Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft von Fertighäusern in Holzständer-Bauweise (Kurzfassung)

Verfasser: Dr. Wigbert Maraun, Peter Unger und Dr. Stephan Sänger; im November 2016
ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel

Korrespondenzautor: Dr. Wigbert Maraun, Krebsmühle 1, 61440 Oberursel, 06171 / 71817, www.arguk.de

Originalfassung veröffentlicht in:
Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und Sanierung, Ergebnisse des 11. AGÖF-Fachkongresses in Hallstadt bei Bamberg, November 2016, Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V., ISBN 978-3-930576-10-4, S. 206 – 231

1. Einleitung

Beginnend in den 1960er Jahren hat sich die Fertigung von Wohngebäuden in Fertigbauweise zu einer etablierten Gebäudetechnik entwickelt. Hierbei werden einzelne Bauteile des Hauses werkseitig vorgefertigt und anschließend zur Endmontage transportiert. Diese Definition gilt unabhängig von den verwendeten Baumaterialien.

Ältere Fertighäuser aus den 1960er bis Anfang der 1980er Jahre weisen zum Teil erhöhte Schadstoffgehalte auf. Der Einsatz bestimmter Holzschutzmittel (PCP und Lindan), asbesthaltiger Baumaterialien und die Verwendung formaldehydhaltiger Pressspanplatten prägt das Schadstoffbild der älteren Fertighäuser. Während von den in der Matrix gebundenen Asbestfasern ohne mechanische Einwirkung in der Regel keine Gefahr ausgeht, können Formaldehyd und die verwendeten Holzschutzmittel zu erhöhten Raumluftkonzentrationen führen. Der durch das Wirtschaftswachstum ausgelöste Bauboom der 1960er Jahre hatte zur Folge, dass viele Fertighäuser mit genanntem Schadstoffaufkommen entstanden sind (Stache 2012).

Die Schadstoffproblematik von Asbest, Formaldehyd und Holzschutzmitteln der älteren Fertighäuser (Baujahre 1960 – 1983) ist in nach 1983 gebauten Fertighäusern weitgehend reduziert. Durch die Regelung der Gefahrstoffverordnung dürfen seit dem 01.10.1986 jedoch nur noch Spanplatten vertrieben werden, die den Emissionsgrenzwert E1 von 0,1 ppm (=0,12 mg/m³) Formaldehyd einhalten. Zum Schutz des Holzständerwerkes wird vermehrt konstruktiver statt chemischer Holzschutz eingesetzt (BDF 2013).

2. Stoffeigenschaften

2.1 Ameisensäure

Die Ameisensäure (Methansäure) ist eine farblose, klare, flüchtige und stechend riechende Flüssigkeit. Sie ist die stärkste der unsubstituierten Carbonsäuren und wirkt beim Verschlucken oder Einatmen ätzend sowie gesundheitsschädlich.

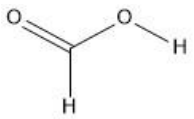

Abb. 1: Ameisensäure

2.2 Essigsäure

Essigsäure (Ethansäure), die bekannteste der Carbonsäuren, hat einen durchdringenden Geruch. Sie ist unter anderem in Speiseessig enthalten, findet sich jedoch auch in freier Form in der Natur z.B. in ätherischen Ölen, der Melasse, Pflanzen- und Fruchtsäften und tierischen Sekreten. In Dampf- und Aerosolform wirkt Essigsäure reizend auf Augen, Haut und Schleimhäute (RÖMPP, Essigsäure 2006).

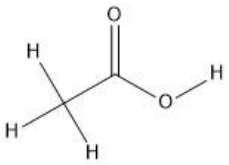

Abb. 2: Essigsäure

Die ehemalige Ad-hoc-Arbeitsgruppe für Innenraumluft (jetzt: Ausschuss für Innenraumschadstoffe) nennt in dem Ergebnisprotokoll der 43. Sitzung einen Richtwert II (Gefahrenwert) von 400 µg/m³ mit der Irritation der Atemwege als Endpunkt. Beim Erreichen des RW II sind unverzüglich expositionsmindernde Maßnahmen einzuleiten.

