

Schimmelprävention und Kellerlüftung, Empfehlungen, Theorie und Praxis

R. Grohmann, Ing.-Büro Grohmann, Markkleeberg,
K. Heym, Fachärztin für Allgemeinmedizin, Arztpraxis Podelwitz

1. Allgemeine Empfehlungen und Hinweise zur Kellerlüftung

In der Literatur und im Internet mangelt es nicht an Empfehlungen zum „richtigen“ Lüften von Kellerräumen. Betrachtet man diese jedoch vergleichend und kritisch, muss man schnell feststellen, dass diese Hinweise zur sachgerechten Kellerlüftung zum Teil erheblich differieren und auch nur bedingt geeignet sind.

Das Spektrum dieser Hinweise erstreckt sich zum Beispiel über:

1. *„Im Sommer halten Sie die Kellerfenster fest verschlossen!“ [1.1]*
Bemerkung: Die Luft in einem geschlossenen Keller wird allmählich durch Verdunstung von Wasser aus dem Kellermauerwerk und eingelagerten Lebensmitteln immer feuchter und schließlich sättigen. Es entstehen ideale Bedingungen für Fäulnis und Schimmelwachstum.
2. *„Um gegen den Schimmel im Keller anzukämpfen, sollte richtig gelüftet werden. Dies geschieht, indem an eher kalten Sommertagen die Fenster im Keller für etwa 10-15 Minuten komplett geöffnet werden. In der Regel kann hierfür der Abend, sowie der Morgen genutzt werden. [1.2]*
Bemerkung: Diese Aussage ist zwar vom Ansatz her richtig, aber wegen ihrer Relativität unbrauchbar.
3. *„Eine der besten Möglichkeiten Ihren Keller zu entfeuchten, ist ein regelmäßiges Lüften. Dies ist in einem Keller aber nur richtig, wenn die Außentemperatur mindestens 5 Grad unter der des Kellers liegt.“ [1.3]*
Bemerkung: Eine an sich brauchbare Lösung, weil in der Mehrzahl der Fälle, dann eine Betauung der Kellerwände durch die eindringende Außenluft vermieden wird. Der Wassergehalt der Außenluft bleibt jedoch unberücksichtigt. Dies kann dazu führen, dass entweder mögliche Lüftungszeiten ausgelassen werden oder trotz vorhandenem Temperaturunterschied von fünf Grad eine Befeuchtung des Kellers erfolgt.
4. *„ Durch das Lüften soll der Keller möglichst rasch so weit erwärmt werden, dass die Tauwassergefahr zurückgeht.“ [1.4]*
Bemerkung: Eine Erwärmung des Kellers führt natürlich zur Herabsetzung des Betauungsrisikos. Allerdings besteht ohne Kontrolle bei Erwärmung mit Außenluft latent die Gefahr der Betauung und der Schimmelbildung. Somit wird diese Empfehlung häufig keine guten Ergebnisse liefern.
5. *„Gönnen Sie sich ein Gläschen Wein oder eine Flasche Bier auf der Terrasse. Wenn die Flasche, frisch aus dem Keller geholt, im Freien nicht beschlägt, können Sie auch den Keller bedenkenlos lüften..“ [1.5]*
Bemerkung: Physikalisch richtig und durchaus machbar, wenn man beachtet, dass sich die Lüftungsbedingungen im Tagesverlauf ständig ändern. Das heißt, der „Flaschentest“ muss in sinnvollen Zeitabständen zyklisch wiederholt werden, um den umgekehrten Effekt der Kellerbefeuchtung bzw. Betauung zu vermeiden.

6. *Kellertemperatur und Außentemperatur sowie relative Außenfeuchte messen und mittels eines gegebenen Diagramms den gewünschten Lüftungseffekt kontrollieren. [1.6]*

Bemerkung: Wie Fünftens, physikalisch richtig, aber aufwendig und nicht von jedermann machbar. Nachteilig kommt hinzu, dass die Messgenauigkeit der verwendeten Messmittel beachtet werden muss.

