

KONDITIONIERUNG VON KELLERRÄUMEN IN WOHNGEBÄUDEN

FRÜHER DIENTEN KELLERRÄUME VOR ALLEM ZUM LAGERN VON LEBENSMITTELN. HIERFÜR BRAUCHT ES NIEDRIGE TEMPERATUREN UND HOHE FEUCHTIGKEIT. HEUTE HINGEGEN WERDEN KELLER HÄUFIG FÜR ANDERE ZWECKE VERWENDET, BEISPIELSWEISE ALS HOBBYRAUM, LAGERRAUM ODER TROCKNUNGSRAUM. IN SOLCHEN FÄLLEN MÜSSEN ABER HOHE RAUMLUFTFEUCHTEN UNBEDINGT VERMIEDEN WERDEN, WEIL SONST SCHIMMELBEFALL DROHT.

Dieses Merkblatt behandelt die Konditionierung von Kellerräumen bei Neubauten, bei sanierten und unsanierten Gebäuden. Hierfür werden vier verschiedene Varianten vorgestellt, detailliert beschrieben und bezüglich Schimmelrisiko und Energieverbrauch untersucht. Daraus resultieren Empfehlungen zur optimalen Systemwahl.

Die vorliegenden Fälle beziehen sich auf die Klimadaten der Standorte Zürich, Davos und Locarno. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf Kellerräume ohne nennenswerte Feuchteinträge – Trocknungsräume beispielsweise sind hier also ausgeklammert. Für Kellerräume mit hohen Feuchteinträgen sind grundsätzlich Zusatzmassnahmen erforderlich wie etwa die Installation von Raumluft-Wäscheentfeuchtern.

Hinweis: Radon gilt als der gefährlichste Innenraum-Luftschadstoff in der Schweiz. Kellerräume sind durch den direkten Bodenkontakt am meisten betroffen. Bei der Umnutzung von Kellerräumen zu Wohnräumen oder bei Änderungen an der Gebäudehülle ist die Radonsituation zu prüfen. Gegebenenfalls sind Massnahmen zu treffen.

Lüftungstechnische Massnahmen aufgrund des Radonschutzes sind nicht Gegenstand dieser Betrachtung. Die Radonproblematik ist vor allem bei Kellerräumen, die vor 1980 gebaut wurden, am grössten (Gebäudedichtheit). Weitere Informationen zum Radonschutz sind über die Radonfachstellen erhältlich.



BAUPHYSIK, FEUCHTE UND SCHIMMEL

Wenn Materialien wie Beton, Karton oder Holz länger feucht bleiben, bildet sich an ihrer Oberfläche mit grosser Wahrscheinlichkeit Schimmel. Ursache für die erhöhte Feuchtigkeit in Kellerräumen sind meistens bauliche Mängel. Das können etwa undichte Stellen wie Risse in Mauern oder Folien gegen das Erdreich sein. Aber auch ungenügend gedämmte, also kalte Bauteile wie Aussenwände, Böden oder Rohrleitungen können lokal hohe Feuchten verursachen. Hohe Feuchten sind aber auch jahreszeitlich bedingt. In Wohnungen tritt das Problem vor allem im Herbst und im Winter auf. Der Herbst ist kritisch, weil dann in der Schweiz hohe absolute Aussenluftfeuchten auftreten. Im Winter kann die Luftfeuchte an ungenügend gedämmten Aussenwänden so hoch steigen, dass sie die Schimmelbildung begünstigt [1].

In Kellerräumen tritt das Problem hingegen hauptsächlich im Sommer auf. Der hohe absolute Feuchtegehalt der Aussenluft führt dann in kühlen Kellern rasch zu sehr hoher relativer Feuchtigkeit an den Kellerwänden. Somit steigt auch die Gefahr von Schimmelbildung, die auch durch ein falsches Lüftungsverhalten oder Lüftungskonzept begünstigt wird.

