



Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz



**PASSIV  
HAUS  
INSTITUT**

*Dr. Wolfgang Feist*

---

PHI · Rheinstraße 44/46 · D-64283 Darmstadt

# **Einfluss von Kellerdeckendämmung auf die Feuchtebelastung von Kellerräumen**

**im Auftrag des  
Hessischen Ministeriums für  
Umwelt, Energie, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz**

13. November 2009

**Autor:  
Dr. Jürgen Schnieders**



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Literaturrecherche .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Simulationsmodelle .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Simulationsergebnisse.....</b>	<b>12</b>
4.1	<b>Problematik.....</b>	<b>12</b>
4.2	<b>Lösungsansatz 1: Kellerwände zur Außenluft dämmen.....</b>	<b>18</b>
4.3	<b>Lösungsansatz 2: Lüftungsstrategie optimieren.....</b>	<b>22</b>
4.4	<b>Lösungsansatz 3: aktive Entfeuchtung.....</b>	<b>29</b>
4.5	<b>Einfluss der Feuchtequellen .....</b>	<b>29</b>
4.6	<b>Einfluss des Klimas.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>39</b>

## 1 Einleitung

Im Rahmen der energetischen Modernisierung von Altbauten ist in der Regel auch eine Verbesserung des Wärmeschutzes am unteren Gebäudeabschluss erforderlich. In den meisten Fällen wird hierfür eine Dämmung der Kellerdecke durchgeführt. Das führt als Nebeneffekt regelmäßig zu einer Reduzierung der mittleren Raumtemperatur in den Kellerräumen. Während die Kellerräume in ungedämmten Altbauten im Winter durch – an sich ungewollte und in diesem Ausmaß auch nicht akzeptable – Wärmeabgabe aus dem Erdgeschoss mitbeheizt werden, wird die Kellertemperatur in gut gedämmten Gebäuden im Wesentlichen durch die Außen- und Erdreichtemperatur bestimmt.

Bei hinreichend niedrigen Kellertemperaturen wird Außenluft, die in der wärmeren Jahreszeit durch Fenster und Leckagen in den Keller gelangt, so weit abgekühlt, dass es zu überhöhten relativen Luftfeuchten mit Schimmelwachstum oder sogar Kondensat kommen kann. Durch diesen Mechanismus entstehende Bauschäden sind beispielsweise bekannt von Kriechkeller-Konstruktionen, wie sie etwa in Skandinavien in der Vergangenheit häufig gebaut wurden. Doch auch im Winter kann ein hohes Feuchteniveau der Bauteile zu Problemen führen, nämlich dann, wenn die Oberflächentemperaturen von ungedämmten, an Außenluft grenzenden Kellerbauteilen zu niedrig werden.

Um eine Umsetzung von anspruchsvollen energetischen Altbaumodernisierungen in der Breite zu fördern, müssen derartige Probleme von vornherein vermieden werden. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass es hierfür bei der Altbaumodernisierung leicht realisierbare Lösungen gibt:

- die fachgerechte Ausführung der Wärmedämmung bei den an Außenluft grenzenden Keller-Außenbauteilen
- die Anpassung der Lüftungsstrategie im Keller

Die skizzierte Fragestellung wird in diesem Bericht am Beispiel der Altbaumodernisierung behandelt. Sie ist grundsätzlich aber auch für den Neubau interessant, insbesondere bei Gebäudekonzepten mit hochwärmegedämmten Decken – typischerweise aus Holzwerkstoffen – über unbeheizten Kriechkellern.

Die Untersuchungen erfolgen mit Hilfe der hygrothermischen, dynamischen Gebäudesimulation. Für einige typische Kellersituationen (Keller ganz, teilweise oder gar nicht unter der Erdoberfläche, mit und ohne Feuchtebelastungen, großer oder kleiner natürlicher Luftwechsel) werden die Temperatur- und Feuchteverhältnisse analysiert und das Risiko von Schimmelbildung bzw. Oberflächenkondensat beurteilt. Damit werden die entscheidenden Einflussgrößen auf die Feuchtesituation im Keller deutlich.



Die thermische Kopplung des Kellers durch das Erdreich an die Außenluft wird auf Grundlage von zwei- oder dreidimensionalen, transienten Wärmestromberechnungen (HEAT2 bzw. HEAT3) bestimmt. Der Luftwechsel im Keller wird abhängig von den Temperatur- und Windverhältnissen auf der sicheren Seite abgeschätzt (hier liegt eine Abhängigkeit von den jeweiligen speziellen Bedingungen am Gebäude und am Standort vor). Die eigentliche Ermittlung der Temperaturen und Feuchten im Keller und seinen Bauteilen erfolgt mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm DYNBIL.

