



Raumluftfeuchte in Wohnneubauten

Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf Hygiene,
Wohlbefinden und Baumaterialien



Impressum

Herausgeber



**Baudirektion
Kanton Zürich**

**AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft**

und

MINERGIE®

Mehr Lebensqualität, tiefer Energieverbrauch
Meilleure qualité de vie, faible consommation d'énergie

Abteilung Energie
Stampfenbachstrasse 12, Postfach
8090 Zürich

Tel.: 043 259 42 66
Fax.: 043 259 51 59
E-Mail: energie@bd.zh.ch
Internet: www.energie.zh.ch

MINERGIE Agentur Bau
St. Jakobs-Strasse 84
4132 Muttenz

Tel.: 061 467 45 10
Fax.: 061 467 45 43
E-Mail: agentur@minergie.ch
Internet: www.minergie.ch

Auftragnehmer

GANZ KLIMA



Raumluft
Beratung
Messung
Begleitung

Ganz Klima GmbH
Werkstrasse 4
Postfach 339
8630 Rüti ZH

Tel.: 055 260 23 80
Fax.: 055 260 23 81
Mobile: 076 54 54 188
E-Mail: ganz@ganzklima.ch
Internet: www.ganzklima.ch

Wir danken den folgenden Sponsoren für die Unterstützung des Projekts:

Hoval Herzog AG, Feldmeilen

Zehnder Comfosystems AG, Wädenswil

Walter Meier Klimälösungen, Schwerzenbach

SwissRe, Zürich

GEWO Züriost, Uster

Zürich, Oktober 2007

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Einführung	7
Ausgangslage des Projektes	7
Projektziel	7
Material und Methoden	8
Untersuchungsgruppen	8
Objektauswahl	8
Befragung der Nutzerinnen und Nutzer	9
Messungen	9
Befragung von Fachleuten	10
Objekte	11
Siedlungen ohne Lüftung	11
Siedlungen mit Lüftung	12
Resultate	15
Klima	15
Luftkeime	20
Wasserqualität	22
Nutzerzufriedenheit	22
Parkett	23
Interpretation	24
Winter 2006/2007	24
Raumluftfeuchte	24
Raumlufttemperatur	31
Kohlendioxidkonzentration	32
Luftkeime	34
Wasserqualität	40
Nutzerzufriedenheit	42
Parkett	44

Schlussfolgerungen	49
Einfluss der Lüftung auf die Raumluchtfeuchte	49
Einfluss der Befeuchtung auf das Wohlbefinden	49
Einfluss der Raumluchtfeuchte auf das Parkett	49
Fazit:	50
Danksagung	51
Anhang	52
Messmethoden	52
Nutzerbefragung	53
Expertenbefragung Luftfeuchte	54

Zusammenfassung

In 30 Neubauwohnungen wurden verschiedene Aspekte der Raumlufffeuchte untersucht. Dazu wurden die Resultate aus Wohnungen mit einer mechanischen Grundlüftung direkt mit Wohnungen ohne Lüftung verglichen. Zudem wurde der Einfluss eines dezentralen Befeuchters in Wohnungen mit Lüftung untersucht. Neben der Messung üblicher Klimaparameter wurden auch Luftkeimmessungen, Wasseruntersuchungen bei den Befeuchtern und eine Nutzerbefragung durchgeführt. Zudem wurde der Einfluss der Raumlufffeuchte auf die Parketteigenschaften abgeklärt.

Werden die Feuchtelasten (Differenz zwischen absoluter Raumlufffeuchte und absoluter Aussenlufffeuchte) miteinander verglichen, sind zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftung kaum Unterschiede zu erkennen. Die gemessenen Feuchtelasten bewegen sich in einem mittleren Bereich. Einzelne Ausreisser lassen sich mit hohen Luftwechseln oder mangelnder Lüftung erklären. Eine dezentrale Befeuchtung bringt im Durchschnitt eine Erhöhung der Raumlufffeuchte um 20 %. Auffällig sind die hohen Raumtemperaturen. Im Mittel liegen sie zwischen 23 und 24 °C. Dies hat einen direkten Einfluss auf die relative Feuchte im Raum. Auch bei den Kohlendioxidkonzentrationen, die als Mass für die Frische der Luft und damit für die Lüftungseffektivität gilt, werden zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftung nur geringe Unterschiede festgestellt.

Unterschiede werden bezüglich luftgetragener Schimmelpilze festgestellt. Die Konzentration ist in Wohnungen mit Fensterlüftung höher, wobei in der Regel die Aussenluft die Quelle der höheren Konzentrationen ist. Die Filter der Lüftungsanlagen erweisen sich bezüglich Schimmelpilzreduktion als effektiv. In der Zuluft werden nur sehr geringe Konzentrationen nachgewiesen. Bakterien in der Raumluff stammen in Regel vom Menschen selbst. So werden im Raum deutlich höhere Konzentrationen als in der Aussenluft gefunden.

Die Wasserqualität der untersuchten Luftbefeuchter ist in 7 von 10 Fällen höher als der Richtwert, der für Befeuchter in Lüftungsanlagen vorgeschlagen wird. In 3 von 10 Fällen liegen die Keimkonzentrationen 1'000-fach und mehr über diesem Wert. In einem Fall beeinflusst der Befeuchter direkt die Umgebungsluft. Sowohl die Bakterien- wie auch die Schimmelpilzkonzentrationen steigen in der Raumluff der betreffenden Wohnungen nachweislich an.

In einer Siedlung werden Schäden am Parkett bemängelt, wobei die Ursachen wahrscheinlich nicht in der Raumlufffeuchte liegen. In allen anderen Wohnungen wurden keine grösseren Parkettschäden verzeichnet.

Die Nutzerinnen und Nutzer sind im Allgemeinen sehr mit ihren Wohnungen zufrieden. Wenn die Wohnung über eine Lüftung verfügt, wird die Temperatur und die Raumluftqualität tendenziell besser beurteilt, die Raumluftfeuchte weniger gut verglichen mit Wohnungen ohne Lüftung. Allerdings konnte keine Korrelation zwischen empfundener und tatsächlich gemessener Luftfeuchte hergestellt werden.

Anhand der Resultate kann eine Befeuchtung von Wohnungen in der kalten Jahreszeit nicht generell empfohlen werden. Vor einer Befeuchtung sollte die Temperatur gesenkt, die Luftfeuchte bestimmt und der Luftwechsel angepasst werden. Diese Massnahmen reichen in der Regel aus, um die Raumluftfeuchte längerfristig über 30 %rF zu halten. Falls befeuchtet wird, sollte dies hygienisch und energetisch best möglichst erfolgen.

Einführung

Ausgangslage des Projektes

Im Wohnungsbau war und ist die Raumlufffeuchte ein zentrales Thema. Sie wird sowohl vom Bau als auch vom Nutzerverhalten beeinflusst. Probleme ergeben sich bei zu hoher und auch bei zu tiefer Raumlufffeuchte. Relative Luftfeuchten von über 70 % führen zu Schimmelpilzwachstum. Auf der anderen Seite werden zu tiefe Luftfeuchten in Zusammenhang mit Augen- und Schleimhautreizungen gebracht (AIRLESS, 2001; Nagda, 2001).

In ihrem Merkblatt (Merkblatt 27) geht die Interessengemeinschaft der Schweizerischen Parkettindustrie ISP auf das Raumklima ein und empfiehlt den Einbau einer Befeuchtung in Liegenschaften mit Zwangsbelüftung (Komfortlüftung). Als Grund werden Materialveränderungen durch zu tiefe relative Luftfeuchten in der kalten Jahreszeit genannt.

Hier stellen sich zwei Fragen:

1. Liegen die relativen Luftfeuchten in bewohnten Wohnungen mit mechanischer Grundlüftung (Komfortlüftung) deutlich tiefer als in vergleichbaren Objekten konventioneller Bauweise?
2. Beeinflusst eine Befeuchtung die Qualität der Innenraumluft?

Projektziel

Mit Messungen in konkreten Wohnsituationen und Befragungen von Bewohnern und Fachleuten sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Einfluss der Komfortlüftung auf Raumlufffeuchte
- Einfluss der Befeuchtung auf Wohlbefinden
- Einfluss der Raumlufffeuchte auf Parkett

AIRLESS - Design, Operation und Maintenance Criteria for Air Handling Systems and Components for better Air Quality and Lower Energy Consumption, Pre-Normative Research", TNO Building and Construction Research, Publishable Final Report, 2001

Nadga N.L., Hodgson M.: "Low Relative Humidity and Aircraft Cabin Air Quality"; Indoor Air, 2001

Merkblatt 27: "Parkett und das Raumklima"; Interessenverband der Schweizerischen Parkettindustrie ISP; Ausgabe 10/06, Das Merkblatt wurde zwischenzeitlich überarbeitet (Ausgabe 10/07).
www.parkett-verband.ch

Material und Methoden

Untersuchungsgruppen

Grundlage der Untersuchung war der direkte Vergleich von Wohnungen konventioneller Bauweise ohne Lüftungsanlage [K] mit Wohnungen mit Wohnung mit Lüftungsanlage, meist Minergie®-Wohnungen [M], sowie der Vergleich von Wohnungen mit Lüftung mit und ohne Befeuchtung. Untersucht wurden jeweils 10 Wohnungen pro Typ.

In diesem Bericht werden für die Wohnungstypen einheitliche Abkürzungen verwendet:
K: Wohnungen ohne Lüftung (konventionelle Bauweise)
M: Wohnung mit Lüftung (meist Minergie®-Standard)
MB: Wohnungen mit Lüftung und einem zusätzlichen, dezentralen Befeuchter im Wohnzimmer

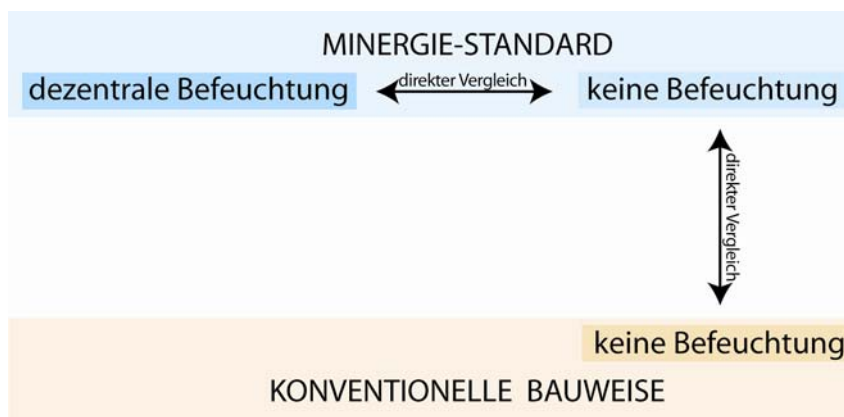


Abb. 1: Gegenüberstellung der drei Untersuchungsgruppen

Objektauswahl

Gesucht wurden 3.5 bis 4.5-Zimmerwohnungen in Mehrfamilienhäusern, die vor 1 bis 6 Jahren bezogen wurden. Die Auswahl erfolgte nach folgendem Schema:

- Anfrage bei Liegenschaftsverwaltungen (Umgebung Zürich)
- Versand einer schriftlichen Anfrage an Mieterinnen und Mieter von 3.5 bis 4.5-Zimmerwohnungen
- Auswahl von zwei möglichst vergleichbaren Wohnungen pro Siedlung (Ausnahme Siedlung Rümikerstrasse mit 4 Wohnungen)

In Siedlungen mit einer Komfortlüftung wurden jeweils eine Wohnung ohne Befeuchter und eine Wohnung mit einem im Wohnzimmer in Betrieb stehendem Befeuchter ausgewählt.

Befragung der Nutzerinnen und Nutzer

Am Messtag wurde mit den Nutzerinnen und Nutzern ein Interview geführt. Ihnen wurden Fragen zum Wohnverhalten und zur subjektiven Zufriedenheit gestellt (Fragekatalog siehe Anhang Tab. 11).

Messungen

Klimaparameter

Temperatur, relative Feuchte und die Kohlendioxidkonzentration wurden kontinuierlich über eine Woche aufgezeichnet. Der Messzeitraum erstreckte sich über 8 Wochen, vom 14. Februar bis 9. April 2007. Es wurden jeweils vier Wohnungen miteinander gemessen. Als Messort wurde das Wohnzimmer gewählt. Die Aussenluftwerte einer vergleichbaren möglichst nahen Station wurden von MeteoSchweiz als 10-Minuten-Werte bezogen. Anhand von Druck und Temperatur wurden aus den relativen die absoluten Feuchten rechnerisch ermittelt. Die Messwertreihe aus einer Wohnung mit Lüftung und Befeuchter konnte wegen eines defekten Speichergerätes nicht ausgewertet werden. Weiter Angaben über die eingesetzten Messgeräte finden sich im Anhang.

Luftkeime

Impaktion: Partikel einer definierten Grössenklasse werden durch die Beschleunigung durch Lochdüsen auf Prallplatten abgeschieden. Im Fall von Luftkeimsammeln werden Sporen aus der Luft auf Nährmedien abgeschieden.

Die Luftkeimmessungen wurden mittels Impaktion auf drei verschiedene Nährmedien durchgeführt. Zum Vergleich wurde zusätzlich zur Messung im Wohnzimmer auch die Aussenluft (konventionelle Wohnungen ohne Lüftung) resp. die Zuluft (Wohnungen mit Lüftung) untersucht (siehe Abb. 2).

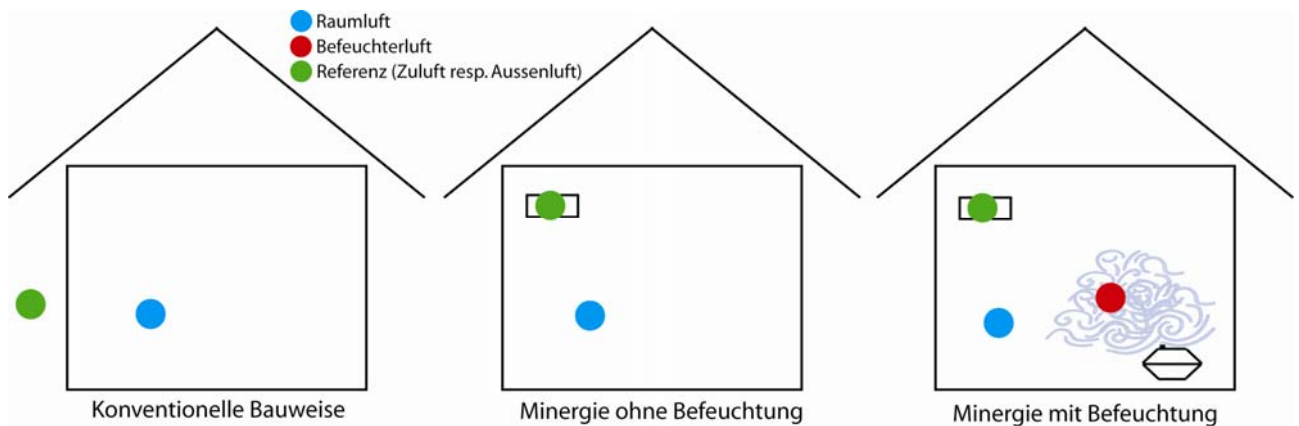


Abb. 2: Messpunkte der Luftkeimmessungen in Abhängigkeit der Untersuchungsgruppe

Wasserqualität

Von den in Betrieb stehenden Raumluftheuchtern wurde eine Wasserprobe entnommen und im Labor auf die Gesamtkeimzahl sowie auf Legionellen hin untersucht.

Befragung von Fachleuten

Drei Experten aus den Bereichen Umwelthygiene/Medizin (Roger Waeber, Bundesamt für Gesundheit, Bern; Prof.Dr.med. Jan-Olaf Gebbers, Institut für Umweltmedizin, Luzern; Dr. Georg Schäppi; aha!Schweizerisches Zentrum für Allergie, Haut und Asthma, Bern) wurden nach ihrer Meinung bezüglich Raumluftheuchte und Gesundheit befragt. Die Fragen und Antworten sind im Detail im Anhang (Tab. 12) zu finden. Zudem wurden drei Experten aus der Holzforschung (ETH: Prof. Dr. Peter Niemz; Berner Fachschule Architektur, Holz und Bau: Christoph Wüthrich; Fraunhofer-Institut für Holzforschung: Dr. Dirk Lukowsky) zum Thema Parkett und tiefe Raumluftheuchte interviewt.

Objekte

Siedlungen ohne Lüftung

Zelgli Binz



Einzug	2003/2004
Wohneinheiten	
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Beton gestrichen W Abrieb, KS-Fertigputz B Mosaikklebeparkett Eiche
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 100 m ² 4.5-Zi, 102 m ²

Hummelberg Jona



Einzug	2005
Wohneinheiten	67
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Stäbchenklebeparkett Eiche
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 108 m ² 4.5-Zi, 106 m ²

Chämletenweg Rümlang



Einzug	2003/2004
Wohneinheiten	32
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Plattenbelag (im SZ Riemenparkett Buche)
Untersuchte Wohnungen	3.5-Zi, 96 m ² 4.5-Zi, 142 m ²

Schaffhauserstrasse Zürich



Einzug	2004
Wohneinheiten	50
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Mosaikklebeparkett Kanadischer Ahorn
Untersuchte Wohnungen	3.5-Zi, 94 m ² 4.5-Zi, 107 m ²

Kraftwerk Zürich



Einzug	2001
Wohneinheiten	80
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Sumpfkalk B Linol
Untersuchte Wohnungen	4-Zi, 92m ² 4-Zi, 92 m ²

Siedlungen mit Lüftung

Im oberen Gern Winterthur



Einzug	2003/2004
Wohneinheiten	79
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Mosaikklebeparkett
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 100 m ² 4.5-Zi, 102 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.33 h ⁻¹ / 0.31 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentauscher Filter F6 Bemerkungen LER; Minergie®

Zwinglistrasse Winterthur



Einzug	2002/2003
Wohneinheiten	33
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Mosaikklebeparkett Ahorn
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 108 m ² 4.5-Zi, 108 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.71 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentauscher Filter k.A. Bemerkungen Minergie®

LER:
Lufterdreister.