TYPEN VON KELLERRÄUMEN

Baulich unterscheiden sich Keller je nach Alter, Konstruktionsweise und verwendeten Baumaterialien. Um den verschiedenen baulichen Situationen gerecht zu werden, wurden drei verbreitete Kellertypen definiert und anhand von Simulationen untersucht [2]. Die geometrisch identischen

Kellerräume unterscheiden sich durch verschiedene Dämmstrategien. Es wurden die Fälle «unsaniert» und «saniert» für Bestandesbauten sowie der Fall «Neubau» simuliert (Tabelle 1). Die Modellierung des Kellerraums ist in Abbildung 1 dargestellt. Dabei wurden eine längere (7 m) und zwei kürzere Wände (5 m) als Aussenwände deklariert. Der Kellerraum wird als eine thermische Zone betrachtet. Das EG über dem Keller und ein an den Kellerraum angrenzender Gang werden als zusätzliche thermische Zonen im Modell abgebildet. Die lange Wand hat 6 % Fensteranteil (3 Fenster à 0,4 m x 1,0 m = 1,2 m², Wandfläche (licht): 2,7 m x 7,0 m = 18,9 m²). Die Untersuchungen basieren auf den Klimadaten von Zürich/Locarno/Davos. Damit können sie Aussagen für praktisch alle Standorte der Schweiz liefern.

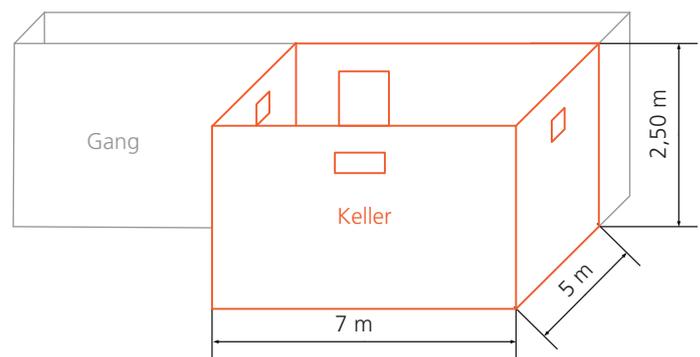


Abbildung 1: Innenabmessungen Kellermodell

KELLERTYPEN			
Kellertyp	Bestand unsaniert (uns)	Bestand saniert (san)	Neubau (nb)
Gelb = Wärmedämmung Grau = Grundmauern Braun = Erdreich			
Dämmung Aussenwand Keller	oberes 1/3 gedämmt, untere 2/3 ungedämmt	oberes 1/3 gedämmt, untere 2/3 ungedämmt	ganze Wand gedämmt
Dämmung Kellerdecke	nein	ja	nein
Dämmung Kellerboden	nein	nein	ja
Kellerwand grenzt an	1/2 Erdreich, 1/2 Aussenluft	1/2 Erdreich, 1/2 Aussenluft	1/2 Erdreich, 1/2 Aussenluft

Tabelle 1: Die untersuchten Kellertypen unterscheiden sich bezüglich Wärmedämmung.

KONDITIONIERUNG VON KELLERRÄUMEN

Schimmelbefall kann durch optimale Konditionierung des Raums entgegengewirkt werden. Im Folgenden werden die vier untersuchten Varianten vorgestellt (Tabelle 2). Sie sind typisch für kleinere und mittlere Wohngebäude.

FREIE LÜFTUNG (FENSTERLÜFTUNG)

Bei der Fensterlüftung (auch freie Lüftung genannt, Abbildung 2) wird über ein geöffnetes Fenster Innenluft gegen Aussenluft ausgetauscht. In der warmen Jahreszeit kann dies aber die Raumluftfeuchte im Keller erhöhen statt senken. Das ist immer dann der Fall, wenn die warme Aussenluft absolut mehr Feuchte enthält als die Raumluft. Damit also im Sommer nicht noch zusätzlich Feuchte in den Keller gebracht wird, muss zum richtigen Zeitpunkt gelüftet werden.