3. Ameisen- und Essigsäure aus Holz und Holzwerkstoffen

3.1 Massivholz als Werkstoff

Sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch betrachtet handelt es sich bei Holz um einen Verbundwerkstoff. Einzelne Komponenten sind dabei so angeordnet, dass der Verbund bessere Eigenschaften als die Einzelkomponenten aufweist. In der verholzten Zellwand sind Cellulosen und Hemicellulosen in Lignin eingebettet. Chemisch gesehen sind Lignine, Cellulose und Hemicellulosen Polymere und bilden im Verbund die für Holz typische anisotrope Faserstruktur (Wagenführ und Scholz 2012).

Eine besondere Bedeutung kommt in dieser Arbeit den Hemicellulosen zu, da sie für die Freisetzung von Ameisen- und Essigsäure aus Holzwerkstoffen verantwortlich zu machen sind.

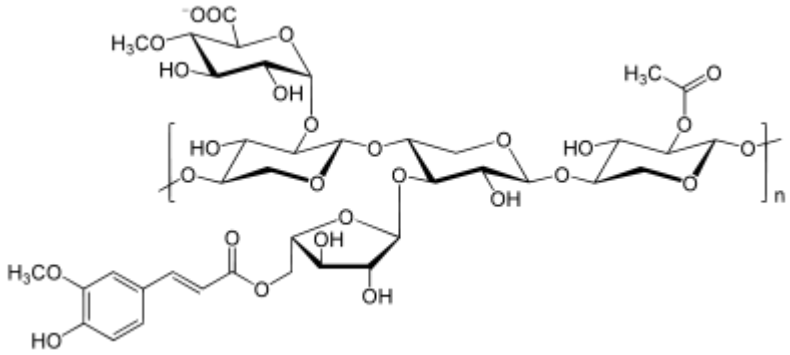

Abb. 3: Xylane (Hemicellulose) (zit. nach https://de.wikipedia.org/wiki/Xylane, 29.05.2016).

3.2 Abgabe von organischen Säuren aus Holzwerkstoffen

Die Ameisen- und Essigsäuren, auch Holzsäuren genannt, zählen mit den Aldehyden zu den Sekundäremittenten aus Holzwerkstoffen. Während die Aldehyde autoxidativ aus im Holz enthaltenen Fettsäuren gebildet werden, resultiert die Emission von Essigsäure aus dem hydrolytischen Abbau der Hemicellulosen, bzw. der Abspaltung von Acetylgruppen der Hemicellulosen. Im Allgemeinen enthalten die Hemicellulosen von Laubhölzern mehr Acetylgruppen als die der Nadelhölzer.

Im Vergleich zu Vollholzwerkstoffen oder deren Späne geben fertige Holzspanplatten eine höhere Menge an flüchtigen organischen Säuren wie Ameisen- und Essigsäure ab.

4. Material und Methode

4.1 Auswahl der Objekte

Die zur Bestimmung der Raumluftgehalte an Ameisen- und Essigsäuren ausgewählten Gebäude in Holzständerbauweise („Fertighäuser“) stammten ganz überwiegend aus der Bauzeit zwischen Mitte der 1960er Jahre bis Mitte der 1980er. Die Gebäude waren überwiegend zum Zeitpunkt der Probenahme bewohnt und damit auch möbliert. In ausgewählten Räumen wurde die Raumluft neben Ameisen- und Essigsäure auch auf Formaldehyd und Acetaldehyd untersucht.

4.2 Analyse

Die zur Ermittlung des Raumluftgehaltes an organischen Säuren durchgeführte Probenahme erfolgte in Anlehnung an die VDI 4300 - Blatt 1 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen“ und wurde nicht unter Nutzungsbedingungen durchgeführt. Nach einer intensiven Lüftung über 10-15 min wurde der zu beprobenden Räumlichkeit für einen Zeitraum von mindestens 8 Stunden keine Außenluft zugeführt. Die Fenster und die Innentüren waren bis zum Beginn der Probenahme geschlossen zu halten. Es waren möglichst nutzungsübliche raumklimatische Bedingungen zu schaffen. Bei Richtwert-Überschreitungen sind nach den Vorgaben der Innenraumkommission erneute Probeentnahmen unter „nutzungsüblichen Bedingungen“ durchzuführen. Hierbei wird dann „nutzungsüblich“ definiert als eine Querlüftung über 10 Minuten mit nachfolgender Verweilzeit von einer Stunde bei geschlossenen Fenstern und Türen und anschließender Probenahme (IRK 2014). Für die Probenahme wurde ein Silicagel-Sammler eingesetzt, da das bisher verwendete Verfahren nach DIB ISO 16000 für die Bestimmung der Ameisen- und Essigsäure zwischenzeitlich als ungeeignet eingestuft wurde.

