

Forschungsbericht KLIMOPASS

Raumklima und Befindlichkeit/Wohnzufriedenheit in energetisch teilsanierten Wohnungen

VON G. Fischer

Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Mai 2013

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, Kai.Hoepker@lubw.bwl.de ;
AUFTRAGGEBER	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Forschungsprogramm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden- Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITUNG	Dr. Guido Fischer, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg Nordbahnhofstraße 135 70191 Stuttgart
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U50-W03-N12
STAND	Mai 2013, Internetausgabe Januar 2014

ZUSAMMENFASSUNG	4
1 EINLEITUNG	6
2 MATERIAL UND METHODEN	7
2.1 Vorarbeiten - Akquisition von Wohnungen	7
2.1.1 Schriftliche Ausarbeitung einer Projektskizze für die WBG	7
2.1.2 Projektpräsentation bei der VWG in Schwäbisch-Gmünd	8
2.1.3 Vor-Ort-Begehung von geeigneten Wohngebäuden der BImA	8
2.1.4 Vorstellung des Projektes bei der Landesbau-Genossenschaft e.G. (LBG)	8
2.1.5 Akquisition von WBG über den vbw	8
2.1.6 Allgemeine Aspekte der Akquisition bei WBG	9
2.2 Chronologie des Projektverlaufs:	9
2.3 Erarbeitung des Fragebogens zur Wohnzufriedenheit	9
2.4 Untersuchungszeitraum	10
2.5 Untersuchungsobjekte	10
2.6 Statistische Auswertung	10
2.7 Apparative Analytik	10
3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	11
3.1 Auswertung der Wohnungsfragebögen in Verbindung mit den Begehungsprotokollen	11
3.1.1 Beschreibung des Kollektivs und Vergleichbarkeit der Wohnungen	11
3.1.2 Inzidenz von Feuchtigkeit und Schimmel in der Wohnung	12
3.1.3 Bewertung der Sanierungsmaßnahme und Wohnzufriedenheit	12
3.1.4 Raum- und Wandtemperaturen	14
3.2 Auswertung der Fragebögen zu Raumklima, Wohnzufriedenheit und Gesundheit (Gesundheitsfragebögen)	15
3.3 Auswertung des Lüftungsverhaltens (Datenlogger Temperatur und relative Feuchte)	16
3.4 Partikelsammlung/Feinstaubmessung	17
3.5 Bestimmung der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft	18
3.6 Bestimmung der VOC / TVOC-Konzentrationen mittels Passivsammler	20
3.7 Bestimmung der Aldehyd-Konzentrationen mittels Passivsammler	21
LITERATUR:	24

Zusammenfassung

Schimmelpilz-Exposition

Unterschiede im Pilzspektrum zwischen *energetisch sanierten* und *nicht-sanierten* Wohnungen wurden in Bezug auf die häufigsten Arten nicht festgestellt, ebenso nicht beim Vergleich von *gut* und *schlecht* gelüfteten Wohnungen. In den meisten Wohnungen wurden typische Innenraum-Schimmelpilze in niedrigen Konzentrationen nachgewiesen. Die Konzentrationen lagen meist im Bereich der bisher publizierten Hintergrundwerte für Wohnungen ohne Feuchteschaden (vgl. Schimmelpilz-Leitfaden LGA). In einer Reihe von Fällen konnte allerdings die Dominanz von bestimmten Pilzarten (extrem trockenheitsliebende Arten bei geringen Luftfeuchten, Lebensmittel-bürtige Arten von Zitrusfrüchten, Bioabfallsammlung über 2-3 Tage in der Wohnung) mit den Nutzungsgewohnheiten der Bewohner begründet werden.

Die Durchschnittstemperatur lag in den energetisch sanierten Wohnungen fast 2°C über der in den unsanierten Wohnungen. Bei den Begehungen der Wohnungen war bereits aufgefallen, dass in vielen sanierten Wohnungen höhere Raumtemperaturen herrschen als in unsanierten Wohnungen. Es scheint sich also ein Trend zu wärmeren Wohnungen abzuzeichnen (vgl. Frankfurt-Studie). Dies könnte sich möglicherweise langfristig auf das Spektrum von Pilzen und ggf. auf die Besiedlung/Akkumulation von eher wärmeliebenden Schimmelpilzen im Innenraum auswirken.

Feinstaub-Exposition

Die Partikelmessungen der Feinstäube zeigten, dass im Innenraum ca. 30% der Konzentration der Außenluft vorkommen. In Neubauten waren die Feinstaub-Partikelkonzentrationen im Mittel und Median tendenziell höher als in Altbauten und energetisch sanierten Gebäuden. Deutliche Unterschiede zeigten sich zwischen Raucher- und Nichtraucher-Wohnungen, wobei in Raucherwohnungen im Innenraum teils mit höheren Konzentrationen als in der Außenluft zu rechnen ist. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Wohnungstypen ergaben sich nicht aufgrund der Kurzmessungen, die zu Beginn jeder Probenahme durchgeführt wurden. Auch zwischen *gut* und *schlecht* gelüftet konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

TVOC-Konzentrationen

Die Mittelwerte der TVOC-Konzentrationen (Summenparameter für flüchtige organische Verbindungen, engl. „total volatile organic compounds“) bei den drei Wohnungs-Typen unterschieden sich nur wenig. Bei Betrachtung der Standardabweichung zeigt sich, dass diese Unterschiede nicht signifikant sind. Im Neubau waren die TVOC-Konzentrationen mit 479 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ etwas höher als in den Altbauten (387 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und den energetisch sanierten Wohnungen (378 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ein deutlicherer Unterschied ergab sich beim Vergleich der „gut“ gelüfteten (351 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mit den „schlecht“ gelüfteten Wohnungen (\cong 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Legt man den Seifert'schen Zielwert für TVOC (200 - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Innenraum bei der Bewertung zu Grunde (Seifert 1999), so liegt der Mittelwert der „gut“ gelüfteten Wohnungen 50 - 150 μg darüber. Der Mittelwert der „schlecht“ gelüfteten Wohnungen überschreitet den Wert um mehr als das Doppelte. Ab der Konzentration von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sind Reizungen oder Beeinträchtigungen des Wohlbefindens möglich, wenn Wechselwirkungen mit anderen Faktoren gegeben sind (Môlhavé, 1991).

In Bezug auf TVOC-Konzentrationen wird die hygienische Situation in den untersuchten Wohnungen in erster Linie durch das Lüftungsverhalten der Bewohner beeinflusst und

weniger durch die baulichen Aspekte der Gebäudehülle (energetische Sanierung, Neubau). Allerdings war in den Neubauten die mittlere TVOC-Konzentration gegenüber den Altbauten und den energetisch sanierten Wohnungen etwas erhöht. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass in den Neubauten auch die Innenräume mit relativ neuen Baumaterialien ausgestattet waren (Fußböden, Wandfarbe, 2 Jahre nach Errichtung), was bei den energetisch sanierten Wohnungen meist nicht der Fall war. Hieraus müssen für die Problemdiskussion in der Praxis entsprechende Schlüsse gezogen werden:

Schlussfolgerungen für das Lüftungsregime in gedämmten Wohnungen

1. Eine Fensterlüftung sollte in Häusern/Wohnungen, die nach neuen Dämmstandards errichtet wurden, nur dort angewandt werden, wo die Bewohner diese verlässlich leisten können (vgl. DIN 1946 Bl. 6 Lüftungskonzept). Es zeigte sich, dass bei Rentnern/Innen meist für eine ausreichende Lüftung in den Wohnungen gesorgt ist.
2. Ist die Umsetzung der Anforderung (2-3 mal Lüften / Tag) nicht möglich (z.B. bei Berufstätigen, die Vollzeit arbeiten) sollte eine Zwangsbelüftung mit Wärmerückgewinnung eingebaut werden.
3. Eine Alternative wäre generell festzuschreiben, dass der Wohnbestand in Mehrfamilienhäusern im Zuge von energetischen Sanierungen mit Zwangsbelüftung auszustatten ist. Dies wäre insbesondere bei kleineren Wohneinheiten von 70 - 80 m³ und bei einer Belegung dieser Wohnungen mit 2-3 Personen erforderlich, da dann der umbaute Raum wenig/keine Pufferkapazität für Feuchte oder VOC-Emissionen aus Bauprodukten bietet.

1 Einleitung

In vielen Wohnungen aus den 50er, 60er und 70er Jahren wurden in den 80 und 90er Jahren im Rahmen von Wärmeschutz- und Energieeinsparprogrammen neue Fenster eingebaut, die nicht nur weniger Wärme nach außen ableiten sondern auch dichter schließen. Die Folge ist häufig eine reduzierte Hintergrundlüftung, die durch vermehrtes Lüften ausgeglichen werden muss. Geschieht dies nicht, schlägt sich die überschüssige Luftfeuchte in der kühlen Jahreszeit nicht mehr an den Fensterscheiben sondern an kühlen Wandbereichen, meist in Ecken (geometrische Wärmebrücken) nieder. Sofern zusätzlich organische Materialien (Tapete, Kleister, Dispersionsfarbe) auf der Wand zur Verfügung stehen, kommt es zu Schimmelpilzwachstum.

Die energetische Sanierung der Wohnungen durch Dämmmaßnahmen kann dem Schimmelpilzwachstum im Innenraum vorbeugen, indem Wärmebrücken reduziert werden. Die bei Feuchteschäden auftretenden Schimmelpilze (Feuchteindikatoren nach LGA Schimmelpilzleitfaden) kommen in der natürlichen Außenluft nicht so häufig vor. Daher kann man am Spektrum der Schimmelpilze in der Luft häufig erkennen, ob feuchtebedingtes Schimmelpilzwachstum vorliegt.

Das vorliegende Projekt soll Erkenntnisse darüber liefern, ob das Spektrum der Schimmelpilze nach der energetischen Sanierung verändert ist und welche Folgen sich daraus ggf. für die Innenraumhygiene ergeben. Eine individuelle medizinische Bewertung möglicher Unterschiede im Schimmelpilzspektrum ist aufgrund fehlender wissenschaftlicher Daten zu Dosis-Wirkungsbeziehungen bei der Entwicklung allergischer oder irritativer Erkrankungen bisher nicht möglich.

Bei den chemischen Noxen wird durch die reduzierte Hintergrundlüftung eine Zunahme der Konzentration von VOC und Aldehyden erwartet, die allerdings individualmedizinisch (für die jeweiligen Mieter) ebenfalls nicht oder nur ansatzweise bewertet werden kann, weil wirkungsbezogene Grenzwerte fehlen oder diese aus individualmedizinischer Sicht wenig belastbar sind.

Dennoch liefert die vorliegende Studie interessante Daten zur Entwicklung der künftigen Expositionsverhältnisse in Wohnungen in Baden-Württemberg, die im Hinblick auf Sanierungsmaßnahmen von Bedeutung sind. Zudem können die Daten in Zusammenschau mit den Ergebnissen der Befragung erste Hinweise auf die Entwicklung der Wohnzufriedenheit geben.

