

Bericht
BAG Projekt 142004514
Nutzungs- und zeitabhängige Feuchteproduktion
mit unterer und oberer Grenze
Phase I

Auftrag: Grundlagen und Verfahren zur Bestimmung
der nutzungs- und zeitabhängigen
Feuchteproduktion mit unterer und oberer
Grenze

Auftraggeber: Bundesamt für Gesundheit (BAG)
Direktionsbereich Verbraucherschutz
Fachstelle Wohngifte
Herr Roger Waeber

Datum: 31. August 2021

Dieser Bericht umfasst 106 Seiten und darf ohne die schriftliche Genehmigung von FREI WÜEST EXPERT und Gartenmann Engineering nur in ungekürzter Form vervielfältigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	3
2. Auftraggeber.....	4
3. Auftrag.....	4
4. Grundlagen.....	5
5. Verfahren und Methoden	6
6. M 1 - Überprüfung der bauphysikalischen Berechnungen gem. Bericht FREI WÜEST EXPERT	6
6.1. Allgemeines	6
7. M 2 - Recherche und Überprüfung vorhandener Literaturwerte zur nutzungs- und zeitabhängigen Feuchteproduktion in Räumen.....	9
7.1. Ausgangslage, Inhalte und Ziele der Literaturrecherche	9
7.2. Normen	11
7.3. Richtlinien und Guides	29
7.4. Handbooks und Fachbücher.....	35
7.5. (Peer-reviewed) Journal Paper und Proceedings	40
7.6. Weitere Publikationen.....	58
8. M 3 - Festlegung von nutzungs- und zeitabhängigen Feuchteproduktionsbereichen mit unterer und oberer Grenze für Wohnen EFH und Wohnen MFH.....	71
8.1. Allgemeines	71
8.2. Festlegung der unteren Grenze der Feuchteproduktion	72
8.3. Festlegung der oberen Grenze der Feuchteproduktion.....	74
9. M 4 - Nachweisberechnung für Feuchteschutz nach SIA 180:2014 (Behaglichkeit, Oberflächenkondensat- und Schimmelpilzfreiheit).....	77
9.1. Allgemeines	77
9.2. Hinweise zur Berechnungsmethodik.....	78
9.3. Nachweis für Feuchteschutz – Fall untere Grenze	80
9.4. Nachweis für Feuchteschutz – Fall obere Grenze	85
9.5. Schlussfolgerungen	88
10. M 5 - Vergleich der Nachweisberechnung mit Verlaufskurven für relative Luftfeuchte in prSIA 2024:2021-06	89
10.1. Allgemeines	89
10.2. Feuchteproduktion mit unterer Grenze (2 Personen Haushalt).....	89
10.3. Feuchteproduktion mit oberer Grenze (4 Personen Haushalt)	94
11. Handlungsempfehlungen und Hinweise für das Folgeprojekt Phase II.....	100
12. Anhang Literaturverzeichnis.....	102

Interne Angaben

Autoren: Beat Frei und Frédéric Haldi
 Ablage: 142004514_Schlussbericht_BAG_Feuchteproduktion_Phase1_V2.0_2021-08-31 Final
 Datum / Version: 31.08.2021 / Version 2.0

Änderungsverzeichnis

Datum	Visum	Version	Änderung / Kapitel
22.06.2021	Frb	1.0	Erstellung Dokument
13.07.2021	Frb	1.1	Literaturreview/Handlungsempfehlungen
19.07.2021	Haf	1.2	Ergänzungen gemäss Diskussion
23.07.2021	Frb	1.3	Anpassungen für Module M 1 bis M 5
18.08.2021	Frb	1.4	Redaktionelle Überarbeitung
19.08.2021	Haf/Frb	1.5	Berechnungen Module M 4 und M 5 Redaktionelle Überarbeitung
20.08.2021	Frb	1.6	Redaktionelle Überarbeitung
22.08.2021	Haf	1.7	Redaktionelle Überarbeitung
23.08.2021	Frb/Haf	1.8	Redaktionelle Überarbeitung
26.08.2021	Frb/Haf	1.9	Entwurf vor Spurgruppen-Sitzung
31.08.2021	Haf/Frb	2.0	Integration Kommentare Spurgruppe und Schlussredaktion Bericht.

1. Ausgangslage

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat den Mindest-Aussenluftvolumenstrom für den Feuchteschutz nach SIA 180:2014 untersuchen lassen (Projekt Nr. 142004170). Der Bericht Nr. FWE20_04 vom 9. Dezember 2020 von FREI WÜEST EXPERT hat zusammenfassend gezeigt, dass es eine Unstimmigkeit betreffend einen höheren Mindest-Aussenluft-Volumenstrom gemäss Anforderungen an den Feuchteschutz nach SIA 180 im Vergleich zur Bemessung nach CO₂ gibt. Die Quellen-Verweise der Feuchteproduktionsangaben in SIA 2024:2015 sind unauffindbar (ausser sensible und latente Wärmeabgabe von Personen nach ISO 7730). Noch dazu stellen die vier Fälle in der Tabelle 6.3 in der Wegleitung prSIA 4001:2020 grundsätzlich zwei Aufgabenstellungen dar (Nachweis Feuchteschutz SIA 180:2014, entweder als Nachweis ausreichend hoher Oberflächen-temperatur bei gegebener Luftwechselrate oder als Nachweis ausreichenden Luftwechsels bei gegebener Oberflächentemperatur). Das letztere Verfahren eignet sich insbesondere zur Beurteilung von Gebäuden mit schlecht gedämmter Bausubstanz und/oder hoher Feuchteproduktion.

Im Lüftungskonzept muss definiert werden, wie gross der Aussenluftvolumenstrom ist und wie er gesteuert oder geregelt wird. Festzulegen ist dort auch, welche zusätzliche Infiltration vorhanden ist. Die Feuchteproduktion mit oberer Grenze ist für den Feuchteschutz erforderlich. Die Feuchteproduktion mit unterer Grenze ist erforderlich, um den Bedarf für Befeuchtung abklären zu können. Bei einer Feuchterückgewinnung muss der Feuchterückgewinnungsgrad definiert werden. Die SIA-Normen definieren keinen eindeutigen Wert für die Feuchteproduktion und schon gar keinen Tagesverlauf zur Feuchteproduktion. Zudem ist offen, welcher Anteil der Feuchteproduktion direkt abgeführt wird und welcher Anteil in die Zimmer gelangt. Relevant ist auch, ob eine Dunstabzugshaube mit Fortluft oder Umluft eingesetzt wird. Das Merkblatt SIA 2024:2015 betrachtet die ganze Wohnung als zusammenhängende Zone mit gleichen Bedingungen. Die Lüftungsnormen gehen jedoch basierend auf SIA 180:2014, Ziffer 0.1.6 Nutzungsvereinbarung von geschlossenen Zimmertüren aus. Für die Feuchteverteilung auf die einzelnen Räume ist das ein Unterschied.

Die Frage der zulässigen Feuchteproduktion und der oberen Grenzwerte für Luftfeuchte ist besonders kritisch im Bereich der Vorbeugung von hygrothermischen Bauschäden mit entsprechendem Gesundheitsrisiko (Schimmelpilz). Die Praxis zeigt, dass eine eindeutige und fundierte Definition des zulässigen Feuchtebereichs für eine klare Schnittstelle zwischen Bauphysiker und Lüftungsplaner unbedingt notwendig ist, im aktuellen Stand der SIA-Normen aber weitgehend fehlt.

2. Auftraggeber

Auftraggeber: Bundesamt für Gesundheit (BAG)
Direktionsbereich Verbraucherschutz
Fachstelle Wohngifte

Kontaktperson: Herr Roger Waeber

3. Auftrag

Ziel des Projektes ist es, für die kommende Revision der SIA 180 realistische Daten zur Feuchteproduktion mit oberen und unteren Grenzen zur Festlegung des erforderlichen Aussenluftvolumenstroms für den Feuchteschutz bereitstellen zu können.

Das Projekt wurde in folgenden Modulen ausgearbeitet:

Modul M 1:

Überprüfung der bauphysikalischen Berechnungen gem. Bericht FREI WÜEST EXPERT vom 09.12.2020 im Vergleich mit der Wegleitung prSIA 4001:2020.

Modul M 2:

Recherche und Überprüfung vorhandener Literaturwerte zur nutzungs- und zeitabhängigen Feuchteproduktion in Räumen.

Modul M 3:

Festlegung von nutzungs- und zeitabhängigen Feuchteproduktionsbereichen mit unterer und oberer Grenze für die Raumnutzungen Wohnen EFH und Wohnen MFH.

Modul M 4:

Nachweisberechnung für Feuchteschutz nach SIA 180:2014 (Behaglichkeit, Oberflächenkondensat- und Schimmelpilzfreiheit) für die Raumnutzungen Wohnen EFH und Wohnen MFH bei drei massgeblichen Klimastationen nach Merkblatt SIA 2028:2010+C1:2015 (nach vorheriger Zwischenbesprechung mit der Spurgruppe Feuchteschutz SIA 180-382)

Modul M 5:

Vergleich der Nachweisberechnung mit Verlaufskurven für relative Luftfeuchte in prSIA 2024:2021

Modul M 6:

Berichterstattung, Projektleitung und Administration

4. Grundlagen

Massgebend sind die Normen und Merkblätter des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA).

Für ergänzende Ausführungen wurden konsultiert:

- Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI),
- Normen des Deutschen Instituts für Normierung (DIN),
- Normen des Europäischen Komitees für Normung (CEN),
- Normen der British Standards Institution (BSI),
- Standards der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE),
- Guidelines der britischen Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE),
- verfügbare Literatur aus Online-Datenbanken und abonnierten peer-reviewed Journals.

5. Verfahren und Methoden

Mittels Literaturrecherche werden die verfügbaren Literaturquellen und Normen sowie Richtlinien gesichtet und der Stand des Wissens abgebildet.

Die Ergebnisse aus den schweizerisch normierten Berechnungsverfahren werden mit anderen vergleichbaren Verfahren verglichen und plausibilisiert. Die Berechnungsergebnisse werden zusammengestellt und in Grafiken dargestellt.

Aus den Erkenntnissen werden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Wo möglich werden Vorschläge für die normative Umsetzung gemacht.

6. M 1 - Überprüfung der bauphysikalischen Berechnungen gem. Bericht FREI WÜEST EXPERT

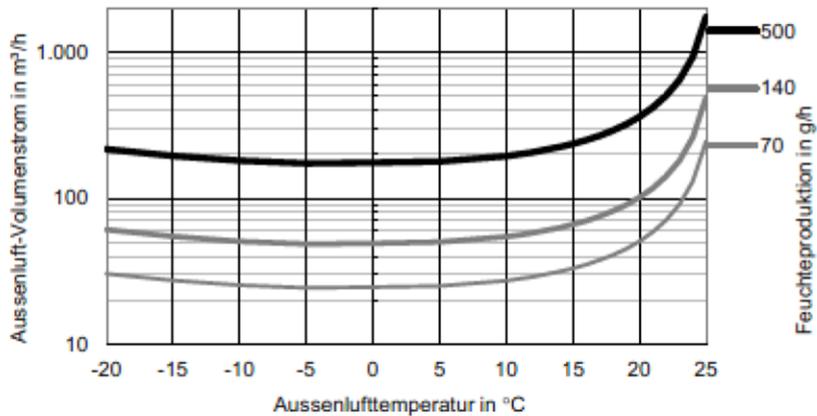
6.1. Allgemeines

Das Ingenieurbüro FREI WÜEST EXPERT hat mit dem Bericht Nr. FWE20_04 vom 9. Dezember 2020, die Frage der massgebenden Volumenströme für den Feuchteschutz im Auftrag des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) untersucht (Projekt Nr. 142004170). Hiermit wird eine allgemeine Prüfung der vorhandenen Schlussfolgerungen und des eingesetzten Berechnungswerkzeugs durchgeführt. Die vorliegende Untersuchung prüfte die Berechnungen und Schlussfolgerungen auf der Ebene der Plausibilität.

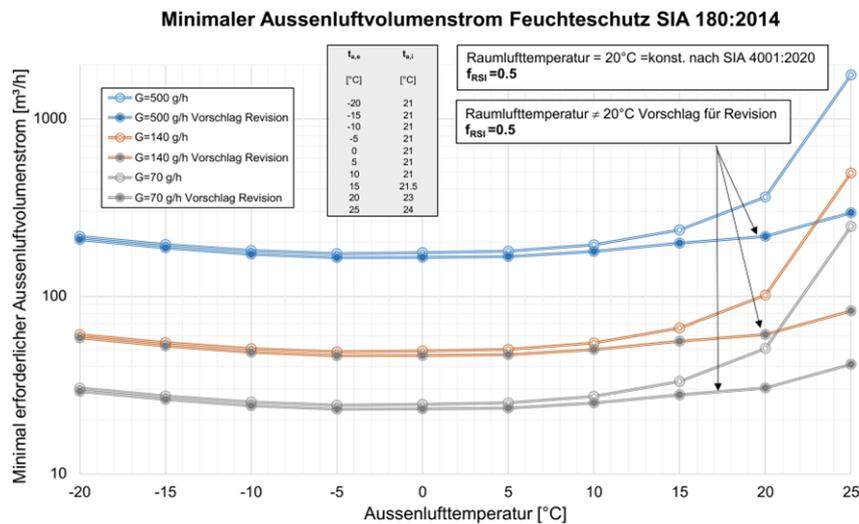
Die Methodik stützte sich auf stationäre Überlegungen auf Basis von durchschnittlichen Feuchteproduktionsraten. Für die vorhandenen Untersuchungen ist eine solche Annahme grundsätzlich gültig.

Eine vertiefte Überlegung über die Methodik der Berechnung des minimalen Aussenluft-Volumenstroms, und dessen Darstellung als Figur 6.27 der Wegleitung prSIA 4001:2020 zur SIA 180:2014 ist vorhanden. Diese Abbildung zeigt einen minimalen Aussenluft-Volumenstrom über 1'000 m³/h für hohe Feuchteproduktion in einem Gebäude mit mangelndem Wärmeschutz.

Figur 6.27 Minimaler Aussenluft-Volumenstrom in einem Raum mit 20 °C Innenlufttemperatur und Wärmebrücken mit $f_{RSI} = 0,5$ und verschiedenen Feuchteproduktionen



Eine Adaption dieser Abbildung wird im Bericht vorgeschlagen, damit die Unverhältnismässigkeit des erforderlichen Aussenluft-Volumenstroms zwischen 20-25°C Aussenlufttemperatur behandelt werden kann. Es wird im Bericht empfohlen, «die Raumlufttemperatur nicht mehr zu fixieren, sondern abhängig von der Aussenlufttemperatur zu machen» (Seite 46). Diese Innenlufttemperatur wird in den Sommermonaten von 21 °C auf 24 °C erhöht, was zu einer grossen Reduktion des notwendigen Aussenluft-Volumenstroms führt. Es ist zu erwarten, dass diese Erhöhung der Innenlufttemperatur generell einen positiven Effekt auf den Feuchteschutz hat (mittels Abnahme der Raumluftfeuchte). Auch ist festzustellen, dass eine Innenlufttemperatur von 20 °C während der Sommerperiode für übliche Nutzungen im Schweizer Mittelland eine sehr pessimistische Annahme hinsichtlich Feuchteschutz ist.



Die ursprünglichen Randbedingungen des Feuchteschutznachweises gemäss SIA 180:2014, Ziffer E.1.2, sehen eine Innenlufttemperatur von $\theta_{a,i} = \max [\theta_{i,b} ; \theta_{i,0} + 0.33 \theta_{e,m}]$, mit $\theta_{i,b} = 20.5 \text{ °C}$ und $\theta_{i,0} = 14.3 \text{ °C}$ vor. Diese Formel führt zu einer moderaten Zunahme der Innenlufttemperatur während der Sommerperiode, mit z.B. $\theta_{a,i} = 20.9 \text{ °C}$ bei $\theta_{e,m} = 20 \text{ °C}$. Dieses Vorgehen wurde mit dem Korrigendum SIA 180-C1:2015 adaptiert, mit der neuen vereinfachten Randbedingung «Raumlufthtemperatur $\theta_{a,i} = 20 \text{ °C}$ für Wohnräume, Büros, Schulen, Hotels und ähnliche Räume». Danach wurde mit dem Korrigendum SIA 180-C2:2020 die Rückkehr zum ursprünglichen Zustand der Ausgabe 2014 vorgesehen.

Die Berechnungen der notwendigen Luftvolumenströme, wie sie im Bericht Nr. FWE20_04 vom 9. Dezember 2020 erstellt werden, entsprechen somit nicht völlig den Bestimmungen des Korrigendums SIA 180-C1:2015 hinsichtlich Feuchteschutznachweis. Grund dafür ist eine Innenlufttemperatur höher als 20 °C . Diese Überlegungen zeigen trotzdem klar und vorteilhaft, dass eine unverhältnismässige Erhöhung von notwendigen Luftvolumenströmen keine rationelle Lösung für Feuchteschutzprobleme in Gebäuden mit hoher Feuchteproduktion und mangelndem Wärmeschutz darstellt. Hier ist es wichtig, einer irreführenden Interpretation der Schlussfolgerungen zur Figur 6.27 der Wegleitung prSIA 4001:2020 vorzubeugen.

7. M 2 - Recherche und Überprüfung vorhandener Literaturwerte zur nutzungs- und zeitabhängigen Feuchteproduktion in Räumen

7.1. Ausgangslage, Inhalte und Ziele der Literaturrecherche

Der Bericht von FREI WÜEST EXPERT vom 9.12.2020 hat mit einer Literaturrecherche den Stand der Normierung in der Schweiz und in Deutschland aufgezeigt. Die Fachliteratur wurde dort nur orientierend überprüft. Im Bericht wurde vor allem das Berechnungsverfahren in der SIA 180:2014 und deren Vorgängern behandelt.

Ausgangslage zur Literaturrecherche in Datenbanken, Journals, Proceedings und weiteren Quellen:

Eine gültige Festlegung der relevanten Feuchteproduktionsbereiche auf einer normativen Ebene ist wichtig für die Nachvollziehbarkeit von Aussagen in den folgenden Bereichen:

- Dokumentierte und fundierte Definition von zulässigem Bereich der Innenraumluftfeuchte
- Begründete Definition der baulichen Anforderungen hinsichtlich Feuchteschutz (U-Werte, Oberflächentemperaturfaktor)
- Begründete Berechnung der notwendigen Lüftungsrate, mit verfeinerter Berücksichtigung von Spezialnutzungen
- Feststellung der Randbedingungen für dynamische Simulation der Luftfeuchte und des Feuchtetransports durch Bauteile
- Vergleichsbasis für Zustandsanalysen hinsichtlich Feuchteschutz und Feuchteschäden

Die Literaturrecherche hat sich als erste Priorität auf die Untersuchung der Bestimmungen der internationalen und ausländischen Normierung fokussiert. Der Stand der ISO- und CEN-Normierung wurde zuerst ausführlich geprüft. Die ausländischen Quellen, die brauchbare Ergebnisse liefern können, stammen aus der deutschen (DIN), den englischen (BS) und den amerikanischen (ASHRAE) Normen. Weitere ausländischen Normen, die untersucht wurden, aber keine relevanten Ergebnisse geliefert haben, stammen aus Frankreich (AFNOR, DET) und Russland (GOST).

Der zweite Schritt liegt in der Untersuchung von Richtlinien und Guides, die keine explizite normative Bedeutung aufweisen, die aber trotzdem weitestgehend von Fachleuten als anerkannter Stand der Technik bewertet werden. Dies enthält diverse Publikationen von ASHRAE, CIBSE und SIA.

Der letzte Schritt liegt in der Analyse von neuen Ergebnissen der Forschung, auf der Basis einer Suche der Plattformen ScienceDirect (Elsevier), Google Scholar und ähnliche. Die Resultate aus originalen Forschungsarbeiten werden hier mit einem grösseren Grad an Vorbehalt berücksichtigt. Die Aussagen aus solchen Publikationen sind oft spezifisch von den

Bedingungen von besonderen Vorortstudien abhängig, oder zeigen Ergebnisse, die noch nicht als langfristig bewährte Aussagen gelten.

Grundsatzfragen:

Bestehen bereits nutzungs- und zeitabhängige untere und obere Grenzen zur Feuchteproduktion, die international anerkannt sind, aber bisher national nicht verwendet werden?

Wenn ja: Sind diese für die Schweiz anwendbar?

Wenn nein: Wieso sind bisher keine Grenzen festgelegt worden?

Zur **Beantwortung der Grundsatzfragen** wurde im vorliegenden BAG-Projekt umfangreiche Literaturrecherchen mit folgenden Schwerpunkten lanciert:

- Feuchteproduktion in Räumen generell
- Spezifisch für Wohnbauten
- Spezifisch für Nicht-Wohnbauten
- Besteht Nutzungsabhängigkeit?
- Besteht Zeitabhängigkeit?
- Nationale Unterschiede in Normung/Forschung/Nutzerverhalten
- Methoden zur Bestimmung der Feuchteproduktion
- Besteht internationaler Konsens zu einer unteren und oberen Grenze je nach Nutzung?
- Gibt es neuere Ansätze zur Festlegung der Grenzen?

Die folgenden Daten wurden nicht als gültig für die Recherche von Feuchteproduktion betrachtet. Das betrifft generelle relative Luftfeuchtwerte für Innenräume (z. B. 30 % bis 70 % (SIA 180:2014, Ziffer 6.4.1) als Empfehlung), sowohl auch vereinfachte Berechnungswerte für Anwendung zu anderen Themen (z. B. Grundlagen für Dampfdiffusionsberechnung der ISO 13788:2012). Solche pauschalen bzw. generellen Daten sind für eine zielführende Analyse der Konsequenzen von tatsächlichen Feuchtequellen nicht geeignet.

Die **Literaturrecherche** ist wie folgt **gegliedert**:

- Normen (für die Schweiz mit zugehörigen SIA-Wegleitungen und SIA-Merkblätter)
- VDI-Richtlinien und CIBSE-Guides
- ASHRAE Handbooks und Fachbücher
- Journal Paper und Proceedings von Konferenzen
- Weitere Publikationen

Diese Reihenfolge gilt auch als Prioritätsfolge für die Ziele dieser Recherche. Da der Blickwinkel dieser Untersuchung in der Entwicklung bzw. Aktualisierung der Normierung liegt, steht die Untersuchung der vorhandenen normativen Bestimmungen im Vordergrund.

Anhand der gefundenen Literatur werden anschliessend Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die Ergebnisse dieser Recherche wurden danach als Grundlage für die Bestimmung von unteren und oberen Grenzen der Feuchteproduktion im Modul M3 (Kapitel 8) benützt.

7.2. Normen

7.2.1. SIA 180:1999

3.1.3.3 Die momentane Feuchteproduktion G kann mit Hilfe der Richtwerte in Tabelle 3 bestimmt werden.

Tabelle 3 Richtwerte der Feuchteproduktion G typischer Feuchtequellen

Feuchtequelle	Feuchteproduktion G g/h
Person, leichte Arbeit	30 – 60
Person, Haushaltarbeit	60 – 90
Person, schwere Arbeit	100 – 200
Kochen	400 – 800
Geschirrspüler	200 – 400
Duschen	1500 – 3000
Wannenbad	600 – 1200
Offene Wasserfläche (pro m^2)	30 – 50
Topfpflanze	7 – 15
Gummibaum (Ficus)	10 – 20

3.1.3.4 Die mittlere Feuchteproduktion kann auch mit Hilfe von Tabelle 4, in welcher Richtwerte für die flächenbezogene Feuchteproduktion G/A_{NRF} für verschiedene Nutzungen angegeben sind, bestimmt werden. A_{NRF} ist die Netto-Raumfläche. Die angegebenen Richtwerte sind Tages-Mittelwerte.

Tabelle 4 Richtwerte für die mittlere flächenbezogene Feuchteproduktion G/A_{NRF}

Feuchtequelle	Feuchteproduktion G/A_{NRF} g/(h · m^2)	Nutzung
Niedrig	2	Wohnen (geringe Belegung, wenig Pflanzen), Büro, Verwaltung, Läden, Lager
Mittel	4	Wohnen (hohe Belegung, viele Pflanzen), Schule, Versammlungslokale
Hoch	6	Restaurant, Küchen, Sporthallen, Spitäler
Sehr hoch	> 10	Wäschereien, nasse Produktionsprozesse

Die ausser Kraft gesetzte Norm SIA 180:1999 enthält Richtwerte für die Feuchteproduktion von typischen Feuchtequellen. Die in Tabelle 3 angegebenen Bereiche – mit den oberen Werten meistens als eine Verdoppelung der unteren Werten definiert – sind für Berechnungen von detaillierten Feuchteschutznachweisen bemerkenswert gross.

7.2.2. SIA 180:2014

Tabelle 4 Emissionen einer Person und Grenzwerte im Aufenthaltsbereich

	Gerüche	CO ₂	Wasserdampf	Sensible Wärme
Tätigkeit	Olf	l/h	g/h	W
Ruhig liegend, schlafend	0,7	12	45	55
Ruhig sitzend	0,8	16	60	70
Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule, Labor), ruhig stehend	1	18	70	75
Leichte Tätigkeit, stehend (Laden, Werkbankarbeit, Labor)	1,3	24	95	85
Mittelschwere Tätigkeit, stehend (Haushalt, Werkstatt)	1,7	30	115	105
Richtwerte*	0,1–0,5 pol	1000–2000 ppm	gemäss 3.5.1.3, 3.5.1.4 und 6.2.1.4	Temperaturen gemäss Kapitel 2

* Für Räume mit Lüftungs- und Klimaanlage gelten die Vorgaben nach SIA 382/1

In der geltenden SIA 180:2014 wird in Ziffer 3.5.3 Tabelle 4 die tätigkeitsabhängige Feuchteproduktion pro Person im Aufenthaltsbereich festgelegt. Diese beträgt im Wohnbereich für eine Aktivität von 1.0 bis 1.2 mit 60 g/h resp. 70 g/h. Weitere Angaben zur Feuchteproduktion sind in der SIA 180:2014 nicht zu finden. Zur Norm SIA 180:2014 gehört eine Wegleitung SIA 4001, die 2021 erscheinen soll und zurzeit nur als Entwurf prSIA 4001:2020 vorliegt.

7.2.3. prSIA 2024:2021-06

Die Feuchteproduktionsrate für Personen beträgt 66 g/h bei einer Innenlufttemperatur von 21 °C (Auslegung Heizfall) und 51 g/h bei einer Innenlufttemperatur von 26 °C (Auslegung Kühlfall). Für andere Feuchtequellen wird ein Wert von 0.5g/(h.m²) festgelegt.

7.2.4. prSIA 4001:2020 Wegleitung zur SIA 180:2014

Tabelle 3.2 Richtwerte für Feuchtebelastungen; *A_{NRA}* (Net Room Area) ist die Nettoraumfläche

Feuchtebelastung	G/A_{NRA} in g/(h·m ²)	Nutzung
niedrig	2	Wohnen (geringe Belegung), Büro, Verwaltung, Läden, Lager
mittel	4	Wohnen (dichte Belegung), Schulen, Versammlungslokale
hoch	6	Küchen, Restaurants, Spitäler, Sporthallen
sehr hoch	10	Wäschereien, nasse Produktionsprozesse

Im letztverfügbaren Entwurf der Wegleitung prSIA 4001:2020 zur SIA 180:2014 sind in Tabelle 3.2 Richtwerte für die nutzungsabhängige Feuchtebelastung aufgeführt. Diese waren

bereits in der ausser Kraft gesetzten Norm SIA 180:1999 enthalten und wurden unverändert übernommen. In Tabelle 3.2 ist nicht mehr angegeben, dass es sich um mittlere Feuchtebelastungen handelt. Ebenso wurde der Richtwert für Feuchtebelastung *sehr hoch* auf $10 \text{ g}/(\text{h m}^2)$ festgelegt (in SIA 180:1999 noch $> 10 \text{ g}/(\text{h m}^2)$). Die in Tabelle 3.2 vorgeschlagenen Werte der spezifischen Feuchteproduktion sind offensichtlich nicht in Übereinstimmung mit den Werten des Merkblatts prSIA 2024:2021. Die Diskussion zu dieser Diskrepanz findet im Modul M 3 statt (Kapitel 8 dieses Berichts).

7.2.5. SN EN ISO 13788:2012

Bei der Prüfung der SN EN ISO 13788:2012 hat sich herausgestellt, dass der Anhang A für unser Projekt von besonderem Interesse ist. Dies wurde auch von der Normenkommission NK 180 bereits bei der Erarbeitung der SIA 180:1999 und zugehöriger Dokumentation D0166 erkannt. Die NK 180 hat sich die Tabelle A.1 zunutze gemacht und daraus die Tabelle 4 in der SIA 180:1999 erstellt.

Für die Projektphase II ist der weitere Einsatz der Grafik in Bild A.2 zu prüfen. Hier sind die Luftfeuchteklassen 1 bis 5 abgebildet, woraus auch die Richtwerte für die mittlere spezifische Feuchtebelastung in den SIA-Publikationen abgeleitet wurde.

Darauf gehen die Berichtersteller in den Handlungsempfehlungen zur Literaturrecherche (M2) und bei der Festlegung von unteren und oberen Grenzen zur Feuchteproduktion (M3) weiter ein.

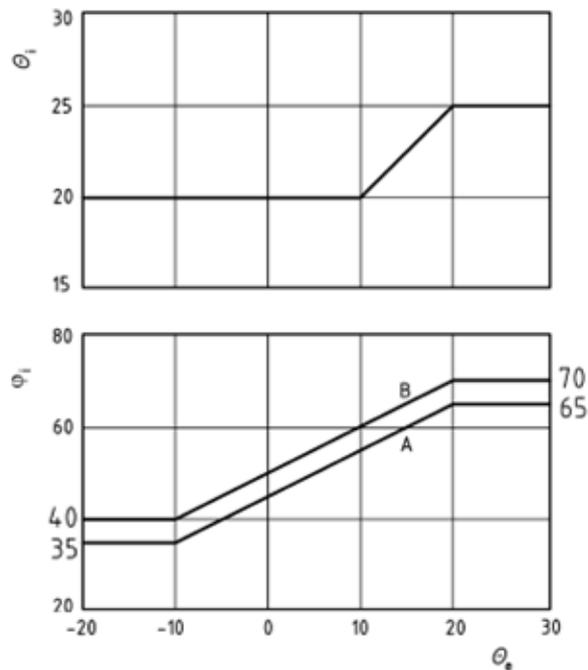
EN ISO 13788:2012 (D)

Anhang A (informativ)

Raumseitige Randbedingungen

A.1 „Kontinentales“ und tropisches Klima

Sofern keine gut definierten — geregelten, gemessenen oder simulierten — raumseitigen Luftbedingungen vorliegen, darf ein vereinfachter Ansatz bei der Bestimmung der raumseitigen Temperatur und Luftfeuchte beheizter Gebäude (betrifft ausschließlich Wohnhäuser und Büros) auf der Grundlage der außenseitigen Lufttemperatur genutzt werden. Die raumseitigen Luftbedingungen werden abgeleitet, indem die Tagesmittelwerte der außenseitigen Lufttemperatur in die Diagramme nach Bild A.1 eingetragen werden. Der Grad der raumseitigen Luftfeuchte wird entsprechend der erwarteten Belegung des Gebäudes ausgewählt.