Die Simulationsrechnungen werden abgesichert durch eine parallele Literaturrecherche zur Luft- und Oberflächenfeuchte in Kellern und Kriechkellern sowie zu bekannten Bauschadensrisiken in diesem Bereich.

Durch eine mehrdimensionale Parameterstudie wird untersucht, unter welchen Bedingungen die Verhältnisse im Keller problematisch werden können. Lösungsmöglichkeiten und daraus abgeleitete Planungshinweise bilden das eigentliche Ergebnis der Studie.

## 2 Literaturrecherche

Bauschäden im Bereich des Kellers treten relativ häufig auf. In der Regel sind sie auf mangelhaften Feuchteschutz der Keller-Außenbauteile zurückzuführen. Bodenfeuchtigkeit bzw. drückendes Grund- oder Oberflächenwasser gelangen durch die unzureichend abgedichteten, erdberührten Außenbauteile an deren Innenoberflächen und führen zu Schimmelbildung, Putzabplatzungen, Durchfeuchtung von Bauteilen und/oder erhöhter Luftfeuchtigkeit. So stellte etwa der nicht mehr ganz aktuelle dritte Bauschadensbericht der Bundesregierung [Bund 1995] in zwei Drittel der (nicht-industriell errichteten) Gebäude in den neuen Bundesländern Instandsetzungsbedarf im Kellerbereich fest.

Auch ohne Feuchteintrag durch die Außenbauteile kann es unter bestimmten Bedingungen zum Auftreten von Schimmelpilzen in Innenräumen kommen. Als gesundheitlich relevant gilt Schimmel nach [Krus 2002] vor allem für Allergiker. Toxische und infektiöse Wirkungen seien dagegen aufgrund von Innenraumbelastungen kaum zu erwarten. Eine eindeutige Beurteilung von Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen aus gesundheitlicher Sicht sei zur Zeit jedoch nicht möglich.

Andere Quellen nennen „Schleimhautreizungen, Infektanfälligkeit, chronische Stirn- und Nebenhöhlenprobleme, Störungen des Immunsystems, Kopfschmerz, Übelkeit, Geruchsbelästigungen, schnelle Ermüdung, Konzentrationsprobleme oder Reizbarkeit“ als möglich Folgen einer mikrobiellen (evtl. also nicht nur durch Schimmelpilze verursachten) Belastung der Raumluft [Gaea].

In jedem Falle ist Schimmelwachstum auf Oberflächen ein ästhetisches Problem, ggf. können auch Schäden an Mobiliar oder ggf. sonstigen in Kellerräumen gelagerten Gegenständen entstehen. Etwaige Verschärfungen des Schimmelrisikos aufgrund von Modernisierungsmaßnahmen sollten daher vermieden werden.

Detaillierte Untersuchungen zur Feuchteproblematik in unbeheizten Kriechkellern werden in [Airaksinen 2003] dargestellt. Die Arbeit bezieht sich auf die Situation in Finnland, gibt aber wichtige generelle Hinweise. Typische Konstruktionen für die Gründung finnischer Gebäude sind aufgeständerte Bodenplatten mit einem darunter liegenden Kriechkeller. Der Boden dieses Kriechkellers wird gewöhnlich nicht abgedeckt, so dass hier unmittelbar die Erdfeuchte ansteht. Diese Bauweise hat in der Vergangenheit häufig zu Feuchteschäden und Schimmelwachstum geführt. In der Studie werden verschiedene Ansätze zur Lösung dieses Problems diskutiert: mechanische Lüftung der Kriechkeller, ggf. mit jahreszeitlich unterschiedlichen Luftwechseln, Abdeckung des Kriechkellerbodens mit feuchteundurchlässigen Folien oder verschiedenen Dämmstoffen, Dämmung der Kriechkellerwand.

Die Autoren vergleichen ihre Simulationsergebnisse mit Messwerten aus zwei Gebäuden und finden gute Übereinstimmung, sofern hygrische Speicher- und Transporteffekte in Boden und Decke berücksichtigt werden. Sie kommen zu folgenden Schlüssen: Erhöhte Luftwechselraten können zwar Feuchte aus dem Keller abführen, sie reduzieren aber die Minimaltemperatur im Winter wie auch die jahresmittlere Temperatur und können so erst recht zu einem feuchteren Keller führen. Verstärkte Lüftung im Sommer dagegen reduziert die Feuchteproblematik, allein schon aufgrund der resultierenden höheren Temperaturen.

Allerdings hängt dieses Ergebnis stark davon ab, welchen Wetterdatensatz man für die Simulation verwendet. Im finnischen Klima kann es Sommerperioden geben, in denen es schon unter Außenluftbedingungen zu Schimmelbildung kommt. Dagegen ist durch bauliche Gestaltung und Betrieb des Kriechkellers keine Abhilfe möglich.