Eschenpark Zürich

Einzug	2005
Wohneinheiten	66
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Glattputz gestrichen W Raufasertapete gestrichen B Mosaikklebeparkett Eiche
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 121 m ² 3.5-Zi, 108 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.76 h ⁻¹ / 0.85 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentaucher Filter G3 (Auslieferungszustand) Bemerkungen dezentrale Geräte, Minergie®

Dorfstrasse Rüti

Einzug	2005
Wohneinheiten	5
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Riemenklebeparkett Buche
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 141 m ² 3.5-Zi, 104 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.38 h ⁻¹ / 0.38 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentaucher Filter G4 Bemerkungen LER

Hinterdorf Dürnten

Einzug	2001
Wohneinheiten	19
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Mosaikklebeparkett Ahorn
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 102 m ² 4.5-Zi, 102 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.59 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentaucher Filter F9 Bemerkungen LER; Minergie®

Hädrichpark Zürich

Einzug	2005
Wohneinheiten	88
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Tapete B Riemenparkett Akazie
Untersuchte Wohnungen	3.5-Zi, 91 m ² 3.5-Zi, 91 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.26 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentaucher Filter F7 Bemerkungen Bypass wenn WRG vereist; Minergie®

Jasminweg Zürich



Einzug	2002
Wohneinheiten	67
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B MosaikklebeParkett Eiche
Untersuchte Wohnungen	4.5-Zi, 113 m ² 4.5-Zi, 113 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.46 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentauscher Filter G4 Bemerkungen LER; Minergie®; Reduktion (30%) 9-11, 14-17, 22-6

Kraftwerk Zürich



Einzug	2001
Wohneinheiten	80
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Sumpfkalk B Linol / MosaikklebeParkett Eiche (1 WHG)
Untersuchte Wohnungen	4-Zi, 92m ² 4-Zi, 92 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.39 h ⁻¹ WRG-Typ k.A. Filter F6 Bemerkungen Minergie®

Waidmatt Zürich



Einzug	2001
Wohneinheiten	40
Innenmaterialien (Wohnbereich)	D Weissputz W Abrieb B Fertigparkett Buche
Untersuchte Wohnungen	3.5-Zi, 76 m ² 3.5-Zi, 88 m ²
Lüftung	Luftwechsel 0.93 h ⁻¹ / 0.81 h ⁻¹ WRG-Typ Plattentauscher Filter Bemerkungen Minergie®; nachts 30% Reduktion, Renovation

Resultate

Klima

Die in den untersuchten Wohnzimmern gemessenen relativen Raumlufffeuchten lagen im Mittel (arithmetisches Mittel) in Wohnungen ohne Lüftung [K] bei 42 %rF (Standardabweichung [STABW]: 7 %rF), in Wohnung mit Lüftung [M] bei 35 %rF (STABW: 4 %rF) und in Wohnungen mit Lüftung und Befeuchtung [MB] bei 39 %rF (STABW: 3 %rF).

Die absoluten Raumlufffeuchten wurden aufgrund des atmosphärischen Drucks und der Raumlufftemperatur aus der gemessenen relativen Raumlufffeuchte berechnet. Die absoluten Raumlufffeuchten lagen im Mittel in K bei 7.7 g/kg (STABW: 1.2 g/kg), in M bei 6.7 g/kg (STABW: 0.6 g/kg) und in MB bei 7.2 g/kg (STABW: 0.6 g/kg).

Die Raumlufftemperaturen lagen in der Messwoche in K im Mittel bei 23.1 °C (STABW: 1.2 °C), in M bei 23.7 °C (STABW: 0.9 °C) und in MB bei 23.4 °C (STABW: 1.2 °C).

Untersucht wurden auch die Kohlendioxidkonzentrationen. Sie lagen im Wohnzimmer von K bei durchschnittlichen 720 ppm (STABW: 130 ppm), in M bei 680 ppm (STABW: 120 ppm) und in MB bei 630 ppm (STABW: 140 ppm).

Die Messwerte sind auf nachfolgenden Seiten grafisch aufgearbeitet zusammengestellt (Abb. 4 bis Abb. 7). Die Darstellung wurde einheitlich gestaltet, Abb. 3 dient als Interpretationshilfe. Im Kapitel Interpretation werden die Messdaten diskutiert und einzelne Daten genauer untersucht.

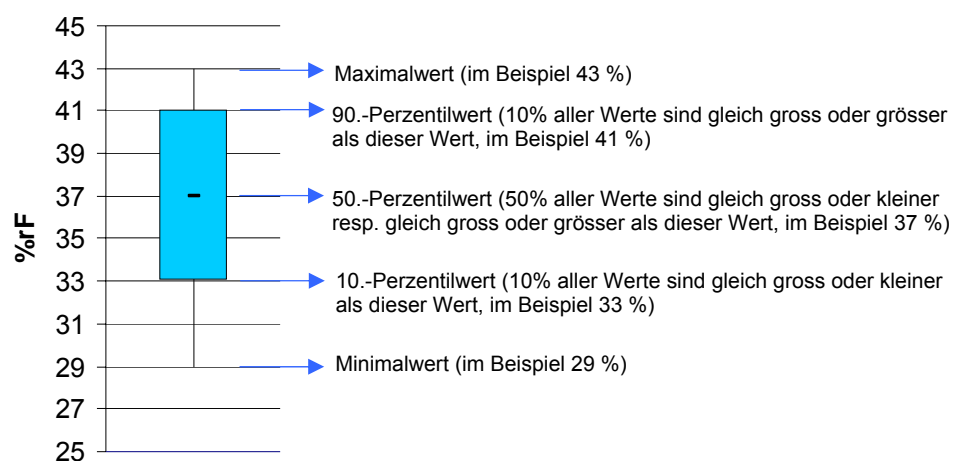


Abb. 3: Interpretationshilfe

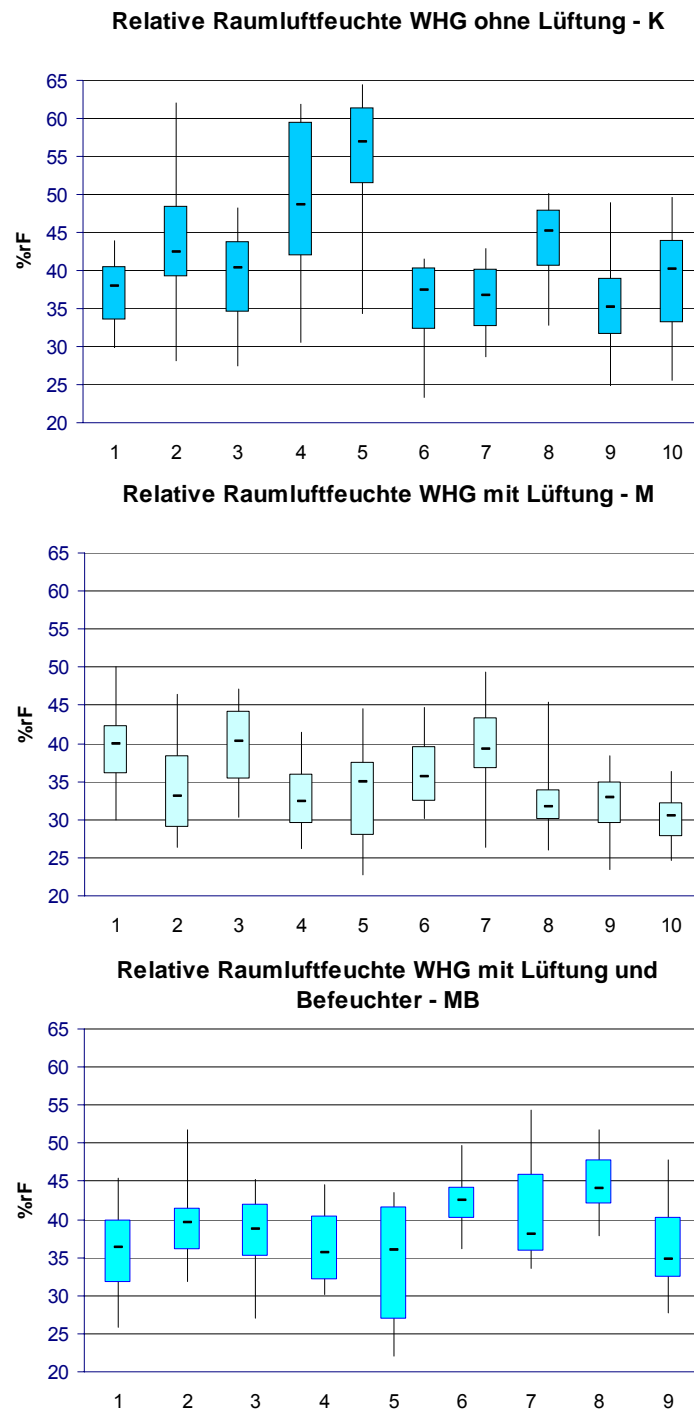


Abb. 4: Gemessene relative Luftfeuchten pro Wohnungsklasse dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 10- resp. 90-Perzentilwerte (10% der Werte liegen unterhalb, 10% oberhalb der Box)

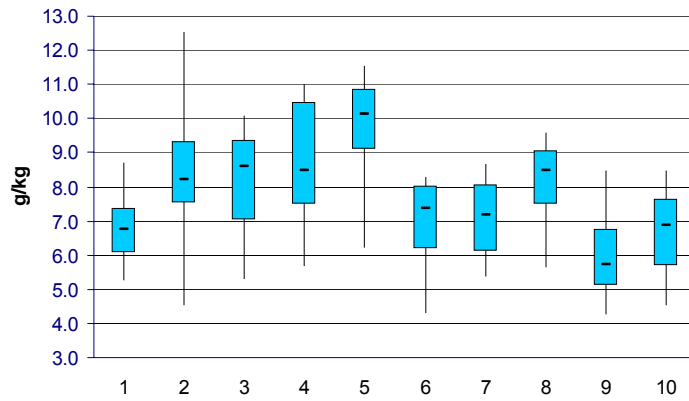
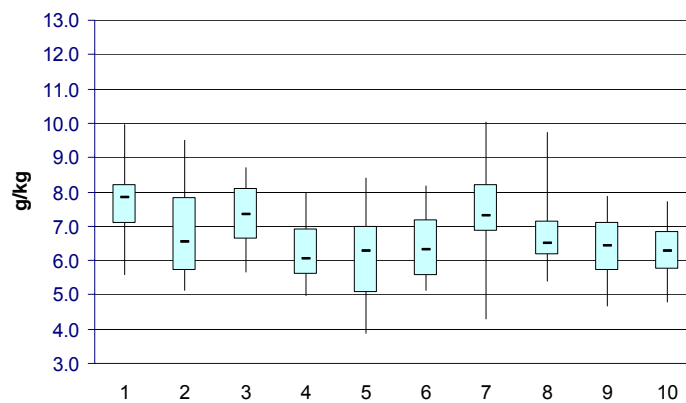
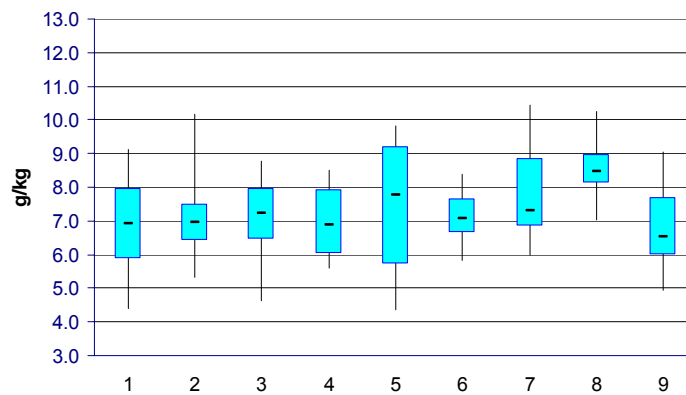
Absolute Raumluftheuchte WHG ohne Lüftung - K**Absolute Raumluftheuchte WHG mit Lüftung - M****Absolute Raumluftheuchte WHG mit Lüftung und Befeuchter - MB**

Abb. 5: Berechnete absolute Luftfeuchten pro Wohnungsklasse dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 10- resp. 90-Perzentilwerte (10% der Werte liegen unterhalb, 10% oberhalb der Box)

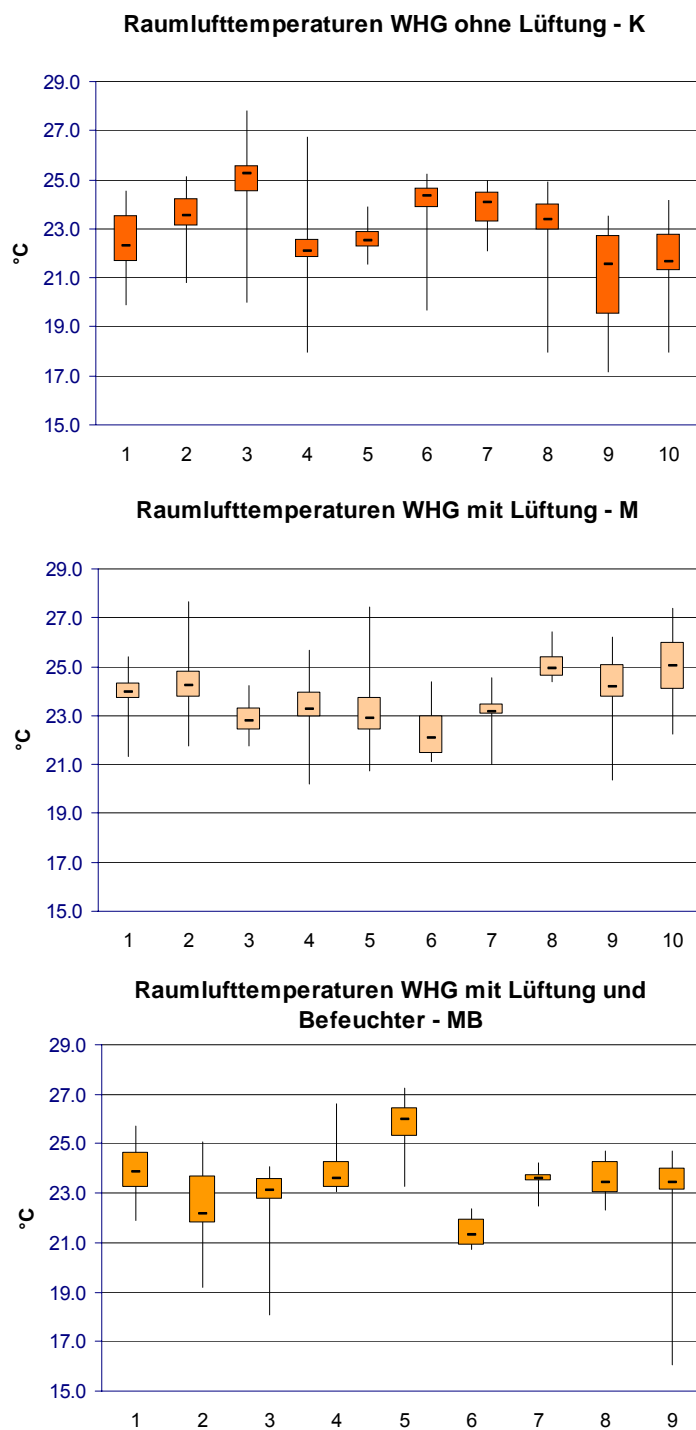


Abb. 6: Gemessene Raumlufttemperaturen pro Wohnungsklasse dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 10- resp. 90-Perzentilwerte (10% der Werte liegen unterhalb, 10% oberhalb der Box)

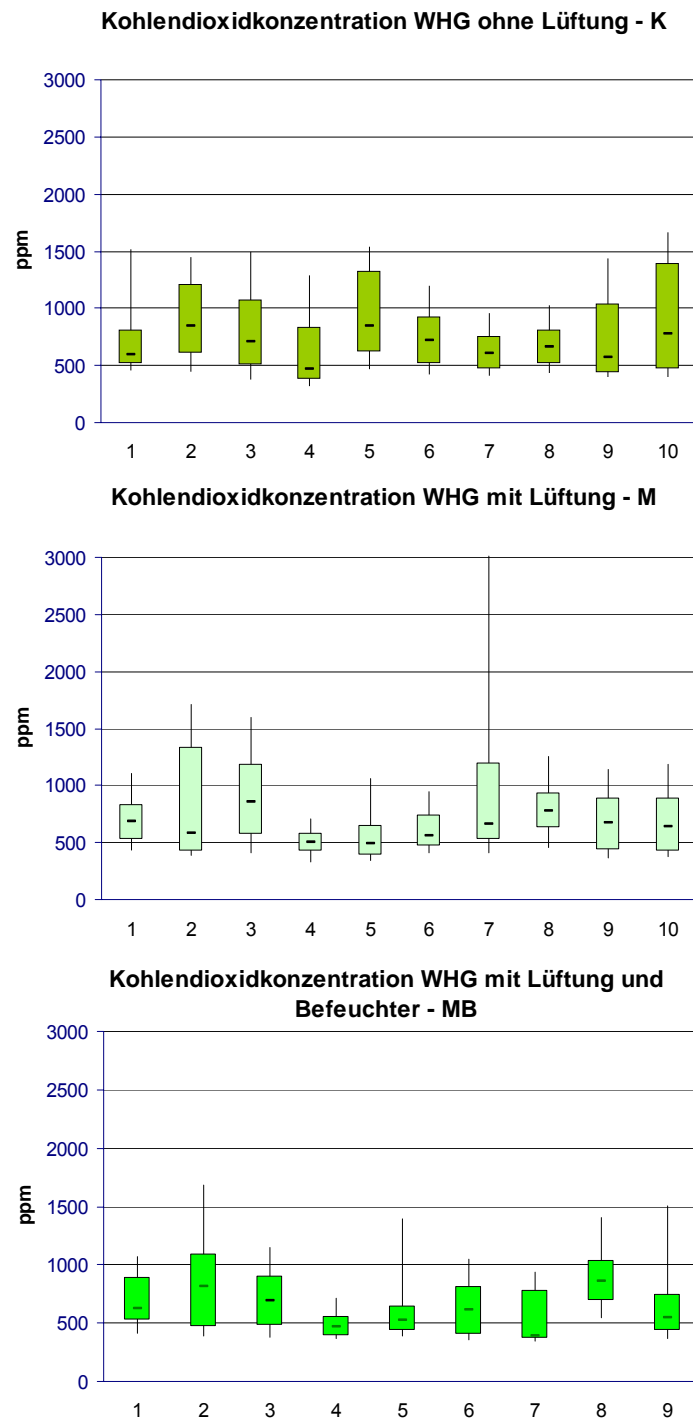


Abb. 7: Gemessene Kohlendioxidkonzentrationen pro Wohnungsklasse dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 10- resp. 90-Perzentilwerte (10% der Werte liegen unterhalb, 10% oberhalb der Box)

Luftkeime

In Abb. 8 sind die Konzentrationen luftgetragener Schimmelpilze dargestellt. Die Messungen erfolgten vergleichend, das heisst, neben der Raumluftmessung im Wohnzimmer erfolgte auch eine Referenzmessung in der Aussenluft (Wohnungen ohne Lüftung) resp. in der Zuluft (Wohnungen mit Lüftung). Zur Beurteilung des Einflusses des Befeuchters wurde in den entsprechenden Wohnungen auch eine Messung in unmittelbarer Nähe des Gerätes durchgeführt.

Die Schimmelpilzmessungen wurden auf zwei verschiedenen Nährmedien mit unterschiedlichen Eigenschaften durchgeführt. MEA (Malz-Extrakt-Agar) ist ein universelles Schimmelpilz-Medium, auf dem in erster Linie jene Schimmelpilze gut wachsen, die eine mittlere bis hohe Substratfeuchte brauchen. Auf DG18 gedeihen Schimmelpilze, die bei eher „trockenen“ Bedingungen zu finden sind. Schnellwachsende Schimmelpilze werden zudem gehemmt. Als grobe Faustregel gilt: auf MEA wachsen eher aussenlufttypische Schimmelpilze, auf DG18 eher innenraumtypische Schimmelpilze.

KBE (Koloniebildende Einheit): Masseinheit für Schimmelpilze und Bakterien, beruhend auf dem Messverfahren. Die Keime (z.B. Schimmelpilzsporen) werden auf einer Petrischale mit Nährmedium kultiviert. Nach ein paar Tagen bilden sich mit dem Auge sichtbare Kolonien, die ausgezählt und als koloniebildende Einheiten (KBE pro m³ oder ml) angegeben werden.

