K., Glencross, P.M., Walters, M.D., 2000. Risiko von krankheitsbedingten Fehlzeiten im Zusammenhang mit der Aussenluftzufuhr, der Befeuchtung und den Beschwerden der Bewohner. *Raumluft* 10, 212-221. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004212.x>
- Montgomery, J.F., Reynolds, C.C.O., Rogak, S.N., Green, S.I., 2015. Finanzielle Auswirkungen von Änderungen an Gebäudefiltersystemen. *Gebäude und Umwelt* 85, 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.005>
- Morawska, L., Afshari, A., Bae, G.N., Buonanno, G., Chao, C.Y.H., Hänninen, O., Hofmann, W., Isaxon, C., Jayaratne, E.R., Pasanen, P., Salthammer, T., Waring, M., Wierzbicka, A., 2013. Aerosole in Innenräumen: von der persönlichen Exposition bis zur Risikobewertung. *Innenraumluf* 23, 462-487. <https://doi.org/10.1111/ina.12044>
- Myatt, T.A., Johnston, S.L., Zuo, Z., Wand, M., Kebabze, T., Rudnick, S., Milton, D.K., 2004. Nachweis des luftübertragenen Rhinovirus und sein Zusammenhang mit der Aussenluftversorgung in Büroumgebungen. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 169, 1187-1190. <https://doi.org/10.1164/rccm.200306-760OC>
- Nazaroff, W.W., 2013. Vier Prinzipien zum Erreichen einer guten Raumluftqualität. *Innenraumluf* 23, 353-356. <https://doi.org/10.1111/ina.12062>
- Persily, A.K., Emmerich, S.J., 2012. Innenraumlufqualität in nachhaltigen, energieeffizienten Gebäuden. *HVAC&R-Forschung* 18, 4-20. <https://doi.org/10.1080/10789669.2011.592106>
- Rackes, A., Ben-David, T., Waring, M.S., 2018. Outcome-basierte Belüftung: Ein Rahmen für die Bewertung von Leistung, Gesundheit und energetischen Auswirkungen, um Entscheidungen über die Belüftung von Bürogebäuden zu treffen. *Innenraumluf*. <https://doi.org/10.1111/ina.12466>
- Rackes, A., Waring, M.S., 2014. Verwendung von Mehrzieloptimierungen zur Entdeckung dynamischer Gebäudelüftungsstrategien, die die Raumluftqualität verbessern und den Energieverbrauch reduzieren können. *Energie und Gebäude* 75, 272-280. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.024>
- Redlich, C.A., Sparer, J., Cullen, M.R., 1997. Sick-Building-Syndrom. *Die Lancette* 349, 1013-1016. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)07220-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)07220-0)
- Rodes, C.E., Lawless, P.A., Thornburg, J.W., Williams, R.W., Croghan, C.W., 2010. SCHÄTZT Feinstaub-Beziehungen für persönliche, Innen- und Aussenbereiche sowie zentrale Standorte für eine allgemeine Bevölkerung. *Atmosphärische Umwelt* 44, 1386-1399. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.02.002>
- Rumtschew, K., 2004. Zusammenhang zwischen der häuslichen Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen und Asthma bei Kleinkindern. *Thorax* 59, 746-751. <https://doi.org/10.1136/thx.2003.013680>
- Samet, J.M., 1989. Radon- und Lungenkrebs. *JNCI-Journal des Nationalen Krebsinstituts* 81, 745-758. <https://doi.org/10.1093/jnci/81.10.745>
- Satish, U., Mendell, M.J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., Fisk, W. (Bill) J., 2012. Ist CO₂ ein Schadstoff für Innenräume? Direkte Auswirkungen niedriger bis mittlerer CO₂-Konzentrationen auf die menschliche Entscheidungsfindung. *Umwelt- und Gesundheitsperspektiven*. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
- Seppanen, O., Fisk, W., 2006. Einige quantitative Beziehungen zwischen der Umweltqualität in Innenräumen und der Arbeitsleistung oder Gesundheit. *HVAC&R-Forschung* 12, 957-973. <https://doi.org/10.1080/10789669.2006.10391446>
- Seppanen, O., Fisk, W.J., 2005. Ein Modell zur Schätzung der Kostenwirksamkeit von Verbesserungen des Raumklimas bei der Büroarbeit. *ASHRAE-Transaktionen* 111, 663-669.