5. Ergebnisse

Bei dem der Untersuchung zu Grunde liegenden Datensatz handelt es sich um ein Kollektiv von insgesamt 79 älteren Fertighäusern aus der Bauzeit von 1963 bis 2003. Die Messwerte sind in den Graphiken Abb. 4 und 5 der Größe nach sortiert.

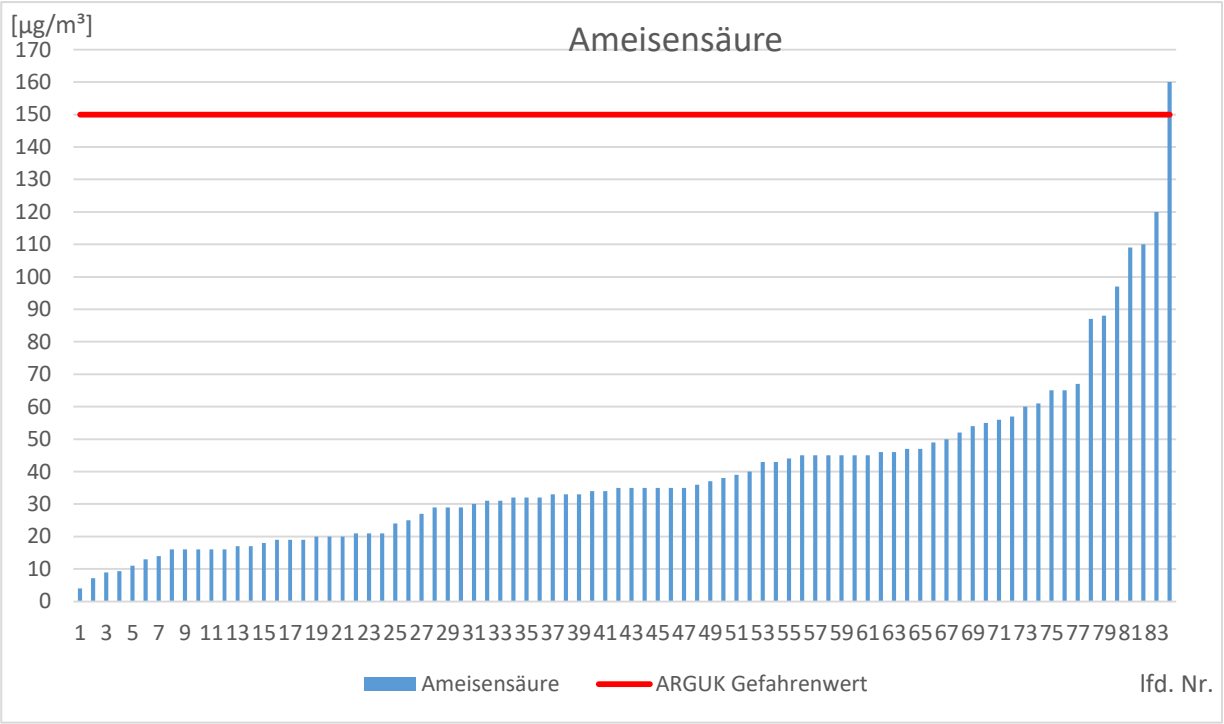

Abb. 4: Messwerte Ameisensäure in der Raumluft

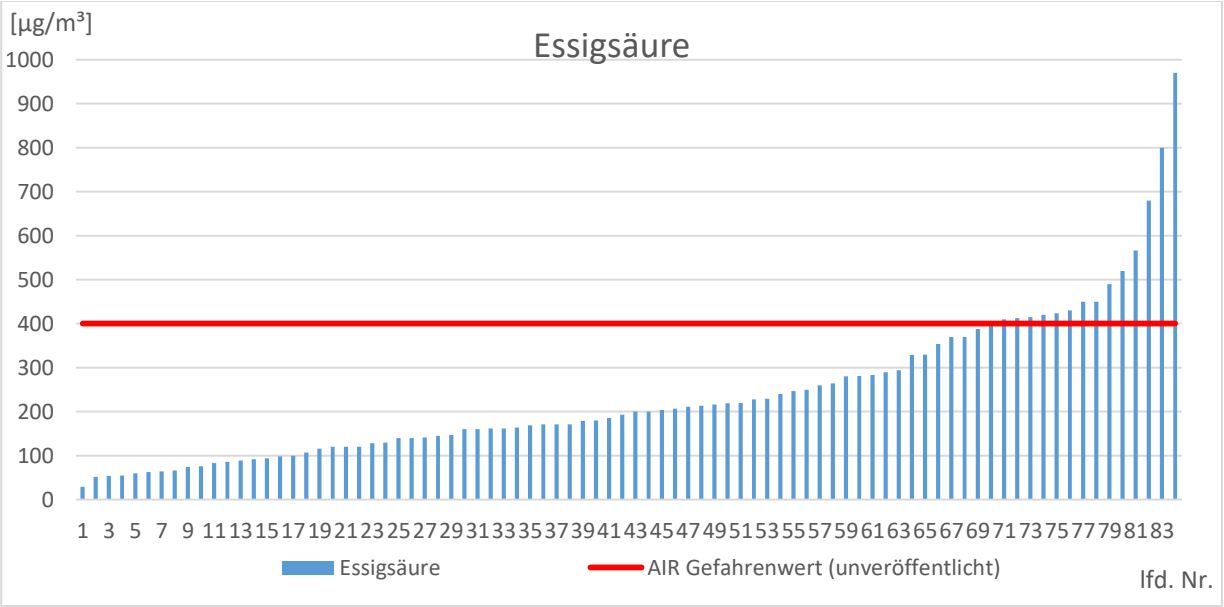

Abb. 5: Messwerte Essigsäure in der Raumluft

5.1 Deskriptive Statistik

Die erhobenen Messergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle deskriptiv dargestellt nach Perzentilwerten, Spannweiten und Lagemaßen. Hierbei wurden nur die Proben berücksichtigt, die bei Raumlufttemperaturen zwischen 16 und 26°C entnommen wurden, unabhängig vom Möblierungszustand.

Tab. 1: Deskriptive Statistik über alle Messwerte

	Ameisensäure [µg/m³]	Essigsäure [µg/m³]	Formaldehyd [µg/m³]	Acetaldehyd [µg/m³]
Probenanzahl (n)	83	83	83	83
25. Perzentil	21	120	53	13
50. Perzentil (=Median)	35	200	85	19
90. Perzentil	75	450	231	43
Mittelwert	42	243	112	24
Minimalwert	4	29	15	1
Maximalwert	197	970	450	122