Da der wesentliche Feuchteeintrag im Sommer über die feuchte Außenluft erfolgt, im Winter – je nach baulichen Gegebenheiten – aus dem Erdreich, werden zwei Arten von Maßnahmen zur Reduzierung des Schimmelrisikos im Kriechkeller empfohlen: Eine Anpassung des Luftwechsels und eine Abdeckung des Bodens, idealerweise mit einem diffusionsdichten, wärmedämmenden und feuchtespeichernden Material geringer Wärmekapazität.

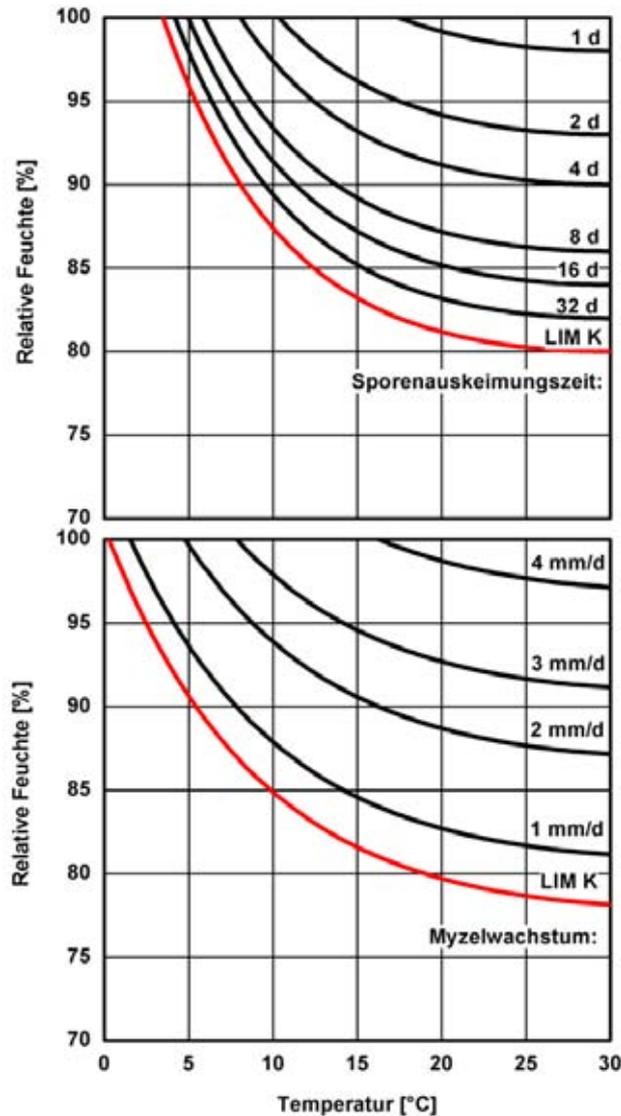
Über den idealen Luftwechsel für unbeheizte Kellerräume, insbesondere im Sommer, herrscht Unklarheit. Aus den Untersuchungen von Airaksinen lässt sich ableiten, dass ein erhöhter Luftwechsel im Sommer aufgrund der höheren Temperaturen vorteilhaft ist. Im „Schimmelpilzleitfaden“ des Umweltbundesamtes heißt es andererseits „Bei Kellerräumen ist die Wandtemperatur auch im Sommer häufig niedrig. Da aber die absolute Feuchte der Außenluft im Sommer oft hoch ist, wäre dann häufiges Lüften mit Außenluft zum ‚Abtrocknen‘ falsch, weil immer mehr Feuchtigkeit in den Raum eingetragen wird und an den kalten Wänden kondensiert.“ [Seifert 2002].

Wichtig für die Beurteilung der Feuchteverhältnisse ist die Frage, unter welchen Bedingungen es zu Schimmelwachstum kommt. [Airaksinen 2003] verwendet ein mathematisches Modell für die Schimmelbildung auf Holz, das einen mit dem Mikroskop erkennbaren Schimmelbefall erst nach relativ langen Perioden hoher Feuchte ergibt, beispielsweise 95 % r.F. über zwei Wochen oder 75% r.F. über 38 Wochen, jeweils bei 20 °C.

Nach [Gaea] beginnt dagegen bereits nach 5-7 Tagen bei ausreichender Feuchte, ausreichendem Nährstoffangebot und Temperaturen von 20 °C merkliches Schimmelwachstum. Bakterienwachstum könne sogar bereits nach 2 Tagen spürbar werden.

In [Krus 2002] wird ein Zusammenhang zwischen Temperatur und relativer Feuchte für Sporenauskeimung bzw. Myzelwachstum bezogen auf als gesundheitlich kritisch

eingestufte Schimmelpilze angegeben (Abbildung 1). Das Schimmelrisiko hängt demnach nicht nur von der relativen Feuchte, sondern auch von der Temperatur ab: Bei niedrigeren Temperaturen wachsen Schimmelpilze bedeutend langsamer oder gar nicht mehr.



