

Lüftungskonzept Österreich

A. Greml, G. Rojas-Kopeinig,
R. Pfluger, P. Tappler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

33/2021

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Lüftungskonzept Österreich

Dipl.-Ing. Andreas Greml
Komfortlüftung.at

Mag. Dr. Gabriel Rojas-Kopeinig, Prof. Dr. Rainer Pfluger
Universität Innsbruck

Dipl.-Ing. Peter Tappler
IBO-Innenraumanalytik OG

Kufstein, September 2021

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorwort der Autoren

Schimmelfreiheit und eine ausreichende Luftqualität sind wesentliche Parameter für die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit. In den bautechnischen Regelungen der Länder bzw. der OIB-Richtlinie 3 (welche die Basis für die gesetzlichen Regelungen darstellt) ist eine „ausreichende Lüftung“ von Innenräumen gesetzlich vorgeschrieben. Welche Art der Lüftung erforderlich ist, bzw. wann eine Fensterlüftung ausreicht und ob diese unter praktischen Gesichtspunkten im erforderlichen Maße überhaupt zumutbar ist, sorgte bisher in der Praxis für zahlreiche Unklarheiten, Diskussionen und Streitfälle. Diese könnten durch ein praxisnahes Lüftungskonzept und den dadurch möglichen standardisierten Nachweis, bzw. in Bezug auf die erforderlichen Maßnahmen, mit einem EDV-Tool vermieden werden.

Der Berechnungsansatz, bzw. das Tool kann neben einer allgemeinen Informationsquelle für Nutzer:innen*, Planer:innen, ausführende Firmen, Bauträger etc. auch als Basis für eine Konkretisierung der Anforderungen der OIB-Richtlinien bzw. der bautechnischen Regelungen der Länder herangezogen werden. In diesem Zusammenhang wäre es hilfreich, die Rahmenbedingungen, sowie die Vorgangsweise wie Raumluftqualität und Schimmelfreiheit in der Praxis definiert, bzw. nachgewiesen werden kann, in den Erläuterungen der OIB-Richtlinie 3 festzulegen.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Ausgangslage, Ziel und Methode	11
3	Normative Grundlagen und Richtlinien	13
	3.1. Feuchteschutz	13
	3.2. Luftqualität bzw. ausreichende Lüftung	15
4	Grundsätzlicher Berechnungsansatz	17
	4.1. Schimmelrisiko – grundsätzlicher Ansatz	17
	4.2. Luftqualität – grundsätzlicher Ansatz	19
5	Mathematischer Ansatz und hinterlegte Verteilungen	20
	5.1. Das Grundmodell – Massenbilanz	20
	5.1.1. Rechnerische Ansatz zur Bewertung der Raumluftqualität	20
	5.1.2. Rechnerische Ansatz zur Bewertung des Schimmelrisikos	23
	5.1.3. Bestimmung der natürlichen In-/Exfiltration	24
	5.2. Stochastischer Ansatz mit Monte-Carlo-Verfahren	26
	5.3. Hinterlegte Parameter und deren Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF)	28
	5.3.1. Gebäudedichtheit / n_{50} -Wert	29
	5.3.2. Raumfläche, Raumhöhe, Fläche öffentlicher Fenster und Fensterklasse	30
	5.3.3. Luftwechselrate bei Fensterlüftung, Lüftungsdauer (CO ₂ -Bewertung)	33
	5.3.4. Eingaben Personenbelegung	34
	5.3.5. Feuchtequellstärken	37
	5.3.6. Raumtemperaturen und Angaben zu Wärmebrücken / f_{RSI}	40
	5.3.7. Luftwechselrate bei Fensterlüftung, Lüftungsdauer (H ₂ O-Bewertung)	41
6	Erläuterungen zum Excel Tool	43
7	Eingabe- und Ergebnisdarstellung	46
	7.1. Luftqualität	46
	7.2. Beispielhafte Ergebnisse Luftqualität	49
	7.3. Schimmelrisiko	50
	7.4. Beispielhafte Ergebnisse Schimmelrisiko	52
8	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	53
9	Anhang	59
	9.1. Beispiele Luftqualität	59
	9.1.1. Beispiel: Wohnbau: Luftqualität im Wohnzimmer mit hinterlegten Wertebereichen berechnet:	59
	9.1.2. Für eine konkrete Situation – mit Variationen: Wohnzimmer – MFH Neubau	62
	9.1.3. Wohnbau: Luftqualität Schlafzimmer MFH – Neubau	66
	9.1.4. Schule: Klassenzimmer	72
	9.2. Beispielhafte Ergebnisse Schimmelrisiko	75

9.2.1. Wohnbau: Feuchte MFH – Neubau	75
9.2.2. Wohnbau: Feuchte EFH – Neubau.....	81

1 Kurzfassung

Ausgangssituation:

Schimmelfreiheit und eine ausreichende Luftqualität sind wesentliche Parameter für die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit in Innenräumen wie Wohnhäusern, Büros und Unterrichtsräumen. In den bautechnischen Regelungen der Länder (Basis dazu bildet die OIB Richtlinie 3) ist eine „ausreichende Lüftung“ von Innenräumen gesetzlich vorgeschrieben. Welche Art der Lüftung erforderlich ist, bzw. wann eine Fensterlüftung ausreicht, und ob diese unter praktischen Gesichtspunkten im erforderlichen Maße überhaupt zumutbar ist, wird weder im Text, noch in den Erläuterungen zur OIB-Richtlinie konkretisiert und sorgte bisher in der Praxis für viele Unklarheiten, Diskussionen und Streitfälle.

Ziel des Projektes:

Ziel des Projektes ist die Schaffung eines Nachweisverfahrens (auf Basis Microsoft-Excel), welches zeigt, ob eine natürliche Lüftung bzw. Fensterlüftung bei einer Standardnutzung zur Vermeidung von Schimmelbildung ausreichend, bzw. in Hinblick auf eine ausreichende hygienische Luftqualität zumutbar ist.

- Nachweis 1: Schimmelfreiheit auf Bauteiloberflächen ohne bzw. gegebenenfalls mit zumutbarem Eingriff der Nutzer:innen.
- Nachweis 2: Gewährleistung einer ausreichenden Luftqualität entsprechend den Richtwerten des Arbeitskreises Innenraumluft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie – BMK

Methode:

Der im Projektantrag formulierte Ansatz im Bereich Schimmelfreiheit, die Ansätze der DIN 1946 auf österreichische Verhältnisse umzuarbeiten, wurde aufgrund der Schwäche des Regelwerks (DIN 1946 liefert das bauphysikalisch falsche Signal, eher undichter zu bauen, verworfen und ein neuer Ansatz gewählt, bei dem das Schimmelrisiko in Prozent für den Anwesenheitsfall mit Nutzer:inneneingriff und den Abwesenheitsfall ohne Nutzer:inneneingriff ausgewiesen wird.

Für den Nachweis einer ausreichenden Luftqualität mit zumutbarem Nutzer:inneneingriff sind keine normativen Ansätze im deutschsprachigen Raum bekannt. Die gewählte Methode vergleicht die berechneten notwendigen Lüftungsintervalle für eine ausreichende Luftqualität durch eine aktive Fensterlüftung mit festgelegten, für Nutzer:innen zumutbaren Zeiträumen zwischen den Lüftungsperioden (z.B. Schlafzimmer 8 Std, Wohnzimmer 2 Std, Büro 2 Std, Klassenzimmer 45 Minuten, ...).

Das Berechnungsverfahren basiert auf dem Monte-Carlo Ansatz. Anstatt einer deterministischen Berechnung werden 1000 Berechnungen mit zufällig variierenden Eingabewerten (wenn nicht durch Nutzer:innen fix vorgegeben) durchgeführt. Dadurch werden Unsicherheiten der Eingabeparameter (z.B. Personenzahl, Feuchteintrag) in der Bewertung berücksichtigt.

Ergebnis:

Als Ergebnis steht nun ein Excel Tool zur Verfügung, mit dem das Schimmelrisiko bei Wohnbauten in Prozent und die Zumutbarkeit einer Fensterlüftung zur Erreichung einer ausreichenden Luftqualität bei Wohngebäuden, Schulen, Kindergärten und Büros berechnet werden kann.

2 Ausgangslage, Ziel und Methode

Schimmelfreiheit und eine ausreichende Luftqualität sind wesentliche Parameter für die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit. In den bautechnischen Regelungen der Länder (Basis bildet die OIB Richtlinie 3) ist eine „ausreichende Lüftung“ von Innenräumen gesetzlich vorgeschrieben.

Unabhängig von der SARS-CoV-2 Pandemie zeigen zahlreiche Studien, dass sich eine gute Raumluftqualität positiv auf Gesundheit und Leistungsvermögen auswirkt. Insbesondere bei Schulen und Kindergärten ist die Luftqualität auch volkswirtschaftlich von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Insbesondere gilt dies in Pandemie- und Grippezeiten, wenn aufgrund guter Lüftung das Infektionsrisiko durch virenbelastete Aerosole deutlich reduziert wird.

Welche Art der Lüftung für eine ausreichende Luftqualität erforderlich ist, bzw. wann eine Fensterlüftung ausreicht bzw. zumutbar ist, sorgte bisher für viele Unklarheiten, Diskussionen und Streitfälle. Diese könnten durch ein praxisnahes Lüftungskonzept und den dadurch möglichen standardisierten Nachweis mit einem EDV-Tool vermieden bzw. versachlicht werden.

Mit dem Nachweisverfahren bzw. dem EDV-Tool soll für alle Beteiligten Planungssicherheit erreicht werden, ob eine gewählte Lüftungsart (z.B. Fensterlüftung, Hybridlüftung, usw.) zur Schimmelvermeidung ausreichend, bzw. auch in Hinblick auf eine hygienische Mindest-Luftqualität ausreichend und zumutbar ist.

- Nachweis 1: Schimmelfreiheit auf Bauteiloberflächen ohne bzw. gegebenenfalls mit zumutbarem Eingriff der Nutzer:innen.
- Nachweis 2: Gewährleistung einer ausreichenden Luftqualität entsprechend den Richtwerten des Arbeitskreises Innenraumluft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie – BMK

Der im Projektantrag formulierte Ansatz im Bereich Schimmelfreiheit, die Ansätze der DIN 1946 auf österreichische Verhältnisse umzuarbeiten, wurden aufgrund der Schwäche des Regelwerks verworfen. Die deutsche DIN 1946 liefert das bauphysikalisch falsche Signal, eher undichter zu bauen – siehe Anhang. Es wurde daher ein neuer Ansatz gewählt, bei dem das prozentuelle Schimmelrisiko ausgewiesen wird. Der Ansatz über das Schimmelrisiko spiegelt zudem die Realität deutlich besser wider, da es keinen Cut-Off-Wert für die Schimmelbildung gibt, sondern da das Schimmelrisiko auch von zahlreichen nicht das Bauwerk betreffenden Faktoren abhängt. So haben z.B. in einem Mehrfamilienhaus typischerweise nicht alle Wohnungen Schimmelprobleme, sondern häufig nur jene, in denen die weiteren Faktoren wie bspw. das Nutzer:innenverhalten etc. ungünstig ist.

Das Berechnungsverfahren basiert auf dem Monte-Carlo Ansatz. Anstatt eine Bewertung ausschließlich auf Basis von starren Eingabeparametern durchzuführen, wurden zahlreiche Eingabeparameter mit einer Streubreite versehen. Diese soll die Unsicherheit der Eingabewerte aufgrund von Unkenntnis (z.B. Anzahl der Personen, Feuchteintrag, etc.) und/oder aufgrund von zeitlicher Variabilität (Wind, Temperatur, etc.) berücksichtigen. Anstatt nur einer Berechnung werden so für jeden Bewertungsfall 1000 Berechnungen mit variierenden Eingaben durchgeführt. Je nach Kenntnisstand kann der Nutzer:innen anstelle der automatisiert berechneten Werte auch fixe

Eingabewerte vorgeben und so die Streubreite einschränken. Als Ergebnis können somit Eintrittswahrscheinlichkeiten als Bewertungsgrundlage herangezogen werden.

Für den Nachweis einer ausreichenden Luftqualität mit zumutbarem Nutzer:inneneingriff sind keine normativen Ansätze bekannt. Die gewählte Methode vergleicht die notwendigen Lüftungsintervalle durch die Nutzer:innen für eine ausreichende Luftqualität mit festgelegten zumutbaren Zeiträumen (z.B. Schlafzimmer 8 Std, Wohnzimmer 2 Std, Büro 2 Std, Klassenzimmer 45 Minuten, ...).

3 Normative Grundlagen und Richtlinien

Die grundsätzlichen Anforderungen für den Feuchteschutz und an die Luftqualität sind in den bautechnischen Regelungen der Bundesländer über die Basis der OIB-Richtlinie 3/2019 verankert. Teilweise sind in den Bundesländern auch noch ältere Ausgaben der OIB-Richtlinien in Kraft. In der OIB-Richtlinie und damit in den bautechnischen Regeln der Bundesländer wird die Frage der Formulierung „ausreichend gelüftet“ nicht näher präzisiert, auch in den Erläuterungen der OIB-Richtlinie werden keine klaren Aussagen gemacht, was mit „ausreichend gelüftet“ gemeint ist. Die Problematik unklarer Aussagen zu Lüftung ist auch in den älteren Ausgaben der OIB-Richtlinien gegeben.

3.1. Feuchteschutz

Was fordert die OIB-Richtlinien 2019 in Bezug auf den Feuchteschutz?

Auszug aus OIB-Richtlinie 3/2019:

6.4 Vermeidung von Schäden durch Wasserdampfkondensation

6.4.1 Raumbegrenzende Bauteile von Bauwerken mit Aufenthaltsräumen sowie von sonstigen Bauwerken, deren Verwendungszweck dies erfordert, müssen so aufgebaut sein, dass Schäden durch Wasserdampfkondensation weder in den Bauteilen noch an deren Oberflächen bei üblicher Nutzung entstehen. Dies gilt jedenfalls als erfüllt, wenn Punkt 4.8 der OIB-Richtlinie 6 eingehalten wird.

6.4.2 Bei Außenbauteilen mit geringer Speicherfähigkeit (wie Fenster- und Türelemente) ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass angrenzende Bauteile nicht durchfeuchtet werden

Der Verweis auf den Punkt 4.8. der OIB-Richtlinie 6/2019 ist in Bezug auf Lüftung nicht anwendbar und daher nur bedingt vertiefend:

Auszug aus OIB-Richtlinie 6/2019:

4.8 Schadensbildende Kondensation und Risiko zur Schimmelbildung

Bei Neubau und Renovierung von Gebäuden und Gebäudeteilen sind in Abhängigkeit von deren Nutzung (nutzungsprofil-spezifische Feuchteproduktion) schadensbildende Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche und das Risiko zur Schimmelbildung an der inneren Bauteiloberfläche zu vermeiden. Bei Neubau und Renovierung von Gebäuden und Gebäudeteilen ist in Abhängigkeit von deren Nutzung (nutzungsprofil-spezifische Feuchteproduktion) schadensbildende Kondensation im Inneren von Bauteilen zu vermeiden.

Der Nachweis der Vermeidung einer schadensbildenden Kondensation ist in der ÖNORM B8110-2:2020-01-01 geregelt. Darin wird abhängig von allgemeinen Rahmenbedingungen, Innen- und Außenluftverhältnissen und raumluftseitigem Feuchteüberschuss die Methode für den Nachweis zur

Vermeidung von Schimmel auf Oberflächen bzw. schadensverursachender Kondensatwasserbildung im Bauteilinneren beschrieben.

Beim Projektteil Feuchteschutz des gegenständlichen Projektes geht es nur um die Vermeidung von Schimmel auf Oberflächen, die Kondensation im Bauteilinneren ist nicht Bestandteil des Projektes. Es geht zudem nicht um das Nachweisverfahren an sich, welches in Bezug auf den Bauteil selbst eindeutig in der ÖNORM B8110-2 geregelt ist, sondern um eine zusätzliche konkrete Abschätzung für das Schimmelrisiko bei verschiedenen Randbedingungen in Bezug auf Lüftung – bei einem realistischen Luftwechsel ohne bzw. mit zumutbarem aktiven Eingriff durch die Nutzer:innen. In der B 8110-2 sind nur allgemeine Hinweise für den Luftaustausch enthalten, aber keine konkreten Angaben, wie sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und das Nutzer:innenverhalten in Bezug auf Lüftung und Feuchteintrag auf das Schimmelrisiko auswirken.

Auszug aus B 8110-2:2020 Punkt 6

Zur Sicherung der Innenluftbedingungen durch einen ausreichenden Luftaustausch für das Bemessungsklima ist Folgendes vorzusehen:

- eine ausreichende Belüftbarkeit der Räume zur Abfuhr des im Inneren freigesetzten Wasserdampfes;
- geeignete Maßnahmen zur Abfuhr der Baufeuchte;
- Anzeigegeräte in den Räumen zur Überwachung und Beeinflussung der relativen Feuchtigkeit durch den Benutzer:innen, z. B. durch entsprechende Lüftung

Die deutsche Norm DIN 1946 liefert das aus heutiger bauphysikalischer Sicht falsche Signal, eher undichter zu bauen. Der im Projektantrag formulierte Ansatz im Bereich Schimmelfreiheit, die Ansätze der DIN 1946 auf österreichische Verhältnisse umzuarbeiten, wurden aufgrund der inhaltlichen Schwäche dieses Regelwerkes verworfen und ein neuer Ansatz gewählt, bei dem das Schimmelrisiko in Prozent ausgewiesen wird. Der Ansatz des Schimmelrisikos spiegelt zudem die Realität deutlich besser wider, da es aus mikrobiologischer Sicht keinen scharfen Cut-Off-Wert für die Schimmelbildung gibt (unterschiedliche Schimmelpilzarten, Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf von Temperatur und Feuchte und dem Substrat der betroffenen Oberflächen). Darüber hinaus hängt das Schimmelrisiko auch von zahlreichen nicht das Bauwerk betreffenden Faktoren ab. So haben z.B. in einem Mehrfamilienhaus typischerweise nicht alle Wohnungen Schimmelprobleme, sondern nur jene, in denen die weiteren Faktoren wie bspw. das Nutzer:innenverhalten etc. ungünstig sind.

3.2. Luftqualität bzw. ausreichende Lüftung

Was fordert die OIB-Richtlinien 2019 in Bezug auf eine ausreichende Lüftung?

Auszug aus OIB-Richtlinie 3/2019:

10. Lüftung und Beheizung

10.1 Lüftung

10.1.1 Aufenthaltsräume und Sanitärräume müssen durch unmittelbar ins Freie führende Fenster, Türen und dergleichen ausreichend gelüftet werden können. Davon kann ganz oder teilweise abgesehen werden, wenn eine mechanische Lüftung vorhanden ist, die eine für den Verwendungszweck ausreichende Luftwechselrate zulässt. Die Lüftung von Aufenthaltsräumen durch unmittelbar ins Freie führende Fenster, Türen und dergleichen ist ebenfalls gewährleistet, wenn vor diese verglaste Loggien oder Wintergärten vorgesetzt sind, welche der jeweiligen Wohn- und Betriebseinheit zugeordnet sind und über offenbare Fenster, Türen und dergleichen verfügen. Bei sonstigen innen liegenden Räumen, ausgenommen Gänge, ist für eine Lüftungsmöglichkeit zu sorgen.

10.1.2 In Räumen, deren Verwendungszweck eine erhebliche Erhöhung der Luftfeuchtigkeit erwarten lässt (insbesondere in Küchen, Bädern, Nassräumen etc.), ist eine natürliche oder mechanische Be- oder Entlüftung einzurichten.

Was konkret unter „ausreichend gelüftet“ bzw. einer ausreichenden Luftwechselrate bei mechanischer Lüftung zu verstehen ist, wird jedoch nicht näher erläutert.

Bei der Luftqualität bilden die Richtwerte des Arbeitskreises Innenraumluft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie – BMK (vormals BMLFUW) in Bezug auf CO₂ den heutigen Stand der Wissenschaft ab. Diese Werte stellen daher die wissenschaftliche Basis für die Umsetzung des Lüftungskonzeptes Österreich zum Thema Luftqualität dar.

Tabelle 1: Richtwerte des Arbeitskreises Innenraumluft des BMK

Richtwerte und Ziele für die Raumluftqualität, Konzentrationsangaben der CO₂-Konzentration in ppm

Klasse	Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert der Momentanwerte für CO ₂ (ppm)
Klasse 1	Ziel für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	< 800
Klasse 2	Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen, in denen geistige Tätigkeiten verrichtet werden bzw. die zur Regeneration dienen	< 1000
Klasse 3	Allgemeiner Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	< 1400
Klasse 4	Richtwert für Innenräume mit geringer Nutzungsdauer durch Personen	< 5000
Außerhalb der Klassen	Situation in Flugzeugen, Nachtsituation z.B. in Liege- und Schlafwagenabteilen von Zügen	> 5000

Für die Beurteilung der CO₂-Konzentrationen werden in der Richtlinie des BMK typische Beurteilungszeiträume angegeben.

Tabelle 2: Beispiele für Beurteilungszeiträume für CO₂-Messungen (Arbeitskreises Innenraumluft des BMK)

Innenraum	Interessierender Zeitraum	Typische Beurteilungszeiträume in Stunden
Schulklassen	Unterrichtszeit von Unterrichtsbeginn bis -ende	6 - 8
	Unterrichtszeit einer Schulstunde Unterrichtsbeginn bis -ende ohne Pausen	1 - 2
Arbeitsstätten, Büros	Arbeitszeit von Betriebsbeginn bis Betriebsschluss	8
Vortragssäle, Veranstaltungsräume, Theater	Dauer der Veranstaltung inkl. Pausen	2 - 6
Wohnungen	Nachtsituation im Schlafzimmer	8
	Gesamtsituation bspw. im Wohnzimmer	24
Verkehrsmittel	Situation in Flugzeugen, Nachtsituation z.B. in Liege- und Schlafwagenabteilen von Zügen	1 - 8

4 Grundsätzlicher Berechnungsansatz

4.1. Schimmelrisiko – grundsätzlicher Ansatz

Aufgrund der Schwäche des Regelwerks DIN 1946 hat sich das Projektteam entschieden, für Österreich einen anderen Lösungsansatz zu wählen. Denn undichter zu bauen bedeutet zwar ein geringeres Risiko für Oberflächenkondensat, birgt bei undefinierten Undichtigkeiten aber ein erhöhtes Risiko für Schimmel im Bauteilinneren. Außerdem ist die luftdichte Bauweise heute aus zahlreichen weiteren Gründen zu Recht heute zum Stand der Technik in Neubau und Sanierung geworden (Komfort, Schallschutz, Energieeffizienz).

Der gewählte Ansatz berechnet das Schimmelrisiko in Prozent für zwei unterschiedliche Szenarien:

1. Anwesenheitsfall – mit möglichen Nutzer:inneneingriff (zumindest morgens und abends)
2. Abwesenheitsfall (z.B. Winterurlaub) – ohne Nutzer:inneneingriff

Hinweis 1: Die Berechnung dieser beiden Szenarien im Excel Tool erfolgt nur für Wohngebäude, da Bürogebäude, Schulen etc. meist so geringe interne Feuchtelasten haben, sodass eine Schimmelbildung auch bei einer schlechten Gebäudesubstanz nur sehr selten vorkommt und eine Überprüfung des Feuchteschutzes normalerweise nicht notwendig ist.

Hinweis 2: Bei Gebäuden, für die eine Komfortlüftung zum hygienischen Luftwechsel vorgesehen ist, kann der Nachweis zum Feuchteschutz ebenfalls zu Gänze entfallen, da auf Grund des hohen Luftwechsels eine Überschreitung kritischer Feuchtwerte nicht anzunehmen ist. Bei sonstigen mechanischen Lüftungssystemen (z.B. zeitgesteuerter Abluftventilator in Nassräumen mit definierter Nachströmöffnung) muss sichergestellt werden, dass der notwendige Luftaustausch zum Feuchteschutz durch die mechanische Lüftung gewährleistet ist.

Kann der notwendige Luftaustausch zum Feuchteschutz bei den Szenarien für die Wohnung bzw. das Gebäude nicht gewährleistet werden, ist eine geeignete Lüftungstechnische Maßnahme zu setzen. Der gewählte Ansatz in Österreich geht davon aus, dass der zusätzliche Luftaustausch zum Feuchteschutz nur durch bauphysikalisch unbedenkliche, definierte Öffnungen (Querlüftung, Schachtlüftung) oder ein mechanisches System (z.B. Minimalvariante: Abluftventilator im Bad mit Zeitsteuerung) erfolgt, welches die notwendige Luftmenge für den Feuchteschutz über definierte Nachströmöffnungen (für Lüftungszwecke qualifizierte Außenwandluftdurchlässe) gesichert austauscht.

Es wird daher im EDV-Tool ausgewiesen, welche Luftmenge in der Nutzungseinheit zusätzlich auszutauschen ist bzw. mit welchem Öffnungsquerschnitt dies über natürliche Antriebskräfte (Querlüftung) erreicht werden könnte.

Für einen Nachweis in einem baurechtlichen Verfahren, bei dem es um Neubauten bzw. umfassende Sanierungen geht, müssten nur die Rahmenbedingungen der Berechnung konkret festgelegt werden, z.B. 0,6- oder 1,0-facher Luftwechsel (n_{50} -Wert) beim Luftdichtigkeitstest. Mit diesem Ansatz wird die grundlegende sinnvolle bauphysikalische Forderung von dichten Gebäuden nicht konterkariert, d.h. bei einem Luftdichtigkeitstest mit den verschlossenen definierten Öffnungen zum Feuchteschutz sind daher immer möglichst niedrige Werte von Vorteil. Das EDV-Tool ist, um eine generelle Aussage zu

ermöglichen, derzeit jedoch so gestaltet, dass alle Gebäudequalitäten, d.h. auch undichtere Gebäude berechnet werden können.

Warum sind sehr dichte Gebäude als Basis für baurechtliche Aspekte gerechtfertigt?

Grundsätzlich sind dichte Gebäude sowohl aus bauphysikalischer Sicht (Schimmel im Bauteilinneren) als auch aus energetischen Gründen notwendig (definierter Luftaustausch unabhängig von Rahmenbedingungen bzw. möglichst mit Wärmerückgewinnung). Darüber hinaus kann hoher Luftschallschutz und thermischer Komfort (Zugfreiheit) nur mit luftdichter Bauweise erreicht werden. In den länderspezifischen Bauvorschriften bzw. in den OIB Richtlinien sollte daher ein 1,0-facher Luftwechsel als Grenzwert beim Luftdichtheitstest (n_{50} -Wert) für Neubauten und Sanierungen eingefordert werden.

Hinweis Neubau: Luftwechsel unter 1,0/h beim Luftdichtheitstest werden bei den heutigen Bauweisen, insbesondere im Mehrfamilienhaus (MFH) in Betonbauweise, meist deutlich unterschritten. Wenn der Nachweis zum Feuchteschutz mit einem weniger dichten Gebäude als 1,0 1/h geführt werden sollte, sollte dieser Wert mit einem Luftdichtheitstest entsprechend nachgewiesen werden. Dies soll jedoch vermieden werden, bzw. im Mehrfamilienhaus ist die konkrete Aussagekraft für eine einzelne Wohnung zudem meist nur bedingt gegeben, da die Aufteilung der Undichtigkeiten meist unbekannt ist.

Hinweis Sanierung: Verschiedene Sanierungsschritte bei Gebäuden wirken sich auf die Dichtheit aus (z.B. Fenstertausch) und wenn im Nachweisverfahren ein Luftwechsel über 1,0 1/h eingesetzt wird sollte dies ebenfalls mit einem entsprechenden Luftdichtheitstest nachgewiesen werden.

Szenario Anwesenheitsfall – Grundannahmen:

1. Normale Nutzung der Wohnung mit je einem Lüftungsvorgang am Morgen und am Abend
2. Normaler tagesmittlerer Feuchteanfall (Personen, Kochen, Pflanzen, Aquarien, ...)

Szenario Abwesenheitsfall – Grundannahmen:

1. Längere Abwesenheit der Nutzer:innen (z.B. Winterurlaub) ohne zusätzliche Fensterlüftung (kein Nutzer:inneneingriff)
2. Reduzierter Feuchteanfall (Pflanzen, Aquarien, ...)
3. Temperaturabsenkung in der Wohnung (abhängig von Gebäudequalität)

Die einzelnen Annahmen zu den Parametern (Feuchteeintrag, Temperaturen, ...) mit den hinterlegten Verteilungen sind im nächsten Kapitel dokumentiert.

Als Ergebnis ergibt sich ein Schimmelrisiko in Prozent. Aufgrund der Berechnungsmethode ergeben sich aufgrund von Extremfällen bei den Parametern nur wenige Fälle unter 1%. Ein Wert von 1% kann aber dennoch als unkritisch angesehen werden. Ein Schimmelrisiko über 5% wird als kritisch angesehen. Dies wird in der Ausgabe auch durch die Farbskala verdeutlicht.

Farbskala für Schimmelrisiko:

Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	17,0%
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	3,5%
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	0,9%

4.2. Luftqualität – grundsätzlicher Ansatz

Die Berechnungen für den Bereich Luftqualität werden raumweise durchgeführt. Neben den allgemeinen Undichtigkeiten werden die Undichtigkeiten der öffenbaren Fenster in diesem Raum gesondert berücksichtigt.