Die statistische Auswertung (Tab. 1) zeigt für die Ameisensäure einen 50. Perzentil-Wert von 35 µg/m³ und ein 90. Perzentilwert von 75 µg/m³. Bei der Essigsäure liegt das 50. Perzentil bei 200 µg/m³ und das 90. Perzentil bei 450 µg/m³. Für die Gehalte der parallel gezogenen Raumluftproben zur Bestimmung von Formaldehyd und Acetaldehyd weisen die Formaldehyd-Konzentrationen ein 50. Perzentil von 85 µg/m³ und ein 90. Perzentil von 231 µg/m³ auf. Für Acetaldehyd liegt das 50. Perzentil bei 19 µg/m³ und das 90. Perzentil bei 43 µg/m³.

5.2 Konzentrationsverhältnis Essigsäure zu Ameisensäure

Wenngleich Ameisen- und Essigsäure vorwiegend aus der gleichen Quelle stammen können, so gibt es insbesondere für Essigsäure auch noch potenziell andere typischen Anwendungen. So kann es vor der Raumluftbeprobung zu einer haushaltsüblichen Reinigung unter Einsatz eines Essigreinigers oder auch zu Reparaturmaßnahmen durch Anbringen einer neuen Essigsäure-abspaltenden Silikonabdichtung gekommen sein. Hier kann ggfs. aus dem Konzentrations-Verhältnis von Essigsäure zu Ameisensäure ein Hinweis auf eine zusätzliche, eher gebäudematerial-unabhängige Quelle erhalten werden. Daher erscheint die Erfassung der Ameisensäure zwingend erforderlich.

