

**Weltgesundheitsorganisation (WHO) Regionalbüro für Europa**

WHO Leitlinien für Innenraumlufthqualität:  
ausgewählte Schadstoffe

Datum: 2011

Ausgedruckte Seiten: 3, 4, 5 (von insgesamt 11)

individuellen Exposition durch Inhalation darstellt, und die Innenraumkonzentrationen ausreichend hoch sein können, um gesundheitsschädliche Effekte auszulösen.

Die geringste Konzentration, von der berichtet wird, dass sie beim Menschen zu Augenreizungen geführt hat, beträgt  $0,36 \text{ mg/m}^3$  innerhalb von vier Stunden. Bei  $0,6 \text{ mg/m}^3$  kommt es zu einer Zunahme der Blinzelfrequenz und zu Bindehautrötungen. Dieser Wert wird als NOAEL angesehen. Es gibt keine Hinweise auf kumulative Effekte bei Dauerexposition.

Der Geruch führt bei manchen Menschen möglicherweise zu subjektiv wahrgenommen sensorischen Irritationen, und einzelne Menschen können Formaldehyd bei Konzentrationen unterhalb  $0,1 \text{ mg/m}^3$  wahrnehmen. Dies wird aber nicht als gesundheitlich advers angesehen. Der NOAEL von  $0,6 \text{ mg/m}^3$  für die erhöhte Blinzelfrequenz wird mit einem Rechenfaktor von 5 versehen, der von der Standardabweichung der Reizschwelle der Nasenschleimhäute (sensorische Irritation) abgeleitet ist. Dies führte zu einem Wert von  $0,12 \text{ mg/m}^3$ , der auf  $0,1 \text{ mg/m}^3$  abgerundet wurde. Bei diesen Innenraumkonzentrationen werden weder eine erhöhte Sensibilität noch eine Sensibilisierung bei Erwachsenen und Kindern für plausibel erachtet. Deshalb wird dieser Wert bei einer kurzzeitigen Exposition (30 Minuten) für valide erachtet und diese Schwelle soll bei keinem 30-Minuten-Intervall während eines Tages überschritten werden.

Folglich wird in der Leitlinie bei kurzzeitiger Exposition (30 Minuten) ein Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  empfohlen, um sensorische Irritationen bei der Allgemeinbevölkerung zu vermeiden.

Die Bewertung der langfristigen Effekte, einschließlich der Kanzerogenese, die auf der Basis eines NOAEL und eines Rechenfaktors, als auch auf Schätzungen mit Hilfe biologischer Modelle vorgenommen wurde, führt mit Werten von ungefähr  $0,2 \text{ mg/m}^3$  zu vergleichbaren Ergebnissen. Diese Werte liegen oberhalb der Leitlinie für kurzzeitige Effekte von  $0,1 \text{ mg/m}^3$ . Aus diesem Grund werden bei der Anwendung der Leitlinie für kurzzeitige Effekte (30 Minuten Exposition) von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  auch langfristige gesundheitliche Wirkungen einschließlich Krebs verhindert.

Die Verwendung von Baumaterialien und Produkten mit geringer Emission und die Vermeidung von Passivrauch und anderer Verbrennungsprodukte minimieren das Expositionsrisiko. Außerdem kann die Formaldehydexposition in Innenräumen durch Lüften verringert werden.

## Naphthalin

Wie in Tierversuchen gezeigt werden konnte, sind Atemwegläsionen, einschließlich Tumore der oberen Atemwege, und die hämolytische Anämie bei Menschen die größten gesundheitlichen Probleme einer Naphthalinexposition.

Läsionen der Riechschleimhaut und bei höheren Konzentrationen auch der Epithelien der Atemwege sind bei Ratten die wichtigsten nicht-neoplastischen Effekte. Schwerwiegende Entzündungsreaktionen und Tumore der Atemwege werden an diesen Stellen bei Konzentrationen beschrieben, die 100-fach höher waren als die niedrigsten gewebeschädigenden Konzentration.

Eine verstärkte Zellproliferation aufgrund der Zytotoxizität (Zellschädigung) von Naphthalin gilt als wichtigstes Element bei der Entstehung von Atemwegstumoren. Da wahrscheinlich zytotoxische Metaboliten an der Kanzerogenese beteiligt sind und Naphthalin wohl nicht genotoxisch wirkt, kann angenommen werden, dass ein Schwellenwert existiert.

Aus diesem Grund scheint die Anwendung eines LOAEL/NOAEL als Schwellenwert, in Kombination mit Sicherheitsfaktoren, zur Erstellung von Innenraumleitlinien geeignet, um das Krebsrisiko der Atemwege durch Naphthalin zu minimieren.

Bei wiederholter Inhalation für täglich 6 Stunden, 5 Tage pro Woche und einer Dauer von 104 Wochen wurden bei fast allen Ratten, die der geringsten (aber dennoch relativ hohen) Naphthalindosis von  $53 \text{ mg/m}^3$  ausgesetzt waren, schwere Entzündungsreaktionen beobachtet. Aufgrund des Fehlens adäquat publizierter Daten zu weniger schweren Effekten, kann dieser Wert als LOAEL verwendet werden, obwohl dieser Wert mit

schwerwiegenden Effekten einhergeht.