2 Material und Methoden

Das Projekt ist sowohl für die Beratungspraxis des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD) als auch für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz der Bewohner/Bevölkerung von großer Bedeutung, da in einem Pilotprojekt für Baden-Württemberg Messdaten zu Veränderungen der hygienischen Situation in Wohnungen im Zusammenhang mit energetischen Sanierungen erhoben werden. Die Ergebnisse können für die Ausführung von energetischen Sanierungen von Wohnraum in der Zukunft richtungsweisend sein. Die Häufigkeit von Anfragen an das LGA zum Thema „Schimmelpilze im Innenraum“ (Fachberatung) ist sehr hoch und zeigt den deutlichen Aufklärungs- und Beratungsbedarf in der Bevölkerung.

2.1 VORARBEITEN - AKQUISITION VON WOHNUNGEN

Zu Beginn des Jahres 2011 wurden zunächst Anfragen an verschiedene Wohnungsbaugesellschaften (WBG) durchgeführt, ob eine Bereitschaft besteht mit dem LGA zu kooperieren und einen Zugang zu Wohnungen der Mieter zu ermöglichen. Entscheidende Voraussetzungen für die Aufnahme von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern in das vorliegende Untersuchungsprogramm waren:

1. Baugleiche Mehrfamilienhäuser, die teils saniert und teils unsaniert sind, müssen im Bestand der WBG vorhanden sein;
2. Die Sanierung der Wohneinheiten sollte mindestens $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Jahr zurückliegen, damit der Einfluss der VOC, die aus neu eingebauten Baumaterialien ausgasen, nicht zu groß ist.

Mit den folgenden WBG wurden Gespräche geführt; die WBG gaben verschiedene Gründe an, weshalb sie nicht mit dem LGA kooperieren wollten:

- Vereinigte Gmünder Wohnungsbaugesellschaft (VWG Schwäbisch-Gmünd)
- Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA, Freiburg)
- Landesbau-Genossenschaft e.G. (LBG)
- über den Verband baden-württembergischer Wohnungs- und Immobilienunternehmer e.V. (vbw) erfolgte eine Anfrage an die angeschlossenen WBG

Die Stuttgart Wohnungs- und Städtebaugesellschaft (SWSG) war an einer Kooperation grundsätzlich interessiert, wollte aber aus organisatorischen Gründen erst in 2013/14 teilnehmen.

Die Baugenossenschaft Esslingen zeigte von Beginn an Interesse am Projekt und erklärte sich zur Kooperation bereit. Eine erste Akquisition von Wohnungen erbrachte 22 Teilnehmer, wobei die Probenahmen im Januar/Februar 2012 durchgeführt werden sollten. Da die Zahl der Wohnungen nicht ausreichend war, wurde die Akquisition fortgesetzt, diese zweite Akquisition ergab dann ca. 50 Wohnungen.

2.1.1 SCHRIFTLICHE AUSARBEITUNG EINER PROJEKTSKIZZE FÜR DIE WBG

Zur Erläuterung des Projektes wurde eine verkürzte Projektskizze für die Entscheidungsträger der WBG erstellt.

2.1.2 PROJEKTPRÄSENTATION BEI DER VWG IN SCHWÄBISCH-GMÜND

Die Vereinigte Gmünder Wohnungsbaugesellschaft (Schwäbisch-Gmünd) hatte sich ursprünglich zur Zusammenarbeit mit dem Landesgesundheitsamt (LGA) bereiterklärt. Am 20.4.2011 fand in Schwäbisch-Gmünd eine Präsentation des Projektes für den Vorstand der VWG statt. Es wurde vereinbart, dass den Mietern ein Schreiben zugesandt wird, in dem das Projekt und die Mitwirkung durch die Mieter allgemeinverständlich erläutert wird. Die WBG beabsichtigte ihrerseits ein Begleitschreiben an die Mieter beizulegen. Zusätzlich sollte nach Zustimmung der Mieter ein persönliches Gespräch mit dem Projektleiter stattfinden. Die Kommunikation mit der VWG lief auf ausdrücklichen Wunsch über den damaligen Kooperationspartner, Herrn Dr. Volland, von der MPA Stuttgart (Materialprüfungsanstalt). Entgegen der ursprünglichen Absichtserklärung wurde dann im Mai 2011 mitgeteilt, dass der neue Vorstand der VWG nicht im Projekt kooperieren möchte.

2.1.3 VOR-ORT-BEGEHUNG VON GEEIGNETEN WOHNGEBÄUDEN DER BIMA

Am 16.02.2011 (9.00 - 12.00 Uhr) wurden im Rahmen eines Ortstermins mehrere Wohneinheiten eines Mehrfamilienhauses in Stuttgart-Roth, Ödheimerstr. 6-10, besichtigt. Der Termin diente der Gebäudeaufnahme und Thermographie zur Vorbereitung und Planung der Sanierungsmaßnahmen.

Beteiligte Personen: Dr. A. Tausendpfund (Sondierungsgespräche), Frau E. Gouin (Wohngebäude Kyllenberg), Frau S. Lieseberg (Wohngebäude S.-Roth), Frau Mutscheller (Wohngebäude S.-Steinhaldenfeld), Herren Dipl.-Ing. (FH) K.-P. und E. Möhrle, BAFA-Energieberater). Die „Sondierungsgespräche“ mit der BlmA wurden dadurch verzögert, dass der Verhandlungspartner die WBG im Mai verlassen hatte und die Sondierungsgespräche mit der Nachfolgerin/Vertreterin wieder aufgenommen werden mussten.

Schließlich teilte die BlmA auf Anfrage durch das LGA (Dr. Fischer) im Juni 2011 mit, dass man im Projekt nicht kooperieren wolle, weil vorgesehen sei, dass die BlmA zu Beginn des Jahres 2012 Ihre Wohnungsverwaltung an eine andere Gesellschaft abgeben wolle.

2.1.4 VORSTELLUNG DES PROJEKTES BEI DER LANDESBAU-GENOSSENSCHAFT E.G. (LBG)

Das Projekt wurde am 02.02.2011 im Rahmen der „Mietersprechstunde“ bei der LBG vorgestellt, deren Gebäude in unmittelbarer Nähe zum LGA im Bereich Nordbahnhofstraße liegen. Bei diesem Sondierungsgespräch wurde relativ schnell deutlich, dass die zur LBG gehörenden Mehrfamilienhäuser nicht den Kriterien unter 3.2.1 genügen würden, weil keines der Objekte bisher energetisch saniert wurde.

2.1.5 AKQUISITION VON WBG ÜBER DEN VBW

Der Verband baden-württembergischer Wohnungs- und Immobilienunternehmer e.V. (vbw) ist im Netzwerk Schimmelpilzberatung am LGA vertreten. Dieses Netzwerk besteht aus Fachvertretern verschiedener Handwerksverbände, Vertretern der Mieter- und Vermieter-Verbände, Vertretern von Berufsverbänden des Sachverständigenwesens und Vertretern des öffentlichen Gesundheitswesens. Im Netzwerk werden in regelmäßigen Arbeitstreffen Leitlinien und Empfehlungen zum Thema Schimmelpilze im Innenraum erstellt und über das LGA veröffentlicht. Eine Vertreterin des vbw (Frau Dipl. Betr. Wirtin N. Yetim) hatte sich bereiterklärt, bei der Akquisition von WBG mitzuwirken. Ein Kooperationspartner konnte über diesen Weg nicht akquiriert werden.

2.1.6 ALLGEMEINE ASPEKTE DER AKQUISITION BEI WBG

Der Projektleiter hat im Rahmen der Sondierungsgespräche mit den WBG deutlich gemacht, dass die Teilnahme an bzw. die Kooperation mit dem LGA Daten liefert, die die Bemühungen der WBG im Hinblick auf eine Verbesserung bzw. Kontrolle der Wohnverhältnisse für die Mieter unterstützen kann.

Trotz dieses Vorteils befürchteten manche WBG, dass alleine die Erwähnung der Schimmelpilzproblematik schon eine Sensibilisierung und damit Unzufriedenheit der Mieter auslösen oder das Thema erst recht problematisiert werden könnte.

2.2 CHRONOLOGIE DES PROJEKTVERLAUFS:

- 08.12.2010: Zwischeninformation zu Projektratsentscheidungen positiv [ID K2-07]; der voraussichtliche Projektbeginn soll der 01.02.2011 sein
- 10.02.2011: Unterschrift des Werkvertrages durch den Leiter des LGA (Prof. Dr. med. Dipl. Biol. Schmolz)
- 20.04.2011: Vorstellung des vorliegenden Projektes (Vortrag: Dr. B. Link und Dr. G. Fischer)
- 20.05.2011: Unterschrift des Forschungsvertrages (ersetzt den Werkvertrag) durch den Leiter des LGA
- 08.05.2011: Erstellung des 1. Zwischenberichts
- 28.10.2011: Mitteilung über die 1. Akquisition der Baugenossenschaft Esslingen und Konzeptänderung (Winterhalbjahr, 40 Wohnungen), sowie Angebot der Baugenossenschaft Esslingen über Messungen im Januar/Februar 2012
- 08.01.2012: Verlängerungsantrag zum Projekt über Herrn Dr. Bauerdick (Sozialministerium) mit kurzem Zwischenbericht zur Akquisition von Wohnungen; Die Baugenossenschaft Esslingen hat für Januar/Februar 2012 22 Mieter für eine Teilnahme gewonnen.
- 23.05.2012: Bewilligung des Verlängerungsantrages, Fortsetzung des Projektes bis 31.03.2013
- 09 / 2012: Vereinbarung der Messtermine bei den Mietern der Baugenossenschaft Esslingen im Zeitraum von November 2012 bis März 2013

2.3 ERARBEITUNG DES FRAGEBOGENS ZUR WOHNZUFRIEDENHEIT

Es wurden zwei Fragebögen ausgearbeitet, ein Fragebogen zur Befindlichkeit/Wohnzufriedenheit der Bewohner, der zweite Fragebogen zur Beschreibung der Wohnungen und der Ausstattung. Die Fragebögen wurden vor-Ort im „Interview-Stil“ ausgefüllt. Die zu erstellenden Fragebögen basieren auf den Fragebögen des LGA, die in den bisher durchgeführten Studien zum Gesundheitsmonitoring (BeobGa-Projekt) verwandt wurden. Desweiteren werden Fragebögen der WHO aus Innenraumstudien berücksichtigt, sowie ein Fragebogen der Umweltmedizinischen Ambulanz des Universitätsklinikums Aachen einbezogen. Da es sich um eine Pilotstudie handelt und die Zahl der Untersuchungsobjekte (Wohnungen) recht klein war, ist eine statistische Auswertung nur begrenzt aussagekräftig. Daher wird sich der Fragebogen auf ausgewählte Aspekte der Wohnzufriedenheit/Befindlichkeit beschränken (max. 4 - 6 Seiten).