Fazit: Die genannten Empfehlungen sind zum Teil widersprüchlich oder ungenau oder sind nur für Haus- und Wohnungsbesitzer mit viel Zeit und Muße geeignet.

2. Alternative Verfahren zur Kellertrocknung [2.1] [2.2] [2.3] [2.4] [2.5]

Als gängigste Alternative zur bzw. als Ergänzung zur konventionellen Kellerlüftung wird die Kondensations- bzw. Kältetrocknung eingesetzt.

Diese Technik basiert auf Trocknung durch Taupunktunterschreitung. Mithilfe eines Ventilators wird die zu entfeuchtende Luft durch ein Kühlregister geführt, dessen Temperatur unter dem Taupunkt der Luft liegt. Dadurch kondensiert der in dieser Luft vorhandene Wasserdampf. Das Kondensat wird in einem separaten Behälter gesammelt. Dieser muss zyklisch entleert oder an ein Entwässerungssystem angeschlossen werden. Die abgekühlte und entfeuchtete Luft wird anschließend in einem Heizregister erwärmt und als Trockenluft dem Raum abgegeben.

Als Vorteile sind zu nennen:

- Geringer technischer Aufwand und Anschaffungskosten,
- Keine Fenster oder Maueröffnungen zur Abführung feuchter Luft nötig.

Denen stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Eingeschränkter Einsatzbereich (Temperatur: ca. 5-30 °C und relative Feuchtigkeit: ca. 40-99%),
- Behälterleerung bei fehlendem Wassersabfluss notwendig,
- Luftfilterreinigung erforderlich,
- Kein Frischlufteintrag bzw. kein Austrag von sporenbelasteter und verbrauchter Kellerluft.

Kosten und energetischer Aufwand

Die Anschaffungskosten für Entfeuchter, die für Kellerräume von 60 m³ bis 180 m³ geeignet sind, beziffern sich auf wenige hundert Euro. Diesen an sich geringen Anschaffungskosten stehen jedoch nennenswerte Betriebskosten gegenüber.

Diese Betriebskosten sind abhängig von:

- dem eingestellten Entfeuchtungsgrad,
- der Raumgröße,
- der gewählten Entfeuchterbaugröße bzw. Leistungsaufnahme,
- dem Wassereintrag in den zu entfeuchtenden Raum (abhängig von u.a. Bausubstanz, Bodenfeuchte und Einlagerungsgut).

Eine Beispielrechnung für einen unbeheizten Keller mit einem Luftvolumen von 120 m³, einer Kellertemperatur von 10 °C, einer eingestellten relativen Feuchte von 70% und einem Wassereintrag von 1,7 Liter pro Tag soll den energetischen Aufwand und die Betriebskosten verdeutlichen:

Für diesen Betriebsfall wird laut Herstellerangaben eine durchschnittliche Entfeuchterleistung von 142 Watt notwendig. Dies bedeutet einen täglichen Energieverbrauch von rund 3,4 kWh. Bei einem angenommenen Energiepreis von 0,25 €/kWh beziffern sich die täglichen Energiekosten auf 0,85 €. Die Hochrechnung auf ein Jahr ergibt einen Stromverbrauch von 1240 kWh und Energiekosten von etwa 310 €.

Diese Werte entsprechen in etwa eigenen Messwerten.

Für einen Keller mit einem Volumen von 110 m³ wurde im Zeitraum vom 09.08.2010 bis zum 12.08.2011 bei einer Kellertemperatur von 17,6 °C und einer gleichzeitigen Trocknung von 90% auf 82% relative Feuchte eine mittlere Entfeuchterleistung von 178 Watt bzw. 4,27 kWh/d benötigt. In diesem Zeitraum konnten der Luft 9,4 Liter Wasser, also zirka 3 Liter pro Tag, entzogen werden. Da in diesem Fall auch eine Trocknung des gesamten Kellers erfolgte, liegen die gemessenen Werte etwas über denen, die beim stationären Betrieb zu erwarten wären.