Im EDV-Tool sind folgende Räume hinterlegt:

1. Schlafzimmer
2. Kinderzimmer
3. Wohnzimmer
4. Klassen-/Gruppenraum
5. Lehrerzimmer
6. Direktion/Büro
7. Kleines Büro (Zellenbüro)
8. Großraumbüro
9. Besprechungsraum

CO₂ ist ein guter Indikator für anthropogene (durch Menschen verursachte) Emissionen und damit für den hygienischen Luftwechsel. Ausgehend von den Richtwerten des BMK (vormals BMLFUW) wird die Zeit berechnet, bis zu dem ein Nutzer:inneneingriff notwendig ist, um die geforderten CO₂-Werte einzuhalten.

Es wird die Zeit bis zum Nutzer:inneneingriff für zwei Ausgangssituationen berechnet:

- Idealer Ausgangszustand (450 ppm CO₂) – insbesondere relevant für nur kurzzeitig benutzte Räume (z.B. Besprechungsräume)
- Zustand nach einem typischen Lüftungsvorgang (Ausgangszustand wird gemäß Nutzer:inneneingaben zu Lüftungsart und -dauer berechnet, typischerweise ca. 700 ppm CO₂) – insbesondere relevant für dauergenutzte Räume

Der zumutbare Zeitraum für ein Nutzer:inneneingriff wurde folgendermaßen festgelegt:

- Schlafräume: 8 Stunden bzw. 480 Minuten
- Wohnräume, Büro: 2 Stunden bzw. 120 Minuten
- Besprechungsraum: 60 Minuten
- Klassenzimmer, Kindergarten: 45 Minuten

Unterschreitet der berechnete Zeitraum für den Nutzer:inneneingriff den zumutbaren Zeitraum, ist eine Lüftungstechnische Maßnahme (z.B. automatische Fensterlüftung, mechanische Lüftung) notwendig.

Die einzelnen Annahmen zu den Parametern (Fensterqualität, CO₂-Emissionen der Personen, etc.) mit den hinterlegten Verteilungen sind im nächsten Kapitel dokumentiert.

Für einen Nachweis in einem baurechtlichen Verfahren, bei dem es um Neubauten bzw. umfassende Sanierungen geht, müssten insbesondere die zumutbaren Zeiten für den Nutzer:inneneingriff verbindlich definiert werden. Dazu kann auf die in der Richtlinie des BMK zu CO₂ angegebenen Beurteilungszeiträume zurückgegriffen werden.

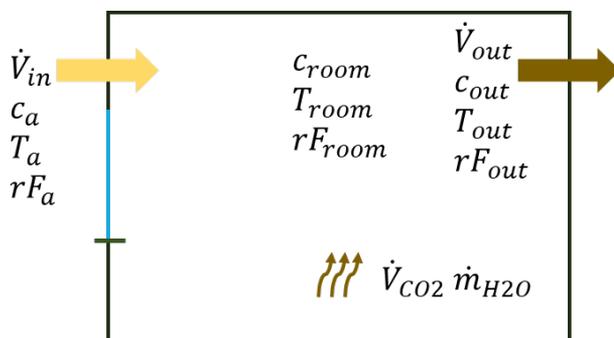
5 Mathematischer Ansatz und hinterlegte Verteilungen

5.1. Das Grundmodell – Massenbilanz

Bei dem Grundmodell für das eingesetzte Rechenverfahren handelt es sich um ein Massenbilanzverfahren über ein vorgegebenes Raumvolumen (einfaches 1-Zonenmodell mit perfekter Durchmischung).

Es wird die Massenbilanz (bzw. in guter Näherung, die Volumenstrombilanz) für die beiden Raumluftkomponenten Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O) angesetzt. Dabei dient CO₂ als Indikator für die Raumluftqualität und H₂O als maßgebliche Größe für die Bewertung des Schimmelrisikos. Es wird angenommen, dass die jeweils betrachtete Komponente, entweder von außen über natürliche Infiltration bzw. Fensterlüftung oder über eine im Raum bzw. im Gebäude befindliche Quelle eingebracht werden kann. Die Abfuhr ist über Exfiltration bzw. Fensterlüftung im Modell abgebildet. Im Expertenmodus kann ein zusätzlicher Volumenstrom z.B. von einer mechanischen Lüftung eingegeben werden. Es wird vereinfachend angenommen, dass die betrachtete Komponente in der jeweiligen Zone (ein Raum für die CO₂-Bewertung bzw. die gesamte Wohneinheit für die H₂O-Bewertung) ideal durchmischt ist. Annahme ist, dass es keine Konzentrationsunterschiede zwischen verschiedenen Positionen im Raum (für CO₂) bzw. in der Wohnung (für H₂O) gibt und es kann angenommen werden, dass die Konzentration in der abgeführten Raumluft der „raumrepräsentativen“ mittleren Konzentration entspricht. Für typische Räume bzw. Wohneinheiten wie sie hier in diesem Tool abgebildet werden, ist diese Annahme i.d.R. gerechtfertigt, siehe z.B. (Barp et al., 2009; Schnieders, 2003).

Abbildung 1: Grafische Veranschaulichung des Massenbilanzverfahrens



5.1.1. Rechnerische Ansatz zur Bewertung der Raumluftqualität

Kohlendioxid (CO₂) bzw. die Kohlendioxidkonzentration im Raum wird häufig als Indikator für Raumluftqualität bzw. als Indikator für den Lüftungsbedarf eingesetzt (A. K. Persily, 1997; A. Persily & Wargocki, 2016). CO₂ ist inert und reagiert nicht mit Oberflächen im Raum bzw. wird nahezu nicht ab-, ad- oder desorbiert. Daher kann die Differenz in der Massenbilanz zwischen Zu- und Abfuhr als

Zu- oder Abnahme der Konzentration abgebildet werden. Es ergibt sich somit folgende Differentialgleichung:

$$\dot{V}_{in}c_a + \dot{V}_{CO_2} - \dot{V}_{out}c_{out} = \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

Dabei ist \dot{V}_{in} und \dot{V}_{out} der ein- bzw. der austretende Luftvolumenstrom aufgrund von In-/Exfiltration (oder Fensterlüftung). Vernachlässigt man Dichteunterschiede aufgrund von Temperaturunterschieden, können diese gleichgesetzt werden und es ergibt sich $\dot{V}_{in} = \dot{V}_{out} = LWR * V$. Dabei ist LWR die Luftwechselrate in $[1/h]$ und V das Raumvolumen in $[m^3]$. \dot{V}_{CO_2} ist die Emissionsrate von CO₂ durch die Nutzer in $[m^3/h]$, c_a , c_{out} und c sind die jeweiligen CO₂-Konzentrationen in Volumenanteilen [-]. Im Modell wird davon ausgegangen, dass das CO₂ nur von anwesenden Personen durch Atmung emittiert wird. Die Emissionsrate hängt vom Aktivitätsgrad und dem Alter der Personen ab. Die Außenluftkonzentration c_a wird mit 450 ppm angenommen.

Die obige Differentialgleichung kann einfach gelöst werden, um den Konzentrationsverlauf als Funktion der Zeit t wie folgt zu bestimmen:

$$c(t) = (c_0 - c_\infty)e^{-LWR \cdot t} + c_\infty \quad (2)$$

Hierbei ist c_0 die Anfangskonzentration und c_∞ die sich im stationären Fall einstellende Ausgleichskonzentration, diese kann wie folgt bestimmt werden:

$$c_\infty = c_a + \frac{\dot{V}_{CO_2}}{LWR \cdot V} \quad (3)$$

Um zu bewerten, ob eine ausreichend gute Raumlufthqualität mit Hilfe regelmäßiger Fensterlüftungsvorgängen gewährleistet werden kann, muss vor allem der Konzentrationsverlauf bei geschlossenen Fenstern bestimmt werden. Es geht um die Frage, wie lange es dauert, bis ein gewisser CO₂-Grenzwert c_{GW} überschritten wird. Hier wird LWR ausschließlich durch natürliche In- / Exfiltration bestimmt. Ausgehend von einer Anfangskonzentration c_0 kann der Zeitraum, bis zu dem der Grenzwert c_{GW} erreicht bzw. überschritten wird, wie folgt bestimmt werden:

$$t_{GW} = \frac{\ln \frac{c_0 - c_\infty}{c_{GW} - c_\infty}}{LWR} \quad (4)$$

Da in der Regel nicht davon ausgegangen werden kann, dass durch einen von Gebäudenutzern durchgeführten Fensterlüftungsvorgang (nach dem Erreichen des Grenzwertes) wieder die Außenluftkonzentration hergestellt wird, muss die Anfangskonzentration bestimmt werden, die sich nach einem typischen Lüftungsvorgang einstellt. Gibt man die Luftwechselrate während des Lüftungsvorgangs LWR_L und Dauer des Lüftungsvorgangs t_L vor, so kann der Konzentrationsverlauf während des Lüftungsvorgangs und somit die gesuchte Anfangskonzentration c_0 wie folgt bestimmt werden:

$$c_0 = c(t) = (c_{GW} - c_{\infty L})e^{-LWR_L \cdot t_L} + c_{\infty L} \quad (5)$$

Die stationäre Konzentration für den Lüftungsvorgang $c_{\infty L}$ kann analog der obigen Berechnung wie folgt berechnet werden:

$$c_{\infty L} = c_a + \frac{\dot{V}_{CO_2}}{LWR_L \cdot V} \quad (6)$$

Die Bewertung der CO₂-Konzentration in Innenräumen ist in Österreich über eine Richtlinie, herausgegeben vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), geregelt, siehe BMLFUW (2017). Darin ist kein Grenzwert für den Momentanwert der CO₂-Konzentration vorgegeben, sondern es werden unterschiedliche Richtwerte für verschiedene Raumluftqualitätsklassen gelistet (siehe Tabelle 1). Diese beziehen sich auf den arithmetischen Mittelwert der Momentanwerte über einen relevanten Beurteilungszeitraum. Je nach Anwendungsfall bzw. Raumart ändert sich dieser Zeitraum, siehe Kapitel 4.2.

Gemäß dieser Richtlinie sind Klasse 2 (≤ 1000 ppm) oder Klasse 3 (≤ 1400 ppm), je nach Raumart, für die Bewertung im Rahmen dieser Arbeit relevant. Da die Richtlinie den arithmetischen Mittelwert über den jeweiligen Betrachtungszeitraum, d.h. gleitender Mittelwert ab Startzeitpunkt, heranzieht, muss Formel (4) entsprechend angepasst werden.

Der Verlauf des Konzentrationsmittelwertes $\bar{c}(t)$ ergibt sich aus:

$$\bar{c}(t) = \frac{1}{t} \int_0^t c(t) dt = \frac{c_{0,RW} - c_{\infty}}{LWR \cdot t} (1 - e^{-LWR \cdot t}) + c_{\infty} \quad (7)$$

Diese Formel lässt sich analytisch nicht mehr nach t auflösen, darum wird im hier präsentierten Rechenverfahren der Zeitraum bis zum Erreichen des Richtwerts t_{RW} numerisch berechnet. Dazu wird der Konzentrationsverlauf nach Formel (7) für 192 Zeitschritte (gleichmäßig verteilt) von $t = 0$ bis $t = 2 \cdot t_{BZR}$ berechnet und jener Zeitschritt identifiziert, wo $\bar{c}(t) \geq \bar{c}_{RW}$. Die Variable t_{BZR} steht dabei für den Betrachtungszeitraum, und \bar{c}_{RW} steht für den jeweilig zutreffenden Richtwert (mit Bezug auf den Mittelwert). Um t_{RW} ermitteln zu können, muss auch wieder ein Anfangswert $c_{0,RW}$ vorgegeben werden, dieser stellt sich ein, nachdem über Fenster gelüftet wurde (nach Erreichen des Richtwertes). Dieser lässt sich folgendermaßen anschreiben:

$$c_{0,RW} = (c_{t_{RW}} - c_{\infty L}) e^{-LWR_L \cdot t_L} + c_{\infty L} \quad (8)$$

Dabei steht $c_{t_{RW}}$ für die Momentanwert-Konzentration zu dem Zeitpunkt, in dem der Richtwert erreicht wird und kann wie folgt berechnet werden:

$$c_{t_{RW}} = c(t_{RW}) = (c_{0,RW} - c_{\infty}) e^{-LWR \cdot t_{RW}} + c_{\infty} \quad (9)$$

Wie man erkennen kann, können Formel (8) und (9) nur iterativ gelöst werden. Dies wäre prinzipiell in Excel möglich, verlangsamt aber die Gesamtberechnung stark, da das Iterationsverfahren aufgrund des Monte-Carlo-Ansatzes (siehe unten) sehr häufig angewendet werden müsste.

Deshalb wurde alternativ eine Näherungsmethode entwickelt, bei der die momentane Konzentration vor dem Lüftungsvorgang $c_{t_{RW}}$ folgendermaßen abgeschätzt wird.

$$c_{t_{RW}} = \begin{cases} \hat{c}(t_{BZR}), & \hat{c}(t_{BZR}) < 1.125 \cdot RW \\ \min(RW + 0.125 \cdot \hat{c}(t_{BZR}); 1.25 \cdot RW), & \hat{c}(t_{BZR}) \geq 1.125 \cdot RW \end{cases} \quad (10)$$

Die Variable $\hat{c}(t_{BZR})$ steht darin für den Medianwert (aus der 1000-fachen Monte-Carlo-Simulation) der Momentwert-Konzentration nach dem Betrachtungszeitraum t_{BZR} . Diese Näherungsformel

beruht auf der Beobachtung, dass der Momentanwert der CO₂-Konzentration i.d.R. ca. 1250 ppm beträgt, wenn der gleitende Mittelwert den Richtwert von 1000 ppm erreicht. Um die Beobachtung zu verallgemeinern, z.B. für Richtwert von 1400 ppm bzw. für Fälle mit „guter“ Belüftung wo die CO₂-Konzentration im Betrachtungszeitraum unterm Richtwert bleibt oder diesen kaum überschreitet, wurde Formel (10) verwendet. Versuche mit variierenden Parametern, wie z.B. Luftwechselraten und Emissionsraten zeigen, dass diese Näherungsformel für $c_{t_{RW}}$ der korrekten (iterativen) Berechnung recht nahe kommt, i.d.R. gibt es Abweichungen von <20 ppm, in seltenen Fällen bis zu 50 ppm. Da der Einfluss von $c_{t_{RW}}$ auf das Ergebnis t_{GW} (Zeitraum, bis Lüften erforderlich) sehr klein ist, wurden diese Abweichungen als vertretbar akzeptiert und im Sinne eines schnelleren Rechentools umgesetzt.

In der Expertenansicht ist auch das Ergebnis t_{GW} abrufbar, welches sich ergibt, wenn ein idealer Lüftungsvorgang nach Erreichen des Richtwerts angenommen wird, sodass die Anfangskonzentration immer der Außenluftkonzentration entspricht, d.h. wenn $c_0 = c_{0,RW} = c_a = 450 \text{ ppm}$.

5.1.2. Rechnerische Ansatz zur Bewertung des Schimmelrisikos

Um das Schimmelrisiko bewerten zu können, muss die Raumluftfeuchte bestimmt werden. Da die Wasserdampfkonzentration in der Raumluft nicht nur von Ein- und Austrag durch Lüftungsvorgänge und von inneren Quellen abhängt, sondern auch maßgeblich durch die Pufferwirkung von Baumaterialien, Einrichtungs- und Gebrauchsgegenständen beeinflusst wird, wurde von einer zeitabhängigen Berechnung (Verlaufsberechnung) abgesehen. Stattdessen wird eine einfache Massenbilanz über eine gesamte Wohneinheit als Tagesmittelwert erstellt. Die Bildung von Tagesmittelwerten eliminiert den Einfluss der Feuchtepufferung weitgehend, vor allem dann, wenn man bei der Definition von Quellstärken nicht Spitzentage, sondern „jahresrepräsentative“ Tage abbildet.

Die Dampfdichte der Außenluft (aufgewärmt auf die Temperatur T_i) wird für eine vorgegebene Außenlufttemperatur T_a und Außenluftfeuchte φ_a wie folgt berechnet:

$$\rho_{a(T_i)} = \frac{\varphi_a \cdot E(T_a)}{461.5 \cdot (T_i + 273.15)} \quad (11)$$

wobei der Sättigungsdampfdruck $E[Pa]$ bei Temperatur $T[^\circ C]$ gemäß der Formel von Magnus berechnet wird:

$$E(T) = 611.2 \cdot e^{\frac{17.62 \cdot T}{243.12 + T}} \quad (12)$$

Die Dampfdichte der Innenluft wird dann wie folgt berechnet:

$$\rho_{i(T_i)} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{V}} + \rho_{a(T_i)} \quad (13)$$

Hier ist \dot{m}_{H_2O} die Wasserdampfquellstärke und \dot{V} der mittlere Luftvolumenstrom für die gesamte Wohneinheit. Um die Dampfdichte, welche die Einheiten Masse pro Volumeneinheit besitzt, z.B. $[g/m^3]$, auf das temperaturabhängige Volumen bei einer anderen Temperatur umzurechnen, wird ein linearer Ansatz (aus der idealen Gasgleichung) herangezogen, so ergibt sich z.B. die Dampfdichte der Innenluft, umgerechnet auf einen Raum mit niedrigerer Temperatur $T_{i,min}$ wie folgt:

$$\rho_{i(T_{i,min})} = \left(\frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{V}} + \rho_{a(T_i)} \right) \cdot \frac{T_i + 273.15}{T_{i,min} + 273.15} \quad (14)$$

Daraus kann der sogenannte a_w -Wert bestimmt werden, das ist die relative Feuchte, wie sie sich ergibt, wenn die Innenraumluft auf die Temperatur der kalten Wandoberfläche abgekühlt wird. Das Risiko für Schimmelwachstum ist bei a_w -Werten ≥ 0.8 hoch, vorausgesetzt dieser Zustand ist über einen längeren Zeitraum einige Tage) gegeben. Da hier mit tagesmittleren Werten gerechnet wird, wird davon ausgegangen, dass es bei einem Wert ≥ 0.8 zu Schimmelwachstum kommt.

Der a_w -Wert wird hier folgendermaßen berechnet:

$$a_w = \frac{\rho_{i(T_{i,min})} \cdot 461.5 \cdot (T_{i,min} + 273.15)}{E(T_{si})} \quad (15)$$

Es wird somit die Dampfdichte (bezogen auf die Temperatur jenes Raumes der Wohneinheit mit der geringsten Raumtemperatur $T_{i,min}$) herangezogen, um die sich daraus ergebende relative Feuchte bei einer Oberflächentemperatur von T_{si} mit Hilfe der idealen Gasgleichung zu bestimmen.

Die Oberflächentemperatur an einem ungünstigen Punkt jenes Raums, wie z.B. bei einer Wärmebrücke, kann mit Hilfe des sogenannten f_{Rsi} Faktors wie folgt abgeschätzt werden:

$$T_{si} = f_{Rsi} \cdot (T_{i,min} - \widehat{T}_a) + \widehat{T}_a \quad (16)$$

Je nach Gebäudealtersklasse bzw. je nach thermischem Standard können Annahmen für den f_{Rsi} Wert getroffen werden, z.B. Altbau: $f_{Rsi} = 0,5$, Neubau: $f_{Rsi} = 0,7$ und Passivhaus: $f_{Rsi} = 0,9$. Da sich die zeitliche Variation der Außenlufttemperatur T_a nur stark gedämpft auf die innere Oberflächentemperatur T_{si} auswirkt (aufgrund der Wärmekapazität des Wandaufbaus), wird in Formel (16) der 24h-gleitende Mittelwert der Außenlufttemperatur herangezogen. Dies hat sich als gute Annahme für typische Massivbauteile gezeigt (Rojas et al., 2015).

5.1.3. Bestimmung der natürlichen In-/Exfiltration

Sowohl der rechnerische Ansatz zur Bewertung der Raumluftqualität (5.1.1) als auch jener zur Bewertung des Schimmelrisikos (5.1.2) benötigen eine Eingabe bezüglich der Luftwechselrate durch In- und Exfiltration. Die zeitlich sehr variable natürliche In- und Exfiltration hängt von der Gebäudedichtheit ab und wird durch Windeinfluss und Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen (Kamineffekt) getrieben. Aus der Literatur sind verschiedene Ansätze zur Bestimmung der natürlichen In-/Exfiltration bekannt, siehe z.B. Liddament (1996). Diese können grob in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Kategorie 1: „Daumenregeln“ evtl. ergänzt um tabellenbasierten Korrekturfaktoren (z.B. DIN 1946-6)
- Kategorie 2: Vereinfachte theoretische Modelle (z.B. LBL Modell)
- Kategorie 3: Detailliertes physikalisches Mehrzonenmodell / Simulation (z.B. CONTAM)

Die Aufgabenstellung für das hier dokumentierte Projekt schließt die Verwendung einer Simulationssoftware mit einem detaillierten physikalisches Modell nach Kategorie 3 aus. Der Eingabeaufwand wäre zu umfangreich und die Bedienung bliebe letztlich nur Experten vorenthalten.

Es musste somit zwischen den beiden ersten Kategorien gewählt werden. Während die Ansätze der ersten Kategorie den Vorteil der Einfachheit haben, haben sie den Nachteil, dass sie Einflüsse von Wind und Wetter nicht direkt berücksichtigen können. Das heißt, die großen Variationen der natürlichen In-/Exfiltration, wie sie in der Realität auftreten können und wie sie für die Bewertung von Raumluftqualität und Schimmelrisiko entscheidend sind, blieben unberücksichtigt. So kann es z.B. viele windstille Stunden oder Tage mit nur geringen Temperaturunterschieden zwischen Innen und Außen geben. Die Folge ist eine stark reduzierte In-/Exfiltration während dieser Zeit. Vereinfachte Modelle der Kategorie 1 bilden hingegen das Jahresmittel ab (da es für energetische Betrachtungen völlig ausreichend sein kann). Die jahresmittlere In-/Exfiltration könnte in diesem Beispiel für die Bewertung als ausreichend angesehen werden und die unterbelüftete Zeit bliebe in dieser Rechnung prinzipbedingt unbemerkt.

Daher wurde das in der Praxis bekannteste Modell der Kategorie 2 gewählt. Dieses wurde von Max Sherman im Rahmen seiner Tätigkeit und Dissertation am Lawrence Berkeley National Laboratory entwickelt und veröffentlicht (Sherman, 1980). Zahlreiche Studien haben dieses Modell validiert bzw. für deren Untersuchungen genutzt, z.B. (Berge, 2011; Binamu & Lindberg, 2002; Hayati et al., 2014).

Im LBL-Modell wird der in/-exfiltrierte Luftvolumenstrom wie folgt berechnet:

$$\dot{V}_{inf} = A_0 \sqrt{f_s^2 \cdot \Delta T + f_w^2 \cdot v^2} \quad (17)$$

Darin ist A_0 die effektive Undichtheitsfläche, ein Maß für die Undichtheiten im Gebäude. Diese kann aus einer Gebäudedichtheitsmessung, sprich dem n_{50} -Wert, abgeleitet werden. Der Temperaturunterschied ΔT zwischen Innen- und Außenluft und die meteorologische Windgeschwindigkeit v wird jeweils mit einem Kamineffektfaktor und einem Windfaktor multipliziert und „quadratisch“ addiert.

Die effektive Undichtheitsfläche (effective leakage area) basiert auf einen Referenzdruck zwischen innen und außen von 4 Pascal und auf der Annahme, dass sich die Undichtheiten mit dem „Orifice opening“ Ansatz mathematisch beschreiben lassen. Es ergibt sich folgende Berechnungsformel für A_0 in $[m^2]$:

$$A_0 = \frac{n_{50} \cdot V \left(\frac{4}{50}\right)^{0.66}}{\sqrt{2 \frac{4}{\rho}}} \quad (18)$$

Der n_{50} Wert muss in dieser Formel in $[1/s]$ umgewandelt werden, wenn V in $[m^3]$ eingegeben wird. Die Luftdichte ρ hat dabei die Einheit $[kg/m^3]$. Weitere Details zu dem LBL Infiltrationsmodell und zu den Parametern f_s und f_w findet man in allgemeiner zusammenfassender Literatur, z.B. Liddament (1996) oder in der Originalliteratur (Sherman, 1980).

5.2. Stochastischer Ansatz mit Monte-Carlo-Verfahren

Die oben beschriebenen Rechenansätze benötigen zum einen eine Reihe an Eingabeparameter in Bezug auf Gebäudeart, Geometrie, Dichtheit, Windschutzlage, usw. zum anderen, Angaben über die Gebäudenutzer und den daraus resultierenden Quellstärken (CO_2 und H_2O). Des Weiteren gehen die sehr variablen Außenbedingungen (Temperatur, Feuchte und Windstärke) in die Berechnungen ein. Es stellt sich die Frage, wie man mit der Unsicherheit bzw. Variabilität dieser Parameter umgehen soll. Zum einen sind manche Parameter nicht genau bekannt und müssen mit einer gewissen Unsicherheit abgeschätzt werden, zum anderen variieren manche Parameter zeitlich stark. Auf Nutzerangaben und den daraus resultierenden Quellstärken, z.B. Feuchteeintrag, trifft beides zu. Auf gebäudebezogene Parameter trifft ersteres zu.

Den meisten Eingabeparametern kann also eine Unsicherheit, Variabilität, Streubreite bzw. ein Wertebereich anstatt eines einzelnen Wertes zugeordnet werden. Würde man einen klassischen deterministischen Berechnungsansatz wählen, müsste man einen einzelnen repräsentativen Wert für die Berechnung auswählen. In der Regel wird hierfür der Mittelwert oder Medianwert herangezogen. Der große Nachteil daran ist aber, dass die Informationen über die Streubreite der Eingabeparameter und deren Einfluss auf die Streubreite des Ergebnisses verloren gehen. Gerade für die Bewertung der Raumluft und des Schimmelrisikos ist dieser Informationsverlust aber problematisch, denn auf Grundlage (Langzeit)mittlerer Zustände könnten ausreichend gute Raumluftqualität und Schimmelfreiheit prognostiziert werden, obwohl dies für einen erheblichen Anteil der Zeit nicht zutrifft.

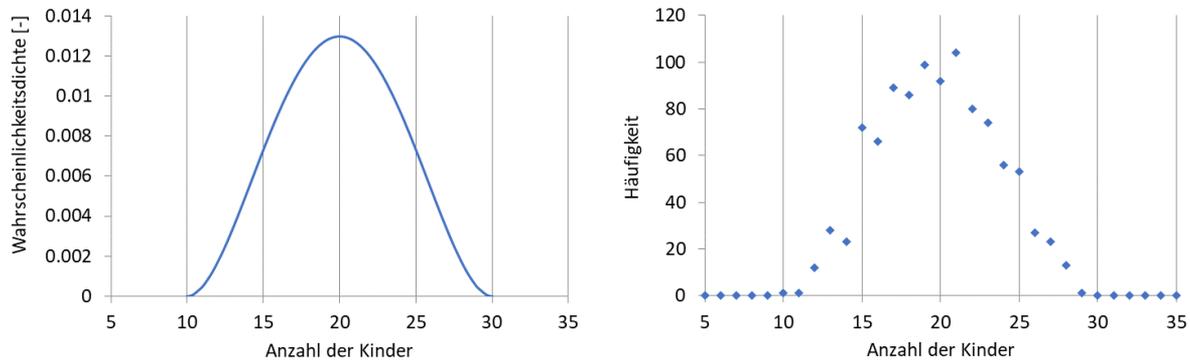
Alternativ zur Nutzung von Mittelwerten als repräsentativen Wert, könnte mit einer unteren oder oberen Grenze des Parameter-Wertebereichs (z.B. 25. und 75. Perzentil) gerechnet werden, um ein „Worst-Case“-Szenario abzubilden. Das Problem hier ist, dass dies in der Regel zu einer zu pessimistischen und damit unrealistischen Bewertung führt, da es in Realität sehr unwahrscheinlich wäre, dass alle Parameter gleichzeitig den „Worst-Case“ Wert annehmen würden.

Die Bewertungsmethodik sollte daher nicht nur den „Worst-Case“, sondern auch die „mittleren“ und „Best-Case“-Zustände und alles „dazwischen“ identifizieren und quantifizieren können, um Aussagen über Annehmbarkeit bzw. Zumutbarkeit über die Häufigkeit und „Schweregrad“ der „Worst-Case“-Zustände machen zu können. Dazu müssen alle Eingabeparameter innerhalb ihres Wertebereiches variiert werden und alle möglichen Parameterwert-Kombinationen durchgerechnet werden. Dies führt schnell zu einer nicht handhabbaren Vielzahl an Kombinationen.

Abhilfe bietet hier der sogenannte Monte-Carlo (MC) Ansatz (*Monte-Carlo Simulation*, 2021; Rubinstein & Kroese, 2017). Anstatt den gesamten Parameterraum (jede mögliche Kombination) zu berechnen, wird bei diesem Ansatz nur eine zufällige Stichprobe aus dem gesamten Pool aus Wert-Kombinationen gerechnet. In dem hier vorgestellten Rechentool werden jeweils 1000 Fälle berechnet. Für jeden dieser 1000 Fälle wird der Wert jedes Parameters entsprechend einer hinterlegten Verteilungsfunktion zufällig gewählt. Diese Verteilungsfunktion beschreibt den Wertebereich des Parameters und die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert eintritt. Wenn z.B. davon ausgegangen werden kann, dass in einem Klassenraum minimal 10 und maximal 30 Schüler sitzen und dass es am wahrscheinlichsten ist, dass sich 20 Schüler darin befinden werden, dann wird Wert dieses Parameters „Anzahl der Kinder im Klassenraum“ bei den 1000 durchgeführten

Berechnungen entsprechend der zugehörigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) zufällig gewählt (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Links: Exemplarische Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für den Parameter „Anzahl der Kinder“. Rechts: Häufigkeitsverteilung für eine zufällige Stichprobe von 1000 für den gleichen Parameter.