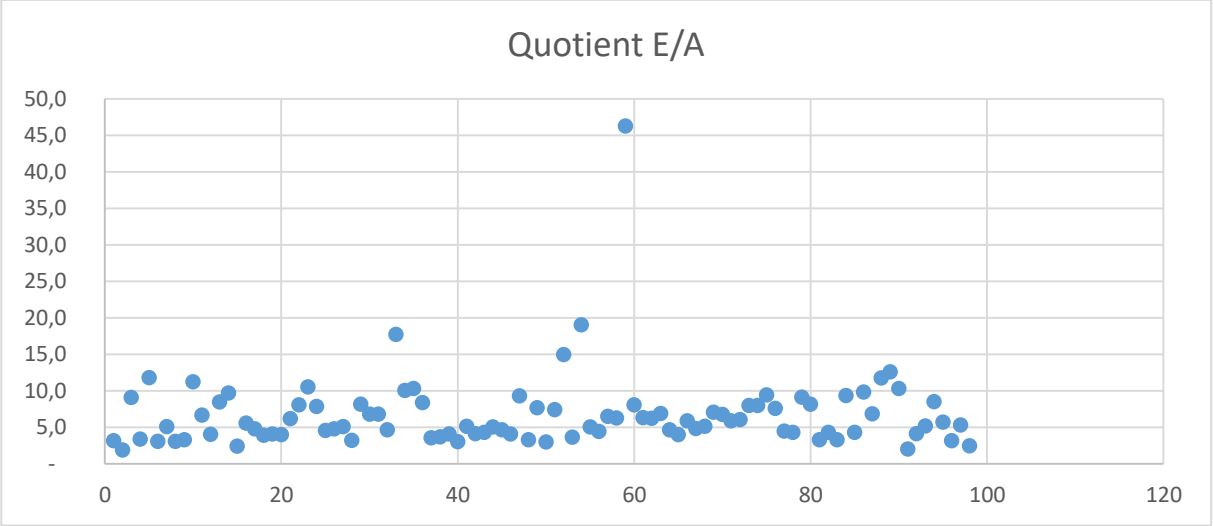

Abb. 6: Konzentrationsverhältnis Essigsäure zu Ameisensäure

Aus der Häufung der Punktwolke bei Quotienten kleiner 15 (Abb. 6) lässt sich eine Grenze zu einer auffälligen Abweichung ziehen.

5.3 Herstellungs-zeitlicher Verlauf der Raumluftkonzentrationen an Ameisen- und Essigsäure

Es stellt sich die Frage, ob sich im Laufe der betrachteten Zeitspanne der Gebäudeherstellung eine wesentliche Veränderung der Ameisen- und Essigsäure-Raumluftkonzentrationen eingestellt hat.

Die Sortierung der Essigsäurekonzentrationen über den beprobten Zeitraum der Gebäudeherstellung von 1963 bis 2003 zeigt die Abb. 7.

Für Ameisen- und Essigsäure lassen sich bezüglich der Altersabhängigkeit des Gebäudes keine Veränderung erkennen. Es kann in erster Näherung aus der Trendlinie abgeleitet werden, dass neuere Gebäude einer Herstellung ab 1980 keine erkennbar geringere Ameisen- und Essigsäure-Gehalte aufweisen wie solche aus den 1960er und 1970er Jahren.

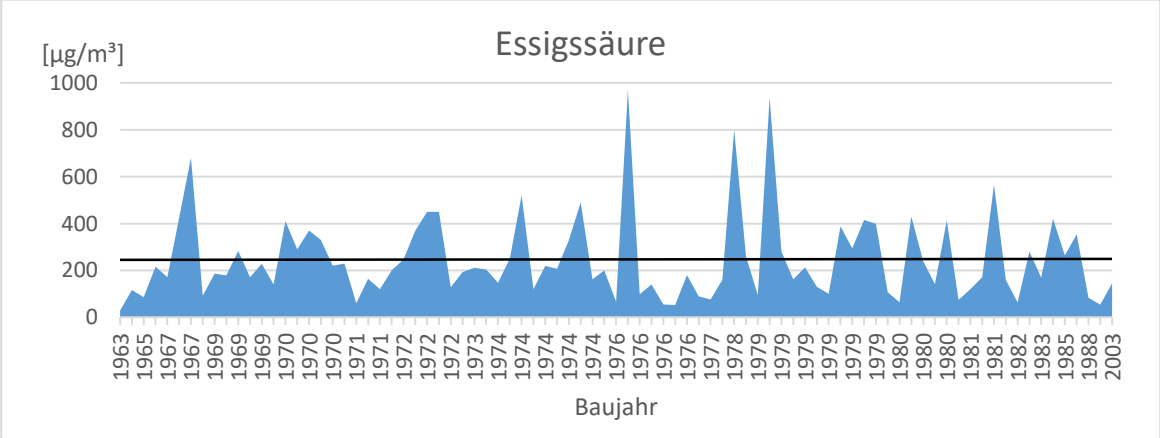

Abb. 7: Raumluftkonzentrationen an Essigsäure, sortiert nach Herstellungsjahr des Gebäudes mit Trendlinie

6. Diskussion

6.1 Ableitung von Beurteilungswerten

Für die Raumluftkonzentrationen an Ameisen- und Essigsäure im Innenraum existieren keine rechtsverbindlichen Grenz- oder Richtwerte. In einer Protokollnotiz der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte wird für die Essigsäure (Ethansäure) ein Gefahrenwert von 400 µg/m³ genannt (IRK 2011).