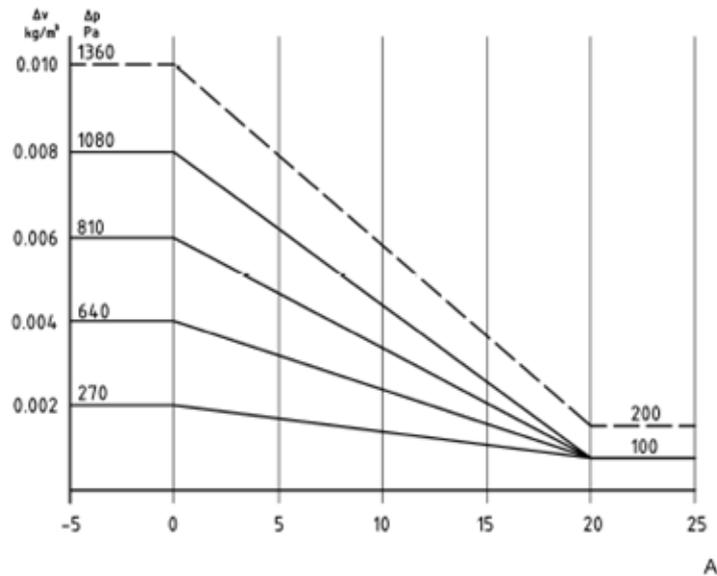


Legende

- ϑ_i raumseitige Temperatur, angegeben in °C
- φ_i raumseitige relative Luftfeuchte, angegeben in %
- ϑ_e außenseitige Temperatur, angegeben in °C
- A normale Belegung
- B starke Belegung

Bild A.1 — Tagesmittel der raumseitigen Lufttemperatur und Luftfeuchte in Wohnhäusern und Bürogebäuden in Abhängigkeit vom Tagesmittel der außenseitigen Lufttemperatur

Wenn möglich sollten Messdaten bei der Analyse von Gebäuden der Luftfeuchtklasse 5, mit hoher innerer Feuchte, herangezogen werden. Die punktierte Linie in Bild A.2 zeigt vorgeschlagene Werte, die bei Fehlen von Daten genutzt werden können.



Legende

A monatliche mittlere außenseitige Temperatur, angegeben in °C

Bild A.2 — Schwankungen der Klassen der raumseitigen Luftfeuchte in Abhängigkeit von der außenseitigen Temperatur

Den Berichterstatter ist aufgefallen, dass die Zahlenwerte für die (mittlere) flächenbezogene Feuchtebelastung in der Wegleitung prSIA 4001:2020 resp. Norm SIA 180:1999 resp. Dokumentation D 0166:1999 mit denjenigen aus der SN EN ISO 13788:2012 Bild A.2 übereinstimmen. Allerdings sind es dort Richtwerte für sogenannte Luftfeuchtklasse in der Einheit kg/m³. Die Klassendefinitionen aus den oben genannten SIA-Publikationen basieren vermutlich auf der massgebenden SN EN ISO 13788. Zum Zeitpunkt der Berichterstattung ist aber unklar, wie die Tabellen der SIA-Publikationen entstanden sind (siehe Dokumentation D 0166:1999 Tabellen 3.3 und 3.4 resp. Wegleitung prSIA 4001:2020 Tabelle 3.1)

Offenbar hat bei der Tabellenerstellung eine Integration von verschiedenen Quellen stattgefunden. Im Vergleich mit der SN EN ISO 13788 ist eine Klasse entfallen resp. wurde in andere Klassen integriert.

Wie die flächenspezifischen Zahlenwerte der SIA-Publikationen entstanden sind, konnte bisher nicht eruiert werden. Das sollte abgeklärt werden, ansonsten besteht eine Unsicherheit bezüglich Quellenlage.

Wegleitung SIA 4001:2020 resp. Norm SIA 180:1999 resp. Dokumentation D 0166:1999

Tabelle 3.2 Richtwerte für Feuchtebelastungen; A_{NRA} (Net Room Area) ist die Nettoraumfläche

Feuchtebelastung	G/A_{NRA} in $g/(h \cdot m^2)$	Nutzung
niedrig	2	Wohnen (geringe Belegung), Büro, Verwaltung, Läden, Lager
mittel	4	Wohnen (dichte Belegung), Schulen, Versammlungslokale
hoch	6	Küchen, Restaurants, Spitäler, Sporthallen
sehr hoch	10	Wäschereien, nasse Produktionsprozesse

SN EN ISO 13788:2012

Tabelle A.1 — Klassen der raumseitigen Luftfeuchte

Luftfeuchteklasse	Gebäude
1	unbelegte Gebäude, Lagerung trockener Güter
2	Büros, Wohnhäuser bei normaler Belegung und Lüftung
3	Wohnhäuser mit unbekannter Belegung
4	Sporthallen, Küchen, Kantinen
5	besondere Gebäude, z. B. Wäschereien, Brauereien, Schwimmbäder

Im informativen Anhang B sind zwei Berechnungsbeispiele angegeben:

- B.3 bekannte Feuchtezufuhr und konstante Luftwechselrate
- B.4 bekannte Feuchtezufuhr und variable Luftwechselrate

Die Berechnungsmethodik wurde in die SIA 180:2014 übernommen.

EN ISO 13788:2012 (D)

B.3 Beispiel 3 mit bekannter Feuchtezufuhr und konstanter Luftwechselrate

- Festlegung der monatlichen mittleren außenseitigen Temperatur, θ_e , und der relativen Luftfeuchte, φ_e , für den Ort des Gebäudes (Spalten 1 und 2 in Tabelle B.3).
- Nutzung des aus der Temperatur nach Gleichung (E.1) oder (E.2), sofern zutreffend, berechneten oder aus Tabelle E.1 entnommenen monatlichen außenseitigen Sättigungsdampfdrucks, $p_{sat,e}$, und der relativen Luftfeuchte, um den außenseitigen Dampfdruck, p_e , zu berechnen (Spalte 3 in Tabelle B.3).
- Berechnung des Wasserdampfüberdrucks bei raumseitiger Feuchtezufuhr, Δp , aus der angenommenen Luftwechselrate, n , der Rate der Feuchteezeugung, G , und dem Gebäudevolumen, V , sowie Umrechnung in einen Wasserdampfüberdruck, Δp , nach Gleichung (E.6). Addition zu p_e , um den raumseitigen Dampfdruck (Spalten 5 und 6 von Tabelle B.3) zu erhalten.
- Berechnung des geringsten zulässigen Sättigungsdampfdrucks, $p_{sat}(\theta_{si})$, nach Gleichung (9), wie in 5.3 e) festgelegt, und Berechnung der niedrigsten zulässigen Oberflächentemperatur, $\theta_{si,min}$, nach Gleichung (E.3) oder (E.4), um die in den Spalten 8 und 9 von Tabelle B.3 angegebenen Werte zu erhalten.
- Berechnung von f_{Rsi} nach der Gleichung in 3.1.2, um die in Spalte 10 von Tabelle B.3 angegebenen Werte zu erhalten.

Unter den in Tabelle B.3 angenommenen Bedingungen ist der August der kritische Monat, und $f_{Rsi,max} = 0,832$.

Tabelle B.3 — Berechnung von $f_{Rsi,max}$ mit einer konstanten Luftwechselrate

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	θ_e °C	φ_e	p_e Pa	n h ⁻¹	Δp Pa	p_i Pa	$p_{sat}(\theta_{si})$ Pa	$\theta_{si,min}$ °C	θ_l °C	f_{Rsi}
Januar	2,8	0,92	687,0	0,5	433	1 120	1 400	12,0	20	0,534
Februar	2,8	0,88	657,1	0,5	433	1 090	1 363	11,6	20	0,510
März	4,5	0,85	715,6	0,5	433	1 149	1 436	12,4	20	0,507
April	6,7	0,80	784,7	0,5	433	1 218	1 522	13,3	20	0,493
Mai	9,8	0,78	944,5	0,5	433	1 378	1 722	15,2	20	0,525
Juni	12,6	0,80	1 166,6	0,5	433	1 600	1 999	17,5	20	0,663
Juli	14,0	0,82	1 310,1	0,5	433	1 743	2 179	18,9	20	0,812
August	13,7	0,84	1 316,2	0,5	433	1 749	2 186	18,9	20	0,830
September	11,5	0,87	1 179,9	0,5	433	1 613	2 016	17,6	20	0,722
Oktober	9,0	0,89	1 021,2	0,5	433	1 454	1 818	16,0	20	0,637
November	5,0	0,91	793,4	0,5	433	1 226	1 533	13,4	20	0,558
Dezember	3,5	0,92	721,9	0,5	433	1 155	1 444	12,4	20	0,542

ANMERKUNG $G = 0,4 \text{ kg/h}$, $V = 250 \text{ m}^3$.

B.4 Beispiel 4 mit bekannter Feuchtezufuhr und veränderlicher Luftwechselrate

In der Praxis werden Gebäude bei kälterem Wetter weniger belüftet. Sofern eine Beziehung zwischen der Luftwechselrate und der Temperatur bekannt ist oder angenommen werden kann, können die Werte für f_{Rsi} wie in Beispiel 3, jedoch unter Anwendung der veränderlichen Luftwechselrate nach Schritt 3), berechnet werden.

Die Werte der Tabelle B.4 wurden unter der Annahme berechnet, dass $n = 0,2 + 0,04\theta_e$ ist. Unter diesen Bedingungen ist der Januar der kritische Monat, und $f_{Rsi,max} = 0,718$.

Tabelle B.4 — Berechnung von $f_{Rsi,max}$ mit einer veränderlichen Luftwechselrate

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	θ_e °C	φ_e	p_e Pa	n h ⁻¹	Δp Pa	p_i Pa	$p_{sat}(\theta_{si})$ Pa	$\theta_{si,min}$ °C	θ_i °C	f_{Rsi}
Januar	2,8	0,92	683	0,31	694	1 377	1 722	15,2	20	0,718
Februar	2,8	0,88	657	0,31	694	1 351	1 689	14,9	20	0,701
März	4,5	0,85	709	0,38	570	1 279	1 599	14,0	20	0,614
April	6,7	0,80	788	0,47	463	1 251	1 564	13,7	20	0,524
Mai	9,8	0,78	941	0,59	366	1 307	1 634	14,3	20	0,445
Juni	12,6	0,80	1 162	0,70	308	1 470	1 837	16,2	20	0,483
Juli	14,0	0,82	1 302	0,76	285	1 587	1 984	17,4	20	0,563
August	13,7	0,84	1 317	0,75	290	1 607	2 008	17,6	20	0,615
September	11,5	0,87	1 183	0,66	328	1 511	1 889	16,6	20	0,601
Oktober	9,0	0,89	1 017	0,56	387	1 404	1 755	15,5	20	0,587
November	5,0	0,91	788	0,40	542	1 330	1 662	14,6	20	0,641
Dezember	3,5	0,92	719	0,34	637	1 356	1 695	14,9	20	0,692

ANMERKUNG $G = 0,4 \text{ kg/h}$, $V = 250 \text{ m}^3$.

Die grundlegende ISO 13788:2012 wurde 2018 überprüft und für weiterhin gültig erklärt.



ICS > 91 > 91.060 > 91.060.01

ISO 13788:2012

Hygrothermal performance of building components and building elements –
Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial
condensation – Calculation methods

THIS STANDARD WAS LAST REVIEWED AND CONFIRMED IN 2018.
THEREFORE THIS VERSION REMAINS CURRENT.

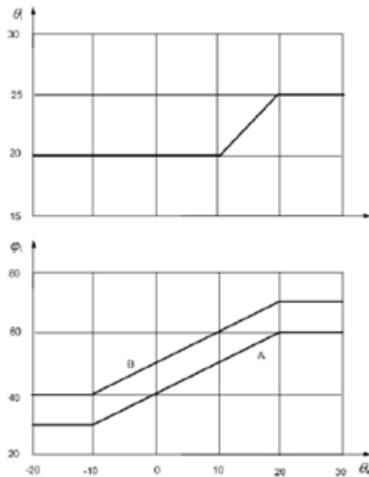
7.2.6. SN EN 15026:2007

EN 15026:2007 (D)

Anhang C
(informativ)

Raumseitige Randbedingungen

In Abwesenheit von wohl definierten — gesteuerten, gemessenen oder simulierten — Raumluftbedingungen darf zur Bestimmung der raumseitigen Temperatur und Feuchte von beheizten Gebäuden (nur Wohnungen und Büros) ein auf der Außenlufttemperatur beruhender vereinfachter Ansatz angewendet werden. Die Raumluftbedingungen sind aus der Eintragung des Tagesmittelwertes der Außenlufttemperatur in die Diagramme von Bild C.1 abgeleitet. Der Grad der raumseitigen Luftfeuchte ist entsprechend der voraussichtlichen Belegung des Gebäudes ausgewählt.



Legende

- t_i Innentemperatur in °C
- t_a Außentemperatur in °C
- ϕ_i relative Raumluftfeuchte in %
- A: Normale Belegung
- B: Hohe Belegung

Bild C.1 — Tagesmittel der Raumlufttemperatur und raumseitigen Feuchte in Wohnungs- und Bürogebäuden in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur der Außenluft

23

Bild C.1 ist identisch zu Bild A.1 aus SN EN ISO 13788:2012, bezieht sich aber nicht mehr auf maritimes und kontinentales Klima, sondern bezieht sich allgemein auf *Raumseitige Bedingungen*.

Wichtiger Hinweis:

In den Normenpublikationen der CEN und ISO bestehen bezüglich Anhang A (SN EN ISO 13788) resp. Anhang C (SN EN 15026:2007) begriffliche Unsicherheiten zwischen *tropical* und *continental* sowie *maritim*. Die Berichterstatter interpretieren aber die betreffenden Normen nach heutigem Wissenstand derart, dass die Abbildung A.2 der SN EN ISO 13788:2012 für schweizerische Klimata Gültigkeit hat und entsprechend nutzbar gemacht werden kann.

7.2.7. SN EN 16798-1:2019 Anhang C

Die nachfolgenden Werte für die flächenspezifische Feuchteproduktion wurden aus den *Occupancy schedules* im Anhang C herausgelesen und durch die Berichtersteller in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt:

Raumnutzung	Stunden/Tag	G [g/(m ² h)]
Schule, Klassenraum	9	11.11
Restaurant	18	9.84
Wohngebäude, freistehendes Haus	24	1.41
Wohngebäude, Wohnung, Senioren	24	2.12
Einzelbüro	11	6.00
Hauptbüro	11	3.53
Sitzungsraum	11	30.00
Kaufhaus	13	3.53
Tagesstätte, Kindergarten	12	15.79
Hotelzimmer*	24	2.67
Sport, Terminal, Theater*	14	7.11
Spital*	24	5.19

Von besonderem Interesse sind die angegebenen Werte für **andere Nutzungen als Wohngebäude**. Diese Tabellenwerte müssen für die Berechnungen in der Projektphase II mit den Werten aus der prSIA 2024:2021 verglichen werden.

Nach einer spezifischen Recherche konnte die Herkunft der Feuchteproduktionswerte gefunden werden:

Ahmed K., Akhondzada A., Kurnitski J., Olesen B. Occupancy schedules for energy simulation in prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards Sustainable Cities and Society 35 (2017) p.134-144

7.2.8. ISO 18523-1:2016 und ISO 18523-2:2018

ISO 18523-1:2016 und ISO 18523-2:2018 legen die Formate für die Darstellung von Zeitplänen und Zuständen der Gebäude-, Zonen- und Raumnutzung fest, die als Eingabedaten für Energieberechnungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden herangezogen werden sollen.

Zeitpläne und der Zustände in diesen beiden ISO-Normen unterscheiden sich grundsätzlich von Annahmen zur Bestimmung der Grösse von gebäudetechnischen Anlagen im Planungsprozess, bei denen Werte mit Sicherheitszuschlägen (-/+) für die Bemessung angenommen werden sollen. Stattdessen wird in diesen Normen auf die gängigsten und

durchschnittlichen Werte eingegangen, die für die Gebäudeenergieberechnung angenommen werden.

Es konnten keine Angaben zur Feuchteproduktion gefunden werden - weder für Wohnnutzung noch für "andere Nutzungen".

**INTERNATIONAL
STANDARD**

**ISO
18523-1**

First edition
2016-11-15

**Energy performance of buildings —
Schedule and condition of building,
zone and space usage for energy
calculation —**

**Part 1:
Non-residential buildings**

*Performance énergétique des bâtiments — Plan et conditions
d'utilisation des espaces, zones et bâtiments pour le calcul
d'énergie —*

Partie 1: Bâtiments non résidentiels

**INTERNATIONAL
STANDARD**

**ISO
18523-2**

First edition
2018-02

**Energy performance of buildings —
Schedule and condition of building,
zone and space usage for energy
calculation —**

**Part 2:
Residential buildings**

*Performance énergétique des bâtiments — Plan et conditions
d'utilisation des espaces, zones et bâtiments pour le calcul
d'énergie —*

Partie 2: Bâtiments résidentiels

7.2.9. DIN 1946-6:2019

Die deutsche Norm DIN 1946-6:2019 stellt allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung von Lüftungen in Wohnungen.

4.2.2 Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz

Für die Ermittlung des Luftvolumenstromes zum Feuchteschutz ist der Wärmeschutz des Gebäudes zu berücksichtigen.

Die Luftvolumenströme für den Feuchteschutz, sind nach Gleichung (2) zu ermitteln, siehe auch Tabelle 7.

$$q_{v,ges,NE,FL} = f_{WS} \cdot (-0,002 \cdot A_{NE}^2 + 1,15 \cdot A_{NE} + 11) \quad (2)$$

Dabei ist

$q_{v,ges,NE,FL}$ der Luftvolumenstrom für den Feuchteschutz, in m^3/h ;

A_{NE} die Fläche der Nutzungseinheit, in m^2 (die lichte Raumhöhe wird mit 2,5 m zugrunde gelegt);

f_{WS} der Faktor zur Berücksichtigung des Wärmeschutzes des Gebäudes.

Der Faktor f_{WS} ist nach Tabelle 4 zu bestimmen.

Tabelle 4 – Faktoren zur Berücksichtigung des Wärmeschutzes f_{WS}

	Wärmeschutz hoch ^a	Wärmeschutz gering ^b
geringe Belegung ^c	0,2	0,3
hohe Belegung	0,3	0,4

^a Wärmeschutz hoch: Neubau nach 1995 oder Komplett-Modernisierung mit entsprechendem Wärmeschutzniveau.
^b Wärmeschutz gering: nicht oder teilmodernisierte (z. B. nur Fensterwechsel, dadurch Erhöhung der Dichtigkeit der Gebäudehülle bei niedrigem Wärmedämmstandard) Gebäude.
^c Geringe Belegung liegt üblicherweise in selbstgenutztem Eigentum $\geq 40 m^2/Person$ wie z. B. EFH vor. Bei Neubau ist eine Bedarfsanalyse entsprechend Bauvertragsrecht erforderlich.

Mittlere tägliche Feuchtfreisetzung durch Personen, Pflanzen, Körperpflege und Kochen
Nachfolgende Tabellenwerte gelten für die **mittlere Feuchtfreisetzung von maximal 200 g/h bzw. maximal 4.8 kg/d.**

Feuchtequelle	mittlere tägliche Feuchteabgabe
Nutzungseinheit mit 70 m^2	6.5 kg/d
Nutzungseinheit mit 90 m^2	7.0 kg/d
Nutzungseinheit mit 120 m^2	7.5 kg/d
Nutzungseinheit mit 160 m^2	8.0 kg/d

Randbedingungen:

Raumtemperaturen

- Schlafzimmer, Kinderzimmer (nachts): 16 °C
- Wohnzimmer, Kinderzimmer (tags), Küche: 20 °C, Bad: 22 °C

Temperaturfaktoren (im Bereich der kritischen Wärmebrücken)

- Wärmeschutz gering (vor WSchV 1995): $f_{Rsi} = 0,59$
- Wärmeschutz hoch (WSchV 1995 oder besser): $f_{Rsi} = 0,72$

Wichtige Hinweise:

Die DIN 1946-6 legt Lüftungstechnische Massnahmen zum Feuchteschutz fest: Behandelt wird die natürliche Lüftung über Aussenbauteil-Luftdurchlässe oder die mechanische Lüftung (einfache Lüftungsanlage). Die Lüftung durch manuelles Fensteröffnen wird für die Auslegung rechnerisch **nicht** behandelt.

Die DIN 1946-6 gilt nur in der Heizperiode sowie ganzjährig in Kellerräumen von Wohngebäuden.

Räume mit einer mittleren Feuchtfreisetzung > 200 g/h bzw. > 4.8 kg/d – hierunter fällt auch das Wäschetrocknen – sind **separat** zu berücksichtigen!

7.2.10. EN 15665:2009

Feuchtequelle	mittlere stündliche Feuchteabgabe
Kochen mit Erdgas	14.6 g/h

7.2.11. BS 5250:2011+A1:2016

In der britischen Norm BS 5250:2011 finden sich Angaben für die mittlere tägliche Feuchteproduktion in Abhängigkeit der Intensität und der Anzahl Bewohner. Das Korrigenda A1:2016 stand zum Zeitpunkt der Berichterstattung nicht zur Verfügung.

Table D.4 Moisture production rates in housing

Number of occupants	Average moisture production rate, kg/day		
	Low (One or two people, no children)	Medium (Average family with children)	High (Family with teenage children, indoor drying of laundry etc).
1	3 to 4	6	9
2	4	6	11
3	—	9	12
4	—	6	14
5	—	11	15
6	—	12	16

Table D.5 Typical moisture production rates from fuels

Fuel	Moisture release g/kWh
Natural gas ^{A)}	150
Manufactured gas ^{A)}	100
Paraffin	100
Portable LPG	100
Coke ^{A)}	30
Coal ^{A)}	10
Electricity	0

^{A)} The majority of heating appliances using these fuels are ventilated to the outside air. Consequently the water vapour produced by combustion is not released directly into the dwelling.

Table D.6 Typical moisture generation rates for household activities

Household activity	Moisture generation rates
People	40 g/h-person
asleep	70 g/h-person
seated, office work	90 g/h-person
standing, housework	300 g/h-person
moderate manual work	300 g/h-person
Cooking	2 000 g/day
electricity	3 000 g/day
gas	3 000 g/day
Dishwashing	400 g/day
Bathing/washing	200 g/day-person
Shower (15 min)	600 g/shower
Washing clothes	500 g/day
Drying clothes indoors	1 500 g/day
Washing floors	200 g/day
Plants	20 g/day-plant

Die Berichtersteller möchten auf Kapitel D.3.4 *Other Buildings* hinweisen. Hier wird angemerkt, dass es für andere Nutzungen als Wohnbauten bedeutend weniger Information vorliegen.

Figure D.1 aus BS 5250:2011 entspricht Bild A.2 aus EN ISO 13788:2012. Die Briten stellen jedoch keine Referenz zur BS EN ISO 13788:2012 her. Figure D.1 enthält zu Bild A.2 leicht abweichende Grenzwerte für die Feuchteklassen 2 und 5.

Figure D.1 und Bild A.2 wurden aus Messdatensätzen entwickelt. Es wird darauf hingewiesen, dass für Berechnungen die oberen Klassengrenzen zu verwenden sind, solange der Planer keinen anderen Nachweis erbringen kann.

D.3.4 Other buildings

Much less information is available covering buildings other than housing. However, the concept of classes of internal humidity load can be helpful. This concept is based on the assumption that the difference between the internal and external vapour pressure, the internal humidity load, depends upon the amount of moisture produced within the building and upon the ventilation rate.

$$\Delta p = p_i - p_e = \frac{C}{0.191NV}$$

where

- V is the total building volume in m³
- N is the ventilation rate in ac/h
- C is the daily moisture input in kg/day.

As the external temperature falls, Δp will rise because ventilation rates fall.

Internal humidity load can be described by five humidity classes. Figure D.1 shows limit values of Δv and Δp for each class as a function of external temperature, derived from measured data. Table D.7 shows the types of buildings expected to fall into each class and the range of relative humidities covered by the class in buildings with different internal temperatures, at an external temperature of 0 °C and a relative humidity of 95 %.

For calculations, it is recommended that the upper limit value for each class be used unless the designer can demonstrate that conditions are less severe.

Wherever possible, measured data should be used for the analysis of buildings in class 5, with high internal humidities. The dotted line on Figure D.1 gives suggested values which may be used in the absence of other data.

Figure D.1 Variation of internal humidity classes with external temperature

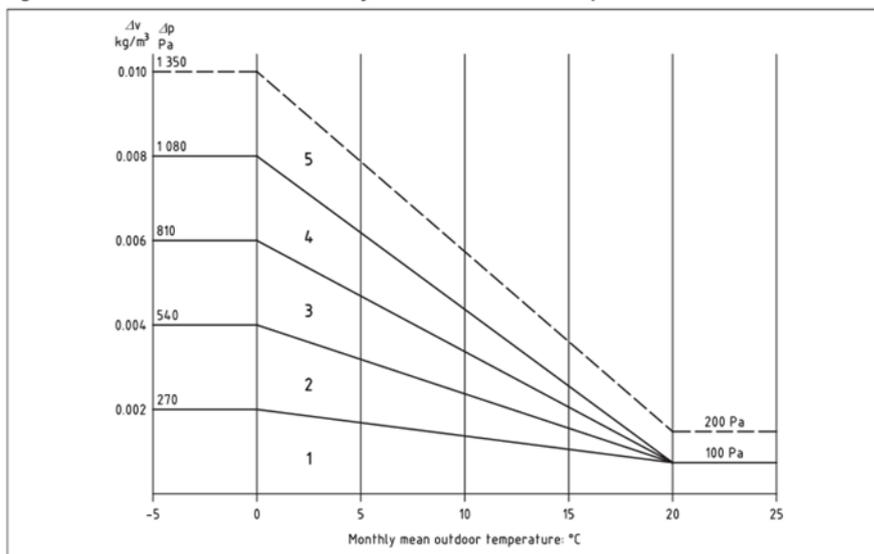


Table D.7 Internal humidity classes: building types and limiting relative humidities at $T_3 = 0\text{ °C}$

Humidity class	Building type	Relative humidity at internal temperature		
		15 °C	20 °C	25 °C
1	Storage areas	< 50	< 35	< 25
2	Offices, shops	50–65	35–50	25–35
3	Dwellings with low occupancy	65–80	50–60	35–45
4	Dwellings with high occupancy, sports halls, kitchens, canteens, buildings heated with unflued gas heaters	80–95	60–70	45–55
5	Special buildings, e.g. laundry, brewery, swimming pool.	> 95	> 70	> 55

Table D.7 listet Feuchteklassen mit limitierenden relativen Feuchten in Abhängigkeit der Nutzung und der Raumlufttemperatur auf. Alle Angaben beziehen sich auf eine Aussenlufttemperatur von 0°C.

Wichtiger Hinweis:

Neben der SN EN 16798-1:2019 ist BS 5250:2011 die einzige Referenz, die normativ auf Feuchteproduktionswerte für **Nutzungen in Nicht-Wohnbauten (non-residential)** hinweist.

7.2.12. ASHRAE Standard 160:2016 - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings

Die American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning (ASHRAE) legt in den USA die Normen für den Feuchteschutz in Gebäuden fest. Der ASHRAE Standard 160:2016 gibt Tabellenwerte für die Wohnnutzung an. Zu beachten ist, dass es sich um **Bemessungswerte für die Feuchteproduktion (Design Moisture Generation Rates)** handelt.

TABLE 4.3.2 Residential Design Moisture Generation Rates

Number of Bedrooms	Number of Occupants	Moisture Generation Rate		
1 bedroom	2	7 L/day	0.8×10^{-4} kg/s	0.64 lb/h
2 bedrooms	3	9 L/day	1.0×10^{-4} kg/s	0.83 lb/h
3 bedrooms	4	10 L/day	1.2×10^{-4} kg/s	0.92 lb/h
4 bedrooms	5	11 L/day	1.3×10^{-4} kg/s	1.0 lb/h
Additional bedrooms	+1 per bedroom	+1 L/day	$+0.1 \times 10^{-4}$ kg/s	+0.1 lb/h

Zu beachten ist, dass für die Umrechnungen in der Tabelle die Tabellenwerte in lb/h verwendet wurden (Basiswerte). Die Tabellenwerte in kg/s stammen von der Umrechnung von lb/h in kg/d. Sie enthalten Rundungsunsicherheiten. Grundsätzlich hätten zwei signifikante Stellen angegeben werden müssen, da der Anwender für Berechnungen in SI-Einheiten die kg/s verwenden wird und sich die Rundungsunsicherheiten so fortpflanzen (Unsicherheit im Bereich von 3% für die Umrechnung von kg/s in kg/h).

Mit der Revision des ASHRAE Standard 160:2009 wurden in der Ausgabe 2016 tiefere Bemessungswerte festgelegt. Die Werte der Ausgabe 2009 basierten auf den Arbeiten von TenWolde (2001).

Personen	Feuchteproduktion (Bemessung) ASHRAE 160:2009 [(lb/h) resp. kg/h]	Feuchteproduktion (Bemessung) ASHRAE 160:2016 [lb/h resp. kg/h]
1	n.a.	n.a.
2	(0.7) 0.3	(0.64) 0.29
3	(1.1) 0.5	(0.83) 0.38
4	(1.3) 0.59*	(0.92) 0.417
5	(1.4) 0.64*	(1.0) 0.453

Table 1. Design Residential Moisture Generation Rates (TenWolde and Walker 2001)

Number of Bedrooms	Number of Occupants	Moisture Generation Rate		
		L/day	kg/s	lb/h
1	2	8	0.9×10^{-4}	0.7 lb/h
2	3	12	1.4×10^{-4}	1.1
3	4	14	1.6×10^{-4}	1.3
4	5	15	1.7×10^{-4}	1.4
Additional	+1 per bedroom	+1	$+0.1 \times 10^{-4}$	+0.1

Die Werte in Table 1 sind für dauerhafte Anwesenheit im Wohnbereich adjustiert worden. Für unjustierte Originaldaten siehe TenWolde (1988) (entsprechend Fusszeile 3 in Paper Glass and TenWolde (2009)).

7.3. Richtlinien und Guides

7.3.1. VDI 2078:2015

Aktivität nach DIN EN 13779	Aktivitäts- grad	Raumlufttemperatur in °C						
		16	17	18	19	20	21	22
Entspannt sitzend	I	35	35	35	35	35	35	35
Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule)	II	35	35	39	45	50	55	61
Stehend, leichte Tätigkeit (Einkaufen, Leichtindustrie)	III	75	81	86	92	98	104	110
Stehend, mittelschwere Tätigkeit (Verkäufer, Arbeit an Maschinen)	IV	75	85	94	104	113	122	132

Die Temperaturabhängigkeit der Feuchteproduktion in [g/h] in der VDI 2078:2015 ist bemerkenswert. Eine solche Beziehung wird in den anderen untersuchten Normen vernachlässigt. Die Variation der Feuchteproduktion für eine sitzende Tätigkeit erreicht eine Grössenordnung von 74%.

7.3.2. prDIN SPEC 4108-8:2020-12

In der DIN 1946-6:2019 wird für die Auslegung die Lüftung durch manuelles oder automatisiertes Fensteröffnen rechnerisch **nicht** behandelt.

Die prDIN SPEC 4108-8:2020-12 lässt **alle Lüftungsarten** zu und kann bei der mechanischen Lüftung auch eine Feuchterückgewinnung berücksichtigen. Die Berechnungen erfolgen anhand projektbezogener Daten.

Aufgrund dessen erachten es die Berichtersteller des vorliegenden BAG-Projekts als unabdingbar, näher auf die prDIN SPEC 4108-8:2020-12 einzugehen.