MECHANISCHE LÜFTUNG (ABLUFVENTILATOR)

Mit einem Abluftventilator (Abbildung 3, roter Pfeil) wird die Luft mechanisch abgeführt. Über eine Klappe strömt Aussenluft in den Keller nach. Damit im Sommer mit der Aussenluft nicht zusätzliche Feuchte in den Keller gelangt, muss die Lüftung zur richtigen Zeit laufen. Dafür sorgt eine Regelung, die den Ventilator anhand der absoluten Feuchte (bzw. dem Partialdruck) regelt. Ist die absolute Feuchte der Aussenluft tiefer als im Raum, schaltet sie den Ventilator ein.

LUFTENTFEUCHTER

Ein Luftentfeuchter entzieht der Raumluft Feuchte, indem er Wasserdampf durch Kondensation abscheidet (Abbildung 4). Die feuchte Raumluft durchströmt den Verdampfer des Entfeuchters und wird dabei so stark abgekühlt, dass das Wasser aus der Luft kondensiert. Danach wird die entfeuchtete Luft über den Kondensator des Kältekreislaufs wieder in den Raum zurückgeführt. Das Kondensat wird abgeführt oder in einem Behälter gesammelt.

ELEKTROHEIZUNG

Auch Heizregister können zur Entfeuchtung eingesetzt werden. Indem sie die Raumtemperatur erhöhen, senken sie die relative Feuchte in der Raumluft (Abbildung 5). Allerdings dürfen Kellerräume des Typs «unsaniert» und «saniert» (Tabelle 1) gemäss kantonalen Energievorschriften nicht beheizt werden. Auch stationäre Elektroheizungen sind je nach Leistung und Kanton beim Typ «Neubau» bewilligungspflichtig oder verboten. Die Variante wird hier aber trotzdem behandelt, um den hohen Energieverbrauch zu illustrieren.

Hinweis: Adsorptionsentfeuchter wurden in die Untersuchung nicht einbezogen, weil sie durch ihr elektrisch integriertes Heizelement in ungedämmten Kellerräumen gemäss Vollzugshilfe EN-102 [3] nicht zulässig sind.