Entsprechend diesem Beispiel wird auch für die anderen Eingabeparameter, welche evtl. nicht auf einen Wert reduziert werden können, vorgegangen. Dafür wurden für jeden dieser Parameter eine oder mehrere WDF hinterlegt. Z.B. hängt die Wahl der zu verwendenden WDF von der gewählten Raumart ab. Bei vielen Parametern muss die WDF je nach Gebäudeart (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude, ...) oder Gebäudestandard (Altbau, Standard-Neubau, Niedrigenergiehaus, ...) gewählt werden. Details zu angenommenen und im Rechentool hinterlegten WDF sind im folgenden Kapitel 5.3 dokumentiert.

Es sei angemerkt, dass diese Vorgangsweise eine statistische Unabhängigkeit der verschiedenen Parameter bedingt, d.h. dass z.B. die Anzahl der Kinder im Klassenraum nicht von dem Parameter „(Klassen-)Raumgröße“ abhängt. In Realität kann es zwischen der einen oder anderen Parameterkombination Abhängigkeiten geben, diese wurden aber als gering eingeschätzt und durch Einschränkung des Wertebereichs weiter „entschärft“. Z.B. werden in Realität in seltenen Fällen auch Klassenbelegungen mit nur 5 Schülern oder 40 Schülern vorkommen, es ist aber davon auszugehen, dass hier ein entsprechend kleineres bzw. größeres Klassenzimmer gewählt werden wird. So wurde der Wertebereich für die Anzahl der Schüler auf 15 bis 25 Schüler eingeschränkt.

Für die Parameter Temperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit kann jedoch nicht von statistischer Unabhängigkeit ausgegangen werden. Daher wurde hier nicht mit vorgegebener WDF gearbeitet, sondern mit Wetterdatensätzen. Diese beinhalten für die hinterlegten Standorte stündliche Werte für Lufttemperatur, relative Feuchte und Windgeschwindigkeit für repräsentative Jahre. Die Wetterdatensätze wurden mit der Software *Meteonorm* (*Meteonorm*, n.d.) generiert und in einem Kennwort-geschützten Arbeitsblatt hinterlegt. Mit Hilfe eines Zufallszahl wird eine beliebige Stunde zwischen 1. Jänner und 28. Februar gewählt. Es wurden nur Kernwintermonate gewählt, um die Bewertung auf kritische Perioden, innerhalb derer es zu nicht ausreichender Fensterlüftung durch die Nutzer kommen kann, zu fokussieren.

5.3. Hinterlegte Parameter und deren Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF)

Die für die Berechnungen erforderlichen Parameter und die Abhängigkeiten bei der Wahl der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) sind in Tabelle 3 dargestellt. Insgesamt sind 149 WDF hinterlegt.

Tabelle 3: Liste der für die Berechnung erforderlichen Parameter und Anzahl der hinterlegten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) sowie wovon die Wahl der WDF abhängt.

Erforderliche Parameter	Anzahl WDF
<i>Eingaben zu Gebäude- und Raum</i>	
Standort	-
Gebäudeart	-
Luftdichtigkeit n_{50} -Wert (Gebäude) [1/h]	5 (Gebäudestandard)
Raumart (betrachteter Raum)	-
Fläche (betrachteter Raum) [m ²]	9 (Raumart)
Höhe (betrachteter Raum) [m]	9 (Raumart)
Fläche offene Fenster (betrachteter Raum) [m ²]	9 (Raumart)
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum)	5 (Gebäudestandard)
Lüftungsmöglichkeit / Luftwechselrate (betrachteter Raum)	2 (Gebäudeart)*
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]	2 (Gebäudeart)
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss)	15 (Standort)
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss)	15 (Standort)
<i>Eingaben zur Personenbelegung</i>	
Anzahl Erwachsene	9 (Raumart)
Aktivität Erwachsene [met]	9 (Raumart)
Anzahl Kinder	9 (Raumart)
Aktivität Kinder [met]	9 (Raumart)
Mittleres Alter der Kinder [a]	9 (Raumart)
<i>Eingaben für Schimmelrisiko Bewertung (nur Wohnbau)</i>	
Wärmebrücken / f_{RSI} -Wert	5 (Gebäudestandard)
Feuchtelast [l/d]	-
Feuchtequellstärke pro m ² bei Anwesenheit [g/(hm ²)]	1 (abh. von gew. Feuchtelast)
Feuchtequellstärke pro Pers bei Anwesenheit [g/(hPers)]	1 (abh. von gew. Feuchtelast)
Feuchtequellstärke pro m ² bei Abwesenheit [g/(hm ²)]	1 (abh. von gew. Feuchtelast)
Fläche gesamte Wohneinheit [m ²]	4 (Gebäudeart)
Personenanzahl (gesamter Wohneinheit)	4 (Gebäudeart)
Lüftungsmöglichkeit / Luftwechselrate (gesamte Wohneinheit)	2 (Gebäudeart)*
Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]	2 (Gebäudeart)
Mittlere Raumtemperatur in der gesamten Wohneinheit [°C]	5 (Gebäudestandard)
Raumtemperatur im kühlfsten Raum [°C]	5 (Gebäudestandard)
Minimale Raumtemperatur bei längerer Abwesenheit [°C]	5 (Gebäudestandard)

* hier sind dieselben zwei WDF hinterlegt: für Querlüftung und einseitige Lüftung

Die hinterlegten WDF basieren alle auf einer sogenannten Beta-Verteilfunktion, diese ist eine Familie stetiger Wahrscheinlichkeitsverteilungen über dem Intervall (0, 1) parametrisiert durch zwei Parameter, die häufig als α und β bezeichnet werden (*Beta-Verteilung*, n.d.). In den folgenden Kapiteln wird auf die jeweils hinterlegten WDF näher eingegangen.

Alternativ zu den hinterlegten Wertebereichen (über WDF definiert) kann ein Einzelwert für die Berechnung vorgegeben werden. In diesem Fall werden alle 1000 Fälle mit dem vorgegebenen Wert gerechnet. Die anderen Parameter sind davon nicht betroffen.

5.3.1. Gebäudedichtheit / n_{50} -Wert

In Abbildung 3 sind exemplarisch zwei der für die Gebäudedichtheit hinterlegten WDF dargestellt. Je nach Wahl eines der folgenden Gebäudestandards wird eine WDF gemäß Tabelle 4 gewählt.

- Undichter Altbau
- Altbau
- Standard Neubau
- Neubau – eher dicht
- Neubau – sehr dicht

Alternativ kann auch ein fixer Wert vorgegeben werden. Achtung: Jene Parameter, deren Wahl der WDF vom Gebäudestandard abhängig sind (siehe Tabelle 3), müssen dann ebenfalls durch Eingabe eines fixen Wertes definiert werden.

Abbildung 3: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion exemplarisch für undichten Altbau (links) und Neubau / NEH (sehr dicht) (rechts).

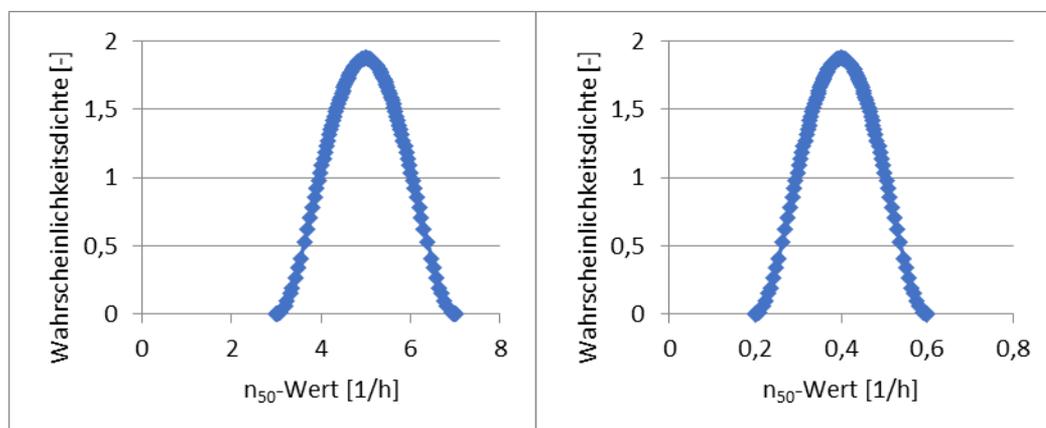


Tabelle 4: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für n_{50} Wert [1/h]

WDF Kennzahlen	Undichter Altbau	Standard Altbau	Standard Neubau	NEH (dicht)	NEH (sehr dicht)
Min [1/h]	3	3	1	0.6	0.2
Max [1/h]	7	4	2	1	0.6
Häufigster Wert [1/h]	5	3.5	1.5	0.8	0.4
Mittelwert [1/h]	5	3.5	1.5	0.8	0.4
alfa	3	3	3	3	3
beta	3	3	3	3	3

5.3.2. Raumfläche, Raumhöhe, Fläche öffentlicher Fenster und Fensterklasse

In Abbildung 4 sind exemplarisch zwei der für die Raumfläche hinterlegten WDF dargestellt. Je nach Wahl der Raumart wird eine WDF für Raumfläche, Raumhöhe und Fläche der öffentlicher Fenster gemäß Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7 gewählt.

Abbildung 4: WDF für Raumfläche exemplarisch für Schlafzimmer (links) und Klassen-/ Gruppenraum (rechts).

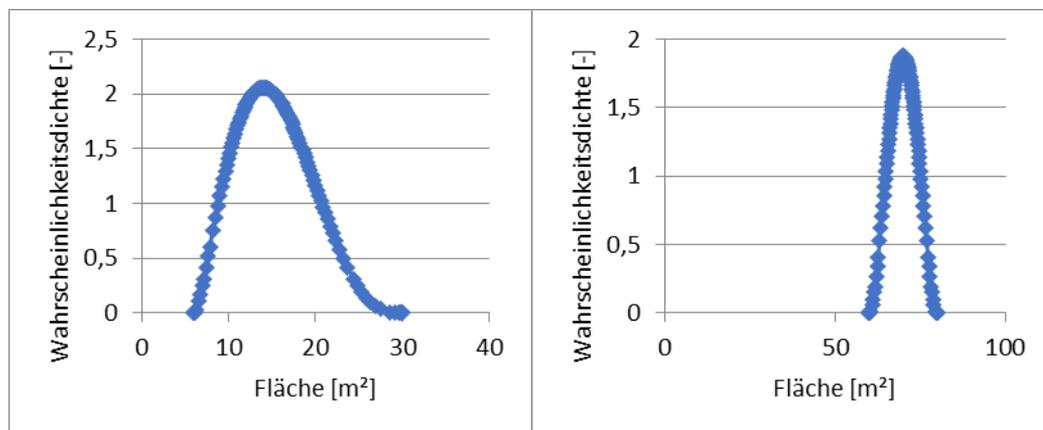


Tabelle 5: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Raumfläche [m²]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen- /Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [m ²]	6	6	12	60	20	20	10	50	20
Max [m ²]	30	30	60	80	80	30	30	150	60
Häufigster Wert [m ²]	14	10	25	70	50	25	15	100	40
Mittelwert [m ²]	15	11	28	70	50	25	16	100	40
alpha	2.5	2	2	3	3	3	2	3	3
beta	4	6	3.6	3	3	3	4	3	3

Tabelle 6: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Raumhöhe [m]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen- /Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [m]	2.4	2.4	2.4	3	3	3	2.4	2.4	2.4
Max [m]	2.6	2.6	2.6	3.5	3.5	3.5	3	3	3
Häufigster Wert [m]	2.5	2.5	2.5	3.3	3.3	3.3	2.5	2.5	2.5
Mittelwert [m]	2.5	2.5	2.5	3.3	3.3	3.3	2.5	2.5	2.5
alpha	3	3	3	3	3	3	2	2	2
beta	3	3	3	3	3	3	6	6	6

Tabelle 7: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterflächenanteil [m²-Fenster/m²-Raumfläche]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen- /Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [-]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Max [-]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Häufigster Wert [-]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Mittelwert [-]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
alpha	3	3	3	3	3	3	3	3	3
beta	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Die beiden Parameter „Fläche öffentlicher Fenster“ und „Fensterklasse“ werden dazu benutzt, um von Luftdichtheit des Gebäudes (n50 Wert) auf die Dichtheit des betrachteten Raums zu schließen, bzw. genauer gesagt, um dessen Wertebereich abzuschätzen.

Je nach gewählten Gebäudestandard wird die Fensterdichtheitsklasse nach EN12207 mit Hilfe der WDF aus Tabelle 8 gewählt. In Abbildung 5 sind exemplarisch zwei WDF dargestellt. Für ältere Gebäude wurde davon ausgegangen, dass ein Unwissen darüber herrscht, ob die Fenster schon mal getauscht wurden oder nicht, so werden für den Altbau alle vier Fensterklassen gleichverteilt zugelassen. Für neue sehr dichte Gebäude kann davon ausgegangen werden, dass auch ein sehr dichtes Fenster verbaut wurde.

Abbildung 5: WDF für Fensterklasse nach EN12207 exemplarisch für undichten Altbau (links) und Neubau / NEH (sehr dicht) (rechts). X-Achse: Klasse [-], Y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte

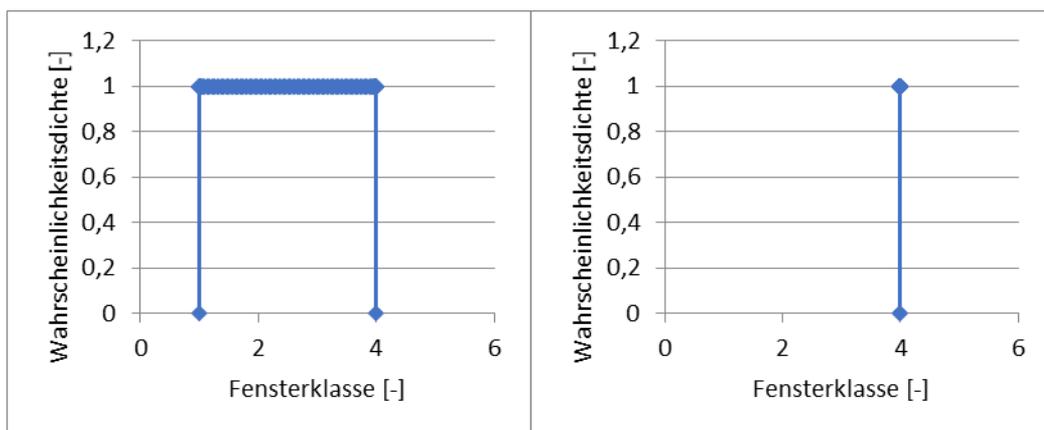


Tabelle 8: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterklasse [-]

WDF Kennzahlen	Undichter Altbau	Standard Altbau	Standard Neubau	NEH (dicht)	NEH (sehr dicht)
Min	1	2	3	4	4
Max	4	4	4	4	4
Häufigster Wert	-	-	-	-	-
Mittelwert	2.5	3.0	3.5	4.0	4.0
alpha	1	1	1	1	1
beta	1	1	1	1	1

5.3.3. Luftwechselrate bei Fensterlüftung, Lüftungsdauer (CO₂-Bewertung)

Die hinterlegten Annahmen bezüglich Fensterlüftung für die CO₂-Bewertung sind wie folgt:

- Bungalow, EFH und MFH: Querlüftung
- Apartmentblock, Schule/Kindergarten und Büro: einseitige Lüftung

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die WDF für die angenommenen Luftwechselraten und Lüftungsdauern für Querlüftung und einseitiger Lüftung. Tabelle 9 listet die zugehörigen Kennzahlen auf.

Abbildung 6: WDF für Luftwechselrate (LWR) bei Fensterlüftung für Querlüftung (links) und einseitige Lüftung (rechts).

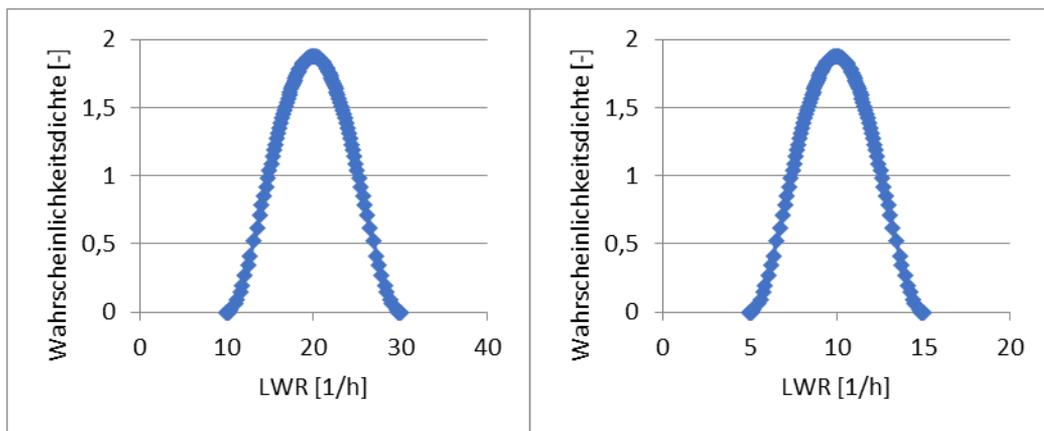


Abbildung 7: WDF für Lüftungsdauer (für CO₂-Bewertung) bei Querlüftung (links) und einseitiger Lüftung (rechts).

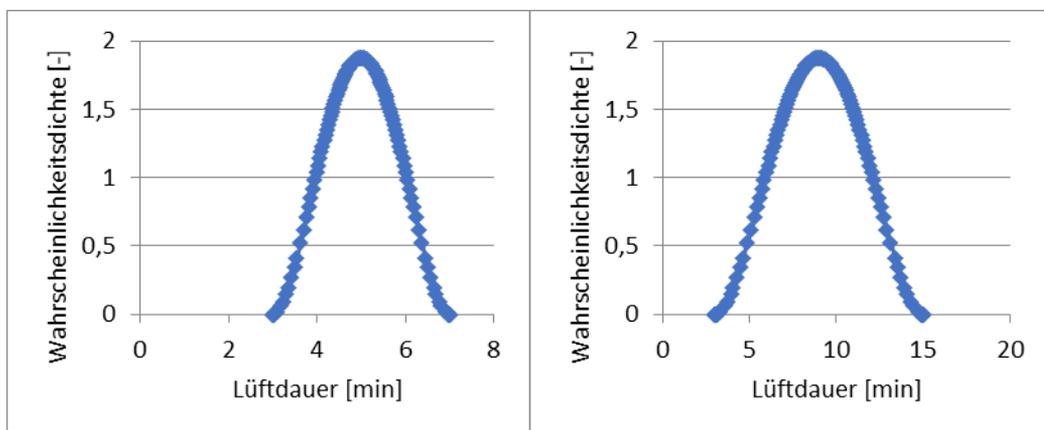


Tabelle 9: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterlüftung:
Luftwechselrate (LWR) [1/h] und Dauer [min]

WDF Kennzahlen	LWR	LWR	Dauer	Dauer
	Querlüftung	einseitig	Querlüftung	einseitig
Min [1/h] bzw. [min]	10	5	3	3
Max [1/h] bzw. [min]	30	15	7	15
Häufigster Wert [1/h] bzw. [min]	20.0	10.0	5.0	9.0
Mittelwert [1/h] bzw. [min]	20.0	10.0	5.0	9.0
alpha	3	3	3	3
beta	3	3	3	3

5.3.4. Eingaben Personenbelegung

Einige der hinterlegten WDF in Bezug auf Personenbelegung sind in Abbildung 8 bis Abbildung 12 dargestellt. Alle diesbezüglichen Kennzahlen, inklusive Min- /Max-Werte (Wertebereiche) sind in Tabelle 10 bis Tabelle 14 dokumentiert.

Abbildung 8: WDF für Anzahl der Erwachsenen für Schlafzimmer (links), Klassenraum (Mitte) und Großraumbüro (rechts).

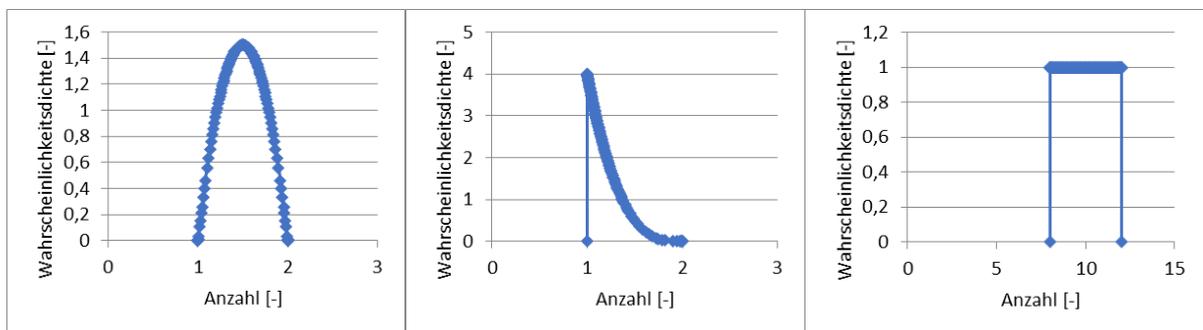


Abbildung 9: WDF für Aktivität der Erwachsenen für Schlafzimmer (links), Klassenraum (Mitte) und Großraumbüro (rechts).

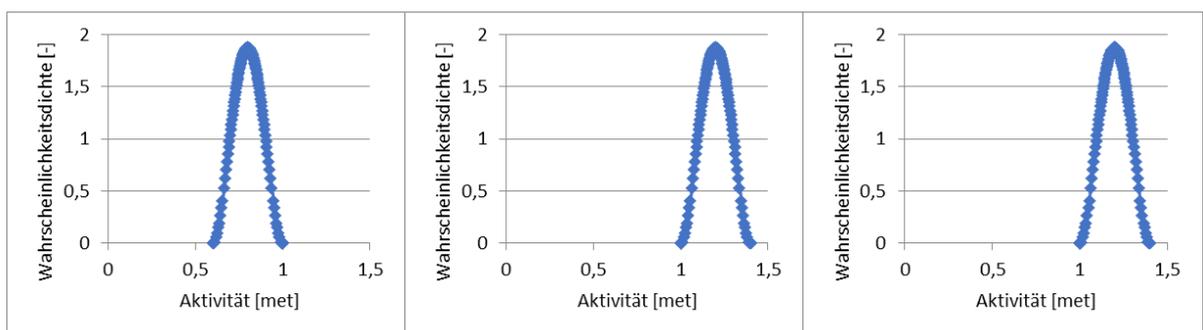


Tabelle 10: Kennzahlen der WDF für Anzahl der Erwachsenen [-]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen-/Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [-]	1	0	1	1	10	1	1	8	4
Max [-]	2	0	4	2	20	2	2	12	10
Häufigster Wert [-]	2	0	2	1	15				
Mittelwert [-]	2	0	2	1	15	2	2	10	7
alpha	2	2	2	1	3	1	1	1	1
beta	2	2	3	4	3	1	1	1	1

Tabelle 11: Kennzahlen der WDF für Aktivität der Erwachsenen [met]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen-/Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [met]	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1	1
Max [met]	1	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Häufigster Wert [met]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mittelwert [met]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
alpha	3	3	3	3	3	3	3	3	3
beta	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Abbildung 10: WDF für Anzahl der Kinder für Kinderzimmer (links), Wohnzimmer (Mitte) und Klassenzimmer (rechts).

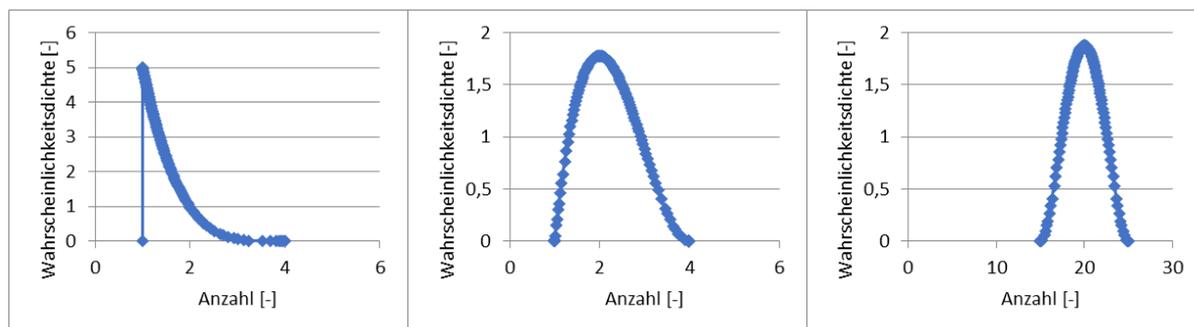


Tabelle 12: Kennzahlen der WDF für Anzahl der Kinder [-]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen-/Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [-]	0	1	1	15	0	0	0	0	0
Max [-]	3	4	4	25	0	0	0	0	0
Häufigster Wert [-]	0	1	2	20	0	0	0	0	0
Mittelwert [-]	0	1	2	20	0	0	0	0	0
alpha	1	1	2	3	3	1	1	1	1
beta	10	5	3	3	3	1	1	1	1

Abbildung 11: WDF für Aktivität der Kinder für Kinderzimmer (links), Wohnzimmer (Mitte) und Klassenraum (rechts).

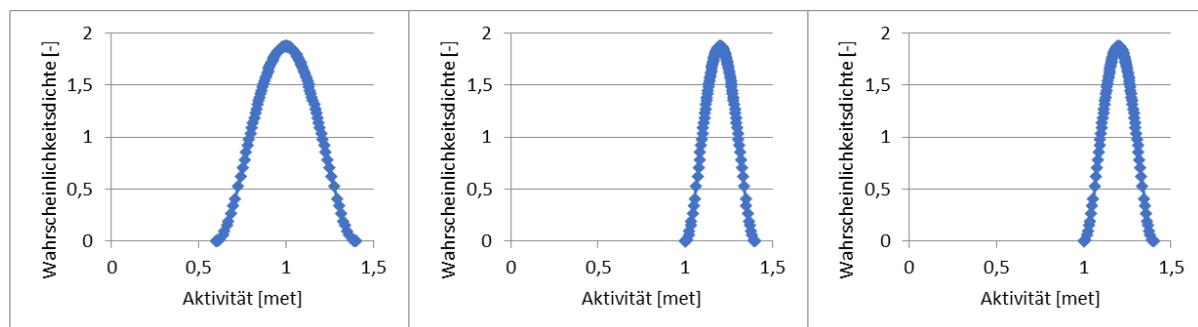


Tabelle 13: Kennzahlen der WDF für Aktivität der Kinder [met]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen-/Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [met]	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1
Max [met]	1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Häufigster Wert [met]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mittelwert [met]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
alpha	3	3	3	3	3	3	3	3	1
beta	3	3	3	3	3	3	3	3	1

Abbildung 12: WDF für Alter der Kinder für Kinderzimmer (links), Schlafzimmer (mitte) und Klassenzimmer (rechts).

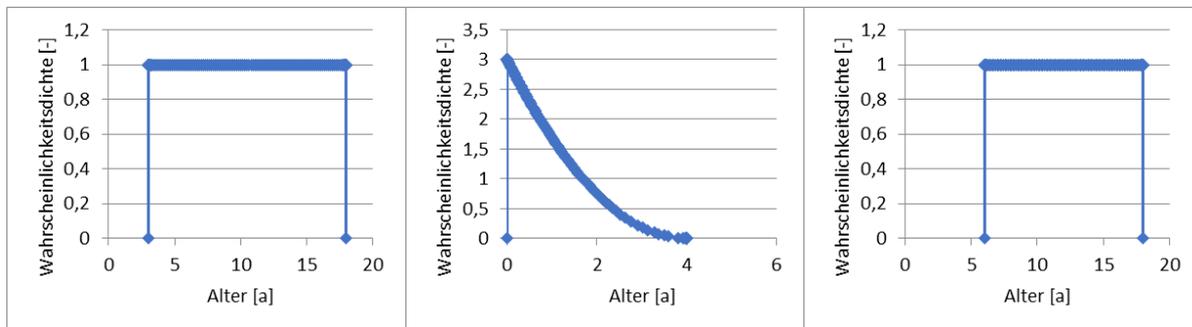


Tabelle 14: Kennzahlen der WDF für Alter der Kinder [a]

WDF Kennzahlen	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Wohnzimmer	Klassen-/Gruppenraum	Lehrerzimmer	Direktion/Büro	Büro klein	Großraumbüro	Besprechungsraum
Min [a]	0	3	1	6	6	6	6	6	6
Max [a]	4	18	18	18	18	18	18	18	18
Häufigster Wert [a]	0								
Mittelwert [a]	1	11	10	12	12	12	12	12	12
alpha	1	1	1	1	1	1	1	1	1
beta	3	1	1	1	1	1	1	1	1

5.3.5. Feuchtequellstärken

Die Feuchtelast ist abhängig von der Personenzahl und von der Wohnnutzfläche (WNF) modelliert und ergibt sich im Abwesenheitsfall wie folgt:

$$\dot{m}_{H_2O,Abw} = \dot{m}_{Abw,m_2} \cdot A_{WNF} \quad (19)$$

Im Anwesenheitsfall bestimmt sich die Feuchtelast wie folgt:

$$\dot{m}_{H_2O,Anw} = \dot{m}_{Anw,m_2} \cdot A_{WNF} + \dot{m}_{Anw,Per} \cdot \frac{A_{WNF}}{BD} \quad (20)$$

Die Wertebereiche für die Wohnnutzfläche A_{WNF} und für die Belegungsdichte BD werden durch die WDF laut Tabelle 15 und Abbildung 13 definiert.