- Sexton, K., Adgate, J.L., Ramachandran, G., Pratt, G.C., Mongin, S.J., Stock, T.H., Morandi, M.T., 2004. Vergleich der persönlichen, Innenraum- und Aussenexposition gegenüber gefährlichen Luftschadstoffen in drei städtischen Gemeinden. *Umweltwissenschaften und -technologie* 38, 423-430. <https://doi.org/10.1021/es030319u>
- Sherman, M.H., Walker, I.S., 2011. Erfüllung von Wohnungslüftungsstandards durch dynamische Steuerung von Lüftungssystemen. *Energie und Gebäude* 43, 1904-1912. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.037>
- Sherman, M.H., Walker, I.S., Logue, J.M., 2012. Äquivalenz in Belüftung und Raumluftqualität. *HVAC&R-Forschung* 18, 760-773. <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.667038>
- Sherriff, A., 2005. Der häufige Gebrauch von chemischen Haushaltsprodukten wird mit anhaltendem Keuchen bei Kindern im Vorschulalter in Verbindung gebracht. *Thorax* 60, 45-49. <https://doi.org/10.1136/thx.2004.021154>
- Singer, B.C., Delp, W.W., Black, D.R., Walker, I.S., 2016. Gemessene Leistung von Filter- und Belüftungssystemen für feine und ultrafeine Partikel und Ozon in einem unbewohnten modernen kalifornischen Haus. *Innenraumluf*. <https://doi.org/10.1111/ina.12359>
- Spengler, J., Sexton, K., 1983. Luftverschmutzung in Innenräumen: eine Perspektive der öffentlichen Gesundheit. *Wissenschaft* 221, 9-17. <https://doi.org/10.1126/science.6857273>
- Steinemann, A.C., MacGregor, I.C., Gordon, S.M., Gallagher, L.G., Davis, A.L., Ribeiro, D.S., Wallace, L.A., 2011. Parfümierte

- Verbraucherprodukte: Ausstoss von Chemikalien, Inhaltsstoffe nicht gelistet. Überprüfung der Umweltverträglichkeitsprüfung 31, 328-333. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.08.002>
- Stephens, B., Gall, E.T., Siegel, J.A., 2012. Messung des Eindringens von Umgebungssozon in Wohngebäude. *Die Umwelt. Wissenschaft.* 46, 929-936. <https://doi.org/10.1021/es2028795>
- Stephens, B., Siegel, J.A., 2012. Eindringen von Submikron-Partikeln in Einfamilienhäuser und Assoziationen mit Gebäudemerkmalen. *Raumluft* 22, 501-513. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2012.00779.x>
- Sundell, J., 2004. Zur Geschichte der Luftqualität und Gesundheit in Innenräumen. *Innenraumluf* 14 Ergänzung 7, 51-58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W.W., Kain, W.S., Fisk, W.J., Grimsrud, D.T., Gyntelberg, F., Li, Y., Persily, A.K., Pickering, A.C., Samet, J.M., Spengler, J.D., Taylor, S.T., Weschler, C.J., 2011. Beatmungsraten und Gesundheit: multidisziplinärer Überblick über die wissenschaftliche Literatur: Beatmungsraten und Gesundheit. *Raumluft* 21, 191-204. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x>
- US-EPA, 2018. *Luftreiniger für Wohngebiete: Eine technische Zusammenfassung*, 3. Auflage.
- Walker, I.S., Sherman, M.H., 2013. Wirkung von Belüftungsstrategien auf die Ozonwerte in Wohngebieten. *Gebäude und Umwelt* 59, 456-465. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.013>
- Wallace, L., 2000. Korrelationen der persönlichen Partikelexposition mit Aussenluftmessungen: Ein Überblick über neuere Studien. *Aerosolwissenschaft und -technologie* 32, 15-25. <https://doi.org/10.1080/027868200303894>
- Wallace, L., Nelson, W., Ziegenfus, R., Pellizzari, E., Michael, L., Whitmore, R., Zelon, H., Hartwell, T., Perritt, R., Westerdahl, D., 1991. Die Los Angeles TEAM-Studie: persönliche Exposition, Innen- und Aussenluftkonzentrationen und Atemkonzentrationen von 25 flüchtigen organischen Verbindungen. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1, 157-192.