Zum Zeitpunkt der Berichterstattung liegt die endgültige Fassung der DIN SPEC 4108-8 noch nicht vor. Diese sollte gemäss letzten Angaben im Herbst 2021 erscheinen.

In der Literaturrecherche wurde ein Fachartikel von Beike und Nadler gefunden, der auf die Anwendung der prDIN SPEC 4108-8:2020 zum Thema Feuchteschutzlüftung eingeht.

Die Autoren Beike und Nadler weisen darauf hin, dass der notwendige Volumenstrom zur Feuchteschutzlüftung mit der kommenden DIN SPEC 4108-8:2021 anhand physikalischer Parameter berechnet werden kann. Ebenso wird dargelegt, dass sich dort Algorithmen für die Ermittlung des Aussenluftvolumenstroms durch Fensterlüftung finden lassen.

Für die Auslegung einer kontinuierlich betriebenen Abluftanlage mit Aussenbauteil-Luftdurchlass oder Lüftungsanlage ist gemäss den Autoren ein relativ warmer Aussenklimazustand zu wählen. Für die natürliche Lüftung durch manuelles und automatisiertes Fensteröffnen ist gemäss den Autoren ein Lüftungskonzept bei einem sehr kalten Aussenklimazustand zu erstellen.

Die nachfolgenden Tabellen 1 und H.2 sowie das Bild 2 aus DIN SPRC 4108-8:2020-12 geben Hinweise zur Grössenordnung der Feuchteproduktion in Wohngebäuden:

Tabelle 1 — Typische nutzungsbedingte Feuchtequellen in Wohnungen

Feuchtequelle		Feuchteabgabe	
Mensch	überwiegend nicht aktiv oder leichte Aktivität, je Person	50 g/h	1 200 g/d ^a
Pflanzen	repräsentativer Mittelwert für verschiedene Zimmerpflanzen, je Stück, Mix von verschiedenen Zimmerpflanzen	2 g/h ^f	50 g/d ^f
Küche	Kochvorgänge	700 g/h – 1 000 g/h	
	Geschirrspüler (Geschirr abgekühlt)	100 g/Spülvorgang	
	Spülen unter fließendem Wasser (50 °C)	300 g/h	
	Spülen im Spülbecken (50 °C)	140 g/h	
Bad	Wannenbad	etwa 700 g/h	etwa 300 g/Bad ^b
	Duschen	etwa 2 600 g/h	etwa 300 g/Dusche ^c
	Abtrocknen	etwa 70 g/Vorgang	

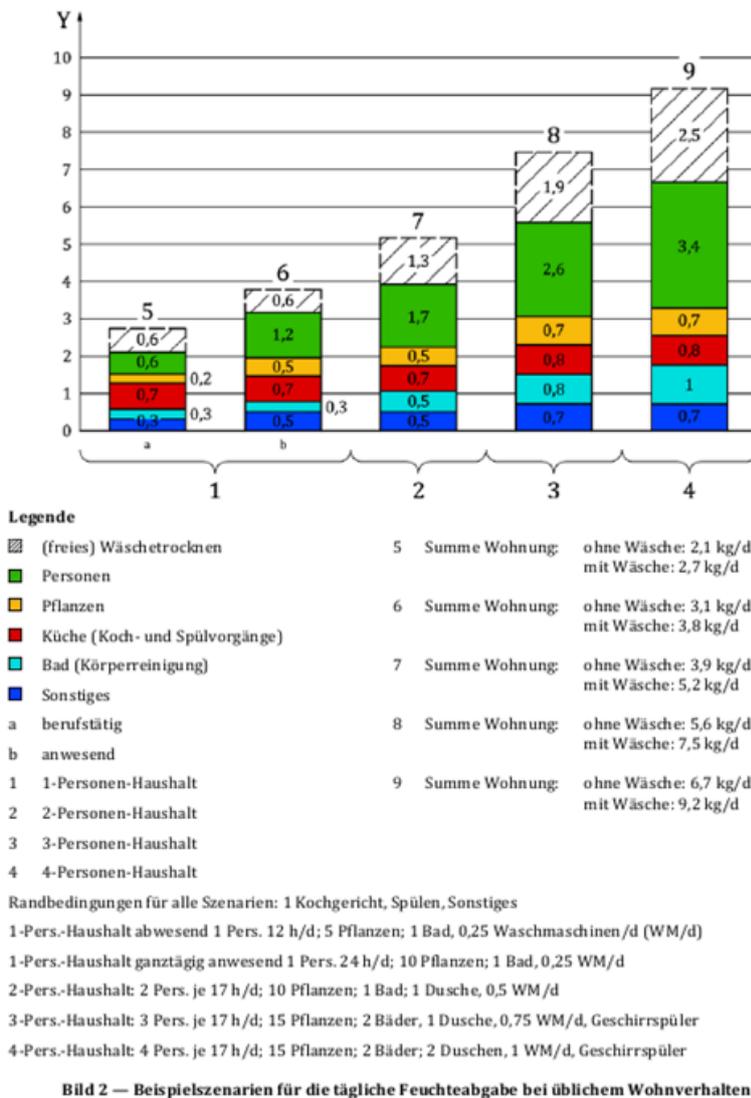
Feuchtequelle		Feuchteabgabe	
Wäschetrocknen ^e	5 kg geschleudert	2 500 g/Waschmaschine	
Haustiere	Aquarium (90 % abgedeckt, 26 °C)	6 g/(h·m ²) ^d	150 g/(d·m ²) ^d
	Katze	10 g/h	250 g/d ^a
	Hund (mittelgroß, 20 kg)	40 g/h	950 g/d ^a

- ^a Anwesenheit 24 h/d.
^b 20 min Wannenbad und Abtrocknen.
^c 5 min Dusche und Abtrocknen.
^d Bezogen auf die Grundfläche des Aquariums.
^e Trocknen der Wäsche im Raum.
^f Es handelt sich um repräsentative Mittelwerte für verschiedene typische Zimmerpflanzen. Messungen haben eine Feuchtefreisetzung im Bereich von 0,6 g/h bis 4,4 g/h je Zimmerpflanze ergeben. Die Feuchtefreisetzung von Zimmerpflanzen korrespondiert in sehr guter Näherung mit der Gießwassermenge.

Tabelle H.2 — Beispiel für die Feuchtebelastung einer Wohnung im Mehrfamilienhaus

Allgemeine Daten			Feuchtebelastung je Raum								
Wohnungsgröße: 77,1 m ²			Raum:		Wohnen	Schlafen	Kind	Flur	Bad	Küche	Abstell
Belegungsfläche: 26 m ² /Person			Fläche in m ² :		22,86	18,67	10,17	4,74	6,24	9,28	5,14
max. Personenanzahl: 3 Personen			Personenanzahl:		3	2	1	3	3	2	0
Spezifische Feuchtebelastungen			Belegung in h/d		12,0	8,0	15,0	0,5	0,5	1,0	0,0
Art der Belastung	spezifisch	Einheit	Summe in g/h	in g/d	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h
Personen	50	g/(h Pers.)	150	3 600	75	33	31	3	3	4	0
Pflanzen	0,29	g/(h m ²)	10	235	7	0	0	1	2	0	0
Sonstiges	0,30	g/(h m ²)	23	548	7	6	3	1	2	3	2
Bad (nur Abtrocknen)	2,9	g/(h Pers.)	9	209	0	0	0	0	9	0	0
Küche (nur Geschirrspüler)	4,2	g/(h Vorg.)	4	101	0	0	0	0	0	4	0
Wäschetrocknen	3,41	g/(h m ²)	78	1 872	78	0	0	0	0	0	0
individuelle Feuchtequellen	0	g/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			274	6 564	166	39	34	6	15	11	2

Tabelle H.2 enthält kein Duschen und Kochen, weil die DIN/TS 4108-8:2020-12 davon ausgeht, dass diese Feuchtebelastungen per Fensterlüftung oder als Abluft in Ablufträumen sofort abgeführt werden. Gemäss Urteil des deutschen Bundesgerichtshofs kann man das von einem Mieter erwarten. Die Lüftungsanlage muss dafür nicht ausgelegt werden (Hinweis von Norbert Nadler, Ingenieurbüro, D-Oranienburg vom 19.03.2021).



Hinweis zur Bauaustrocknung:

Der deutsche Baumeisterverband zeigt im Merkblatt *Hochwertige Nutzung von Untergeschossen – Bauphysik und Raumklima* (2009), dass im ersten Jahr nach Fertigstellung eine nicht zu vernachlässigende Feuchteproduktion durch Bauaustrocknung stattfindet. Diese liegt in der Größenordnung von 0.1 bis 0.7 g/(h.m²) und ist zeitabhängig abnehmend.

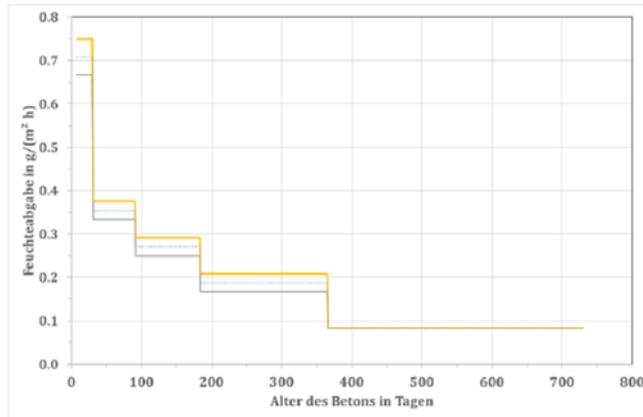


Bild 2: Stündlich austrocknende Feuchtigkeitsmenge aus Beton nach DBV-Merkblatt „Hochwertige Nutzung von Untergeschossen – Bauphysik und Raumklima“; Fassung Januar 2009

7.3.3. DIN/TR 4108-8:2010

Tabelle 1 — Typische Feuchtequellen in Wohnungen

Feuchtequelle		Feuchteabgabe	
Mensch	überwiegend nicht aktiv oder leichte Aktivität, je Person	50 g/h	1 200 g/d ^a
Pflanzen	repräsentativer Mittelwert für verschiedene Zimmerpflanzen, je Stück, Mix von verschiedenen Zimmerpflanzen	2 g/h ^f	50 g/d ^f
Küche	Kochvorgänge	700 g/h – 1 000 g/h	
	Geschirrspüler (Geschirr abgekühlt)	100 g/Spülvorgang	
	Spülen unter fließendem Wasser (50 °C)	300 g/h	
	Spülen im Spülbecken (50 °C)	140 g/h	
Bad	Wannenbad	etwa 700 g/h	etwa 300g/Bad ^b
	Duschen	etwa 2 600 g/h	etwa 300g/Dusche ^c
	Abtrocknen	etwa 70 g/Vorgang	
Wäschetrocknen ^e	5 kg geschleudert	2500 g/Waschmaschine	
Haustiere	Aquarium (90 % abgedeckt, 26 °C)	6 g/(h·m ²) ^d	150 g/(d·m ²) ^d
	Katze	10 g/h	250 g/d ^a
	Hund (mittelgroß, 20 kg)	40 g/h	950 g/d ^a

a Anwesenheit 24 h/d.
b 20 min Wannenbad und Abtrocknen.
c 5 min Dusche und Abtrocknen.
d Bezogen auf die Grundfläche des Aquariums.
e Trocknen der Wäsche im Raum.
f Es handelt sich um repräsentative Mittelwerte für verschiedene typische Zimmerpflanzen. Messungen haben eine Feuchtfreisetzung im Bereich von 0,6 g/h bis 4,4 g/h je Zimmerpflanze ergeben. Die Feuchtfreisetzung von Zimmerpflanzen korrespondiert in sehr guter Näherung mit der Gießwassermenge.

7.3.4. CEN/TR 14788:2006

Feuchtequelle	mittlere stündliche Feuchteabgabe
Verbrennungsgeräte mit Erdgas je Betriebszeit!	150 g/(h kW Leistung)
Erdgeschoss mit Kriechboden über Luftinfiltration	21-52 g/h

7.3.5. CIBSE Guide A Environmental design – 2006

Die Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) legt in Grossbritannien Richtlinien fest, die Hinweise zur Feuchteproduktion enthalten. Der CIBSE Guide A Environmental design (2006) zeigt in Table 7.1 typische Bereiche für die Feuchteproduktion in Gebäuden.

Table 7.1 Sources of moisture within buildings

Source	Moisture produced
Combustion in room heaters/cookers without flues:	
— paraffin	0.1 kg·h ⁻¹ ·kW ⁻¹
— natural gas	0.16 kg·h ⁻¹ ·kW ⁻¹
— butane	0.12 kg·h ⁻¹ ·kW ⁻¹
— propane	0.13 kg·h ⁻¹ ·kW ⁻¹
Household activities:	
— cooking (3 meals)	0.9–3.0 kg·day ⁻¹
— dish washing (3 meals)	0.15–0.45 kg·day ⁻¹
— clothes washing	0.5–1.8 kg·day ⁻¹
— clothes drying (indoors)	2–5 kg·day ⁻¹
— baths/showers	0.2–0.5 kg·person ⁻¹ ·day ⁻¹
— floor washing	0.5–1.0 kg per 10 m ²
— indoor plants	0.02–0.05 kg·plant ⁻¹ ·day ⁻¹
Perspiration and respiration of building occupants	0.04–0.06 kg·h ⁻¹ ·person ⁻¹

BS 5250⁽³⁾ suggests a typical daily moisture production rate of 6 kg for a five person family but clothes washing and the use of moisture-producing (i.e. non-electric) room heaters can increase this to 15 kg. The instantaneous moisture production will vary with the activities, e.g. a maximum will usually occur during cooking and clothes washing.

7.4. Handbooks und Fachbücher

7.4.1. ASHRAE HANDBOOK Fundamentals 2017 Chapter 36 Moisture Management in Buildings

Die hier zusammengestellten Datengrundlagen werden als wesentlich für das BAG-Projekt betrachtet. Die Überprüfung und allfällige Überarbeitung erfolgen alle 4 Jahre. Die Inhalte geben eine internationale Übersicht zum Stand des Wissens bezüglich Feuchteproduktion wieder. Das Chapter 36 umfasst aber einen bedeutend grösseren Bereich des Feuchtemanagements in Gebäuden. Aus unterschiedlichen internationalen Quellen werden Feuchteproduktionsdaten zusammengetragen und als Bereiche tabellarisch angegeben (Tabelle 1). Interessant sind die nationalen Unterschiede in der Feuchteproduktion (Tabelle 3). Für das BAG-Projekt von besonderem Nutzen sind die Fahrpläne für die Nutzung Wohnen mit 2- und 4-Personen Belegung und diversen Feuchtequellen (Tabellen 4 und 5).

Die Angaben zur Feuchteproduktion erfolgen als **mittlere Werte pro Tag oder pro Stunde**

Bei **amerikanischen Quellen** ist aber immer zu prüfen, ob es sich um **Bemessungswerte** oder um mittlere Werten (Daily mean oder hourly mean) handelt. Aus schweizerischer Sicht mögen sonst die publizierten Daten auf den ersten Blick hoch erscheinen.

Die hier angegebenen Tabellen und Hinweise entstammen der Ausgabe 2017. Die Angaben in der Ausgabe 2021 wurden auf Papier geprüft und sind unverändert geblieben.

CHAPTER 36

MOISTURE MANAGEMENT IN BUILDINGS

<u>Effects of Humidity and Dampness</u>	36.1	<u>Indoor/Outdoor Vapor Pressure Difference Analysis</u>	36.6
<u>Elements of Moisture Management</u>	36.1	<u>Avoiding Moisture Problems</u>	36.10
<u>Envelope and HVAC Interactions</u>	36.2	<u>Climate-Specific Moisture Management</u>	36.11
<u>Indoor Wetting and Drying</u>	36.2	<u>Moisture Management in Other Handbook</u>	
<u>Vapor Release Related to Building Use</u>	36.4	<u>Chapters</u>	36.12

Table 1 Vapor Released by Humans, Human Activities, and Plants

Source	Units	Release
Humans		
Light activity	g/h	30-60
Medium activity	g/h	120-200
Hard work	g/h	200-300
Bathroom		
Bath (15 min)	g	60
Shower (15 min)	g	660
Breakfast preparation for 4 people	g	160 to 270
Lunch preparation for 4 people	g	250 to 320
Dinner preparation for 4 people	g	550 to 720
Breakfast dish washing for 4 people	g	100
Lunch dish washing for 4 people	g	70
Dinner dish washing for 4 people	g	310
Simmering pot (diameter 150 mm, 10 min)	g	60
Boiling pot (diameter 150 mm, 10 min)	g	260
Potted flowers	g/h per pot	10
Potted plants	g/h per pot	15
Laundry		
Already spin-dried, until dry	g/h	20-200
Dripping wet, until dry	g/h	100-500
Unvented drier, until dry	g/h	2130-2900

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and Ten-Wolde and Walker (2001).

Table 2 Daily Vapor Release by Humans, Human Activities, and Plants: Data from Three Countries

Source, units	Release		
	U.K.	Denmark	United States
Humans, kg/person per day	1.2	0.9	1.25
Cooking for 4 people using electricity, kg/day	2	0.9	1.2
Using gas, kg/day	3		2.5
Dishwashing, kg/day	0.4	0.4	0.5
Bathing/washing, kg/person per day	0.2	0.4	0.25
Washing clothes, kg/day	0.5		
Drying clothes, kg/day	1.5	1.8	2.2
Mopping floors, kg/day		0.2	
Plants, kg/plant per day		0.02	0.05
Refrigerator defrost, kg/day			0.5

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and Ten-Wolde and Walker (2001).

Table 3 Vapor Released by Fuel Burning

Fuel	Vapor Released, kg/kWh
Natural gas	0.15
Manufactured gas	0.10
Paraffin	0.10
Coke	0.03
Coal	0.01

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and Ten-Wolde and Walker (2001).

Table 4 Vapor Release for Family of Two, Both Working, Weekday Schedule

Time, h	Number of Occupants	Vapor Released, g/h				Sum, g
		Occupants	Cooking	Hygiene	Washing	
1-5	2	120				600
6	2	120	240	720		1080
7	2	120	240			360
8-17	0					0
18	2	120				120
19-10	2	120	480			1200
21-22	2	120				240
23	2	120		480		600
24	2	120				120
Sum/day		1680	1440	1200		4320

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and TenWolde and Walker (2001).

Table 5 Vapor Release for Family of Four, One Parent and One Child at Home, Weekday Schedule

Time, h	Number of Occupants	Vapor Released, g/h				Sum, g
		Occupants	Cooking	Hygiene	Washing	
1-5	4	240				240
6-7	4	240	480	720		2880
8	2	120			120	240
9	1	120			180	300
10	1	120	720		180	1020
11-12	2	120	1200	120		2880
13-14	2	120	480	120		1440
15	2	120			120	240
16-17	2	180			120	600
18	4	240				240
19	4	240	480			720
20	4	240	480	240		960
21-22	4	240				480
23	4	240		240		480
24	4	240				240
Sum/day		4680	6000	2400	840	13 920

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and TenWolde and Walker (2001).

Table 6 Daily Vapor Release in Relation to Number of Family Members

	Family Members			
	2 (no children)	3 (1 child)	4 (2 children)	>4 (>2 children)
Vapor release, kg/day	8	12	14	>14 + 1 kg/day per child
	7	20	14.6	
	13.2	19.9	23.1	
		11.5		
		5-12		
		6-10.5		
	4.3		13.7	
	8.2	12.1	14.1	14.4
Mean	8.14	11.9	15.9	—

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and TenWolde and Walker (2001).

Table 7 Vapor Release Rates by Percentile

Country	Houses	Vapor Release Rate (kg/day)		
		10%	50%	90%
Canada	Detached	3.0	8.7	21.0
Denmark	Flats/mechanical ventilation	2.5	5.8	10.0
	Detached/mechanical ventilation	3.5	8.0	13.5
	Detached/natural ventilation	3.0	6.5	13.0
Sweden	Detached	4.6	8.7	15.7
	Multifamily dwelling units	2.4	5.6	11.0

Sources: IEA-ECB (1990), Kumaran and Sanders (2008), Sanders (1996), and Ten-Wolde and Walker (2001).

Table 8 Measured Surface Film Coefficients for Diffusion, Related to Pool Surface

Natatorium 1 (university pool, water surface 325 m ² , water temperature between 27 and 28°C)				Natatorium 2 (recreation pool, 60 m long chute, waterfall, preschooler pool, massage pool, and whirlpool. Total water surface 483 m ² , water temperature between 30 and 31°C)		
Pool Users	Evaporation g/(m ² ·h)	β kg/(m ² ·s·Pa)		Evaporation g/(m ² ·h)	β kg/(m ² ·s·Pa)	
			Measuring period 1			
Water surface covered	0	38	4.9E-9	(1) = water uncovered	171	15E-9
Uncovered	0	79	9.7E-9	(1) + chute	—	17E-9
			Measuring period 2			
Water surface covered	0	69	6.5E-9	(1) + waterfall	—	18E-9
Uncovered	0	112	13E-9	(1) + preschooler pool	—	19E-9
			Measuring period 3			
Pool in use, teaching	13	125	15E-9	(1) + massage pool	—	15E-9
revalidation	29	119	14E-9	(1) + whirlpool	—	16E-9
free swim 1	42	163	23E-9			
50+ swim	13	141	19E-9			
free swim 2	65	172	27E-9			
free swim 3	75	167	31E-9			

Source: Hens (2009b).

7.4.2. ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications 2019 Chapter 64 Moisture and Mold

Das Handbook HVAC Applications stellt eine weitere bedeutende Publikation von ASHRAE dar. Es erscheint ebenfalls im Vierjahres-Turnus. Die vorliegende Fassung 2019 wurde betreffend Relevanz für das BAG-Projekt geprüft. Der Schwerpunkt des Chapters 64 Moisture and molds (*Feuchtigkeit und Schimmelpilz*) liegt in der Bauphysik. Für die absehbare Revision der SIA 180:2014 und die Überarbeitung der Wegleitung SIA 4001 sollte dieses Chapter von der Kommission NK 180 geprüft werden.

CHAPTER 64

MOISTURE AND MOLD

<u>COMPLEX CAUSES</u>	64.1	<u>SOLUTIONS</u>	64.6
<u>MOISTURE TOLERANCE AND LOADS</u>	64.2	<u>Architecture and Design</u>	64.6
<u>RISK FACTORS AND MITIGATION</u>	64.3	<u>HVAC Systems</u>	64.8
<u>HVAC Systems</u>	64.3	<u>HEALTH-RELEVANT INDOOR DAMPNESS</u>	64.11
<u>Architectural Factors</u>	64.5	<u>MEASURING BUILDING DAMPNESS</u>	64.12
<u>Building Operational Decisions</u>	64.5	<u>Water Activity</u>	64.12
<u>Occupant Decisions</u>	64.5	<u>Moisture Content</u>	64.12

Quelle ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications 2019

7.4.3. Fachbuch *Wohnraumlüftung* von Heinrich Huber (vor Publikation 2021), Hochschule Luzern T&A

Raumluftfeuchte

Die Raumluftfeuchte hängt ab von der Feuchtproduktion in der Wohnung (Anwesenheit von Personen, Lüftungsverhalten, Kochen, Duschen etc.), der Lüftung und dem Aussenklima.

Feuchtproduktion

Wenn keine anderslautende Nutzungsvereinbarung besteht, wird davon ausgegangen, dass die Wohnung gemäss SIA 2024:2015 genutzt wird. Tabelle 2 zeigt die Feuchteproduktion in einem Mehrfamilienhaus (MFH) in Anlehnung an SIA 2024:2015 und SIA 180:2014.

Beschreibung	Aktivität		ganzer Tag
	wach	schlafen	
Dauer der Aktivität (Anwesenheit gem. SIA 2024:2015) [h]	6	8	14
Feuchtproduktion pro Person und Stunde (gem. SIA 180:2014, bei 24 °C) [g/h]	70	45	-
Aufsummierte Feuchtproduktion pro Person über die Dauer der Aktivität [g/d]	420	360	780
Weitere Feuchtequellen (in Anlehnung an SIA 2024:2015: pro Person 15 g/h bei Anwesenheit) [g/d]	-	-	220
Feuchteproduktion pro Person und Tag [g/d]	-	-	1000

Die Werte in obenstehender Tabelle liegen für dauernd belegte Wohnungen eher auf der niedrigen Seite. Die Feuchteproduktion von Personen ist zwar bei 21 °C etwa 20 % tiefer als bei 24 °C. Dafür kann bei den "**weiteren Feuchtequellen**" je nach Kochgewohnheiten, Zimmerpflanzen etc. ohne weiteres eine **zwei- bis viermal höhere Feuchteproduktion** anfallen.

In Wohnungen fallen pro Person und Tag typischerweise 1 bis 1,5 kg Wasserdampf an.

Anforderungen im Winterfall

Gemäss SIA 180:2014 und SIA 382/5:2014 beträgt die minimal zulässige relative Raumluftfeuchte (r. F.) 30 %. Diese Anforderung ist mit den folgenden Bedingungen verbunden:

- Die minimal zulässige Raumluftfeuchte darf während 10 % der Nutzungszeit unterschritten werden.
- Die relative Raumluftfeuchte bezieht sich bei normaler Wohnnutzung auf 21 °C Raumlufttemperatur. Sind andere Raumlufttemperaturen vorgesehen, wird die Feuchte auf 21 °C umgerechnet.
- Bei Lagen über 800 m ü. M. reduziert sich die zulässige Feuchtegrenze um 1 % r. F. pro 100 m, bis minimal 20 % r. F.

7.5. (Peer-reviewed) Journal Paper und Proceedings

7.5.1. Nazaroff W.W., Weschler J. Ch., Indoor acids and bases, *Indoor Air Journal* (2020)

Beyond air conditioning, other types of adventitious phase change would more commonly cause water to evaporate, increasing indoor water vapor (RH). TenWolde and Walker²⁹ have summarized residential moisture design loads. Representative water vapor emission rates from all indoor sources were scaled according to the number of bedrooms in the household: 8 kg/d (0.33 kg/h) for a one-bedroom unit, 12 kg/d (0.5 kg/h) for two bedrooms, 14 kg/d (0.58 kg/h) for three, and an increment of 1 kg/d for each additional bedroom. TenWolde and Pilon³⁰ have reviewed the component contributions to interior water vapor generation. For direct human emissions, representing the sum of respiration and transpiration, they suggest a range of 0.8-1.7 kg/d for an adult at rest. Personal emissions from children are assumed to scale in proportion to body weight. Each shower is estimated to emit in the range 0.2-0.8 kg of water vapor, depending on duration (in the range 3-15 min). Cooking for a family of four releases 0.24 kg/meal and dishwashing 0.25 kg/load of dishes. For a family of four, a bottom-up estimate of daily interior emissions of water vapor might sum to about 5 kg/d from personal emissions, 2 kg/d from bathing, and 1 kg/d from meals, or a total of about 8 kg/d = 330 g/h. The addition of 0.33-0.58 kg/h of water vapor into a residence of 350-m³ volume and an air-exchange rate of 0.5 h⁻¹ would add a mass concentration increment of 1.9-3.3 g/m³ to the indoor air-water vapor concentration. At T = 298 K, the corresponding increase in indoor relative humidity would be 8%-15%. Consequently, for these not uncommon conditions, an RH of 50% in the absence of contributions from the occupants would be expected to increase to 58%-65%.

Quelle: Nazaroff W.W., Weschler J. Ch., *Indoor acids and bases*, *Indoor Air Journal* 2020;30:559-644 (p. 563)

Die Review von Nazaroff und Weschler zitiert TenWolde und Walker (2007), welche Angaben für Feuchtequellen in Abhängigkeit von der Anzahl der Schlafräume machen. Alle Angaben beziehen sich auf **stündliche oder tägliche Bemessungswerte**.

Die **stündlichen Bemessungswerte** für Feuchteproduktion in Wohnungen liegen in einem Bereich von 0.33 bis 0.58 kg/h (1 bis 3 Schlafzimmer). Die amerikanischen Angaben für die Belegung beziehen sich häufig auf die Anzahl Schlafzimmer.

Der Hinweis, dass die Feuchteproduktion in diesem Bereich in einem Raumvolumen von 350m³ mit Luftwechsel 0.5 ACH bei einer Ausgangsfeuchte von 50 % zu einer Erhöhung der relativen Feuchte von 58-65 % führt ist beachtenswert.

7.5.2. Kalamees, Vinha et al., Indoor Humidity Loads and Moisture Production in Lightweight Timber-frame Detached Houses (2006)

Table 6. Typical average moisture production rates.

Activity	Used in this study (kg/d)	Moisture production rates found from literature (kg/d)				
		Angell (1988)	BS 5250 (1989)	Koch (1986)	Trechsel (1994)	CIBSE (1999)
People	0.9	1.25		0.9	1.25	0.96-2.4
asleep			0.96			
active			1.32			
light activity					0.72-1.44	
medium activity					2.9-4.8	
hard work					4.8-7.2	
Dog/cat	0.4/0.1	fraction of adult weight				
Cooking (family of four; electricity/gas)	0.8				2.4	
breakfast		0.17/0.27	2/3	0.9/-		
lunch		0.25/0.32				
dinner		0.58/0.75				
3 meals						0.9-3.0
Dishwashing (family of four)		0.10-0.32	0.4	0.4		0.15-0.45
House plants (~5 st.)	0.4	0.41-0.45		0.1		0.8
small potted violets					0.12-0.24	
medium size plant (fern)					0.17-0.36	
medium size plant (rubber)					0.5	
Shower (once)	0.3		0.2	0.4		0.19-0.38
5-minute		0.25			0.22	
Sauna (once)	1	1.28/h				
Drying clothes (load)	1	2.2-2.9	1.5	1.8		1.25-3.5
spin dried					0.05-0.2	
dripping wet					0.45-2.3	

236

T. KALAMEES ET AL.

Quelle: Kalamees T., Vinha J. et al., Indoor Humidity Loads and Moisture Production in Lightweight Timber-frame Detached Houses, *Journal of Building Physics* 29:219-245, 2006.

Die Angaben in der Tabelle 6 beziehen sich auf die **mittlere tägliche Feuchteproduktion**. Auffällig ist, dass die Autoren auf eine 15-20 Jahre zurückliegende Datenbasis beziehen müssen. Ihre Annahmen vergleichen die Autoren mit den zitierten Literaturquellen.

Die Autoren machen den Hinweis, dass die **EN ISO 13788:2001** bei der raumseitigen Feuchtezufuhr Δv_i **einen Sicherheitszuschlag von 10%** zur Berücksichtigung der **Unsicherheiten bei steady-state Berechnungen** vorsieht. Mit Erscheinen der **SN EN ISO 13788:2012** ist dieser Sicherheitszuschlag von 10 % aber wieder entfallen.