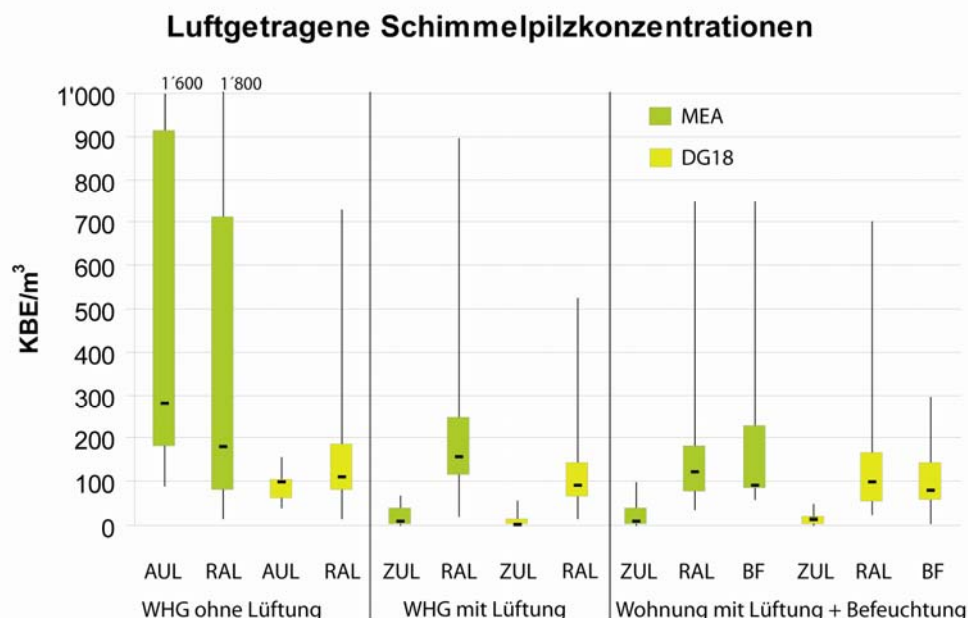


Abb. 8: Durchschnittliche Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft (RAL) und als Referenz in der Aussenluft (AUL) bei Wohnungen ohne Lüftung resp. in der Zuluft (ZUL) bei Wohnungen mit Lüftung. In Wohnungen mit einem Befeuchter wurde zusätzlich eine Messung in unmittelbarer Umgebung des Befeuchters durchgeführt (BF). Die Kultivierung erfolgte auf zwei verschiedenen Nährmedien: MEA (Malz-Extrakt-Agar) und DG18 (Dichloran-Glucose-Agar). Die Werte sind dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 25- resp. 75-Perzentilwerte (25% der Werte liegen unterhalb, 25% oberhalb der Box).

In der Raumluft von Wohnungen ohne Lüftung lagen die Schimmelpilzkonzentrationen höher als in Wohnungen mit Lüftung. Zudem ist eine breitere Streuung zu sehen. Die Schimmelkonzentrationen in der Zuluft, gemessen am Lüftungsgitter innerhalb des Lüftungskanals, lagen deutlich unterhalb der Aussenluftwerte. Der Befeuchter bewirkt im Mittel keine Konzentrationsänderung luftgetragener Schimmelpilze.

In allen Wohnungstypen lagen die Bakterienkonzentration in der Raumluft deutlich über den Referenzwerten (Aussenluft, resp. Zuluft). Abb. 9 zeigt die Bakterienkonzentrationen an den gleichen Messpunkten wie oben beschrieben. Auf einzelne Messwerte, insbesondere Maximalwerte, wird im Kapitel Interpretation detailliert eingegangen.

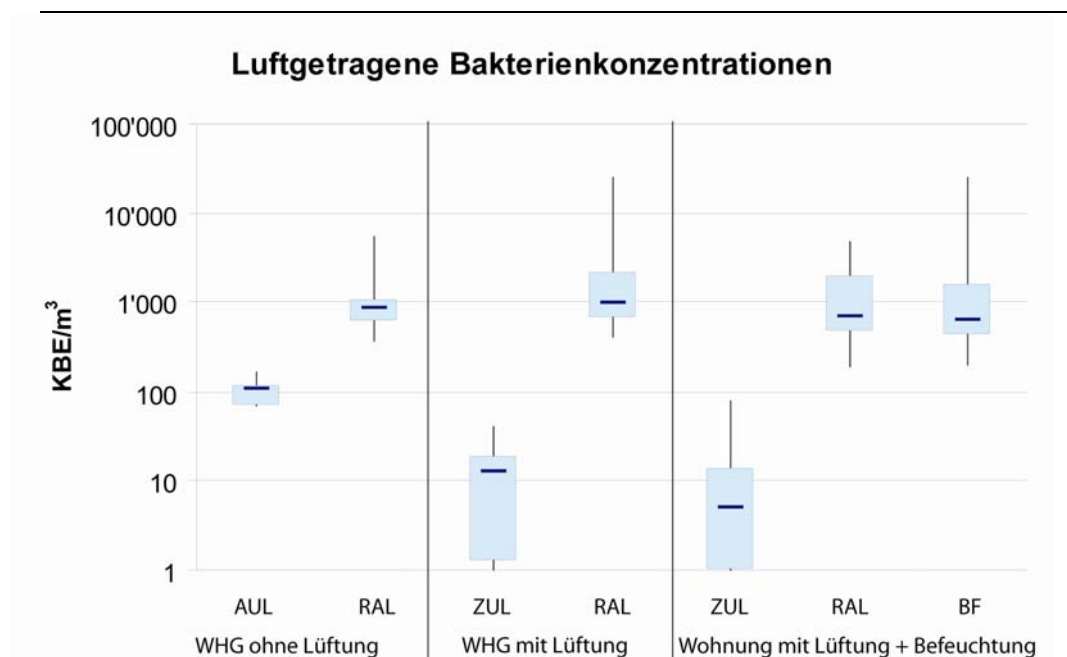


Abb. 9: Logarithmische Darstellung der durchschnittlichen Bakterienkonzentrationen in der Raumluft (RAL) und als Referenz in der Aussenluft (AUL) bei Wohnungen ohne Lüftung resp. in der Zuluft (ZUL) bei Wohnungen mit Lüftung. In Wohnungen mit einem Befeuchter wurde zusätzlich eine Messung in unmittelbarer Umgebung des Befeuchters durchgeführt (BF). Die Kultivierung erfolgte auf TSA (Tryptic-Soy-Agar). Die Werte sind dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 25- resp. 75-Perzentilwerte (25% der Werte liegen unterhalb, 25% oberhalb der Box).

Wasserqualität

Die Keimkonzentrationen (Gesamtkeimzahl) im Befeuchterwasser der dezentralen Raumluftbefeuchter lagen im Durchschnitt bei über 60'000 KBE/ml. 25% der Werte lagen über 800'000 KBE/ml und 25% lagen unter 800 KBE/ml.

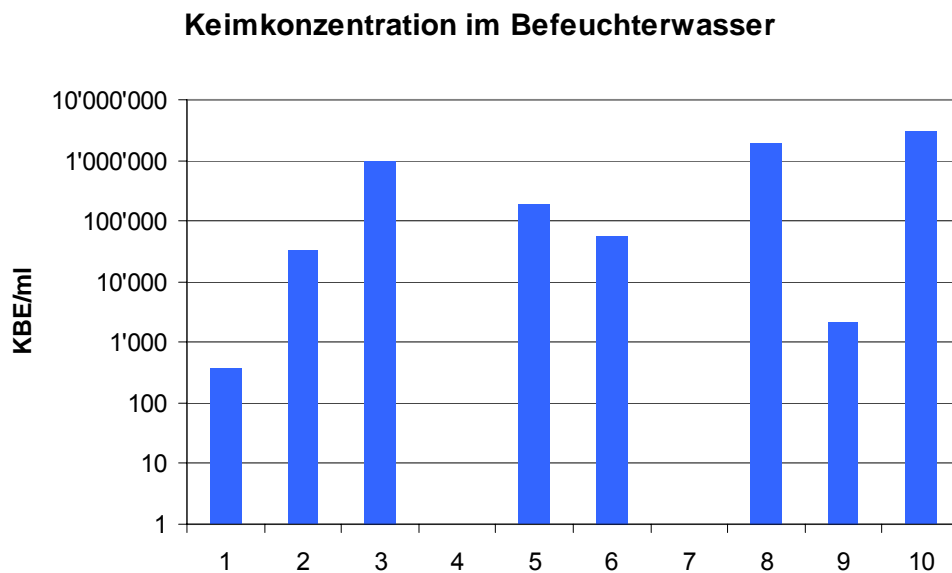


Abb. 10: Logarithmische Darstellung der Keimkonzentrationen im Wasser der von den Nutzern aufgestellten Raumluftbefeuchter

Nutzerzufriedenheit

Die befragten Wohnungsnutzerinnen und –nutzer zeigten sich mit der Wohnung im Allgemeinen zufrieden bis sehr zufrieden. Bei der Raumlufttemperatur und der Luftqualität fallen die Antworten in Wohnungen mit einer Lüftungsanlage tendenziell besser aus. Dagegen sind in diesen Wohnungen die Leute mit der Raumluftfeuchte eher unzufriedener.

40 % der Nutzerinnen und –nutzer von Wohnungen ohne Lüftung klagten über zu feuchte Raumluft, die anderen 60 % machten keine Angaben dazu, ob die Luft zu trocken oder zu feucht empfunden wird. In Wohnungen mit Lüftung gaben 65 % an, die Raumluft sei zu trocken. 35 % machten keine Angaben.

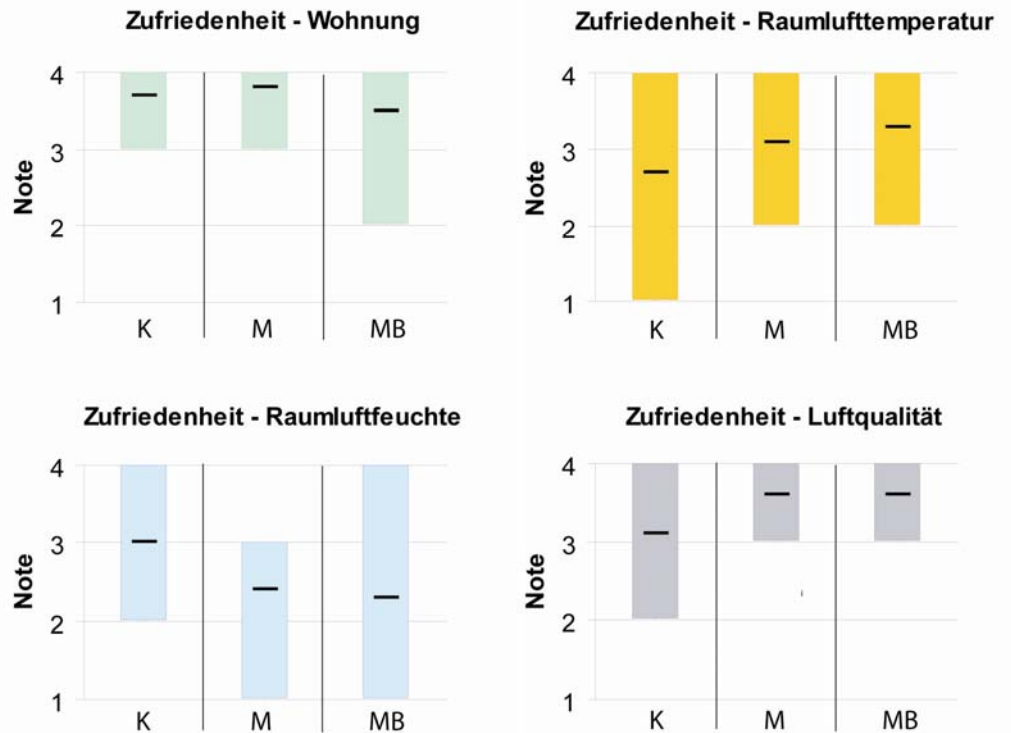


Abb. 11: Umfrageergebnisse zur Zufriedenheit bezüglich Wohnung allgemein, Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte und Luftqualität dargestellt mit Mittelwert (Strich) und Bandbreite (Box) pro Wohnungstyp. Benotungssystem – Note 4: sehr zufrieden, Note 3 zufrieden, Note 2: nicht zufrieden, Note 1 gar nicht zufrieden (K: WHG ohne Lüftung; M: Wohnung mit Lüftung; MB: Wohnung mit Lüftung und Befeuchter)

Parkett

In zwei Wohnungen der gleichen Siedlung wurden grössere Schäden am Parkett (Mosaikklebparkett) beklagt. Sie bezogen sich sowohl auf grössere Fugen wie auch auf abgelöste Teile. In insgesamt 9 Wohnungen wurden Schäden in kleinem Ausmass (einzelne lose Teile und/oder kleine, örtlich begrenzte Risse/Fugen) gefunden.

	K	M	MB
Anzahl Wohnungen mit Parkett	8	9	9
Anzahl Wohnungen mit örtlich begrenzten Kleinstschäden	1	3	5
Anzahl Wohnungen mit grösseren Schäden	0	1	1

Tab. 1: Anzahl Wohnung mit Parkettschäden aufgeschlüsselt nach Wohnungstyp

Interpretation

Winter 2006/2007

Bei der Interpretation raumklimatischer Parameter spielen die Aussenbedingungen eine zentrale Rolle (siehe auch Grundlagen Luftfeuchte). Der Winter 2006/2007 war verglichen mit Normwerten eindeutig zu warm. Im Januar, Februar und April war es extrem mild. Der März war ebenfalls wärmer und zusätzlich viel feuchter als normal (Tab. 2). Dementsprechend waren während der Untersuchungsperiode keine länger andauernden Perioden mit tiefen Aussentemperaturen zu verzeichnen. Bei der Interpretation der Resultate muss dieser Umstand beachtet werden, insbesondere bezüglich der Raumluftfeuchte. In Bezug auf die Luftkeime, die hygienischen Aspekte der Luftbefeuchter sowie den Parkettzustand beeinflusst der Ausnahmewinter 2006/2007 die Aussagen kaum.

Monat	Abweichung von Norm SMA		Abweichung von Norm ZH-Kloten		Abweichung von Norm Tänikon	
	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [%]	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [%]	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [%]
Dez 06	1.9	75	2.4	73	1.7	66
Jan 07	5.0	84	5.7	93	5.3	95
Feb 07	3.9	100	4.1	140	3.7	127
März 07	1.5	155	1.6	147	1.0	159
April 07	6.1	7	5.5	11	4.3	14

Tab. 2: Lufttemperatur- und Niederschlagsabweichung von Normwerten (Quelle MeteoSchweiz)

Raumluftfeuchte

Grundlagen Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte gibt an, wie viel Wasser im Verhältnis zur maximal möglichen Aufnahmekapazität in der Luft vorhanden ist. Bei 40 % relativer Feuchte könnte die Luft demnach noch eineinhalb Mal soviel Wasser aufnehmen bis sie gesättigt ist und eine weitere Aufnahme in Niederschlag übergehen würde. Die Sättigung der Luft mit Wasser ist temperaturabhängig. Je kälter die Luft, desto weniger Wasser kann sie aufnehmen. Dieser Effekt wirkt sich beispielsweise dann aus, wenn kalte Luft im Winter in einen warmen Innenraum strömt. Wird Luft mit einer Temperatur von 0 °C und einer relativen Feuchte von 80 % auf 21 °C erwärmt, sinkt die relative Feuchte auf 20 % ab, ohne dass sich der absolute Wassergehalt ändert. Dieser ist in

beiden Fällen um die $3.2 \text{ g}_{\text{Dampf}}/\text{kg}_{\text{Luft}}$. Aus diesem Grund sinkt im Winter die relative Raumlufftfeuchte stark ab, wenn beispielsweise die Fenster ständig offen resp. gekippt sind, oder wenn die Lüftungsanlage mit einem hohen Aussenluftvolumenstrom fährt und dadurch einen hohen Luftwechsel in der Wohnung bewirkt.

Die relative Raumlufftfeuchte hängt nicht nur von den Aussenluftbedingungen ab, sondern auch von der Feuchteproduktion in der Wohnung selbst. Je mehr Wasserdampf erzeugt wird, desto mehr wirkt sich dies auf die Raumlufftfeuchte aus. In der kalten Jahreszeit bewirkt der Luftwechsel eine Verminderung, Feuchteproduktion eine Erhöhung der Raumlufftfeuchte. Im Sommer bewirken beide eine Erhöhung der Raumlufftfeuchte.

Zum direkten Vergleich wird vorzugsweise die absolute Feuchte herangezogen, die sich aus der leicht messbaren relativen Feuchte, der Temperatur und des Druckes berechnen lässt. Die Differenz zwischen absoluter Innenraumfeuchte und Aussenluftfeuchte wird Feuchtelast genannt. Sie dient als Mass der internen Feuchteproduktion in Abhängigkeit vom Luftwechsel.

Gesundheitliche Aspekte

Es gibt viele Studien mit zum Teil gegensätzlichen Schlüssen, die sich mit dem Thema Luftfeuchte in Innenräumen und gesundheitlichen Auswirkungen befassen. Im Folgenden sind einige neuere Arbeiten aufgeführt, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Es soll aufzeigen, wo sich der heutige Wissensstand in etwa bewegt. Dazu sind auch noch drei Expertenmeinungen im nachfolgenden Kapitel angefügt.

Hahn von N.; „Trockene Luft und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit - Ergebnisse einer Literaturstudie“; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft; 2007

Eine neuere Literaturstudie zu diesem Thema fasst einige interessante Fakten zusammen [Hahn, 2007]. Sie kommt zum Schluss, dass aus medizinischer Sicht keine untere Feuchtegrenze abgeleitet werden kann. Des Weiteren sind erhöhter Staubgehalt der Luft sowie hohe Raumluffttemperaturen Faktoren, die das Gefühl zu trockener Luft beeinflussen. Als Fazit rät sie von einer Befeuchtung ab, wenn die Raumlufftfeuchte nicht über einen längeren Zeitraum in einen Bereich von 10 bis 20 % fällt. Bezüglich möglichen Symptomen listet sie eine Reihe verschiedener Studien auf, die darauf Bezug nehmen. Bei der Austrocknung der Schleimhäute ortet sie mehrheitlich Studien, die keinen Einfluss der Luftfeuchte nachweisen. Eine Mehrheit der Studien weist dagegen auf einen Zusammenhang zwischen trockenen Augen, trockener Haut und tiefer Luftfeuchte hin. Zudem scheint das Erkältungsrisiko durch eine höhere Luftfeuchte zu sinken, beruhend vor allem wegen der Wirkung auf die Überlebensfähigkeit des Grippevirus und die Schwebefähigkeit des Staubs. Wolkoff führte eine Literaturstudie zum Thema Augenbeschwerden in der Büroumgebung mit dem Ziel durch, das Phänomen „trockene Augen“ besser zu verstehen [Wolkoff, 2004]. Er identifi-

Wolkoff P. et al; „Eye Complaint in the Office Environment: Precorneal Tear Film Integrity Influenced by the Blinking Efficiency“; Occupational Environment Medicine, 2005

zierte verschiedene Faktoren, unter anderem die Bildschirmarbeit, hohe Raumtemperaturen, tiefe Luftfeuchte, hohe Luftgeschwindigkeiten, Müdigkeit, Kontaktlinsen und chemische Reaktionsprodukte in der Raumluft.

Viele Studien wurden in Zusammenhang mit der Kabinenluft in Flugzeugen oder mit speziellen Arbeitsplätzen, die eine sehr tiefe Luftfeuchte aufweisen, durchgeführt. Eine Literaturstudie von 2003 vermutet einen Zusammenhang zwischen tiefer Luftfeuchte und verschiedenen „Trockenheits“-Symptomen in Auge, Haut und Atemwegen. Als durchschnittliche Luftfeuchte in den Flugzeugkabinen wird ein Bereich von 2 bis 15 % angegeben [Nagda, 2003]. Eine neuere Arbeit untersuchte den Einfluss verschiedener Volumenströme und Luftfeuchten in einer simulierten Flugzeugkabine. Sie kommt zum Schluss, dass durch eine Erhöhung der Luftfeuchte einzig das Symptom trockener Haut verbessert wird [Strøm-Tejsen, 2007].