**Abbildung 1: Sporenauskeimungszeit bzw. Myzelwachstum für als gesundheitlich kritisch eingestufte Schimmelpilze auf optimalem Nährboden (entnommen aus [Krus 2002])**

Dieser Zusammenhang ist für die Wachstumsgeschwindigkeit auf optimalem Substrat (untere Grafik in Abbildung 1) leicht durch eine Näherungsformel zu erfassen:

$$v = 21 \text{ mm/d} \left( \phi - 0,244e^{-0,12T} - 0,775 \right)$$

Darin sind die relative Feuchte  $\phi$  als Wert zwischen 0 und 1 und die Temperatur  $T$  in °C einzusetzen. Insbesondere wird unterhalb der sogenannten Lowest Isopleth of Mould (LIM) kein Myzelwachstum bzw. keine Sporenauskeimung mehr beobachtet.



Integriert man die positiven Werte der Wachstumsgeschwindigkeit über den Simulationszeitraum auf, so erhält man ein aussagekräftiges Maß für den Vergleich der Feuchtesituation in verschiedenen Gebäuden, zumal auch die Isoplethensysteme anderer Schimmelpilze bzw. anderer Substrate eine sehr ähnlich Form aufweisen (vgl. Sedlbauer 2001]). Insbesondere kann damit leicht untersucht werden, ob durch eine bauliche oder betriebliche Veränderung das Schimmelrisiko steigt oder fällt.

In den folgenden Auswertungen wird dieses Maß nur gelegentlich verwendet. In den meisten untersuchten Fällen tritt kein oder nur unbedeutendes Schimmelwachstum auf, so dass eine grafische Darstellung der Wasseraktivität im Vergleich zur LIM aussagekräftiger ist.

### 3 Simulationsmodelle

Für die Simulationsrechnungen wurde exemplarisch ein Keller in einem Einfamilienhaus verwendet. Das Gebäude ist rechteckig, die West- und Ostfassaden sind 8 m lang, die Süd- und Nordfassaden 12 m. Die oberirdischen Außenwände bestehen aus Ziegelmauerwerk mit 24 cm Stärke, gedämmt mit 30 cm EPS. Die Kelleraußenwände sind altbautypisch aus 30 cm Ziegelmauerwerk hergestellt und schließen außen bündig mit dem Mauerwerk des EG ab. Der Boden besteht aus 10 cm Beton. Die lichte Höhe des Kellers beträgt 2,30 m.

Die Kellerdecke besteht aus einer 16 cm starken Betonplatte mit 2 cm Trittschalldämmung und einem 2 cm starken Dielenboden. Für den Fall mit Dämmung sind unterhalb der Decke 20 cm Mineralwollendämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK) angebracht. Wärmebrücken durch die aufgehenden Außenwände und in der Mitte des Gebäudes längs und quer verlaufende Innenwände sind jeweils mit  $\Psi=0,4$  W/(mK) berücksichtigt.

Der über dem Keller liegende Wohnraum wird im Modell nur benötigt, um den Wärme- und Feuchteeintrag aus dem EG abzubilden. Er wird daher nur grob modelliert. Das EG besitzt je 6 m<sup>2</sup> Verglasungsfläche nach Süden und Norden und je 2 m<sup>2</sup> nach Osten und Westen. Weitere Geschosse des Gebäudes sind für die hier untersuchte Fragestellung nicht von Interesse und werden nicht berücksichtigt.

Die Simulationsrechnungen werden zunächst für die Wetterdaten des Testreferenzjahrs 7 Kassel durchgeführt ([DWD 2004]). Damit wird ein mittleres deutsches Klima abgebildet. Wie sich die Verhältnisse in anderen deutschen Klimata darstellen, wird in Abschnitt 4.6 untersucht.

Im Referenzfall gibt es im Keller keine Wärme- oder Feuchtequellen. Berücksichtigt werden lediglich die Auswirkungen von Diffusion durch die an Erdreich bzw. ans EG grenzenden Bauteile. Es gibt Fälle, in denen z.B. durch Wäschetrocknen oder undichte Kellerwände zusätzlich Feuchte in den Keller eingetragen wird. In Abschnitt 4.4 wird exemplarisch hierfür untersucht, wie sich das Trocknen von täglich einer Maschine Wäsche mit einer Restfeuchte von 60% auf der Wäscheleine im Keller auswirkt. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Feuchteeintrag von 2,8 l Wasser pro Tag. Die entsprechende Verdunstungsenthalpie wird als interne Wärmesenke berücksichtigt.