7.5.3. Yik et al., Moisture Generation through Chinese Household Activities (2004)

Source of moisture		BS 5250 [15]	CIBSE [16]	Lstiburek [17]	Hanson [18]	Trechsel [19]	Rousseau [20]
People (g · h ⁻¹ per person)	Asleep	40					
	Active	55					
	Light activity					30–120	
	Medium activity					120–200	
	Heavy activity					200–300	
	Perspiration and respiration Not specified		40–100	65	180		50
Cooking (g · day ⁻¹ per household)*	Breakfast (elect/gas)			200/520			
	Lunch (elect/gas)			300/680			
	Dinner (elect/gas)			700/1600			
	3 meals		900–3000		920	1500	957
	Simmer (cover/uncovered)			6/75 (g per 10 min)			
	Boil (covered/uncovered)			270/330 (g per 10 min)			
	Whole day (electricity)	2000					
	Whole day (gas)	3000			2160		1435
Dishwashing (g · day ⁻¹)*	Breakfast			30			
	Lunch			25			
	Dinner			100			
	Not specified	400	150–450		450		522
Bathing (g · day ⁻¹)*	Tub			280	200	2400	696
	Shower			1200	920		1216
	Not specified	800	750–1500				
Clothes washing (g · day ⁻¹)*	500	500–1800		1960			
Indoor clothes drying (g · day ⁻¹)*	Unvented	6000		2660–3520 (g per load)	11,970	2200–2920 (g per load)	1740
			5000–14,000				134
Floor mopping/ washing (g · m ⁻²)	Not specified		100–150	180	150	116	
Indoor plants (g · day ⁻¹)			800	500	20 g · h ⁻¹	500	391

*For a four-member household.

Quelle: Yik F.W.H., Sat P.S.K et al., *Moisture Generation through Chinese Household Activities, Indoor and Built Environment* 13(2): 115-131, 2004.

7.5.4. Pallin et al., Stochastik modeling of moisture supply in dwellings based on moisture production and moisture buffering capacity (2011)

Table 1

Common indoor moisture sources in households together with expected variations of the moisture production (Johansson, et al., 2010).

INDOOR MOISTURE SOURCES	
	[kg/Event]
Bathing	0.06-0.16
Showering	0.20-0.40
Sauna bathing	0.00-1.28
Whirlpools	0.12-0.32
Tumble drier	0.00-0.70
Unvented drying	1.25-3.50
Ironing	0.00-0.60
Floor mopping	0.30-5.00
Breakfast	0.13-0.52
Lunch	0.25-1.75
Dinner	0.47-3.86
Hand dishwashing	0.10-0.60
Dishwashing machine	0.20-0.40
	[kg/day]
Humans	0.50-2.00
Pets	0.10-1.20
Aquarium	0.40-1.40
Plants	0.10-0.50

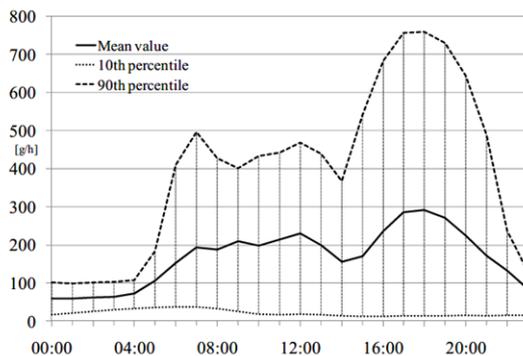


Figure 4 Hourly variations of the indoor moisture production based on simulation of 1000 Swedish household during one year. The graph is presenting the mean value, 10th and 90th percentiles on an average yearly daily basis.

Pallin et al. haben 2011 damit begonnen, mittels statistischer Methoden Aussagen zur zeitabhängigen Feuchteproduktion unter Berücksichtigung des Benutzerverhaltens und der Feuchtespeicherung zu machen. Die Angaben zu den 10%- und 90%-Perzentilen sind wichtige Hinweise für die unteren und oberen Grenzen zur Feuchteproduktion in Wohnbauten. Die auf der Basis von 1000 schwedischen Haushalten berechnete Feuchteproduktion ist über das Jahr gemittelt.

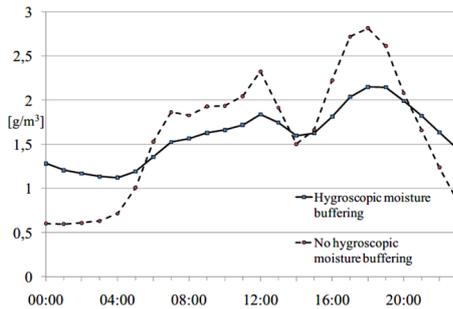


Figure 5 Hourly variations of the indoor moisture supply with and without consideration of hygroscopic moisture buffering capacity of surface materials. The graphs are presenting hourly mean values based on simulation of 1000 households during one year.

Quelle: Pallin et al., Stochastik modeling of moisture supply in dwellings based on moisture production and moisture buffering capacity Proceedings of Building Simulation:12th Conference of International Building Performance Simulation Association (IBPSA), Sydney, 2011.

7.5.5. Ilomets et al., Indoor hygrothermal loads for the deterministic and stochastic design of the building envelope for dwellings in cold climates (2017)

Table 3. Factors influencing moisture excess levels and production during the cold period ($t_e \leq +5^\circ\text{C}$).

Factor studied	No. of dwellings	All occupancy		Restricted occupancy				Restricted occupancy			
		Average	90th percentile	Average		90th percentile		Average		90th percentile	
				$O < 27$	$O > 27$	$O < 27$	$O > 27$	$O < 27$	$O > 27$	$O < 27$	$O > 27$
Moisture excess, Δv (g/m^3)											
Occupancy, O											
$\leq 27 \text{ m}^2/\text{person}$	121	3.28	6.08	N/A				N/A			
$> 27 \text{ m}^2/\text{person}$	116	2.16	4.17	N/A				N/A			
Cooking											
\leq Once per day	102	2.52	5.66	3.12	2.03	6.63	4.42	85	52	232	153
\geq Twice a day	70	2.95	5.55	3.40	2.26	5.67	3.74	76	61	221	161
Laundry drying											
Yes	76	2.68	6.04	3.46	2.07	6.86	4.10	62	42	143	121
No	43	2.27	5.49	2.94	1.77	6.42	4.36	65	33	186	98
Shower use											
\leq Once per day	81	2.55	5.88	3.27	2.07	6.46	4.13	84	51	269	177
\geq Three times a day	48	2.98	5.65	3.34	2.21	5.67	4.22	93	69	225	157

Bold value indicates statistically significant differences, that is, $p < 0.05$.

Table 4. Factors influencing moisture excess levels and air change during the cold period ($t_e \leq +5^\circ\text{C}$).

Factor studied	No. of dwellings	All occupancy		Restricted occupancy				Restricted occupancy			
		Average	90th percentile	Average		90th percentile		Average		10th percentile	
				$O < 27$	$O > 27$	$O < 27$	$O > 27$	$O < 27$	$O > 27$	$O < 27$	$O > 27$
Moisture excess, Δv (g/m^3)						Air change rate, n (h^{-1})					
Air change, n											
< 0.3 h^{-1}	25	3.50	7.19	4.34	2.54	7.73	4.25	N/A			
> 0.6 h^{-1}	49	2.48	4.95	2.90	1.91	5.06	3.49	N/A			
Ventilation type											
Passive stack	63	3.13	6.47	3.41	3.23	7.11	4.96	0.50	0.26	0.10	0.15
Mechanical	61	2.78	5.34	3.16	2.28	5.47	4.60	0.87	0.84	0.50	0.22
Ventilation stack height											
$\leq 1 \text{ m}$	31	3.81	7.28	4.20	2.98	8.24	5.55	0.47	0.58	0.20	0.24
> 4 m	79	2.50	4.91	2.71	2.08	5.41	3.72	0.71	0.68	0.14	0.20
Window airing											
≤ 2 times/day	91	2.62	5.31	3.10	2.18	5.78	4.16	0.65	0.60	0.14	0.24
≥ 3 times/day	80	3.09	6.05	3.47	2.37	6.38	5.45	0.61	0.70	0.20	0.17
Age of windows											
≤ 10 years	92	3.40	6.02	3.02	2.16	6.39	5.42	0.59	0.39	0.13	0.15
> 10 years	48	2.70	5.42	3.33	2.42	5.46	4.28	0.64	0.68	0.20	0.28
Air leakage rate, q_{50}											
$\leq 4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	82	2.79	6.34	3.69	2.09	7.77	4.27	0.57	0.62	0.18	0.21
> $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	91	2.55	4.89	3.08	2.03	5.38	3.64	0.71	0.63	0.20	0.20

Bold value indicates statistically significant difference, that is, $p < 0.05$.

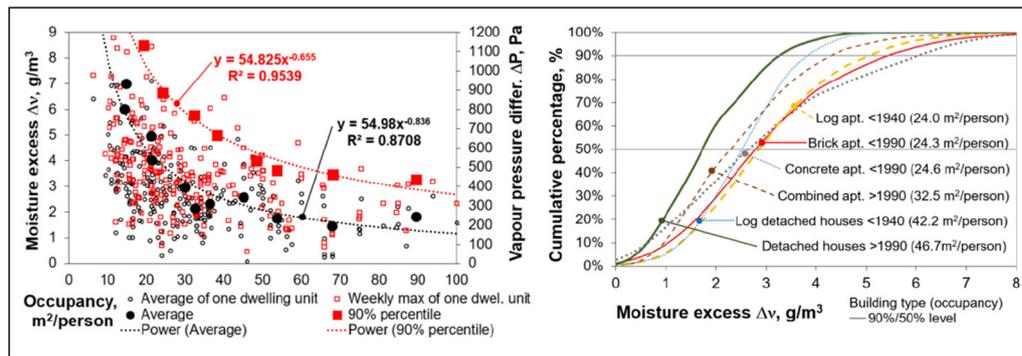


Figure 6. The dependence of moisture excess levels on occupancy (left) and cumulative distributions of moisture excess levels according to building typology during the cold period ($t_e \leq +5^\circ\text{C}$) (right) based on all measurements.
Apt: apartments.

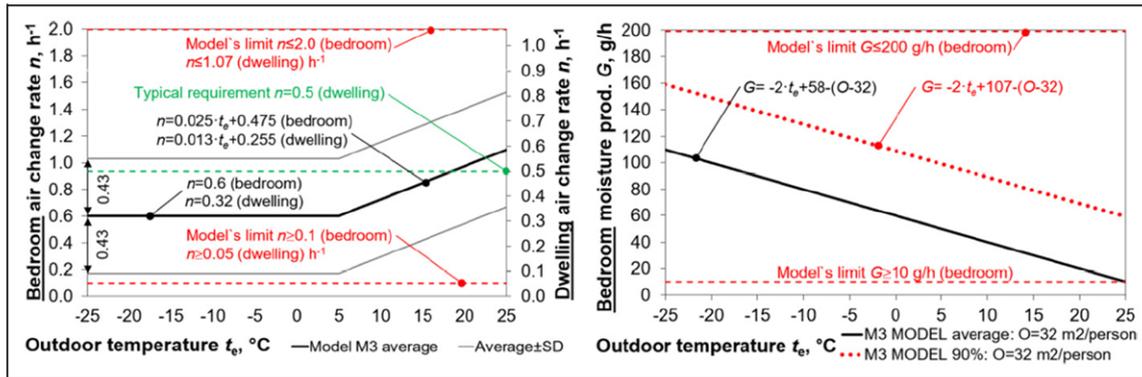


Figure 13. The dependency of air change rate levels for the bedroom (the primary y-axis) as well as for the entire dwelling (the secondary y-axis) on the left and moisture production levels for a bedroom as a function of occupancy O (right) according to the M3 model.

Quelle: Ilomets S., Kalamees T. et al., Indoor hygrothermal loads for the deterministic and stochastic design of the building envelope for dwellings in cold climates, *Journal of Building Physics* 41:6, 2017

7.5.6. TenWolde A., Pilon C.L., Effect of Indoor Humidity on Water Vapor Release in Homes (2007)

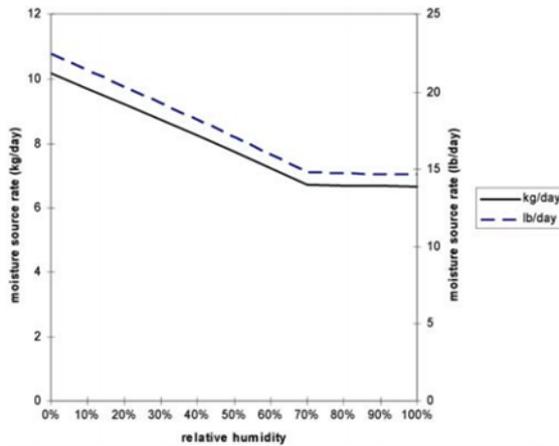


Figure 3 Example moisture release from a family of five, with a medium contribution from the foundation.

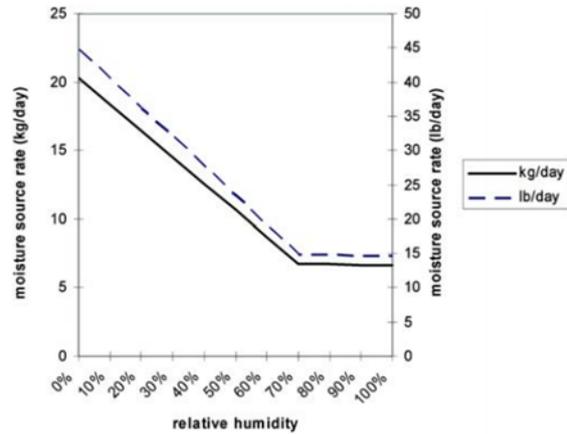


Figure 4 Example moisture release from a family of five, with a high contribution from the foundation. Note: Foundation temperature is 15.6°C (60°F) and indoor air temperature is 21.1°C (70°F).

Table 2. Contribution from a Foundation as a Function of Indoor Humidity

RH	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Source rate, kg/m ² -h (lb/ft ² -h)	0.0024 (0.0056)	0.002 (0.0047)	0.0016 (0.0038)	0.0012 (0.0028)	0.0008 (0.0019)	0.0004 (0.001)	0 (0)

Note: foundation temperature is 15.6°C (60°F) and indoor air temperature is 21.1°C (70°F).

TenWolde weist auf den Einfluss von feuchten Fundamenten auf die Feuchteproduktion hin.

Table 1. Design Residential Moisture Generation Rates (TenWolde and Walker 2001)

Number of Bedrooms	Number of Occupants	Moisture Generation Rate		
		L/day	kg/s	lb/h
1	2	8	0.9×10^{-4}	0.7 lb/h
2	3	12	1.4×10^{-4}	1.1
3	4	14	1.6×10^{-4}	1.3
4	5	15	1.7×10^{-4}	1.4
Additional	+1 per bedroom	+1	$+0.1 \times 10^{-4}$	+0.1

TenWolde gibt **Bemessungswerte** für die Feuchteproduktion in Wohnbauten an. Er hat diese Bemessungswerte bereits früher zusammen mit Walker (2007) publiziert.

Quelle: TenWolde A., Pilon C.L., *The effect of indoor humidity on water vapor release in homes, Proceedings of the Buildings X Conference, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Clearwater Beach USA, 2007.*

7.5.7. Choi et al. Why does a High Humidity Level form in low-income households?

Gemäss Choi et al. beträgt die Feuchteproduktion 113-600 g/Dusche, 50-174 g/Bad, 535-5174 g/Tag beim Kochen und 1100-11.970 g/Tag beim Wäschetrocknen.

Die in der Literatur angegebenen Werte für die Feuchteproduktion in Wohnräumen variieren sehr stark. Dies liegt daran, dass die Messungen unter verschiedenen Bedingungen und Klimazonen und in verschiedenen Gebäudetypen durchgeführt wurden und die Studien die Auswirkungen der saisonalen Feuchtespeicherung teilweise nicht berücksichtigen.

Table 1. Overview of the indoor moisture excess found from conventional studies.

Reference	Region	Dwelling Type	Room Type	n	Average Moisture Excess [G/M ³]		
					Warm	Cold	
					Tout > 5 °C, ≤15 °C	Tout ≤ 15 °C	
Janssens and Vandepitte (2006) [43], Vandepitte (2006) [44]	Belgium	Private single family Social housing Private housing	Living room	17	0.5 *	1.7	
			Bedroom			1.9	
			Overall			2.1	
			Overall	4		1.5	
Kalamees et al. (2006) [45]	Finland	Lightweight timber-frame detached houses	Bedroom	101	0.5 *	1.9	
			Living room			0.4 *	1.7
Stig Geving et al. (2011) [41]	Norway	Detached one-family house, semi-detached two- or four-family house, chained house, apartment building	Living room	117		1.6	
			Bedroom			1.2	
			Bathroom			2.8	3.6
Korpi et al. (2008) [46]	Finland	Heavyweight houses	Bedroom	69		1.5	1.3
Hagentoft et.al (2015) [47]	Denmark	Single-family house Multi-family house	Overall	422		1.5	-
			Overall			58	1.8
Kalamees et al. (2005) [42]	Estonia	Single-family lightweight detached house	Bedroom	27		0.3 *	1.6
			Living room			0.2 *	1.4

* Maximum outdoor temperature is not limited at upper limit (15 °C).

Table 2. Moisture generation rate found from conventional studies.

Source of Moisture	Moisture Generation Rate	Reference	Nationality	
All day	3000 g/day (gas) 2000 g/day (elec)	bs5250(2011) [17]	UK	
	600-1500 g/h	Bley (1983) [13,52]	Germany	
	5174 g/day	Yik (2004) [53]	China	
3 meals	2160 g/day (gas) 920 g/day (elec)	Hansen(1984) [54]	Canada	
	900-3000 g/day	CIBSE (2006) [55]	UK	
	535 g/day (gas) 209 g/day (elec)	Atsushi (2019) [56]	Japan	
	957 g/day	Rousseau(1984) [57]	Canada	
	408 g	Hite and Bray (1949) [48]	America	
Cooking	450 g (gas) 170 g (elec)	Angell and Olson (1988) [49,50,58,62]	America	
	468 g	Watanabe (1965) [59]	Japan	
Breakfast	257 g	Yik (2004) [53]	China	
	530 g	Hite and Bray (1949) [48]	USA	
Lunch	570 g (gas) 250 g (elec)	Angell and Olson (1988) [49,50,58,62]	USA	
	159 g	Watanabe (1965) [59]	Japan	
	948 g	Yik (2004) [53]	China	
Dinner	1220 g	Hite and Bray (1949) [48]	USA	
	1330 g (gas) 580 g (elec)	Angell and Olson (1988) [49,50,58,62]	USA	
	3859 g	Yik (2004) [53]	China	
Bathing	946 g	Watanabe (1965) [59]	Japan	
	600 g/15 min shower	bs5250 (2011) [17]	UK	
	230 g/shower	Hansen (1984) [54]	Canada	
	304 g/shower	Rousseau (1984) [57]	Canada	
	113-226 g/shower	Hite and Bray (1949) [48]	USA	
	250 g/5 min shower	Angell and Olson (1988) [49,50,58,62]	USA	
	2600 g/h	Schmittlutz (1975) [13,60]	Germany	
	530 g/18 min shower	Yik (2004) [53]	China	
	Tub	50 g/bath	Hansen (1984) [54]	Canada
		174 g/bath	Rousseau (1984) [57]	Canada
700 g/h		Schmittlutz (1975) [13,60]	Germany	
Unvented dryer	54 g/bath	Hite and Bray (1949) [48]	USA	
	60 g/bath	Angell and Olson (1988) [49,50,58,62]	USA	
Drying clothes	1500 g/day	bs5250 (2011) [17]	UK	
	11,970 g/day	Hansen (1984) [54]	Canada	
	50-200 g/h (spin dried), 100-500 g/h (dripping wet)	Erhorn (1986) [13,61]	Germany	
	1,1974 g/day	Hite and Bray (1949)	USA	
	2200-2920 g/load	Angell and Olson (1988) [49,50,58,62]	USA	
	2000-5000 g/day	CIBSE (2006) [55]	UK	
	1740 g/day	Rousseau (1984) [57]	Canada	
Indoor drying	1666 g/day	Yik (2004) [53]	China	
	1100 g/person per day	Atsushi (2019) [56]	Japan	

Quelle Choi Y. Lim Y. et al. Why does a High Humidity Level Form in low-income households? Sustainability, 12, 7563, MDPI, Basel, 2020.

7.5.8. Glass S.V., TenWolde A., Review of moisture balance models (2009)

Glass und TenWolde zeigen, dass es eine recht grosse Variabilität in den Feuchteproduktionsraten gibt und argumentieren, dass die kombinierte Unsicherheit in den Feuchteproduktions- und Luftaustauschraten die Verwendung von einfachen Modellen zur Feuchtepufferung rechtfertigt. Abschliessend bewerten sie die Zeitskala, für die die Feuchtigkeitspufferung von Bedeutung ist, und kommen zu dem Schluss, dass die Daten zum Zeitpunkt der Publikation (2009) nur kurzfristige Effekte unterstützen.

Zur Quantifizierung der Feuchteproduktionsraten in Wohngebäuden können zwei Methoden verwendet werden:

Methode 1:

Summierung von Schätzungen für die Feuchteproduktion aus einzelnen Quellen, basierend auf angenommenen Belegungsplänen und Aktivitätsszenarien

Methode 2:

Berechnung der Gesamtfeuchteproduktionsraten, basierend auf Messungen der Innenraumfeuchte, der Aussenfeuchte und der Luftaustauschraten.

Die letztgenannte Methode kann eine Modellierung der Feuchtigkeitsbilanz beinhalten, um die Pufferung zu berücksichtigen, oder sie kann die Pufferung vernachlässigen, wenn der Messzeitraum ausreichend lang ist. Die Genauigkeit dieser Methode hängt in erster Linie von der Genauigkeit der Luftwechselfmessung ab.

Die Genauigkeit der Methode 1 hängt von der Qualität der Schätzungen für die einzelnen Feuchtequellen und für den Zeitplan und das Verhalten der Bewohner ab. TenWolde und Pilon (2007) zeigten, dass die Feuchteabgabe aus nassen Fundamenten eine potenziell grosse Quelle darstellt, die zum Zeitpunkt der Publikation (2009) nur unzureichend charakterisiert ist.

Die Daten aus dieser Publikation wurden im ASHRAE Handbook Fundamentals aufgenommen. Die Publikation von Glass und TenWolde betrachten die Berichterstatter als wichtig.

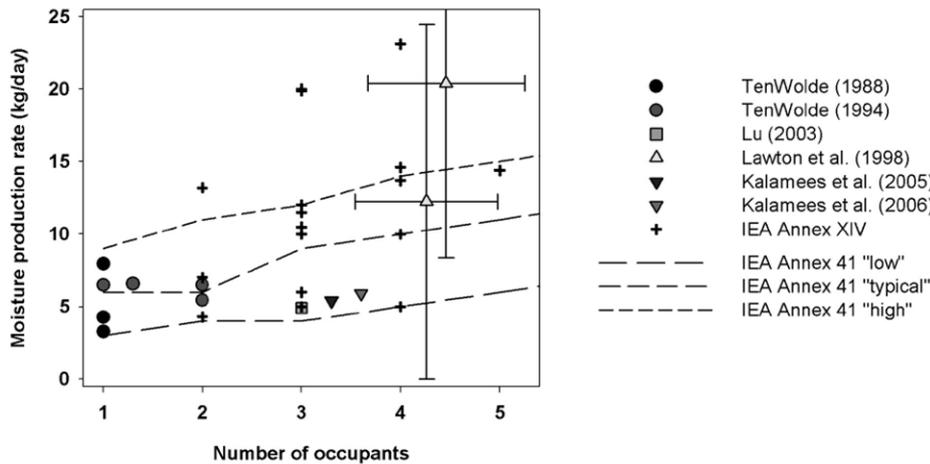


FIGURE 1: moisture production rates from the literature.

Reference	Group	No. houses	No. occupants per house	Mean moisture production rate (kg/day)
Lawton et al. (1998) ^a	"low-biological"	20	4.26 ± 0.72	12 ± 13
	"high-biological"	35	4.46 ± 0.79	20 ± 12
Kalamees et al. (2005)	all	27	mean = 3.3	5.4
Kalamees et al. (2006) ^b	$\Delta v < 1.5 \text{ g m}^{-3}$	38	≤ 3	4.6
			> 3	5.8
	$\Delta v > 3 \text{ g m}^{-3}$	36	≤ 3	5.8
			> 3	7.5
	all	101	≤ 3	5.1
			> 3	6.8
			mean = 3.6	5.9

TABLE 1: mean moisture production rates for pooled occupancy

^a Houses were classified on the basis of measured microbiological contamination of air and dust; number of occupants and moisture production rates are given as mean ± standard deviation

^b v is the average difference in absolute humidity (water vapor concentration) between indoor and outdoor air during the period when outdoor temperature was less than 5°C

Country	Group	Moisture production rate (kg/day)		
		10%	50%	90%
Canada	Detached houses (28)	3.0	8.7	21.0
Denmark	Flats/mechanical ventilation	2.5	5.8	10.0
	Detached houses/mechanical ventilation	3.5	8.0	13.5
	Detached houses/natural ventilation	3.0	6.5	13.0
Sweden	Detached houses (580)	4.6	8.7	15.7
	Multi-family dwelling units (500)	2.4	5.6	11.0

TABLE 2: moisture production rates by percentile (Sanders 1996)

Number of Bedrooms	Number of Occupants	Design Moisture Production Rate
1	2	8 kg/day
2	3	12 kg/day
3	4	14 kg/day
4	5	15 kg/day
Additional bedrooms	+1 per bedroom	+1 kg/day

TABLE 3: Design Moisture Production Rates (TenWolde and Walker 2001)

Quelle: Glass S.V., TenWolde A., *Review of moisture balance models for residential indoor humidity*, Proceedings of 12th Canadian Conference on Building Science and Technology, Montreal, 2009.

7.5.9. Johansson et al. Risk Assessment Model Applied on Building Physics (2010)

Table 10-1 The results from simulations of indoor moisture production due to type of accommodation. The results are presented as minimum and maximum average values per year together with a mean value and a standard deviation of the simulated scenarios.

Total moisture production	Single family		Multi-family	
	[g/h, year]	[kg/day, year]	[g/h, year]	[kg/day, year]
Mean	298.3	7.16	196.4	4.71
Minimum	114.3	2.74	97.0	2.33
Maximum	896.7	21.52	826.8	19.84
Std. Deviation	110.3	2.65	96.5	2.32

Table 10-2 The most critical moisture sources in Swedish household if present. The values are based on annual averages and simulations of 10,000 Swedish household regardless of type of dwelling.

Moisture production - Top five most critical [g/h, year]		
1	Unvented drying	78.4
2	Humans	72.0
3	Showering	42.1
4	Food preparation - Dinner	38.3
5	Aquarium	35.1

Quelle: Johansson P., Pallin S., et al., Risk Assessment Model Applied on Building Physics: Statistical Data Acquisition and Stochastic Modeling of Indoor Moisture Supply in Swedish Multi-family Dwellings, IEA Annex 55 RAP-RETRO, Proceedings of meeting, Copenhagen, 2010

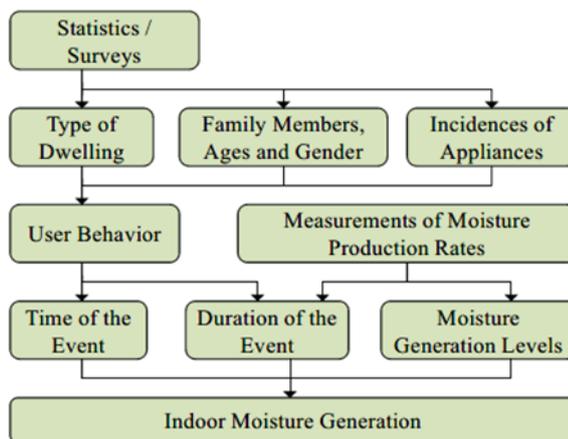
7.5.10. Pallin et al., Simulations of Indoor Moisture Generation in U.S. Homes (2017)

Die von Pallin et al. eingesetzten Methoden erachten die Berichtersteller als wegweisend für das BAG-Projekt. Es stellt eine aktuelle statistisch gut abgestützte Datenbasis (2017) für vom Benutzerverhalten betroffene Feuchtequellen in Wohnbauten dar.

Die Feuchteproduktion wird auf Basis einer Bottom-up Methodologie durch die Summierung von einzelnen Feuchtequellen berücksichtigt. Diese sind mittels wiederholter stochastischer Simulationen aktiviert, so dass die Ergebnisse als Häufigkeitsverteilungen geliefert werden. Aus diesen Verteilungen können Ordnungsparameter wie Perzentile gefunden werden. Diese sind von besonderem Interesse für die Definition von oberen und unteren Grenzen der Feuchteproduktion.

Diese Publikation berücksichtigt 16 mögliche Feuchtequellen, inklusive die Nutzung von Befeuchtungsanlagen. Pallin et al. weisen auf, dass eine saisonale Abhängigkeit bei einzelnen Feuchtequellen (Baden, Befeuchtungsanlagen) besteht. Saisonabhängige Ergebnisse werden trotzdem nicht diskutiert.

FIG. 1 Flow chart of information and activities needed to estimate indoor moisture generation through computer simulations.

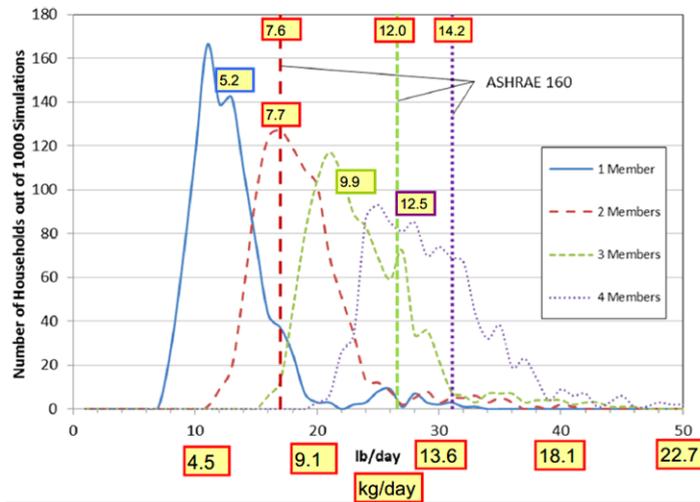


Die rot eingerahmten Kästen stammen von den Berichterstellern, die die angegebenen Werte auf SI-Einheiten [m²/Person] umgerechnet haben.

TABLE 18 Residential floor area per family members, for single and multifamily homes.

		No. Members in the Household						4	
		1	2	3	4	5	6		
1	2	Single family	1935.86–	1215.12–	778.27–	638.17–	497.14–	377.45–	59.29– 63.72
			2072.14	1274.88	829.73	685.83	562.86	420.55	
72.24– 78.26	44.24– 47.92	Multifamily	777.6–	476.16–	331.04–	252.7–	206.11–	140.77–	23.48– 25.95
			842.4	515.84	362.96	279.3	249.89	191.23	
130.22– 138.83	95.13– 99.41	All types	1401.66–	1023.97–	661.71–	559.12–	437.11–	337.95–	51.94– 55.82
			1494.34	1070.03	708.29	600.88	494.89	378.05	

FIG. 11 Daily-moisture generation rates for one to four household members.



Die mittlere tägliche Feuchteproduktion in [kg/d] wird in Figure 11 mit den Bemessungswerten aus dem amerikanischen ASHRAE Standard 160 verglichen. Sehr gut ersichtlich ist, dass die Bemessungswerte für 3- und 4-Personenhaushalte höher liegen als die mittlere tägliche Feuchteproduktion (angegeben ist das 50%-Perzentil). Die beiden Werte sind für den 2-Personenhaushalt identisch. Für den 1-Personenhaushalt legt ASHRAE Standard 160 keinen Bemessungswert fest. Das ist erstaunlich, denn die Anzahl von 1-Personenhaushalten dürfte auch in den USA zunehmen.

Figure 12 zeigt die Sensitivität der Feuchteproduktion von der Art der Feuchtequelle.

FIG. 12 Moisture generation sensitivity of select sources.