2.4 UNTERSUCHUNGSZEITRAUM

Nach einer ersten Akquisitionsphase durch die Baugenossenschaft Esslingen konnten im Sommer 2011 nur 22 Wohnungen für eine Untersuchung gewonnen werden. Die Durchführung der Messungen wurde daher nicht im Winterhalbjahr 2011/12 durchgeführt, sondern auf Winter 2012/13 verschoben. Die bis dahin gewonnen Mieter wurden schriftlich informiert, dass die Akquisition in 2012 fortgesetzt und die Untersuchung auf den Winter 2012 verschoben werden sollten. Bis Oktober 2012 waren dann von der Baugenossenschaft Esslingen zunächst 50 Wohnungen akquiriert worden, so dass im Oktober 2012 seitens des LGA Messtermine mit den Mietern vereinbart werden konnten und ab Anfang November Messungen in den Wohnungen durchgeführt werden konnten.

Die Begehungen und Messungen in den Wohnungen wurden von November 2012 bis Anfang März 2013 durchgeführt. Die Messungen wurden dienstags und donnerstags jeweils vormittags von 9:00 bis 12:00 Uhr, sowie nachmittags zwischen 13:00 und 16:00 Uhr durchgeführt. Damit konnten jede Woche 4 Wohnungen beprobt werden.

2.5 UNTERSUCHUNGSOBJEKTE

Die Messungen wurden in 45 Wohnungen in Mehrfamilienhäusern durchgeführt, die in drei Kategorien eingeteilt werden: 15 Wohnungen waren nicht gedämmt („Altbau“, drei waren vor 1950, 12 zwischen 1950 und 1980 erbaut worden), 15 Wohnungen waren nach 2000 energetisch saniert worden (saniert, Baujahr 1950 bis 1980), 15 Wohnungen waren in Neubauten mit einem Dämmstandard nach 2005. 42 Wohnungen stammten aus dem Bestand der Baugenossenschaft Esslingen. Zusätzlich wurde ein Einfamilienhaus, eine Doppelhaushälfte und eine Mietwohnung in einem Mehrfamilienhaus in die Studie aufgenommen, die nicht zur Baugenossenschaft Esslingen gehörten. Es sollte festgestellt werden, inwieweit sich die Messergebnisse aus diesen Einzelobjekten verschiedener Bauarten in die Ergebnisse der oben genannten drei Gruppen von Wohnungen einordnen lassen.

2.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistische Auswertung der Fragebögen und Messergebnisse wurde mit Hilfe des Programms Epi Info durchgeführt.

2.7 APPARATIVE ANALYTIK

Die mikrobiologischen Untersuchungen wurden mit Luftkeimsammlern des Typs Merck Air Sampler (MAS 100) nach den QM-Standards des LGA und nach VDI 4300 Blatt 10 durchgeführt. Die Partikelmessungen wurden mit Laser Aerosolspektrometern der Firma Grimm Modell 1.108 durchgeführt. Die VOC und Aldehyd-Messungen wurden im Unterauftrag von der Firma SGS-Fresenius in Dresden nach EN ISO 16000-6 bzw. ISO 16017-2 mit Tenax TA und EN ISO 16000-4 mit UMEx 100 Sammlern (Passivsammlungen) durchgeführt. Temperatur- und Feuchte-Messungen erfolgten mit Datenloggern Testostor 175 der Firma Testo. Wandtemperaturen wurden mit einem Infrarot-Thermometer Testo Quicktemp 860 T1 und CO₂-Gehalt und Raum-Temperatur mit einem Testo 950 gemessen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 AUSWERTUNG DER WOHNUNGSFRAGEBÖGEN IN VERBINDUNG MIT DEN BEGEGNUNGSPROTOKOLLEN

3.1.1 BESCHREIBUNG DES KOLLEKTIVS UND VERGLEICHBARKEIT DER WOHNUNGEN

Der Median der Wohnungsgröße lag zwischen 71 und 75 m² (Tabelle 1) und unterschied sich damit nicht wesentlich bei den drei untersuchten Wohnungstypen (ungedämmter Altbau, energetisch saniert, Neubau). Die durchschnittliche Wohnfläche je Mietwohnung liegt bei 75 m², die untersuchten Wohnungen entsprechen damit von der Größe dem Landesdurchschnitt (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Artikel-Nr. 3715 02001, 12.09.2003). Die meisten Wohnungen wurden von 1 bis 2 Personen bewohnt, nur vier Wohnungen (3 im Neubau) wurden von 3 und zwei Wohnungen von 4 Personen bewohnt. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Person betrug damit 48 m² (Mittelwert) bzw. 40 m² (Median); der Durchschnitt lag im Jahr 2011 in Baden-Württemberg bei 43 m² je Person. Das mittlere Alter der Bewohner lag zwischen 54 Jahren (ungedämmter Altbau) und 64 Jahren (energetisch saniert) und ist damit zwar relativ hoch aber auch gut vergleichbar. Der Anteil der Rentner in der Studie war recht hoch, was u.a. durch den Probenahme-Zeitraum (wochentags, tagsüber) bedingt war.

Die energetisch sanierten und die Neubauwohnungen waren im Bad alle mit Lüftungssystemen ausgestattet, die eine permanente Hintergrundlüftung gewährleisteten. Die Angaben der Bewohner hierzu waren in den Fragebögen allerdings häufig widersprüchlich, weil viele Bewohner mit der Funktion der Lüftungssysteme nicht vertraut waren. In der Regel (wenn nicht durch die Mieter an der Sicherung manipuliert!) liefen die Lüfter auf geringer Leistung, so dass sie akustisch nicht wahrzunehmen waren. Eine erhöhte Lüftungsleistung war mit dem Anschalten der Raumbeleuchtung gekoppelt.

In unsanierten Altbauten war in der Regel keine Lüftungsanlage vorhanden, nur teilweise war eine passive Lüftung vorhanden.

Tabelle 1: Daten zum Wohnungskollektiv und der Vergleichbarkeit

	Ungedämmte Wohnungen (n=15)	Energ. sanierte Wohnungen (n=15)	Neubau-Wohnungen (n=15)
Wohnungsgröße (Median)	75 m ²	71 m ²	70 m ²
1 Bewohner	6 W.	5 W.	5 W.
2 Bewohner	8 W.	8 W.	7 W.
3 Bewohner	0 W.	1 W.	3 W.
4 Bewohner	1 W.	1 W.	0 W.
Wohnfläche pro Person (Median)	39,5 m ²	42,5 m ²	37,5 m ²
Anzahl Fragebögen	22	24	24
Mittleres Alter der Bewohner mit FB	54 J	64 J	57 J
Heizung	Fern-/Zentral-heizung	Fern-/Zentral-heizung	Fern-/Zentral-heizung
Wohnungen mit Lüftung (Bad/WC)	5 (33 %)	11 (73 %)	14 (93 %)

3.1.2 INZIDENZ VON FEUCHTIGKEIT UND SCHIMMEL IN DER WOHNUNG

Probleme mit Feuchtigkeit gaben 47% der Bewohner in nicht sanierten Wohnungen an, lediglich 7% der Bewohner in energetisch sanierten Gebäuden und immerhin 33% der Bewohner in Neubauten. In den meisten Fällen handelte es sich dabei um Kondensation an der Fensterinnenfläche (Neubauten) oder Kondenswasser zwischen den Scheiben des Doppelglasfensters (bei unsanierten Altbauten). Das Auftreten von Kondenswasser an den schlecht isolierten Fenstern bedeutet nicht gleichzeitig feuchtebedingtes Schimmelpilzwachstum in der Wohnung.

Schimmelpilzwachstum an den Wänden wurde nur in Einzelfällen in geringem Ausmaß berichtet. Eine befallene Fläche in der Größe zwischen einer Postkarte und einer aufgeschlagenen Zeitung wurde in 3 ungedämmten Wohnungen (20%) und in einer energetisch sanierten Wohnung (7 %) angegeben; Schimmelpilzbefall mit einer Fläche größer als eine Zeitung wurde in keinem Fall berichtet. Es ist daher nicht davon auszugehen, dass typische Feuchteindikatoren in einer der untersuchten Wohnungen in erhöhten Konzentrationen nachzuweisen sind. *A. versicolor* der wichtigste Feuchtezeiger im Innenraum wurde nur in einer Wohnung (Nr. 45) als häufigste Art (allerdings in niedriger Konzentration!) nachgewiesen; abgesehen davon trat die Art in 7 Wohnungen als zweit- oder dritthäufigste Art auf. Die Konzentrationen lagen überall deutlich unter dem Referenzwert (Hintergrundwert) für unbelastete Wohnungen.

Fazit:

Feuchtebedingtes Schimmelpilzwachstum war nur in wenigen Wohnungen als Problem angegeben worden. In diesen wenigen Fällen hatte eine Sanierung bereits stattgefunden, so dass der Einfluss von feuchtebedingtem Schimmelpilzwachstum beim vorliegenden Wohnungskollektiv zu vernachlässigen war. Das Kollektiv bot daher gute Voraussetzungen den Einfluss des Sanierungsstatus (energetisch saniert versus nicht-saniert) auf das Schimmelpilzspektrum in der Wohnung zu untersuchen.

3.1.3 BEWERTUNG DER SANIERUNGSMAßNAHME UND WOHNZUFRIEDENHEIT

Die energetische Sanierung wurde von keinem der Befragten negativ bewertet (Tabelle 2: Spalte „schlechter, mehr Probleme“), die Mehrzahl der Befragten (80%) sahen nach der energetischen Sanierung keine Veränderung bzgl. der Feuchtigkeit und der Schimmelpilzproblematik. (Auch diese Zahlen belegen, dass es sich bei den untersuchten Wohnungen nicht um Wohnungen mit Schimmelpilzproblemen handelte.) Keine Veränderung der Luftqualität gaben 86% an und 67% der Befragten hatten weniger Probleme mit Zugluft nach der Sanierung (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bewertung der Sanierungsmaßnahme durch die Bewohner

	besser, weniger Probleme	schlechter, mehr Probleme	Keine Veränderung
Wärmedämmung	67 % (n = 10)	0 %	33 % (n = 5)
Feuchtigkeit	20 % (n = 3)	0 %	80 % (n = 12)
Schimmel	20 % (n = 3)	0 %	80 % (n = 12)
Luftqualität	7 % (n = 1)	7 % (n = 1)	86 % (n = 13)
Zugluft	67 % (n = 10)	0 %	33 % (n = 5)

73 % der Bewohner in ungedämmten Wohnungen gaben ihre Wohnzufriedenheit (Abb. 1) mit „gut“ an. In energetisch sanierten Wohnungen kamen 63% zu dieser Bewertung, allerdings lag hier der Anteil der „sehr guten“ Bewertungen um 16% höher. In den Neubau-Wohnungen wurde die Wohnzufriedenheit von fast 46% der Befragten mit „sehr gut“ angegeben, 50% bewerteten sie als „gut“. Eine „mäßige“ oder „schlechte“ Bewertung gaben nur wenige ab, wobei hier meist spezifische Probleme in den Wohnungen zur entsprechenden Bewertung führten.