Die WNF-abhängige Quellstärke im Abwesenheitsfall \dot{m}_{Abw,m_2} bzw. im Anwesenheitsfall \dot{m}_{Anw,m_2} sowie die personenabhängige Quellstärke im Anwesenheitsfall $\dot{m}_{Anw,Per}$ sind variabel und deren Wertebereiche und Wahrscheinlichkeiten sind in

Abbildung 15 dargestellt und in Tabelle 16 zusammengefasst. Zusätzlich kann im Berechnungstool eine „qualitative“ Angabe über die Feuchtelast in Form von Klassen „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ angegeben werden. Diese bewirkt, dass die jeweilige WDF wie folgt eingeschränkt wird:

- Niedrig: unteren 40% der WDF (0. bis 40.-Perzentil)
- Mittel: mittlere 40% der WDF (30. bis 70.-Perzentil)
- Hoch: obere 40% der WDF (60. bis 100.-Perzentil)

Vergleicht man die sich ergebende Feuchtelast für die gesamte Wohneinheit (in l/d), für den gesamten Wertebereich und den „mittleren“ Wertebereich, dann merkt man kaum Unterschiede. Die Streubreite vergrößert sich beim ganzen Wertebereich kaum merkbar. Das liegt daran, dass die Streubreite für den gesamten Feuchteeintrag auch stark durch die Streuung der Wohnnutzfläche und der Personenzahl bestimmt wird. Vergleicht man z.B. die Quellstärke pro Person, sieht man die Auswirkungen der eingeschränkten Streubreite („mittel“) deutlich. Die Feuchtelast-Auswahl „niedrig“ oder „hoch“ macht sich hingegen durch eine Verschiebung des Feuchtelast-Wertebereiches deutlich bemerkbar.

Abbildung 13: WDF für Wohnnutzfläche [m²] für Einfamilien-/Reihenhaus (links), Mehrfamilienhaus (Mitte) und Apartmentblock (rechts).

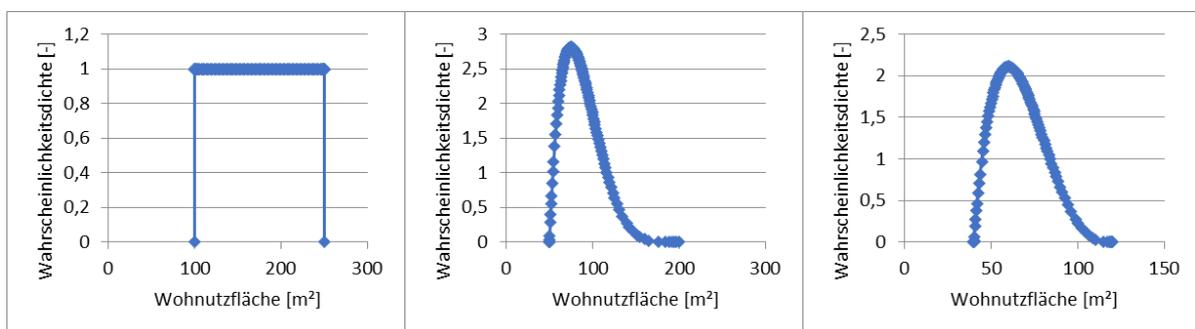


Abbildung 14: WDF für Belegungsichte als Wohnnutzfläche pro Person [m²/Pers.] für Einfamilien-/Reihenhaus (links), Mehrfamilienhaus (Mitte) und Apartmentblock (rechts).

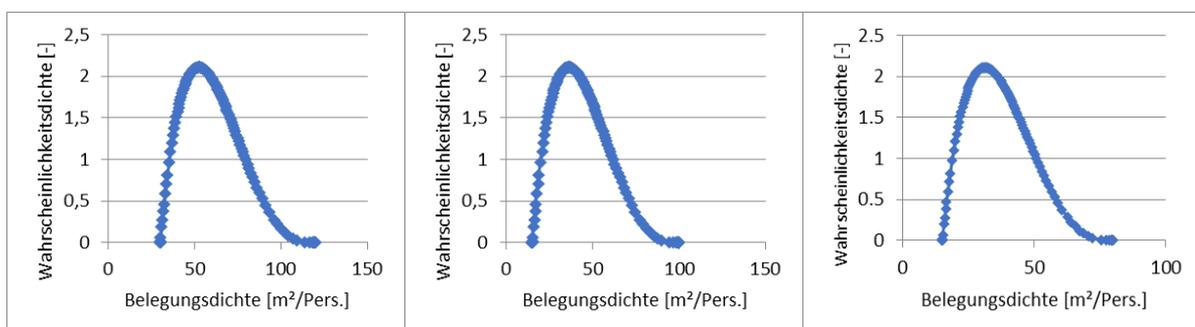


Abbildung 15: WDF für H₂O-Quellstärke: Grundlast bei Abwesenheit [g/h pro m² WNF] (links), Grundlast bei Anwesenheit [g/h pro m² WNF] (Mitte), personenbezogene Feuchtelast [g/h pro Pers.] (rechts).

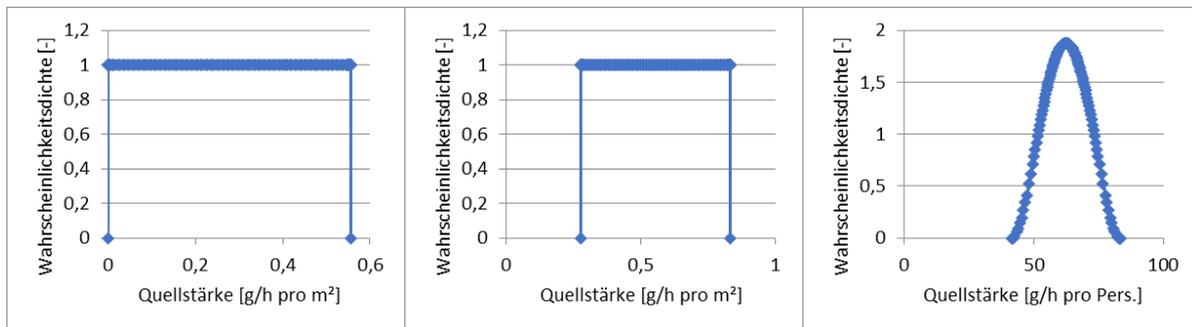


Tabelle 15: Kennzahlen der WDF für Wohnnutzfläche [m²] und für die Belegungsichte bzw. Wohnnutzfläche pro Person [m²/Pers.]

WDF Kennzahlen	Wohnnutzfläche [m ²]				Belegungsichte [m ² /Pers.]			
	BUN	EFH/RH	MFH	AB	BUN	EFH/RH	MFH	AB
Min	100	100	50	40	30	30	15	15
Max	250	250	200	120	120	120	100	80
Häufigster Wert			75	60	53	53	36	31
Mittelwert	175	175	82	64	57	57	40	34
alpha	1	1	2	2	2	2	2	2
beta	1	1	6	4	4	4	4	4

Tabelle 16: Kennzahlen der WDF für H₂O-Quellstärke [g/h pro m²] bzw. [g/h pro Pers.]

WDF Kennzahlen	Quellstärke [g/h pro m ²] Wohnen bei Abwesenheit	Quellstärke [g/h pro m ²] Wohnen Flächenabhängig	Quellstärke [g/h pro Pers.] Wohnen Pers.-Abhängig
Min	0.00	0.28	41.7
Max	0.56	0.83	83.3
Häufigster Wert	0.0	0.3	63
Mittelwert	0.3	0.6	63
alpha	1	1	3
beta	1	1	3

5.3.6. Raumtemperaturen und Angaben zu Wärmebrücken / f_{RSI}

Für die Berechnung des a_w -Wertes müssen die verschiedenen Raumtemperaturen und die Oberflächentemperatur eingegeben werden. Die mittlere Wohnraumtemperatur ist die Bezugstemperatur für die errechneten Luftvolumenströme (aus In-/Exfiltration). Das Schimmelrisiko wird für den Raum mit der kältesten Temperatur bestimmt. Um hier die kritische Oberflächentemperatur zu bestimmen, wird die Temperatur des kältesten Raums und der f_{RSI} -Wert, eine Kenngröße welche Wärmebrücken berücksichtigt, benötigt. Die dafür hinterlegten WDF sind in Tabelle 16 und Tabelle 17 zusammengefasst. Ausgewählte WDF dazu sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 16: WDF für f_{RSI} -Werte [-] als Kennzahlen für Wärmebrücken (WB): Altbau mit starken WB (links), Standard Neubau (Mitte) und Niedrigenergiehaus (NEH) mit minimalen WB (rechts).

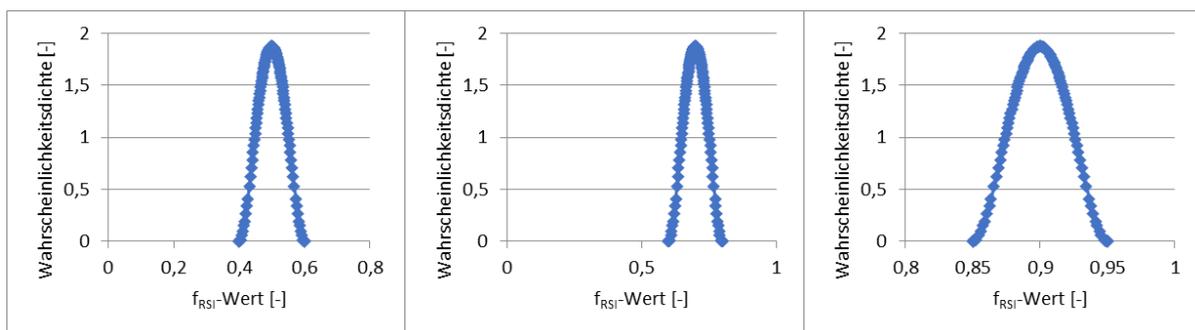


Tabelle 17: Kennzahlen der WDF für f_{RSI} -Werte [-]

WDF Kennzahlen	Altbau mit durchbetonierten	Altbau (mit normalen Wärmebrücken)	Standard Neubau	NEH (mit geringen Wärmebrücken)	NEH (minimale Wärmebrücken)
Min [-]	0.4	0.5	0.6	0.7	0.85
Max [-]	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
Häufigster Wert [-]	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Mittelwert [-]	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
alpha	3	3	3	3	3
beta	3	3	3	3	3

Abbildung 17: Exemplarische WDF für Raumtemperaturen [°C]: Wohnraumtemperatur bei Abwesenheit (links), Wohnraumtemperatur bei Anwesenheit (Mitte) und Temperatur im kühlestem Raum, z.B. Schlafräum bei Anwesenheit (rechts).

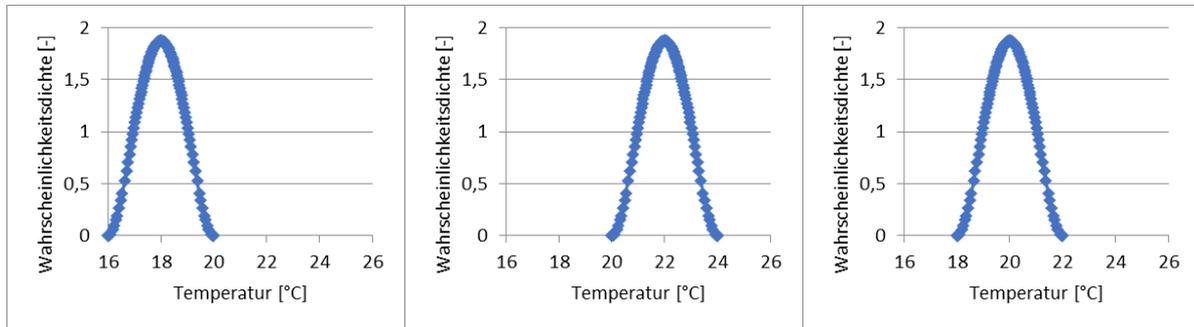


Tabelle 18: Kennzahlen der WDF für Raumtemperaturen [°C]

WDF Kennzahlen	Wohnraumtemperatur bei Abwesenheit					Wohnraumtemperatur bei Anwesenheit					Temperatur im kühlestem Raum (Anwesenheit)				
	Altbau: starke WB	Altbau: normale WB	Standard Neubau	NEH: geringe WB	NEH: minimale WB	Altbau: starke WB	Altbau: normale WB	Standard Neubau	NEH: geringe WB	NEH: minimale WB	Altbau: starke WB	Altbau: normale WB	Standard Neubau	NEH: geringe WB	NEH: minimale WB
Min [°C]	14	14	15	16	16	18	18	19	20	20	16	16	17	18	18
Max [°C]	18	18	19	20	20	22	22	23	24	24	20	20	21	22	22
Häufigster Wert [°C]	16	16	17	18	18	20	20	21	22	22	18	18	19	20	20
Mittelwert [°C]	16	16	17	18	18	20	20	21	22	22	18	18	19	20	20
alpha	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
beta	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

5.3.7. Luftwechselrate bei Fensterlüftung, Lüftungsdauer (H₂O-Bewertung)

Die Lüftungsvorgänge bei der Feuchtebewertung beziehen sich auf die gesamte Wohneinheit. Die hinterlegten Annahmen bezüglich Fensterlüftung sind wie folgt:

- Bungalow, EFH und MFH: Querlüftung
- Apartmentblock, Schule/Kindergarten und Büro: Einseitige Lüftung

Abbildung 6 zeigt die WDF für die angenommenen Luftwechselraten für Querlüftung und einseitiger Lüftung. Sie entsprechen der WDF, welche für die raumweise Betrachtung im Rahmen der CO₂-Bewertung angenommen wurde. Abbildung 18 bildet die angenommenen WDF für die Lüftungsdauer bei der Feuchtebewertung ab. Sie entsprechen einer tagesmittleren Lüftungsdauer in Minuten pro Tag. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Lüftungsdauer i.d.R. auf zwei Lüftungsvorgänge morgens und abends aufteilt. Tabelle 19 fasst die zugehörigen Kennzahlen der WDF zusammen.

Abbildung 18: WDF für Lüftungsdauer pro Tag (für H₂O Bewertung) bei Querlüftung (links) und einseitiger Lüftung (rechts).

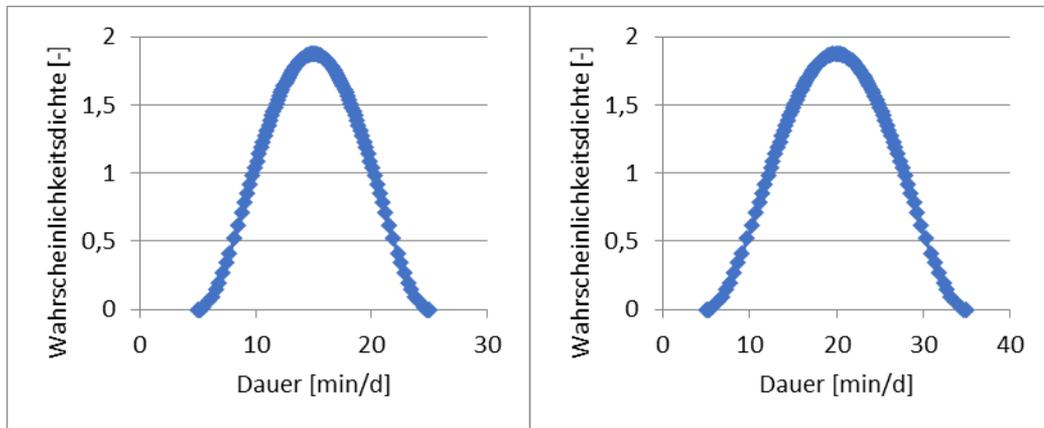


Tabelle 19: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterlüftung: Luftwechselrate [1/h] und Dauer [min/Tag] für die H₂O-Bewertung.

WDF Kennzahlen	LWR	LWR	Dauer	Dauer
	Querlüftung	Einseitige Lüftung	Querlüftung	Einseitige Lüftung
Min	10	5	5	5
Max	30	15	25	35
Häufigster Wert	20.0	10.0	15.0	20.0
Mittelwert	20.0	10.0	15.0	20.0
alfa	3	3	3	3
beta	3	3	3	3

6 Erläuterungen zum Excel Tool

Das in Kapitel 5 beschriebene Rechenverfahren wurde in Tabellenkalkulationsprogramm Excel von Microsoft umgesetzt. Die Eingabe durch den Nutzer erfolgt dabei über ein Tabellenblatt mit den Namen „Maske“, siehe Abbildung 19. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird ebenfalls in diesem Tabellenblatt ausgegeben. Die Ein- und Ausgaben sind in vier Blöcke unterteilt. Zusätzlich werden rechts der vier Hauptblöcke weitere „Experteninformationen“ zu den getroffenen Eingaben bzw. hinterlegten Annahmen sowie zu den Ergebnissen dargestellt. Die für die CO₂-Bewertung erforderlichen Eingaben werden im ersten Block (weißer Hintergrund, schwarze Schrift) abgefragt. Die Ergebnisse zu dieser Bewertung werden direkt darunter (grauer Hintergrund, schwarze Schrift) ausgegeben. Weitere Ergebnisse können für „Experten“ zwischen Zeile 32 und 38 „ausgeklappt“ werden (nicht in Abbildung 19 dargestellt). Im dritten Block (weißer Hintergrund, blaue Schrift) werden die für die Schimmelrisikobewertung zusätzlich erforderlichen Eingaben abgefragt. Das Ergebnis dieser Bewertung wird direkt darunter ausgegeben (hellblauer Hintergrund, blaue Schrift). Auch hier kann mit dem „+“ Symbol ganz links eine „Expertenansicht“ mit zusätzlichen Ergebnisausgaben ausgeklappt werden.

Abbildung 19: Darstellung der Ein- und Ausgabe Maske

Lüftungskonzept für Österreich - Abschätzung der Zumutbarkeit von Fensterlüftung und des Schimmelrisikos				Version: 0.32	
Eingaben Gebäude/Raum Standort: Wien Gebäudetyp: Mehrfamilienhaus Standard: Standard Neubau (1,5 +/- 0,3)				eigene Eingaben Woblast: CO ₂ & Feuchtebewertung möglich	
Eingaben Personen für betrachteten Raum Anzahl Erwachsene: 1 bis 2 Aktivität Erwachsene (met): 0,8 +/- 0,1 Anzahl Kinder: 0 bis 1 Aktivität Kinder (met): 0,8 +/- 0,1 Mittleres Alter der Kinder (a): 1,0 +/- 1,1				Hilfelexte siehe Tabblatt 'Auswahl' bzw. L&L-Infotrainmodel, M. Sherman, Diss. 1990 siehe Tabblatt 'Auswahl' bzw. L&L-Infotrainmodel, M. Sherman, Diss. 1990	
Ergebnis CO₂ Bewertung Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Nein Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften (min): 70 Minuten Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften (min): 480 Minuten für Raumart: Schlafzimmer (S)				Ergebnisse Einzelwerte bzw. P5 Median P95 Wien Temp: -6,4 1,6 9,6 °C Wind: 0,8 3,2 7,9 m/s h Raum: 2,4 2,5 2,6 m A Raum: 9,0 14,5 22,4 m ² A Fenster: 2,0 4,3 7,6 m ² Klasse (EN12207): 3 4 LWR: 13,5 20,0 25,7 l/h Dauer: 8 5 0,2 min Terrainklasse: 3 4 5 CO ₂ ges: 12,6 24 34,2 ppm CO ₂ amb: 450 450 450 ppm Anz. Erw: 1 2 2 Anz. Kid: 0 0 1 Alt Kid: 0,7 0,8 0,9 met Age Kid: 0,1 0,8 2,5 a	
Ergebnis natürlicher Luftwechsel errechnete Lüftung aufgrund natürlicher Lüftung (m ³ /h): 2,1 errechnete natürlicher Luftwechsel (1/h): 0,09 Zeit bis CO ₂ -Stundenmittelwert 1000 ppm - realistsches Lüften (min): 70 Zeit bis CO ₂ -Momentanwert 1000 ppm - realistsches Lüften (min): 40				Hilfestexte Für 6% der Fälle ist die Lüftmenge kleiner 0,9 m ³ /h, und für 6% der Fälle größer 4,9 m ³ /h. Für 6% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0, 1%, und für 6% der Fälle größer 0,3 1/h. Für 6% der Fälle ist der CO ₂ -Stu-MW schon nach 26 min erreicht, für 6% der Fälle dauert es länger als 176 min.	
Eingaben für Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau) Berechnung durchzuführen: Ja Wärmebrücken RSI-Wert: 0,7 +/- 0,06 Feuchteleakage: 0,7 +/- 0,8 Feuchteleakage pro m ² bei Anwesenheit (g/(h*m ²)): 0,6 +/- 0,3 Feuchteleakage pro m ² bei Abwesenheit (g/(h*m ²)): 0,2 +/- 0,2 Feuchteleakage pro m ² bei Abwesenheit (g/(h*m ²)): 0,3 +/- 0,2 Fläche gesamte Wohneinheit (m ²): 87 +/- 36 Personenzahl (gesamter Wohneinheit): 2,3 +/- 1,7 Lüftungsmöglichkeit (gesamter Wohneinheit): Querverlüftung Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends (min/Tag): 15,0 +/- 6,1 Mittlere Raumtemperatur in gesamter Wohneinheit [°C]: 21,0 +/- 1,2 Raumtemperatur im kühleren Raum [°C]: 19,0 +/- 1,2 Minimale Raumtemperatur bei längerer Abwesenheit [°C]: 17,0 +/- 1,2				Ergebnisse Einzelwerte bzw. P5 Median P95 RSI: 0,63 0,70 0,76 Anz: 2,4 4,3 8,0 Lid H2O: 0,3 0,6 0,8 g/(h*m ²) H2O: 49 63 75 g/(h*m ²) H2O: 0,2 0,3 0,5 g/(h*m ²) A Ges: 89 83 128 m ² Belüchtete: 2 1 1 m ² Pers Anz. Pers: 1,1 2,1 4,4 Pers LWR: 13,1 20,2 25,7 l/h Dauer: 8,8 15,0 20,9 min T _{Luft} : 19,8 19,0 22,2 °C T _{Luft} : 17,8 19,0 20,2 °C T _{Luft} : 16,7 17,0 18,2 °C	
Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau) Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit: 14,2% Erforderliche zusätzliche Lüftungsmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% (m ³ /h): 40				Ergebnisse Einzelwerte bzw. P5 Median P95 Risiko ist hoch. Schimmel im Anwesenheitsfall ist wahrscheinlicher. Um die Schimmelwahrscheinlichkeit < 1% zu senken, ist der Anwesenheitsfall entscheidend.	

Grundsätzlich ist die Eingabe so voreingestellt, dass möglichst allen Eingabeparameter mit plausiblen Werten hinterlegt sind. Bei diesen Parametern ist im Dropdown-Menü „Hinterlegter Wertebereich“ bzw. „Hinterlegte Annahme“ eingestellt. In der Nebenzelle wird die hinterlegte Annahme bzw. der für die Berechnung hinterlegte Wertebereich als Mittelwert +/- Streubreite angezeigt. Viele dieser Annahmen bzw. der hinterlegten Wertebereich sind zum Teil von anderen Eingaben abhängig. So ändert sich z.B. der für die Raumfläche hinterlegte Wert, je nachdem welche Raumart (Schlafzimmer, Kinderzimmer oder Wohnzimmer) ausgewählt wurde. Für die Streubreite (SB) des Wertebereichs wurde, um die Ausgabe übersichtlich und leicht verständlich zu halten, eine „+/-“ Ausgabe gewählt. Der „+/-“ Bereich wird nicht dabei 90% der Verteilungsfunktion ab und wurde wie folgt bestimmt:

$$SB = \frac{P95 - P5}{2} \quad (21)$$

P95 bzw. P5 stellen hier das 95. bzw. 5.-Perzentil der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) dar. Es sei darauf hingewiesen, dass bei nicht symmetrischen WDF's die „+/-“ Ausgabe den Wertebereich evtl. nicht plausibel darstellt, so könnte sich für Mittelwert minus Streubreite (SB) ein Wert kleiner als der tatsächlich hinterlegte Minimumwert ergeben und den Nutzer verwirren. Die Richtigkeit der Berechnung ist von dieser vereinfachten Darstellung nicht betroffen, der tatsächlich hinterlegte Wertebereich wird daher zusätzlich im Expertenfenster (rechte Blöcke) als P5 | Median | P95 ausgegeben.

Die Ergebnisse inklusive Ausgabegrafik werden in den Tabellenblättern „ResCO2“ und „ResH2O“ ausgegeben. Beispielhafte Ergebnisse werden im nachfolgenden Kapitel erläutert.

Das Herzstück der Berechnung befindet sich im Tabellenblatt „MC2“, hier wird die Monte-Carlo Simulation durchgeführt. In den Zeilen 11 bis 1010 werden die 1000 Variationen berechnet. In den Spalten sind die Eingabe- bzw. Rechenwerte angeordnet. Die Wahl des Eingabeparameters erfolgt über eine Zufallszahl-Funktion. Diese generiert für jeden der Eingabeparameter und für jeden der 1000 Fälle eine Zufallszahl zwischen 0 und 1. Basierend auf dieser Zufallszahl wird der Wert für den jeweiligen Eingabeparameter entsprechend der hinterlegten WDF bestimmt. Die zugehörigen WDF sind in jeweils eigenen Tabellenblätter hinterlegt.

Die Einstellungen in Excel sind so getroffen, dass nach jeder Eingabe bzw. Änderung in den Auswahlmenüs die Berechnung ausgeführt wird. Die Berechnung ist bei heute üblichen Rechnerleistungen sehr schnell (<1 Sek.) und wird sofort ausgegeben. Will der Nutzer eine Neuberechnung ohne Neueingabe durchführen, so kann dies mit der Funktionstaste „F9“ getan werden.

Hinweis: Aufgrund des stochastischen Rechenverfahrens ändern sich die Ergebnisse nach jeder Neuberechnung (F9) leicht. Die Aussage bzw. das Bewertungsurteil, z.B. „Ist eine Fensterlüftung zumutbar?“, ändert sich aber in aller Regel nicht. In selten Fällen kann es vorkommen, dass das Ergebnis so knapp am Schwellwert (z.B. zumutbare Zeit) ist, dass die Bewertung zwischen „zumutbar: Ja“ und „zumutbar: Nein“ hin- und her springt. Für den Nutzer wäre das ein Hinweis, dass ein eindeutiges Bewertungsurteil nicht sinnvoll möglich ist. Durch das Eingrenzen bestimmter Wertebereiche bzw. durch die Vorgabe fixer Eingabewerte, z.B. genaue Vorgabe der Anzahl der Personen, kann in der Regel die Schwankungsbreite der Ergebnisse reduziert werden.

Der zeitliche Verlauf der CO₂-Konzentration bzw. des gleitenden Mittelwerts wird, wie im Kapitel 5.1.1 erläutert, numerisch gelöst. Dies wurde in dem Tabellenblatt „Dyn“ umgesetzt. Dafür wird der doppelte bzw. einfache Betrachtungszeitraum in 192 Zeitschritte unterteilt. Diese Anzahl wurde als guter Kompromiss zwischen Genauigkeit (zeitliche Auflösung der numerischen Lösung) gewählt. Für Schlafzimmer und Kinderzimmer wird, um die zeitliche Auflösung der numerischen Lösung nicht zu groß werden zu lassen, nur der einfache Betrachtungszeitraum (8 Stunden) innerhalb der 192 Schritte berechnet, d.h. es ergibt sich eine zeitliche Auflösung von 2,5 Minuten (480 min / 192 Schritte). Für allen anderen Fälle mit kürzeren Betrachtungszeiträumen (45 min, 60 min bzw. 120 min) werden mit Hilfe der 192 Zeitschritte die jeweils doppelten Betrachtungszeiträume abgebildet. Das ermöglicht eine korrekte Ausgabe der für die zwischen Lüftungsvorgängen erforderlichen Zeit, auch für Fälle, wo diese Zeit größer dem Betrachtungszeitraum wäre. Für Schlaf- und Kinderzimmer

wird in diesen Fällen 483 Minuten (Betrachtungszeitraum + 1 Zeitschritt) in den entsprechenden Ergebniszellen angezeigt, auch wenn der Wert eigentlich höher wäre. Wenn dies auch für den Medianfall (50% der Fälle) zutrifft, wird daher im Ausgabefeld „> zumutbarer Zeit“ ausgegeben.

7 Eingabe- und Ergebnisdarstellung

Die folgenden Beispiele für den Bereich Luftqualität und Schimmelrisiko erläutern die grundsätzliche Eingabe- und Ergebnisdarstellung.