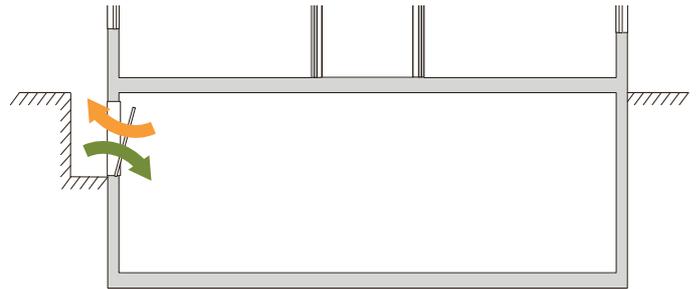


Abbildung 2: Fensterlüftung

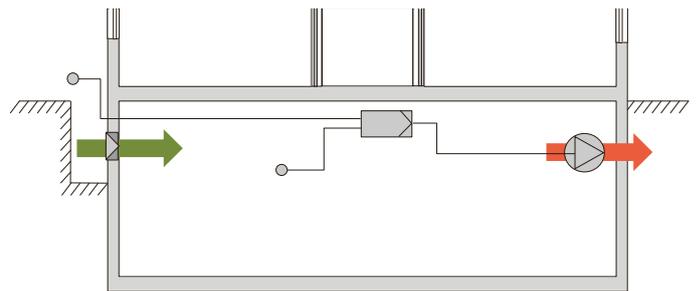


Abbildung 3: Mechanische Lüftung

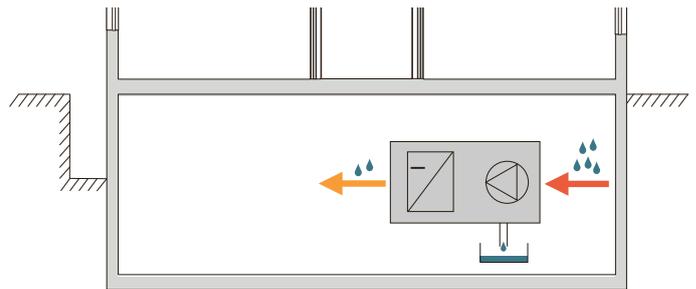


Abbildung 4: Raumluftentfeuchter

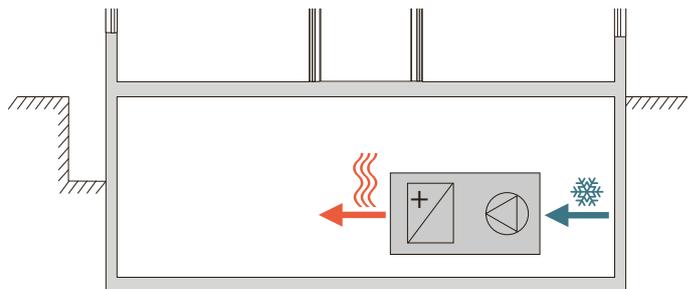


Abbildung 5: Heizregister

ÜBERSICHT DER UNTERSUCHTEN FÄLLE

Die Rahmenbedingungen für die Simulationen zur Abschätzung des Schimmelrisikos bei den vier Konditionierungsvarianten sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Abhängig vom Baustandard des Kellers wurden die Gebäudeundichtheiten so gewählt, dass sich im Mittel (Testperiode: 1. Januar bis 5. April) folgende Infiltrationsluftwechselraten ergeben:

- Kellertyp «unsaniert» und «saniert» (uns, san): 0,12 h⁻¹
- Kellertyp Neubau (nb): 0,06 h⁻¹

Dabei gibt die Infiltrationsluftwechselrate das Vielfache des Raumvolumens an, das als Zuluft pro Stunde zugeführt wird (Werte entsprechend SIA 2024 [4]). Zusätzlich zur Infiltration wurden in Abhängigkeit von der Betriebsweise für die unterschiedlichen Lüftungskonzepte folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

VARIANTE 1: KELLER MIT FREIER LÜFTUNG ÜBER DIE FENSTER (FrLue)

Im Kellerraum ist ein Kellerfenster in Kippstellung. Die lichte Öffnungsfläche beträgt 0,33 m² und das Fenster ist dauerhaft gekippt. Die Öffnungsfläche ist für alle Kellertypen gleich (uns, san, nb). Der Keller ist unbeheizt, somit entsteht kein zusätzlicher Energiebedarf.

Kommentar: SIA 180:2014 C.3 und C.4 sieht vor, dass für die Berechnung von freier Lüftung bei Simulationen zur Schimmelpilzgefährdung der Wind nicht berücksichtigt werden soll [5]. Davon abweichend wurde er bei den Simulationen berücksichtigt, es wurde aber angenommen, dass das Gebäude an geschützter Lage steht (eng bebauter Kontext).

VARIANTE 2: KELLER MIT MECHANISCHER LÜFTUNG, FEUCHTEWÄCHTER AUSSEN UND INNEN (FeuW)

Der Abluftventilator schaltet ein, sobald die absolute Feuchte der Aussenluft tiefer ist als die der Raumluft im Keller. Abhängig vom Kellertyp erzeugt der Ventilator folgenden Luftwechsel: uns 0,70 h⁻¹, san 0,30 h⁻¹, nb 0,10 h⁻¹. Die mechanische Lüftung benötigt zwei Öffnungen nach aussen, eine für die Aussenluft und eine für die Fortluft.

VARIANTE 3: LUFTENTFEUCHTUNG (LuEntf)

Es wurde ein Luftentfeuchter angenommen, der die Kellerluft im Umluftbetrieb trocknet. Dabei schaltet das Gerät bei 50 % relativer Feuchte ein und bei 30 % wieder aus. Der Luftdurchsatz liegt bei konstant rund 500 m³/h. Das Gerät nimmt 400 W elektrische Leistung auf, was zu einem zusätzlichen Wärmeeintrag im Keller führt.

VARIANTE 4: ELEKTROHEIZUNG (EHzg)

Der Kellerraum wird über eine Elektroheizung temperiert. Sie schaltet bei 14°C Raumlufttemperatur ein und bei 18°C wieder aus. Die Infiltration liegt zwischen 0,12 h⁻¹ (uns/san) und 0,06 h⁻¹ (nb). Ausser der Infiltration wurde kein zusätzlicher Luftwechsel berücksichtigt.