Der Energieverbrauch hängt unter anderem deutlich von den Einstellungen am Entfeuchter ab. Dies belegen folgende gemessene Wertepaare für oben beschriebenen Keller bei etwa 14 °C Kellertemperatur:

Eingestellte relative Feuchte	Durchschnittsverbrauch	Verbrauch pro Tag	Jährlicher Verbrauch	Jährliche Energiekosten
77%	45 Watt	1,08 kWh	394 kWh	98,50 €
60%	171 Watt	4,10 kWh	1496 kWh	374,00 €

Als weitere Möglichkeiten zur Kellertrocknung stehen die Adsorptionstrocknung und die Infrarotheizung zur Verfügung. Aufwand und Energieeinsatz sind für private Anwendungen in der Mehrzahl der Fälle so hoch, dass an dieser Stelle auf weitere Erläuterungen verzichtet werden soll. In Einzelfällen und für industrielle Anwendungen werden beide Verfahren jedoch erfolgreich eingesetzt.

3. Automatische Kellerlüftung mit Außenluft zur Schimmelprävention

3.1 Vorbetrachtungen

Unter dem Obergriff Keller können diverse Untergruppen gebildet werden.

Je nachdem ob der Keller:

- heizbar ist,
- über geringe Wärmequellen (isolierte Heizungsrohre) verfügt,
- nur mit Erdwärme „beheizt“ wird,
- zu Wohnzwecken oder als Lager verwendet wird.

Weiterhin ist nach seiner Bausubstanz und Bauumgebung zu unterscheiden, welche

- Wandstärke und Wärmedämmung des Baumaterials von Wand und Fußboden,
- Beschaffenheit und Wassergehalt des umgebenden Erdreiches,
- Beschaffenheit der bautechnischen Isolierungen,
- Zeitliche und örtliche Temperaturverläufe der Erdbodentemperatur sowie
- bauliche Besonderheiten (z.B. Beschattungen durch Verbauungen oder Balkone)

umfassen.

Wenn mit Umgebungsluft eine Kellertrocknung realisiert werden soll, sind ferner die klimatischen Verhältnisse des Kellerstandortes zu berücksichtigen, die den jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen.

All die genannten Einflussfaktoren können mit mehr oder weniger großen Vereinfachungen rechnerisch berücksichtigt werden. Berechnungen der Kellerwandtemperatur und möglicher Lüftungszeiten führen je nach Aufwand zu mehr oder weniger genauen Ergebnissen. Solche Rechnungen sind vor allem für Neubauten und Planungen sinnvoll.

Für vorhandene Bausubstanz stellt schon allein die Ermittlung der Eingabedaten ein fast unlösbares Problem dar, so dass rechentechnische Verfahren für die private Nutzung im Allgemeinen ausgeschlossen werden müssen.

3.2 Vor- und Nachteile einer Kellerlüftung mit Außenluft

Als Vorteile einer Kellerlüftung und -trocknung mit Außenluft sind zu nennen:

- Geringer Energieeinsatz,
- Geringe Kosten,
- Ständige Frischluftzufuhr und Abtransport von vorhandenen Schimmelsporen,
- Gesundes Raum- bzw. Kellerklima,
- Keine bakteriologischen Probleme bei der Luftfilterung und Lufttrocknung.

Es sind natürlich auch die folgenden Nachteile zu beachten:

- Energieverlust beim Lüften,
- Gefahr der Betauung bei unsachgemäßer Lüftung,
- Fenster- bzw. Wandöffnungen erforderlich,
- Geringer ständiger Luftaustausch mit Umgebungsluft, wenn die Fenster- bzw. Wandöffnungen nicht verschießbar sind.

3.3 Physikalische Voraussetzungen

Um einen beliebigen Raum mit Außenluft zu trocknen, sind zwei wesentliche physikalische Bedingungen zu erfüllen. Diese sind:

1. Die Außenluft muss trockener sein, als die Luft im zu trocknenden Raum.
2. Die einströmende Außenluft darf an den Oberflächen des zu trocknenden Raumes nicht kondensieren.