7.1. Luftqualität

Die Ergebnisse zeigen die statistische Verteilung bzw. den Verlauf der CO₂-Konzentrationen für vier verschiedene Fälle:

- Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften mit variabler Zeit) und individuellem Lüftungsvorgang
 - Gleitender Mittelwert
 - Momentanwert
- Ideales Lüften – jedes Lüften erreicht CO₂-Werte von 450 ppm
 - Gleitender Mittelwert
 - Momentanwert

Beispiel: Wohnbau: Luftqualität im Wohnzimmer mit hinterlegten Wertebereichen berechnet:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort: 8	Innsbruck	
Gebäudeart: 3	Mehrfamilienhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]: 3	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3
Raumart (betrachteter Raum): 3	Wohnzimmer	
Fläche (betrachteter Raum) [m ²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	29 +/- 15
Höhe (betrachteter Raum) [m]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2,5 +/- 0,1
Fläche offenbare Fenster (betrachteter Raum) [m ²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	8,8 +/- 5,8
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,9 +/- 1,2
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2 bis 4
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 4
Aktivität Erwachsene [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,2 +/- 0,1
Anzahl Kinder: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 4
Aktivität Kinder [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,2 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	9,3 +/- 6,1

Ergebnis CO₂ Bewertung		F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Nein	
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	64 Minuten	
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120 Minuten	
Ergebnis natürlicher Luftwechsel		<i>Medianwerte</i>
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m ³ /h]:	3,8	
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:	0,05	
Zeit bis CO ₂ -Stundenmittelwert=1400 ppm - realistisches Lüften [min]:	64	
Zeit bis CO ₂ -Momentanwert=1400 ppm - realistisches Lüften [min]:	35	

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 1,5 m³/h, und für 5% der Fälle größer 8,6 m³/h.
 Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,3 1/h.
 Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 23 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 148 min.

Expertenmodus: Mit einer zusätzlichen Luftmenge von 42 m³/h würde die Anforderung erfüllt:

Check (nicht Teil des Online Tools / nur Expertenmodus)

Vorgabe zusätzlicher Zuluftvolumenstrom [m³/h]

Ergebnis CO2 Bewertung F9 drücken für Neuberechnung. Aufgr...

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:

Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	Ja
Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	> zumutbarer Zeit
	120 Minuten

Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften mit variabler Zeit) und individuellem Lüftungsvorgang:

Nach 61 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

Realistisches Lüftungsverhalten (Fensterlüftungsdauer hinterlegt)

Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO₂-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)

Zeit bis Grenzwert erreicht (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

Mittelwert der CO₂ Konzentration (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Nein	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	61
	Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120

Nach 34 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

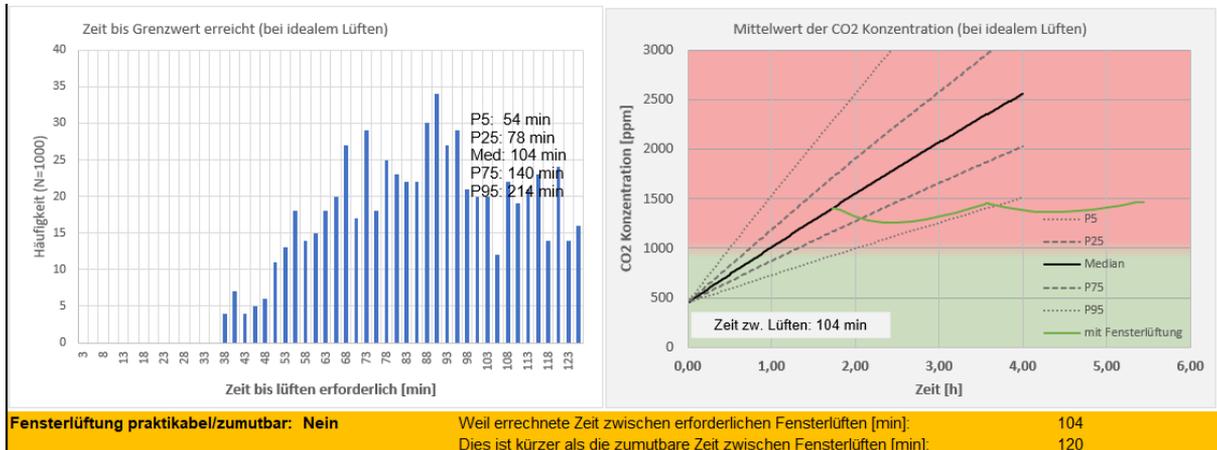
Bewertung des Momentanwertes der CO₂-Konzentration (nur informativ)

Zeit bis Grenzwert erreicht (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

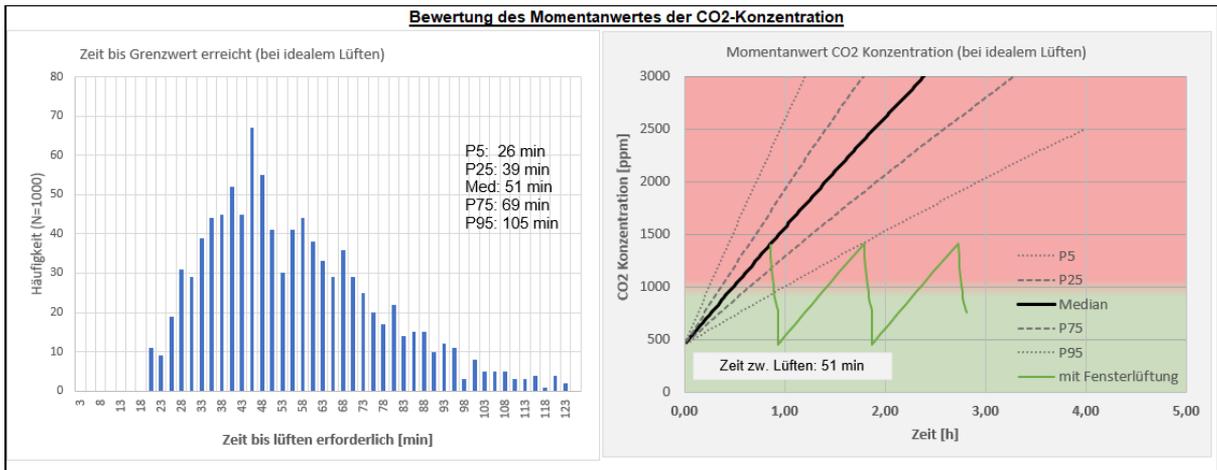
Momentanwert CO₂ Konzentration (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

Ideales Lüften – jedes Lüften erreicht CO₂-Werte von 450 ppm:

Nach 104 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:



Nach 51 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:



7.2. Beispielhafte Ergebnisse Luftqualität

Bei der Luftqualität wurden folgende Nutzungen jeweils mit den hinterlegten Standardwerten, bzw. mit konkreten Raumverhältnissen berechnet bzw. variiert.

- Wohnzimmer
- Schlafzimmer
- Klassenzimmer

Die Berechnungen finden sie im Anhang.

Die grundsätzlichen Resümees für die drei Bereiche aus den Berechnungen:

Resümee Wohnzimmer: Im Wohnzimmerbereich kann durch größere Wohnzimmer bzw. einen offenen Raumverbund mit der Küche die praktikable/zumutbare Zeit einer Fensterlüftung von 2 Std. auch ohne mechanische Lüftung erreicht werden.

Resümee Schlafzimmer: Auch bei sehr großen Schlafzimmern kann das Lüftungsintervall von 8 Std. zur Erreichung einer akzeptablen Raumluftqualität nicht erreicht werden. Erst, wenn z.B. eine größere Wohnung als kompletter Raumverbund (dauerhaft vollständig geöffnete Zimmertüren) für 2 Personen eingegeben wird, würde der Zeitraum von 8 Std. zwischen zwei Fensterlüftungen erreicht werden.

Resümee Klassenzimmern: Auch bei sehr großen Klassenzimmern kann das Lüftungsintervall von 45 Minuten nicht erreicht werden. Es benötigt immer eine zusätzliche Lüftung, um die minimalen Anforderungen in Bezug auf eine akzeptable Raumluftqualität während einer Unterrichtsstunde ohne zusätzliche manuelle Fensterlüftung einzuhalten.

7.3. Schimmelrisiko

Die Ergebnisse zeigen die statistische Bewertung des Schimmelrisikos bzw. die Luftwechsel für:

- nur Infiltration durch Fugen
- Infiltration durch Fugen und Fensterlüftung
- erforderlicher Luftwechsel für Schimmelfreiheit

Wohnbau: Feuchte MFH – Neubau mit hinterlegten Wertebereichen berechnet:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort: 1	Wien	
Gebäudeart: 3	Mehrfamilienhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]: 3	Standard Neubau	1,5 +/- 0,2
Raumart (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Schlafzimmer
Fläche (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	15 +/- 4
Höhe (betrachteter Raum) [m]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2,5 +/- 0,0
Fläche öffnbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,6 +/- 1,8
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	5,0 +/- 0,8
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 2
Aktivität Erwachsene [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Anzahl Kinder: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0 bis 1
Aktivität Kinder [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,0 +/- 0,7

Eingaben für Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	Auswahl (Dropdown menu)	
Berechnung durchführen: 1	Ja	
Wärmebrücken / fRSI-Wert 0	Hinterlegter Wertebereich ->	#WERT!
Feuchtelast [l/d]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,7 +/- 2,0
Feuchtequellstärke pro m² bei Anwesenheit [g/(hm²)]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,6 +/- 0,2
Feuchtequellstärke pro Pers bei Anwesenheit [g/(hPers)]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	62 +/- 8
Feuchtequellstärke pro m² bei Abwesenheit [g/(hm²)]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,3 +/- 0,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	87 +/- 22
Personenanzahl (gesamter Wohneinheit): 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2,3 +/- 1,1
Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	15,1 +/- 3,8
Mittlere Raumtemperatur in gesamten Wohneinheit [°C]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	21,0 +/- 0,8
Raumtemperatur im kühlssten Raum [°C]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	19,0 +/- 0,8
Minimale Raumtemperatur bei längerer Abwesenheit [°C]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	17,0 +/- 0,8

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)		F9 drücken für Neuberechnung, Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	13,4%	
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	32	

Risiko ist hoch. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)

Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:
 Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:
 Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:
 dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:

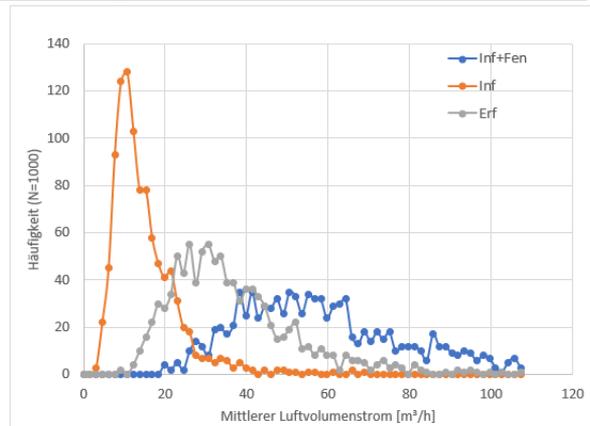
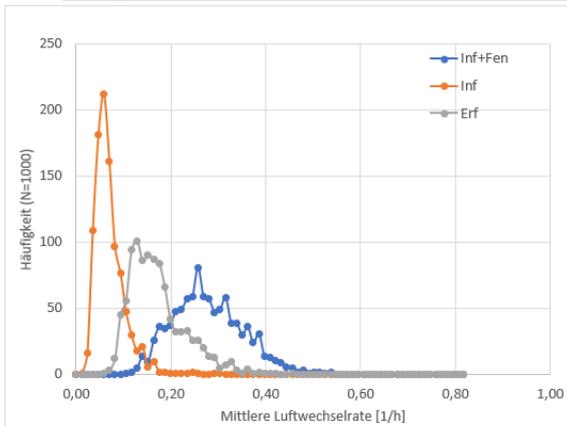
Medianwerte

33
12
95%
55
13,4%
32
223

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

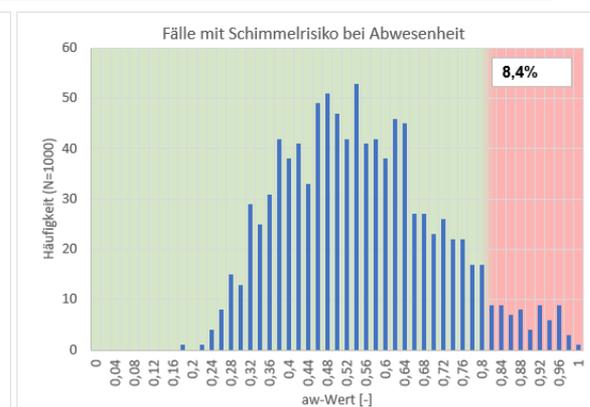
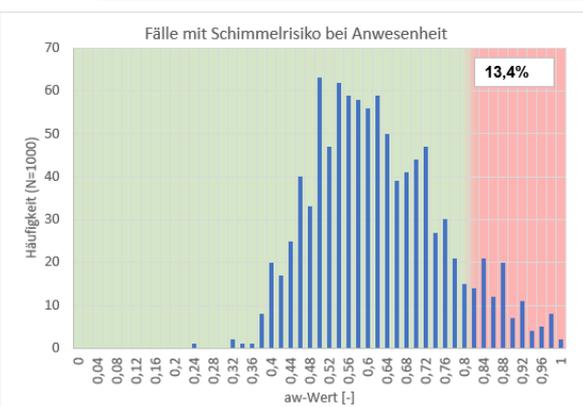
Standort:	Wien	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	15,0 +/- 6,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	87 +/- 33		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	4,5 +/- 2,7		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	94,8%	8,4%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	13,4%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	32	6
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	223	47

7.4. Beispielhafte Ergebnisse Schimmelrisiko

Beim Schimmelrisiko wurden folgende Nutzungen mit den hinterlegten Standardwerten, bzw. mit Variationen der Feuchtelast bzw. der Wärmebrückensituation beispielhaft berechnet.

- Mehrfamilienhaus
 - Feuchtelast – hoch, mittel, niedrig
 - Wärmebrücken: Standard Neubau, mit minimalen Wärmebrücken
- Einfamilienhaus
 - Feuchtelast – hoch, mittel, niedrig
 - Wärmebrücken: Standard Neubau, mit geringen Wärmebrücken

Die Berechnungen finden sie im Anhang.

Die grundsätzlichen Resümees aus den Berechnungen:

Resümee MFH: Beim Standard Neubau ist fast immer der Anwesenheitsfall kritischer. **Auch bei niedrigen Feuchtelasten bleibt man beim MFH, Standard Neubau in der Regel immer noch im kritischen Bereich für das Schimmelrisiko (über 5%).** Erst durch eine Bauweise mit minimalen Wärmebrücken und niedrigen Feuchtelasten erhält man Schimmelfreiheit (Schimmelrisiko unter 1%).

Resümee EFH: Beim Standard Neubau ist meist der Abwesenheitsfall kritischer. **Schon beim Standard Neubau kommt man im Anwesenheitsfall mit geringen Feuchtelasten in den eher unkritischen Bereich. Bei geringen Wärmebrücken gelingt dies auch mit mittleren Feuchtelasten. Durch eine Bauweise mit geringen Wärmebrücken und niedrige Feuchtelasten erhält man Schimmelfreiheit (Schimmelrisiko unter 1%).**

Fazit: Da man bei wohnüblichem Verhalten nicht generell von niedrigen Feuchtelasten ausgehen kann (nutzerabhängig), kann die Schimmelfreiheit weder im MFH noch im EFH allein mit Fensterlüftung sichergestellt werden. Diese Aussage wird auch durch zahlreiche Fälle aus der Praxis gestützt.

8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Mit dem im Projekt entwickeltem Excel-Tool kann die Konformität mit den gesetzlichen Vorgaben der bautechnischen Regelungen („ausreichende Lüftung“) in Bezug auf ausschließliche Fensterlüftung für Wohnbereiche, Büros, Schulen und Kindergärten konkret bestimmt und das Schimmelrisiko in Wohnungen gut abgeschätzt werden.

Da das Excel-Tool aufgrund der Monte Carlo Simulation sehr umfangreich ist, wird empfohlen, dieses nur im Hintergrund für eine Onlineversion zu verwenden und nicht die Excel-Datei direkt zu verbreiten. Diese Vorgangsweise ermöglicht es auch, Adaptierungen und die Versionierung zentral verwalten zu können, den Nutzer:innen steht damit jederzeit die aktuelle Programmversion zur Verfügung.

In einer Onlineversion können/sollten die Möglichkeiten der einzugebenden Werte eingeschränkt werden, um sie für Laien leichter nutzbar zu machen.

Neben der allgemeinen Veröffentlichung über ein Onlinetool können die Methoden bzw. Ergebnisse dazu herangezogen werden, um in der OIB Richtlinie 3, bzw. in den gesetzlichen Regelungen der Länder die Aspekte „Schimmelfreiheit an Bauteiloberflächen“ bzw. den zentralen Begriff „ausreichend lüften“ zu konkretisieren. Es wird diesbezüglich vorgeschlagen, bei einer zukünftigen Überarbeitung der Richtlinie seitens des OIB die Rahmenbedingungen für einzelne Nutzungsprofile zu definieren und die zumutbare Zeit für eine Fensterlüftung bzw. einen maximalen Prozentsatz für das Schimmelrisiko festzulegen.

Das Onlinetool liefert wertvolle Basisaussagen für Nutzer:innen, Planer:innen, Bauträger, Sachverständige etc. und leistet damit einen Beitrag, regelkonform zu planen und zu bauen bzw. ggf. Unstimmigkeiten über notwendige Lüftungsmaßnahmen zu versachlichen.

Literaturverzeichnis

BMLFUW (2017). Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter. Überarbeitete Fassung, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft im österreichischen Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie BMK (vormals BMLFUW) unter Mitarbeit der österreichischen Akademie der Wissenschaften

ÖNORM B 8110-2:2020 01 01: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz

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

OIB-Richtlinie 3 (2019). Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Andreas Thaler BA (2010). LEBENSZYKLUSKOSTEN VON WOHNRAUMLÜFTUNGSANLAGEN IM MEHRGESCHOSSIGEN WOHNBAU. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Arts in Business (MA) Eingereicht bei: Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs GmbH Facility- und Immobilienmanagement FIM

Barp, S., Fraefel, R., Huber, H. (2009). Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen (Issue September). [https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere Dokumente/Nachhaltiges Bauen/1_2000 Watt/6 Technik/Luftbewegungen Bericht alles.pdf](https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere_Dokumente/Nachhaltiges_Bauen/1_2000_Watt/6_Technik/Luftbewegungen_Bericht_alles.pdf)

Berge, A. (2011). Analysis of Methods to Calculate Air Infiltration for Use in Energy Calculations [Chalmers University of Technology, Sweden]. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/147421.pdf>

Beta-Verteilung. (n.d.). <https://de.wikipedia.org/wiki/Beta-Verteilung>

Binamu, A., Lindberg, R. (2002). Estimation of air infiltration of buildings based on the degree of air tightness and climatic data. Indoor Air 2002, 382–387.

Hayati, A., Mattsson, M., Sandberg, M. (2014). Evaluation of the LBL and AIM-2 air infiltration models on large single zones: Three historical churches. Building and Environment, 81, 365–379. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.013>

Liddament, M. (1996). AIVC Guide to Energy Efficient Ventilation. 274.

Meteonorm (n.d.). <http://meteonorm.com/home/>

Monte-Carlo Simulation (2021). <https://de.wikipedia.org/wiki/Monte-Carlo-Simulation>

Persily, A. K. (1997). Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. ASHRAE Transactions.

Persily, A., Wargocki, P. (2016). How to Evaluate Ventilation in IAQ Studies. Indoor Air, 573.

Rojas, G., Pfluger, R., Feist, W. (2015). Recommendable supply air rates for residential housing – A simulation study considering CO₂ concentration , relative humidity , TVOC emissions and mould risk. 36th AIVC Conference: Effective Ventilation in High Performance Buildings, 6038, 937–948.

Rubinstein, R., Kroese, D. (2017). Simulation and the Monte Carlo Method (3rd ed.). Wiley.

Schnieders, J. (2003). Wirkung von Position und Art der Lüftungsöffnungen auf den Schadstoffabtransport. In W. Feist (Ed.), AKKP 23: Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum (1st ed., pp. 85–123). Passivhaus Institut.

Sherman, M. H. (1980). Air Infiltration in Buildings. University of California, Lawrence Berkeley Laboratory.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Veranschaulichung des Massenbilanzverfahrens.....	20
Abbildung 2: Links: Exemplarische Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für den Parameter „Anzahl der Kinder“. Rechts: Häufigkeitsverteilung für eine zufällige Stichprobe von 1000 für den gleichen Parameter.....	27
Abbildung 3: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion exemplarisch für undichten Altbau (links) und Neubau / NEH (sehr dicht) (rechts).....	29
Abbildung 4: WDF für Raumfläche exemplarisch für Schlafzimmer (links) und Klassen-/ Gruppenraum (rechts).....	30
Abbildung 5: WDF für Fensterklasse nach EN12207 exemplarisch für undichten Altbau (links) und Neubau / NEH (sehr dicht) (rechts). X-Achse: Klasse [-], Y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte	32
Abbildung 6: WDF für Luftwechselrate (LWR) bei Fensterlüftung für Querlüftung (links) und einseitige Lüftung (rechts).....	33
Abbildung 7: WDF für Lüftungsdauer (für CO ₂ -Bewertung) bei Querlüftung (links) und einseitiger Lüftung (rechts).....	33
Abbildung 8: WDF für Anzahl der Erwachsenen für Schlafzimmer (links), Klassenraum (Mitte) und Großraumbüro (rechts).....	34
Abbildung 9: WDF für Aktivität der Erwachsenen für Schlafzimmer (links), Klassenraum (Mitte) und Großraumbüro (rechts).....	34
Abbildung 10: WDF für Anzahl der Kinder für Kinderzimmer (links), Wohnzimmer (Mitte) und Klassenzimmer (rechts).....	35
Abbildung 11: WDF für Aktivität der Kinder für Kinderzimmer (links), Wohnzimmer (Mitte) und Klassenraum (rechts).....	36
Abbildung 12: WDF für Alter der Kinder für Kinderzimmer (links), Schlafzimmer (Mitte) und Klassenzimmer (rechts).....	37
Abbildung 13: WDF für Wohnnutzfläche [m ²] für Einfamilien-/Reihenhaus (links), Mehrfamilienhaus (Mitte) und Apartmentblock (rechts).....	38
Abbildung 14: WDF für Belegungsdichte als Wohnnutzfläche pro Person [m ² /Pers.] für Einfamilien-/Reihenhaus (links), Mehrfamilienhaus (Mitte) und Apartmentblock (rechts).....	38
Abbildung 15: WDF für H ₂ O-Quellstärke: Grundlast bei Abwesenheit [g/h pro m ² WNF] (links), Grundlast bei Anwesenheit [g/h pro m ² WNF] (Mitte), personenbezogene Feuchtelast [g/h pro Pers.] (rechts).....	39
Abbildung 16: WDF für f _{RSI} -Werte [-] als Kennzahlen für Wärmebrücken (WB): Altbau mit starken WB (links), Standard Neubau (Mitte) und Niedrigenergiehaus (NEH) mit minimalen WB (rechts).....	40
Abbildung 17: Exemplarische WDF für Raumtemperaturen [°C]: Wohnraumtemperatur bei Abwesenheit (links), Wohnraumtemperatur bei Anwesenheit (Mitte) und Temperatur im kühlestem Raum, z.B. Schlafräum bei Anwesenheit (rechts).....	41
Abbildung 18: WDF für Lüftungsdauer pro Tag (für H ₂ O Bewertung) bei Querlüftung (links) und einseitiger Lüftung (rechts).....	42
Abbildung 19: Darstellung der Ein- und Ausgabe Maske	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Richtwerte des Arbeitskreises Innenraumluft des BMK.....	15
Tabelle 2: Beispiele für Beurteilungszeiträume für CO ₂ -Messungen (Arbeitskreises Innenraumluft des BMK).....	16
Tabelle 3: Liste der für die Berechnung erforderlichen Parameter und Anzahl der hinterlegten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) sowie wovon die Wahl der WDF abhängt.....	28
Tabelle 4: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für n ₅₀ Wert [1/h].....	30
Tabelle 5: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Raumfläche [m ²].....	31
Tabelle 6: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Raumhöhe [m].....	31
Tabelle 7: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterflächenanteil [m ² -Fenster/m ² -Raumfläche].....	31
Tabelle 8: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterklasse [-].....	32
Tabelle 9: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterlüftung: Luftwechselrate (LWR) [1/h] und Dauer [min].....	34
Tabelle 10: Kennzahlen der WDF für Anzahl der Erwachsenen [-].....	35
Tabelle 11: Kennzahlen der WDF für Aktivität der Erwachsenen [met].....	35
Tabelle 12: Kennzahlen der WDF für Anzahl der Kinder [-].....	36
Tabelle 13: Kennzahlen der WDF für Aktivität der Kinder [met].....	36
Tabelle 14: Kennzahlen der WDF für Alter der Kinder [a].....	37
Tabelle 15: Kennzahlen der WDF für Wohnnutzfläche [m ²] und für die Belegungsdichte bzw. Wohnnutzfläche pro Person [m ² /Pers.].....	39
Tabelle 16: Kennzahlen der WDF für H ₂ O-Quellstärke [g/h pro m ²] bzw. [g/h pro Pers.].....	39
Tabelle 17: Kennzahlen der WDF für f _{RSI} -Werte [-].....	40
Tabelle 18: Kennzahlen der WDF für Raumtemperaturen [°C].....	41
Tabelle 19: Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Fensterlüftung: Luftwechselrate [1/h] und Dauer [min/Tag] für die H ₂ O-Bewertung.....	42

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
Art.	Artikel
CO ₂	Kohlenstoffdioxyd
ppm	Part per Million
EFH	Einfamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus

9 Anhang

9.1. Beispiele Luftqualität

9.1.1. Beispiel: Wohnbau: Luftqualität im Wohnzimmer mit hinterlegten Wertebereichen berechnet:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort: 8	Innsbruck	
Gebäudeart: 3	Mehrfamilienhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]: 3	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3
Raumart (betrachteter Raum): 3	Wohnzimmer	
Fläche (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	29 +/- 15
Höhe (betrachteter Raum) [m]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2,5 +/- 0,1
Fläche öffentbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	8,8 +/- 5,8
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,9 +/- 1,2
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2 bis 4
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 4
Aktivität Erwachsene [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,2 +/- 0,1
Anzahl Kinder: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 4
Aktivität Kinder [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,2 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	9,3 +/- 6,1

Ergebnis CO2 Bewertung		F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:		Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:		64 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:		120 Minuten
Ergebnis natürlicher Luftwechsel		Medianwerte
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m³/h]:		3,8
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:		0,05
Zeit bis CO2-Stundenmittelwert=1400 ppm - realistisches Lüften [min]:		64
Zeit bis CO2-Momentanwert=1400 ppm - realistisches Lüften [min]:		35

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 1,5 m³/h, und für 5% der Fälle größer 8,6 m³/h.
 Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,3 1/h.
 Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 23 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 148 min.