Der Richtwert I (Vorsorgerichtwert der ehemaligen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte) leitet sich unter Zufügung von Schätzfaktoren meist um den Faktor 1/10 unter dem Richtwert II (IRK 2012) ab. Da es sich beim Ameisen- und Essigsäure jedoch nicht um kanzerogene oder akut toxische Substanzen handelt, wird von uns für die Ableitung eines Vorsorgewertes nur der Divisor 4 zugrunde gelegt.

Ameisensäure stellt mit einem pKs-Wert von 3,77 eine zehnmal so starke Säure wie Essigsäure mit einem pKs-Wert von 4,76 dar. Nach der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe geht von der Ameisensäure ein mehr als zweimal so großes Gefährdungspotential aus. Während die Essigsäure

mit einem AGW (Arbeitsplatzgrenzwert) von 10 ppm (25 mg/m³) geführt wird, ist für die Ameisensäure ein AGW von 5 ppm (9,5 mg/m³) festgelegt. Folgt man dieser Gegebenheit so wäre ableitend aus dem Richtwert II für Essigsäure die Ameisensäure mit einem Gefahrenwert nach ARGUK von 152 µg/m³ zu versehen. Aus diesem Gefahrenwert wird unter Anwendung des Faktors ¼ der ARGUK-Vorsorgewert erhalten.

Tab. 2: ARGUK-Beurteilungswerte

	Ameisensäure [µg/m³]	**Essigsäure [µg/m³]**
„ARGUK-Vorsorgewert, nutzungsüblich“	40	100
„ARGUK-Gefahrenwert, nutzungsüblich“	150	
„AIR*-Gefahrenwert“		400

*AIR: Ausschuss für Innenraumrichtwerte (nach Umbenennung)

6.2 Raumluftbelastungen durch Ameisen- und Essigsäure

Für die Raumluftkonzentrationen der Ameisensäure wird für das untersuchte Kollektiv ein 90. Perzentil von 75 µg/m³ erhalten bei einem Medianwert von 35 µg/m³. Der Maximalwert wird zu 197 µg/m³ ermittelt. Deutlich höhere Raumluft-Gehalte zeigt die Essigsäure. Hier beträgt der 90. Perzentilwert 450 µg/m³ bei einem Median von 200 µg/m³. Der Maximalgehalt liegt bei 970 µg/m³.

Die Raumluftkonzentrationen an Ameisensäure liegen ganz überwiegend weit unter dem abgeleiteten ARGUK-Gefahrenwert von 150 µg/m³. Für eine Raumluftprobe mit dem Maximalwert von 197 µg/m³ wird dieser Gefahrenwert jedoch deutlich überschritten.

Der ARGUK-Vorsorgewert für Ameisensäure von 40 µg/m³ wird durch 37% der Raumluftproben überschritten.

Der ARGUK-Vorsorgewert für Essigsäure von 100 µg/m³ ist nach dem obengenannten Schema der Ableitung aus dem AIR-Gefahrenwert von 400 µg/m³ bei 82% der ermittelten Raumluftgehalte erreicht oder überschritten. Der Gefahrenwert wird von 17% der Raumluftproben überschritten mit einem Maximalwert von 970 µg/m³.

Bei den Überschreitungshäufigkeiten ist zu beachten, dass die ARGUK-Orientierungswerte für den nutzungsüblichen Lüftungszustand gelten, die Messwerte jedoch im ungelüfteten Zustand des Raumes ermittelt wurden.

In diesem Zusammenhang ist auf die aktuell große Verbreitung der Holzständerbauweise mit OSB-Platten hinzuweisen. Vereinzelt von uns durchgeführte Untersuchungen zu Raumluftgehalten von Ameisen- und Essigsäure zeigen, dass hier ein erhebliches Belastungsrisiko besteht. Konzentrationen an Essigsäure von über 400 µg/m³ und einer damit einher gehenden sensorischen und auch irritativen Belastung durch einen „Essiggeruch“ müssen als nicht ungewöhnlich angesehen werden. Die bezüglich des Aufkommens an Ameisen- und Essigsäure unkontrollierte Bauweise kann sich bereits heute als Sanierungsfall von morgen abzeichnen.