Diese Voraussetzungen lassen sich am Besten im Mollier h-x-Diagramm [3.1] verdeutlichen.

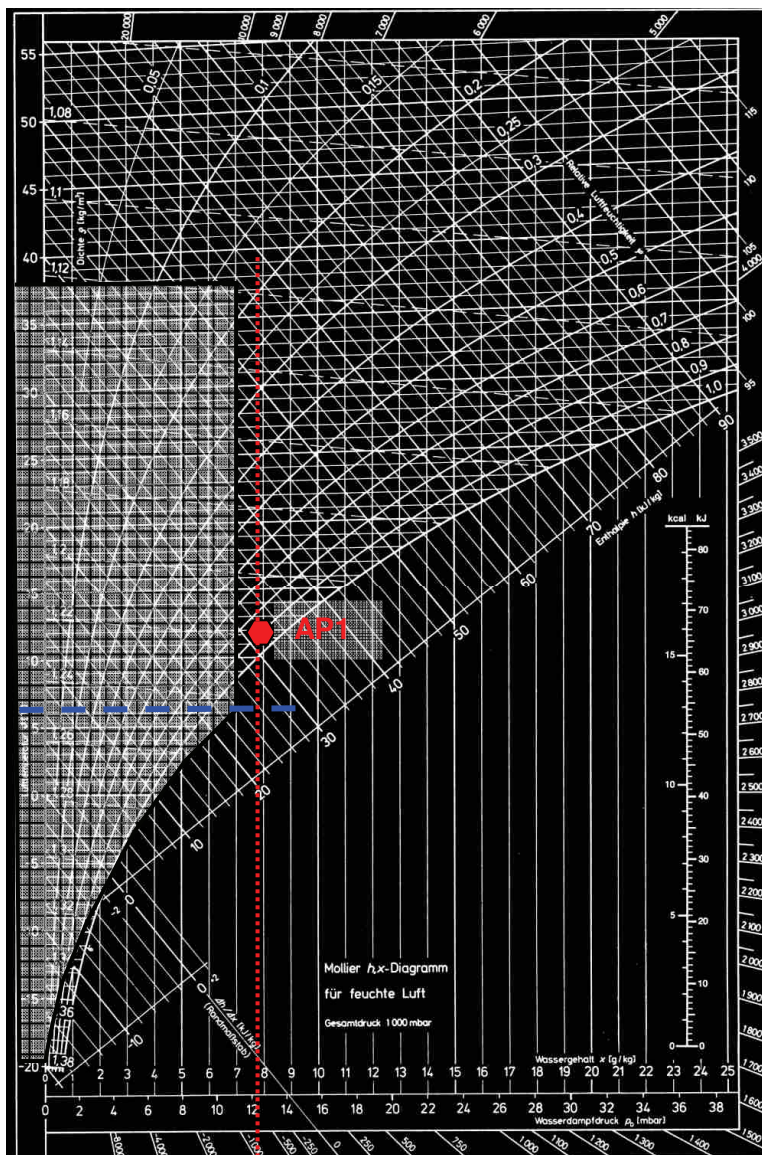


Abb. 3.1: Mollier h,x-Diagramm 55

Voraussetzung 1:

Für einen angenommenen Zustand der Raumluft, der sich für den AP1 Sechseck mit einer Temperatur von 15 °C und 8,5 g Wasser pro Kilogramm Luft ergibt, kann eine Verringerung der Luftfeuchte durch Lüftung erreicht werden, wenn sich die Außentemperatur und –feuchtwerte links der eingezeichneten gepunkteten senkrechten Linie befinden.

Voraussetzung 2:

Bezeichnet die gestrichelte Linie die Temperatur des kältesten Raumpunktes (im Beispiel 10 °C), dann schränkt sich der Bereich, der für die Lüftung und Trocknung zur Verfügung stehenden Klimawerte der Außenluft auf den kariert hervorgehobenen Bereich ein.