Nagda N.L., Koontz M.D.; "Reviews of Studies on Flight Attendants Health and Comfort in Airliner Cabins"; Aviation, Space and Environmental Medicine, 2003

Strøm-Tejsen et al; "Passenger Evaluation of the Optimum Balance between Fresh Air Supply and Humidity from 7-h Exposures in a Simulated Aircraft Cabin"; Indoor Air, 2007

Expertenmeinungen

Bei der Frage, welche Feuchte in einer Wohnung eingehalten werden soll, gehen die Meinungen der drei Experten auseinander. Für Roger Waeber sind 30 bis 50 %rF ideal, wobei kurzfristige Unterschreitungen in der Regel unproblematisch seien. Jan-Olaf Gebbers empfiehlt 45 bis 65 %rF, während für Georg Schächli eher der Maximalwert von Belang ist (Hausstaubmilbenproblematik). Bei tiefen Raumluftfeuchten werden von den Experten vor allem Probleme mit trockenen Schleimhäuten, Haut und Augen beobachtet. Eine Wohnungslüftung wird positiv bewertet, insbesondere bezüglich der Vermeidung zu hoher Raumluftfeuchten. Sie muss allerdings gut eingestellt und gewartet sein. Roger Waeber und Georg Schächli können die Verwendung eines Befeuchters nicht generell empfehlen. Sie weisen darauf hin, dass andere Ursachen für festgestellte Komfortprobleme verantwortlich sein können (Staub, zu hohe Raumtemperatur, Reizstoffe, zu hoher Luftwechsel). Jan-Olaf Gebbers weist auf die Gefahr von Schimmelpilzwachstum hin. Wenn Befeuchter benutzt werden, sollten sie gut gewartet und frei von Schimmelpilzen sein. Zudem sollte die Luftfeuchte kontrolliert werden. Die Empfehlungen der drei Experten bezüglich Feuchte in der kalten Jahreszeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- Räume nicht überheizen (möglichst < 21 °C)
- Luftmengen überprüfen
- Luftfeuchte durch Messungen kontrollieren
- bei Wohnungen ohne Lüftung mehrmals täglich stosslüften

Die Antworten finden sich in ganzer Länge im Anhang.

SIA 180:
„Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“; 1999

SIA 382/1:
„Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“; 2007

Bewertungsmassstäbe

Angaben über die Raumlufffeuchte finden sich in den beiden SIA-Normen SIA 180 und SIA 382/1, wobei es in der SIA 180 um den Feuchteschutz, also die maximalen Feuchten geht, während sich die SIA 382/1 zu den Feuchtebereichen äussert (Winter und Sommerbetrieb). Im Winter wird nach SIA 382/1 in Wohnungen mit einer Lüftungsanlage eine untere Feuchtegrenze von 5 g/kg (entspricht 30 %rF bei 21 °C) vorgegeben (Auslegungskriterien). Zudem darf gemäss SIA 382/1 in einem typischen Jahr die vereinbarte absolute Raumlufffeuchte ohne zusätzliche Befeuchtung während 15 % der Nutzungszeit unterschritten werden.

Feuchtelasten

Bei den ermittelten Feuchtelasten interessiert einerseits, wie gross die Unterschiede zwischen den drei Wohnungstypen sind, andererseits wie die Feuchtelasten beurteilt werden müssen.

Aus oben dargestellten Zusammenhängen wird klar, dass die Differenz zwischen absoluter Feuchte im Innenraum und der Aussenluft mit abnehmender Aussenlufttemperatur zunimmt. In Abb. 12 sind die Feuchtelasten in Abhängigkeit von der Aussentemperatur dargestellt. Durch lineare Regression wird die Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur sichtbar. In Wohnungen ohne Lüftung ist eine grössere Streuung der Werte erkennbar. Die blauen Linien sind die linearen Regressionen über alle Wohnungen pro Wohnungstyp. Zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftung sind hier kaum Unterschiede erkennbar. Bei 0 °C Aussentemperatur liegt die Feuchtelast um die 3 g/kg. Wird ein Befeuchter eingesetzt, steigt die Feuchtelast um ca. 20 %.

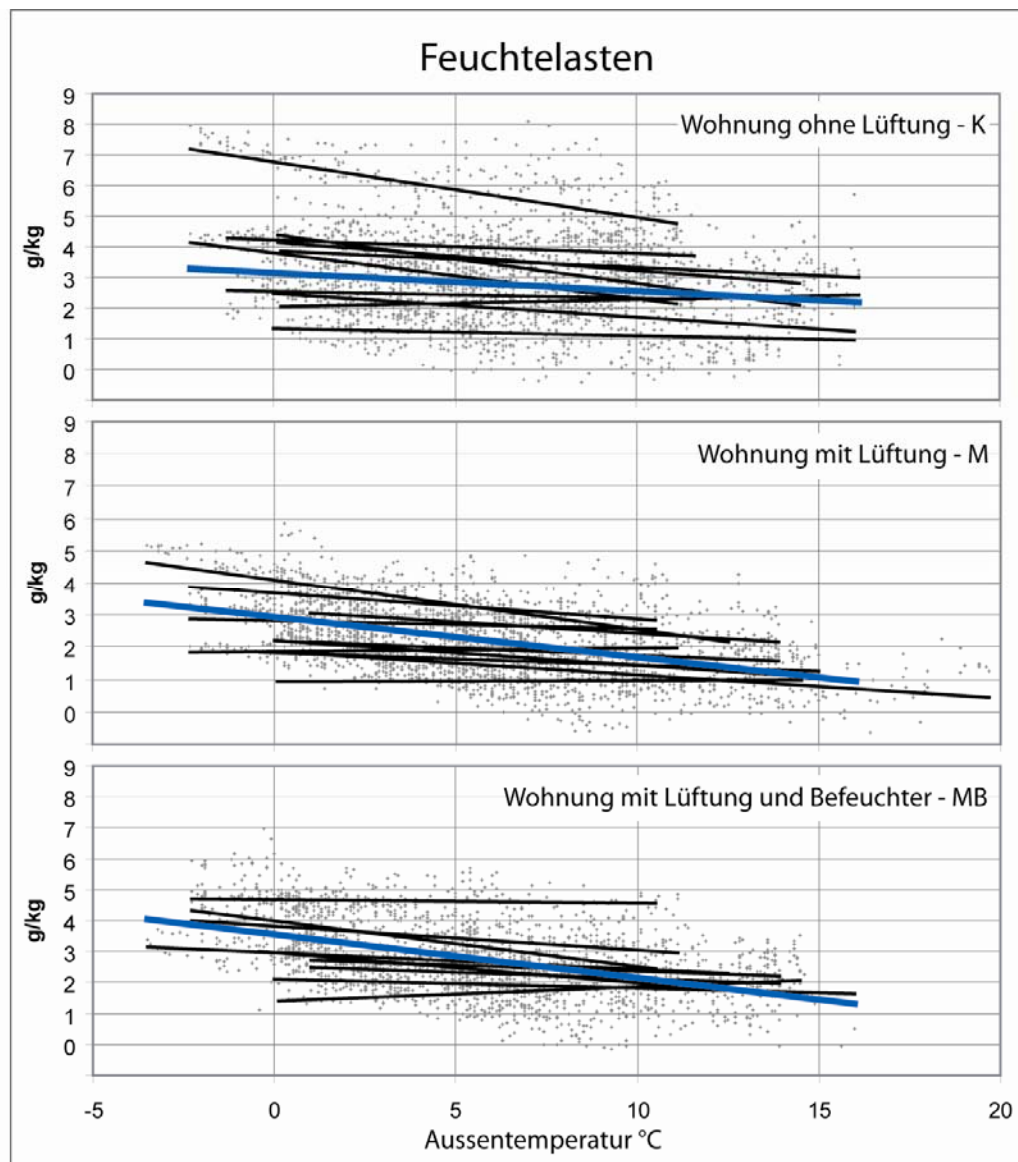


Abb. 12: Feuchtelasten in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur dargestellt als Einzelwerte (Punkte) und als lineare Regression pro Wohnung (schwarze Striche) resp. pro Wohnungstyp (dunkelblaue Striche), wobei bei Wohnungen ohne Lüftung der höchste Wert als Ausreisser behandelt und weggelassen wurde.

Bei der linearen Regression über alle Wohnungen pro Typ wurde bei Wohnungen ohne Lüftung die Wohnung mit der höchsten Feuchtelast als Ausreisser behandelt. Abb. 13 zeigt die Werte aus der betreffenden Wohnung. Die Mieter klagen über Feuchteprobleme (Kondenswasser an den Scheiben) sowie über Schimmelpilzbefall an Fensterrahmen und im Bad. Im Durchschnitt lag die relative Luftfeuchte in dieser Wohnung bei 57 %rF.

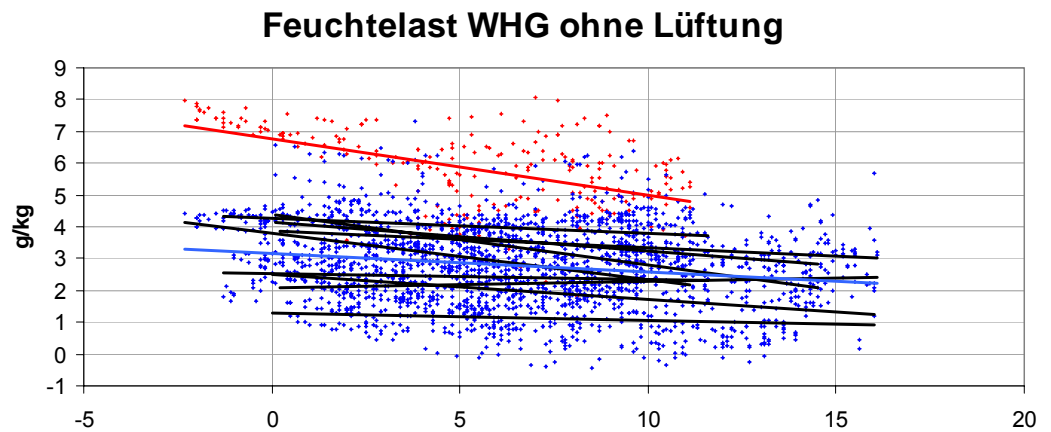


Abb. 13: Feuchtelast einer Wohnung mit ungenügender Lüftung und Feuchteproblemen (rot)

Die Feuchtelast bei 0 °C liegt bei dieser Wohnung im Schnitt bei 6.8 g/kg, mehr als doppelt so hoch wie der Durchschnitt aller restlichen Wohnungen dieses Wohnungstyps.

Dass es sich hier um eine Wohnung mit hoher Feuchtelast handelt, zeigt auch der Vergleich mit Messungen aus anderen Untersuchungen. Künzel hat aus den Ergebnissen von Langzeitmessungen in Wohnräumen Feuchtelasten bezüglich niedrig, normal und hoch klassifiziert. Bei einer Aussentemperatur von 0 °C gibt er als Grenze für eine niedrige Feuchtelast 2 g/m³ (Dampfdichte) an, für eine normale Feuchtelast 4 g/m³ und für eine hohe 6 g/m³. Die Feuchtelast in der Wohnung mit dem Feuchteproblem liegt mit etwa 8.2 g/m³ (Umrechnungsfaktor spezifische Feuchte zu Dampfdichte: ca. 1.2) klar in einem hohen Bereich resp. darüber.

Künzel H.M.; „Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnungen“; IBP-Mitteilung 24; Nr. 314; Fraunhofer Institut für Bauphysik; 1997

Künzel H.M.; „Raumluftfeuchte in Wohngebäuden – Randbedingungen für die Feuchteschutzbeurteilung“, Zeitschrift Wärme-, Kälte-, Schall-, und Brandschutz; 56; 2006

Begriffe der absoluten Feuchte:

- **Spezifische Feuchte:** häufig in Klimatechnik verwendete Grösse, bezieht sich auf die Masse des Dampfes pro Masse Luft (g/kg), wobei in der Regel der Unterschied zwischen Masse trockener Luft und Masse feuchter Luft vernachlässigbar ist.
- **Dampfdichte:** bezieht sich auf die Masse pro Volumeneinheit (g/m³)

Die Berechnung der Feuchtelasten in Abhängigkeit der Aussentemperaturen sollte über einen grösseren Zeitraum erfolgen. Die Klimadaten in diesem Projekt wurden nur jeweils eine Woche lang erfasst. Dementsprechend sollten die dargestellten Werte als Richtgrössen interpretiert werden. Für den direkten Vergleich der drei verschiedenen Wohnungstypen spielt dies allerdings keine Rolle, da bezüglich Messdauer und Messort für alle Wohnungen die gleichen Messbedingungen herrschten.

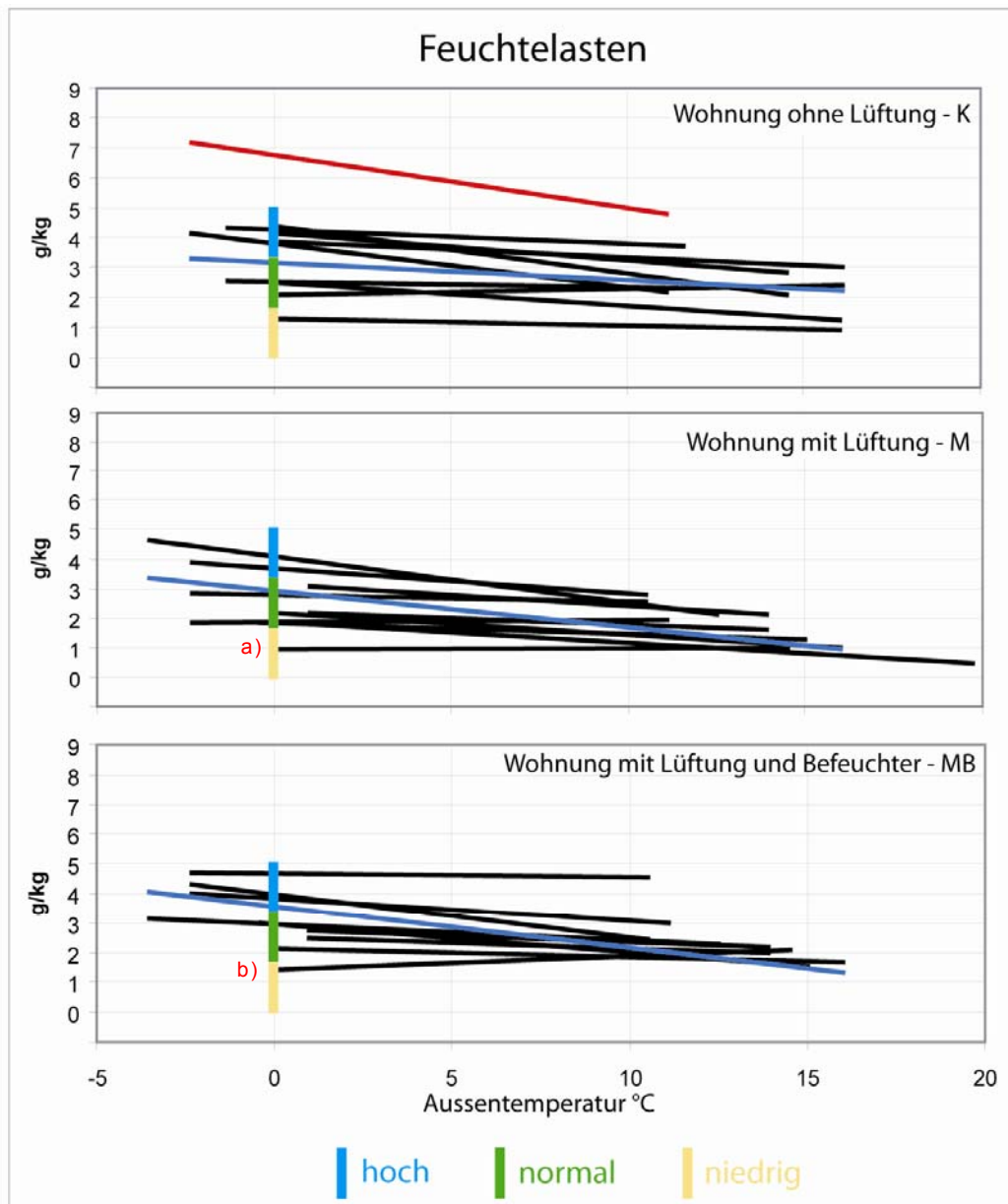


Abb. 14: Beurteilung der Feuchtelasten bei 0 °C Aussentemperatur nach Künzel

Die beiden Wohnungen mit Lüftung und der tiefsten Feuchtelast (a und b) befinden sich in der gleichen Siedlung. Anhand der Gerätedaten liegt der Luftwechsel dort bei ca. 0.8 h^{-1} . Dies erklärt die tiefen Feuchtelasten trotz eingeschaltetem Befeuchter.

Raumlufttemperatur

Bewertungsmassstäbe

SIA 180:
„Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“; 1999

SIA 382/1:
„Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“; 2007

SIA Merkblatt 2024:
„Standardnutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik“; 2006

Angaben zur Temperatur werden in verschiedenen SIA-Normen resp. Merkblättern gegeben. Massgebend sind SIA 180 und SIA 382/1, wobei bei der Beurteilung der Unterschied zwischen der empfundenen Temperatur und der Lufttemperatur vernachlässigbar ist [SIA 382/1]. Das Merkblatt 2024 listet Annahmen über Raumnutzungen auf, die u.a. bei Energieberechnungen verwendet werden.

SIA-Publikation	Normtemperatur/Auslegung	Temperaturbereich
SIA 180 ¹	21 °C	19 – 24 °C
SIA 382/1 ²	21 °C	21 – 24.5 °C ³
SIA Merkblatt 2024 ⁴	21 °C	20 – 24 °C

Tab. 3: Normtemperaturwerte für Innenräume

Gesundheitliche Aspekte

European Collaborative Action (ECA); „Ventilation, Godde Indoor Air Quality and Rational Use of Energy“; Report Nr. 23; 2003

Wolkoff P. et al; „Eye Complaint in the Office Environment: Precorneal Tear Film Integrity Influenced by the Blinking Efficiency“; Occupational Environment Medicine, 2005

Federspiel C.C. et al; „Work Performance and Ventilation in a Call Center: Analysis of Work Performance Data for Registered Nurses“; Indoor Air, 2004

Die Raumlufttemperatur spielt neben der Behaglichkeit auch eine Rolle bei der Beurteilung der Raumluftqualität. Beispielsweise führt eine hohe Raumlufttemperatur im Winter zu mehr gebäudespezifischen Befindlichkeitsstörungen als eine tiefere [ECA, 2003]. Wolkoff führte eine Literaturstudie zum Thema Augenbeschwerden in der Büroumgebung durch und kam unter anderem zum Schluss, dass eine Senkung der Raumtemperatur um 1 °C eine Senkung der Schwere von Augenbeschwerden (trockene Augen, beissende Augen) von 19 % zur Folge hat [Wolkoff, 2004]. Federspiel untersuchte die Arbeitsleistung in einem Callcenter und fand unter anderem eine Korrelation zwischen erhöhter Raumtemperatur (> 25.4 °C) und einer Verlangsamung der Leistung [Federspiel, 2004].