Die Ermittlung des Luftwechsels im Keller erfolgt in Anlehnung an die in [Schnieders 2003] beschriebenen Algorithmen. Der Luftaustausch wird durch zwei verschiedene Mechanismen angetrieben: Wind und Temperaturdifferenz. Dabei wird angenommen, dass zwei gleich große Öffnungsflächen in verschiedenen Fassaden vorhanden sind und im Innern des Kellers keine bedeutenden Strömungswiderstände auftreten, also z.B. die Kellerinnentüren geöffnet sind.



Der windinduzierte Volumenstrom beträgt bei Querlüftung über zwei Öffnungen mit den Flächen  $A_1$  und  $A_2$

$$\dot{V}_{Wind} = C_D A_{eff} \sqrt{\Delta c_p} v_{Wind} \cdot 3600 \frac{s}{h} \text{ mit } A_{eff} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2}}}$$

Darin bedeuten

$C_D$  Öffnungsbeiwert, hier 0,61

$A_{eff}$  effektive Öffnungsfläche

$\Delta c_p$  Differenz der Winddruckbeiwerte beider Flächen, hier 0,3

$v_{Wind}$  Windgeschwindigkeit

Der thermisch induzierte Volumenstrom durch eine Öffnung der Fläche A beträgt

$$\dot{V}_{thermisch} = \frac{1}{3} C_D A \sqrt{gh \frac{\Delta T}{\bar{T}}} \cdot 3600 \frac{s}{h}$$

Darin bedeuten

$g$  Erdbeschleunigung, hier 9,81 m/s<sup>2</sup>

$h$  lichte Öffnungshöhe

$\Delta T$  Temperaturdifferenz zwischen innen und außen

$\bar{T}$  mittlere Temperatur

Für die Leckagen im Keller wird eine wirksame Höhe von 0,5 m angenommen, also beispielsweise die Fugen einiger kleiner Fenster auf gleicher Höhe.

Die durch Temperaturunterschiede und durch Wind induzierten Volumenströme addieren sich *nicht*, vielmehr können sie sich sogar gegenseitig behindern. In der Simulation wird zu jedem Zeitpunkt das Maximum beider Werte verwendet. Es zeigt sich, dass der Luftwechsel im Keller unter diesen Annahmen fast ausschließlich durch den Winddruck bestimmt wird. Erst bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten wird der thermische Antrieb dominant.

Im Referenzfall wird angenommen, dass die Kellerfenster geschlossen bleiben, aber nicht dicht sind (z.B. die typischen Altbau-Kellerfenster mit Mäusegittern). Es sind zwei Öffnungsflächen à 0,014 m<sup>2</sup> vorhanden, was zu einem durchschnittlichen Luftwechsel von 0,2 h<sup>-1</sup> führt.



Für die Fälle mit zusätzlichen Feuchtelasten im Keller werden die Kellerfenster geöffnet, es sind dann zwei Öffnungsflächen à 0,3 m<sup>2</sup> (d.h. 50 cm hoch und 60 cm breit) vorhanden.

## 4 Simulationsergebnisse

### 4.1 Problematik

In einer stark vereinfachten Modellvorstellung kann man sich die Problematik des kälteren Kellers klar machen: Geht man von einem grundsätzlich trockenen Keller aus, d.h. einem solchen, wo keine zusätzliche Feuchtebelastung durch aufsteigendes Wasser o.ä. vorhanden ist, und vernachlässigt zunächst Speichereffekte in den Bauteilen, so wird die Luftfeuchte durch die (absolute) Feuchte der eindringenden Außenluft bestimmt. An den in Abbildung 2 eingetragenen Linien konstanter absoluter Luftfeuchte in der Isoplethendarstellung wird dann deutlich, dass eine reduzierte Kellertemperatur eine deutliche Erhöhung des Schimmelpilzrisikos zur Folge haben kann.

Die Abbildung zeigt auch, dass – geht man von konstanter absoluter Feuchte aus – die Verlangsamung des Schimmelwachstums bei niedrigeren Temperaturen die Beschleunigung aufgrund der höheren relativen Feuchte nicht kompensieren, sondern nur abschwächen kann.