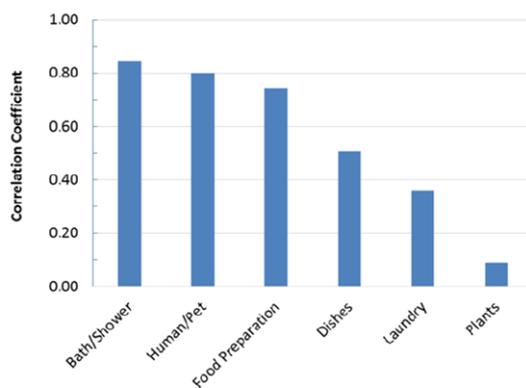
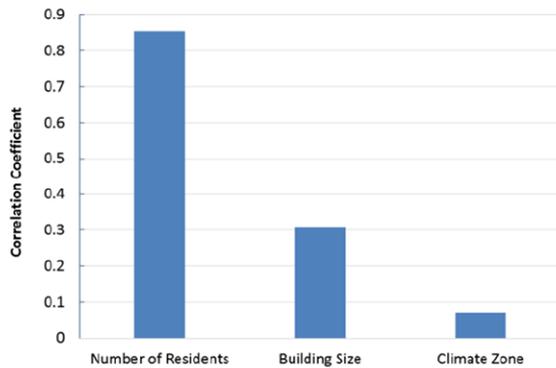


Figure 13 zeigt die Sensitivität der Feuchteproduktion in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren Anzahl der Bewohner, Gebäudegrösse und Klimazone.

FIG. 13 Moisture generation sensitivity to select input data.



Pallin et al. stellen fest, dass die Bemessungswerte im ASHRAE Standard 160:2016 knapp den 75%-Perzentilen ihrer Studienwerte entsprechen. Sämtliche 90%-Perzentile überschreiten die Bemessungswerte gemäss ASHRAE Standard 160. Nach Pallin et. al sollte der ASHRAE Standard 160 hier robuster werden. Zudem bemängeln sie, dass für den 1-Personenhaushalt überhaupt kein Bemessungswert vorliegt.

TABLE 25 Variations in moisture generation in residential buildings through percentiles for one to four household members. Underlined values exceed those recommended by ASHRAE 160 design guidelines [3].

	Moisture Generation (lb/day) kg/d				ASHRAE 160					
	50th Percentile	75th Percentile	90th Percentile	95th Percentile						
1 resident	11.4	<u>5.2</u>	13.4	<u>6.1</u>	15.9	<u>7.2</u>	17.9	<u>8.1</u>	-	
2 residents	17.0	<u>7.7</u>	19.3	<u>8.8</u>	21.9	<u>9.9</u>	25.3	<u>11.4</u>	16.8	<u>7.6</u>
3 residents	21.9	<u>9.9</u>	25.2	<u>11.4</u>	28.0	<u>12.7</u>	31.1	<u>14.1</u>	26.4	<u>12.0</u>
4 residents	27.5	<u>12.5</u>	31.0	<u>14.1</u>	35.0	<u>15.9</u>	38.0	<u>17.2</u>	31.2	<u>14.2</u>

Quelle Pallin S., Boudreaux Ph., et al. Simulations of Indoor Moisture Generation in U.S. Homes, STP 1599 On Advances in Hygrothermal Performance of Building Envelopes, American Society for Testing and Materials (ASTM International), 2017.

7.5.11. Ahmed K. et al. Occupancy schedules for energy simulation in prEN16798-1 (2017)

Nachfolgende Tabelle 5 stellt die Grundlage für die flächenspezifische Feuchteproduktion in der SN EN 16798-1:2019 Anhang C dar.

K. Ahmed et al.

Sustainable Cities and Society 35 (2017) 134–144

Table 5
Operation hours and average loads for energy calculation.

Building type	Operation hours			Occupancy					Appliances		Lighting		
	Time	h/24h	d/7d	Usage rate	Total	Dry	Humidity generation	CO ₂ generation	Occup. rate	Usage rate	Unit load	Usage rate	Unit load
				W/m ²	W/m ²	g/(m ² h)	l/(m ² h)	m ² /per.	W/m ²	W/m ²			
Detached house	00:00–00:00	24	7	0.60	2.8	1.9	1.41	0.44	42.0	0.60	2.4	0.10	8.0
Apartment building	00:00–00:00	24	7	0.60	4.2	2.9	2.12	0.66	28.0	0.60	3.0	0.10	8.0
Office building	07:00–18:00	11	5	0.55	7.0	4.7	3.53	1.1	17.0	0.55	12.0	0.55	12.0
Department store	08:00–21:00	13	7	0.60	9.3	4.5	3.53	1.1	17.0	1.00	1.0	1.00	20.0
Hotel	00:00–00:00	24	7	0.58	5.6	3.8	2.67	0.90	21.0	0.37	1.0	0.41	8.0
Restaurant	06:00–00:00	18	7	0.46	19.7	13.4	9.84	3.07	6.0	0.20	4.0	0.64	20.0
Sport, terminal, theatre	08:00–22:00	14	7	0.60	9.3	4.5	7.11	1.11	17.0	0.00	0.0	1.00	14.0
School	08:00–17:00	9	5	0.50	21.3	13.6	11.11	3.46	5.5	0.50	8.0	0.50	15.0
Daycare center	07:00–19:00	12	5	0.40	15.5	8.3	15.79	4.92	4.0	0.40	4.0	0.40	15.0
Hospital	00:00–00:00	24	7	0.54	10.8	7.3	5.19	1.71	11.0	0.62	4.0	0.62	9.0

Quelle: Ahmed K., Akhondzada A., et al., Occupancy schedules for energy simulation in prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards, Sustainable Cities and Society 35 p.134-144, 2017.

7.6. Weitere Publikationen

7.6.1. IEA EBC Annex 41 Whole Building Heat-Air Moisture Response (MoistEng)

Table 2. Moisture production rates.

Cooker	Food	Quantity of Food	Time for cooking, min	Production rate g/h
Iron pot	Rice	0.09 m ³	30	270
Milk boiler	Milk	0.036 m ³	5.5	90
Frying pan	Fried vegetable	66 g	10	396
	Fried egg	10 g	3.5	168
	Pancake	184	28	396
BBQ	Grilled fish	47 g	11	258
Toaster	Two slices bread	7 g	3	144

7.6.2. Pallin S., Risk Assessment of Hygrothermal Performance - Building Envelope Retrofit, PhD-Thesis, Chalmers University (2013)

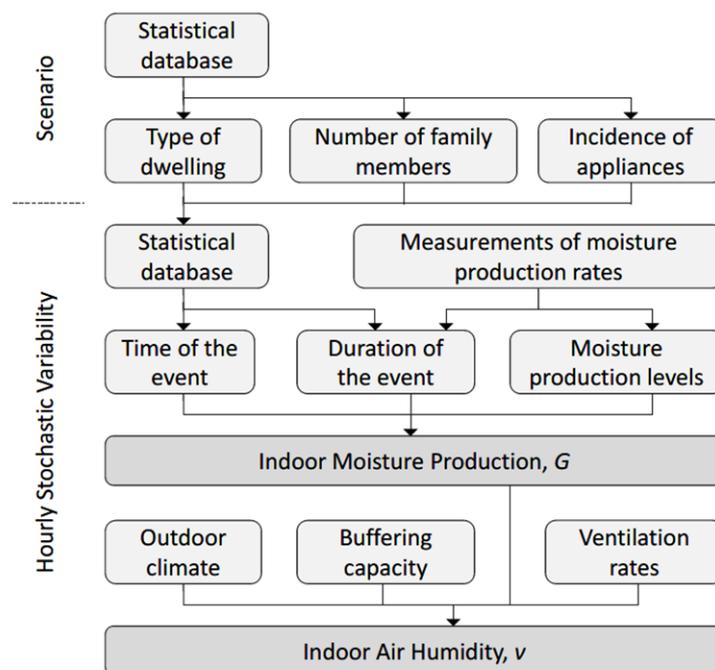


Figure 4 The composition of family members and household appliances in a plausible Swedish household is defined based on statistics. The resulting scenario is then combined with statistical information on the occupants' activity patterns and the levels of moisture generation; resulting in an indoor moisture production rate. Further, the moisture production, outdoor climate, buffering capacity in materials and ventilation rate are applied to determine the indoor air humidity.

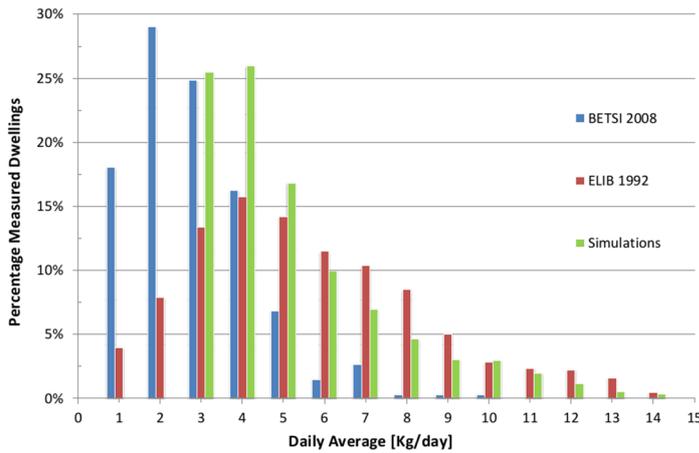


Figure 5 Discrete probability distributions of daily averages of indoor moisture production rates in Swedish multi-family dwellings. The three different probability distributions represent two Swedish measurement studies and the simulated moisture production of this work.

The simulations of this work agree mostly with the study made in 1992. An important aspect to consider for the comparisons, both for single and multi-family dwellings, is that the simulated daily average actually is the yearly daily average. This is the reason why the simulated distributions in Figure 5 and Figure 6 have few low values and rather abruptly initiates with a high probability in the lower range of the distributions.

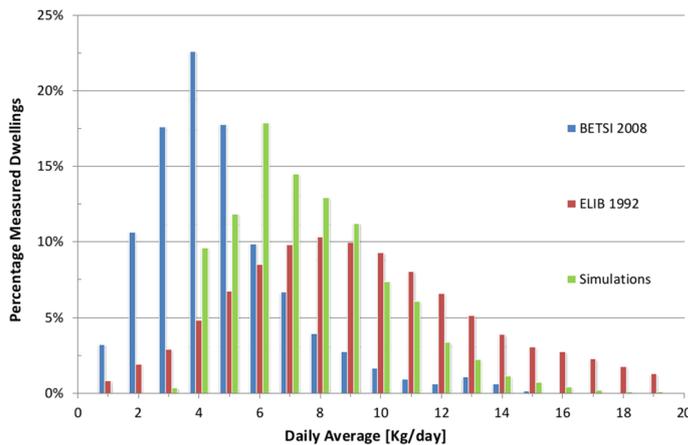


Figure 6 Discrete probability distributions of daily averages of indoor moisture production rates in Swedish single-family dwellings. The three different probability distributions represent two Swedish measurement studies and the simulated moisture production of this work.

Quelle: Pallin S., Risk Assessment of Hygrothermal Performance - Building Envelope Retrofit, PhD-Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg SWE, 2013

7.6.3. Pedersen A., Moisture production in buildings, Master-Thesis, NTNU (2018)

Table 5-1: Processed moisture production rates used in the moisture production model, originally found in Yik et al. (2004).

Source	Moisture production rate
Humans	55 g/h
Sleeping humans	40 g/h
Cooking (gas)	339 -488 g/h/pers
Cooking (electricity)	150 – 188 g/h/pers
Shower	2250 g/h
Sauna	1280 g/h
Dishwashing machine	137 g/h
Washing machine	75 g/h
Drying of clothes on rack	73 g/h
Drying of clothes in tumble dryer	26 g/h
Plant	33 g/h
Pet	16.5 g/h

* The moisture production from cooking is dependent on whether breakfast, lunch or dinner is cooked.

Quelle Pedersen A. S., *Moisture production in buildings, Master-Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim NOR, 2018.*

7.6.4. Turan H., Analyse zu einer einfachen Möglichkeit der Prognose von Feuchteproduktion im Wohnraum, Master-Thesis TU München (2017)

Hanife Turan beschreibt ihrer Master-Thesis *Analyse zu einer einfachen Möglichkeit der Prognose von Feuchteproduktion im Wohnraum auf Basis von Messdaten* (TU München, 2017) den aktuellen Stand des Wissens betreffend der Feuchteproduktion im Wohnraum. In dieser Arbeit wurde eine Möglichkeit zur Prognose der Feuchteproduktion auf Basis von Messdaten entwickelt. Die Literaturrecherche der einzelnen Feuchtequellen zeigte, dass die Ursachen und Auswirkungen der einzelnen Feuchtequellen nur bedingt erörtert vorliegen. Die detaillierten Untersuchungen liegen teilweise ein halbes Jahrhundert zurück.

Tätigkeit	Raumlufthtemperatur			
	18°C	20°C	22°C	24°C
Aktivitätsgrad I bis II nach DIN 1946-2 (körperlich nicht tätig bis leichte Tätigkeit im Stehen)	35 g/h	35 g/h	40 g/h	60 g/h
Aktivitätsgrad III nach DIN 1946-2 (leichte bis mäßig schwere körperliche Tätigkeit)	95 g/h	110 g/h	125 g/h	140 g/h

Quelle: VDI 2078

Anmerkung der Berichtersteller: Die zitierte Tabelle konnte weder in der Ausgabe 1996 noch in der Ausgabe 2015 der VDI 2078 gefunden werden.

Wasserdampfproduktion	Raumlufthtemperatur				
	20°C	22°C	24°C	26°C	28°C
Feuchteproduktion durch Atmung	27,4 g/h	26,4 g/h	24,3 g/h	24,0 g/h	22,7 g/h
Wasserverdunstung über die Haut	40,0 g/h	48,0 g/h	60,0 g/h	73,0 g/h	88,0 g/h
Gesamte Wasserdampfabgabe	67,4 g/h	74,4 g/h	84,3 g/h	97,0 g/h	110,7 g/h

Quelle: Schmittlutz 1975, S.84

Schleuderwirkungs- klasse (SWK)	Restfeuchte im Schnitt [%]	bei 5kg Trockenwäsche
A	<45	2-2,5
B	45-54	2,5
C	54-63	3
D	63-72	3,5
E	72-81	4
F	81-90	4,25
G	>90	4,5

Quelle: Richtlinie 95/12/EG betreffend die Energiekettierung für elektrische Haushaltswaschmaschinen (1997), S.23

Trocknungsart	Dauer	Wasserdampfmenge
konventionell	Sommer: 10h	$2500\text{g}/10\text{h} = 250 \text{ g/h}$
	Frühling/Herbst: 24h	$2500\text{g}/24\text{h} = 100 \text{ g/h}$
	Winter: 48h	$2500\text{g}/48 = 52 \text{ g/h}$
maschinell	1-2	$500\text{g}/1\text{h} = 500\text{g/h}$

Quelle: Masterthesis Turan TU München (2017), eigene Abschätzung, S.33

7.6.5. Feuchteabgabe in Wohnungen durch Menschen und Pflanzen, Institut für Bauphysik, Universität Duisburg-Essen

Feuchtequelle		mittlere stündliche Feuchteabgabe
Mensch	je nach Aktivität	20 – 300 g/h
Bad	Baden/Duschen/Waschen	500 – 800 g/h
Küche	Kochvorgang	600 – 1500 g/h
Sonstiges	Wäschetrocknen	50 – 500 g/h
	Zimmerblumen	5 – 20 g/h
	freie Wasseroberfläche je m ²	ca. 40 g/h

Quelle: https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Feuchte/Formelsammlung/Formels.unterteilt/12Feuchtebilanz_fuer_einen_Raum.html
(letzter Zugriff 2021-08-23, 16:00 Uhr)

7.6.6. Berechnungsprogramm VolFeu 4.3, Manual, S.33, Ing.-Büro Nadler (D)

«

Eine andere Möglichkeit erhält man durch die Angaben in der DIN 1946-6 zur Feuchtfreisetzung in der gesamten NE. Bezieht man diese auf die Fläche der NE A_{NE} , ergibt sich ein spezifischer Mittelwert von

$$mD_{spez} = 94,333 \cdot A_{NE}^{-0,75} \text{ in g}/(\text{m}^2 \text{ h})$$

Das Ergebnis wird mit der Fläche des Raumes multipliziert. Für den Bereich $A_{NE} = 70$ bis 160 m^2 erhält man für $mD_{spez} = 3.87$ bis $2.08 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ h})$ und liegt deutlich über den Angaben der DIN EN 16798-1 für Wohngebäude.

«

Quelle: <https://www.cse-nadler.de/> (letzter Zugriff 2021-08-23, 16:00 Uhr)

7.6.7. Weight of water vapour (i.e. moisture) released by various domestic activities, Institute of Specialist Surveyors and Engineers (ISSE)

Feuchtequelle Personen		mittlere tägliche Feuchteabgabe
Person	schlafend	40 g/h
Person	sitzend	70 g/h
Person	stehend oder Hausarbeit	90 g/h
1 Person	schlafend 7 h, sitzend 10 h, stehend oder Hausarbeit 7 h	1'610 g/d
3 Personen	schlafend 7 h, sitzend 10 h, stehend oder Hausarbeit 7 h	4'830 g/d
6 Personen	schlafend 7 h, sitzend 10 h, stehend oder Hausarbeit 7 h	9'660 g/d

andere Feuchtequelle		mittlere tägliche Feuchteabgabe
Küche	Kochherd Gas	3000 g/d
Küche	Kochherd Elektro	2000 g/d
Küche	Abwaschen	400 g/d
Sonstiges	Wäsche waschen	500 g/d
Sonstiges	Wäsche trocknen im Raum	1500 g/d
Dusche	Dauer 15 Minuten	600 g/ Ereignis

Quelle: <https://www.isse.org.uk/articles/dampness>. (letzter Zugriff 2021-08-23, 16:00 Uhr)

Erkenntnisse aus der Literaturrecherche:

1. Die in der Literatur angegebenen Werte für die Feuchteproduktion in Wohnräumen variieren sehr stark. Dies liegt daran, dass die Messungen unter verschiedenen Bedingungen und Klimazonen und in verschiedenen Gebäudetypen durchgeführt wurden und die Studien die Auswirkungen der saisonalen Feuchtespeicherung teilweise nicht berücksichtigen. Die Randbedingungen in älteren Studien sind zu wenig präzise dokumentiert oder nicht mehr nachvollziehbar. Das Benutzerverhalten zeigt grosse länderspezifische Unterschiede.

2. **Glass S. und TenWolde A.** halten **2009** fest, dass zur Quantifizierung der Feuchteproduktionsraten in Wohngebäuden zwei Methoden verwendet werden können:

Methode 1:

Summierung von Schätzungen für die Feuchteproduktion aus einzelnen Quellen, basierend auf angenommenen Belegungsplänen und Aktivitätsszenarien

Methode 2:

Berechnung der Gesamtfeuchteproduktionsraten, basierend auf Messungen der Innenraumfeuchte, der Aussenfeuchte und der Luftaustauschraten.

Die letztgenannte Methode kann eine Modellierung der Feuchtigkeitsbilanz beinhalten, um die Pufferung zu berücksichtigen, oder sie kann die Pufferung vernachlässigen, wenn der Messzeitraum ausreichend lang ist. Die Genauigkeit dieser Methode hängt in erster Linie von der Genauigkeit der Luftwechsellmessung ab.

Die Genauigkeit der Methode 1 hängt von der Qualität der Schätzungen für die einzelnen Feuchtequellen und für den Zeitplan und das Verhalten der Bewohner ab.

3. Die Angaben in der Literatur beziehen sich meistens auf die **mittlere stündliche oder tägliche Feuchteproduktion**. Nur selten werden **Bemessungswerte (design loads)** für die Feuchteproduktion angegeben. Die Bemessungswerte sind definitionsgemäss grösser als die Angaben für die mittlere Feuchteproduktion. Bei **amerikanischen Literaturquellen** ist immer zu prüfen, ob es sich um **Bemessungswerte** oder um **mittlere Werte** (*daily mean* oder *hourly mean*) handelt. Aus schweizerischer Sicht mögen die publizierten Daten sonst auf den ersten Blick als hoch erscheinen.
4. Bei **deutschen Literaturquellen** ist zu beachten, dass die Feuchteproduktion deshalb so niedrig ist, weil sie kein Duschen und Kochen enthält. So geht die DIN/TS 4108-8:2020-12 davon aus, dass diese **Feuchtelastspitzen per Fensterlüftung oder als Abluft in**

Ablufträumen sofort abgeführt werden. Gemäss Urteil des deutschen Bundesgerichtshofs kann man das von einem Mieter erwarten. Die Lüftungsanlage muss dafür nicht ausgelegt werden.

Deutsche Normenwerke sind immer auf die massgebenden Randbedingungen und Ausschlussbedingungen zu prüfen, bevor zu niedrige Feuchteproduktionswerte für die Schweiz nutzbar gemacht oder gar vorgeschrieben werden.

5. Die im **ASHRAE Handbook Fundamentals (2017)** zusammengestellten Datengrundlagen werden als wesentlich für das BAG-Projekt betrachtet. Die Überprüfung und allfällige Überarbeitung erfolgen alle 4 Jahre. Die Inhalte geben eine internationale Übersicht zum Stand des Wissens bezüglich Feuchteproduktion wieder. Das Chapter 36 umfasst aber einen bedeutend grösseren Bereich des Feuchtemanagements in Gebäuden. Aus unterschiedlichen internationalen Quellen werden Feuchteproduktionsdaten zusammengetragen und als Bereiche tabellarisch angegeben (Tabelle 1). Interessant sind die nationalen Unterschiede in der Feuchteproduktion (Tabelle 3). Für das BAG-Projekt von besonderem Nutzen sind die Fahrpläne für die Nutzung Wohnen mit 2- und 4-Personen Belegung und diversen Feuchtequellen (Tabellen 4 und 5).

Die hier angegebenen Tabellen und Hinweise entstammen der Ausgabe 2017. Die Angaben in der Ausgabe 2021 wurden auf Papier geprüft und sind unverändert geblieben. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass selbst ISO-Standards in den amerikanischen Publikationen unberücksichtigt bleiben.

6. Das **ASHRAE Handbook HVAC Applications (2019)** stellt eine weitere bedeutende Publikation von ASHRAE dar. Sie erscheint ebenfalls im Vierjahres-Turnus. Die vorliegende Fassung 2019 wurde betreffend Relevanz für das BAG-Projekt geprüft. Der Schwerpunkt des Chapters 64 Moisture and molds (*Feuchtigkeit und Schimmelpilz*) liegt bei der Bauphysik. Für die absehbare **Revision der SIA 180** und die **Überarbeitung der Wegleitung SIA 4001** sollte dieses Chapter von der Kommission NK 180 geprüft werden. Ebenso sind die Kriterien des ASHRAE Standard 160:2016 für *Design Parameter, zur Selection of Analytical Procedures* und für *Moisture Performance Evaluation* zu prüfen.
7. **Pallin et al.** haben 2011 damit begonnen, mittels statistischer Methoden Aussagen zur zeitabhängigen Feuchteproduktion unter Berücksichtigung des Benutzerverhaltens und der Feuchtespeicherung zu machen. Die Angaben zu den 10%- und 90%-Perzentilen sind wichtige Hinweise für die unteren und oberen Grenzen zur Feuchteproduktion in Wohnbauten. Die auf der Basis von 1000 schwedischen Haushalten berechnete Feuchteproduktion ist über das Jahr gemittelt.

8. **Pallin et al.** stellten 2017 fest, dass die Bemessungswerte im ASHRAE Standard 160:2016 knapp den 75%-Perzentilen ihrer Studienwerte entsprechen. Sämtliche 90%-Perzentile überschreiten die Bemessungswerte gemäss ASHRAE Standard 160. Nach Pallin et. al sollte der ASHRAE Standard 160 hier robuster werden. Zudem bemängeln sie, dass für den 1-Personenhaushalt überhaupt kein Bemessungswert vorliegt.
9. In den CEN- und ISO-Normenpublikationen bestehen bezüglich Anhang A (SN EN ISO 13788) resp. Anhang C (SN EN 15026:2007) begriffliche Differenzen zwischen *tropical* und *continental* sowie *maritim*.
10. Die Berichtersteller interpretieren die betreffenden Normen nach heutigem Wissenstand derart, dass die Abbildung A.2 der SN EN ISO 13788:2012 für schweizerische Klimata Gültigkeit hat und entsprechend nutzbar gemacht werden kann.
11. Nach einer spezifischen Recherche konnte die Herkunft der Feuchteproduktionswerte in EN 16798-1:2019 Anhang C gefunden werden:

Ahmed K., Akhondzada A., Kurnitski J., Olesen B. *Occupancy schedules for energy simulation in prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards in Sustainable Cities and Society* 35 (2017) p.134-144

Tabelle 5 in dieser Publikation stellt die Grundlage für die flächenspezifische Feuchteproduktion in der EN 16798-1:2019 Anhang C dar.

K. Ahmed et al.

Sustainable Cities and Society 35 (2017) 134-144

Table 5
Operation hours and average loads for energy calculation.

Building type	Operation hours			Occupancy					Appliances		Lighting		
	Time	h/24h	d/7d	Usage rate	Total	Dry	Humidity generation	CO ₂ generation	Occup. rate	Usage rate	Unit load	Usage rate	Unit load
				W/m ²	W/m ²	g/(m ² h)	l/(m ² h)	m ² /per.	W/m ²	W/m ²			
Detached house	00:00-00:00	24	7	0.60	2.8	1.9	1.41	0.44	42.0	0.60	2.4	0.10	8.0
Apartment building	00:00-00:00	24	7	0.60	4.2	2.9	2.12	0.66	28.0	0.60	3.0	0.10	8.0
Office building	07:00-18:00	11	5	0.55	7.0	4.7	3.53	1.1	17.0	0.55	12.0	0.55	12.0
Department store	08:00-21:00	13	7	0.60	9.3	4.5	3.53	1.1	17.0	1.00	1.0	1.00	20.0
Hotel	00:00-00:00	24	7	0.58	5.6	3.8	2.67	0.90	21.0	0.37	1.0	0.41	8.0
Restaurant	06:00-00:00	18	7	0.46	19.7	13.4	9.84	3.07	6.0	0.20	4.0	0.64	20.0
Sport, terminal, theatre	08:00-22:00	14	7	0.60	9.3	4.5	7.11	1.11	17.0	0.00	0.0	1.00	14.0
School	08:00-17:00	9	5	0.50	21.3	13.6	11.11	3.46	5.5	0.50	8.0	0.50	15.0
Daycare center	07:00-19:00	12	5	0.40	15.5	8.3	15.79	4.92	4.0	0.40	4.0	0.40	15.0
Hospital	00:00-00:00	24	7	0.54	10.8	7.3	5.19	1.71	11.0	0.62	4.0	0.62	9.0

$$\text{Humidity}_{\text{Occ}} = \frac{Q_{\text{Vapor}} + Q_{\text{Sweat}}}{2430000} \quad (17)$$

With, RQ , respiratory quotient, (-), EE , energetic equivalent, $\left(\frac{\text{Wh}}{\text{litre of O}_2}\right)$, V_{O_2} , oxygen consumption rate, $\left(\frac{\text{liter}}{\text{h}}\right)$, V_{CO_2} , carbon dioxide generation rate, $\left(\frac{\text{liter}}{\text{h}}\right)$, A_{DU} , body surface area, (m^2), M , metabolic rate, (met), $\text{Moisture}_{\text{Occ}}$, humidity generation from body, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$, Q_{Vapor} , vapor heat loss, (W), Q_{Sweat} , heat loss through sweating, (W).

Wichtiger Hinweis: Die hier ausgewiesene Feuchteproduktion für andere Nutzungen als Wohnbauten (non-residential) stammt nur von Personen.

12. Im britischen Standard BS 5250:2011 werden ebenfalls Werte für andere Nutzungen als Wohngebäude angegeben. Beachte dort Figure D.1 ohne Referenz auf ISO 13788 und Table D.7. (siehe auch Kapitel 7.2.11 in diesem Bericht)

13. Gesamtübersicht der Feuchteproduktionswerte mit unterer und oberer Grenze in internationalen Normen, Richtlinien und als «key-paper» erachteter Publikation

Nutzungen EFH und MFH (Residential buildings) - **Simulation vs. Messungen/Schätzwerte (alle Werte in [kg/d])**

Personen	Pallin et al. 2017				ASHRAE 160:2009	ASHRAE 160:2016	ASHRAE Fundamentals 2021	DIN SPEC 4108-8:2020	BS 5250 2011	BS 5250 2011	BS 5250 2011
	50 th Percentile	75 th Percentile	90 th Percentile	95 th Percentile	Design	Design	div. Studien (Mittelwert)	mit Wäschetrocknen	niedrig (Mittelwert)	mittel (Mittelwert)	hoch (Mittelwert)
1	5.2	6.1	7.2	8.1				3.8	3-4	6	9
2	7.7	8.8	9.9	11.4	7.6	6.97	8.14	5.2	4	6	11
3	9.9	11.4	12.7	14.1	12.0	9.04	11.9	7.5		9	12
4	12.5	14.1	15.9	17.2	14.2	10.2	14.1	9.2		9	14

Tabelle 1. Gesamtübersicht der Feuchteproduktionswerte mit unterer und oberer Grenze.

Beantwortung der Grundsatzfragen:

Bestehen bereits nutzungs- und zeitabhängige untere und obere Grenzen zur Feuchteproduktion, die international anerkannt sind, aber bisher national nicht verwendet werden?

Nein. Es bestehen keine international anerkannten zeit- und nutzungsabhängigen Feuchteproduktionswerte mit unterer und oberer Grenze. Dies gilt sowohl für Mittelwerte als auch für Bemessungswerte.

Wenn ja: Sind diese für die Schweiz anwendbar?

-

Wenn nein: Wieso sind bisher keine Grenzen festgelegt worden?

Die Festlegung von Gesamtfeuchteproduktionsraten kann mit einem *bottom-up* Ansatz mit spezifischen Feuchteproduktionswerten der Aktivitäten (Menschen, Kochen, Waschen, Hygiene etc.) vorgenommen werden. Die spezifischen Feuchteproduktionswerte weisen bereits eine erhebliche Spannbreite auf. Infolgedessen ergibt sich für den globalen Feuchteproduktionswert eine zusammengesetzte Spannbreite (Unsicherheit).

Folgerichtig wurde international versucht, die Feuchteproduktion mit einem *top-down* Ansatz zu erfassen. Dabei erfolgt die Berechnung der Gesamtfeuchteproduktionsrate basierend auf Messungen der Innenraumfeuchte, der Aussenfeuchte und der Luftaustauschraten. Es ergeben sich aber auch mit diesem Ansatz Spannbreiten (Unsicherheiten) die auf unterschiedliches Nutzerverhalten, Speichereffekte, instationäre Verhältnisse und die Variabilität des Innen- und Aussenklimas zurückzuführen sind.

Die Anwendung von Monte-Carlo-Methoden kann Aussagen über die Spannbreiten der Feuchteproduktion machen und dokumentierte Ergebnisse liefern. Bemessungswerte können aber aus von diesen Methoden erhaltenen Werte nicht direkt abgeleitet werden.

Aufgrund der obengenannten Gründe wurde darauf verzichtet, diese Grenzen international oder europäisch normativ festzulegen. Die Feuchteproduktionswerte wurden immer implizit verwendet, aber explizit nicht normativ festgelegt. Analog zu den Komfortkriterien Kategorie I bis III könnten auch Kategorien für die Feuchteproduktion festgelegt werden zur Behandlung der Be- und Entfeuchtung.