Nimmt man diesen LOAEL als Ausgangspunkt und passt ihn an eine Dauerexposition an (indem man ihn durch 24/6 und 7/5 dividiert), erhält man einen Wert von etwa 10 mg/m<sup>3</sup>. Unter Einbeziehung eines Faktors 10 wegen der Verwendung des LOAEL anstatt des NOAEL, eines Faktors 10 für die Interspezies-Variation, und schließlich eines Faktors 10 für die interindividuelle Variation, erhält man für die Leitlinie einen Wert von 0,01 mg/m<sup>3</sup>. Dieser Leitlinienwert sollte als Jahresmittelwert angewandt werden.

Extensiver Gebrauch oder Missbrauch von Naphthalin-Mottenkugeln kann zu einer hämolytischen Anämie führen. Die Kenntnisse über die Auswirkungen einer Naphthalinexposition auf das Risiko empfänglicher Menschen (Träger eines Glukose-6-Phosphat-Dehydrogenase-Mangels), eine hämolytische Anämie zu entwickeln, können aufgrund des Fehlens geeigneter Expositionsdaten nicht als Grundlage für eine Leitlinie herangezogen werden.

Ohne Mottenkugeln und andere Naphthalinquellen wie beispielsweise die Verbrennung von Biomasse, liegen die Innenraumkonzentrationen für Naphthalin knapp über der Nachweisgrenze von etwa 0,001 ng/m<sup>3</sup>. Da die Naphthalinkonzentration im Wohnumfeld bis auf das 100-fache ansteigen kann, wenn Mottenkugeln verwendet werden, wäre es zur Verhütung hoher Expositionen am effektivsten, die Verwendung von naphthalinhaltigen Mottenkugeln einzustellen (bzw. zu verbieten).

## Stickstoffdioxid

Es wird empfohlen, den Richtwert von 200 µg/m<sup>3</sup> als 1-Stunden-Mittel anzuwenden, der mit der bestehenden Luftqualitätsleitlinie der WHO übereinstimmt.

Bei ungefähr dem doppelten Wert kommt es bei Asthmatikern zu einer geringfügigen Abnahme der Lungenfunktionen. Bei sensibilisierten Asthmatikern zeigen sich schon bei diesen Konzentrationen leichte Veränderungen der Empfindlichkeit der Atemwege auf eine Reihe von Stimuli. Studien zur Innenraumlufth geben keinen Anlass für Abweichungen gegenüber den für die Außenluft gültigen Leitlinien.

In Übereinstimmung mit der bestehenden Luftqualitätsleitlinie der WHO wird für Innenräume ein Richtwert für Stickstoffdioxid von 40 µg/m<sup>3</sup> als Jahresmittelwert empfohlen.

Der Richtwert für Stickstoffdioxid von 40 µg/m<sup>3</sup> als Jahresmittelwert für die Außenluft basiert ursprünglich auf einer Meta-Studie von Untersuchungen der Innenraumlufth. Dabei wurde davon ausgegangen, dass das Kochen mit einem Gasherd im Vergleich zum Elektroherd zu einer durchschnittlichen Zunahme der Innenraumkonzentration von 28 µg/m<sup>3</sup> führt. Die Meta-Studie ergab, dass eine Zunahme der Innenraumkonzentration an Stickstoffdioxid um 28 µg/m<sup>3</sup> mit einem um 20 % erhöhtem Risiko für Erkrankungen der unteren Atemwege bei Kindern einhergeht.

Für Häuser ohne Innenraumquellen wird ein durchschnittlicher Wert von 15 µg/m<sup>3</sup> angenommen. Mehrere umfassende Untersuchungen, zur Weiterentwicklung der Außenluftleitlinien haben diese Ergebnisse nicht in Frage gestellt.

Neuere, verlässliche epidemiologische Studien, bei denen die Innenraumkonzentrationen von Stickstoffdioxid gemessen wurden, unterstützen die Vermutung, dass es bereits bei den in der Leitlinie genannten Werten zu Atemwegsbeschwerden kommen kann.

## Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs)

Manche polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) sind starke Karzinogene; in der Luft sind sie üblicherweise an Partikel gebunden. Die primäre Exposition gegen karzinogene PAKs in der Luft erfolgt über die Inhalation dieser Partikel. PAKs kommen in der Innenraumlufth als komplexe Gemische vor, deren Zusammensetzung von Ort zu Ort variieren kann. Experimentelle Daten zu Metabolismus, Genexpression und DNA-Addukten lassen darauf schließen, dass die Interaktionen von PAKs in Gemischen komplex und für eine Vielzahl von PAK-Zusammensetzungen in hohem Maße unvorhersagbar sind (inhibitorisch, additiv, syner-

gistisch).