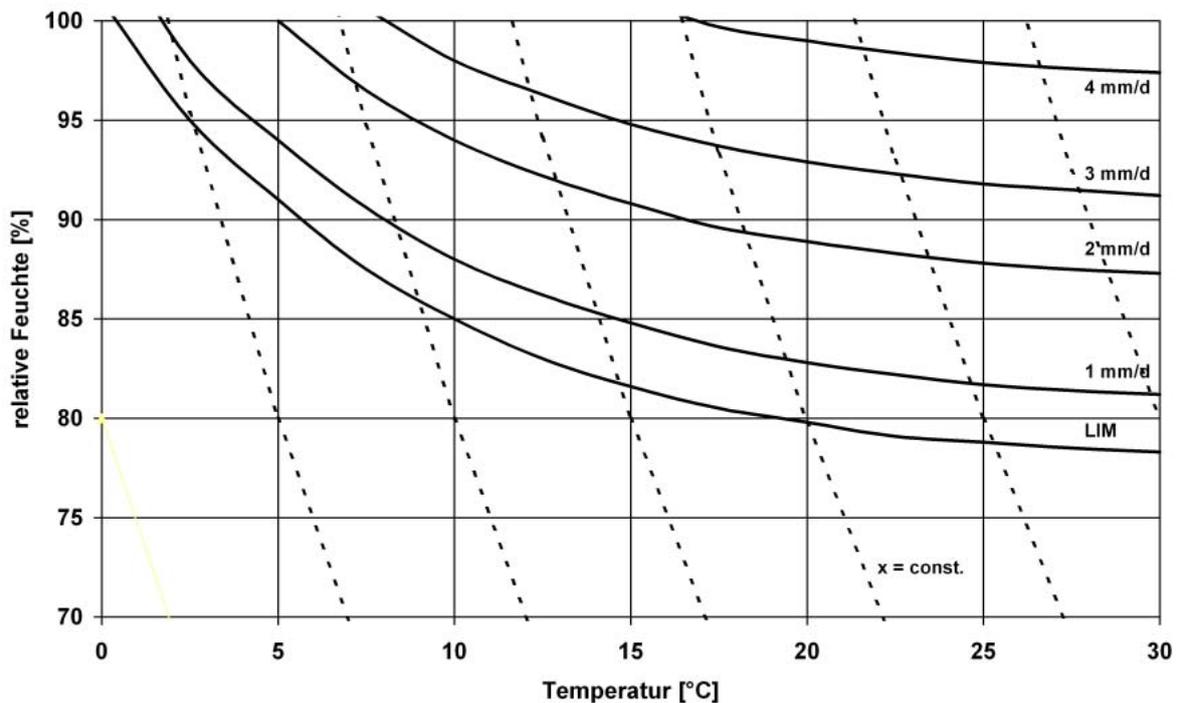


Abbildung 2: Isoplethendarstellung für das Myzelwachstum mit eingetragener Linie konstanter absoluter Feuchte.

Abbildung 3 bis Abbildung 5 illustrieren nun die mit einer vollständigen hygrothermischen Simulation (inkl. Berücksichtigung von Feuchtespeicherung) bestimmten Auswirkungen einer Kellerdeckendämmung (20 cm, mit den o.a. Wärmebrücken).

Hierbei werden folgende Kellergeometrien für die unbeheizten Kellerräume angenommen:

- a) sie befinden sich fast ganz im Erdreich, mit lediglich einem schmalen Streifen Außenwand gegen Außenluft und Kellerfenstern mit Lichtschächten
- b) sie befinden sich zur Hälfte im Erdreich oder
- c) sie befinden sich vollständig oberhalb der Erdoberfläche, mit Ausnahme der Bodenplatte selbst.

Zunächst ist anzumerken, dass die Dämmung der Kellerdecke bei einer angenommenen Wohnfläche von 150 m<sup>2</sup> im darüberliegenden Gebäude den Heizwärmebedarf je nach Geometrie um 20 bis 28 kWh/(m<sup>2</sup>a) reduziert. Eine Reduzierung der Wärmeverluste durch die ungedämmte Kellerdecke ist im Rahmen einer energetischen Modernisierung daher wirklich anzuraten.

Erwartungsgemäß sieht man in allen Fällen, dass die Temperatur im Keller durch die Dämmung spürbar absinkt, und zwar um ca. 5 K im Winter und ca. 1 K im Sommer. Da die absolute Feuchtebelastung des Kellers nahezu konstant bleibt, steigen die relative Feuchte der Raumluft und (ohne eine Verbesserung der Dämmung der Kellerwände) auch die Wasseraktivitäten an den Oberflächen entsprechend an.