Forschungsfrage:

Können aus SN EN ISO 13788 Bild A.2 für die Luftfeuchteklassen 1 bis 5 obere und untere Grenzen für die nutzungsabhängige Feuchteproduktion in Nicht-Wohnbauten abgeleitet werden?

Im Prinzip ja. Diese Frage soll aber im Folgeprojekt Phase II abgeklärt werden. Aus der Literaturreview ist hervorgegangen, dass die hygrothermische Simulation zur Beantwortung weitergehender Fragestellungen unabdingbar ist.

8. M 3 - Festlegung von nutzungs- und zeitabhängigen Feuchteproduktionsbereichen mit unterer und oberer Grenze für Wohnen EFH und Wohnen MFH.

8.1. Allgemeines

Auf Basis der Recherche der vorhandenen Literaturwerte zur Feuchteproduktion (Modul M 2) ist festzustellen, dass kein allgemein gültiger Konsens betreffend die relevanten oberen und unteren Grenzen in der internationalen Normierung und Forschung besteht. Diese Feststellung gilt auch für allgemeine Mittelwerte.

Auch wurde festgestellt, dass diverse Werte der Normierung nicht völlig bewährt sind. Als Beispiel soll der Wert von $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ für die übrigen Feuchtequellen der prSIA 2024:2021 (Modul M 2, Kapitel 7.2.3) erwähnt werden. Für eine begründete Berücksichtigung der diversen Feuchteproduktionsraten ist eine kritische Untersuchung unabdingbar.

Aus diesen Gründen werden im Modul M 3 basierend auf den nachfolgenden Grundlagen obere und untere Grenzen der Feuchteproduktionsbereichen vorgeschlagen:

- Das Vorgehen stützt sich auf eine Bottom-up Methodologie, die eine Summierung der einzelnen Feuchtequellen als Basis für die Berechnung der gesamten Feuchteproduktion vorsieht. Diese Methodologie erlaubt eine direkte Adaptation zu veränderten Randbedingungen und ist unabhängig von den gewählten Klimadaten. Insbesondere wird die Bestimmung durch reinen Feuchte-Exzess im Vergleich mit den Aussenbedingungen nicht benützt.
- Die Werte sollen nicht als Extremwerte, sondern als vernünftige Auslegungswerte, für Anwendung in der sorgfältigen Dimensionierung von Lüftung-, Entfeuchtung- und Befeuchtungssystemen verstanden werden.
- Die allgemeinen Grundlagen basieren auf vernünftigen Nutzungshypothesen, ohne unverhältnismässige Beachtung von Sonderfällen. Als Beispiel für diese Überlegung wird darauf verzichtet, Fälle wie einerseits Ferienhäuser, unüblich niedrige Belegung; und andererseits intensive Feuchteproduktionssituationen oder unüblich hohe Belegung; zu berücksichtigen
- Die Feuchteproduktion von Personen, Kochen, Hygiene und Waschen wird auf Basis von plausiblen Szenarien berücksichtigt und berechnet.
- Der Einfluss von übrigen Feuchtequellen wie Pflanzen, Aquariums, usw. wird nicht berücksichtigt.
- Es wird kein Einfluss von Adsorptions- und Desorptionsprozessen berücksichtigt. Hier ist zu beachten, dass Spezialfälle wie die Wirkung von kapillar-aktiven Baumaterialien oder der Einfluss von feuchtebedingten Bauschäden nicht berücksichtigt werden.

- Wo immer möglich und vernünftig werden die getroffenen Annahmen auf den heutigen Stand der SIA-Normierung gestützt. Als zweite Priorität werden die Daten aus der anerkannten internationalen Normierung berücksichtigt.
- Falls die SIA-Normierung (bzw. die internationale Normierung) keine aktuellen bzw. plausiblen Werte enthält, werden solche Annahmen ohne weiteres ersetzt.

Die allgemein gültigen Annahmen sind die folgenden:

- Die Feuchteproduktion der Personen wird auf **66 g/h Pers** definiert (gemäss prSIA 2024:2021, Ziffer 1.1.2.14), unabhängig von Bekleidung und Innenlufttemperatur.
- Die Feuchteproduktion von Kochen, Hygiene und Waschen wird nach den Werten aus dem ASHRAE Handbook *Fundamentals*, Ausgabe 2021, Chapter 37.6, Table 4, bestimmt. Diese revidierte Ausgabe stützt sich auf dem neuesten Stand der Technik.

Die Definition der täglichen Feuchteproduktionsverlauf erfolgt in den Abschnitten 8.2 und 8.3.

8.2. Festlegung der unteren Grenze der Feuchteproduktion

Das Szenario für die untere Grenze der Feuchteproduktion wird wie folgt definiert:

- Grundsatz: Wohnung mit unterdurchschnittlicher Belegung, inkl. 2 berufstätigen Personen, keine Waschmaschine in der betrachteten Wohnung, ohne Aktivitäten die eine besonders hohe Feuchteproduktion verursachen.
- Belegung nur von Stunde Nr. 19 bis Stunde Nr. 6, damit werden alle Zeitintervalle mit einer Anwesenheitswahrscheinlichkeit unter 75% (gemäss prSIA 2024:2021, Abbildung 1) als abwesend angenommen, zusammen mit der Mittagsperiode.

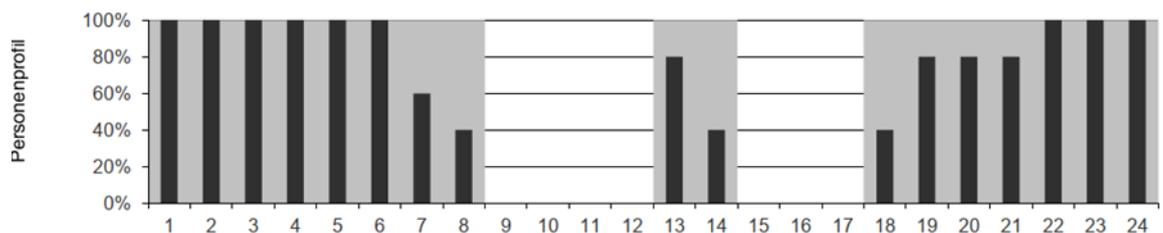


Abbildung 1. Personenprofil aus dem Vernehmlassungsentwurf prSIA 2024:2021

- Kochen- und hygienebedingte Feuchteproduktion erfolgt nur einmal pro Tag am Abend, gemäss den massgebenden Werten des ASHRAE Handbook *Fundamentals* (2021) für den Fall von 2 berufstätigen Personen.

Mit diesen Annahmen wird ein Feuchteproduktionsprofil wie bei Tabelle 2 erstellt. Dieses Profil führt zu einer gesamten täglichen Feuchteproduktion von **3'024 g/d**, bzw. **1'512 g/Pers d**. Der so

bestimmte Wert ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Heinrich Huber (1'500 g/Pers d).

Im Vergleich mit den Werten aus der internationalen Normierung können die folgenden Feststellungen gemacht werden. Der von uns ermittelte Werte für die untere Grenze der Feuchteproduktion beträgt:

- 40 % des Bemessungswert (Design value) des amerikanischen ASHRAE Standards 160:2016 (7.6 kg/d)
- 76 % des Richtwerts für 2 Personen (Low) des britischen Standards BS 5250:2011 (4 kg/d)
- 78 % des Werts aus dem Beispielszenario (2-Personen-Haushalt, ohne Wäsche) der deutschen Standards prDIN SPEC 4108-8:2020-12 (3.9 kg/d)
- 70 % der Tagessumme der Feuchteproduktion des ASHRAE Handbook *Fundamentals* (2021) für 2 berufstätigen Personen (4.32 kg/d)
- 39 % des 50-Perzentil Werts für 2 Personen aus Pallin et al. (7.7 kg/d)

Diese Vergleiche zeigen, dass das vorgeschlagene Szenario für die untere Grenze systematisch in einer Grössenordnung von 20-30% unter den Richtwerten der internationalen Normierung, wenn diese eine niedrige Feuchteproduktion, bzw. berufstätigen Personen, explizit vorsehen.

In diesem Szenario betragen die Feuchteinträge der Personen 52 % der Gesamtsumme. Falls die spezifische Feuchteabgabe auch zu untersuchen wäre, würde der Pauschalwert für die übrigen Quellen von $0,5 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ der prSIA 2024:2021 zu einer Wohnungsfläche von $(3024 \text{ g}-1584 \text{ g})/24 \text{ h}/0.5 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2) = 120 \text{ m}^2$ führen. In diesem Szenario und mit der Annahme einer Wohnungsfläche von 200 m^2 (breite Wohnung in Stockwerkeigentum), wäre die resultierende spezifische Feuchteabgabe aus übrigen Quellen $(3024 \text{ g}-1584 \text{ g})/24 \text{ h}/200 \text{ m}^2 = 0.30 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

In diesem Szenario wäre die gesamte Feuchtebelastung G/A_{NRA} (analog zu den Richtwerten der prSIA 4001:2020 (Tabelle 3.2) und der SIA 180:1999) mit Berücksichtigung der Feuchteinträgen der Personen $(3024 \text{ g})/24 \text{ h}/200 \text{ m}^2 = 0.63 \text{ g}/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Dieser Wert ist viel niedriger als der Richtwert $2 \text{ (g}/\text{h}\cdot\text{m}^2)$ für die Nutzung «Wohnen (geringe Belegung)».

Stunde	Anzahl Personen	Feuchteinträge				Summe (g/h)
		Personen	Kochen	Hygiene	Waschen	
1	2	132				132
2	2	132				132
3	2	132				132
4	2	132				132
5	2	132				132
6	2	132				132
7	0					0
8	0					0
9	0					0
10	0					0
11	0					0
12	0					0
13	0					0
14	0					0
15	0					0
16	0					0
17	0					0
18	0					0
19	2	132	480			612
20	2	132	480			612
21	2	132				132
22	2	132				132
23	2	132		480		612
24	2	132				132
Total		1584	960	480	0	3024

Table 2. Feuchteproduktionsprofil im Szenario untere Grenze der Feuchteproduktion

8.3. Festlegung der oberen Grenze der Feuchteproduktion

Das Szenario für die obere Grenze der Feuchteproduktion wird wie folgt definiert:

- Grundsatz: Wohnung mit überdurchschnittlicher Belegung, inkl. 4 Personen ohne volle Berufstätigkeit, eine Waschmaschine in der betrachteten Wohnung, Aktivitäten die eine mässige Feuchteproduktion verursachen.
- Belegung von Stunde Nr. 18 bis Stunde Nr. 8 und von Stunde Nr. 13 bis Stunde Nr. 14, damit werden alle Zeitintervalle mit einer Anwesenheitswahrscheinlichkeit über 0% (gemäss prSIA 2024:2021, Abbildung 1) als anwesend angenommen.
- Kochen-, wasch- und hygienebedingte Feuchteproduktion erfolgen regelmässig während der Anwesenheitsperioden im Verlauf des Tages.

Mit diesen Annahmen wird ein Feuchteproduktionsprofil wie bei Tabelle 3 erstellt. Dieses Profil führt zu einer gesamten täglichen Feuchteproduktion von **13'728 g/d, bzw. 3'432 g/Pers.d.**

Im Vergleich mit den Zahlen aus der internationalen Normierung können die folgenden Feststellungen gemacht werden. Dieser Wert beträgt:

- 97 % des Bemessungswerts (Design value) des amerikanischen ASHRAE Standards 160:2016 (14.2 kg/d)
- 98 % des Richtwerts für 4 Personen (High) des britischen Standards BS 5250:2011 (14 kg/d)
- 149% des Werts aus dem Beispielszenario (4-Personen-Haushalt mit Wäsche) der Norm DIN SPEC 4108-8:2020-12 (9.2 kg/d). Hier ist zu bemerken, dass die von dieser Norm vorhergesagten Feuchteproduktionswerte eine wesentliche Abweichung aufzeigen.
- 99 % der Tagessumme der Feuchteproduktion des ASHRAE Handbook *Fundamentals* (2021) für 4-köpfige Familie (1 Elternteil und 1 Kind zuhause) (13.92 kg/d)
- 97 % des 75-Perzentile Werts für 4 Personen aus Pallin et al. (14.1 kg/d), bzw. 110% des 50-Perzentile Werts für 4 Personen (12.5 kg/d)

Diese Vergleiche zeigen, dass das vorgeschlagene Szenario für die obere Grenze tendenziell die vorgesehenen Werte der amerikanischen und britischen Normierung entspricht. Eine grosse Diskrepanz mit dem Beispielszenario (mit Wäsche) des deutschen Standards DIN SPEC 4108 - 8:2020-12 ist festzustellen.

In diesem Szenario bilden die Feuchteinträge der Personen 33 % der Gesamtsumme. Falls die spezifische Feuchteabgabe auch zu untersuchen wäre, würde der Pauschalwert für die übrigen Quellen von $0,5 \text{ (g/h.m}^2\text{)}$ der prSIA 2024:2021 zu einer Wohnungsfläche von $(13728 \text{ g} - 4488 \text{ g})/24 \text{ h}/0,5 \text{ (g/h.m}^2\text{)} = 770 \text{ m}^2$ resultieren! Das illustriert das Problem eines solchen Pauschalwerts im Kontext einer Wohnung mit hoher Belegung. In diesem Szenario und mit der Annahme einer begrenzten Wohnungsfläche von 80 m^2 (typische Sozialwohnung), wäre die resultierende spezifische Feuchteabgabe aus übrigen Quellen $(13728 \text{ g} - 4488 \text{ g})/24 \text{ h}/80 \text{ m}^2 = 4,8 \text{ (g/h.m}^2\text{)}$.

In diesem Szenario wäre die gesamte Feuchtebelastung G/A_{NRA} (analog zu den Richtwerten der prSIA 4001:2020 (Tabelle 3.2) und der SIA 180:1999) mit Berücksichtigung der Feuchteinträgen der Personen $(13'728 \text{ g})/24 \text{ h}/80 \text{ m}^2 = 7,15 \text{ (g/h.m}^2\text{)}$. Dieser Wert ist 79% höher als der Richtwert $4 \text{ (g/h.m}^2\text{)}$ für die Nutzung «Wohnen (dichte Belegung)».

Stunde	Anzahl Personen	Feuchteinträge				Summe (g/h)
		Personen	Kochen	Hygiene	Waschen	
1	4	264				264
2	4	264				264
3	4	264				264
4	4	264				264
5	4	264				264
6	4	264		120	120	504
7	4	264	480	240	120	1104
8	4	264	480	120	120	984
9	0	0				0
10	0	0				0
11	0	0				0
12	0	0				0
13	4	264	480	720		1464
14	4	264	480	720		1464
15	0	0				0
16	0	0				0
17	0	0				0
18	4	264	720		120	1104
19	4	264	1200		180	1644
20	4	264	1200	240	180	1884
21	4	264	480			744
22	4	264	480			744
23	4	264		240		504
24	4	264				264
Total		4488	6000	2400	840	13728

Table 3. Feuchteproduktionsprofil im Szenario obere Grenze der Feuchteproduktion.

9. M 4 - Nachweisberechnung für Feuchteschutz nach SIA 180:2014 (Behaglichkeit, Oberflächenkondensat- und Schimmelpilzfreiheit)

9.1. Allgemeines

Die Nachweisberechnungen für den Feuchteschutz wurden für die Nutzungen EFH und MFH und für die folgenden Klimastationen durchgeführt:

- Zürich MeteoSchweiz (Höhe = 556 m, Minimaltemperatur = -14.6 °C, $f_{Rsi,min} = 0.71$)
- La Chaux-de-Fonds (Höhe = 1019 m, Minimaltemperatur = -17.9 °C, $f_{Rsi,min} = 0.70$)
- Locarno-Monti (Höhe = 366 m, Minimaltemperatur = -6.0 °C, $f_{Rsi,min} = 0.76$)

Die Berechnungen stützen sich auf das Berechnungswerkzeug zum Merkblatt prSIA 2024:2021 - 06, mit den folgenden Anpassungen der Randbedingungen:

- Personenprofil gemäss Szenarien untere und obere Grenze (12 bzw. 17 Stunden Belegung)
- Personenfläche gemäss Szenarien untere und obere Grenze (100 bzw. 20 m²/Pers)
- Feuchteproduktion der anderen Quellen gemäss Szenarien untere und obere Grenze (Tabelle 2 und Tabelle 3)
- Innenlufttemperatur 20 °C gemäss den Vorgaben der Norm SIA 180:2014+C1:2015, Ziffer E1.2, für die Erstellung von Feuchteschutznachweisen

Die folgenden Randbedingungen wurden direkt aus den grundlegenden Daten des Berechnungswerkzeugs ohne Anpassung übernommen:

- Raum mit Nettogeschossfläche 20 m² und Raumvolumen 50 m³
- Feuchteproduktion der Personen gemäss Personenprofil, auf standardisierter Basis 66 g/Pers.h, dies trotz der Innenlufttemperatur von 20 °C.
- Luftvolumenstrom max. 0.98 m³/(h.m²) gemäss Grundlagedaten prSIA 2024:2021-06 (20 m³/h für eine Raumfläche von 20 m² / Raumvolumen 50 m³), in Abwesenheitsperioden reduziert auf 0.15 m³/(h.m²) (3 m³/h für den betrachteten Raum) ohne Berücksichtigung der Fensterlüftung.

Die Aussenklimadaten sind Monatsmittelwerte für jede Station auf Basis der SIA 2028:2010+C1:2015. Auch werden Bemessungssituationen «Winter» und «Sommer» im Werkzeug integriert. Für die Klimastation Zürich-MeteoSchweiz sind diese Werte -7.5 °C / 77 %, bzw. 32 °C/67 %. Die Situation «Winter» entspricht nicht den Minimaltemperatur im Sinne der Norm SIA 180:2014.

Orientierend und exemplarisch wird an dieser Stelle für die Klimastation Zürich-MeteoSchweiz aufgezeigt (Abbildung 2), wie schweizerische, europäische und amerikanische Grenzwerte für die Feuchte (Behaglichkeitskriterium) zum Zeitpunkt der Berichterstattung festgelegt sind. Im

t,x-Diagramm sind auch die Grenzkurven für die Kondensatbildung und die Schimmelpilzfreiheit nach SIA 180:2014 eingetragen.

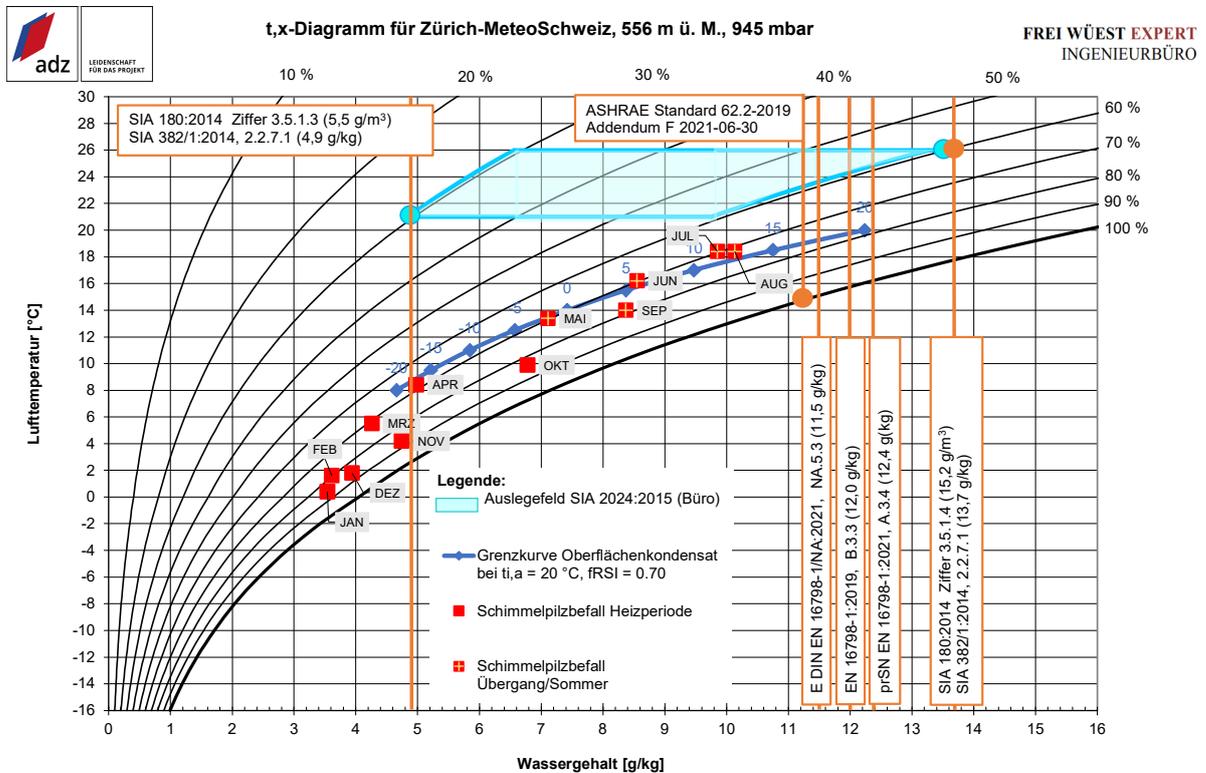


Abbildung 2. t,x-Diagramm für die Klimastation Zürich-MeteoSchweiz mit Grenzkurven für Oberflächenkondensat, Schimmelpilzbefall und Behaglichkeit.

9.2. Hinweise zur Berechnungsmethodik

Die folgenden Schwerpunkte zur Berechnungsmethodik sind besonders erwähnenswert:

- Die Zonenbetrachtung des Berechnungswerkzeugs prSIA 2024:2021-06 wurde unverändert angewendet. Das heisst, die Feuchteproduktion und die Raumluftfeuchte werden äquivalent zur Raumfläche simuliert. Diese Betrachtung per Zone ist teilweise problematisch, da diverse feuchtebedingte Prozesse (Kochen, Hygiene) eindeutig mit gewissen Räumen der Nutzung verbunden sind. Die simulierte Raumluftfeuchte ist als globale Näherung zu verstehen.
- Der Ansatz zur Lüftungssteuerung des Berechnungswerkzeugs wurde nicht angepasst. Die Ergebnisse zeigen trotzdem, dass die resultierende Raumluftfeuchte zu tief, bzw. viel zu hoch sein kann. Der minimal erforderliche Luftvolumenstrom für Feuchteschutz gemäss SIA 180:2014 wurde in allen Fällen berechnet, aber nicht berücksichtigt.

- In diversen Fällen wird eine Raumlufffeuchte von 100 % erreicht. In der Praxis ist eine solche Situation nicht realistisch, da unterstützende Fensterlüftung und Adsorptionsprozesse eine massgebende Rolle spielen. Das Berechnungswerkzeug simuliert keine Kondensationsprozesse, so dass die Werte der Raumlufffeuchte in Zeitintervallen nach den Kondensationsereignissen nicht berücksichtigt sind.
- Die vorgegebene Innenlufttemperatur von 20 °C für die Beurteilung des Feuchteschutzes kann diverse Situationen als zu kritisch betrachten.
- Der tägliche Verlauf der Feuchteproduktion (gemäss Tabelle 2 und Tabelle 3) wurde direkt in die Berechnung eingeführt, mit Berücksichtigung der relevanten Raumfläche. Es wurde festgestellt, dass dieser zeitliche Ablauf einen grossen Einfluss auf das Auftreten von unzulässig hohen Werten der Raumlufffeuchte hat. In diesem Sinne hat eine täglich identische, aber konstante Feuchteproduktion andere Effekte. Die folgenden Grafiken zeigen den Ablauf der Raumlufffeuchte für einen Musterfall bei den zwei Betrachtungsweisen (konstante Feuchteproduktion bei Abbildung 3 und zeitabhängige Feuchteproduktion bei Abbildung 4)



Abbildung 3. Tagesverlauf bei konstanter Feuchteproduktion für den Fall: Obere Grenze Feuchteproduktion, Monat Januar, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, $f_{Rst} = 0.71$

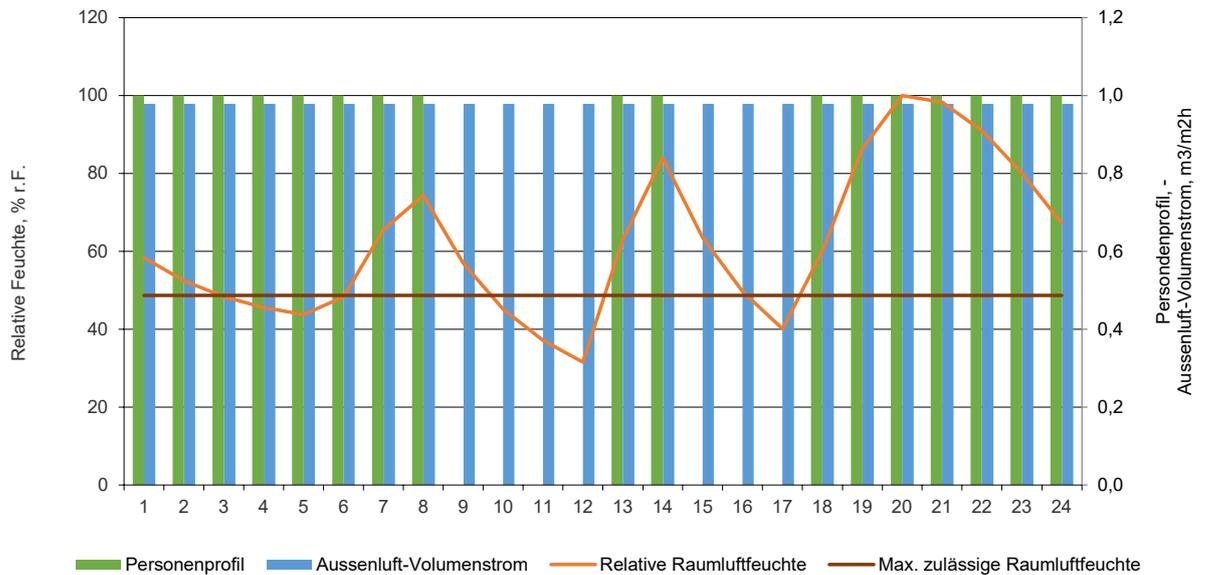


Abbildung 4. Tagesverlauf bei zeitabhängiger Feuchteproduktion für den Fall: Obere Grenze Feuchteproduktion, Monat Januar, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, $f_{ksi} = 0.71$

9.3. Nachweis für Feuchteschutz – Fall untere Grenze

Die Ergebnisse aus dem Berechnungswerkzeug werden für die drei Klimastationen in Tabelle 4 bis Tabelle 6 vorgestellt. Für jeden Monat werden die folgenden Ausgangsbedingungen gestellt:

- **Berechnete Innenluftfeuchte.** Tagesmittelwerte und Tagesmaxima der Innenluftfeuchte werden aus den stündlichen Berechnungen vorgestellt.
- **Maximal zulässige Luftfeuchte (SIA 180:2014).** Für den Fällen Bestand und Neubau, und dies für jede monatliche Temperatur wird die maximale Innenluftfeuchte, die gemäss der Norm SIA 180:2014 zulässig ist.
- **Erforderlicher Luftvolumenstrom.** Der gemäss SIA 180:2014 notwendige Luftvolumenstrom für die Gewährleistung der Evakuierung der produzierten Luftfeuchte. Tagesmittelwerte und Tagesmaxima des Luftvolumenstroms werden aus den stündlichen Berechnungen vorgestellt.

Die detaillierten Tagesverläufe der Innenluftfeuchte werden im Modul M 5 vorgestellt und kommentiert.

Klimastation Zürich-MeteoSchweiz								
Monat	Berechnete Innenluftfeuchte		Feuchteschutz Bestand $f_{Rsi} = 0.59$			Feuchteschutz Neubau $f_{Rsi} = 0.71$		
	Mittelwert	Max.	Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)		Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)	
				Tagesmittelwert	Tagesmaximum		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
Januar	24%	31%	42%	3	16	49%	3	13
Februar	26%	32%	44%	3	16	50%	3	13
März	33%	39%	50%	3	17	55%	3	13
April	39%	45%	54%	4	18	59%	3	15
Mai	51%	57%	63%	4	22	66%	4	18
Juni	60%	66%	69%	5	26	71%	5	23
Juli	68%	74%	74%	7	33	75%	6	31
August	68%	74%	74%	7	33	75%	6	31
September	53%	59%	65%	5	22	67%	4	19
Oktober	42%	48%	57%	4	19	61%	3	15
November	30%	37%	48%	3	17	53%	3	13
Dezember	26%	33%	44%	3	16	49%	3	13
Bemessung Winter	15%	21%	33%	3	16	50%	2	12
Bemessung Sommer	100% (sic!)	100% (sic!)	114% (sic!)	-3 (sic!)	0 (sic!)	106% (sic!)	-2 (sic!)	0 (sic!)

Tabelle 4. Berechnungen für den Fall: Untere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz.

Für die Klimastation Zürich-MeteoSchweiz ergeben sich mit der unteren Grenze der Feuchteproduktion 17.9 % der Belegungsstunden bei 12 h/d Anwesenheit in den Monaten Oktober bis März mit relativer Feuchte unter 30 %.

Klimastation La Chaux-de-Fonds								
Monat	Berechnete Innenluftfeuchte		Feuchteschutz Bestand $f_{Rsi} = 0.59$			Feuchteschutz Neubau $f_{Rsi} = 0.70$		
	Mittelwert	Max.	Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)		Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)	
				Tagesmittelwert	Tagesmaximum		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
Januar	23%	29%	40%	3	17	47%	3	13
Februar	24%	30%	41%	3	17	47%	3	13
März	28%	34%	45%	4	17	51%	3	14
April	33%	39%	49%	4	18	54%	3	17
Mai	44%	50%	57%	4	21	61%	4	17
Juni	52%	58%	62%	5	24	65%	4	20
Juli	59%	65%	67%	6	30	69%	5	26
August	59%	66%	67%	6	30	69%	5	26
September	47%	53%	59%	5	22	62%	4	18
Oktober	39%	45%	53%	4	19	58%	3	16
November	28%	35%	45%	4	17	51%	3	14
Dezember	25%	31%	42%	3	17	48%	3	13
Bemessung Winter	14%	20%	31%	3	17	39%	3	13
Bemessung Sommer	100% (sic!)	100% (sic!)	104% (sic!)	-3 (sic!)	0 (sic!)	100% (sic!)	-3 (sic!)	0 (sic!)

Tabelle 5. Berechnungen für den Fall: Untere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation La Chaux-de-Fonds.

Für die Klimastation La-Chaux-de-Fonds ergeben sich mit der unteren Grenze der Feuchteproduktion 18.5 % der Belegungsstunden bei 12 h/d Anwesenheit in den Monaten Oktober bis März mit relativer Feuchte unter 28 % (SIA 180:2014, Ziffer 6.4.2, Höhenkorrektur für 1000 m.ü.M.).