Angesichts der Schwierigkeiten bei der Erstellung von Leitlinien für PAK-Gemische, wurde Benzo[a]pyren (B[a]P) für die bei Messungen am besten geeignete Indikatorsubstanz erachtet. Die Toxikologie von B[a]P ist bestens bekannt, die meisten Daten zu Außen- und Innenraumluft beziehen sich auf B[a]P, und B[a]P wird bei epidemiologischen Studien häufig als Indikatorverbindung verwendet.

Die Angaben zur Gesundheitsbewertung lassen darauf schließen, dass Lungenkrebs das größte Gesundheitsrisiko durch eine PAK-Exposition in Innenräumen darstellt. B[a]P ist unter den bekannten PAKs eines der stärksten Karzinogene.

Bei ihrer Bewertung der PAKs als Schadstoffe in der Außenluft formulierte die WHO im Jahre 2000 ein Unit-Risk für Krebs als Funktion der B[a]P-Konzentration, die als Marker für ein PAK-Gemisch herangezogen wird. Die Anwendung desselben Unit-Risk-Faktors für Innenräume impliziert, dass B[a]P das gleiche Verhältnis an krebserregenden Aktivitäten im PAK-Gemisch aufweist wie bei der Bestimmung des Unit-Risk bei einer Exposition am Arbeitsplatz. Diese Annahme wird nicht immer gelten, aber die mit der Risikoabschätzung verbundenen Unsicherheiten sind wahrscheinlich nicht groß.

Eine Abnahme der B[a]P-Exposition sollte auch das Risiko für andere gesundheitsschädigende Wirkungen verringern, die mit PAKs in Verbindung stehen.

Auf der Basis epidemiologischer Daten aus Untersuchungen von Kokereiarbeitern beträgt das Unit-Risk für Lungenkrebs bei PAK-Gemischen etwa  $8,7 \times 10^{-5}$  pro  $\text{ng/m}^3$  B[a]P. Dies entspricht dem Leitlinienwert für PAKs in Innenräumen. Die entsprechenden Konzentrationen, die bei lebenslanger B[a]P-Exposition das Lebenszeit-Risiko für Krebs um 1/10.000, 1/100.000 und 1/1.000.000 erhöhen, betragen jeweils etwa 1,2, 0,12 und 0,012  $\text{ng/m}^3$ .

## Radon

Radon wird von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) als Human-karzinogen (Gruppe 1) eingestuft. Anhand epidemiologischer Studien in Wohnungen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Radon und einem Risiko für Lungenkrebs. Die Dosis-Wirkungsbeziehung lässt sich am besten als linear beschreiben; es gibt keinen Schwellenwert. Das zusätzliche relative Risiko bei einer Erhöhung der durchschnittlichen Langzeit-Exposition (30 Jahre) gegenüber Radon um 100  $\text{Bq/m}^3$  beträgt 16 %; dieses relative Risiko variiert nicht nennenswert zwischen Rauchern, Ex-Rauchern und lebenslangen Nichtrauchern. Weil das absolute Lungenkrebsrisiko bei jeder Radonkonzentration bei Rauchern viel höher als bei lebenslangen Nichtrauchern ist, ist das absolute Lungenkrebsrisiko aufgrund von Radon bei Rauchern und Ex-Rauchern beträchtlich höher als bei lebenslangen Nicht-Rauchern. Das absolute Krebsrisiko bei Ex-Rauchern liegt zwischen demjenigen von lebenslangen Nichtrauchern und Rauchern.

Das kumulative Sterberisiko durch radoninduzierten Lungenkrebs wurde für lebenslange Nichtraucher und Raucher (15-24 Zigaretten am Tag) ermittelt. Das hieraus abgeleitete zusätzliche Lebenszeitrisiko betrug im Alter von 75 Jahren  $0,6 \times 10^{-5}$  bzw.  $15 \times 10^{-5}$  pro  $\text{Bq/m}^3$ . Das Risiko für Ex-Raucher liegt dazwischen und hängt von der Zeit ab, die seit dem Aufhören vergangen ist. Die Radonkonzentration, die mit einem zusätzlichen Lebenszeitrisiko von 1 pro 100 oder 1 pro 1000 einhergeht, beträgt 67  $\text{Bq/m}^3$  bzw. 6,7  $\text{Bq/m}^3$  für Raucher und 1670  $\text{Bq/m}^3$  bzw. 167  $\text{Bq/m}^3$  für lebenslange Nichtraucher.

Als Baustein beim Umgang mit der Radonproblematik empfiehlt das Internationale Radon-Projekt der WHO die Erstellung eines Referenzwertes als wichtiges Verfahrensinstrument.<sup>1</sup>

Ein nationaler Referenzwert legt keine strenge Grenze zwischen Sicherheit und Gefährdung fest, sondern definiert einen Wert für das Risiko durch Radon im Innenraum, den ein Land für zu hoch erachtet, wenn er ungehindert andauern

---

<sup>1</sup> WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva, World Health Organization, 2009.