KOMBINATION MIT KOMFORTLÜFTUNG?

Den Kellerraum zwecks Feuchteschutz an die Komfortlüftung anzuschliessen, wird nicht empfohlen. Die Anforderungen an die Betriebszeiten sind zu unterschiedlich und bei Dauerbetrieb kann sogar zusätzliche Feuchte eingebracht werden.

SIMULIERTE FÄLLE												
Klima	Zürich/Locarno/Davos											
Betriebsweise	Freie Lüftung (FrLue)			Taupunktwärter (FeuW)			Luftentfeuchter (LuEntf)			Elektroheizung (EHzg)		
Heizung	nein			nein			Abwärme Entfeuchter			Elektroheizung		
Aussenluftwechsel über	gekipptes Fenster			Abluftanlage			Infiltration			Infiltration		
Aussenluftwechselrate mech. [h ⁻¹]	–			0,7	0,3	0,1	–			–		
Aussenluftwechselrate Fenster/Infil. [h ⁻¹]	variabel (zonale Strömungssimulation)			im Mittel			im Mittel			im Mittel		
Kellertyp	uns	san	nb	uns	san	nb	uns	san	nb	uns	san	nb
				0,12	0,06		0,12	0,06		0,12	0,06	

Tabelle 2: Untersuchte Varianten. Verwendete Abkürzungen: uns = unsaniert, san = saniert, nb = Neubau.

ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNG

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Simulationen. Dabei wird ausgewertet, ob im Keller ein Feuchteproblem respektive ein Schimmelrisiko entsteht oder nicht. Variiert werden der Baustandard der Keller (unsaniert/sanierter Bestandesbau und Neubau) sowie die vier Konditionierungsvarianten.

SCHIMMELRISIKO

Allgemein ist in allen simulierten Fällen der Sommer kritischer als der Winter. Bezüglich des Baustandards zeigt sich, dass nur beim Neubau (nb) durch die dichtere Bauweise und durch die höheren Temperaturen dank des besseren Dämmperimeters kein Schimmelrisiko besteht. Je nach Betriebsweise und Klima weisen die Ergebnisse im unsanierten und sanierten Keller ein Schimmelrisiko aus. Der Standort und damit das dort vorherrschende Klima hingegen beeinflusst das Schimmelrisiko kaum.

Bezüglich der untersuchten Betriebsweisen zeigt sich: Bei freier Lüftung (FrLue) und Elektroheizung (Ehgz) besteht ein Schimmelrisiko. Bei der mechanischen Lüftung mit Feuchtwächter (FeuW) und Luftentfeuchtung (LuEntf) kann das Schimmelrisiko auch bei den unsanierten und sanierten Kellertypen vermieden werden.

ENERGIEBEDARF

Ausser bei der Fensterlüftung fällt für die Kellerkonditionierung bzw. die Senkung des Schimmelrisikos ein gewisser Bedarf an elektrischer Energie an. Der ist bei den einzelnen Betriebsvarianten unterschiedlich gross. Für die Berechnungen wurde mittels der durchgeführten Simulationen die Laufzeit der jeweiligen Anlagen eruiert. Daraus wurde der Energiebedarf jeder Variante ermittelt. Abbildung 6 zeigt die errechneten maximalen Energiebedarfswerte.

Die Temperierung des Kellergeschosses, z. B. mit einer Elektroheizung (Ehgz), reicht nicht, um Schimmel zu vermeiden (Tabelle 3). Zusätzlich hat diese Lösung einen sehr hohen

Energiebedarf. Er liegt bei allen Standorten zwischen rund 70 und 330 kWh/(m²a).

Der Strombedarf für den Abluftventilator bei der Betriebsvariante Feuchtwächter (FeuW) ist bei allen Varianten tief und liegt bei rund maximal 0,2 kWh/(m²a). Für den Entfeuchter liegt der Strombedarf mit Werten zwischen 60 und 90 kWh/(m²a) deutlich höher.