Temperaturbereiche

Einige Wohnungen liegen bezüglich den Raumtemperaturen ausserhalb des Temperaturbereichs von 19 – 24 °C, welcher gemäss SIA 180 als behaglich angenommen wird. Bei den untersuchten Wohnungen ohne Lüftung liegen die Raumlufttemperaturen in 3 von 10 Fällen über 24 °C, bei den Wohnungen mit Lüftung sind es 5 von 10 und bei den Wohnungen mit Lüftung und

¹ Beispiel für leichte, sitzende Bürotätigkeit bei der Jahreszeit angemessener Kleidung

² Auslegungskriterien für Räume mit Lüftungsanlagen

³ abhängig vom Bekleidungsgrad

⁴ Auslegungskriterien für Wohnräume und Schlafzimmer

zusätzlichem Befeuchter ist es 1 von 9. Eine Korrelation zwischen Raumlufttemperatur und Objekt lässt sich in der Regel ebenso wenig herstellen wie eine Korrelation zwischen Aussentemperatur und Raumlufttemperatur. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Unterschiede in der Raumlufttemperatur zwischen den Wohnungen in der Regel vom Nutzerverhalten bestimmt werden.

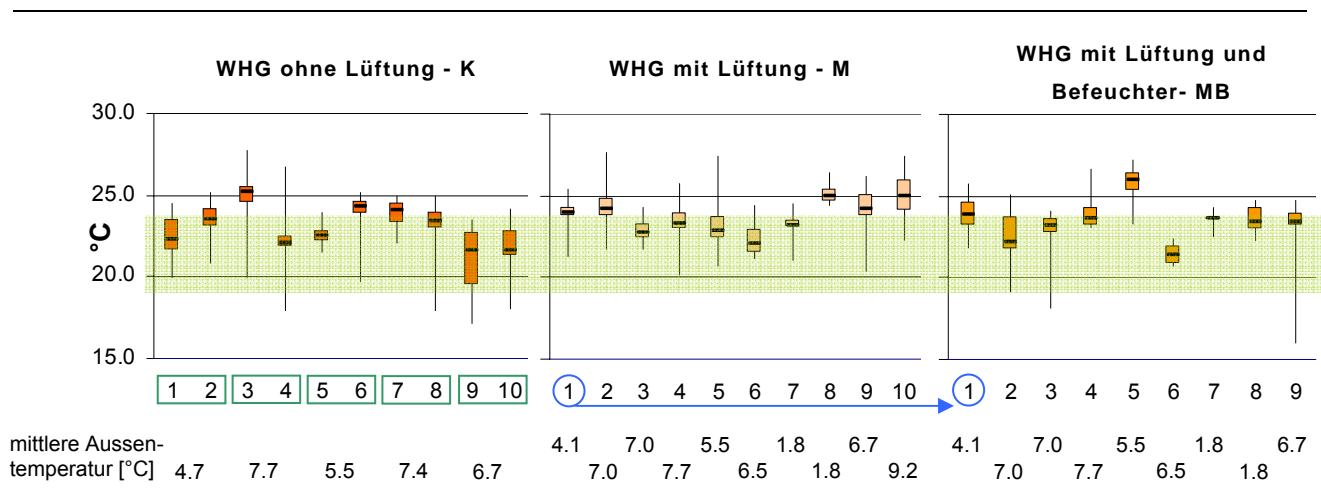


Abb. 15: Gemessene Raumlufttemperaturen dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 10- resp. 90-Perzentilwerte (10% der Werte liegen unterhalb, 10% oberhalb der Box) mit Temperaturbereich nach SIA 180. Grüne Box: gleiches Objekt. Blaue Kreise: jeweils gleiches Objekt.

Kohlendioxidkonzentration

Grundlagen Kohlendioxidkonzentration

Die Kohlendioxidkonzentration eines Innenraums hängt einerseits von der Konzentration in der Aussenluft und dem Luftwechsel ab, andererseits von den inneren Quellen, hauptsächlich vom Menschen. Ein Mensch atmet pro Stunde bei durchschnittlicher Bewegung um die 20 Liter Kohlendioxid (CO_2) aus. Ohne Austausch steigt die CO_2 -Konzentration steil an. Je höher der Luftwechsel im Raum, desto flacher wird die Konzentration steigen und sich schneller auf einem Gleichgewichtsniveau einpendeln. Obwohl Kohlendioxid in den üblicherweise anzutreffenden Konzentrationsbereichen keine gesundheitlichen Auswirkungen zeigt, dient es seit mehr als hundert Jahren als Mass für die Frische der Innenraumluft.

Bewertungsmassstäbe

CEN-Bericht 1752:
„Lüftung von Gebäuden-
Auslegungskriterien für
Innenräume“, DIN-Fach-
bericht 79, 1999

EN 13779:
„Lüftung von Nichtwohn-
gebäuden – Allgemeine
Grundlagen und Anfor-
derungen an Lüftungs-
und Klimaanlage“, Deut-
sche Fassung 2004

SIA 382/1:
„Lüftungs- und Klima-
anlagen- Allgemeine
Grundlagen und Anfor-
derungen“, 2007

Mit der Beurteilung der Kohlendioxidkonzentration befasste sich das Technische Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“, das 1999 den CEN-Bericht 1752 sowie die europäische Norm EN 13779 verfasste. Darin werden die Höchstkonzentrationen an Kohlendioxid in drei resp. vier verschiedene Klassen eingeteilt. Die Einteilung wurde auch in die Schweizer Norm SIA 382/1 übernommen:

Kategorie	CO ₂ -Höchstkonzentration [ppm]	Beschreibung
RAL 1	Keine Angaben	spezielle Raumluftqualität (z.B. Labor- und Produktionsräume)
RAL 2	<950	hohe Raumluftqualität (Räume mit speziellen Anforderungen an Gerüche)
RAL 3	950 - 1350	mittlere Raumluftqualität (Typische Wohn- und Büroräume)
RAL 4	<1350	niedrige Raumluftqualität (Lagerräume, Korridore; Räume, in denen geraucht wird)

Tab. 4: Klassifizierung gemessener CO₂-Höchstkonzentrationen nach SIA 382/1

Konzentrationsbereiche

In allen untersuchten Wohnzimmern liegen 90 % der gemessenen Kohlendioxidkonzentrationen im Bereich von RAL 3 gemäss SIA 382/1 (Abb. 16). In Einzelfällen steigen die Pegel darüber hinaus. Auffällig ist vor allem die Wohnung 7 mit Lüftung. Dieses Objekt ist aus Lüftungstechnischer Sicht eine Besonderheit, da im Wohnzimmer keine Zuluft realisiert wurde. Die Zuluft wird nur über die Schlafzimmer geführt. An einem Tag mit relativer hoher Belegung (Besuch am Abend) stieg die Kohlendioxidkonzentration auf über 3'000 ppm. Ansonsten sind kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Wohnungstypen auszumachen.

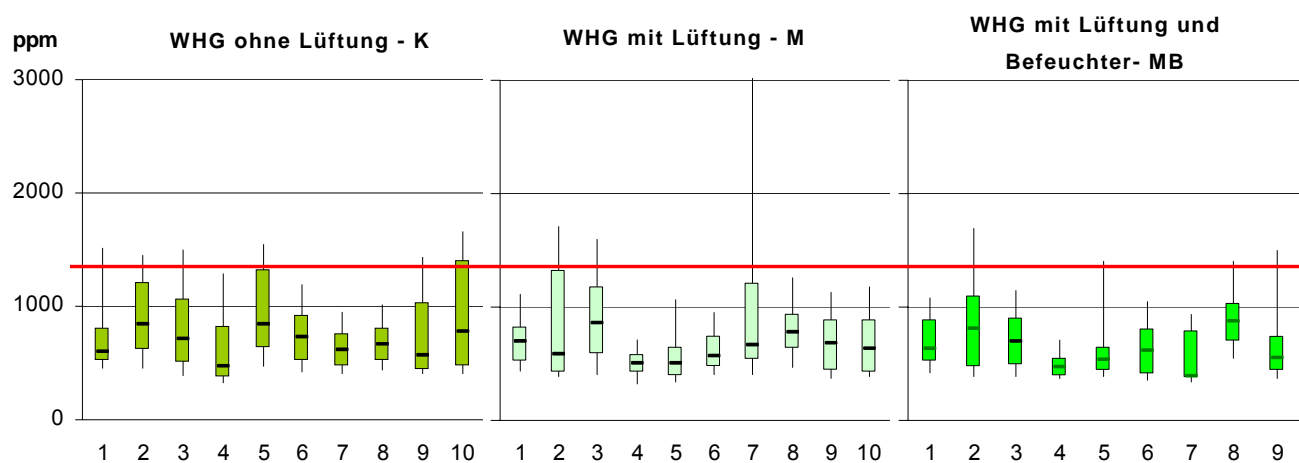


Abb. 16: Gemessene Kohlendioxidkonzentrationen pro Wohnungsklasse dargestellt als Median (Querstrich), Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Längsstriche) und als 10- resp. 90-Perzentilwerte (10% der Werte liegen unterhalb, 10% oberhalb der Box) mit Höchstwert gemäss RAL 3 nach SIA 382/1

Luftkeime

Grundlagen Luftkeime

Unter Luftkeimen werden aus raumlufthygienischer Sicht in der Regel kultivierbare Schimmelpilzsporen, Hefen und Bakterien verstanden. Schimmelpilze und Hefen kommen in der gesamten Umwelt vor, im Spätsommer sind sie in unseren Breiten in sehr hohen Konzentrationen in der Aussenluft zu finden. Sie sind ideale Verwerter von organischem Material. Je nach Art gedeihen sie auf pflanzlichen Bestandteilen, Leder, Papier, Kunststoffen, Farben, Klebstoffen etc. Sie benötigen neben einer Nahrungsquelle in erster Linie genügend Feuchtigkeit. Ab 70 % relativer Feuchtigkeit kann Wachstum stattfinden, auch wenn diese Feuchte nur stundenweise pro Tag erreicht wird [Sedlbauer, 2001]. Bakterien brauchen höhere Feuchten. In Bauteilen kommen sie gewöhnlich nur in durchfeuchteten Bereichen vor. Im Innenraum stellen Tiere und vor allem der Mensch selbst die eigentlichen Bakterienquellen dar.

Sedlbauer K.: „Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen“; Dissertation, Universität Stuttgart, 2001

Gesundheitliche Aspekte

Bezüglich Schimmelpilzen und gesundheitlichen Risiken gibt es viele Studien, allerdings sind sie in ihren Aussagen nicht immer übereinstimmend. Bornehag et al hat 40 wissenschaftliche Artikel zum Thema „Gesundheit und feuchte Gebäude“ ausgewertet. Die Wissenschaftler kommen zum Schluss, dass Feuchteprobleme in Gebäuden ein Risikofaktor darstellt (Verdoppelung des Risikos). Indizien weisen auf einen Zusammenhang zwi-

Bornehag C.G. et al: „Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature (1998-2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects“; Indoor Air; 14; 2004

Mommers M. et al.; „Indoor environment and respiratory symptoms in children living in the Dutch-German borderland“; International Journal of Hygiene and Environmental Health; 2005

Wiesmüller G.A.; „Empfehlungen zur gesundheitlichen Bewertung von Schimmelpilzexpositionen im Innenraum“; 10. Schimmelpilztagung des VDB; „Nachweis, Bewertung, Sanierung und Qualitätssicherung von Schimmelpilzen in Innenräumen“; AnBus; 2006

VA104-01, „Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte“, Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren, 2006

ECA (1993), "Biological Particles in Indoor Environments", Indoor Air Quality and its Impact on Man, European Collaborative Action, Report No. 12, Commission of the European Communities, 1993

schen Schimmelpilzsporen und gesundheitlichen Symptomen sowie Sensibilisierung hin, die Studien sind hier allerdings nicht schlüssig. Weiter steigt das Risiko einer Sensibilisierung und allergischen Erkrankung durch eine Exposition von Hausstaubmilben. Es wird vermutet, dass bisher nicht identifizierte Schimmelpilzbestandteile für einen Teil des Zusammenhangs Feuchte und Symptome verantwortlich sein könnten. In einer neueren Studie wurden Eltern von Kindern mit Atemwegsproblemen sowie eine Kontrollgruppe ohne Probleme befragt und nach Zusammenhängen gesucht [Mommers, 2005]. Es wurden Korrelationen zwischen dem Risiko asthmatischer Symptome und dem Tabakrauch, Feuchteschäden in Gebäuden, Haustieren und Gaserhitzer gefunden. Wiesmüller sieht eine gesicherte Ursachen-Wirkungsbeziehung zwischen Schimmelpilzen und Allergien sowie Infektionen (Mykosen). Bei den Allergien scheinen Schimmelpilze allerdings keine dominanten Allergene zu sein (weniger als 1 % der Bevölkerung ist auf eine bestimmte Schimmelpilzart sensibilisiert, ca. 5 % sind gegenüber Schimmelpilzen im Allgemeinen sensibilisiert) und nur wenige Schimmelpilzarten können bei gesunden Menschen Infektionen auslösen. Befindlichkeitsstörungen durch Geruchsbelästigungen können allerdings nicht ausgeschlossen werden. Deshalb sollten nach dem Vorsorgeprinzip Schimmelpilze im Innenraum auf ein Minimum reduziert werden [Wiesmüller, 2006]. Das Bundesamt für Gesundheit stuft Schimmelpilz in Innenräumen als gesundheitsgefährdend ein, weshalb sichtbarer und grossflächiger Schimmelpilzbefall in Innenräumen nicht tolerierbar ist.

Bewertungsmassstäbe

Für die Bewertung von Luftkeimkonzentrationen existieren keine Richtwerte. Zur Beurteilung kann einerseits auf Orientierungswerte von üblicherweise gemessenen Konzentrationen zurückgegriffen werden, und andererseits dient die Aussenluft als Vergleichskonzentration. Für Lüftungsanlagen gilt laut der Richtlinie VA104-01 (VDI 6022) der minimale Hygienegrundsatz, dass bei fehlenden Richtwerten der Gehalt der Zuluft an Stäuben, Bakterien, Pilzen und biologischen Inhaltsstoffen denjenigen der Aussenluft in keiner Kategorie überschreiten darf. Die Bewertung der Raumluft liegt nicht im Bereich dieser Richtlinie. Im Allgemeinen kann allerdings auch bei deren Bewertung auf den Vergleich mit der Aussenluft zurückgegriffen werden. Werden im Innenraum höhere Konzentrationen als in der Aussenluft gefunden, muss die Zusammensetzung detailliert analysiert und bewertet werden.

Im Bericht der Europäischen Kommission [ECA 1993] werden Orientierungswerte für Luftkeime in Wohn- und Büroräumen angegeben. Sie können zur allgemeinen Beurteilung der Höhe gefundener Luftkeimkonzentrationen herangezogen werden.

Kategorie	Schimmelpilze in KBE/m ³		Bakterien in KBE/m ³	
	Wohnungen	Büroräume	Wohnungen	Büroräume
sehr tief	< 50	< 25	< 100	< 50
tief	< 200	< 100	< 500	< 100
mittel	< 1'000	< 500	< 2'500	< 500
hoch	< 10'000	< 2'000	< 10'000	< 2'000
sehr hoch	> 10'000	> 2'000	> 10'000	> 2'000

Tab. 5: Orientierungswerte für Schimmelpilze und Bakterien in Innenräumen nach ECA

Schimmelpilzkonzentrationen

Zur Beurteilung und zum Vergleich der nachgewiesenen Schimmelpilzkonzentrationen sind Kenntnisse der Probenahmebedingungen von zentraler Bedeutung. Schimmelpilzsporen sedimentieren aufgrund ihrer Grösse mit der Zeit auf den Boden ab. Deshalb sinkt im Normalfall die Schimmelpilzkonzentration mit der Dauer verschlossener Fenster und Türen. Nur wenn im Raum selbst Schimmelquellen vorhanden sind, wird die Schimmelpilzkonzentration gegenüber der Aussenluft steigen und das Artenspektrum wird sich verändern. Der Effekt der Fensteröffnung wird in Abb. 17 ersichtlich.

In Wohnungen, die mit einem blauen Kreis markiert sind, waren die Fenster weniger als drei Stunden verschlossen. In diesen Wohnungen wurden mit wenigen Ausnahmen (siehe weiter unten) die höchsten Schimmelpilzkonzentrationen gemessen. Das Artenspektrum entsprach dem der Aussenluft. In den übrigen Wohnungen lagen die Schimmelpilzkonzentrationen immer unterhalb von 1'000 KBE/m³, was nach Einteilung nach ECA einer mittleren Belastung entspricht.

In vier Wohnungen wurden auffällige Konzentrationen gefunden:

- a) In dieser Wohnung ohne Lüftung wurden im Vergleich zur Aussenluft deutlich höhere Schimmelpilzkonzentrationen nachgewiesen. Die Zusammensetzung gleicht derjenigen der Aussenluft mit einem Anteil an Aspergillen, die draussen nicht gefunden werden. In der Wohnung wird eine Katze gehalten, zudem ist ein Wasserschaden sichtbar (undichter Fensteranschluss in Aussenmauer). Als wahrscheinliche Ursache der im Vergleich zur Aussenluft erhöhten Schimmelpilzkonzentration kommt einerseits die Katze, anderseits der Wasserschaden in Frage. Aufgrund des aussenluftähnlichen Artenspektrums könnte es auch sein, dass die Wohnung kurz vor der Messung gelüftet worden ist, ohne dies bei der Befragung zu vermerken.