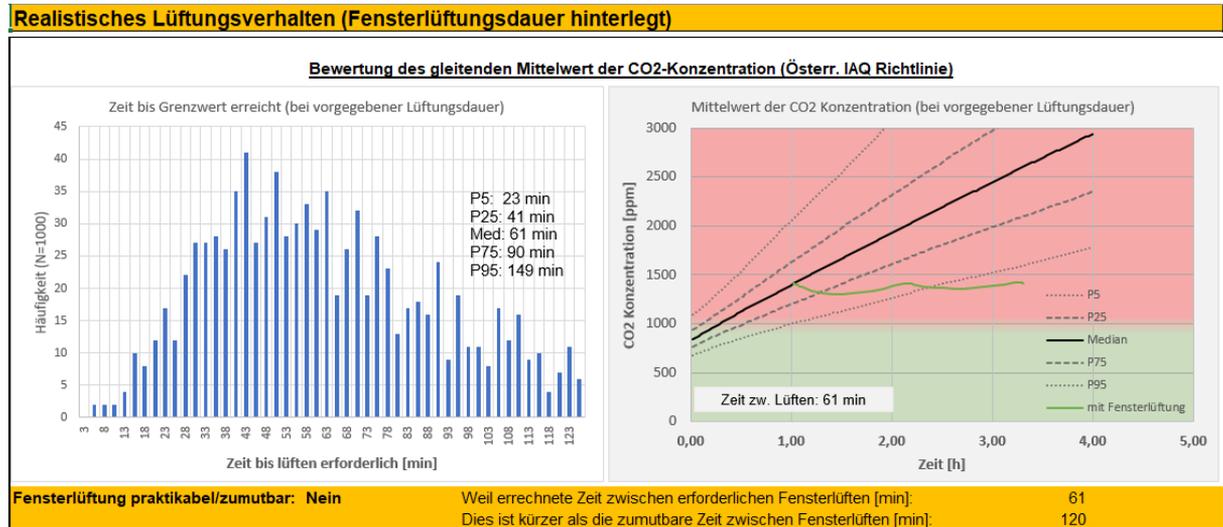
Expertenmodus: Mit einer zusätzlichen Luftmenge von 42 m³/h würde die Anforderung erfüllt:

Check (nicht Teil des Online Tools / nur Expertenmodus)	
Vorgabe zusätzlicher Zuluftvolumenstrom [m³/h]	42

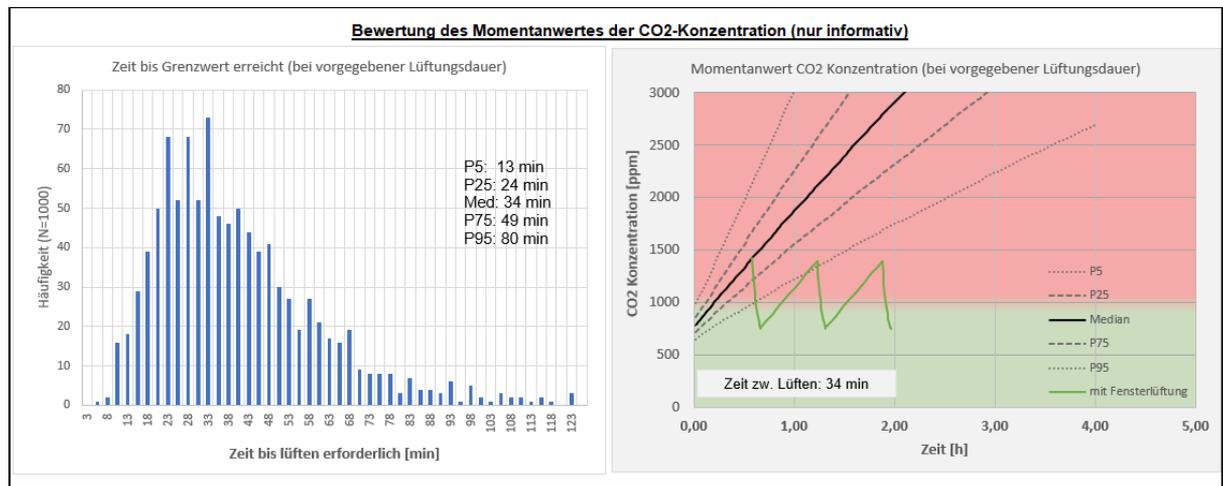
Ergebnis CO2 Bewertung		F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:		Ja
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:		> zumutbarer Zeit
Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:		120 Minuten

Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften mit variabler Zeit) und individuellem Lüftungsvorgang:

Nach 61 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

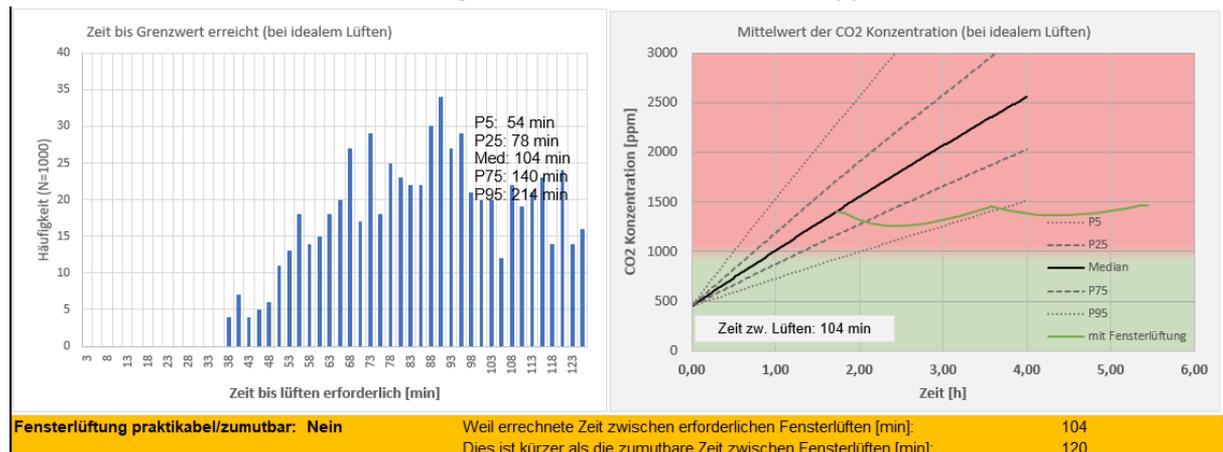


Nach 34 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

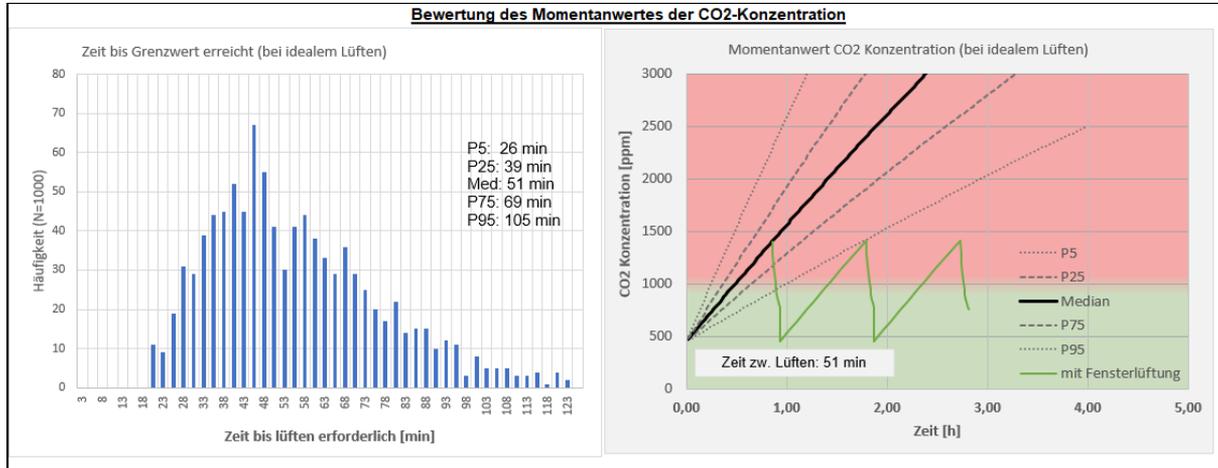


Ideales Lüften – jedes Lüften erreicht CO₂-Werte von 450 ppm:

Nach 104 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:



Nach 51 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:



9.1.2. Für eine konkrete Situation – mit Variationen: Wohnzimmer – MFH Neubau

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)	Eigene Eingaben
Standort:	Innsbruck		
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3	
Raumart (betrachteter Raum):	Wohnzimmer		
Fläche (betrachteter Raum) [m²]:	Wert eingeben ->		20
Höhe (betrachteter Raum) [m]:	Wert eingeben ->		2,5
Fläche öffentbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]:	Wert eingeben ->		10
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum):	3: mit guter Dichtung		
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung	Querlüftung	
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	Wert eingeben ->		5
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss):	Städtische Struktur		
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss):	Moderat windgeschützt		
Eingaben Personen für betrachteten Raum			
Anzahl Erwachsene:	Wert eingeben ->		2
Aktivität Erwachsene [met]:	Sitzend entspannt	1,0 +/- 0,0	
Anzahl Kinder:	Wert eingeben ->		1
Aktivität Kinder [met]:	Sitzend entspannt	1,0 +/- 0,0	
Mittleres Alter der Kinder [a]:	Wert eingeben ->		12

Ergebnis CO2 Bewertung F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:

	Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	78 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120 Minuten

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 2,2 m³/h, und für 5% der Fälle größer 5,5 m³/h.
 Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,1 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,2 1/h.
 Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 55 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 93 min.

Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften mit variabler Zeit) und individuellem Lüftungsvorgang:

Nach 78 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

Realistisches Lüftungsverhalten (Fensterlüftungsdauer hinterlegt)

Standort:	Innsbruck	Fläche (Avg) [m²]:	20
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus	n50-Wert (Raum) [1/h]:	1,8 +/- 0,7
Raumart (betrachteter Raum):	Wohnzimmer	Anzahl Kinder:	1
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3	Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	5,0
Anzahl Erwachsene:	2		
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung		

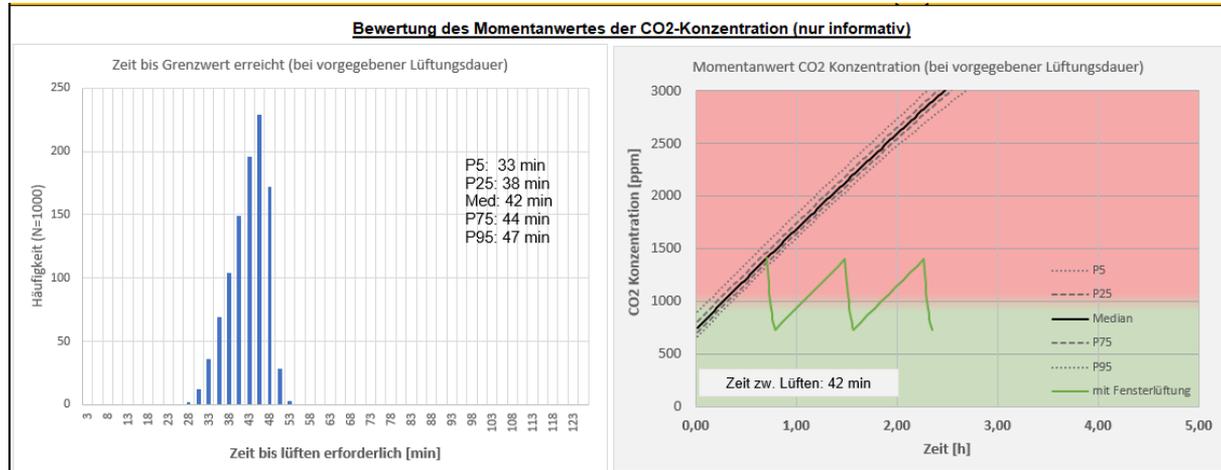
Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO₂-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)

Zeit bis Grenzwert erreicht (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

Mittelwert der CO₂ Konzentration (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

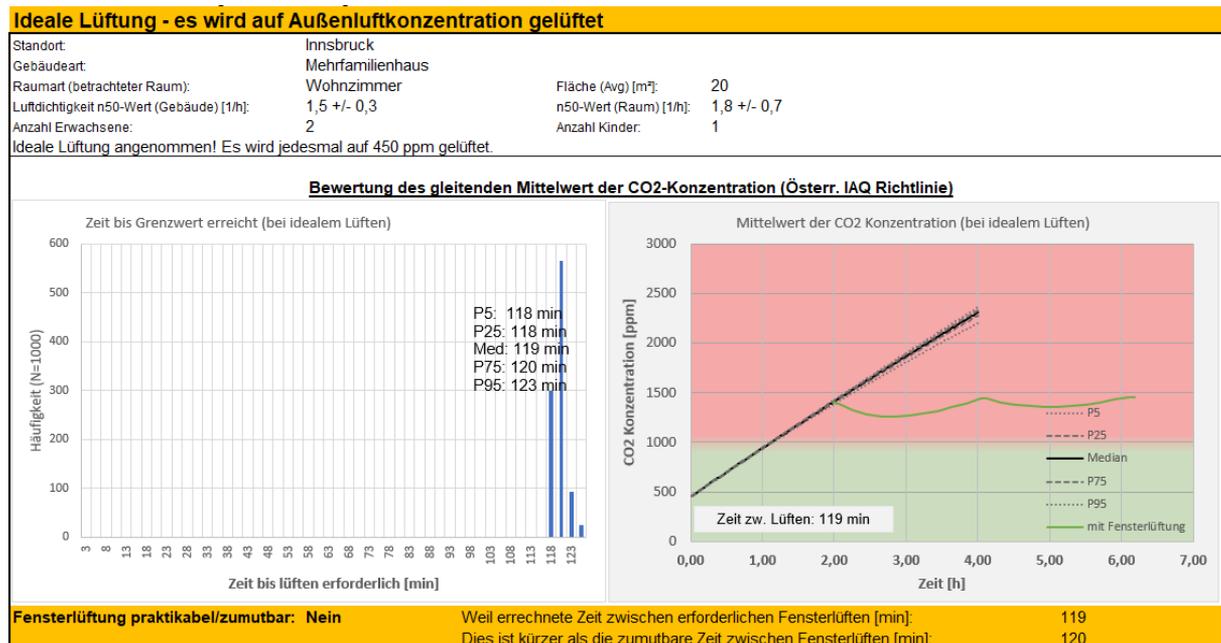
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Nein	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	78
	Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120

Nach 42 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

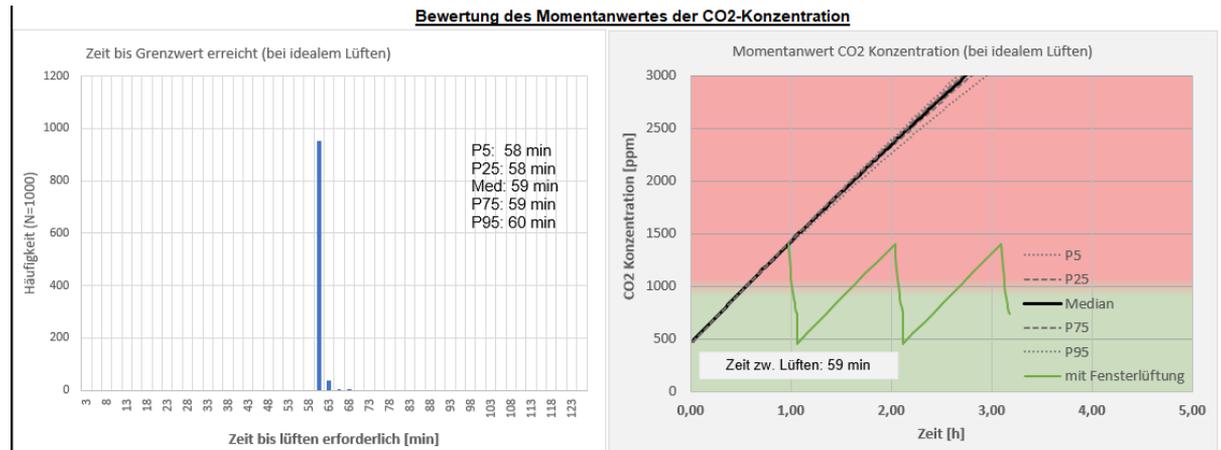


Ideales Lüften – jedes Lüften erreicht CO₂-Werte von 450 ppm:

Nach 119 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:



Nach 59 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:



Erhöhung der Fläche auf 25 m² – alle anderen Werte unverändert:

Fläche (betrachteter Raum) [m²]: -1

Ergebnis CO2 Bewertung

F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	101 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120 Minuten

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 2,1 m³/h, und für 5% der Fälle größer 6,4 m³/h.
 Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,2 1/h.
 Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 75 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 119 min.

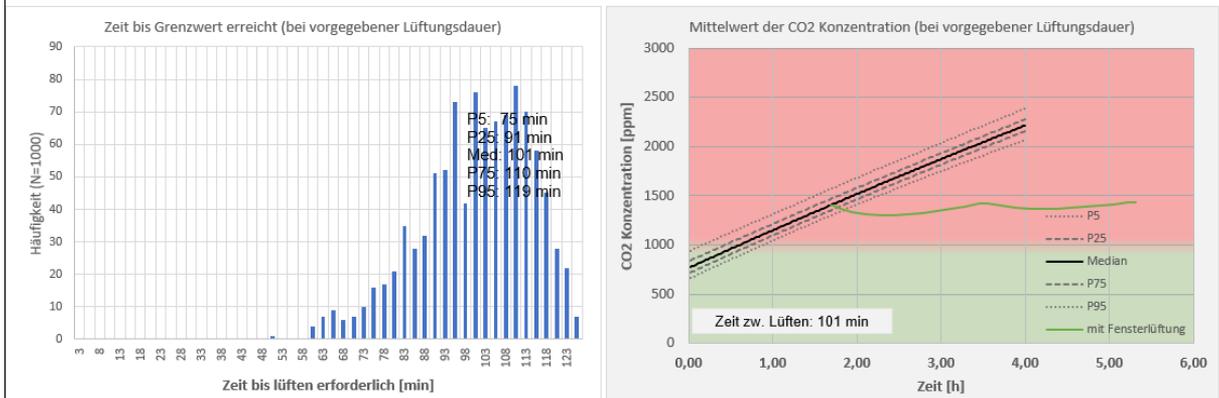
Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften mit variabler Zeit) und individuellem Lüftungsvorgang:

Nach 101 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

Realistisches Lüftungsverhalten (Fensterlüftungsdauer hinterlegt)

Standort:	Innsbruck		
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus		
Raumart (betrachteter Raum):	Wohnzimmer	Fläche (Avg) [m ²]:	25
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3	n50-Wert (Raum) [1/h]:	1,9 +/- 0,7
Anzahl Erwachsene:	2	Anzahl Kinder:	1
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung	Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	5,0

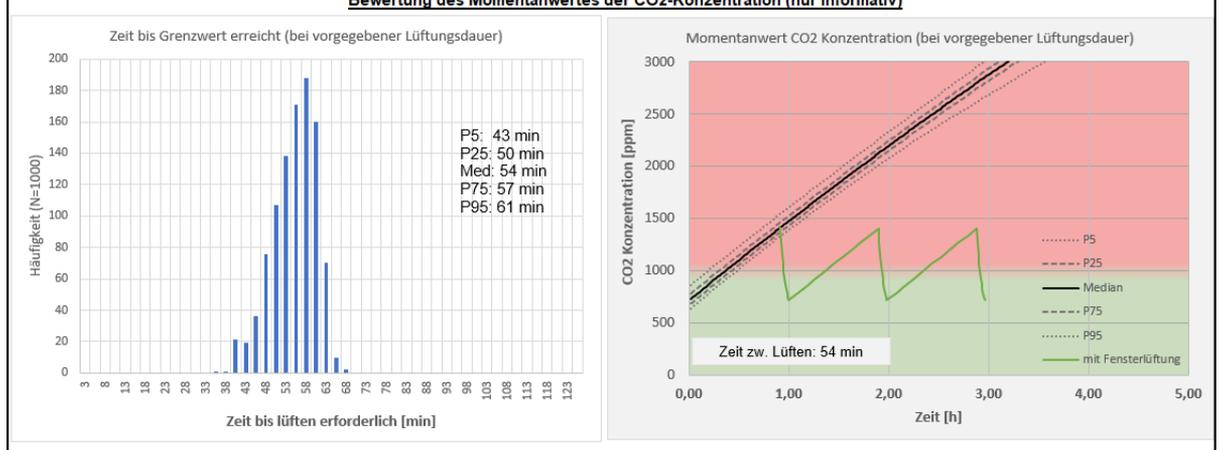
Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO₂-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)



Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Nein	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	101
	Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120

Nach 54 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

Bewertung des Momentanwertes der CO₂-Konzentration (nur informativ)



Erhöhung der Fläche auf 30 m² – alle anderen Werte unverändert:

Fläche (betrachteter Raum) [m²]: -1

Ergebnis CO2 Bewertung

F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Ja
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	> zumutbarer Zeit
Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120 Minuten

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 2,7 m³/h, und für 5% der Fälle größer 7,6 m³/h.
 Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,3 1/h.
 Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 94 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 149 min.

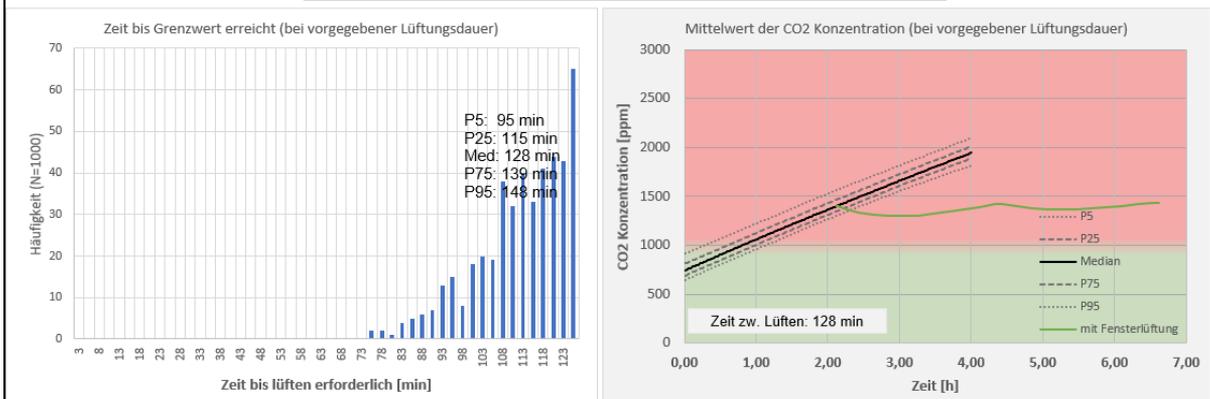
Realistische Fensterlüftung

Nach 128 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

Realistisches Lüftungsverhalten (Fensterlüftungsdauer hinterlegt)

Standort:	Innsbruck		
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus		
Raumart (betrachteter Raum):	Wohnzimmer	Fläche (Avg) [m ²]:	30
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3	n50-Wert (Raum) [1/h]:	1,8 +/- 0,7
Anzahl Erwachsene:	2	Anzahl Kinder:	1
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung	Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	5,0

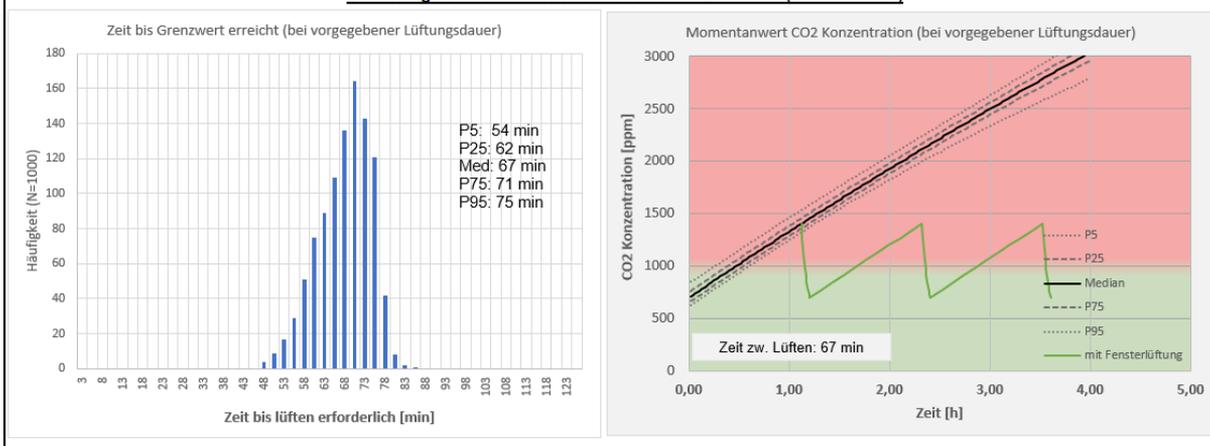
Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO2-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)



Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Ja	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	> zumutbarer Zeit
	Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120

Nach 67 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

Bewertung des Momentanwertes der CO2-Konzentration (nur informativ)



Resümee Wohnzimmer: Im Wohnzimmerbereich kann durch größere Wohnzimmer bzw. einen offenen Raumverbund mit der Küche die praktikable/zumutbare Zeit einer Fensterlüftung von 2 Std. auch ohne mechanische Lüftung erreicht werden.

9.1.3. Wohnbau: Luftqualität Schlafzimmer MFH – Neubau

Mit hinterlegten Wertebereichen berechnet:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort: 1	Wien	
Gebäudeart: 3	Mehrfamilienhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]: 3	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3
Raumart (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Schlafzimmer
Fläche (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	15 +/- 7
Höhe (betrachteter Raum) [m]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2,5 +/- 0,1
Fläche offenbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,5 +/- 2,9
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	5,0 +/- 1,3
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 2
Aktivität Erwachsene [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Anzahl Kinder: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0 bis 1
Aktivität Kinder [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,0 +/- 1,0

Ergebnis CO2 Bewertung	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	73 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	480 Minuten

Ergebnis natürlicher Luftwechsel	Medianwerte
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m³/h]:	2,1
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:	0,06
Zeit bis CO2-Stundenmittelwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	73
Zeit bis CO2-Momentanwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	42

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 0,9 m³/h, und für 5% der Fälle größer 5,2 m³/h.

Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,2 1/h.

Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 23 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 188 min.

Expertenmodus: Mit einer zusätzlichen Luftmenge von 40 m³/h würde die Anforderung erfüllt:

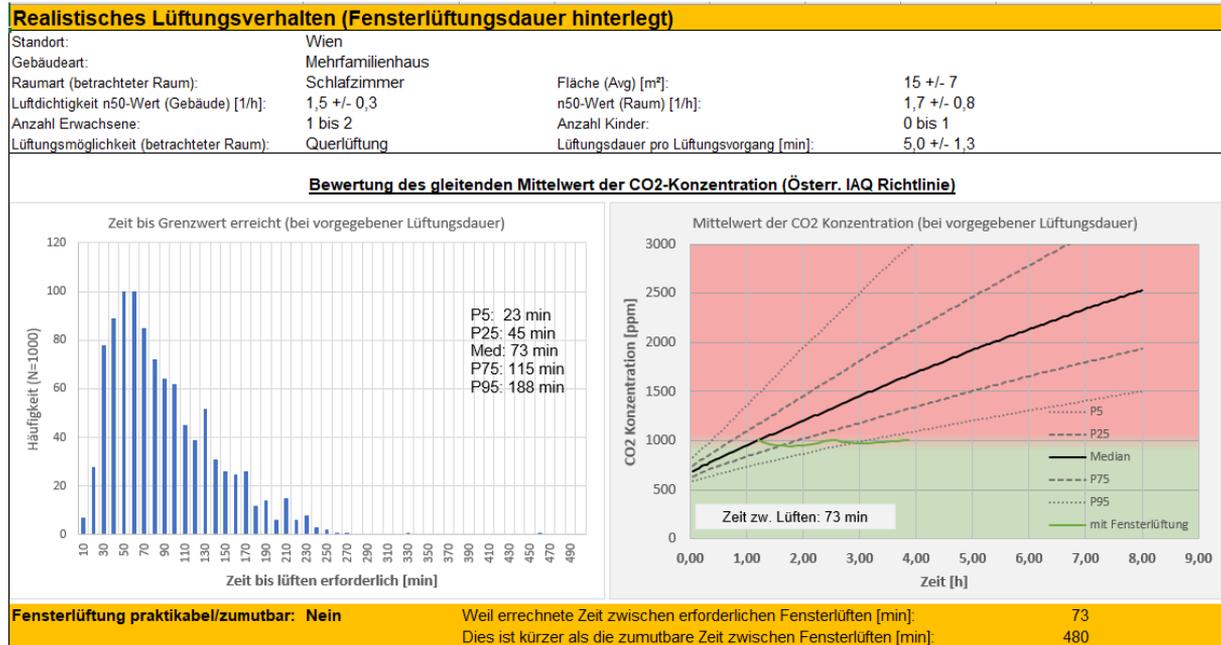
Check (nicht Teil des Online Tools / nur Expertenmodus)	
Vorgabe zusätzlicher Zuluftvolumenstrom [m³/h]	40

Ergebnis CO2 Bewertung	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Ja
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	> zumutbarer Zeit
Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	480 Minuten

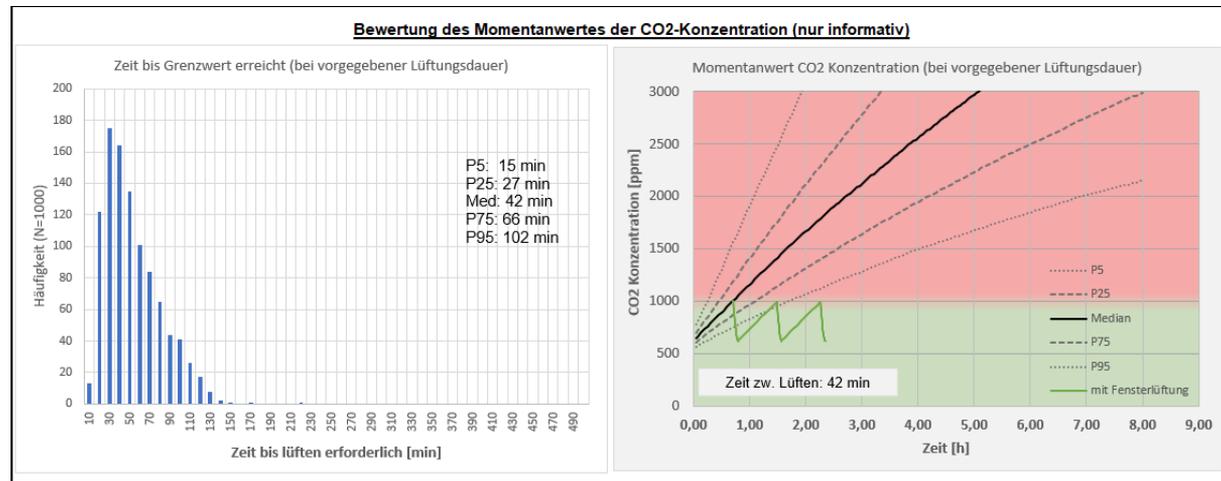
CO2 Konzentration im stationären Fall (t→∞) [ppm]:	966
--	-----

Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften) und individuellem Lüftungsvorgang mit variabler Zeit:

Nach 73 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:



Nach 42 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht.