7. Fazit und Ausblick

Das Vorkommen von Ameisen- und Essigsäure in der Innenraumluft stellt einen zusätzlichen Bestandteil der typischen Schadstoffproblematik älterer Fertighäuser der siebziger und achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts dar, die bisher durch Emissionen von Formaldehyd, Holzschutzmittel und Chloranisole bekannt ist. Durch die mangelnden Emissionsregularien wie auch dem als ungeeignet zur Emissions- und Immissionsmessung der Essigsäure bisher verwendeten TENAX-Verfahren nach DIN ISO 16000 Bl. 6 zuzuschreibenden Missbefund konnte bisher das Belastungsausmaß durch die „Holzsäuren“ Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft nicht erkannt werden. Die vorliegende Studie zeigt auf Grundlage einer neu entwickelten Analytik das Ausmaß des Schadstoffaufkommens an diesen niederen Carbonsäuren.

Durch den Mangel an offiziellen Innenraumrichtwerten gestaltet sich die Bewertung von Raumluftkonzentrationen schwierig. Der unveröffentlichte Richtwert II des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR, nach Umbenennung) als Gefahrenwert für Essigsäure von 400 µg/m³ wurde aus einer Humanstudie abgeleitet, bei der die Irritation der Atemwege als Endpunkt der Exposition genommen wurde. Für die vorliegende Untersuchung wurde davon ausgehend ein vorläufiger Vorsorgewert für Essigsäure in der Raumluft von 100 µg/m³ angesetzt. Für die Ameisensäure leiten sich auf Grund der stärkeren Säurewirkung ein vorläufiger Vorsorgewert von 40 µg/m³ und ein vorläufiger Gefahrenwert von 150 µg/m³ ab.

In 17% der entnommenen Raumluftproben ist der AIR-Gefahrenwert für Essigsäure überschritten. Damit zählt die Essigsäure zu einem prioritären Schadstoff in älteren Fertighäusern.

Eine Entwicklung zu verringerten Ameisen- und Essigsäure-Raumluftkonzentrationen über die Herstellungsjahre der Gebäude bis in Mitte der 1980er Jahre hinweg lässt sich nicht attestieren. Es muss daher vorerst davon ausgegangen werden, dass auch neue und neueste Gebäude in Holzständerbauweise eine erhebliche Belastung der Raumluft durch Ameisen- und Essigsäure aufweisen. Dies gilt, wie vereinzelt vorliegende Befunde zeigen, in besonderem Maße für die breite Verwendung von OSB-Platten in der aktuellen Fertigungsweise. Es besteht der hinreichende Verdacht, dass Emissionsprüfungen am Holzwerkstoff wie auch Immissionsmessungen zur Gebäudeprüfung auf Grund eines bisher verwendeten Analyseverfahrens (TENAX) erhebliche Minderbefunde bis hin zur Unbrauchbarkeit der Messwerte geliefert haben. Die weitere Forschung zum Vorkommen der gesundheitlich relevanten Reizstoffe Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft und zu den emissionsbeeinflussenden Parametern sind zur Absenkung des Belastungsniveaus zwingend geboten.

Autoren:

Maraun, Wigbert, Dr., ARGUK-Umweltlabor GmbH, Labor für Innenraum-Diagnostik und Umweltanalytik, Krebsmühle 1, D-61440 Oberursel

Unger, Peter, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Labor für Innenraum-Diagnostik und Umweltanalytik, Krebsmühle 1, D-61440 Oberursel

Sänger, Stephan, Dr., ARGUK-Umweltlabor GmbH, Labor für Innenraum-Diagnostik und Umweltanalytik, Krebsmühle 1, D-61440 Oberursel

Literaturverzeichnis

BDF (2013): *Bundesverband Deutscher Fertigbau.* http://www.fertigbau.de/bdf/unsere-branche/daten-fakten/2013.html (Abruf 29.08.2016)

Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL et al. (2008): The health effects of non industrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, S. 585 - 591.

BfR (2006): Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, S. 1169 doi:10.1007/s00103-006-0081-x.