Ähnlich war die Einstufung hinsichtlich des thermischen Empfindens (Abb. 2). In den nicht gedämmten Wohnungen empfanden die Bewohner die Temperatur häufiger als kalt; nur 27 % der Bewohner war es in gedämmten Wohnungen nie kalt, während in thermisch sanierten Wohnungen bzw. in Neubauten dieser Anteil bei 75 % bzw. 54 % lag.

Fazit: Mit wenigen Ausnahmen bewerten die Teilnehmer der Studie die Wohnsituation als „gut“ oder „sehr gut“ (ca. 90%). Von einzelnen Bewohnern in den Altbauten wurden zwar Beschwerden oder schlechte Bewertungen vorgetragen, allerdings handelte es sich meist um wohnungsspezifische Probleme, die durch eine eingehende Erläuterung oft relativiert werden konnten (vermeintliche Schimmelpilzkontamination, Zugluft durch Schlafzimmerfenster, Kondenswasser an den Fensterscheiben). Zumeist wurden in den Altbauten die hohen Heizkosten kritisiert, allerdings bestand die Befürchtung, dass nach einer energetischen Sanierung des Wohnbestandes die Mietkosten erheblich steigen würden.

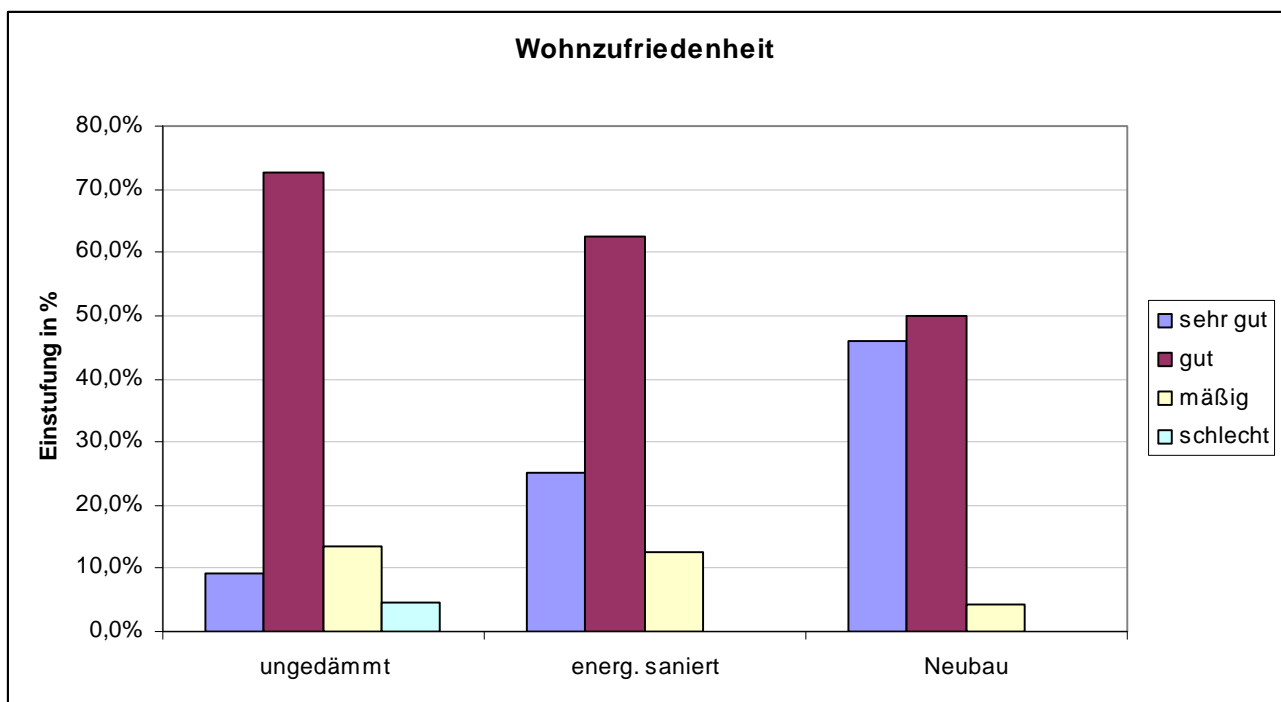


Abb. 1: Bewertung der Wohnzufriedenheit durch die Bewohner

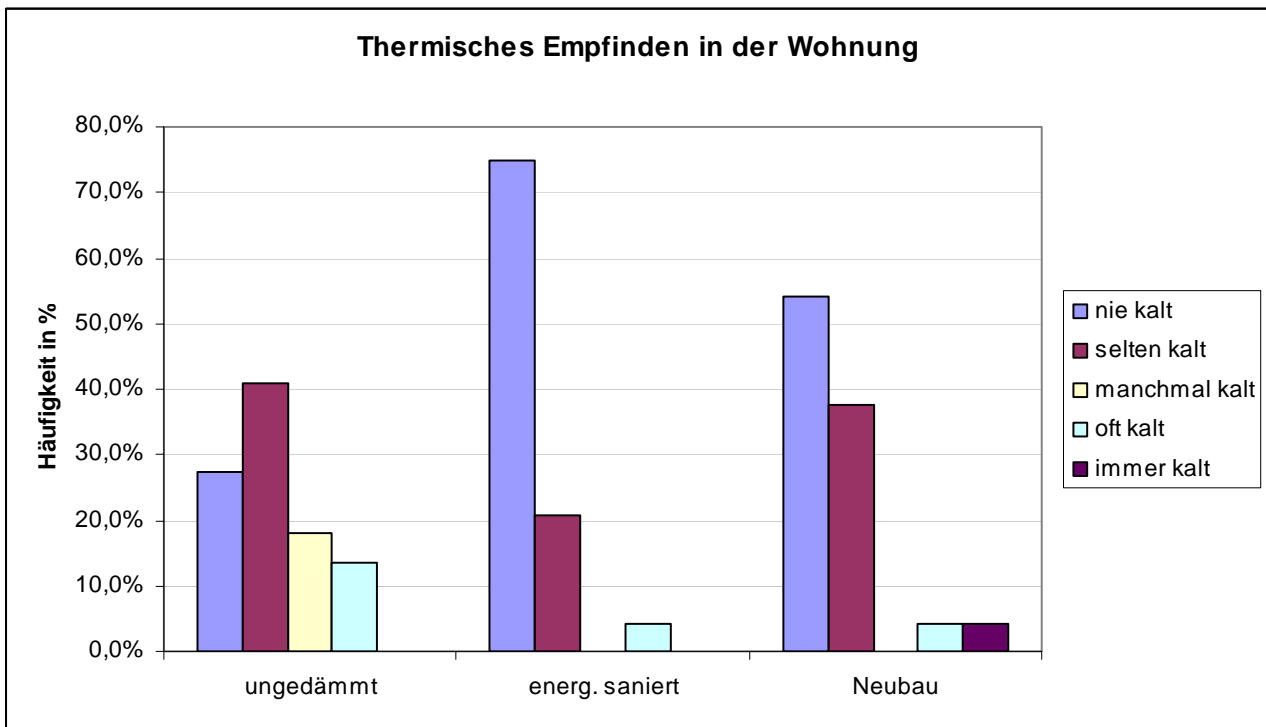


Abb. 2: Thermisches Empfinden durch die Bewohner

3.1.4 RAUM- UND WANDTEMPERATUREN

Die mittlere Durchschnittstemperatur in den drei beprobten Räumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer, 3. Raum je nach Verfügbarkeit) lag in energetisch sanierten und Neubau-Wohnungen um $1,7^{\circ}\text{C}$ höher als in ungedämmten Altbauwohnungen. Bei den energetisch sanierten Wohnungen ergab sich zudem die niedrigste Temperatur-Differenz zwischen Innenwand und Außenecke-Wohnzimmer ($2,3^{\circ}\text{C}$). Erstaunlich war, dass diese Temperaturdifferenz in den Neubau-Wohnungen am höchsten war (Tabelle 3). Sie betrug im Schnitt $4,4^{\circ}\text{C}$ im Wohnzimmer und $4,2^{\circ}\text{C}$ im Schlafzimmer. Hier muss berücksichtigt werden, dass sowohl in den meisten ungedämmten als auch in den gedämmten Wohnungen keine „echte Außenecke“ vorhanden war, weil die Nachbar-Wohnungen direkt angrenzten (Reihenhäuser). Bei den untersuchten Neubau-Wohnungen (ebenfalls Mehrfamilienhäuser) waren meist Außenecken vorhanden, weil die Grundfläche der Häuser annähernd quadratisch war und sich an jeder Ecke des Gebäudes eine Wohnung befand (Tabelle 3).

Fazit: Die größte Temperatur-Differenz zwischen Innenwand und Außenecke (Wohnzimmer, Schlafzimmer) ergab sich für die Neubau-Wohnungen, gefolgt von den unsanierten Altbau- und den energetisch sanierten Wohnungen. In Altbau-Wohnungen wurden vereinzelt in Schlafzimmern (ungeheizt) auch Wandtemperaturen von $< 14^{\circ}\text{C}$ bis 11°C in den Ecken gemessen (typische Wärmebrücken). Die relativen Luftfeuchten waren in diesen Wohnungen allerdings durch regelmäßiges Lüften immer niedrig (40%), so dass nicht die Gefahr einer Schimmelpilz-Bildung bestand.

Tabelle 3: Durchschnittstemperatur und Temperatur-Differenzen zwischen Innen- und Außenwand in Wohn- und Schlafzimmer

	Ungedämmte Wohnung	Energ. sanierte Wohnung	Neubau-Wohnung
Durchschnittstemperatur (3 Räume)	19,2 °C	20,9 °C	20,9 °C
Wohnzimmer Differenz Innen-/Außenwand	2,0 °C	0,5 °C	1,1 °C
Wohnzimmer Differenz Innenwand/Außenecke	3,4 °C	2,3 °C	4,4 °C
Schlafzimmer Differenz Innen-/Außenwand	2,7 °C	0,9 °C	1,7 °C
Schlafzimmer Differenz Innenwand/Außenecke	3,3 °C	1,9 °C	4,2 °C

3.2 AUSWERTUNG DER FRAGEBÖGEN ZU RAUMKLIMA, WOHNZUFRIEDENHEIT UND GESUNDHEIT (GESUNDHEITSFRAGEBÖGEN)

Die Fragebögen enthielten 25 Fragen und waren in fünf Bereiche gegliedert: 1) Allgemeine Fragen (4 Fragen), 2) Wohnzufriedenheit (4 Fragen), 3) Gesundheit und Gesundheitseinschränkungen (8 Fragen), 4) Lärm und Schlaf (5 Fragen) sowie 5) Fragen zur Person (4 Fragen). Der „Gesundheitszustand im Allgemeinen“ (Frage 9.) wurde trotz des vergleichsweise hohen Durchschnittsalters von 54 bis 64 Jahren von 74 % der Studien-Teilnehmern als gut oder sehr gut bezeichnet, von 21 % als mittelmäßig und von 4 % als schlecht.