3.4 Kellerlüftung unter Einhaltung der notwendigen physikalischen Bedingungen

Aus Abb.3.1 lässt sich unmittelbar folgende wesentliche Schlussfolgerung ziehen:

Je größer die Fläche des kariert hervorgehobenen Bereiches ist, die im Folgenden als Entfeuchtungsfläche bezeichnet werden soll, umso besser sind die Voraussetzungen zum Lüften und Trocknen mit Außenluft.

Diese Entfeuchtungsfläche wird durch die im Punkt 3.1 der Vorbetrachtung bezeichneten nutzungsspezifischen und bauphysikalische Bedingungen bestimmt.

Die größtmögliche Entfeuchtungsfläche ergibt sich, wenn

- die kleinste Oberflächentemperatur im Raum der Raumlufttemperatur entspricht,
- die zulässige bzw. durch Lüftung und eventuell auch durch Heizung herbeigeführte Raum- und Oberflächentemperatur möglichst groß gewählt werden kann,
- die zulässige relative Raumluftfeuchte ebenfalls groß ist.

Erreicht wird dies,

- durch gute Isolierung der Kellerwände,
- durch im Raum vorhandene Wärmequellen,
- durch eine zulässige und der vorgesehenen Nutzung nicht entgegenstehende Temperaturerhöhung der Kellerluft und der Kellerwände,
- Ausnutzung der zulässigen maximalen relativen Raumfeuchte bezüglich der Schimmelgrenzkurve von 70-80% relative Feuchte.

3.5 Theoretische Realisierbarkeit

Ausgehend vom Mollier h,x-Diagramm lassen sich ebenfalls Aussagen darüber treffen, ob und unter welchen Bedingungen eine zumindest teilweise Kellerentfeuchtung mit Außenluft realisierbar ist.

Um eine Aussage zu treffen, mit welcher Kellerwand- bzw. Kellerbodentemperatur zu rechnen ist, kann von durchschnittlichen Bodentemperaturwerten und Oberflächentemperaturfaktoren, f_{RSI} -Werten, ausgegangen werden.

Der f_{RSI} -Wert berechnet sich:
$$f_{RSI} = \frac{\vartheta_{\text{Wandoberfläche}} - \vartheta_{\text{Erdboden}}}{\vartheta_{\text{Kellerluft}} - \vartheta_{\text{Erdboden}}} \quad [\text{Gl. 3.1}] [3.2]$$

 ϑ : Temperatur

Es wird für die folgenden Überlegungen unterstellt, dass zu lüftende Keller eine Tiefe von etwa 1,0m bis 2m unter der Erdoberfläche besitzen. Dann ergeben sich in etwa die in Tabelle 3.1 dargestellten Bodentemperaturen.

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Temp./°C	5-6	4-5,5	4-5,5	7-8	9-10	11-13	12-14	13-14	12	11-12	8,0-10	6-8

Tabelle 3.1: Bodentemperaturen in ungestörtem Erdreich (Mitteleuropa) [3.3]

Für die Oberflächentemperaturfaktoren, f_{RSI} -Werte, wird im Folgenden von einem Wert von 0,6 ausgegangen.

Für die Lufttemperatur im Keller werden folgende eigene Messwerte zugrunde gelegt:

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Temp./°C	9-12	9-13	10-11	11-12	14-17	15-19	18-22	17-20	15-18	14-17	11-14	11-13