Klimastation Locarno-Monti								
Monat	Berechnete Innenluftfeuchte		Feuchteschutz Bestand $f_{Rsi} = 0.59$			Feuchteschutz Neubau $f_{Rsi} = 0.76$		
	Mittelwert	Max.	Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)		Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)	
				Tagesmittelwert	Tagesmaximum		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
Januar	28%	35%	46%	3	16	55%	2	12
Februar	31%	37%	49%	3	16	56%	2	12
März	39%	45%	55%	4	17	61%	3	13
April	45%	51%	60%	4	19	65%	3	15
Mai	57%	64%	68%	5	23	71%	4	20
Juni	69%	75%	76%	7	32	76%	6	30
Juli	80%	86%	82%	11	52	81%	13	62
August	79%	85%	82%	10	49	81%	12	57
September	61%	68%	71%	5	26	73%	5	22
Oktober	48%	54%	62%	4	20	66%	3	16
November	35%	42%	52%	3	17	57%	3	13
Dezember	30%	36%	48%	3	16	56%	2	12
Bemessung Winter	22%	28%	40%	3	16	50%	2	11
Bemessung Sommer	100% (sic!)	100% (sic!)	100% (sic!)	-4 (sic!)	0 (sic!)	102% (sic!)	-3 (sic!)	0 (sic!)

Tabelle 6. Berechnungen für den Fall: Untere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation Locarno-Monti.

Für die Klimastation Locarno-Monti ergeben sich mit der unteren Grenze der Feuchteproduktion 3.5 % der Belegungsstunden bei 12 h/d Anwesenheit in den Monaten Oktober bis März mit relativer Feuchte unter 30 %.

Für den Fall der unteren Grenze der Feuchteproduktion werden für alle untersuchten Klimastationen für das ganze Jahr konforme Innenluftfeuchtwerte erhalten. Der Feuchteschutz kann auch für die Variante Bestand mit $f_{Rsi} = 0.59$ eingehalten werden. Der vorgegebene Luftvolumenstrom führt zu Innenluftfeuchtwerten, die in der kalten Jahreszeit während 3 Monaten regelmässig unter der 30 % r.F. Grenze liegen. Nur in der Klimastation Locarno-Monti wird das Kriterium von 10 % Unterschreitung von 30 % r.F. während der Belegungszeit von 12 h/d eingehalten. Für weitergehende Untersuchungen sind Simulationsrechnungen mit Stundenwerten erforderlich (siehe SIA 180:2014, Anhang C.3).

Ein graphischer Vergleich zwischen der Raumlufffeuchte und der massgebenden Werten für die Vorbeugung von Kondenswasser und Schimmelpilz wird in Abbildung 5 vorgestellt.

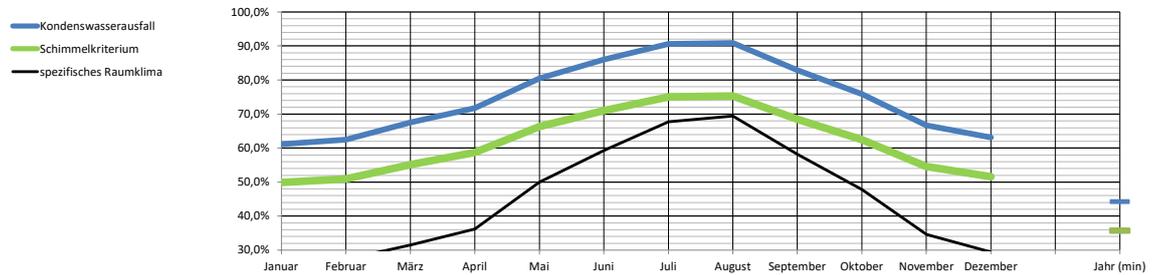


Abbildung 5. Jahresverlauf der Innenluftfeuchte und der Grenzwerte für den Feuchteschutz für den Fall: Untere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, $f_{Rsi} = 0.71$ (Quelle: internes Berechnungswerkzeug Gartenmann Engineering AG)

Die wichtigsten Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen sind die Folgenden im Szenario der unteren Grenze:

- Der Feuchteschutz ist in allen Fällen, für jeden Monat und für die Minimaltemperatur gewährleistet.
- Die niedrige Feuchteproduktion führt auch zur Schlussfolgerung, dass ein genügender Feuchteschutz auch bei einem kritischen f_{Rsi} -Wert von 0.59 (nicht sanierte Bestandssituation) erreicht wird.
- Mit dem von der prSIA 2024:2021 vorgegebenen Luftwechsel bleibt die Innenluftfeuchte nur in der Klimastation Locarno-Monti innerhalb des Kriteriums von 10 % Unterschreitung von 30 % r.F. während der Belegungszeit von 12 h/d. Es wird im Winter empfohlen, den Luftwechsel in den anderen Klimastationen unter Berücksichtigung der CO₂-Konzentration zu reduzieren.
- Für weitergehende Untersuchungen sind Simulationsrechnungen mit Stundenwerten erforderlich (siehe SIA 180:2014, Anhang C.3).

9.4. Nachweis für Feuchteschutz – Fall obere Grenze

Die Ergebnisse aus dem Berechnungswerkzeug SIA 2024:2021 werden für die drei Klimastationen in Tabelle 7 bis Tabelle 9 dargestellt.

Für den Fall der oberen Grenze der Feuchteproduktion werden für das ganze Jahr unzulässige Innenluftfeuchtwerte für alle untersuchten Klimastationen ausgewiesen. Der Feuchteschutz wird auch für die Variante Neubau mit $f_{Rsi} = 0.71$ nicht erreicht. Der vorgegebene hygienische Luftvolumenstrom von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ist ungenügend und muss bis zweifach adaptiert werden, um konforme Luftfeuchtwerte in der kalten Saison zu erreichen.

Monat	Klimastation Zürich-MeteoSchweiz							
	Berechnete Innenluftfeuchte		Feuchteschutz Bestand $f_{Rsi} = 0.59$			Feuchteschutz Neubau $f_{Rsi} = 0.71$		
	Mittelwert	Max.	Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min} \text{ (m}^3/\text{h)}$		Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min} \text{ (m}^3/\text{h)}$	
				Tagesmittelwert	Tagesmaximum		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
Januar	62%	100%	42%	38	124	49%	29	96
Februar	64%	100%	44%	38	125	50%	30	97
März	70%	100%	50%	39	129	55%	31	104
April	75%	100%	54%	42	137	59%	34	112
Mai	84%	100%	63%	50	166	66%	43	142
Juni	90%	100%	69%	61	202	71%	54	179
Juli	95%	100%	74%	78	257	75%	73	240
August	95%	100%	74%	78	257	75%	73	240
September	86%	100%	65%	52	172	67%	45	148
Oktober	78%	100%	57%	43	143	61%	36	118
November	68%	100%	48%	39	127	53%	31	101
Dezember	64%	100%	44%	38	125	50%	30	98
Bemessung Winter	53%	100%	33%	38	124	41%	28	92
Bemessung Sommer	100% (sic!)	100% (sic!)	114% (sic!)	-35 (sic!)	0 (sic!)	106% (sic!)	-27 (sic!)	0 (sic!)

Tabelle 7. Berechnungen für den Fall: Obere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz

Klimastation La Chaux-de-Fonds								
Monat	Berechnete Innenluftfeuchte		Feuchteschutz Bestand $f_{Rsi} = 0.59$			Feuchteschutz Neubau $f_{Rsi} = 0.70$		
	Mittelwert	Max.	Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)		Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)	
				Tagesmittelwert	Tagesmaximum		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
Januar	61%	100%	40%	39	128	46%	30	100
Februar	62%	100%	41%	39	129	47%	31	101
März	66%	100%	45%	40	133	50%	32	105
April	70%	100%	49%	42	138	53%	34	111
Mai	79%	100%	57%	49	161	60%	40	132
Juni	85%	100%	62%	57	187	65%	48	157
Juli	90%	100%	67%	70	230	69%	60	197
August	90%	100%	67%	71	232	69%	60	199
September	81%	100%	59%	52	170	62%	43	141
Oktober	75%	100%	53%	45	149	57%	37	121
November	66%	100%	45%	40	133	50%	32	105
Dezember	63%	100%	42%	40	131	48%	31	102
Bemessung Winter	52%	100%	31%	39	129	38%	29	96
Bemessung Sommer	100% (sic!)	100% (sic!)	104% (sic!)	-39 (sic!)	0 (sic!)	100% (sic!)	-32 (sic!)	0 (sic!)

Tabelle 8. Berechnungen für den Fall: Obere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation La Chaux-de-Fonds

Klimastation Locarno-Monti								
Monat	Berechnete Innenluftfeuchte		Feuchteschutz Bestand $f_{Rsi} = 0.59$			Feuchteschutz Neubau $f_{Rsi} = 0.76$		
	Mittelwert	Max.	Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)		Max. zulässige Luftfeuchte (SIA 180)	Erforderlicher Luftvolumenstrom $q_{v,min}$ (m ³ /h)	
				Tagesmittelwert	Tagesmaximum		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
Januar	66%	100%	46%	37	123	55%	27	89
Februar	68%	100%	49%	38	125	56%	28	92
März	75%	100%	55%	41	134	61%	31	103
April	80%	100%	60%	44	144	65%	35	114
Mai	89%	100%	68%	54	179	71%	46	153
Juni	95%	100%	76%	75	247	76%	71	234
Juli	99%	100%	82%	120	397	81%	146	480
August	99%	100%	82%	115	377	81%	134	442
September	91%	100%	71%	60	197	73%	52	173
Oktober	82%	100%	62%	46	150	66%	37	121
November	72%	100%	52%	39	129	59%	30	98
Dezember	67%	100%	48%	38	124	56%	28	91
Bemessung Winter	59%	100%	40%	37	121	50%	26	84
Bemessung Sommer	100% (sic!)	100% (sic!)	111% (sic!)	-45 (sic!)	0 (sic!)	102% (sic!)	-30 (sic!)	0 (sic!)

Tabelle 9. Berechnungen für den Fall: Obere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation Locarno-Monti.

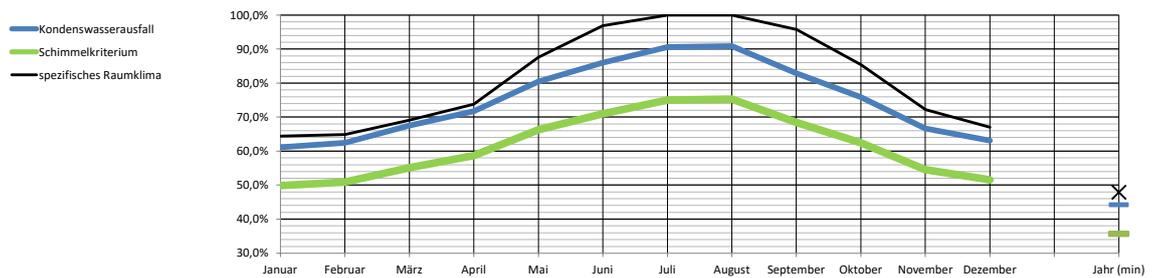


Abbildung 6 Jahresverlauf der Innenluftfeuchte und der Grenzwerte für den Feuchteschutz für den Fall: Obere Grenze Feuchteproduktion, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, $f_{Rsi} = 0.71$ (Quelle: internes Berechnungswerkzeug Gartenmann Engineering AG).

9.5. Schlussfolgerungen

Die folgenden allgemeinen Schlussfolgerungen können aus dem Modul M 4 zusammengefasst werden:

- Die zwei Szenarios führen beide zur Feststellung, dass die vorgesehenen Luftwechselraten für den Feuchteschutz nicht völlig ausreichend sind. Dies trotz den realistischen Annahmen.
- Die Abnahme der Luftfeuchte in Abwesenheitsperioden zeigt, dass der hygienische Luftwechsel gewährleistet ist, dies auch für den Fall der oberen Grenze der Feuchteproduktion.
- Die Zonenbetrachtung durch prSIA 2024:2021 bringt problematische Annäherungen. Mit diesem Ansatz werden alle Räume mit identischen Feuchtequellen berücksichtigt. In der Realität erfolgt die Feuchteproduktion der Kategorien «Hygiene» und «Kochen» in bestimmten Räumen, die ggf. eigene Lüftungsanlagen für die direkte und konzentrierte Ableitung der Feuchte besitzen. Hier führt die Annahme der kompletten Mischung der Luftfeuchte zu einer überkritischen Beurteilung. Hier wäre eine raumweise Betrachtung in der Weise der DIN SPEC 4108-8 zu empfehlen. Die Behandlung dieser Thematik soll in einer späteren Phase des Forschungsprojekts erfolgen.
- Die Berechnung der maximal zulässigen Innenluftfeuchte nach SIA 180:2014 zeigt Fehler im Berechnungswerkzeug auf: Das Ergebnis überschreitet 80 % relative Feuchte für die Klimastation Locarno-Monti.
- Die Berechnung für den Sommerfall führt zu nicht brauchbaren Ergebnissen, da die Luftvolumenströme permanent unterdimensioniert sind.
- Die Steuerung der Lüftung auf Basis der Luftfeuchte ist essenziell (auch im Szenario untere Grenze). Eine feuchteadaptierte Lüftung mit Stufensteuerung bei niedriger und hoher Feuchteproduktion ist als eine zielgerechte Massnahme zu beurteilen. Die in dieser Forschungsarbeit entwickelten oberen und unteren Grenzen erlauben eine fundierte Vordimensionierung dieser Stufen.
- Viele Fälle zeigen Feuchtwerte über 100%, was nicht realistisch ist. Einerseits ist der Nutzereingriff nicht berücksichtigt, da diese auf die Exzessfeuchte mittels unterstützender Fensterlüftung reagieren werden. Andererseits spielen in hohen Luftfeuchtebereichen die Feuchteaustauschphänomene eine wesentliche Rolle für die Stabilisation des Innenklimas. Die Erkenntnisse der Untersuchungen für den oberen Feuchtebereich zeigen, dass auch im Winter Fensterlüftung mittels manuellem Nutzereingriff unabdingbar ist.

10. M 5 - Vergleich der Nachweisberechnung mit Verlaufskurven für relative Luftfeuchte in prSIA 2024:2021-06

10.1. Allgemeines

Im Modul M 5 werden mit dem Berechnungswerkzeug von prSIA 2024:2021-06 für die drei ausgewählte Klimastationen tägliche Verlaufskurven der relativen Feuchte in stündlicher Auflösung dargestellt. Die variierten Parameter sind die Wärmebrückenfaktoren $f_{Rsi, min}$ für Neubau und Bestand, drei Monate für Winter, Sommer und Übergang und die untere und obere Feuchteproduktionsgrenze.

10.2. Feuchteproduktion mit unterer Grenze (2 Personen Haushalt)

10.2.1. Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Monat Januar

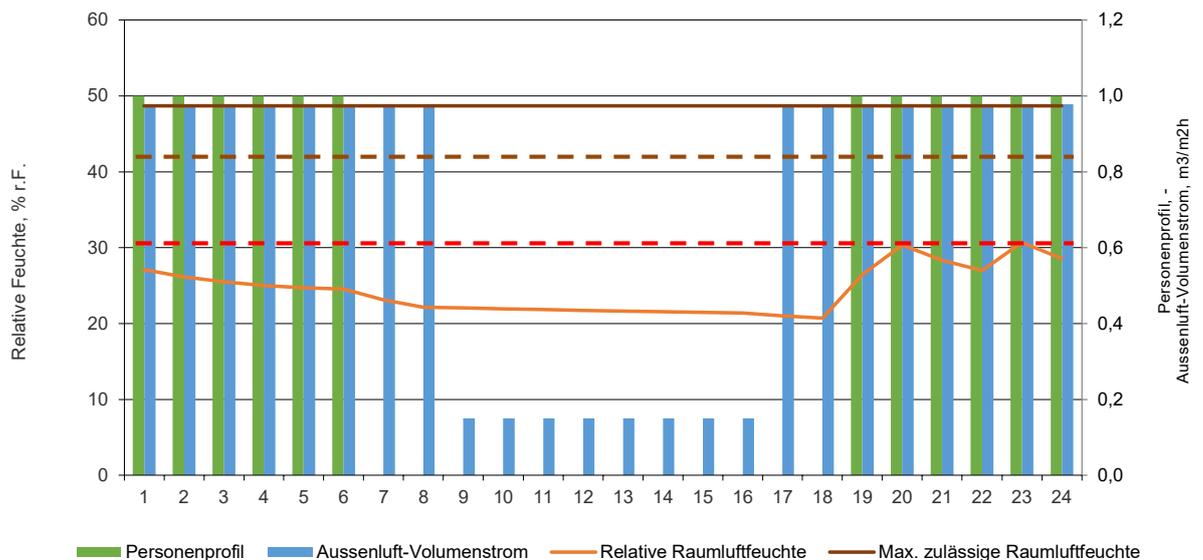


Abbildung 7 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Januar, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat April

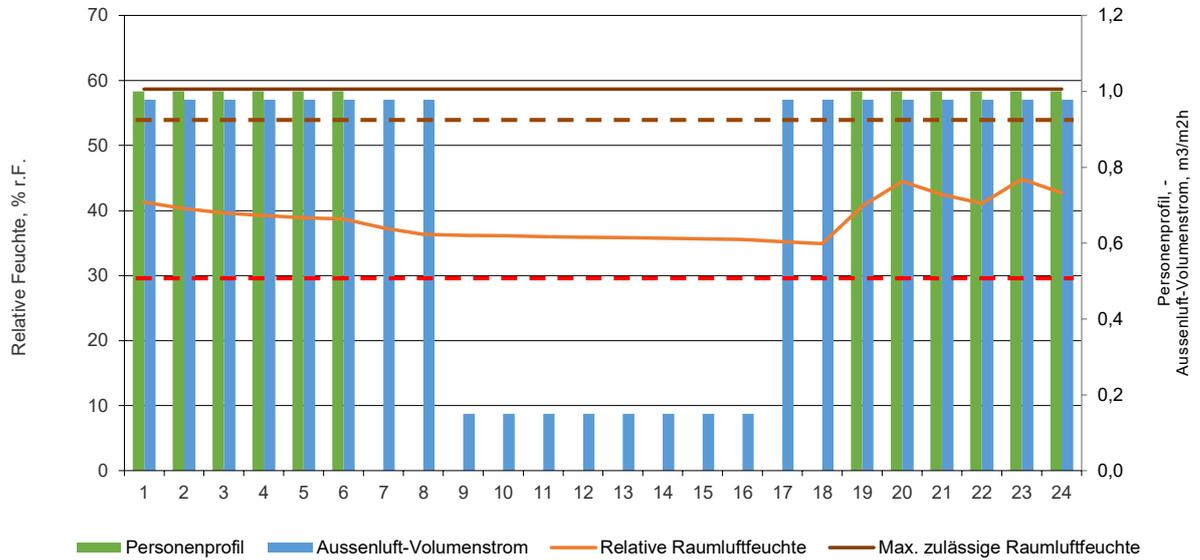


Abbildung 8 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat April, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat Juli

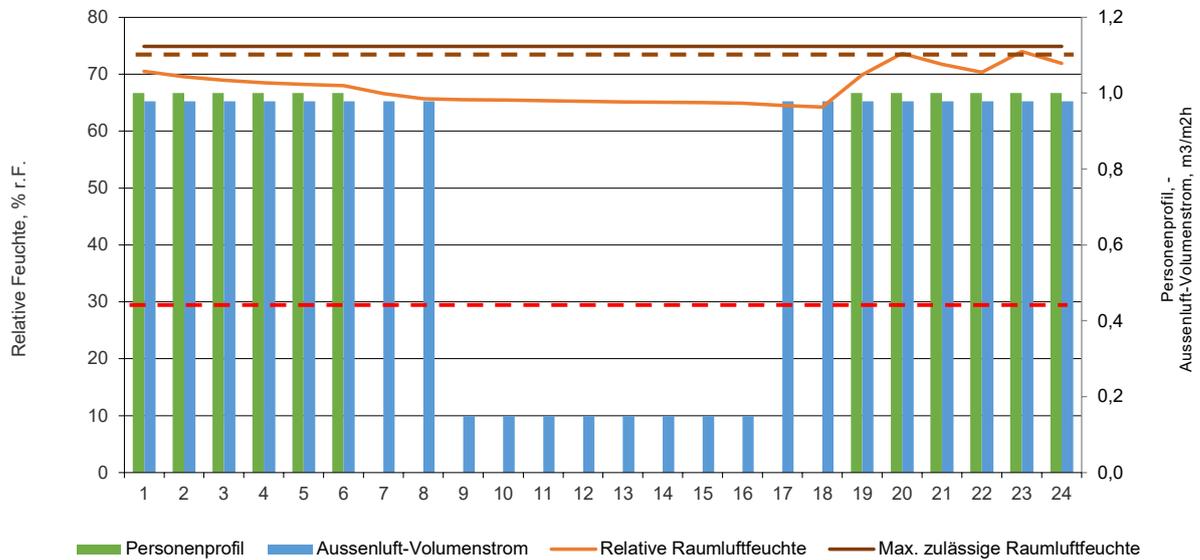


Abbildung 9 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Juli, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

10.2.2. Station La-Chaux-de-Fonds

Monat Januar

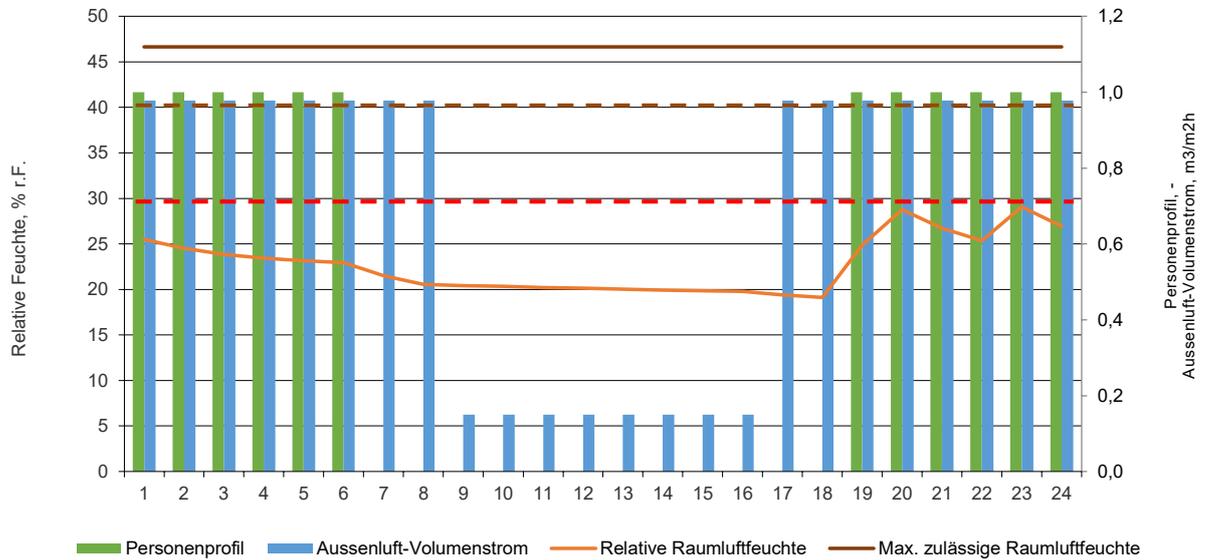


Abbildung 10 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Januar, Klimastation La-Chaux-de-Fonds, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat April

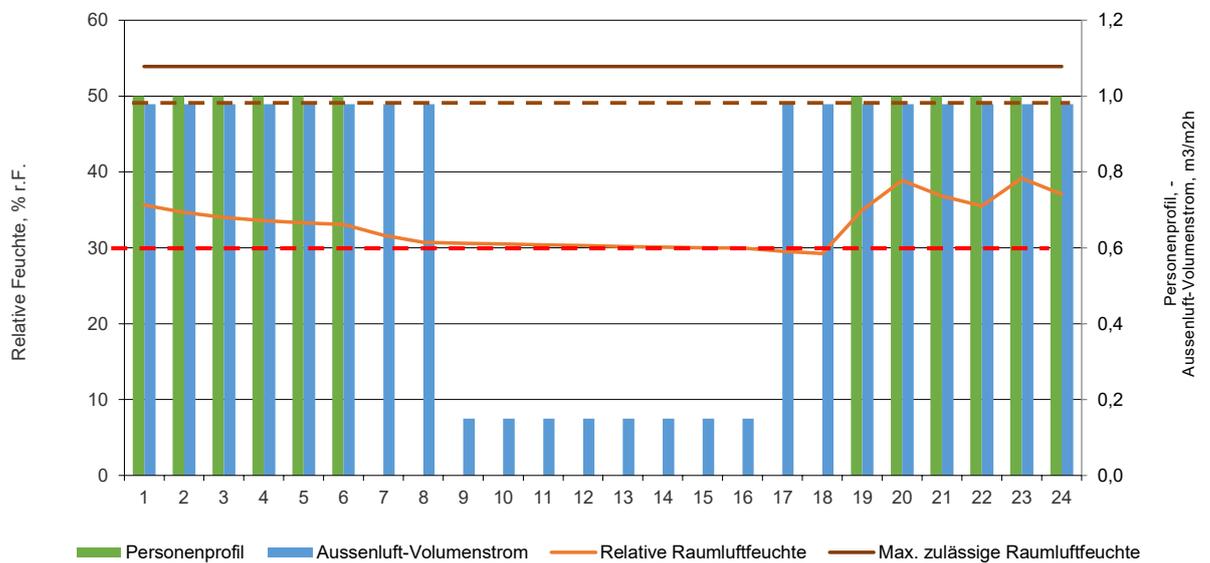


Abbildung 11 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat April, Klimastation La-Chaux-de-Fonds, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat Juli

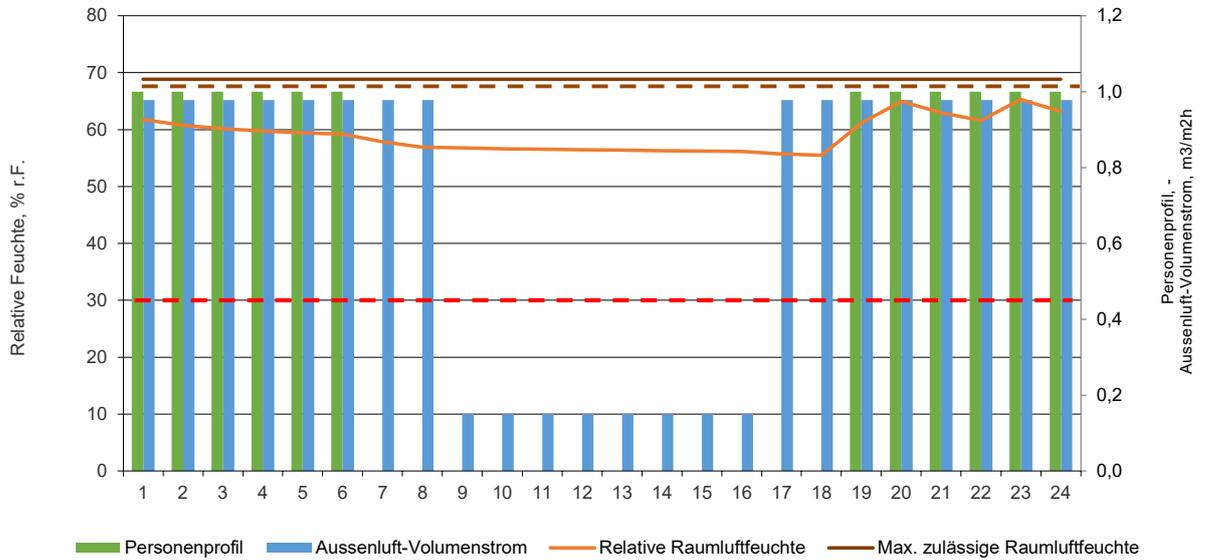


Abbildung 12 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Juli, Klimastation La-Chaux-de-Fonds, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

10.2.3. Station Locarno-Monti

Monat Januar

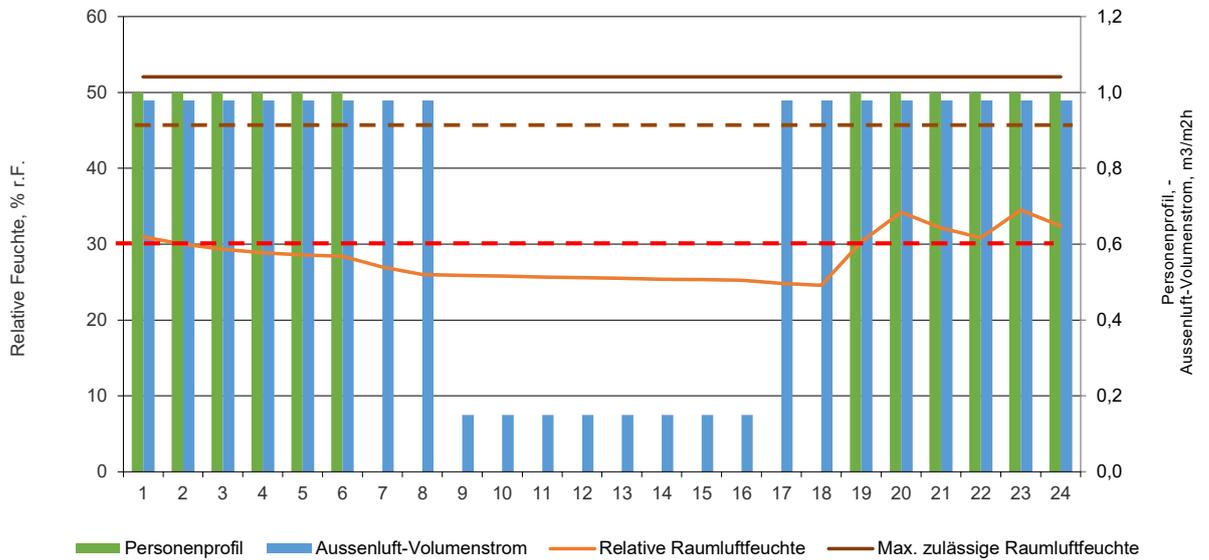


Abbildung 13 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Januar, Klimastation Locarno-Monti, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat April

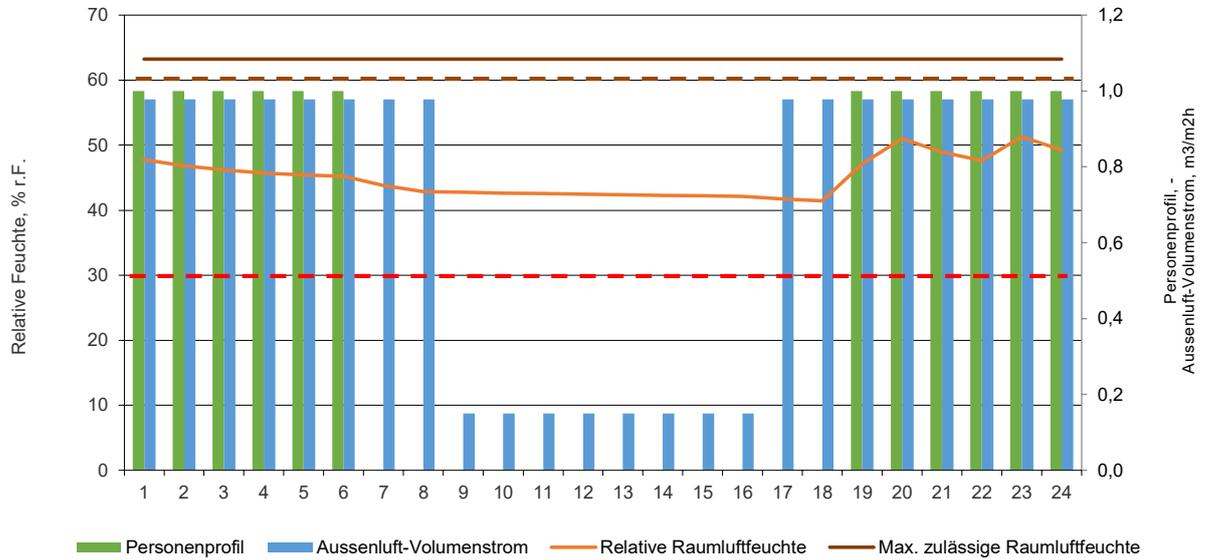


Abbildung 14 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat April, Klimastation Locarno-Monti, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat Juli