- Wallace, L.A., Pellizzari, E.D., D. Hartwell, T., Sparacino, C.M., Sheldon, L.S., Zelon, H., 1985. Persönliche Expositionen, Innen-Aussen-Beziehungen und Atemwerte von toxischen Luftschadstoffen, gemessen an 355 Personen in New Jersey. *Atmosphärische Umwelt (1967)* 19, 1651-1661. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(85\)90217-3](https://doi.org/10.1016/0004-6981(85)90217-3)
- Wargocki, P., Djukanovic, R., 2005. Simulationen der potenziellen Einnahmen aus Investitionen in die Verbesserung der Raumluftqualität in einem Bürogebäude. *ASHRAE-Transaktionen* 111, 699-711.
- Wargocki, P., & Seppänen, O. (2006). *REHVA-Führer Buch Nr. 6, Raumklima und Produktivität in Büros, Wie die Produktivität in die Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäudetechnik integriert werden kann*. REHVA:(Finnland). Wargocki, P., Wyon, D.P., 2017. Zehn Fragen zu den Auswirkungen von Wärme- und Raumluftqualität auf die Leistung von Büro- und Schularbeiten. *Gebäude und Umwelt* 112, 359-366. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>
- Wargocki, P., Wyon, D.P., 2013. Die Bereitstellung besserer Wärme- und Luftqualitätsbedingungen in Schulklassenräumen wäre kosteneffizient. *Gebäude und Umwelt* 59, 581- 589. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>
- Wargocki, P., Wyon, D.P., Baik, Y.K., Clausen, G., Fanger, P.O., 1999. Wahrgenommene Luftqualität, Symptome des Sick-Building-Syndroms (SBS) und Produktivität in einem Büro mit zwei unterschiedlichen Schadstoffbelastungen. *Innenraumluf* 9, 165-179. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.t01-1-00003.x>
- Weschler, C.J., 2006. Auswirkungen des Ozons auf die öffentliche Gesundheit: Beiträge der Exposition von Innenräumen gegenüber Ozon und Produkten der ozoninitiierten Chemie. *Die Umwelt. Gesundheitsperspektive.* 114, 1489-1496. <https://doi.org/10.1289/ehp.9256>
- Woods, J.E., 1989. Kostenvermeidung und Produktivität beim Besitz und Betrieb von Gebäuden. *Besetzen Sie Med* 4, 753-770.
- Weltgesundheitsorganisation (Hrsg.), 1983. *Luftschadstoffe in Innenräumen: Exposition und gesundheitliche Auswirkungen: Bericht über eine WHO-Tagung, Nördlingen, 8.-11. Juni 1982, EURO-Berichte und Studien*. Weltgesundheitsorganisation, Regionalbüro für Europa, Kopenhagen.
- Zhang, J., Lioy, P.J., He, Q., 1994. Charakteristika von Aldehyden: Konzentrationen, Quellen und Expositionen für Mikroumgebungen in Innenräumen und im Freien. *Umgebung. Wissenschaftlich-Technol.* 28, 146-152. <https://doi.org/10.1021/es00050a020>
- Zhang, Y., Mo, J., Li, Y., Sundell, J., Wargocki, P., Zhang, J., ... & Fang, L. (2011). Können gebräuchliche gebläsebetriebene Luftreinigungstechnologien die Raumluftqualität verbessern? Eine Literaturübersicht. *Atmosphärische Umwelt*, 45(26), 4329-4343.
- Zhao, D., Azimi, P., Stephens, B., 2015. Bewertung der langfristigen gesundheitlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen der zentralen Wohnungsluftfilterung zur Verringerung der vorzeitigen Sterblichkeit im Zusammenhang mit Feinstaub (PM_{2,5}) aus Innenräumen, der im Freien entsteht. *Internationale Zeitschrift für Umweltforschung und öffentliche Gesundheit* 12, 8448- 8479.
- Zock, J.-P., Plana, E., Jarvis, D., Anto, J.M., Kromhout, H., Kennedy, S.M., Kunzli, N., Villani, S., Olivieri, M., Toren, K., Radon, K., Sunyer, J., Dahlman-Hoglund, A., Norback, D., Kogevinas, M., 2007. Die Verwendung von Haushaltsreinigungssprays und Asthma bei Erwachsenen: Eine internationale Längsschnittstudie. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 176, 735-741. <https://doi.org/10.1164/rccm.200612-1793OC>