Tabelle 3.2: Kellerlufttemperaturen im belüfteten Keller

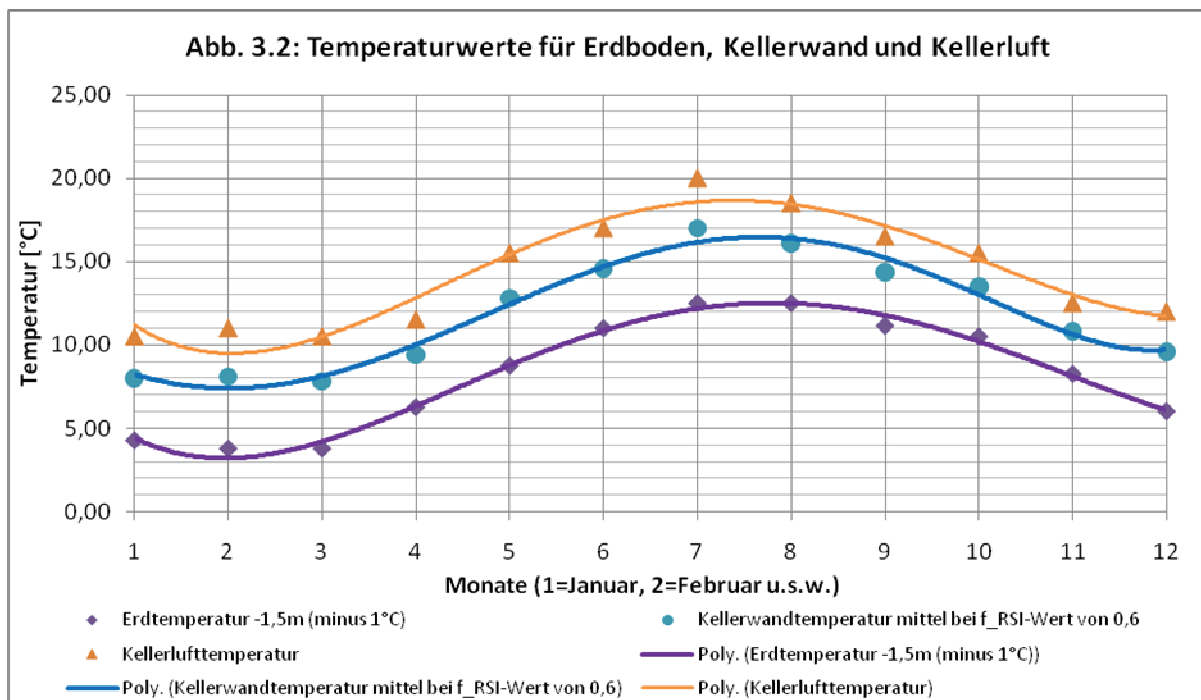
Aus diesen Tabellenwerten lassen sich die Wandoberflächentemperaturen überschläglich nach Gleichung 3.2 berechnen. Wird zudem noch eine um 1°C reduzierte Erdtemperatur unterstellt, ergeben sich folgende mittlere Kellerwandtemperaturen:

Wandoberflächentemperatur: $\vartheta_{\text{Wandoberfläche}} = f_{RSI}(\vartheta_{\text{Kellerluft}} - \vartheta_{\text{Erdboden}}) + \vartheta_{\text{Erdboden}}$
[Gl. 3.2]