Die Simulationen zeigen, dass besonders bei den Kellertypen «unsaniert» und «saniert» das Potenzial für Schimmel je nach Betriebsvariante gross ist. Hier besteht Handlungsbedarf und mit der richtigen Kellerkonditionierung kann ein Feuchteproblem vermieden werden.

EMPFEHLUNG

Die Simulationen zeigen: Für den untersuchten Typ Kellerraum ist ein feuchtegeregelter Abluftventilator die optimale Lösung. Er benötigt wenig Energie und reduziert das Schimmelrisiko fast auf Null.

Energiebedarf aller untersuchten Varianten

Energiebedarf [kWh/m²a]

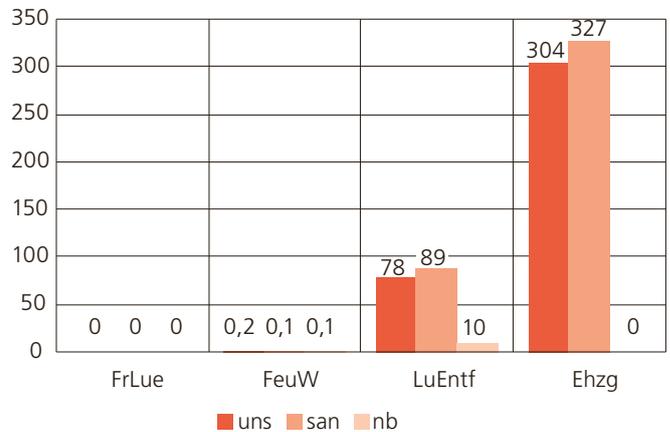


Abbildung 6: Elektrischer Energiebedarf aller untersuchten Varianten.

FEUCHTEPROBLEMATIK ALLER UNTERSUCHTEN VARIANTEN

Klima	Zürich/Locarno/Davos											
	Freie Lüftung (FrLue)			Taupunktwärter (FeuW)			Luftentfeuchter (LuEntf)			Elektroheizung (Ehgz)		
Betriebsweise	uns	san	nb	uns	san	nb	uns	san	nb	uns	san	nb
Kellertyp	uns	san	nb	uns	san	nb	uns	san	nb	uns	san	nb
Schimmelbildung	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja*	nein

*Bemerkung: In Locarno würde keine Schimmelbildung stattfinden.

Tabelle 3: Unsanierte und sanierte Keller zeigen bei freier Lüftung und beim Einsatz von Elektroheizungen ein Schimmelrisiko.

WEITERE INFORMATIONEN

NORMEN, RICHTLINIEN UND VERWENDETE LITERATUR

- [1] Bundesamt für Gesundheit, «Vorsicht Schimmel», Schweiz, 2009.
- [2] Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden – Schlussbericht. Horw: Hochschule Luzern Technik und Architektur (HSLU), 2019, (Auftraggeber Bundesamt für Energie, Bern).
- [3] Vollzugshilfe EN-102, Wärmeschutz von Gebäuden, Ausgabe Dezember 2018.
- [4] Merkblatt SIA 2024, «Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik», pp. 1 – 156, 2015.
- [5] Norm SIA 180, «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden», pp. 1 – 72, Schweiz, 2014.

WEITERE LITERATUR

Merkblatt «Be- und Entlüftung von Kellerräumen», April 2019, suissetec Schweizerisch-Liechtensteinischer Gebäudetechnikverband, Fachbereich Lüftung | Klima | Kälte www.suissetec.ch

PROJEKT BETEILIGTE

Adrian Grossenbacher, Bundesamt für Energie BFE
Caroline Hoffmann, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Institut Energie am Bau
Claudia Hauri, Hochschule Luzern, Institut für Gebäudetechnik und Energie
Jasin Jasari, Hochschule Luzern, Institut für Gebäudetechnik und Energie
Heinrich Huber, Hochschule Luzern, Institut für Gebäudetechnik und Energie
Achim Geissler, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Institut Energie am Bau