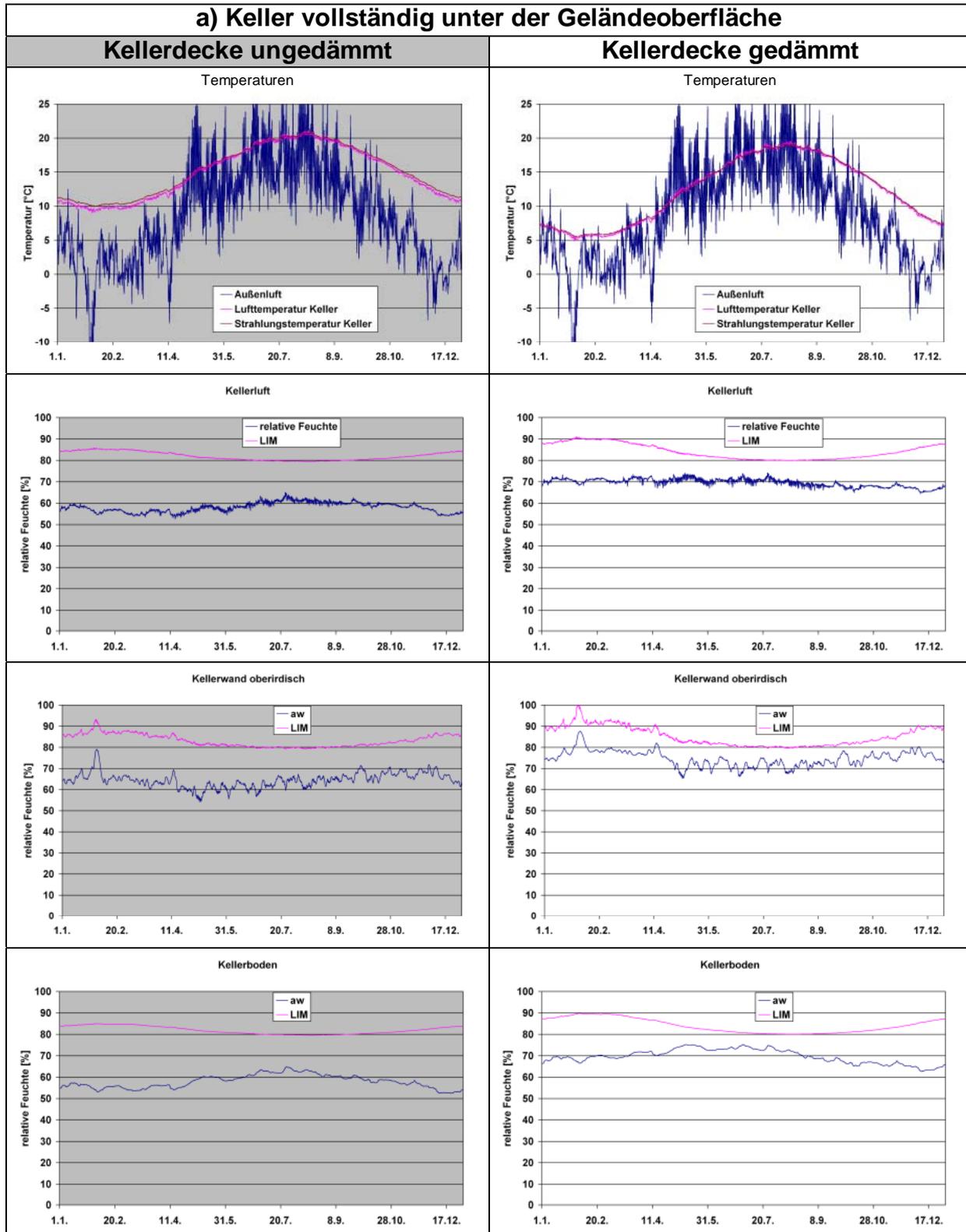
Dadurch kann sich je nach Geometrie an unterschiedlichen Stellen das Schimmelrisiko erhöhen. Der vollständig im Erdreich liegende Keller (Abbildung 3) weist die höchsten Temperaturen aller untersuchten Fälle auf. Das gilt auch für die Bodenplatte, wo die Feuchtesituation über den gesamten Zeitraum völlig unkritisch ist. Liegt der Keller dagegen oberhalb der Erdoberfläche (Abbildung 5), werden Keller und Bodenplatte im Mittel deutlich kälter. Das kann dazu führen, dass im Frühjahr bei plötzlicher Erwärmung der Außenluft mit entsprechendem Anstieg der absoluten Außenfeuchte die Wasseraktivität auf dem Kellerboden so hoch wird, dass die LIM-Grenze überschritten wird. Im Beispiel könnte ein vorhandenes Myzel bei optimalem Substrat auf dem Kellerboden in dieser Periode um 13 mm wachsen.

Im Gegensatz dazu entsteht bei (fast) vollständig im Erdreich liegendem Keller ein erhöhtes Schimmelrisiko vor allem an einer nicht zusätzlich wärmegeämmten, oberirdischen Kellerwand, also in der Nähe der Kellerfenster bzw. in der oberen Kante der Außenwand, und dies auch im Winter. Die hohen mittleren Temperaturen der übrigen Kelleroberflächen führen nämlich zu einer Feuchteabgabe an die Kellerraumluft, was wiederum die relative Feuchte an den kalten Oberflächen der ungedämmten, an Außenluft grenzenden Wandteile erhöht. In der Simulation kommt es für diesen Fall jedoch noch nicht zu einem Myzelwachstum.

Die Grafiken illustrieren den in dieser Studie behandelten generellen Sachverhalt: Der Keller ohne Kellerdeckendämmung wird durch die indirekte Beheizung vom EG



her verstärkt entfeuchtet, weil die wärmere Luft im Keller mehr Feuchtigkeit aufnimmt und damit auch mehr Feuchtigkeit nach außen abtransportiert. Wird die Kellerdecke gedämmt, braucht man u.U. einen anderen Entfeuchtungsmechanismus, um den Keller trocken zu halten. Praktikable Möglichkeiten hierfür werden in den nächsten beiden Abschnitten vorgestellt.