Fragen nach Symptomen, die häufig mit den im Projekt untersucht Noxen (Schimmelpilze, VOC, Feinstäube) in Verbindung gebracht werden, waren die Frage nach dem Vorliegen eines allergischen Astmas, einer akuten Bronchitis, Niesen, Rhinitis und entzündete Augen. Etwa die Hälfte der befragten Personen nannte mindestens eines dieser Symptome; ein Zusammenhang mit den oben genannten Noxen im Innenraum war dabei allerdings nicht zu erkennen. Die Wohnsituation wurde mit überwiegend gut bis sehr gut bewertet, auch dies belegt, dass Schimmelpilzkontaminationen durch Feuchteschäden in der Regel nicht vorkamen und damit auch keine gesundheitlichen Effekte durch diesen Faktor zu erwarten waren.

In Frage 12 waren die Erkrankungen in die Symptomkomplexe allergische Erkrankungen, entzündliche Atemwegserkrankungen, Hautkrankheiten und chronische Erkrankungen unterteilt. Der Anteil der Befragten mit allergischen Symptomen betrug 39%, Atemwegserkrankungen wurden von 71 %, neurologische Symptome (Kopfschmerzen, Migräne, Müdigkeit oder neurodegenerative Erkrankungen) von 34 % der Befragten angegeben. Während bei den Atemwegserkrankungen und den neurologischen Symptomen kein Einfluss des Gebäudezustandes, der Feuchtigkeit oder der Schimmelpilzbelastung zu erkennen war, waren Erkrankungen des allergischen Formenkreises (Asthma, Heuschnupfen, endogenes Ekzem, andere Allergien) in ungedämmten Wohnungen, bei Personen in Wohnungen mit Feuchtigkeitsproblemen und sichtbarem Schimmelwachstum häufiger anzutreffen als in den anderen Wohnungen (siehe Tab. 4 und Abb. 3). Angesichts der geringen Fallzahlen waren diese Zusammenhänge aber in allen Fällen nicht signifikant.

Tabelle 4: Prozentanteile der Bewohner mit Allergie in Abhängigkeit von baulichen oder Belastungsfaktoren: Berechnet wurden der Anteil von Allergikern in ungedämmten, energetisch sanierten Wohnungen und Neubauten, in Abhängigkeit von selbst-berichteten Feuchte-Problemen, Vorhandensein von Schimmel in der Wohnung und der Größe des Schimmelfalls.

Allergie	alle	Energ. san.	Ungedämmt	Neubau	Feuchte ja	Feuchte nein	Sichtb. Schim. nein	Sichtb. Schim. ja	Kein Schimmel	< Postkarte	> Postkarte
Ja/alle	27/70	8/24	11/22	8/24	10/22	17/48	17/52	10/16	18/55	5/10	4/5
%	39 %	33 %	50 %	33 %	45%	35 %	33 %	63 %	33 %	50 %	80 %
95%CI	27-51%	16-55%	28-72%	16-55%	24-68%	22-51%	20-47%	35-85%	21-47%	19-81%	28-99%

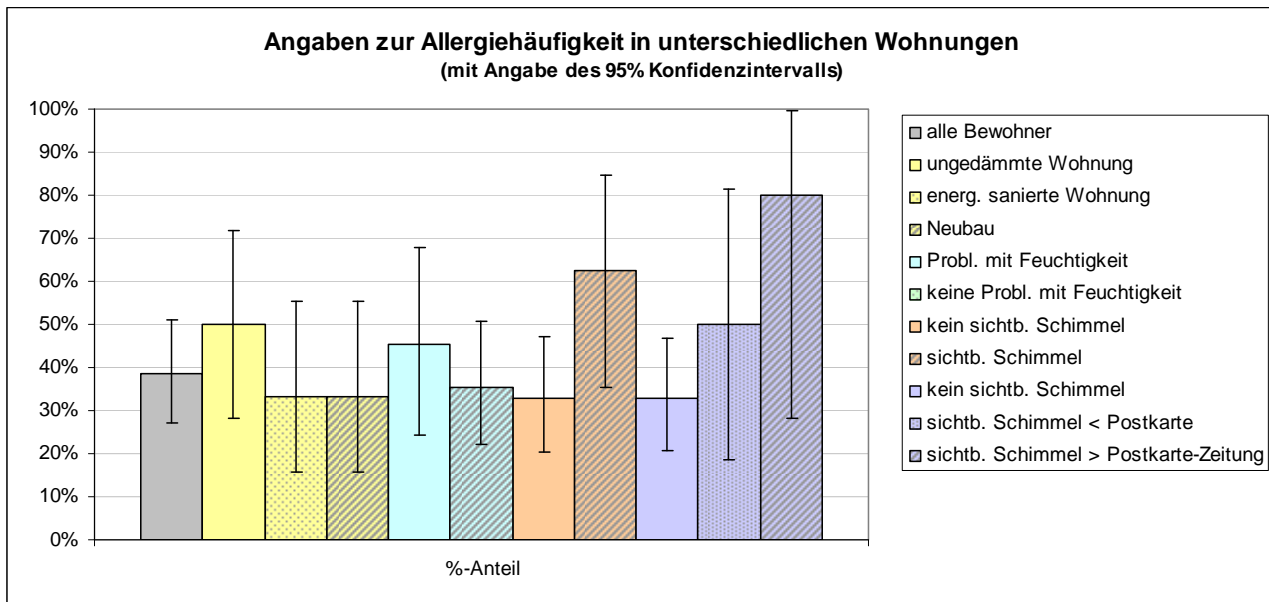


Abb. 3: Angaben zur Häufigkeit allergischer Erkrankungen in unterschiedlichen Wohnungen

Schlafstörungen in den letzten 4 Wochen gaben 16 % der Bewohner an; in ungedämmten Wohnungen lag der Anteil mit 18 % geringfügig höher als in energetisch sanierten Wohnungen (17 %) bzw. Neubauten (13 %); die Unterschiede sind statistisch nicht signifikant.

Fazit: Statistisch abgesicherte Zusammenhänge zwischen Erkrankungen und Wohnungs- bzw. Innenraumfaktoren konnten aus den Daten nicht abgeleitet werden. Auffällig war lediglich der hohe Anteil von Allergikern in Wohnungen mit Schimmelpilz-Kontaminationen im Ausmaß > einer Postkarte (80%, n = 4 von 5). Insgesamt war der Gesundheitszustand der an der Pilotstudie teilnehmenden Bewohner gut bis sehr gut, so dass auch keine Zusammenhänge zwischen Erkrankung und Wohnfaktoren erwartet werden konnten.

3.3 AUSWERTUNG DES LÜFTUNGSVERHALTENS (DATENLOGGER TEMPERATUR UND RELATIVE FEUCHTE)

Das Lüftungsverhalten wurde zur Bewertung der VOC-Konzentrationen erfasst, indem während des Zeitraums der Passivsammlung (7 Tage) ein Datenlogger die Temperatur und Feuchte in der Wohnung aufzeichnete. Der Lüftungsvorgang zeigt sich bei dieser Form der Datenaufnahme durch ein kurzzeitiges starkes Absinken der relativen Feuchte bei gleichzeitiger Abnahme der Raumtemperatur.

Das Lüftungsverhalten wurde auf der Grundlage dieser Aufzeichnungen in *gut* gelüftete Wohnungen und *schlecht* gelüftete Wohnungen gruppiert. Eine Wohnung wurde als *gut* gelüftet klassifiziert, wenn während der 7-tägigen Beaufschlagung **mindestens 1-2 mal**

täglich gelüftet wurde. Nach hygienischen Maßstäben wäre eine **gute** Lüftung als 2-3 mal Lüften pro Tag definiert. Das Kriterium für eine gute Lüftung wurde hier etwas schwächer definiert, weil nur in wenigen Wohnungen 2-3 mal täglich gelüftet wurde; diese Gruppe wäre für die statistische Betrachtung zu klein gewesen. Eine **schlecht** gelüftete Wohnung wurde nur 1 mal täglich oder weniger als 1 mal täglich gelüftet.

Insgesamt wurden 19 Wohnungen (42%) als schlecht gelüftet und 26 Wohnungen (58 %) als gut gelüftet bewertet (n = 45). Der Anteil der gut gelüfteten Wohnungen betrug sowohl bei den ungedämmten als auch bei den energetisch sanierten Wohnungen etwa 50 %. Bei den Neubauten wurden ca. drei Viertel der Wohnungen als gut gelüftet eingestuft. (Abb. 4). Es zeigte sich, dass das hier klassifizierte Lüftungsverhalten gut mit der Höhe der TVOC-Mittelwerte für die beiden Gruppen korrespondiert (vgl. Abschnitt 3.6).