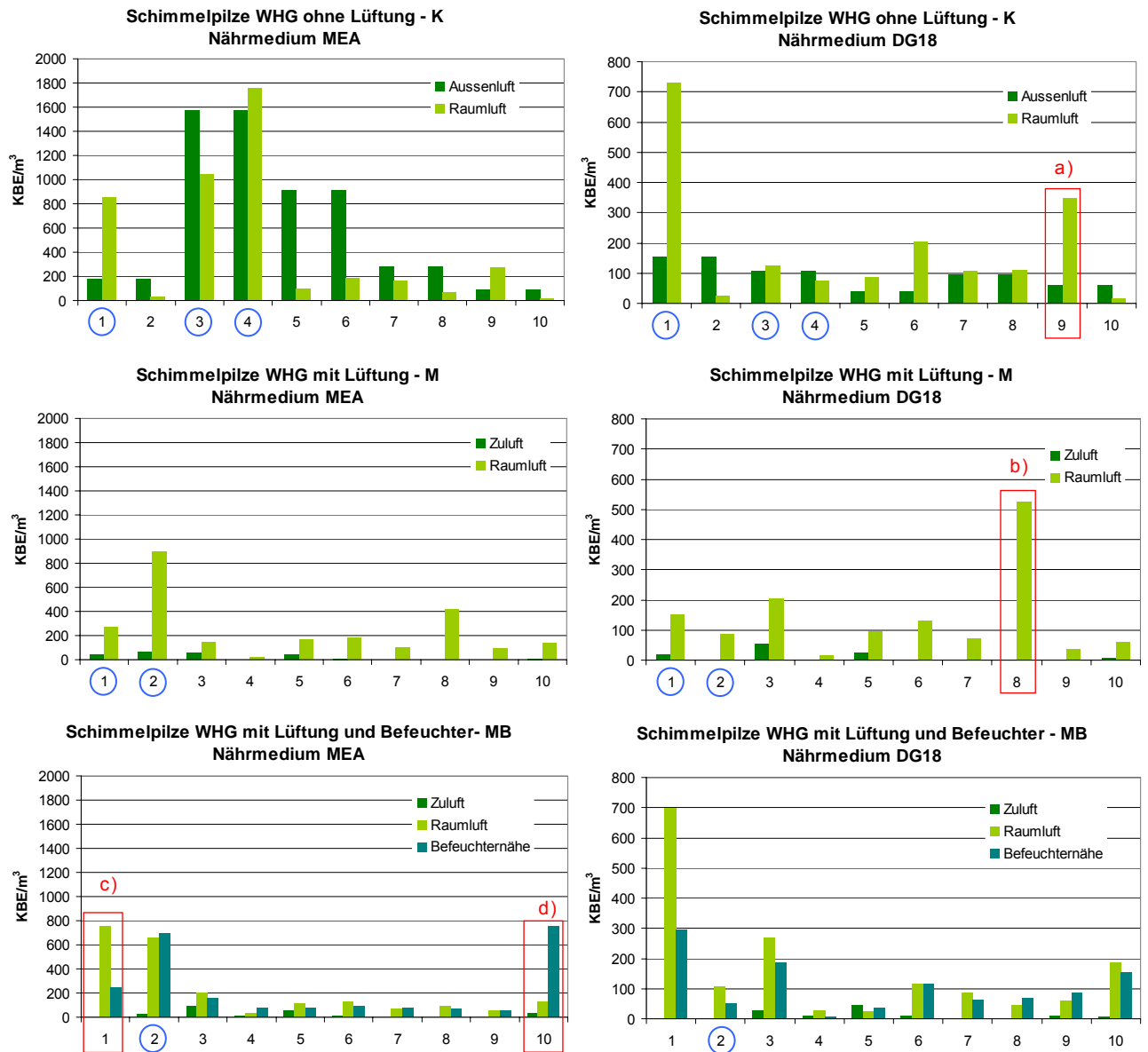


Abb. 17: Schimmelpilzkonzentrationen pro Wohnungstyp auf verschiedenen Nährmedien (MEA und DG18). Als Referenz wurde jeweils die Aussenluft (Wohnungen ohne Lüftung) resp. die Zuluft (Wohnungen mit Lüftung) mitgemessen. Wohnungen, die mit einem blauen Kreis markiert sind, wurden weniger als 3 Stunden vor den Messungen noch über das Fenster gelüftet. Auf Wohnungen mit einer roten Markierung wird im Text detailliert eingegangen.

- b) In dieser Wohnung mit Lüftung wurden hauptsächlich Penicillien nachgewiesen. Diese Gattung kommt zwar auch in der Aussenluft vor, wird aber häufig in Zusammenhang mit Schimmelpilzbefall im Innenraum gefunden. Bei einem solchen Befund sollte die Situation genauer untersucht werden, da der Verdacht besteht, dass sich im

Innenraum eine Quelle befindet. In der Wohnung selbst wurde bei der Messung kein offensichtlicher Schimmelpilzbefall festgestellt. In der Zuluft wurden sehr tiefe Schimmelkonzentrationen nachgewiesen.

- c) Bei diesem Fall handelt es sich um eine Minergie-Wohnung mit zusätzlich aufgestelltem Befeuchter. Interessant ist, dass hier praktisch nur eine Schimmelpilzart nachgewiesen wurde, *Aspergillus sydowii*. Dieser Pilz wird unter anderem in Lebensmitteln (Getreide, Nüsse, Gewürze), Papier und Kunststoffen nachgewiesen. In der Wohnung wurde weder sichtbarer Schimmelbefall noch sonstige Auffälligkeiten gesichtet, mit Ausnahme von zwei Katzen. Wie in Fall b) sollte ein solcher Befund genauer untersucht werden.
- d) In dieser Minergie-Wohnung mit einem Ultraschallvernebler wurde eine deutliche Erhöhung der Schimmelpilzkonzentration in der Nähe des Befeuchters nachgewiesen. Im Vergleich zur Raumluft liegt sie um einen Faktor 5 höher. Auffällig ist auch das veränderte Spektrum. In der Raumluft werden hauptsächlich Penicillien gefunden, in Befeuchternähe sind es vor allem Hefen. Bei diesem Befeuchter wurde auch die höchste Keimkonzentration im Wasser nachgewiesen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass hier ein direkter Zusammenhang besteht.

Augenfällig sind auch die Schimmelpilzkonzentrationen der Zuluft, die in allen Fällen unterhalb von 100 KBE/m^3 liegen. Der Gehalt an Schimmelpilzen in der Raumluft wird entweder durch die Fensterlüftung (z.B. Wohnung mit Lüftung 1 und 2) oder durch Quellen im Raum (Wohnungen b, c und d) beeinflusst.

Bakterienkonzentrationen

Im Gegensatz zu den Schimmelpilzen liegen die Bakterienkonzentrationen im Innenraum immer über den Aussenluftwerten. In den meisten Fällen liegen sie in einem für Wohnungen mittleren Konzentrationsbereich (siehe Tab. 5). In drei Wohnungen wurden allerdings zum Teil massiv höhere Keimzahlen gefunden:

- d) Hier handelt es sich um die Wohnung mit dem Befeuchter, der bereits die Schimmelkonzentration negativ beeinflusst hat. Noch deutlicher ist der Einfluss auf die Bakterienkonzentration, die in unmittelbarer Befeuchternähe auf über $25'000 \text{ KBE/m}^3$ steigt.
- e) In dieser Wohnung wurden Bakterien in einer Konzentration von $5'500 \text{ KBE/m}^3$ nachgewiesen. Aufgrund der Kohlendioxidkonzentra-

tion und der hohen Feuchte wird davon ausgegangen, dass die Bakterienkonzentration in einem Zusammenhang mit ungenügender Lüftung steht.

- f) In diesem Fall wurden Bakterien in einer Konzentration über 25'000 KBE/m³ nachgewiesen. Während der Messung spielten Kinder mit einem mit Schlamm gefüllten Terrarium, zudem wurde der Kompostbehälter geöffnet. Hier wird ein direkter Zusammenhang mit diesen Tätigkeiten vermutet.

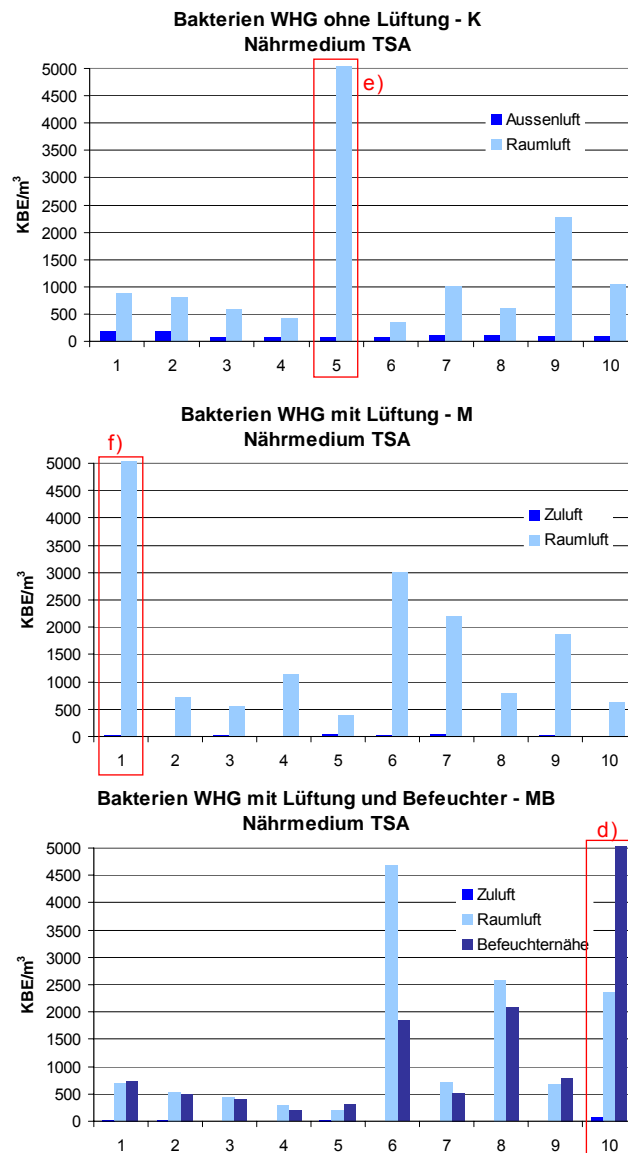


Abb. 18: Bakterienkonzentrationen pro Wohnungstyp. Als Referenz wurde jeweils die Aussenluft (Wohnungen ohne Lüftung) resp. die Zuluft (Wohnungen mit Lüftung) mitgemessen.

Wasserqualität

Bewertungsmassstäbe

Für dezentrale Kleinbefeuchtungsgeräte, wie sie in den entsprechenden Fachgeschäften und Supermärkten angeboten werden, existieren bezüglich Hygiene keine Richtwerte. Anders verhält es sich bei Befeuchter, die in Anlagen eingesetzt werden. Hier gilt die SWKI-Richtlinie VA104-01 als Standard der Technik. Aus raumlufthygienischen Überlegungen besteht kein Unterschied zwischen den beiden Befeuchterarten. Wenn Keime durch die Befeuchtung in den Raum gelangen, spielt die Art der Verbreitung (Lüftungsanlage oder Kleinbefeuchtungsgerät) keine Rolle. Aufgrund dieser Überlegung werden die in der Hygienerichtlinie VA104-01 aufgeführten Richtwerte für das Befeuchterwasser als Richtgrösse zur Bewertung der Wasserqualität in den untersuchten Kleinbefeuchtern herangezogen. Der Richtwert für die Gesamtkeimzahl liegt bei 1'000 KBE/ml, derjenige für Legionellen bei <1 KBE/ml.

Gesamtkeimzahlen

Bei sieben von zehn untersuchten Befeuchter wurden im Wasser Keime mit mehr als 1'000 KBE/ml nachgewiesen. Drei davon weisen Konzentrationen von einer Million KBE/ml oder mehr auf. Der Ultraschallvernebler mit der höchsten Keimzahl führte zu einer Erhöhung Keimkonzentrationen in der Raumluft (vergleiche Seite 38).

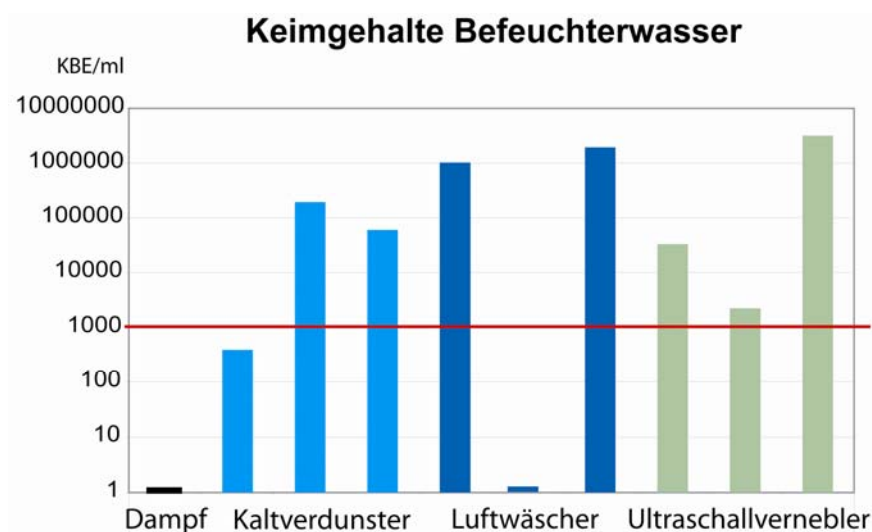


Abb. 19: Gesamtkeimzahlen im Wasser der untersuchten Luftbefeuchter

Typ	Bezeichnung	Hersteller / Lieferant	Leistung [W]	Befeuchterleistung [g/h]	Bemerkungen
Dampf- befeuchter	Altes Gerät	Turmix	500	700	<ul style="list-style-type: none"> ▪ eine Füllung pro Tag (läuft anschl. trocken) ▪ letzte Reinigung: > 4 Wochen
Kaltver- dunster	Humidore 4	Satrap	15	150	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellerangabe: pro 24 h ca. 0.3 kWh ▪ Mittel gegen Algen ▪ letzte Reinigung: unbekannt
	TopAir FUTURA	Turmix	24	250	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 24-Betrieb ▪ letzte Reinigung: unbekannt
	Miostar Ambiance de luxe	Migros	15	300	<ul style="list-style-type: none"> ▪ eine Füllung (8L) pro Tag ▪ letzte Reinigung: unbekannt
Luftwä- scher	Air-O-Swiss 1355N	Migros	20	380	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserbehandlung mit Silberionen ▪ tagsüber ▪ letzte Reinigung: < 4 Wochen
	LW 44	Venta	32	200	<ul style="list-style-type: none"> ▪ letzte Reinigung: 3 Wochen
	Air Comfort 2055	Boneco	24	300	<ul style="list-style-type: none"> ▪ eine Füllung pro Tag (ca. 7L) ▪ Wasserbehandlung mit Silberionen ▪ letzte Reinigung: < 1 Woche
Ultra- schall- vernebler	V 5200E	Honeywell	33	250	<ul style="list-style-type: none"> ▪ letzte Reinigung: unbekannt
	Ultrasonic	Solis	140	570	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entkalkungspatrone ▪ Vorheizung im Wasser ▪ letzte Reinigung: unbekannt
	HECM-5300E	Hebor	34	400	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entkalkungspatrone ▪ letzte Reinigung: < 1 Woche

Tab. 6: Im Wohnzimmer verwendete Luftbefeuchter (Angaben gemäss Hersteller/Lieferanten). Grüne Markierung: tiefe Keimzahlen; rote Markierung: Keimzahlen $\geq 1'000'000$ KBE/ml.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um eine Felduntersuchung zufällig angetroffener Luftbefeuchter handelt. Dementsprechend kann es sich bei einer Untersuchungszahl von zehn Geräten um keine repräsentative Situation handeln. Insbesondere sind Aussagen bezüglich dem direkten Vergleich von Geräten unterschiedlicher Marken nicht zulässig, da die Vorgeschichte des Geräts neben den Geräteeigenschaften eine zentrale Rolle spielt und durch eine einfache Befragung nicht geklärt werden kann. Trotzdem sind einige Zusammenhänge bemerkenswert:

- Bei den drei Geräten mit den höchsten Keimzahlen ($\geq 1'000'000$ KBE/ml) im Befeuchterwasser sind entweder Wasserbehandlungen (Silberionen) installiert und/oder eine Reinigung vor weniger als einer Woche durchgeführt worden.

- Ein Luftwäscher weist tiefe Keimzahlen auf, obwohl die letzte Reinigung vor 3 Wochen stattfand. Hier stellt sich die Frage, ob eine Desinfektion des Geräts stattfand, ohne dass dies bei der Befragung vermerkt wurde.
- Der Dampfbefeuchter weist tiefe Keimzahlen auf, was nicht weiter erstaunt, wird das Wasser durch die Erhitzung auf 100 °C ständig sterilisiert.

Legionellen

In allen untersuchten Wasserproben konnten keine Legionellen nachgewiesen werden (unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 KBE/ml).

Nutzerzufriedenheit

Das geführte Interview mit den Wohnungsnutzern zeigte folgende Tendenzen auf:

1. In Wohnungen mit Lüftung sind die Nutzer bezüglich Raumtemperatur und Luftqualität zufriedener als solche von Wohnungen ohne Lüftung.
2. Wenn eine Lüftung installiert ist, sind die Nutzer mit der Feuchte eher unzufriedener als Nutzer von Wohnungen ohne Lüftung.
3. Im Allgemeinen sind alle Nutzer mit ihren Wohnungen sehr zufrieden.

Raumluftfeuchte

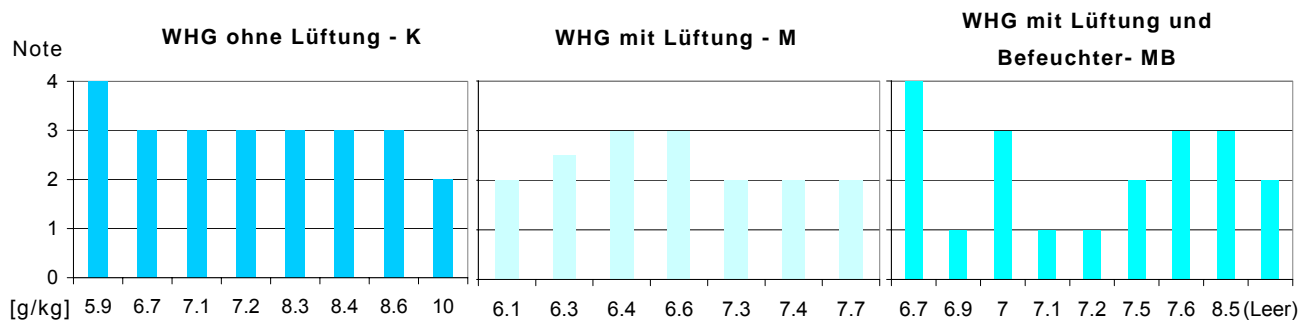


Abb. 20: Zusammenhang zwischen Zufriedenheit mit Raumlufffeuchte und tatsächlich gemessenen Werten (Raumlufffeuchte absolute in g/kg)

Interessant ist der Vergleich der Aussagen der Nutzer mit den tatsächlich in den Wohnungen gemessenen Raumluftfeuchten. Bei den Wohnungen ohne Lüftung korreliert zumindest die höchste gemessene Feuchte mit der Aussage, es sei dort zu feucht (unzufrieden). In den Wohnungen mit Lüftung (mit und ohne Befeuchter) sind keine Korrelationen zwischen der Zufriedenheit und den absoluten Feuchten feststellbar.

Raumlufttemperatur

Bei der Raumlufttemperatur wurde hauptsächlich über zu warm und mangelnde Regulierbarkeit geklagt. Die Klagen sind über alle Wohnungstypen verteilt.

Wohnungstyp	Zu warm	Zu kalt	Regulierbarkeit
K	3	1	3
M	4	0	2
MB	2	1	4

Tab. 7: Gründe von Klagen über die Raumtemperatur

Raumluftqualität

Bei der Qualität der Raumluft wurden zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftungen keine Unterschiede festgestellt, obwohl bei der Benotung die Wohnungen mit Lüftung besser beurteilt wurden. Keine Beanstandungen wurden in den Wohnungen mit zusätzlichem Befeuchter geäußert.

Wohnungstyp	Beanstandungen
K	Kochgeruch; Geruch; Neugeruch; abgestanden muffig
M	Abgase; Kochgeruch; Geruch anderer WHG
MB	keine

Tab. 8: Beanstandungen bezüglich der Raumluftqualität

Parkett

Grundlagen Holz und Feuchte

Holz ist ein hygroskopischer Werkstoff. In der Praxis heisst dies, dass Parkett die Eigenschaft besitzt, Wasser aus der Raumluft aufzunehmen (bei hoher Raumluftfeuchte) resp. Wasser abzugeben (bei niedriger Raumluftfeuchte). Damit zwingend verbunden sind Grössenänderungen des Werkstücks. Diese Änderung wird als differentiell Schwindmass in % pro % Holzfeuchteänderung ausgedrückt und ist je nach Holzfaserrichtung und Holzart verschieden. Wie stark sich ein Holzstück im Jahreszeitenverlauf (und damit unterschiedlichen Feuchtebedingungen) verändert, hängt zum einen vom Schwindmass, zum anderen von der Feuchtwechselzeit (wie lange braucht das Holz, bis eine Gleichgewichtsfeuchte erreicht ist) und vom Stehvermögen (behält das Holzstück nach Quellung und Schwindung die Form) ab. Holzarten mit langen Feuchtwechselzeiten und mittlerem Schwindmass weisen bezüglich Dimensionsstabilität die besseren Eigenschaften auf als solche mit kurzer Feuchtwechselzeit aber günstigem Schwindmass [Rapp, 2003].