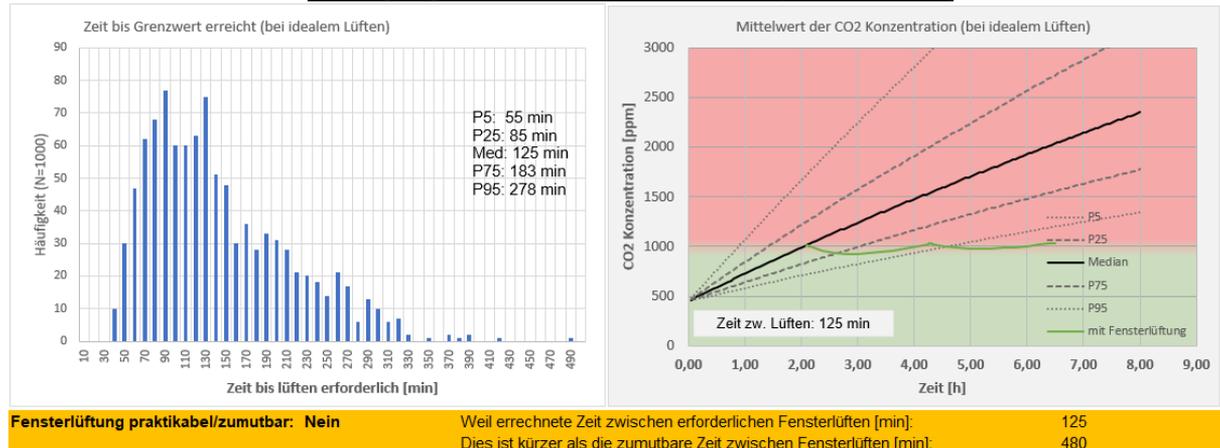
Ideales Lüften – jedes Lüften erreicht CO₂-Werte von 450 ppm:

Nach 125 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:

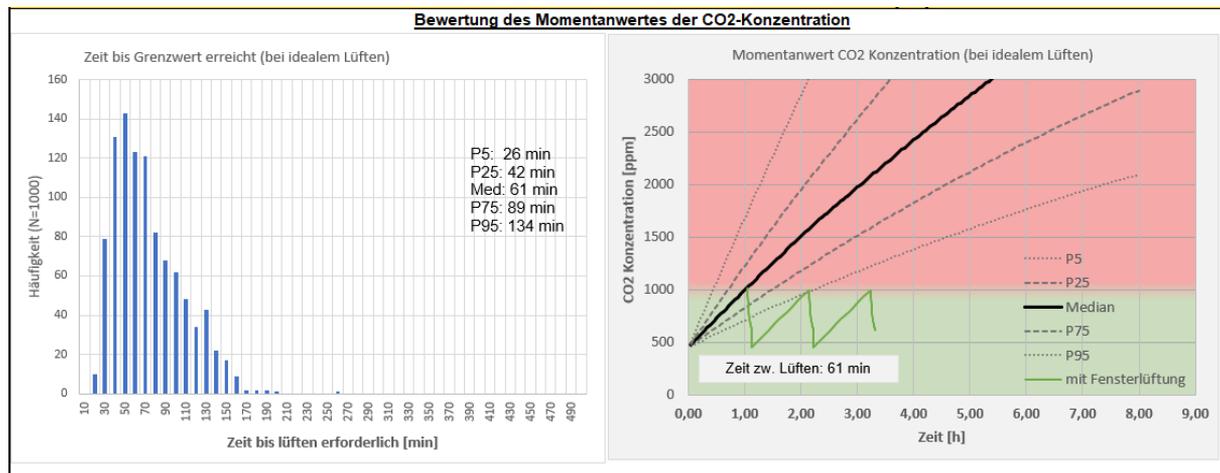
Ideale Lüftung - es wird auf Außenluftkonzentration gelüftet

Standort:	Wien		
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus		
Raumart (betrachteter Raum):	Schlafzimmer	Fläche (Avg) [m ²]:	15 +/- 7
Luftdichtheit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3	n50-Wert (Raum) [1/h]:	1,7 +/- 0,8
Anzahl Erwachsene:	1 bis 2	Anzahl Kinder:	0 bis 1
Ideale Lüftung angenommen! Es wird jedesmal auf 450 ppm gelüftet.		450	

Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO₂-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)



Nach 61 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:



Für eine konkrete Situation – mit Variationen: Schlafzimmer – MFH Neubau

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)	Eigene Eingaben
Standort:	1	Wien	
Gebäudeart:	3	Mehrfamilienhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	4	Neubau - eher dicht	0,8 +/- 0,1
Raumart (betrachteter Raum):	1	Schlafzimmer	
Fläche (betrachteter Raum) [m²]:	-1	Wert eingeben ->	16
Höhe (betrachteter Raum) [m]:	-1	Wert eingeben ->	2,5
Fläche öffentbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]:	0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,7 +/- 2,0
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum):	3	3: mit guter Dichtung	
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	1	Querlüftung	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	-1	Wert eingeben ->	10
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss):	4	Städtische Struktur	
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss):	3	Moderat windgeschützt	
Eingaben Personen für betrachteten Raum			
Anzahl Erwachsene:	-1	Wert eingeben ->	2
Aktivität Erwachsene [met]:	1	Ruhend	0,8 +/- 0,0
Anzahl Kinder:	-1	Wert eingeben ->	0
Aktivität Kinder [met]:	0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]:	0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,0 +/- 1,1

Ergebnis CO2 Bewertung

F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	75 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	480 Minuten

Ergebnis natürlicher Luftwechsel

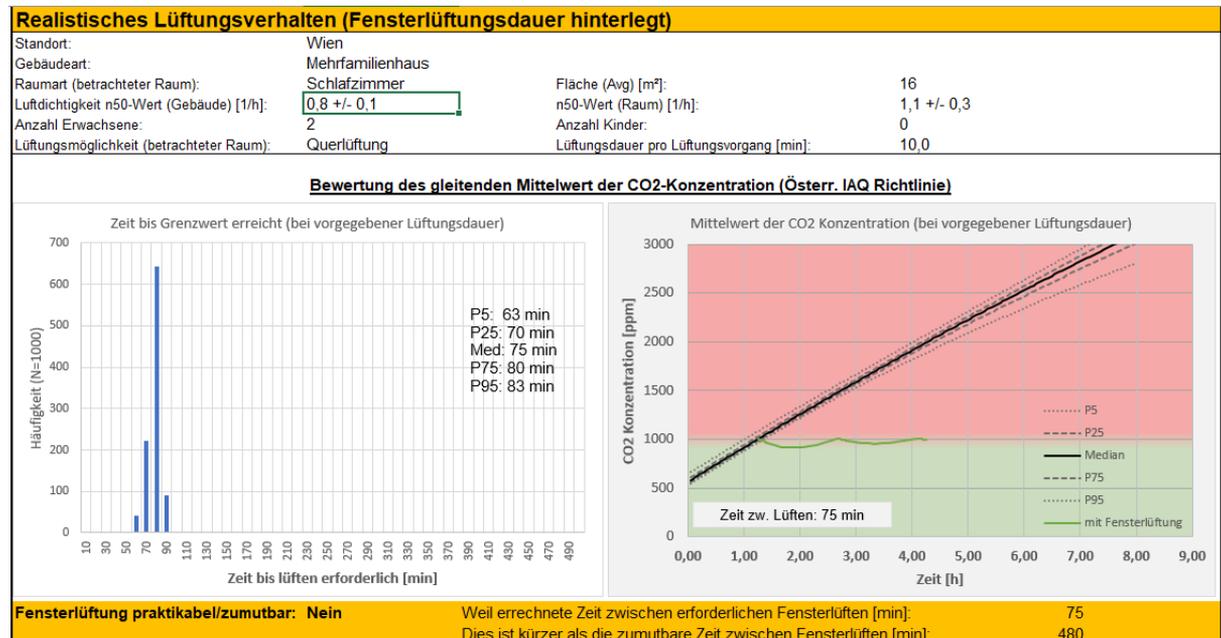
	Medianwerte
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m³/h]:	1,9
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:	0,05
Zeit bis CO2-Stundenmittelwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	75
Zeit bis CO2-Momentanwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	38

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 1,0 m³/h, und für 5% der Fälle größer 3,7 m³/h.
 Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,1 1/h.
 Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 63 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 83 min.

Realistische Fensterlüftung

Nach 73 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:



Erhöhung der Fläche auf 25 m² – alle anderen Werte unverändert:

Fläche (betrachteter Raum) [m²]:

Ergebnis CO2 Bewertung		<i>F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru</i>
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:		Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:		128 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:		480 Minuten
Ergebnis natürlicher Luftwechsel		<i>Medianwerte</i>
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m ³ /h]:		2,8
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:		0,05
Zeit bis CO2-Stundenmittelwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:		128
Zeit bis CO2-Momentanwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:		64

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 1,6 m³/h, und für 5% der Fälle größer 5,9 m³/h.

Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,2 1/h.

Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 110 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 138 min.

Nach 128 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:

Realistisches Lüftungsverhalten (Fensterlüftungsdauer hinterlegt)

Standort:	Wien		
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus		
Raumart (betrachteter Raum):	Schlafzimmer	Fläche (Avg) [m ²]:	25
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	0,8 +/- 0,1	n50-Wert (Raum) [1/h]:	1,1 +/- 0,3
Anzahl Erwachsene:	2	Anzahl Kinder:	0
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung	Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	10,0

Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO2-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)

Zeit bis Grenzwert erreicht (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

P5: 108 min
 P25: 120 min
 Med: 128 min
 P75: 133 min
 P95: 138 min

Mittelwert der CO2 Konzentration (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

Zeit zw. Lüften: 128 min

Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Nein	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	128
	Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	480

Bewertung des Momentanwertes der CO2-Konzentration (nur informativ)

Zeit bis Grenzwert erreicht (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

P5: 56 min
 P25: 61 min
 Med: 64 min
 P75: 66 min
 P95: 68 min

Momentanwert CO2 Konzentration (bei vorgegebener Lüftungsdauer)

Zeit zw. Lüften: 64 min

Erhöhung der Fläche auf 80 m² (z.B. alle Türen in der Wohnung offen, gesamter Bereich durchgelüftet) – alle anderen Werte unverändert:

Fläche (betrachteter Raum) [m²]: -1

Ergebnis CO2 Bewertung		<i>F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru</i>
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Ja	
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	> zumutbarer Zeit	
Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	480 Minuten	
Ergebnis natürlicher Luftwechsel		<i>Medianwerte</i>
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m ³ /h]:	9,1	
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:	0,05	
Zeit bis CO2-Stundenmittelwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	> zumutbarer Zeit	
Zeit bis CO2-Momentanwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	236	
<u>Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse</u>		
Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 5,1 m ³ /h, und für 5% der Fälle größer 18,2 m ³ /h.		
Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,2 1/h.		
Zumutbar für 52% der Fälle. Aber für 48% der Fälle wird der CO2-StdMW vor der zumutbaren Zeit erreicht.		

Nach 483 Minuten ist im Median jeweils der Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:

Realistisches Lüftungsverhalten (Fensterlüftungsdauer hinterlegt)						
Standort:	Wien					
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus					
Raumart (betrachteter Raum):	Schlafzimmer	Fläche (Avg) [m ²]:	80			
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	0,8 +/- 0,1	n50-Wert (Raum) [1/h]:	1,1 +/- 0,3			
Anzahl Erwachsene:	2	Anzahl Kinder:	0			
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung	Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	10,0			
<u>Bewertung des gleitenden Mittelwert der CO2-Konzentration (Österr. IAQ Richtlinie)</u>						
<p>Zeit bis Grenzwert erreicht (bei vorgegebener Lüftungsdauer)</p>		<p>Mittelwert der CO2 Konzentration (bei vorgegebener Lüftungsdauer)</p>				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Ja</td> <td style="width: 33%;">Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]: > zumutbarer Zeit</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]: 480</td> </tr> </table>				Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Ja	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]: > zumutbarer Zeit	Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]: 480
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar: Ja	Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]: > zumutbarer Zeit	Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]: 480				

Resümee Schlafzimmer: Auch bei sehr großen Schlafzimmern kann das Lüftungsintervall von 8 Std. zur Erreichung einer akzeptablen Raumluftqualität nicht erreicht werden. Erst, wenn z.B. eine größere Wohnung als kompletter Raumverbund (dauerhaft vollständig geöffnete Zimmertüren) für 2 Personen eingegeben wird, würde der Zeitraum von 8 Std. zwischen zwei Fensterlüftungen erreicht werden.

9.1.4. Schule: Klassenzimmer

Mit hinterlegtem Wertebereich:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort: 1	Wien	
Gebäudeart: 5	Schule/Kindergarten	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]: 3	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3
Raumart (betrachteter Raum): 4	Klassen-/Gruppenraum	
Fläche (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	70 +/- 6
Höhe (betrachteter Raum) [m]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3,3 +/- 0,2
Fläche öffentbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	20,9 +/- 8,8
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,9 +/- 1,3
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 2
Aktivität Erwachsene [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,2 +/- 0,1
Anzahl Kinder: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	15 bis 25
Aktivität Kinder [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,2 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a] 0	Hinterlegter Wertebereich ->	12,2 +/- 4,2

Ergebnis CO2 Bewertung		F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Nein	
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	15 Minuten	
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	45 Minuten	
Ergebnis natürlicher Luftwechsel		<i>Medianwerte</i>
errechnete Luftmenge aufgrund natürliche Lüftung [m³/h]:	12,5	
errechneter natürlicher Luftwechsel [1/h]:	0,06	
Zeit bis CO2-Stundenmittelwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	15	
Zeit bis CO2-Momentanwert=1000 ppm - realistisches Lüften [min]:	9	

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 6,3 m³/h, und für 5% der Fälle größer 27,5 m³/h.

Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,0 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,3 1/h.

Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 1 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 32 min.

Expertenmodus: Mit einer zusätzlichen Luftmenge von 500 m³/h würde die Anforderung erfüllt:

Check (nicht Teil des Online Tools / nur Expertenmodus)	
Vorgabe zusätzlicher Zuluftvolumenstrom [m³/h]	500

Ergebnis CO2 Bewertung		F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Ja	
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	> zumutbarer Zeit	
Dies ist länger als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	45 Minuten	

CO2 Konzentration im stationären Fall (t→∞) [ppm]: 1120

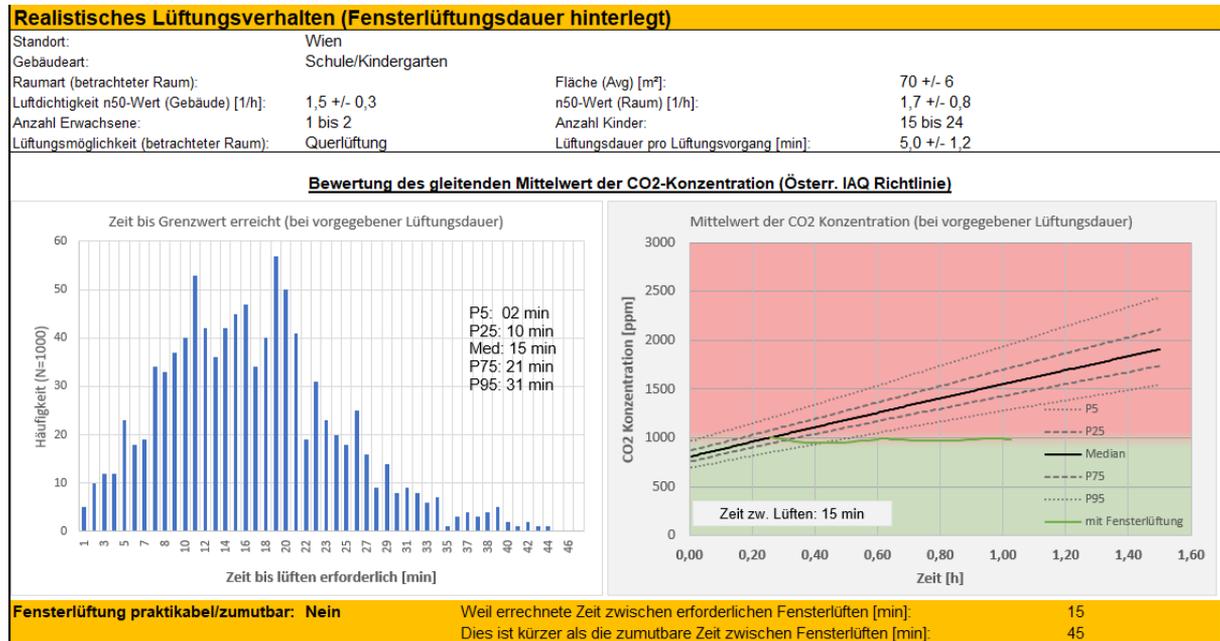
Eine zusätzliche Luftmenge von 650 m³/h ergibt Momentanwerte unter 1000 ppm CO₂

Check (nicht Teil des Online Tools / nur Expertenmodus)	
Vorgabe zusätzlicher Zuluftvolumenstrom [m³/h]	650

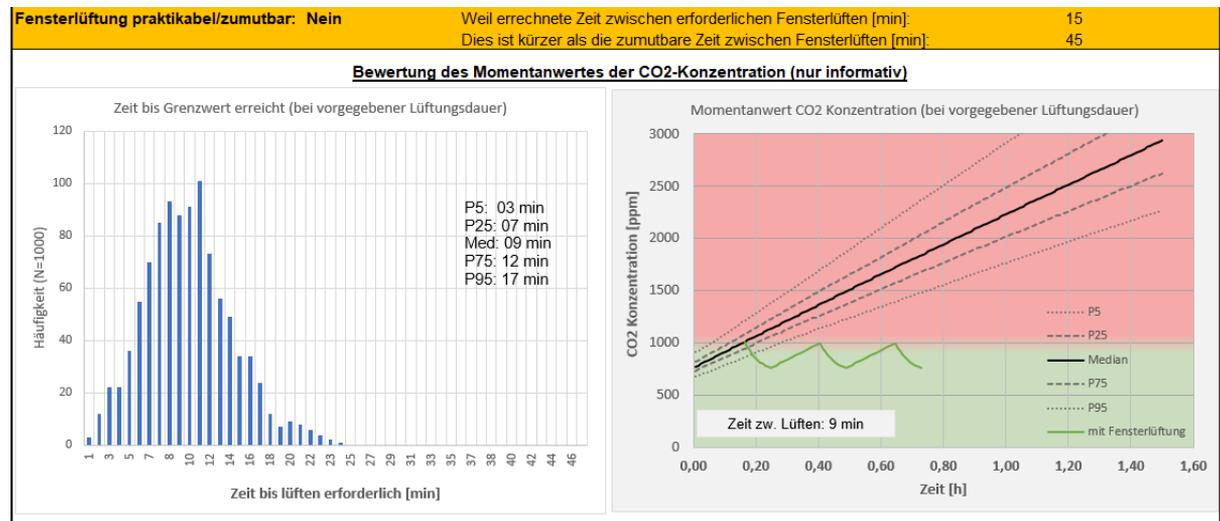
CO2 Konzentration im stationären Fall (t→∞) [ppm]: 972

Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften) und individuellem Lüftungsvorgang mit variabler Zeit:

Nach 15 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:

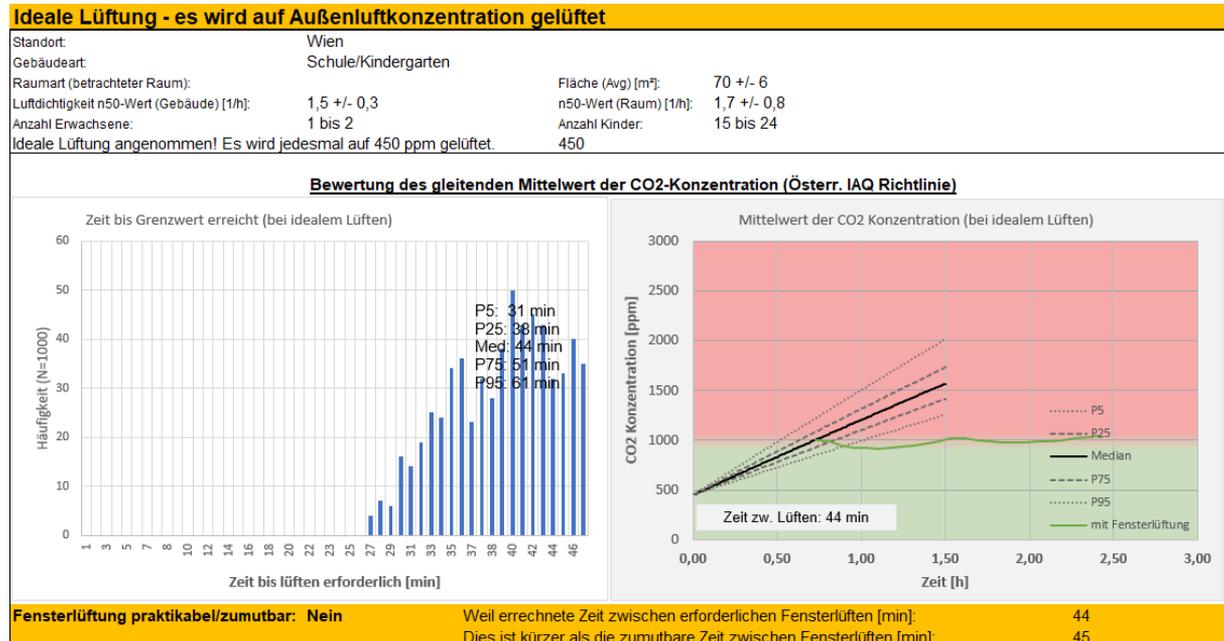


Nach 9 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:

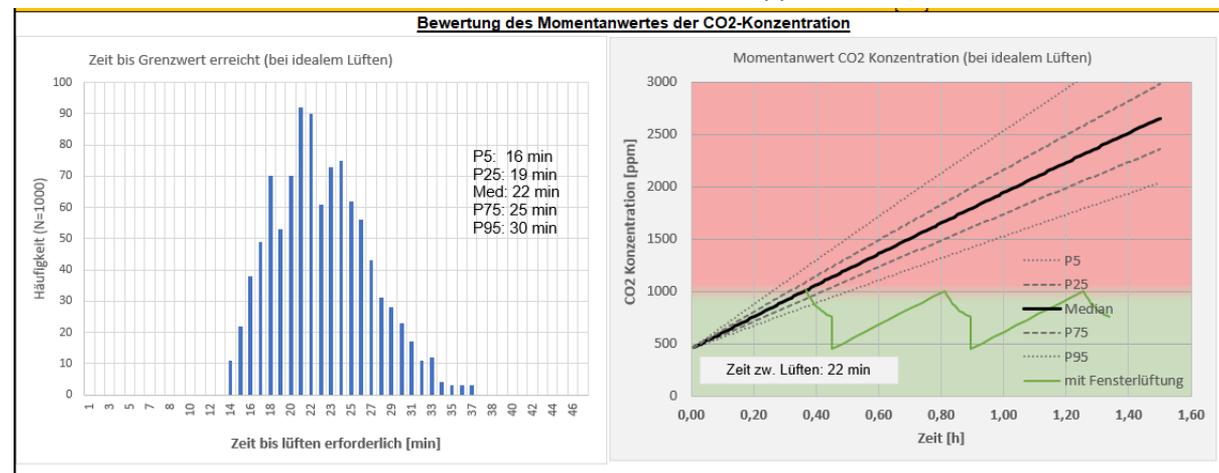


Ideales Lüften – jedes Lüften erreicht CO₂-Werte von 450 ppm:

Nach 44 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:



Nach 22 Minuten ist im Median der Momentanwert von 1.000 ppm CO₂ erreicht:



Resümee Klassenzimmern: Auch bei sehr großen Klassenzimmern kann das Lüftungsintervall von 45 Minuten nicht erreicht werden. Es benötigt immer eine zusätzliche Lüftung, um die CO₂-Anforderungen während einer Unterrichtsstunde ohne zusätzliche Fensterlüftung einzuhalten.

9.2. Beispielhafte Ergebnisse Schimmelrisiko

9.2.1. Wohnbau: Feuchte MFH – Neubau

Mit hinterlegten Wertebereichen berechnet:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort:	1 Wien	
Gebäudeart:	3 Mehrfamilienhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	3 Standard Neubau	1,5 +/- 0,2
Raumart (betrachteter Raum):	0 Hinterlegte Annahme ->	Schlafzimmer
Fläche (betrachteter Raum) [m²]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	15 +/- 4
Höhe (betrachteter Raum) [m]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	2,5 +/- 0,0
Fläche öffnenbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	4,6 +/- 1,8
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum):	0 Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	0 Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	5,0 +/- 0,8
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss):	0 Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss):	0 Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 5
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 2
Aktivität Erwachsene [met]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Anzahl Kinder:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	0 bis 1
Aktivität Kinder [met]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	1,0 +/- 0,7

Eingaben für Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	Auswahl (Dropdown menu)	
Berechnung durchführen:	1 Ja	
Wärmebrücken / fRSI-Wert:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	#WERT!
Feuchtelast [l/d]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	4,7 +/- 2,0
Feuchtequellstärke pro m² bei Anwesenheit [g/(hm²)]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	0,6 +/- 0,2
Feuchtequellstärke pro Pers bei Anwesenheit [g/(hPers)]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	62 +/- 8
Feuchtequellstärke pro m² bei Abwesenheit [g/(hm²)]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	0,3 +/- 0,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	87 +/- 22
Personenanzahl (gesamter Wohneinheit):	0 Hinterlegter Wertebereich ->	2,3 +/- 1,1
Lüftungsmöglichkeit (gesamter Wohneinheit):	0 Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	15,1 +/- 3,8
Mittlere Raumtemperatur in gesamten Wohneinheit [°C]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	21,0 +/- 0,8
Raumtemperatur im kühlestem Raum [°C]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	19,0 +/- 0,8
Minimale Raumtemperatur bei längerer Abwesenheit [°C]:	0 Hinterlegter Wertebereich ->	17,0 +/- 0,8

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	13,4%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	32

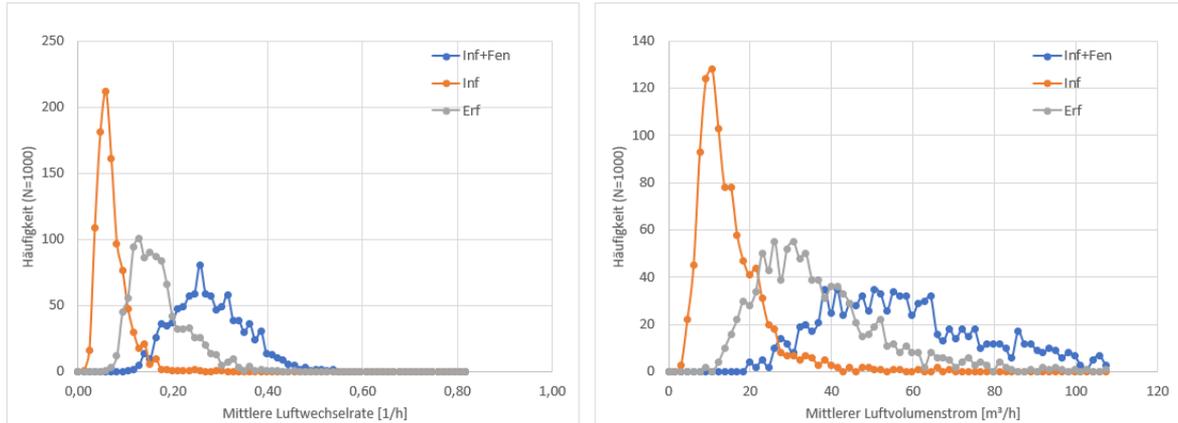
Risiko ist hoch. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)	Medianwerte
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	33
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	12
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:	95%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:	55
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:	13,4%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	32
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	223

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

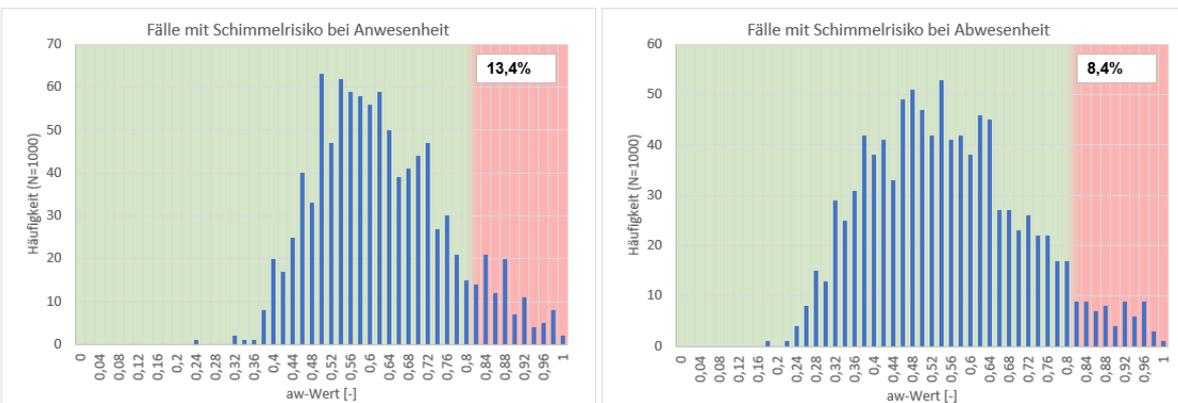
Standort:	Wien	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	15,0 +/- 6,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m ²]:	87 +/- 33		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	4,5 +/- 2,7		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	94,8%	8,4%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	13,4%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	32	6
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	223	47