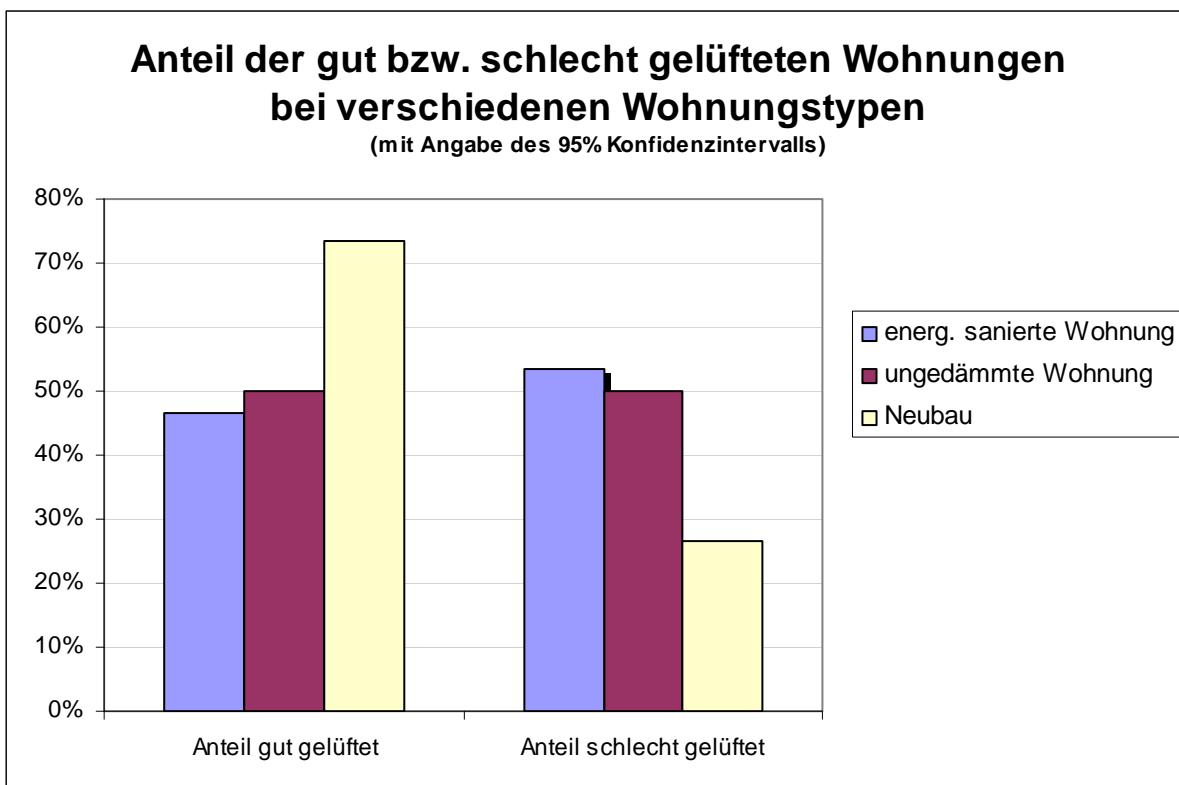


Abb. 4: Lüftungsverhalten der Bewohner in unterschiedlichen Wohnungstypen

3.4 PARTIKELSAMMLUNG/FEINSTAUBMESSUNG

Die zu Beginn der Wohnungsuntersuchungen als Kurzzeit-Messwert erhobenen Partikelkonzentrationen waren in den energetisch sanierten Wohnungen beim Median mit 32.000 Partikel/L etwas niedriger als in den beiden anderen Kategorien von Gebäuden; im Median ergaben sich in Altbauten 58.000 Partikel/L und in Neubauten 82.000 Partikel/L (s. Abb. 5). Die Spannweite der Partikelzahlen reichte je nach Wetterverhältnissen von 9.000 bis 330.000 Partikel je L im Innenraum. Allerdings zeigte der Vergleich von Raucher- (n=6) und Nichtraucherwohnungen (n=36) deutlichere Unterschiede; der Median lag in Raucherwohnungen etwa doppelt so hoch (95.000 Partikel/L) wie in Nichtraucher-Wohnungen (46.000 Partikel/L). Selbst in Wohnungen, in denen nach Aussagen der Bewohner nur draußen geraucht wurde, waren die Partikelzahlen deutlich erhöht.

Fazit: In der Regel wurden im Innenraum nur circa 30% der Partikelkonzentration der Außenluft festgestellt; Ausnahme waren lediglich die Raucherwohnungen. Der Anteil von

30% scheint unabhängig von der absoluten Partikelkonzentration und den drei untersuchten Typen von Wohneinheiten eine charakteristische Größe zu sein.

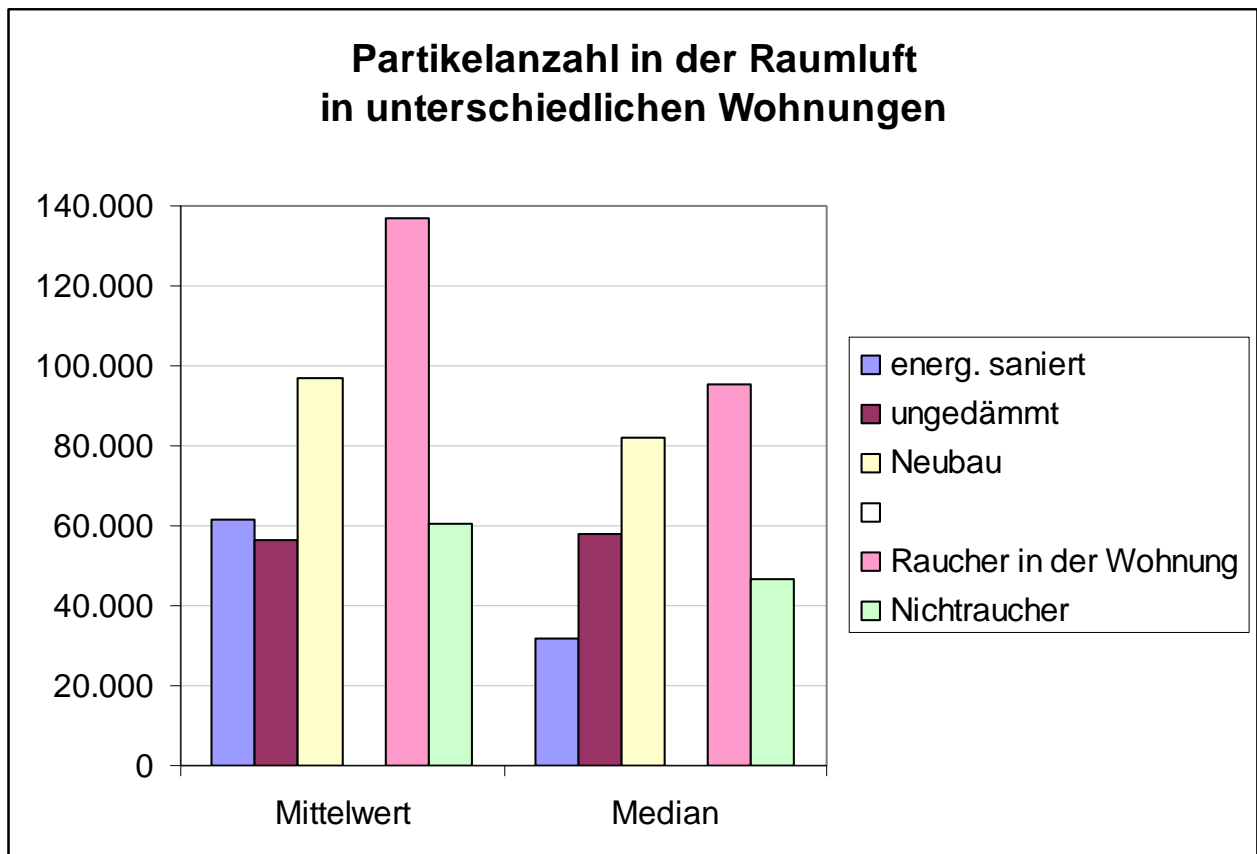


Abb. 5: Durchschnittliche Partikelzahlen nach Wohnungstyp und Raucherstatus

3.5 BESTIMMUNG DER SCHIMMELPILZ-KONZENTRATIONEN IN DER LUFT

Die Konzentrationen der Schimmelpilze in der Luft, ebenso wie das Artenspektrum der Pilze ließen bei keiner Wohnung auf einen Feuchteschaden bzw. ein Schimmelpilzproblem schließen. Insofern bietet das vorliegende Kollektiv der Wohnungen die Möglichkeit Unterschiede im Pilzspektrum herauszuarbeiten, die entweder vom Nutzerverhalten beeinflusst werden oder baulich bedingt sind, jedoch nicht von Feuchteschäden beeinflusst wurden.

Die am häufigsten als dominante Arten (im 1. bis 3. Rang) nachgewiesenen Spezies waren *Penicillium brevicompactum* (26 von 48 Wohnungen), *C. cladosporioides* (18 von 48) und *P. crustosum* (ebenfalls 18 von 48). *P. brevicompactum* kam in 7 Wohnungen als dominante Art vor; die Art ist der häufigste Vertreter der Gattung *Penicillium* in der Außenluft. *P. brevicompactum* besiedelt sehr häufig verschiedenste organische Substrate aller Art. *P. crustosum* zeigte in 6 von 48 Wohnungen die höchsten Konzentrationen. Auffällig war, dass in 5 dieser Wohnungen über 2-3 Tage Bioabfall in der Wohnung gesammelt wurde, bevor der Abfall in die Biotonne überführt wurde. *P. crustosum* ist charakteristisch für frische Bioabfälle, das gehäufte Vorkommen in den hier untersuchten Wohnungen scheint daher am ehesten mit Bioabfall assoziiert. Daneben wurden *P. chrysogenum*, *P. glabrum* und *P. olsonii* in jeweils vier Wohnungen als dominante Arten gefunden. Diese drei Arten wurden alle in insgesamt 11 Wohnungen gefunden. Zumindest *P. glabrum* und *P. chrysogenum* gehören erfahrungsgemäß ebenfalls zu den häufigsten *Penicillium*-Arten in der Außenluft - eine Akkumulation der Sporen im Hausstaub über längere Zeiträume ist daher der plausibelste Grund für erhöhte Konzentrationen. Die Hintergrundwerte von *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum* und *P. glabrum* im Teppichbodenstaub sind in der Tat

sehr ähnlich, mit 7.000 bis 10.000 KBE/g Staub (Schimmelpilzleitfaden LGA 2004). *P. olsonii* zeigt die höchsten Konzentrationen im Teppichbodenstaub, ist aber in der Außenluft nicht so häufig anzutreffen, wie die drei oben genannten *Penicillium*-Arten. Die Konzentration in der Innenraumluft sollte daher eher von Innenraumquellen beeinflusst sein.

Einzelne Wohnungen wiesen eine Reihe anderer Spezies als dominante Arten auf (*A. penicillioides* / *A. restrictus* 2x, *A. versicolor* 1x, *Eurotium herbariorum* 1x, *P. corylophilum*, *P. digitatum* und *P. italicum* jeweils 1x, *Scopulariopsis* sp. 1x und *Wallemia sebi* 2x).

In einigen Fällen ließ sich die Dominanz bestimmter Schimmelpilzarten durch die Nutzungs- bzw. Ernährungsgewohnheiten begründen. Um mögliche Zusammenhänge zwischen dem Pilzspektrum und den Nutzungsgewohnheiten herauszufinden, wären weiterführende, statistische Auswertungen notwendig, die allerdings für die primäre Fragestellung des Projektes nicht zielführend wären. Unterschiede im Artenspektrum zwischen energetisch sanierten und unsanierten Wohnungen sowie zwischen gut und schlecht gelüfteten Wohnungen zeigten sich nicht.

Auffällig war z.B. die Dominanz von *P. digitatum*, der ausschließlich auf Zitrusfrüchten vorkommt, in der Wohnung einer Familie mit mediterraner Herkunft. Die Art trat ansonsten nur noch einmal als dritthäufigste Art auf. Die Dominanz von *Wallemia sebi* und *Aspergillus penicillioides* bzw. *A. restrictus* deutet auf sehr trockene Verhältnisse in der Wohnung hin (niedrige Luftfeuchten von 35%). Ein Vorherrschen von *P. crustosum* war bedingt durch längere Biomüllsammlung über mindestens 2 Tage (allerdings galt nicht der Umkehrschluss, dass Biomüllsammlung über 2-3 Tage immer mit *P. crustosum* einherging). Die dargestellte Assoziation ist dennoch plausibel, weil *P. crustosum* besonders häufig in frischem Bioabfall vorkommt (Fischer 2000). Die größte Diversität von Penicillien wurde in der Wohnung mit der augenfälligsten Hausstaub-Belastung festgestellt (Wg 45, unsanierter Altbau, vgl. Begehungs-Protokoll: Staub auf Lüfter im Bad). Hier lag auch die Konzentration von *A. versicolor* am höchsten, zudem wurde *Chaetomium globosum* als dritthäufigste Art gefunden. Die Konzentrationen der verschiedenen Arten lagen allerdings auf sehr niedrigem Niveau deutlich unterhalb der Referenzwerte für nicht-schimmelbelastete Wohnungen (vgl. LGA Schimmelpilz-Leitfaden), daher ist auch hier nicht von einem Feuchteschaden auszugehen.