Rapp A.O.; Sudhoff B.;
„Schäden an Holzfuss-
böden“; Fraunhofer IRB
Verlag; 2003

	Grösse	Eigenschaften	Beispiele
Dimensionsstabilität	Feuchtwechselzeit	Zeit, in welcher Holz auf eine Feuchteänderung deutlich mit einer Holzfeuchteänderung reagiert	Eiche < Esche < Ahorn < Buche (Bei einer Änderung der Luftfeuchte um 25 % braucht Eiche 52 Tage, um mit einer Holzfeuchteänderung von 2 % zu reagieren, Buche braucht nur 18 Tage)
	Schwindmass	Dimensionsänderung bei Holzfeuchteänderungen (Angabe in % Dimensionsänderung pro % Holzfeuchteänderung, wobei radiales und tangentiales Schwindmass verschieden sind)	Mittleres differentiell Schwindmass einiger Holzarten: ▪ Eiche: 0.26 ▪ Buche: 0.31 ▪ Ahorn: 0.21 ▪ Esche: 0.30 ▪ Kiefer: 0.28 ▪ abgesperrtes Parkett: 0.03
	Stehvermögen	Holz behält nach Quellung und Schwindung die Form (Abhängig von Schwindungsanisotropie (Verhältnis zwischen radialem und tangentialem Schwindmass), Anteil Jugendholz und Faserabweichungen im Holz)	Viel Jugendholz ist in Durchforstungsholz und Holz aus Plantagen enthalten.

Tab. 9: Grössen, welche die Dimensionsstabilität einer Holzart beeinflussen (nach [Rapp, 2003])

Grundlagen Parkettoberflächen

Die Fugenbildung bei Parkettoberflächen ist ein physikalischer Prozess und lässt sich nur bedingt reduzieren. Dabei können verschiedene Einflussfakto-

ren unterschieden werden, dazu gehören unter anderem.

Lysser B.; „Parkett bei Winterklima oder kontrollierter Raumbelüftung – was passiert?“, Schweizer Holzbau; Heft 1; 2007

Interessengemeinschaft der Schweizerischen Parkett-Industrie (ISP); „Parkett aus Buche und kanadischem Ahorn“; Merkblatt 6; Ausgabe 10/1999; www.parkett-verband.ch

Rapp A.O.; Pitt A.; „Die Grenzfläche ist entscheidend“; bwd Technik; Ausgabe 8; 2005

1. Antwort auf Änderung der Raumlufftfeuchte: Wie oben erklärt, schwindet Holz bei abnehmender Raumlufftfeuchte resp. quillt bei zunehmender Feuchte. Fugen bilden sich nicht nur im Winter bei tiefer Feuchte. Ein zentrales Ereignis ist die plastische Verformung im ersten Sommer. Durch die Quellung wird das Holz irreversibel verformt. Aus diesem Grund ist für die Fugenbildung einer Parkettoberfläche sowohl Quellung wie Schwindung verantwortlich, das heisst die gesamte Feuchteschwankung (Sommer – Winter) [Rapp, 2003]. Auch Lysser gibt an, dass die Quell- und Schwindprozesse in den ersten ein bis zwei Jahren am grössten sind [Lysser, 2007]. Als Richtgrösse gibt Rapp zu tolerierende Fugenbreiten bei Dielen von 3 mm an, bei Stabparkett von 1 mm und bei Mosaikparkett von 0.3 mm. Bei Holzarten mit unvorteilhaftem Schwindmass (Buche und in geringem Mass kanadischer Ahorn) werden spezielle Verlegeanweisungen ausgegeben [ISP, 1999].
2. Bodenheizung: In der Praxis werden bei auf Fussbodenheizungen verlegten Parkettoberflächen rund doppelt so breite Fugen angetroffen als in Räumen mit Radiatorenheizung [Rapp, 2003]. Der Effekt ist physikalisch bedingt durch die im Vergleich zur Raumlufft erhöhten Temperaturen an der Parkettoberfläche. Dies bewirkt eine Absenkung der Luftfeuchte im Grenzbereich zwischen Parkett und Raumlufft und damit auch eine zusätzliche Absenkung der Holzfeuchte [Rapp, 2005]. Rapp schlägt deshalb vor, die Oberflächentemperatur des Parketts auf 29 °C zu beschränken. In der Schweiz wird empfohlen, nicht über 27 °C zu gehen [Lysser, 2007]. Als zusätzliche Massnahmen, um bei Fussbodenheizungen Schäden zu vermeiden, werden von Rapp resp. Lysser genannt:
 - gleichmässiges Beheizen
 - keine dicken Teppiche (Teppich wirkt als Dämmung und erhöht die Parketttemperatur)
 - schmale Parkettelemente
 - Holzart mit geringem Schwindmass
 - keine kantenverleimenden Lacke
 - Befeuchtung im Winter
3. Parkettversiegelung: Bestimmte Parkettversiegelungen haben den Effekt, in die Fugen der einzelnen Parkettelemente zu gelangen und diese wie ein Leim miteinander zu verkleben. Während des Schwindungsprozesses entstehen so nicht mehr kleine Fugen an jedem Element, vielmehr wirken mehrere Element wie ein grosses Element. Da sich das Schwindmass nicht ändert, bilden sich weniger, dafür grössere Fugen. Durch die Spannungen können auch Risse auftreten.

Interessengemeinschaft
der Schweizerischen
Parkett-Industrie (ISP);
„Wasserlack-Eigen-
schaften/ Grundierun-
gen“; Merkblatt 18; Aus-
gabe 10/2006; und „O-
berflächenbehandlungen
von versiegeltem Par-
kett“; Merkblatt 3; 2000
www.parkett-verband.ch

ten. Je nachdem wie stark die Verklebung ist, kann auch das Holzelement reissen (Abrissfuge). Wasserlacke auf Acrylat-Basis, säurehärtende Lacke und DD-Lacke gehören zu den Lacken mit stark kantenverleimendem Effekt [Rapp, 2003]. Die Interessengemeinschaft der Schweizerischen Parkettindustrie empfiehlt, wasserbasierende Grundierungen zur Minderung von Seitenkantenverklebungen zu verwenden [ISP, 2006]. Zudem sollten in Wohnungen werkversiegelte Fertigparkette nicht mit Wasserlacken nachversiegelt werden, da Abrissfugen nicht vermieden werden können und eine Nachversiegelung in Wohnungen auch nicht nötig ist [ISP, 2000].

Expertenmeinungen zu Raumlufffeuchte und Parkett

Prof.Dr. Peter Niemz
Institute for Building
Materials, Wood Physics,
ETH-Hönggerberg, Zü-
rich; Telefon vom
10.10.2007

Professor Niemz von der ETH Zürich weist Schäden im Parkett meist mehrere Faktoren zu. Am schlimmsten sei die Kombination von einer tiefen Raumlufffeuchte durch einen strengen Winter, einer Fussbodenheizung und plötzlicher Feuchte (beispielsweise durch Nassaufwischen). Dies erzeuge Spannungen, die in Rissbildung münden können. Zur Vermeidung zu hoher Spannungen solle die Holzfeuchte bei 6 % gehalten werden. Ein fugenloser Parkettbelag sei aufgrund der Holzeigenschaften nicht möglich. Die Fugenbreite hänge u.a. von der Holzart ab. Eine Alternative zum herkömmlichen Parkett wäre thermisch behandeltes Holz, welches sich durch ein kleineres Schwindmass allerdings auch durch einen höheren Preis auszeichnet.

Christoph Wüthrich;
Berner Fachhochschule,
Architektur; Holz und
Bau; Werkstoffe und
Holztechnologie; Biel;
Telefon vom 10.10.2007

An der Berner Fachhochschule Architektur; Holz und Bau ist man der Meinung, dass Schäden wie grössere Fugen und allenfalls Rissbildung bei Raumlufffeuchten unterhalb 25 – 30 % auftreten. Dabei spiele die Luftfeuchte in der Wohnung eine grössere Rolle als die Oberflächentemperatur des Parkettbelags. Die Kantenverleimung durch ungünstige Versiegelung fördere die Rissbildung. Thermisch behandeltes Holz habe zwar ein geringeres Schwindmass, im Innenraum sei die Nutzung durch mögliche Geruchsemissionen (Rauch) zumindest fraglich. Generell sei Klötzliparkett heikler, da es wegen der Jahrringe ein grösseres Schwindmass aufweise. Ein zu 100 % fugenloser Parkettbelag sei nicht möglich. Weniger Fugen würden sich bei Belägen mit geringerem Schwindmass, beispielsweise bei abgesperrtem Parkett (mehrschichtiges Parkett) bilden.

Dr. Dirk Lukowsky;
Fraunhofer-Institut für
Holzforschung (WKI);
Braunschweig; Telefon
vom 11.10.2007

Dr. Lukowsky vom deutschen Fraunhofer-Institut für Holzforschung erachtet eine niedrige Luftfeuchtigkeit als zumindest nicht allein ausschlaggebender Faktor in der Schadensbildung am Parkett. Eine Fussbodenheizung habe einen grösseren Einfluss, da die relative Luftfeuchte an der Grenzschicht Parkett-Raumluff bedeutend tiefer sei als die Raumlufffeuchte selbst. Zudem sieht er die plastische Verformung durch Quellung im ersten Sommer als das Fugen bildende Ereignis an mit grösserem Einfluss als tiefe Raumlufffeuchten im Winter. Ein fugenloses, verklebtes Parkett sei nicht möglich,

bei einer schwimmenden Verlegung mit abgesperrrtem Parkett können fugenlose Beläge erreicht werden. Die Holzart habe einen grossen Einfluss auf die Fugenbildung, wobei Buche diesbezüglich am schlechtesten sei, Eiche am besten. Die Kantenverleimung sei vor allem bei Acrylatversiegelungen ein Problem, wobei heute bezüglich dieses Effekts bessere Produkte auf dem Markt seien. Bei Renovierung von alten Parkettbelägen spiele die Kantenverleimung eine grössere Rolle als in Neubauten, da in einem neuverlegten Parkett so gut wie keine Zwischenräume zwischen den Elementen existieren sollten.

Vorgefundene Situation

27 der 30 untersuchten Wohnungen sind mit einem Parkettbelag ausgestattet. Von diesen 27 Wohnungen wurde in zwei Wohnungen die Qualität des Parketts bemängelt. Es handelt sich dabei um die gleiche Siedlung. Beim dort verlegten Parkett handelt es sich um ein Mosaikklebeparkett aus Ahorn auf einer Fussbodenheizung. Bemängelt wurden sichtbare Fugen sowie lose Mosaiklamellen. Das Parkett wurde vor Ort mit einem Wasserlack versiegelt. Obwohl beanstandet, wurde vom Schaden keine Expertise erstellt. Aufgrund des Bildes ergeben sich zumindest Hinweise, dass es sich hierbei um ein Problem der Kantenverleimung handeln könnte. Die Fugenbreite (siehe Abb. 21) liegt mit ca. 0.8 mm über der oben vorgestellten Richtgrösse. Es bleibt anzumerken, dass eine detaillierte Schadensanalyse durch einen Experten erfolgen müsste.



Abb. 21: Mosaikklebeparkett mit sichtbarer Fuge

In den übrigen Wohnungen wurden nur Kleinstschäden vermerkt. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Risse in einzelnen Elementen oder ein-

zelne, lose Elemente. Grossflächige Schäden wie beispielsweise Fugen über den gesamten Boden verteilt wurden nicht bemängelt. Alle Wohnungen waren im Winter 2005/2006 bereits bezogen. Jener Winter war von Dezember 2005 bis März 2006 im Schnitt rund 1 °C kälter als die Norm und im Januar 2006 zudem sehr trocken (MeteoSchweiz). Offensichtlich sind in diesen 25 Wohnungen auch unter längeren anhaltenden Winterbedingungen keine Parkettschäden zu verzeichnen.

Monat	Abweichung von Norm SMA		Abweichung von Norm ZH-Kloten		Abweichung von Norm Tänikon	
	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [%]	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [%]	Lufttemperatur [°C]	Niederschlag [%]
Dez 05	-1.0	94	-0.3	98	-0.7	104
Jan 06	-1.7	37	-0.9	42	-1.8	44
Feb 06	-0.9	81	-0.3	100	-0.8	127
März 06	-1.1	245	-0.4	238	-0.7	215

Tab. 10: Lufttemperatur- und Niederschlagsabweichung von Normwerten (Quelle MeteoSchweiz)

Schlussfolgerungen

Einfluss der Lüftung auf die Raumlufffeuchte

Im Durchschnitt über alle Wohnungen sind bezüglich Feuchtelasten kaum Unterschiede zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftungen zu erkennen. Bei einem hohen Aussenluftwechsel (deutlich über 0.5 h^{-1}) entstehen entsprechend tiefe Raumlufffeuchten, bei zu seltenen Fensterlüftungen in Wohnungen ohne Lüftungsanlage werden zu hohe Feuchten gemessen. In der Regel scheint der Nutzer den grössten Einfluss auf die Raumlufffeuchte zu haben.

Einfluss der Befeuchtung auf das Wohlbefinden

Eine Befeuchtung bringt im Durchschnitt eine Erhöhung der Raumlufffeuchte um ca. 20 % (z.B. eine Erhöhung von 30 %rF auf 36 %rF). Aus wissenschaftlicher Sicht ist eine untere Grenze für die Raumlufffeuchte nicht herleitbar. Trotzdem kann als Richtgrösse 30 %rF angenommen werden, die längerfristig nicht unterschritten werden sollten. Dem möglichen positiven Einfluss durch die Erhöhung der Raumlufffeuchte stehen mögliche negative Aspekte durch die Befeuchtung gegenüber. In 7 von 10 untersuchten Wasserproben aus den vorgefundenen Befeuchtern wurden Keimzahlen nachgewiesen, die bei professionellen Befeuchtern in Lüftungsanlagen zu Beanstandungen führen würden. In drei Fällen lagen die Keimkonzentrationen 1'000-fach und mehr über dem Richtwert für Lüftungsanlagen. In einem Fall wurden die Keime aus dem Befeuchter auch in hoher Zahl in der Raumluff gefunden. Obwohl hier kein kausaler Zusammenhang zwischen Keimkonzentrationen und gesundheitlichen Auswirkungen gemacht werden kann, sind solche Zustände aus vorsorglichen Überlegungen nicht wünschenswert.

Einfluss der Raumlufffeuchte auf das Parkett

In einer Siedlung wurden Parkettschäden bemängelt. Indizien weisen auf ein Problem mit Kantenverleimung und nicht auf ein Problem der Raumlufffeuchte als Ursache hin. Trotz einem kalten und langen Winter 2005/2006 wurden in den übrigen Wohnungen keine grossflächigen Parkettschäden entdeckt. Allerdings kann von einem Parkettbelag nicht erwartet werden, dass er fugenlos bleibt. Wie gross diese ausfallen, hängt von sehr verschiedenen Einflussfaktoren ab. Die Raumlufffeuchte ist hier nur einer.

Fazit:

Ist eine zusätzliche Befeuchtung der Raumluft während der kalten Jahreszeit in Wohnbauten mit mechanischer Grundlüftung nötig und empfehlenswert?

Eine untere Feuchtegrenze ist aus wissenschaftlicher Sicht nicht herleitbar. Trotzdem geben die Experten Richtgrößen an. Auch in der aktuellen Norm SIA 382/1 sind solche unteren Richtwerte angegeben. Aus pragmatischer Sicht kann deshalb gesagt werden, dass eine relative Luftfeuchte im Winter von unter 30 %rF längerfristig nicht unterschritten werden sollte. Dieser Wert wird auch in Bezug auf Parkett genannt. Auch dort gilt aufgrund der langen Feuchtechselzeiten die Langfristigkeit. Anhand der vorliegenden Resultate und unter Vorbehalt des milden Klimas während der Messungen kann gefolgert werden, dass die Unterschiede zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftung gering sind und dass sich das Nutzerverhalten stärker auf die Raumluftfeuchte auswirkt. Aus diesem Grund muss die oben gestellte Frage mit nein beantwortet werden. Trotzdem kann die Luft unter bestimmten Voraussetzungen als zu trocken empfunden werden. In solchen Fällen wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- Überprüfung der effektiven Raumluftfeuchte durch eine Messung.
- Senkung der Raumlufttemperatur auf möglichst 21 °C.
- Reduktion des Luftwechsels durch Anpassung des Volumenstroms (Wohnungen mit Lüftung) oder kürzeren Fensterlüftungssequenzen (Fenster nie gekippt halten).
- Minimierung von Emissionsquellen (Staub wie z.B. Tabakrauch oder Reizstoffe)

Wenn die Massnahmen nicht zum gewünschten Erfolg führen, kann eine Befeuchtung angezeigt sein. Aus vorsorglichen Überlegungen und aufgrund der oben diskutierten Keimgehalte wird eine aus hygienischer und energetischer Sicht bestmögliche Befeuchtung empfohlen. Wenn möglich, sollten Systeme mit Feuchterückgewinnung unter Berücksichtigung der Norm SIA 382/1 und der Richtlinie VA 104-01 geprüft werden. Aus hygienischer Sicht dürfen die Räume nicht überfeuchtet werden.

Danksagung

Die Untersuchung hätte ohne die finanzielle Unterstützung der Sponsoren nicht durchgeführt werden können. In diesem Sinne drücken wir an dieser Stelle allen beteiligten Ämtern und Firmen unseren Dank aus. Ebenso wichtig wie die Finanzen waren in diesem Projekt die Objekte resp. die Wohnungen, die von uns begangen und gemessen werden konnten. Wir danken allen Liegenschaftsverwaltungen für deren Einwilligung, dass ihre Siedlungen untersucht werden durften. Speziellen Dank gebührt auch den Mieterinnen und Mietern für ihr Vertrauen, dass ihre Privatsphäre durch Messungen kurzfristig gestört wurde. Zuletzt wird den befragten Experten für ihre spontane Hilfsbereitschaft und die informativen Gespräche gedankt.

Rüti, 23. Oktober 2007

Ganz Klima

Roland Ganz

Dieser Schlussbericht besteht aus 57 Seiten (inkl. Titelseiten und Anhang). Ohne schriftliche Genehmigung der Ganz Klima GmbH darf der Bericht nur vollständig wiedergegeben werden. Aussagen, die auf Auszügen beruhen, sind unzulässig.

Anhang

Messmethoden

Luftkeime

Die Luftkeimmessungen wurden nach dem Impaktionsverfahren durchgeführt. Zur Identifikation wurden verschiedene Nährmedien eingesetzt:

- TSA (tryptic soy agar): Gesamtkeimzahl (Schimmelpilze und Bakterien) und Thermoactinomyceten
- MEA (Malz-Extrakt-Agar): Schimmelpilze
- DG 18 (Dichloran-Glyzerin-Agar): Schimmelpilze
- DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar): Schimmelpilze

Die Kultivierung der Proben erfolgte bei Interlabor Belp AG. Alle Kolonien wurden ausgezählt (Angabe von KBE/Platte) und die Gattungen aufgrund kulturmorphologischer Merkmale bestimmt.