Variation der Feuchtelast – alle anderen Werte unverändert: Feuchte Wohnbau – MFH – Neubau

Feuchtelast [l/d]: 3 5,3 +/- 2,0

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau) F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru

Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit

Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:
21,5%

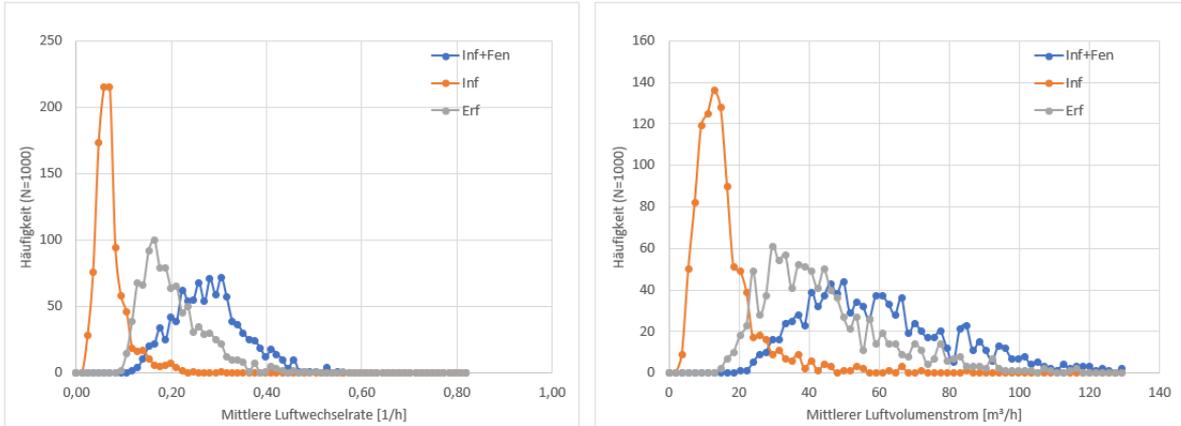
38

Risiko ist mittel. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

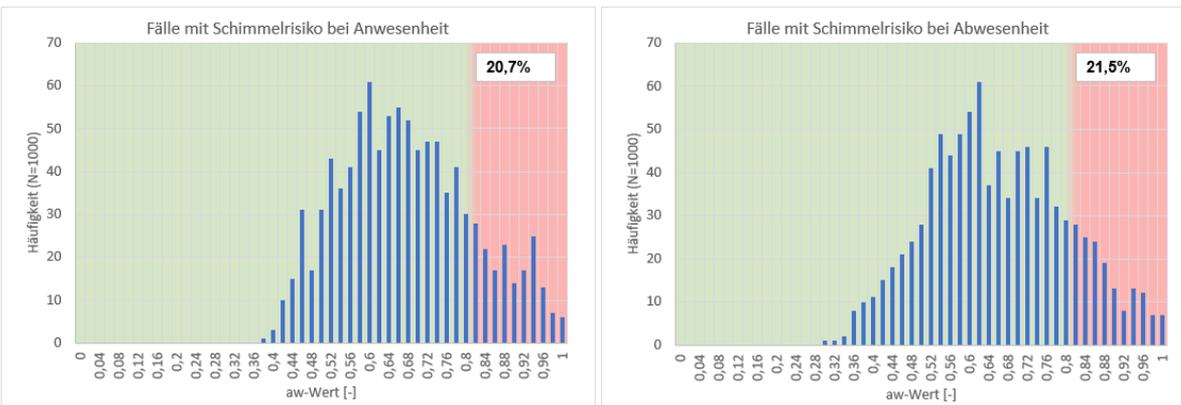
Standort:	Wien	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	14,9 +/- 6,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	88 +/- 37		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	5,4 +/- 3,3		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	96,3%	21,5%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	20,7%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	38	7
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	266	60

Feuchtelast [l/d]: 1 Niedrig 3,8 +/- 1,5

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)

F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru

Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit

6,5%

Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:

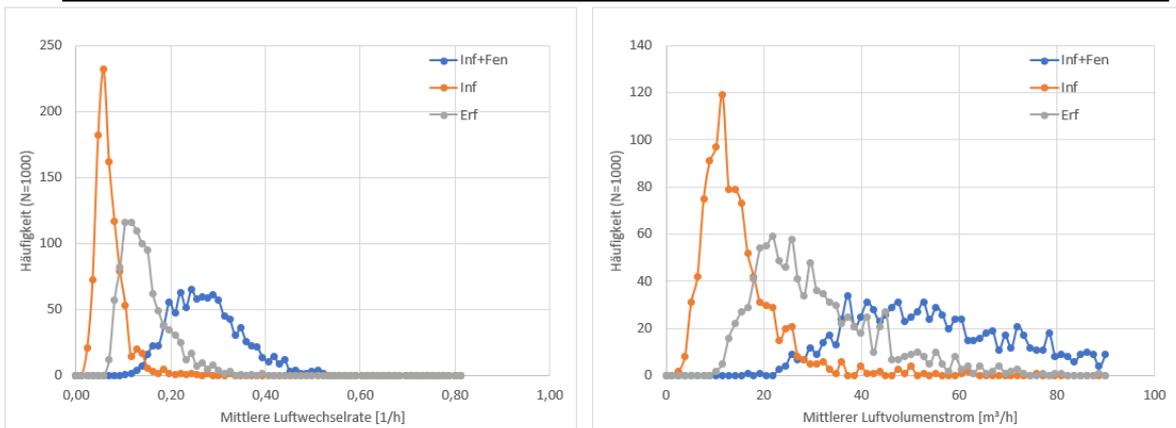
21

Risiko ist mittel. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

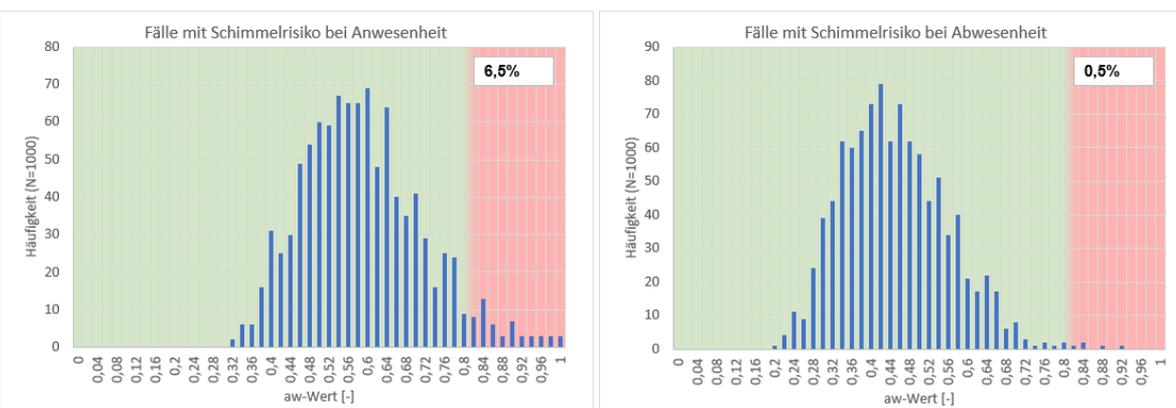
Standort:	Wien	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	14,9 +/- 6,4
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	87 +/- 35		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	3,8 +/- 2,4		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	92,9%	0,5%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	6,5%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	21	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	164	0

Verbesserung der Wärmebrückensituation und wieder Variation der Feuchtelast – alle anderen Werte unverändert: Feuchte Wohnbau – MFH – Neubau

Feuchtelast [l/d]: 3 5,3 +/- 2,0

Wärmebrücken / fRSI-Wert 5 0,9 +/- 0,03

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	7,5%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	21

Risiko ist mittel. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)	Medianwerte
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	27
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	12
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:	92%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:	56
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:	6,7%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	21
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	145

Feuchtelast [l/d]: 2 4,6 +/- 1,8

Wärmebrücken / fRSI-Wert 5 0,9 +/- 0,03

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	2,2%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	3

Risiko ist mittel. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)	Medianwerte
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	23
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	12
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:	87%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:	54
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:	2,2%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	3
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	23

Feuchtelast [l/d]: 1 3,8 +/- 1,5

Wärmebrücken / fRSI-Wert 5 0,9 +/- 0,02

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	0,9%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0

Risiko ist mittel. Anwesenheitsfall ist problematischer.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)

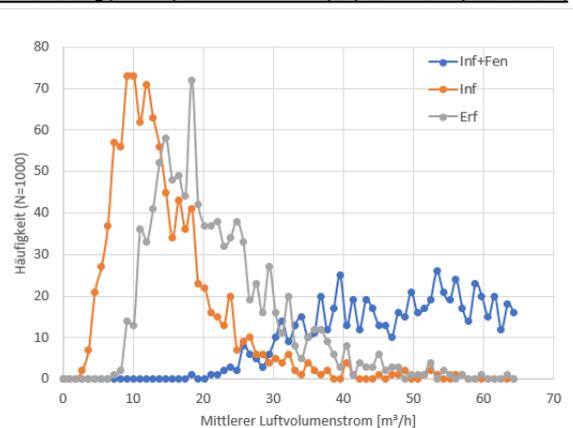
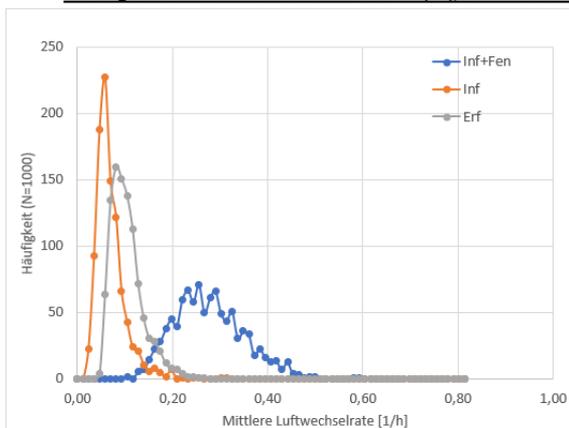
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:
 Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:
 Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:
 dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:

Medianwerte	
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	19
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	12
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:	79%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:	56
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:	0,9%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	0

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

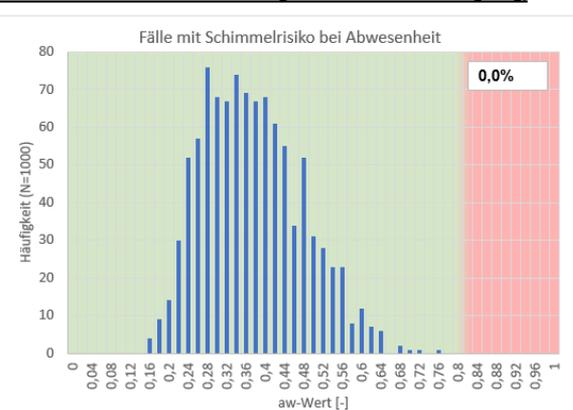
Standort:	Wien	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	15,0 +/- 6,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	87 +/- 35		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	3,9 +/- 2,5		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	79,2%	0,0%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	0,9%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	0	0

Resümee MFH: Beim Standard Neubau ist fast immer der Anwesenheitsfall kritischer. Auch bei niedrigen Feuchtelasten bleibt man beim MFH, Standard Neubau in der Regel immer noch im kritischen Bereich für das Schimmelrisiko (über 5%). Erst durch eine Bauweise mit minimalen Wärmebrücken und niedrige Feuchtelasten erhält man Schimmelfreiheit (Schimmelrisiko unter 1%).

9.2.2. Wohnbau: Feuchte EFH – Neubau

Mit hinterlegtem Wertebereich:

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Standort: 14	Leoben	
Gebäudeart: 2	Infamilienhaus/Reihenhaus	
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]: 3	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3
Raumart (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Schlafzimmer
Fläche (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	15 +/- 7
Höhe (betrachteter Raum) [m]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2,5 +/- 0,1
Fläche öffnbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,6 +/- 3,0
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3 bis 4
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	4,9 +/- 1,2
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2 bis 3
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss) 0	Hinterlegter Wertebereich ->	2 bis 3
Eingaben Personen für betrachteten Raum		
Anzahl Erwachsene: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1 bis 2
Aktivität Erwachsene [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Anzahl Kinder: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0 bis 1
Aktivität Kinder [met]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,8 +/- 0,1
Mittleres Alter der Kinder [a]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	1,0 +/- 1,1

Eingaben für Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	Auswahl (Dropdown menu)	hinterlegte Werte(bereiche)
Berechnung durchführen: 1	Ja	
Wärmebrücken / fRSI-Wert 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,7 +/- 0,06
Feuchtelast [l/d]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	7,1 +/- 3,8
Feuchtequellstärke pro m² bei Anwesenheit [g/(hm²)]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,6 +/- 0,3
Feuchtequellstärke pro Pers bei Anwesenheit [g/(hPers)]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	63 +/- 13
Feuchtequellstärke pro m² bei Abwesenheit [g/(hm²)]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	0,3 +/- 0,2
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	176 +/- 67
Personenanzahl (gesamter Wohneinheit): 0	Hinterlegter Wertebereich ->	3,1 +/- 1,9
Lüftungsmöglichkeit (gesamter Wohneinheit): 0	Hinterlegte Annahme ->	Querlüftung
Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	14,9 +/- 6,2
Mittlere Raumtemperatur in gesamten Wohneinheit [°C]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	21,0 +/- 1,3
Raumtemperatur im kühlssten Raum [°C]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	19,0 +/- 1,2
Minimale Raumtemperatur bei längerer Abwesenheit [°C]: 0	Hinterlegter Wertebereich ->	16,9 +/- 1,2

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung, Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	7,6%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	12

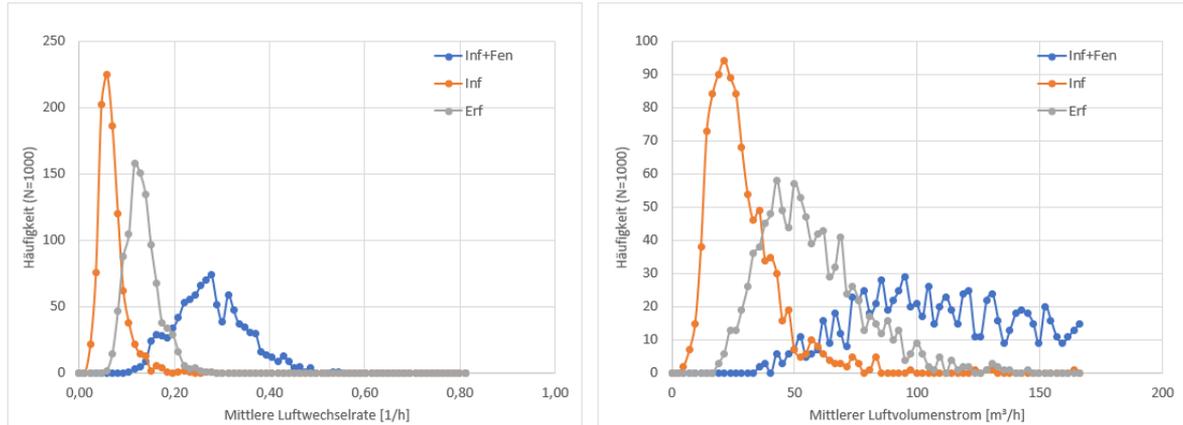
Risiko ist hoch. Abwesenheitsfall ist problematischer.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)	Medianwerte
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	52
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	24
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:	94%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:	113
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:	4,1%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	12
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	89

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

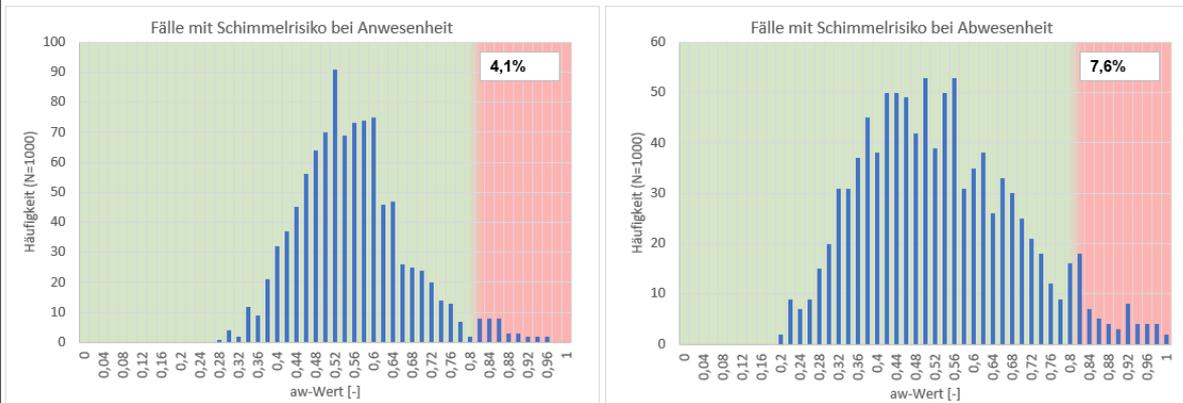
Standort:	Leoben	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Einfamilienhaus/Reihenhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	15,0 +/- 6,4
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	176 +/- 68		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	7,2 +/- 3,8		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	94,1%	7,6%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	4,1%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	12	8
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	89	50

Variation der Feuchtelast – alle anderen Werte unverändert: Feuchte Wohnbau – EFH – Neubau

Feuchtelast [l/d]: 3 5,3 +/- 2,0

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau) F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
 Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit **17,0%**
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit<1% [m³/h]: **23**

Risiko ist hoch. Abwesenheitsfall ist problematischer.

Abwesenheitsfall	
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	16
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	24
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:	17,0%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit<1% [m³/h]:	10
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	80

Feuchtelast [l/d]: 2 4,6 +/- 1,8

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau) F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
 Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit **3,5%**
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit<1% [m³/h]: **2**

Risiko ist hoch. Abwesenheitsfall ist problematischer.

Abwesenheitsfall	
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	10
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	24
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:	3,5%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit<1% [m³/h]:	2
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	17

Feuchtelast [l/d]: 1 3,8 +/- 1,5

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau) F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
 Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit **0,5%**
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit<1% [m³/h]: **0**

Risiko ist gering.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)

Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:
 Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:
 Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:
 dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:

Medianwerte

Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	42
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	23
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:	89%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:	109
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:	0,4%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	0

Abwesenheitsfall

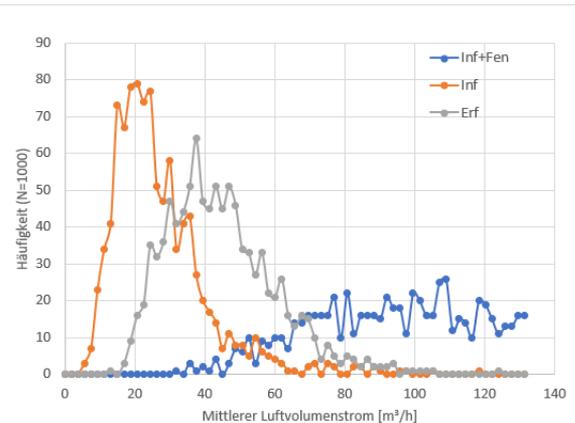
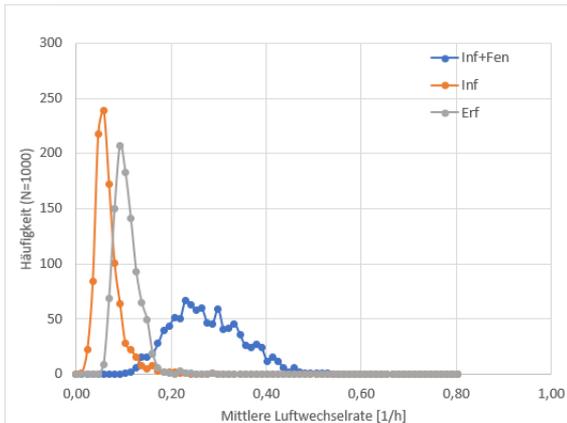
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:
 Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:
 dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:

Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	4
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	23
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:	0,5%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	0

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

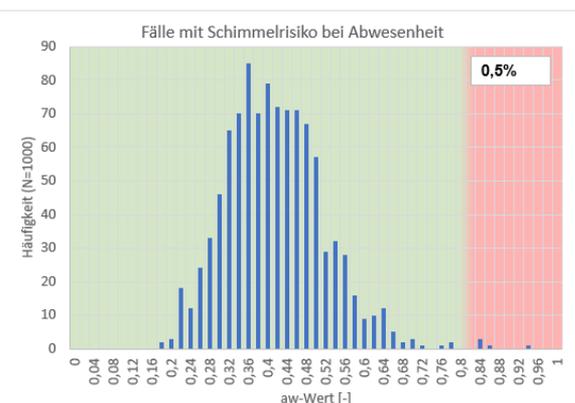
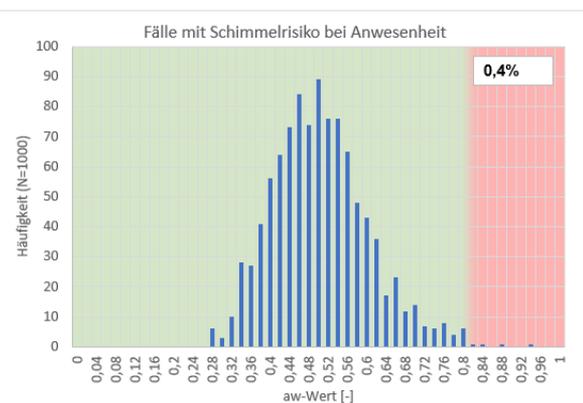
Standort:	Leoben	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Einfamilienhaus/Reihenhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	15,0 +/- 6,4
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	175 +/- 67		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	5,7 +/- 3,0		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	88,9%	0,5%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	0,4%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	0	0

Verbesserung der Wärmebrückensituation und wieder Variation der Feuchtelast – alle anderen Werte unverändert: Feuchte Wohnbau – EFH – Neubau

Feuchtelast [l/d]: 3 5,3 +/- 2,0

Wärmebrücken / fRSI-Wert 4 0,8 +/- 0,06

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	9,0%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	7

Risiko ist mittel. Abwesenheitsfall ist problematischer.

Abwesenheitsfall	
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	13
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	24
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:	9,0%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	7
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	52

Feuchtelast [l/d]: 2 4,6 +/- 1,8

Wärmebrücken / fRSI-Wert 4 0,8 +/- 0,06

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	1,8%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	1

Risiko ist hoch. Abwesenheitsfall ist problematischer.

Abwesenheitsfall	
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:	8
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:	24
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:	1,8%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	1
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	10

Feuchtelast [l/d]: 1 3,8 +/- 1,5

Wärmebrücken / fRSI-Wert 4 0,8 +/- 0,06

Ergebnis Schimmelrisiko Bewertung (nur für Wohnbau)	F9 drücken für Neuberechnung. Aufgru
Schimmelrisiko als Wahrscheinlichkeit	0,1%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:	0

Risiko ist gering.

Anwesenheitsfall (inkl. aktives Lüften)		<i>Medianwerte</i>
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:		35
Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:		25
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht:		77%
Luftmenge durch Fugenlüftung + Fensterlüftung [m³/h]:		111
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht:		0,0%
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit < 1% [m³/h]:		0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:		0

Abwesenheitsfall

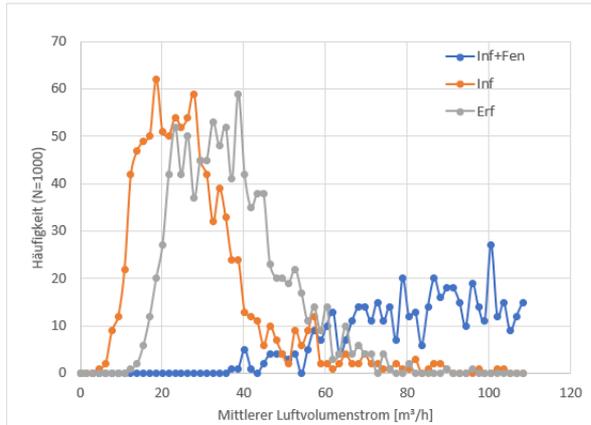
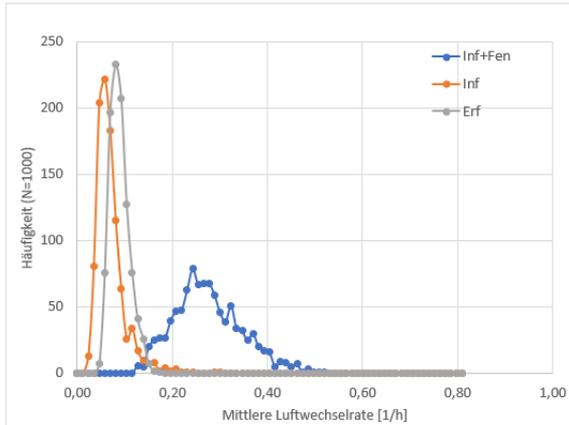
Erforderliche Luftmenge zur Feuchteabfuhr [m³/h]:
 Luftmenge durch Fugenlüftung [m³/h]:
 Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung nicht ausreicht:
 Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:
 dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:

3
25
0,1%
0
0

Feuchtebewertung (Nur Wohnen)

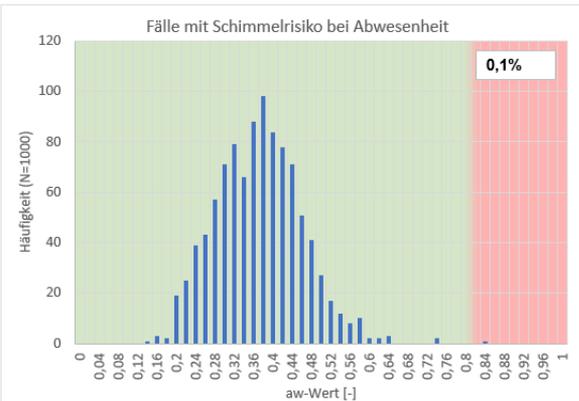
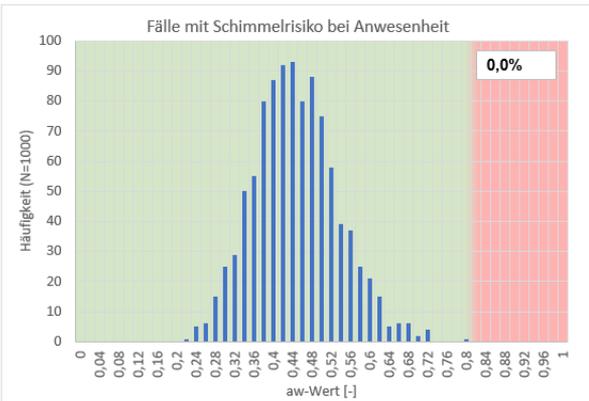
Standort:	Leoben	Lüftungsmöglichkeit (gesamte Wohneinheit):	Querlüftung
Gebäudeart:	Einfamilienhaus/Reihenhaus	Lüftungsdauer gesamt, z.B. morgens und abends [min/Tag]:	15,0 +/- 5,9
Fläche gesamte Wohneinheit [m²]:	174 +/- 68		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	1,5 +/- 0,3		
Feuchtelast (Avg) [l/d]:	5,7 +/- 3,0		

Sich ergebender Luftwechsel durch Infiltration (Inf), durch Infiltration+Fensterlüftung (Inf+Fen) und erforderlicher (Erf) Luftwechsel (damit aw<0.8)



Kritisch ist vor allem wenn es viele Fälle gibt wo der erforderliche Luftwechsel größer als jener durch Infiltration und Fensterlüftung ist. Dies ergibt sich klar wenn die graue Verteilungsfunktion rechts von der blauen Verteilungsfunktion liegt. Aber auch im überlappenden Bereich, können einzelne Fälle auftreten wo der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte mittlere Luftwechsel kleiner ist als der Erforderliche um den aw-Wert unter 0.8 zu halten, d.h. um Schimmelrisiko zu vermeiden.

Bewertung des Schimmelrisikos (bei wievielen der 1000 Fälle ist der durch Infiltration und Fensterlüftung erzielte Luftwechsel zu gering)



Weitere Ergebnisse der Bewertung des Schimmelrisikos

	Anwesenheitsfall	Abwesenheitsfall
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung alleine nicht ausreicht (damit aw<0.8):	76,9%	0,1%
Wahrscheinlichkeit dass Fugenlüftung und Fensterlüftung nicht ausreicht (damit aw<0.8):	0,0%	nicht zutr.
Erforderliche zusätzliche Luftmenge damit Wahrscheinlichkeit <1% [m³/h]:	0	0
dafür erforderlicher zusätzlicher freier Querschnitt [cm²]:	0	0

Resümee EFH: Beim Standard Neubau ist meist der Abwesenheitsfall kritischer. Schon beim Standard Neubau kommt man im Anwesenheitsfall mit geringen Feuchtelasten in den eher unkritischen Bereich. Bei geringen Wärmebrücken gelingt dies auch mit mittleren Feuchtelasten. Durch eine Bauweise mit geringen Wärmebrücken und niedrige Feuchtelasten erhält man Schimmelfreiheit (Schimmelrisiko unter 1%).

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)