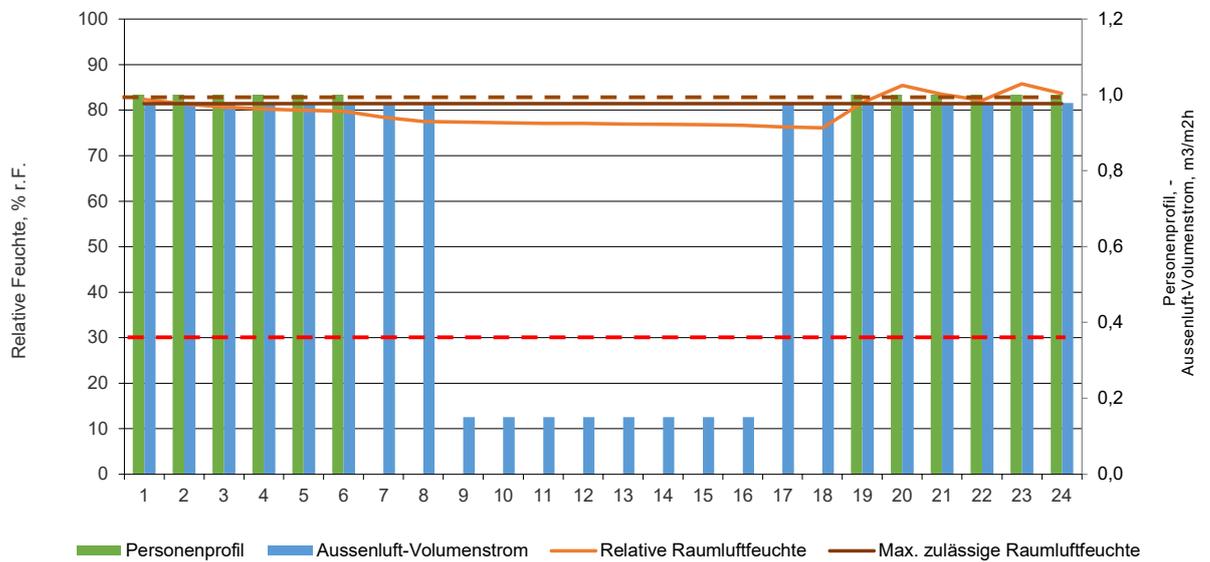


Abbildung 15 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Juli, Klimastation Locarno-Monti, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

10.3. Feuchteproduktion mit oberer Grenze (4 Personen Haushalt)

10.3.1. Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Monat Januar

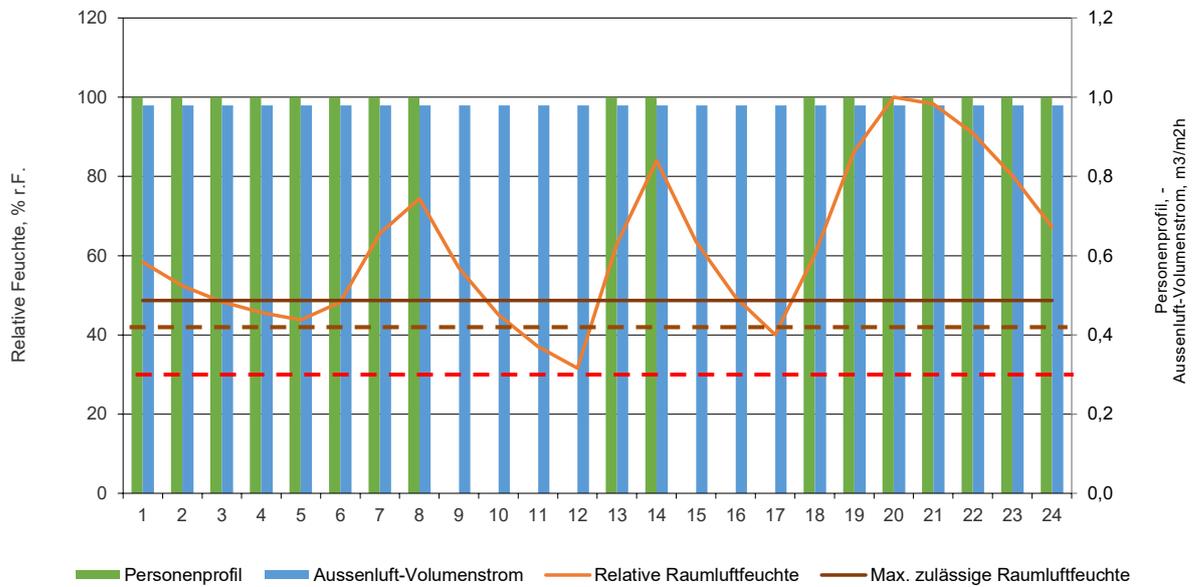


Abbildung 16 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit oberer Grenze, Monat Januar, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat April

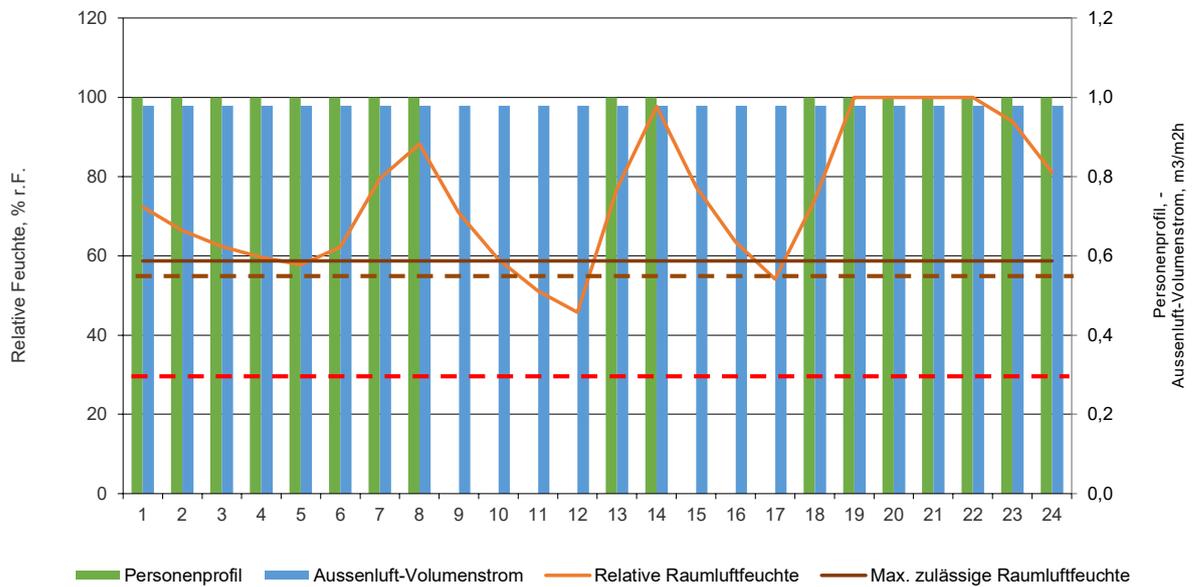


Abbildung 17 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit oberer Grenze, Monat April, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat Juli

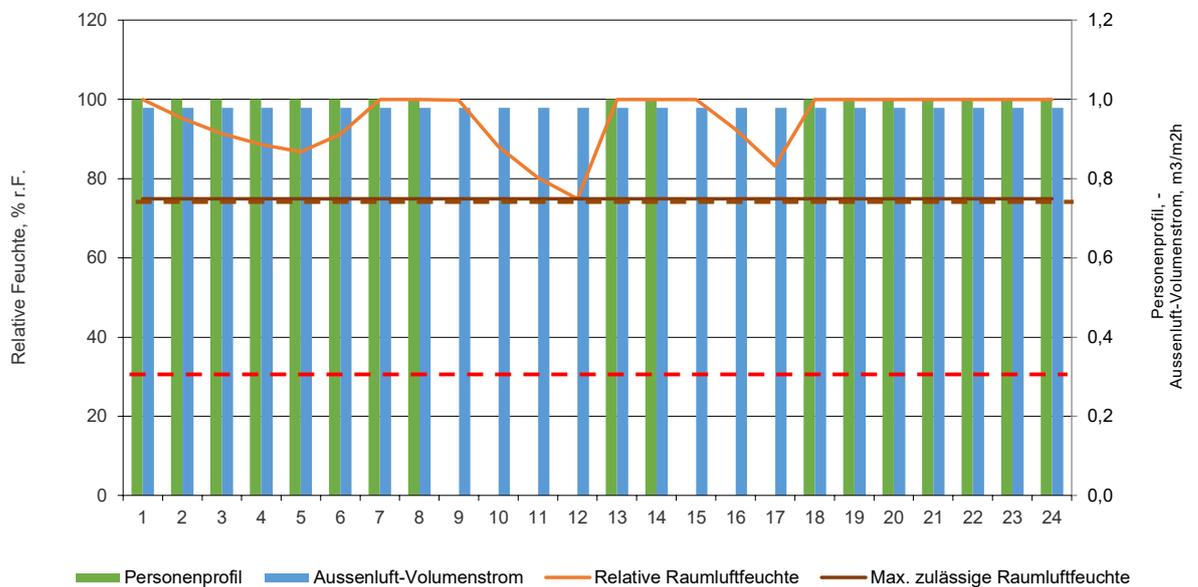


Abbildung 18 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit oberer Grenze, Monat Juli, Klimastation Zürich-MeteoSchweiz, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

10.3.2. Station La-Chaux-de-Fonds

Monat Januar

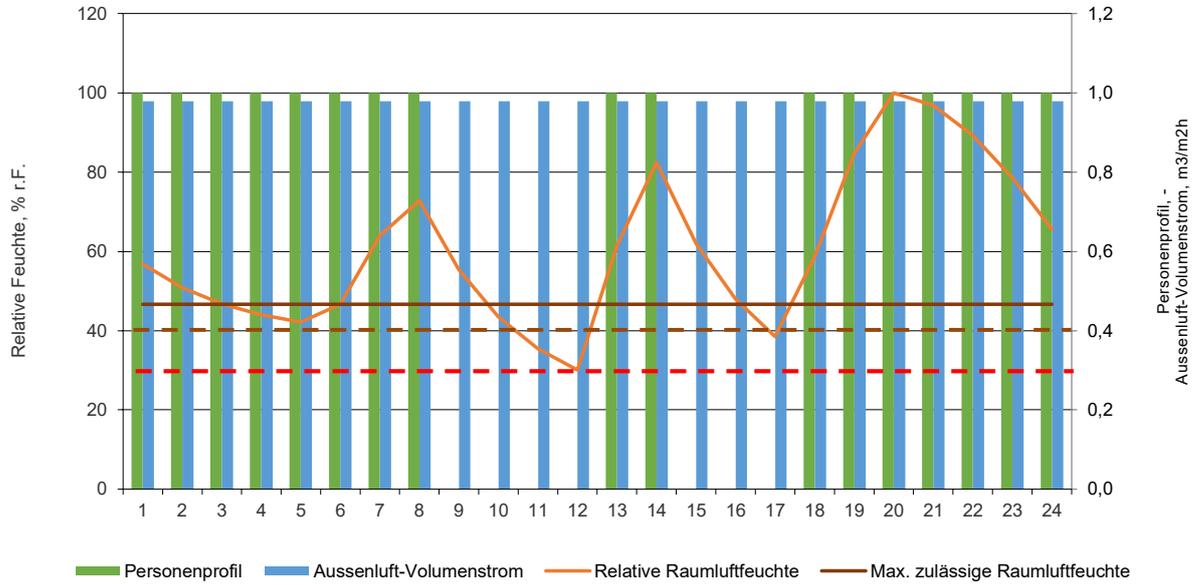


Abbildung 19 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Januar, Klimastation La-Chaux-de-Fonds, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat April

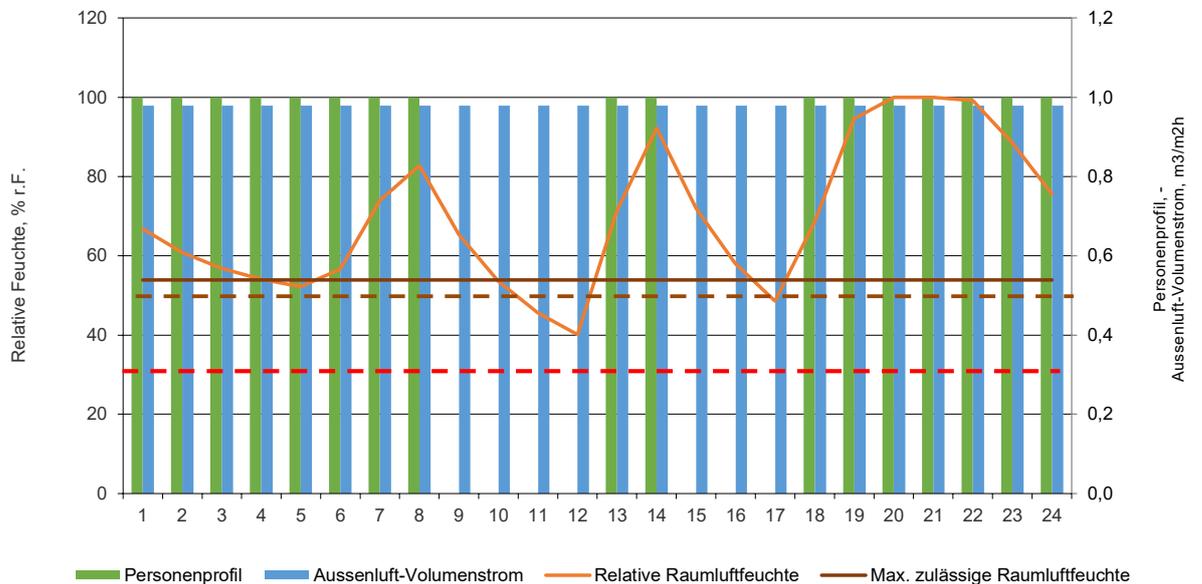


Abbildung 20 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat April, Klimastation La-Chaux-de-Fonds, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat Juli

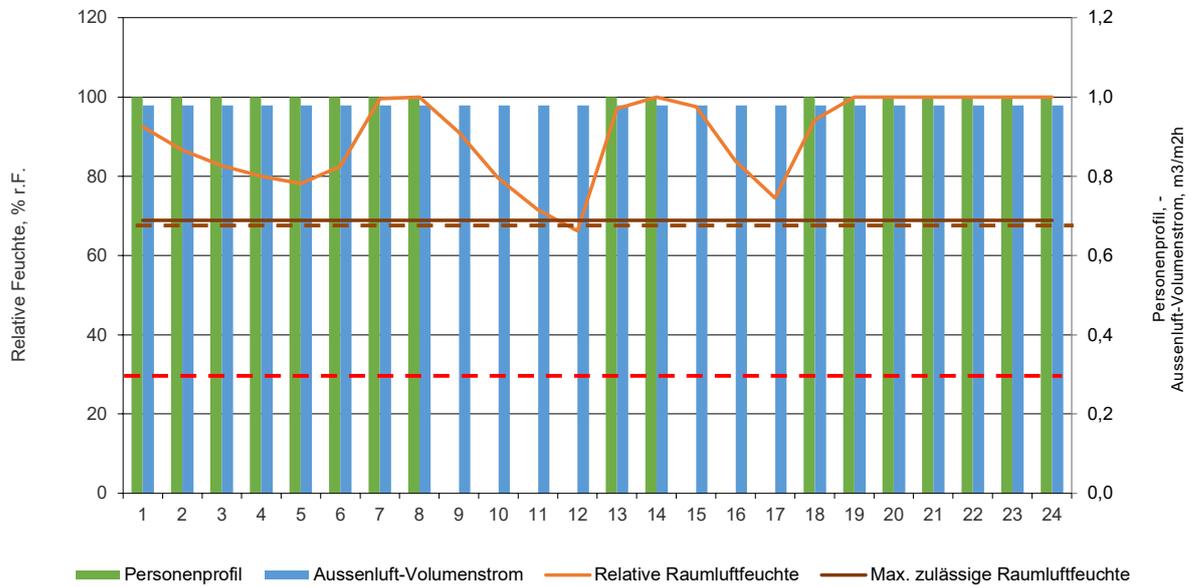


Abbildung 21 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Juli, Klimastation La-Chaux-de-Fonds, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

10.3.3. Station Locarno-Monti

Monat Januar

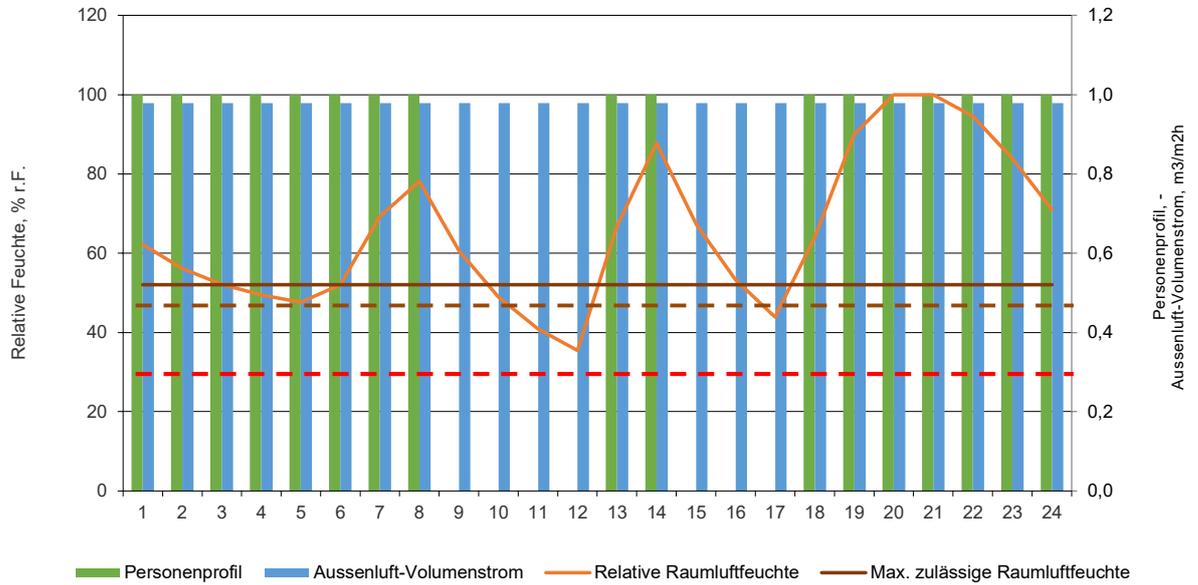


Abbildung 22 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Januar, Klimastation Locarno-Monti, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat April

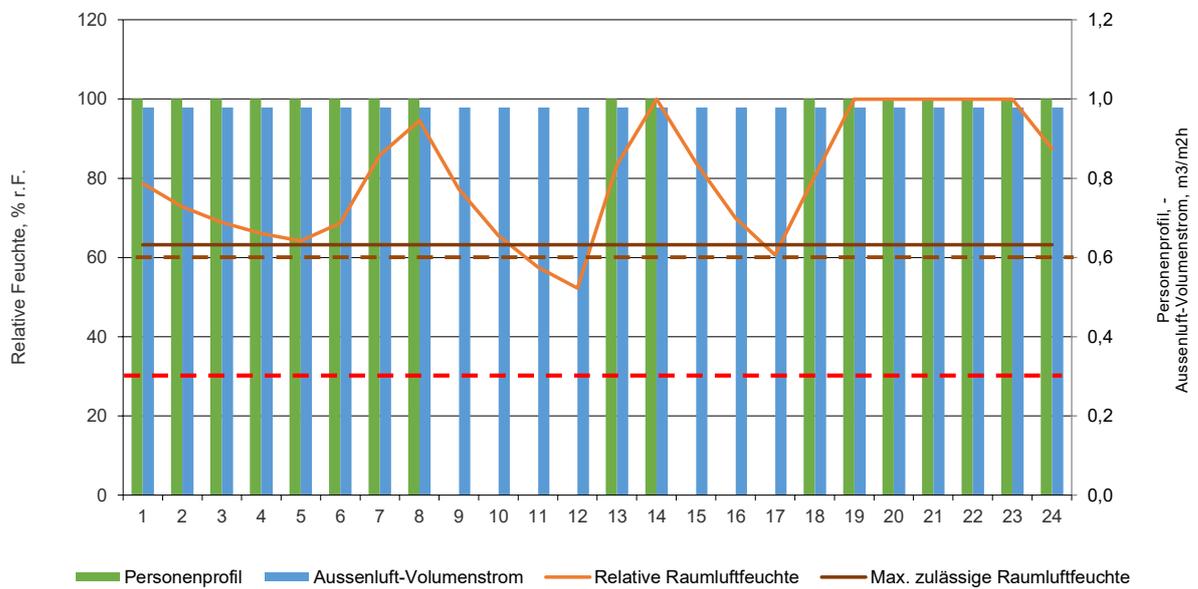


Abbildung 23 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat April, Klimastation Locarno-Monti, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Monat Juli



Abbildung 24 Tagesverlauf bei Feuchteproduktion mit unterer Grenze, Monat Juli, Klimastation Locarno-Monti, mit max. zulässiger Raumlufffeuchte für Neubau (voll gezogene Linie) und Bestand (gestrichelte Linie)

Erkenntnisse aus den Berechnungen der Feuchteverläufe:

- Die hier ausgewiesenen Feuchteverläufe entsprechen nicht den Erfahrungen aus Feldmessungen. Dort wird die relative Feuchte von 100% nie erreicht.

Gründe hierzu sind:

- Nutzereingriff bei erhöhter Feuchteproduktion (Dusche)
- Adsorptions- und Desorptionsprozesse
- höhere Infiltration als $0.15\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (Konstante im Berechnungswerkzeug prSIA 2024 2021 -06)

11. Handlungsempfehlungen und Hinweise für das Folgeprojekt Phase II

Die folgenden Aussagen sind für das Folgeprojekt erwähnenswert:

- Eine detailliertere Betrachtung der Besonderheiten der Feuchteproduktion je nach Raum ist notwendig, um eine klare Darstellung der Feuchteprozesse in Wohnungsbauten zu erhalten. Insbesondere sind spezifische Feuchtequellen zu bestimmten Räumen mit deren Lüftungsanlagen zu berücksichtigen. Die in Phase II vorgesehene Überprüfung zur Anwendbarkeit der DIN SPEC 4108-8:2021 auf schweizerische Bedürfnisse wird in dieser Frage Klarheit schaffen.
- Die Aussenklimabedingungen wurden bisher als monatliche Mittelwerte behandelt. Das berücksichtigt nicht die täglichen Schwankungen der Aussenluftfeuchte. Trotzdem basiert das Berechnungswerkzeug der prSIA 2024:2021-06 auf einer stündlichen Methodologie. Eine detailliertere Darstellung des Aussenklimas auf Basis stündlicher Werte ist für eine realitätsnahe Simulation empfehlenswert.
- Aus diesem Grund ist für die Untersuchung der Phase II der Einsatz von Gebäudesimulationsprogrammen notwendig. Solche Werkzeuge berücksichtigen die stündliche Variation der Innentemperatur und des Aussenklimas (siehe Überlegung in Modul M 1, Kapitel 6)), die korrekte Berücksichtigung der Kondensation und die Feuchtespeicherung durch die Bauteile.

Schlussbemerkungen

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Gesundheit für den geschätzten Auftrag. Für den fachlichen Austausch und die Begleitung des Forschungsprojekts sind wir der Spurgruppe Feuchteschutz SIA 180 – SIA 382 dankbar. David Burkhardt danken wir speziell für die aufmerksame Durchsicht unseres Berichts.

*Die elektronisch erfassten Daten werden während 3 Jahren gespeichert. Der Bericht und die zugehörigen Dokumente werden bei FREI WÜEST EXPERT während 10 Jahren archiviert.
Der Auftraggeber kann während dieser Zeit die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.*

Willisau und Lausanne, 31. August 2021



Beat Frei
Dipl. HLK Ing. HTL / ASHRAE VDI
Geschäftsinhaber

FREI WÜEST EXPERT
INGENIEURBÜRO
Geissburghalde 11
CH-6130 Willisau
Tel. +41 41 971 03 21
beat.frei@frei.expert



Frédéric Haldi
Dr. sc. ETH, dipl. Physiker SIA
Leiter Standorte Westschweiz / Partner

Gartenmann Engineering AG
Akustik – Bauphysik – Energie – Brandschutz
Rue Saint-Martin 7
CH-1003 Lausanne
Tel. +41 21 515 01 76
F.Haldi@gae.ch

12. Anhang Literaturverzeichnis

- [1] Norm SIA 180, *Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 1999.
- [2] Norm SIA 180+C1+C2, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2014/2015/2020.
- [3] Norm SIA 382/1, *Lüftungs- und Klimaanagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, (in Revision), 2014.
- [4] Norm SIA 382/5, *Mechanische Lüftung in Wohngebäuden*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2021.
- [5] Merkblatt SIA 2024, *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2015.
- [6] Merkblatt prSIA 2024, *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, (vor Publikation), 2021-06.
- [7] Merkblatt SIA 2028+C1, *Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2010/2015.
- [8] Norm SN EN ISO 13788, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2012.
- [9] Norm SN EN 15026, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2007.
- [10] Norm SN EN 16798-1, *Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*, Europäisches Komitee für Normung (CEN), Brüssel, 2019.

- [11] Norm ISO 18523-1, *Energy performance of buildings – Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation – Part 1: Non-residential buildings*, International Organisation for Standardisation (ISO), Vernier-Geneva, 2016.
- [12] Norm ISO 18523-2, *Energy performance of buildings – Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation – Part 2: Residential buildings*, International Organisation for Standardisation (ISO), Vernier-Geneva, 2018.
- [13] Norm SN EN 15665, *Lüftung von Gebäuden - Bestimmung von Leistungskriterien für Lüftungssysteme in Wohngebäuden*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2009.
- [14] Norm DIN 1946-6, *Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung*, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, 2019.
- [15] Standard BS 5250+C1, *Code of practice for control of condensation in buildings*, British Standards Institution (BSI), Chiswick UK, 2011/2016.
- [16] Standard 166, *Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 2009
- [17] Standard 166, *Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 2016
- [18] Wegleitung prSIA 4001, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden – Wegleitung zur Anwendung der Norm SIA 180:2014*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2020.
- [19] Dokumentation D 0166, *Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Leitfaden zur Anwendung der Norm SIA 180 Ausgabe 1999*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2001.
- [20] Richtlinie VDI 2078, *Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)*, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf, 2015.

- [21] Technische Spezifikation prDIN SPEC 4108-8, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden*, Deutsches Institut für Normung (DIN), (vor Publikation), Berlin, 2020-12.
- [22] Technischer Bericht DIN/TR 4108-8, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden*, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, 2019.
- [23] Technischer Bericht CEN/TR 14788, *Lüftung von Gebäuden - Ausführung und Bemessung der Lüftungssysteme von Wohnungen*, Europäisches Komitee für Normung (CEN), Brüssel, 2006.
- [24] Guide A, *Environmental design*, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), London, 2006.
- [25] Handbook, *Fundamentals, Chapter 36 Moisture Management in Buildings*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 2017.
- [26] Handbook, *Fundamentals, Chapter 37 Moisture Management in Buildings*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 2021.
- [27] Handbook, *HVAC Applications, Chapter 64 Moisture and Mold*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 2019.
- [28] Zürcher Chr., Frank, Th, Manz H., *Bauphysik – Bau & Energie, Addendum zur 4. Auflage*, vdf Hochschulverlag, Zürich, 2016.
- [29] Huber H., *Komfortlüftung – Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten*, Faktor Verlag, Zürich, (in Überarbeitung), 2021.
- [30] Künzel H. (Hrsg), *Wohnungslüftung und Raumklima: Grundlagen, Ausführungshinweise, Rechtsfragen*, 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [31] Nazaroff W.W., Weschler J. Ch., *Indoor acids and bases*, Indoor Air Journal, 30:559-644, 2020.

- [32] Kalamees T., Vinha J. et al., *Indoor Humidity Loads and Moisture Production in Lightweight Timber-frame Detached Houses*, Journal of Building Physics 29:219-245, 2006.
- [33] Yik F.W.H., Sat P.S.K et al., *Moisture Generation through Chinese Household Activities*, Indoor and Built Environment 13(2): 115-131, 2004.
- [34] Pallin et al., *Stochastik modeling of moisture supply in dwellings based on moisture production and moisture buffering capacity* Proc. of Building Simulation 2011, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association (IBPSA), Sydney, 2011.
- [35] Ilomets S., Kalamees T. et al., *Indoor hygrothermal loads for the deterministic and stochastic design of the building envelope for dwellings in cold climates*, Journal of Building Physics 41:6, 2017.
- [36] TenWolde A., *A mathematical model for indoor humidity in homes during winter*, Proceedings, Symposium on Air Infiltration, Ventilation, and Moisture Transfer, p.3-32, Building Thermal Envelope Coordinating Council, Washington DC, 1988.
- [37] TenWolde A., Walker I., *Interior moisture design loads for residences*, Proceedings of the Buildings VIII Conference, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Clearwater Beach USA, 2007.
- [38] TenWolde A., Pilon C.L., *The effect of indoor humidity on water vapor release in homes*, Proceedings of the Buildings X Conference, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Clearwater Beach USA, 2007.
- [39] Choi Y. Lim Y. et al. *Why does a High Humidity Level Form in low-income households?* Sustainability, 12, 7563, MDPI, Basel, 2020.
- [40] Glass S.V., TenWolde A., *Review of moisture balance models for residential indoor humidity*, Proceedings of 12th Canadian Conference on Building Science and Technology, Montreal, 2009.
- [41] Johansson P., Pallin S., et al., *Risk Assessment Model Applied on Building Physics: Statistical Data Acquisition and Stochastic Modeling of Indoor Moisture Supply in Swedish Multi-family Dwellings*, IEA Annex 55 RAP-RETRO, Proceedings of meeting, Copenhagen, 2010.

- [42] Pallin S., Boudreaux Ph., et al., *Simulations of Indoor Moisture Generation in U.S. Homes*, STP 1599 On Advances in Hygrothermal Performance of Building Envelopes, American Society for Testing and Materials (ASTM International), 2017.
- [43] Ahmed K., Akhondzada A., et al., *Occupancy schedules for energy simulation in prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards*, Sustainable Cities and Society 35 p.134-144, 2017.
- [44] Pallin S., *Risk Assessment of Hygrothermal Performance - Building Envelope Retrofit*, PhD-Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg SWE, 2013.
- [45] Pedersen A. S., *Moisture production in buildings*, Master-Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim NOR, 2018.
- [46] Turan H., *Analyse zu einer einfachen Möglichkeit der Prognose von Feuchteproduktion im Wohnraum auf Basis von Messdaten*, Master-Thesis, Technische Universität, München, 2017.
- [47] Tschui A., Emmenegger Th., *Raumluftfeuchte in Wohnungen*, Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Architektur Luzern, Horw, 2004.
- [48] Beike M., Nadler N., *Feuchteschutzlüftung - Lüftungskonzept mit Fensterlüftung*, TGA Fachplaner 03 p48-61, 2020.