Fazit: Unterschiede im Pilzspektrum zwischen „gut“ und „schlecht“ gelüfteten Wohnungen konnten nicht herausgearbeitet werden. Grundsätzlich hängt zwar das Schimmelpilzspektrum in der Luft vom Lüftungszustand ab: In gut gelüfteten Räumen dominieren Außenluftarten wie *Cladosporium herbarum*. Die hier untersuchten Wohnungen waren ja vor der Probenahme nicht gelüftet worden, daher ist eine Dominanz der Außenluft-Arten auch nicht zu erwarten gewesen. *Cladosporium herbarum* wurde nur in vier Wohnungen als zweithäufigste Art gefunden. Die Quelle für die Schimmelpilzexposition zum Zeitpunkt der Untersuchung scheint in den meisten Wohnungen in erster Linie der Hausstaub gewesen zu sein.

Unterschiede zwischen „gedämmten“ und „nicht gedämmten“ Wohnungen waren ebenfalls nicht offensichtlich.

Obschon in einigen Fällen das Spektrum der Schimmelpilze durch Nutzungsgewohnheiten oder innenraumklimatische Faktoren empirisch erklärt werden konnte (eine statistische Auswertung ist aufgrund der niedrigen Fallzahlen schwierig), zeigte sich in den meisten Wohnungen ein typisches Spektrum von Hausstaub-bürtigen Schimmelpilzen. Die Konzentrationen lagen meist auf niedrigem Niveau. Unterschiede in der Konzentration der luftgetragenen Schimmelpilze sind wahrscheinlich durch die Aktivität während der Probenahme zu erklären.

3.6 BESTIMMUNG DER VOC / TVOC-KONZENTRATIONEN MITTELS PASSIVSAMMLER

Die Mittelwerte der TVOC-Konzentrationen (TVOC nach ECA Report) unterschieden sich nicht deutlich beim Vergleich der Kategorien Altbau (**387** $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und energetisch sanierte Wohnung (**378** $\mu\text{g}/\text{m}^3$); im Neubau sind die TVOC-Konzentrationen etwas höher (**479** $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (siehe Abb. 6). Wenn die Wohnungen nach „gut“ und „schlecht gelüftet“ kategorisiert wurden, ergab sich ein deutlicherer Unterschied von **351** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zu **500** $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei Betrachtung der TVOC-Konzentrationen nach DIN 16000-6 als TÄ ergab sich ein ähnliches Bild auf einem etwas niedrigeren Niveau (Altbau 291 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, energetisch saniert 257 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Neubau 359 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), die Differenz zwischen „gut“ und „schlecht“ gelüftet lag in einer ähnlichen Größenordnung bei etwa 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zu 389 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bei beiden TVOC-Summen (ECA und DIN 16000-6) zeigte sich ein Trend zu höheren Konzentrationen in Neubauten, obwohl dort das Lüftungsverhalten eher besser war als bei den anderen Wohnungstypen. Dies deutet darauf hin, dass in Neubauten noch höhere Emissionen aus Baustoffen oder Einrichtungsgegenständen vorhanden sind. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass in den Neubauten auch die Innenräume mit „neuen“ Baumaterialien ausgestattet waren (Fußböden, Wandfarbe), was bei den energetisch sanierten Wohnungen meist nicht der Fall war.

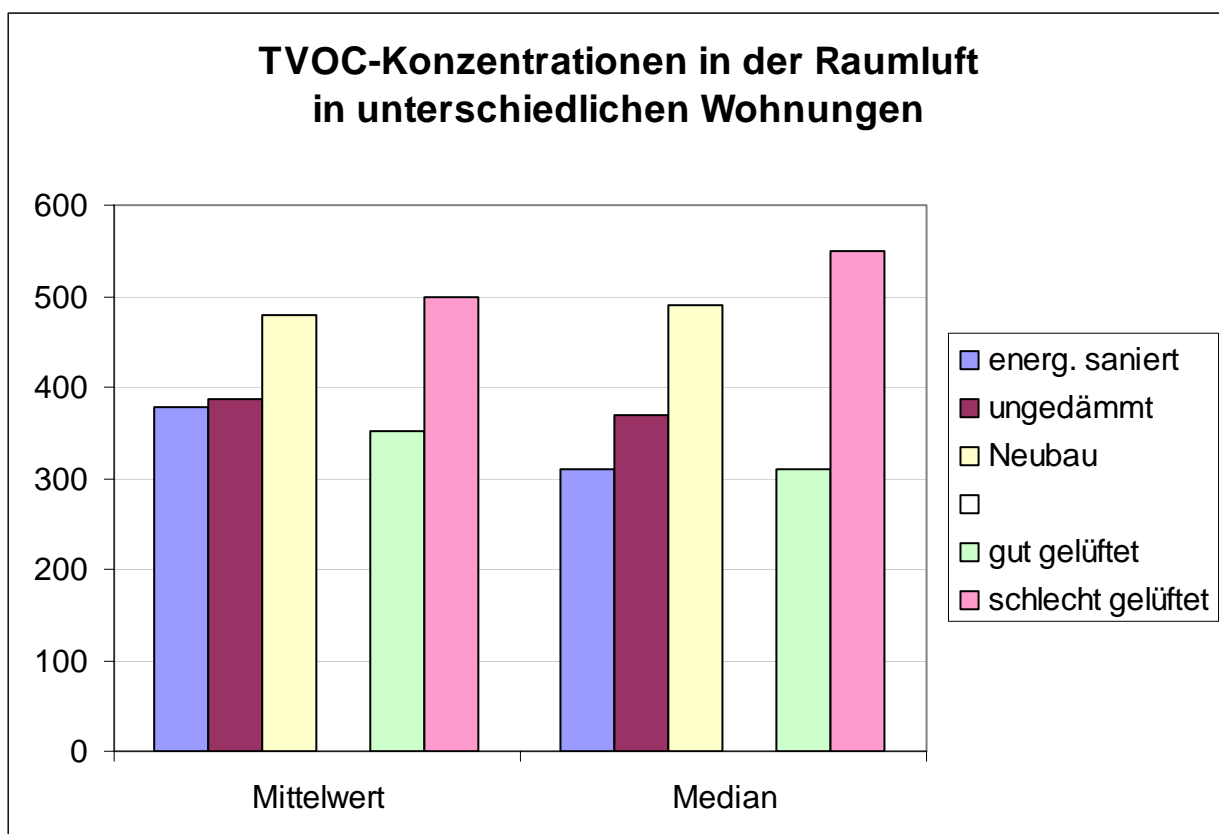


Abb. 6: Konzentration der Summe der flüchtigen Kohlenwasserstoffe (TVOC) in unterschiedlichen Wohnungstypen

Betrachtet man die Teilmenge der Terpene, die als typische Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen angesehen werden können, so ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie für die TVOC-Werte. Auch hier finden sich höhere Konzentrationen in den Neubauten; in schlecht gelüfteten Wohnungen sind die Konzentrationen ebenfalls etwas höher als in gut gelüfteten (Abb. 7).

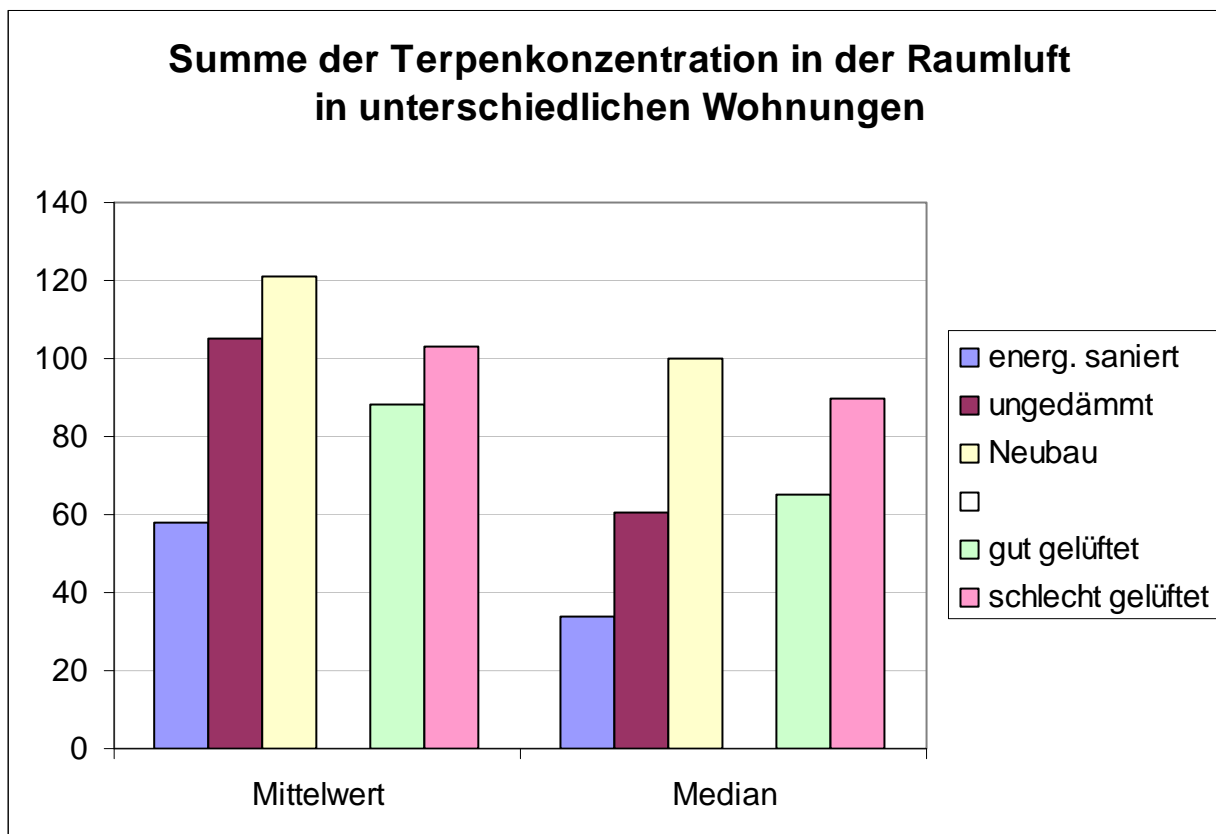


Abb. 7: Summe der Terpenkonzentration in unterschiedlichen Wohnungstypen

Legt man den Seifert'schen Zielwert für TVOC (200 - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Innenraum bei der Bewertung zu Grunde (Seifert 1999), so liegt der Mittelwert der „gut“ gelüfteten Wohnungen 50 - 150 μg darüber. Der Mittelwert der „schlecht“ gelüfteten Wohnungen überschreitet den Wert um mehr als das Doppelte.