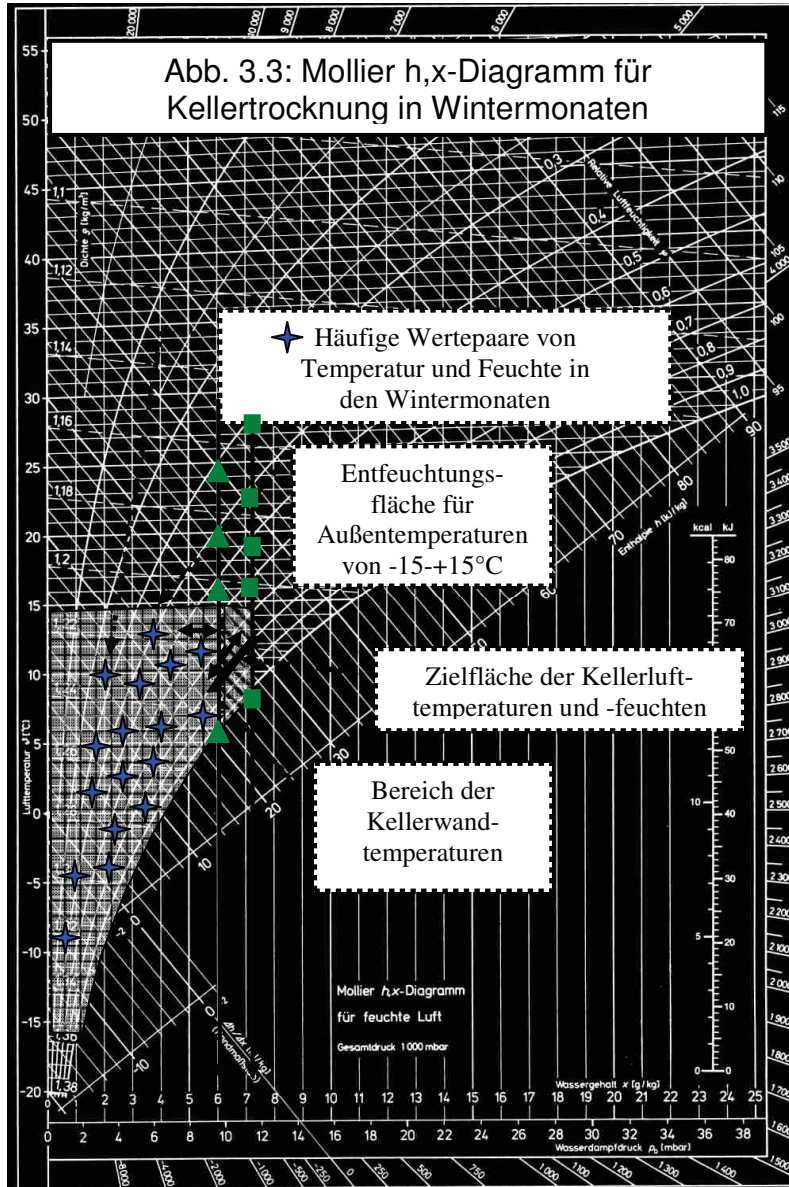
Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Temp./°C	7,1-8,9	6,9-9,3	7,5-8,1	9,1-9,7	11,9-13,7	13,4-15,8	15,8-18,2	15,2-17,0	13,5-15,3	12,6-14,4	9,9-11,7	9,0-10,2