KBE (Kolonie-bildende Einheit) geben an, wie viele Keime auf dem Nährmedium gewachsen sind. Anhand des eingestellten Luftvolumens kann die Konzentration pro m³ Luft berechnet werden.

Temperatur und relative Feuchte

Die Temperaturmessung erfolgte über einen NTC-Sensor (Thermistor), die Feuchte wurde kapazitiv gemessen.

Temperaturmessungen erfolgten bei einer Genauigkeit von $< \pm 0.1$ K, Feuchtemessungen bei einer Genauigkeit von $< \pm 2\%$.

Kohlendioxidkonzentration

Die Messung von Kohlendioxid (CO₂) erfolgte nach dem 2-Kanal-Infrarot Absorptionsprinzip mit einer Genauigkeit von ± 50 ppm + 2 % vom Messwert.

Nutzerbefragung

Die Befragung wurde persönlich in Form eines Interviews in der Regel beim Aufstellen der Messgeräte nach untenstehendem Fragekatalog ausgeführt.

Objektdaten	Objektyp Baujahr Grösse (Einheiten)	
Wohnungsdaten	Wohnfläche Zimmer Grösse Wohnzimmer Reduit (Waschmaschine/Tumbler) Cheminée Innenausbau (Materialien)	Waschen/Trocknung in Wohnung
Nutzung	Anzahl Personen insgesamt Anzahl Personen unter Tag Raucher Tiere Pflanzen Befeuchter Wäschetrocknung	Wartung, wie oft in Betrieb, wo? In Wohnung?
Lüftung	Fensterlüftung wie oft Fensterlüftung nachts Anlagendaten	Wie wird gelüftet, wie oft, Kippstellung, Stosslüftung, welche Zimmer Aussenluftvolumenstrom, nachts abgesenkt, WRG-Typ, Filtertyp
Zufriedenheit	Wohnung allgemein Klima (Temperatur und Feuchte) Luftqualität	Antwort gemäss 4-stufiger Skala (4=sehr zufrieden; 3=zufrieden; 2=(eher) nicht zufrieden; 1=gar nicht zufrieden)
Schäden	Wasserschäden Schimmelbefall Parkettschäden	Früher oder jetzt bekannte Probleme

Tab. 11: Fragekatalog Nutzerbefragung

Expertenbefragung Luftfeuchte

Frage	Roger Waeber	Georg Schättli	Jan-Olaf Gebbers ¹
Welche Feuchtwerte sollten nach Ihrer Ansicht in Wohnungen eingehalten werden?	Die relative Raumluftfeuchte sollte während der Heizperiode möglichst im Bereich 30 bis 50% liegen. Kurzzeitige Abweichungen sind idR unproblematisch.	Im Ratgeber «Komfortabler Wohnen», veröffentlicht durch die «energieschweiz» und die Konferenz kantonaler Energiefachstellen (EnFK) wird ein Maximalwert von 45 % empfohlen. Im Merkblatt des BAG «Luftbefeuchter» wird für ein gesundes und behagliches Innenraumklima eine Raumluftfeuchtigkeit zwischen 30 und 50 % empfohlen. «Luftwechsel», die «Plattform für Wohnungslüfter», empfiehlt aus hygienischen Gründen einen maximalen Wert von 60 %.	Werte zwischen 45 und 65 % relativer Feuchte werden empfohlen.
Können aus medizinischer resp. wissenschaftlicher Sicht Richtwerte für untere Raumluftfeuchten abgeleitet werden?	Streng genommen nein; die medizinisch-wissenschaftliche Datenlage erlaubt es nicht, eine fundierte Grenze abzuleiten. Trotzdem kann aus den vorhandenen Kenntnissen eine vernünftige Empfehlung abgeleitet werden: „nicht längere Zeit deutlich unter 30%“.	In der aha! Broschüre «Hausstaubmilbenallergie» wird eine Luftfeuchtigkeit, die 50 % bei einer Wohnraumtemperatur von 19 -21 °C nicht überschreitet, empfohlen. Dieselben Empfehlungen gelten auch, um Schimmelpilzwachstum in der Wohnung zu vermeiden. Mit einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit in den Innenräumen von 10 % erhöht sich offenbar die Häufigkeit von Asthma um 2.7 %. Dies geht aus der aktuellen Studie I-SAAC (International Study Asthma and Allergies in Childhood) hervor.	Der untere Grenzwert der empfohlenen Luftfeuchte liegt etwa bei 40% (ohne wesentliche Luftbewegungen oder Staubbelastungen).
Mit welchen Symptomen ist bei tiefer Feuchte zu rechnen?	Sinkt die Raumluftfeuchtigkeit während mehrerer Tage deutlich unter 30 Prozent, können Haut und Schleimhäute an Augen, Nase und Rachen vermehrt austrocknen. Die Folgen können Trockenheitsgefühle, Reizungen, Bindehautentzündungen, Hautekzeme und ein erhöhtes Risiko für Erkältungen sein. Darunter leiden insbesondere ältere Menschen, Personen mit empfindlichen Schleimhäuten und Kontaktlinsenträger.	Sinkt die Raumluftfeuchtigkeit unter 30 %, trocknen Haut und Schleimhäute an Augen, Nase und Rachen vermehrt aus. Die Folgen sind Trockenheitsgefühle, Reizungen, Bindehautentzündungen, Hautekzeme und ein erhöhtes Risiko für Erkältungen.	Es werden Reizungen und Entzündungen der Schleimhäute von Augen, Nase, Rachen und Mund sowie der Haut und Kopfschmerzen beobachtet.

¹ siehe im Anschluss an diese Tabelle die Ergänzungen von Jan-Olaf Gebbers

Frage	Roger Waeber	Georg Schächli	Jan-Olaf Gebbers ¹
Denken Sie, dass eine Wohnungslüftung die Feuchte negativ oder positiv beeinflusst?	Wegen des kontinuierlichen gesicherten Luftwechsels beeinflusst eine mechanische Lüftung das Raumklima positiv – zu hohe Luftfeuchtigkeit und damit das Risiko für Milbenwachstum, Feuchtigkeitsschäden und Schimmel wird wirksam reduziert.	Ein dichtes, mit einer Komfortlüftung ausgerüstetes Haus weist eine höhere Luftfeuchtigkeit auf, als ein in den 60-er Jahren gebautes, undichtetes Haus. Mit einer geschickten Komfortlüftung kann eine normal genutzte Wohnung in einem günstigen Feuchtigkeitsbereich von 35 bis 60 % gehalten werden. Bei fachgemässer Benutzung einer Komfortlüftung kann eine geringe Anpassung der Raumluftfeuchtigkeit an die Bedürfnisse des Benutzers erreicht werden.	Eine gut eingestellte und gewartete mechanische Lüftung ist mit den heutigen technischen Möglichkeiten wahrscheinlich eine gute Lösung. Die einfache Fensterlüftung wird – je nach Bewohner – oft leider nicht optimal eingesetzt, obwohl sie bei richtiger Benutzung empfehlenswert ist.
Empfehlen Sie eine zusätzliche Befeuchtung in der kalten Jahreszeit?	Nein, nicht generell. Die hygienischen Risiken einer Befeuchtung sind stärker zu gewichten als eine trockene Raumluft. Zudem haben Komfortprobleme und Trockenheitsgefühle oft andere Ursachen als eine zu tiefe Raumluftfeuchtigkeit (hohe Temperatur, Gehalt an Staub und Reizstoffen, Erwartungshaltung bei der Beurteilung von Innenraumbedingungen). Liegt bei mechanisch gelüfteten Räumen die Raumluftfeuchte deutlich zu tief, so ist nicht eine Befeuchtung, sondern eine korrekte Einstellung der Luftmengen angezeigt.	Das BAG äussert sich zu dieser Frage folgendermassen: Aus medizinischer Sicht ist eine eher trockene Raumluft besser, als zu feuchte Bedingungen. Ein Einsatz von Luftbefeuchtern ist in der Regel nicht nötig, weil Komfortprobleme meist mit raumlufthygienischen Massnahmen entschärft werden können, die auch für die allgemeine Raumluftqualität von Vorteil sind. Auf keinen Fall sollten Luftbefeuchter ohne Kenntnis der tatsächlichen Feuchtigkeit angeschafft und betrieben werden. Massnahmen: Räume nicht überheizen, da überheizte Räume trockener als weniger stark geheizte Räume sind: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Belastungen mit Staub und Reizstoffen sollten vermindert werden, da eine belastete Raumluft als trocken empfunden wird. Empfehlungen sind: Nicht in der Wohnung rauchen, keine Raumluftparfums etc., regelmässige Staubentfernung, regelmässiges im Durchzug lüften ▪ Angepasster Luftwechsel bei Lüftungsanlagen, da die Raumluftfeuchtigkeit in kalten Tagen über längere Zeit unter 30 % sinken kann. Hauptgrund ist eine oft geringe Wohnungsbelegung. Das Problem kann entschärft werden, indem Luftwechsel in kalten Tagen etwas reduziert bzw. der Belegung angepasst wird ▪ Luftbefeuchter nur gezielt einsetzen und regelmässig reinigen 	Luftbefeuchter können das Schimmelpilzwachstum fördern und damit Quellen von Schimmelpilzallergenen sein. Die relative Luftfeuchte, die Schimmelpilzwachstum fördert, liegt > 68%. Die Temperatur ist ebenfalls wichtiger Faktor. Deshalb sollten nur gut gewartete Luftbefeuchter benutzt werden, die frei von Schimmelpilzen sind.

¹ siehe im Anschluss an diese Tabelle die Ergänzungen von Jan-Olaf Gebbers

Frage	Roger Waeber	Georg Schächli	Jan-Olaf Gebbers ¹
Unter welchen Voraussetzungen?	Bei medizinischer Indikation und unter Beachtung von gewissen Sicherheitsmassnahmen (Überwachung r.F., Hygiene des Geräts).	Wie oben genannt: Nur wenn die tatsächliche Raumluftfeuchtigkeit bekannt ist.	Luftbefeuchter können bei kalten Wetterperioden (< -5°C) durchaus das Wohnklima verbessern und die oben beschriebenen Beschwerden vermeiden.
Was sind Ihre Empfehlungen bezüglich Feuchte im Winter?	Da der Mensch kein zuverlässiges Sensorium für die Raumluftfeuchte hat, empfiehlt sich zusätzlich zum Raumthermometer ein Feuchtigkeitsmessgerät (Hygrometer). Wichtig ist die Vermeidung zu hoher Feuchtigkeit in Wohnräumen: regelmässige Stosslüftungen (v.a. bei dichten Gebäudehüllen und/oder hoher Belegung), Benutzung von Abzug in Küche und Bad, Vorsicht bei zusätzlichen Feuchtigkeitsquellen, v.a. in schlecht gedämmten Gebäuden. Zur Vermeidung von Komfortproblemen wegen „zu trockener Luft“: Räume nicht überheizen; regelmässig Staub entfernen, Raumluftbelastende Tätigkeiten minimieren; bei Problemen in mechanisch gelüfteten Räumen Luftfeuchtigkeit messen, Luftmengen überprüfen und ggf. anpassen / Mängel beheben. Im Zusammenhang mit dem vermehrten Einsatz von mechanischen Lüftungen hat der Themenkomplex Raumluftfeuchtigkeit/-trockenheit/-befeuchtung wieder an Aktualität gewonnen. Deshalb hat das BAG das Merkblatt „Luftbefeuchter“ erstellt.	Für ein wirksames, energiesparendes Lüften wird empfohlen, mehrmals täglich zwischen 3-6 Minuten querzulüften, in dem die Fenster vollständig geöffnet werden. So wird viel Raumfeuchtigkeit abgeführt, ohne dass die Wände etc. abkühlen (Merkblatt «Optimales Lüften» Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche (FFF); aha! Broschüre «Hausstaubmilbenallergie»).	Siehe bitte Antwort zur 6. Frage. Zudem sollte die Raumtemperatur möglichst < 21°C gehalten werden.

Tab. 12: Expertenantworten bezüglich Raumluftfeuchte und Gesundheit

Ergänzungen Jan-Olaf Gebbers

Luftfeuchte in Innenräumen

Das menschliche Wohlbefinden in Innenräumen ist nicht nur abhängig von den Konzentrationen der in der Luft verunreinigenden Stoffe, sondern ebenso von physikalischen Faktoren wie Temperatur, relative Luftfeuchte¹, Luftaustausch, Luftgeschwindigkeit, Beleuchtung und Schallentwicklung.

¹Luftfeuchte bezeichnet den Wasserdampfgehalt (H_2O - Partialdruck) der Luft. Die Luftfeuchte wird von der Verteilung und Stärke der Wasserdampfquellen und -senken bestimmt. Die Verdunstungsrate hängt vom Wasserdampfpartialdruck ab, der exponentiell mit der Lufttemperatur ansteigt. Wichtige Grössen der Luftfeuchte sind z.B. Wasserdampfpartial-/Sättigungsdampfdruck, die absolute Feuchte oder Wasserdampfdichte [Dichte des Wasserdampfs/Vol. der Mischung (kg/m^3)], die relative Feuchte [Wasserdampfpartialdruck/Sättigungsdampfdruck (%)], das Mischungsverhältnis [Dichte des Wasserdampfs/Dichte der trockenen Luft (g/kg)] sowie der spezifischen Feuchte [Dichte des Wasserdampfs/Dichte der feuchten Luft (g/kg)].

Bezüglich Temperatur und relativer Feuchte liegt das Behaglichkeitsfeld des Menschen zwischen 18 und 24 °C und 45 und 70 %. Für spezielle Gebäude wie Schulen, Universitäten, Kindertagesstätten und Jugendheimen wurde in Deutschland in der DIN 4701 Teil 2 Norminnentemperaturen festgelegt. Im privaten Wohnbereich gelten unter wohnphysiologischen Gesichtspunkten 20 bis 23 °C als optimal [Bundesgesundheitsamt 1993]. Mersch-Sundermann empfiehlt Raumtemperaturen tagsüber zwischen 18 und 23 °C, nachts < 18 °C und die relative Luftfeuchte zwischen 45 und 65 % [Mersch-Sundermann V: Belastungen durch die Innenraumluft. Z Allgem-Med 1996;72:83-90]. Dabei ist die Temperatur ein meist einfach zu variierender Parameter, der durch unmittelbare schnelle Empfindung geregelt wird. Die relative Luftfeuchte ist dagegen bedeutend schwieriger einzustellen, da kalte Luft nur wenig Wasser aufzunehmen vermag und oft eine künstliche Nachregelung erforderlich ist. Feuchten über 70 % können infolge Kondensation an kalten Oberflächen zur Bildung von Schimmelpilzen beitragen. Je nach Nutzung und Wärmedämmung der Räume ergeben sich zur Vermeidung von Schimmelwachstum oft Werte der Luftfeuchte, die deutlich unter den medizinisch empfohlenen liegen.

Vor allem in (zu) gut geheizten Räumen werden die empfohlenen Richtwerte der Luftfeuchte oft unterschritten, was zu einer verminderten Atemleistung und zu Beeinträchtigungen der Funktionen von Haut und Schleimhäuten führen kann. Dies ist besonders im Winter der Fall, da die kalte Aussenluft dann nur eine geringe absolute Luftfeuchte enthält und mit dem Erwärmen auf Zimmertemperatur die relative Luftfeuchte stark absinkt.

In sehr kalten Gebieten oder auch kalten Jahreszeiten und in der Nacht zeigt sich oft ein erhöhter Flüssigkeitsverbrauch des menschlichen Organismus, obwohl aufgrund des fehlenden Flüssigkeitsverlustes durch Schwitzen eher das Gegenteil angenommen werden könnte. Begründet liegt dies in der Befeuchtung der trockenen Einatemluft und dem damit verbundenen Wasserverlust über die Ausatemluft. Wird die kalte Aussenluft beim Einatmen erwärmt, so steigt deren Wasserdampfkapazität und senkt damit auch die relative Luftfeuchte. Im Gegensatz hierzu steigt das Sättigungsdefizit an und die Neigung des flüssigen Lungengewebes-Wassers, in den gasförmigen Aggregatzustand überzugehen, nimmt zu. Im Sommer oder bei warmer Umgebungsluft wird die Einatemluft kaum noch zusätzlich erwärmt und behält daher ihre meist hohe relative Luftfeuchte. Sind die zusätzlichen Wasserverluste durch Schwitzen hier nicht allzu groß, ist der Wasserbedarf des Körpers daher bei kalten Umgebungsbedingungen höher.

Gesundheitliche Aspekte zur Raumluft-Feuchte

Niedrige Luftfeuchten, wie sie in Räumen mit schlecht eingestellten Klimaanlage vorkommen oder in der kalten Jahreszeit bei überhöhten Innentemperaturen, können zu verschiedenen Beschwerden führen wie *Reizungen und Entzündungen der Schleimhäute der Augen, der Nase und des Rachens, des Mundes, sowie der Haut und zu Kopfschmerzen*. Bekannt sind diese Probleme bei niedrigeren Luftfeuchten auch aus der Arbeitsmedizin z.B. in der Uhrenindustrie, wo bei trockener Luft gearbeitet werden muss und die beschriebenen Beschwerden gehäuft auftreten.

Bei niedriger Luftfeuchte kommt es zur *Austrocknung der Haut* mit Rötungen und Spannungsgefühl, als ‚low humidity dermatoses‘ in der Arbeits- und Umweltmedizin bekannt [Sherertz EF & Storres FJ: Dermatologic Diseases. In: L Rosenstock & MR Cullen eds. Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine, Saunders, Philadelphia, London 1994: 523]. Bei Feuchten von 60% und darüber ist die oberste Hautschicht (Stratum corneum) gefügig. Bei niedrigen Luftfeuchten, heisser trockener Luft und bei Wind trocknet diese Schicht aus und es entstehen Risse (Fissuren). Dieser Mechanismus spielt eine Rolle bei der Entstehung der meisten Reizdermatitiden (Hautentzündungen) und ist primäre Ursache bei Hautentzündungen an heissen, trockenen und stark belüfteten Orten. Besonders betroffen sind Personen mit allergischen Dermatitiden oder die, die an anderen Hautentzündungen leiden.

Niedrige relative Luftfeuchte kann auch zum *Austrocknen der Schleimhäute* führen, sie wird als „trockene“ Luft empfunden. Hierbei wird vor allem über Reizungen der Augenbindehaut, der Nasenschleimhaut und des Rachens geklagt. Bekannt ist die Rhinitis anterior sicca, eine Entzündung des Naseneingangs. All diese Beschwerden sind sehr lästig und teils schwierig zu behandeln.

Zudem gilt: je niedriger die Luftfeuchte, umso grösser die mögliche *Staubbelastung* (bis doppelt so hohe Konzentrationen wie in der Aussenluft, SEIFERT 1989). Der Hausstaub (wie auch der Aussenluft-Staub) wirkt als Passivsammler und reichert organische und anorganische Komponenten auf der Oberfläche an, die Reizstoffe und Allergene enthalten. Diese lassen sich im Labor leicht thermisch desorbieren. Beispielsweise konnten etwa 200 VOC (volatile organic compounds) und SVOC (semivolatile organic compounds) im Hausstaub identifiziert werden. Die Staubkonzentrationen hängen ebenfalls stark von der Anzahl von Personen und von ihren Bewegungen in dem entsprechenden Raum ab. Diese Stäube tragen ebenfalls zu den Haut- und Schleimhautreizungen bei; vor allem natürlich die Stäube, die bei Verbrennungen entstehen (Rauchen, Kaminfeuer, brennende Kerzen u.a.). Höhere Luftfeuchten führen zum Absinken des Staubs zum Boden und verhindern damit Irritationen.