Ab der Konzentration von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sind Reizungen oder Beeinträchtigungen des Wohlbefindens möglich, wenn Wechselwirkungen mit anderen Faktoren gegeben sind (Môlhave, 1991). Konzentrationen von > 3.000 μg führen zu einer Wirkung, wie z.B. Kopfschmerzen, wenn Wechselwirkungen mit anderen Faktoren gegeben sind (Môlhave 1991). Derart hohe Werte wurden in der vorliegenden Untersuchung in keinem Fall gemessen.

In Bezug auf TVOC-Konzentrationen wird die hygienische Situation in den untersuchten Wohnungen in erster Linie durch das Lüftungsverhalten der Bewohner beeinflusst und weniger durch die baulichen Aspekte (energetische Sanierung, Neubau). Allerdings war in den Neubauten die mittlere TVOC-Konzentration gegenüber den Altbauten und den energetisch sanierten Wohnungen etwas erhöht.

Fazit: Die Untersuchungsergebnisse sprechen dafür, dass die VOC-Konzentrationen nicht vom Ausmaß der Wärmedämmung bzw. der „Dichtheit“ des Gebäudes abhängen, sondern maßgeblich vom Lüftungsverhalten der Bewohner beeinflusst werden. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor sind scheinbar Emissionen aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen in neuen Gebäuden.

3.7 BESTIMMUNG DER ALDEHYD-KONZENTRATIONEN MITTELS PASSIVSAMMLER

Die höchsten Konzentrationen innerhalb der Stoffklasse der Aldehyde wurden im Mittel für Formaldehyd bestimmt (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) gefolgt von Hexanaldehyd (18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Acetaldehyd (13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Benzaldehyd, Propionaldehyd und Butyraldehyd lagen bei 5, 4 bzw. 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Crotonaldehyd und Glutaraldehyd lagen in allen Wohnungen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 2 bzw. 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Mittelwerte waren den Medianen recht ähnlich, mit Ausnahme von Hexanaldehyd, wo die Spannweite der Werte etwas größer war (Maximalwert betrug mit 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ das 10-fache des Median).

Während in den sanierten und unsanierten Altbauten der Mittelwert der Formaldehydkonzentration bei ca. 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lag, wurde in Neubauten ein signifikant höherer Mittelwert von 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Auch bei den Konzentrationen von Acetaldehyd und Hexanaldehyd wurden in den Neubauten höhere Konzentrationen gemessen als in den ungedämmten bzw. sanierten Altbauten. Dies könnte mit den Emissionen aus neuen Baustoffen und Einrichtungsgegenständen erklärbar sein. Interessant ist, dass die Mittelwerte für Formaldehyd beim Vergleich von **gut** und **schlecht** gelüfteten Wohnungen nahezu gleich sind (44 bzw. 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), während bei anderen Aldehyden die gut gelüfteten Wohnungen etwas niedrigere Konzentrationen aufwiesen (siehe Abb. 8).

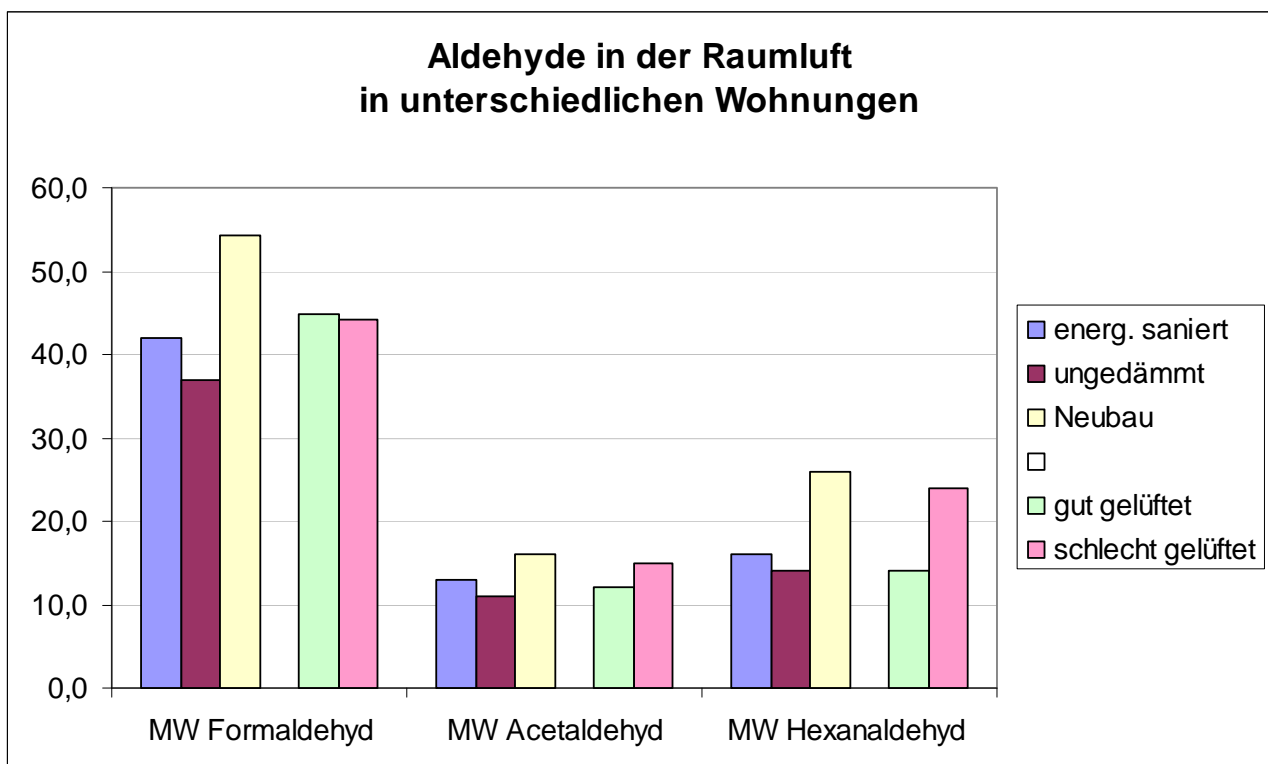


Abb. 8: Aldehydkonzentration in der Raumluft in unterschiedlichen Wohnungstypen

Fazit: Die Aldehyd-Konzentrationen sind in Neubauten höher als in Altbauten; in **gut** und **schlecht** gelüfteten Wohnungen zeigen sie in der vorliegenden Untersuchung keine nennenswerten Unterschiede, insbesondere nicht beim Formaldehyd.

Tabelle 5: Konzentrationen der Aldehyde in den untersuchten Wohnungen

Proben-ID	Wohnungs-Nr.	Formaldehyd	Acetaldehyd	Propionaldehyd	Butyraldehyd	Hexanaldehyd	Benzaldehyd	Crotonaldehyd	Glutaraldehyd
UMEX 100		1	1	1	1	2	1	2	1
130086836	1	48	19	L2	L3	L17	L6	< BG	< BG
130086839	2	36	9	1	L1	6	3	< BG	< BG
130014205	3	29	8	2	2	15	6	< BG	< BG
130014208	4	56	5	2	1	6	4	< BG	< BG
130014211	5	30	19	5	3	27	8	< BG	< BG
130014214	6	10	3	< BG	< BG	3	L 3	< BG	< BG
130014217	8	45	11	21	2	12	6	< BG	< BG
130014220	9	25	10	2	1	10	5	< BG	< BG
130014223	10	39	8	2	1	7	5	< BG	< BG
130014226	11	56	7	2	1	9	L8	< BG	< BG
130014229	12	41	28	7	3	13	10	< BG	< BG
130014232	13	31	14	2	1	11	L4	< BG	< BG
130014235	14	77	5	3	6	25	9	< BG	< BG
130014238	15	57	19	3	3	16	7	< BG	< BG
130054546	16	71	23	5	6	41	9	< BG	< BG
130054549	17	70	13	3	3	30	7	< BG	< BG
130054802	18	83	7	2	1	8	5	< BG	< BG
130054805	19	36	15	4	3	18	9	< BG	< BG
130054811	21	40	7	2	2	25	8	< BG	< BG
130054817	23	45	12	2	< BG	5	< BG	< BG	< BG
130054820	24	30	9	2	1	9	< BG	< BG	< BG
130086515	25	69	11	3	3	17	6	< BG	< BG
130086518	26	58	19	3	2	15	4	< BG	< BG
130086521	27	39	12	3	2	26	4	< BG	< BG
130086524	28	54	13	2	1	6	3	< BG	< BG
130086527	29	49	8	2	1	7	3	< BG	< BG
130086530	30	36	11	4	2	12	3	< BG	< BG
130086536	32	13	11	L2	L1	7	3	<BG	<BG
130086539	33	59	9	2	<1	7	< BG	< BG	< BG
130086542	34	83	11	3	3	7	5	< BG	< BG
130086545	35	24	9	L2	L1	9	3	<BG	<BG
130086548	36	41	19	3	1	6	< BG	< BG	< BG
130086801	37	51	12	12	4	63	7	< BG	< BG
130086804	38	66	29	4	4	43	11	< BG	< BG
130086807	39	39	12	2	2	11	4	< BG	< BG
130086813	41	54	18	4	3	16	7	< BG	< BG
130086816	42	48	16	4	3	47	6	< BG	< BG
130086819	43	45	23	4	5	51	7	< BG	< BG
130086822	44	62	11	2	2	6	3	< BG	< BG
130227357	47	24	15	L2	L2	15	6	<BG	<BG
130159109	51	16	14	<1	1	6	2	< BG	< BG
130227360	52	44	32	L17	L5	110	8	<BG	<BG
130227363	53	29	5	L0	<BG	7	1	<BG	<BG
130256079	54	15	17	2	1	8	2	<BG	<BG
130256082	55	16	15	2	1	9	4	<BG	<BG
alle Angaben in µg/m ³		L : überlagert							
Mittelwert:	44	13	4	2	18	5	<BG	<BG	
Median:	44	12	3	2	11	5	<BG	<BG	
95. Perzentil:	75,8	27	8	5,3	50,4	9,2	<BG	<BG	
Mittelwert gut gel.	44	12	3	2	14	4	<BG	<BG	
Mittelwert schlecht gel.	44	15	4	3	24	7	<BG	<BG	

Literatur:

Anonym: Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises „Qualitätssicherung“, Berichte des LGA Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg, Eigenverlag 2004

DIN ISO 16000-4; 2012-11 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 4: Bestimmung von Formaldehyd - Probenahme mit Passivsammlern (ISO 16000-4:2011)

DIN EN ISO 16000-5, 2007-05: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (ISO 16000-5:2007)

DIN ISO 16000-6, 2004-12 zurückgezogen: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID (ISO 16000-6:2004)

DIN ISO 16000-6: 2012-11: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2011)

DIN EN ISO 16017-2, 2003-09: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz - Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie - Teil 2: Probenahme mit Passivsammlern (ISO 16017-2:2003)

DIN 1946-6: Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung 2009-05

Molhave, L. Volatile organic compounds, indoor air quality and health. *Indoor Air* 1:357-376, 1991.

Seifert, B. Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 42: 270-278, 1999.