Brown SK, Sim MR, Abramson MJ, Gray CN (1994): Concentrations of Volatile Organic Compounds in Indoor Air - A review. *Indoor Air*, S. 123-134.

DFG (2015): *MAK- und BAT-Werte-Liste .* WILEY-VCH, Weinheim.

DIN ISO 4300, Blatt 1 (1995): Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Allgemeine Aspekte der Meßstrategie, Beuth-Verlag, Berlin

Gibson L, Watt C (2009): Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in Museum environments. *Corrosion Science*, S. 172-178.

Grütze D. (2007): *Bau-Lexikon.* Carl Hanser Verlag, München

Hein H, Kunze W (1994): *Umweltanalytik.* VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.

Hennecke U, Roffael E, Schneider T, Dix B (2005): Zur Abgabe von flüchtigen Säuren aus mitteldichen Faserplatten (MDF). *Holz als Roh- und Werkstoff*, S. 189-191.

IRK (2011): Ergebnisprotokoll der 43. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG am 5. und 6.04.2011

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/43_kurzprotokoll.pdf

(Abruf 23.08.2016)

IRK (2012): Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AGLMB (2012) Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas, Bundesgesundheitsbl 2012 · 55:279–290

IRK (2014): Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AGLMB: Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen); Bundesgesundheitsbl 2014 · 57:1002–1018

Körner W, Walker G (2016): Vorankündigung: Richtlinie VDI 4301 Blatt 7 - Messen von Carbonsäuren. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, S. 91.

Ohlmeyer M, Makowski M (2008): Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses : Teilvorhaben 2: Weiterführende Untersuchungen ; Abschlussbericht. Hamburg: vTI, Arbeitsber Inst Holztechnol Holzbiol 2008/01

Ohlmeyer M, Makowski M, Schöler M, Hasch J, Ulrich C (2006): Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses, Grundlagenuntersuchung. Hamburg: BFH, Arbeitsber Inst Holzphysik Mechan Technol Holzes 2006/1

Ohlmeyer M, Vagt J., Schöler M, Hasch J (2012): *Untersuchung über den Einfluss des Produktionsprozesses auf die Entstehung von VOC-Emissionen aus Mitteldichten Faserplatten (MDF). Arbeits*bericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, Johann Heinrich von Thünen - Institut 2012/4

Okal (2016): http://www.okal.de/ueber-uns-fertighaus-bauen/unternehmen, (Abruf 23.08.2016)

Prieto J, Kiene J (2007): *Holzbeschichtung: Chemie und Praxis.* Vincentz Network, Hannover.

Reichl F-X (2000): *Taschenatlas der Umweltmedizin.* Thieme, Stuttgart.

Roffael E (1989): Abgabe von flüchtigen organischen Säuren aus Holzspänen und Holzspanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, S. 447 - 452.

Roffael E, Behn C, Dix B (2010): Über die Abgabe von Ameisen- und Essigsäure aus Deck- und Mittelschichten von aus CTMP hergestellten mitteldichten Faserplatten (MDF). *European Journal of Wood Products*, S. 367–368.

RÖMPP (2006): *Essigsäure*. Abruf 16.02 2016

RÖMPP (2016): *Ameisensäure*. https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-01-01901 Abruf 16.02 2016

Sachs L (1999). *Angewandte Statistik.* Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Schieweck A, Salthammer T (2013): Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven: Raumluft, Baustoffe, Exponate. 2. vollständig überarbeitete Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Braunschweig

Scholz H (2012): Flüchtige organische Verbindungen. In: Zwiener G, Lange F-M, *Handbuch Gäbäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft* (S. 223 - 269). Erich Schmidt Verlag, Berlin

Stache A (2012): Schadstoffe in Fertighäusern. In: Zwiener G, Lange F-M, *Handbuch Gebäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft* (S. 805-818). Erich Schmidt Verlag, Berlin.

TRGS 905 (2014): *Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefärdender Stoffe.*

Wagenführ A, Scholz F (2012): *Taschenbuch der Holztechnik.* Carl Hanser Verlag, München.

WHO (2015): *IARC Monographs valuate DDT, lindane, and 2,4-D.* WHO.

Wiegner K, Hahn O, Horn W et al. (2012): Determination of formic an acetic acid emissions in indoor air from building products. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, S. 84-88.

Zwiener G, Mötzl H (2006): *Ökologisches Baustofflexikon.* Heidelberg: C.F. Müller Verlag, Hüthig, Heidelberg