Tabelle 3.3: Kellerwandtemperaturen im belüfteten Keller

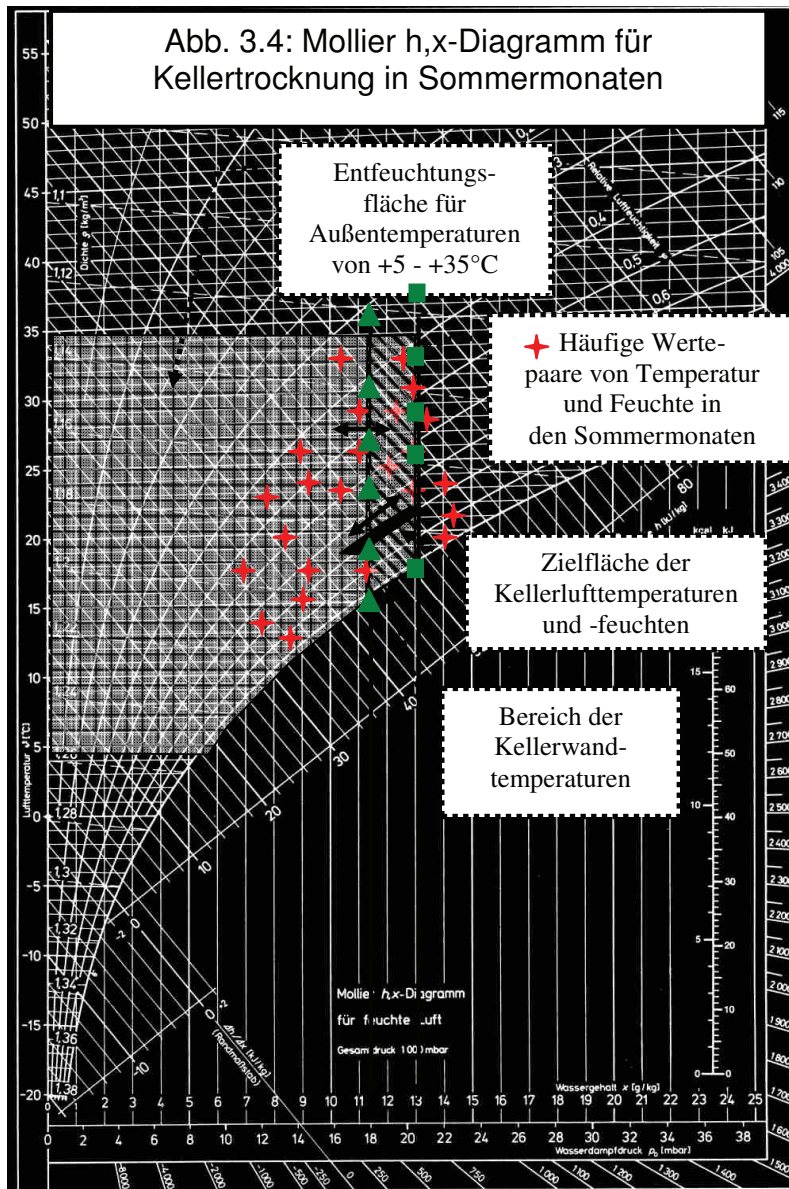
In Abb 3.2 sind diese Werte noch einmal als Mittelwerte zusammengefasst dargestellt.



Für eine Lüftung unkritisch ist in dieser Hinsicht die kalte Jahreszeit (Monate November, Dezember, Januar, Februar und März). Bei den angenommenen Bodentemperaturen und einem f_{rsi} -Wert von 0,6 ergeben sich die ungünstigsten Innenwandtemperaturen $\vartheta_{Kellerwand}$ im Bereich von etwa 7 °C bis 9 °C. Eine Betauung durch Außenluft ist trotzdem weitgehend ausgeschlossen, weil die Außentemperaturen und Außenfeuchten in ausreichend langen Zeiträumen innerhalb der Entfeuchtungsfläche liegen (siehe Abb.: 3.3).



Komplizierter gestalten sich die Verhältnisse in den Sommermonaten, wie im Diagramm 3.4 am Beispiel des Monats Juli dargestellt werden soll. Eine erfolgreiche Trocknung ist nur realisierbar, wenn eine allmähliche Erwärmung des Kellers im Laufe des Frühjahres zugelassen wird. Dies ist unter Beachtung, dass keine Befeuchtung und keine Betauung des Kellers erfolgt, durch zyklische witterungsabhängige Lüftung möglich.



Es ergeben sich viel kürzere Zeiträume, in denen der Keller gelüftet werden kann. Die Erfassung dieser Zeiträume kann effektiv nur mittels automatisierter Systeme erfolgen. Eine naheliegende Möglichkeit stellt die Messung der Außen- und Innenwerte von Temperatur und Feuchte sowie die Messung der Wandtemperatur an der ungünstigsten Position dar. Dies erfordert einen nicht zu unterschätzenden Aufwand an Messtechnik. Besonders zu beachten sind dabei die Erfassung und die Übertragung der Außenwerte als auch die Stromversorgung der Außensensoren. Zusätzlich unterliegen Außensensoren besonderen Beanspruchungen bezüglich unterschiedlicher Witterungseinflüsse sowie mechanischer Beschädigungen.

Im Folgenden soll ein System vorgestellt werden, das in der Lage ist, eine komfortable und wirkungsvolle Kellerlüftung ohne Außensensoren zu realisieren.

Fortsetzung folgt