**Abbildung 3: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – Keller fast vollständig im Erdreich. Grafiken für Zustände im Bestandsgebäude sind im Folgenden stets grau hinterlegt, Zustände im modernisierten Gebäude werden mit weißem Hintergrund dargestellt. Im hier dargestellten Fall ergibt sich auch nach einer sehr guten Dämmung der Kellerdecke kein Schimmelrisiko.**

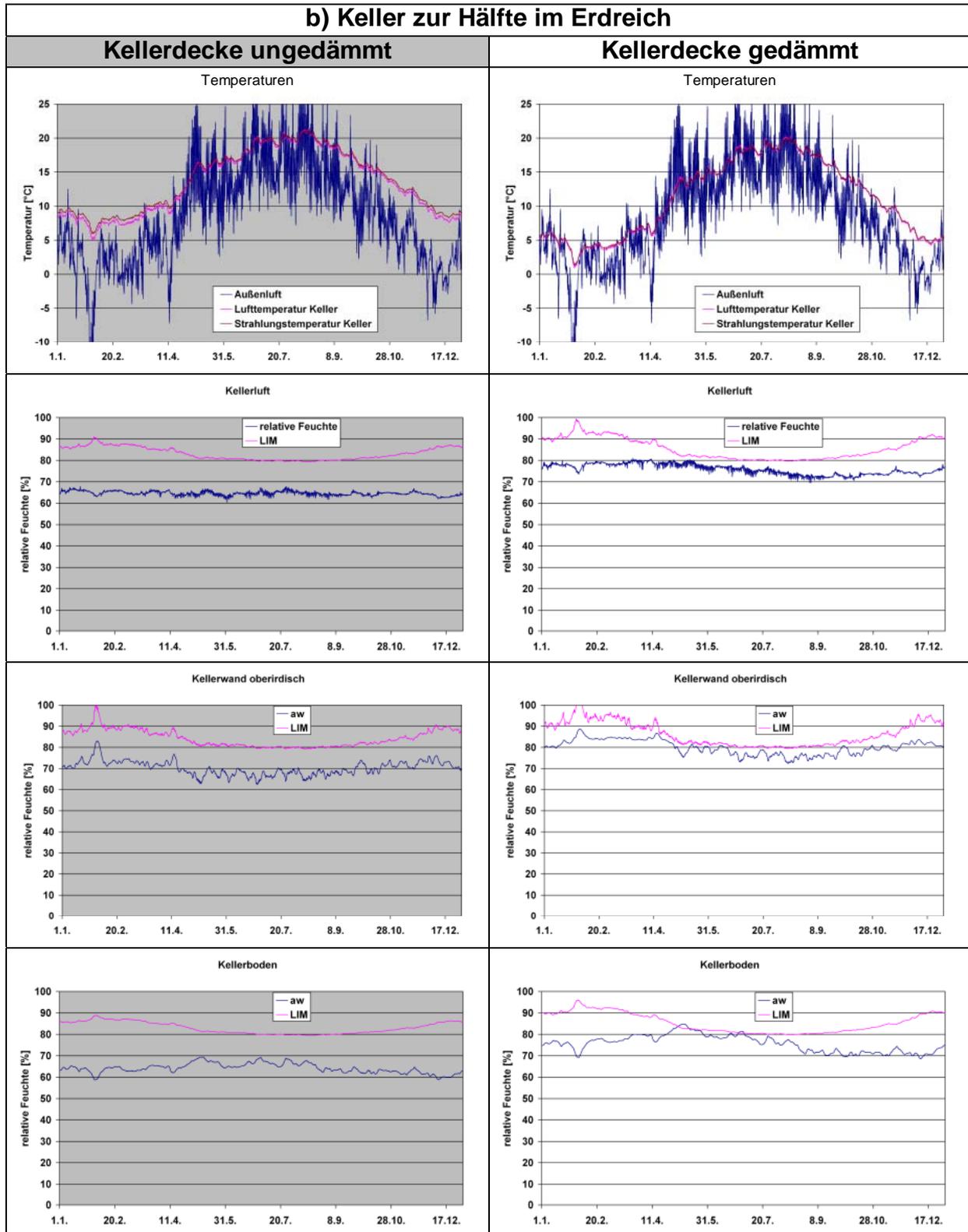


Abbildung 4: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – Keller zur Hälfte im Erdreich. Hier ergeben sich (ohne Dämmung der Außenwände zur Außenluft) im Frühsommer zu einigen Zeitpunkten kritische Feuchtezustände auf dem Kellerboden.

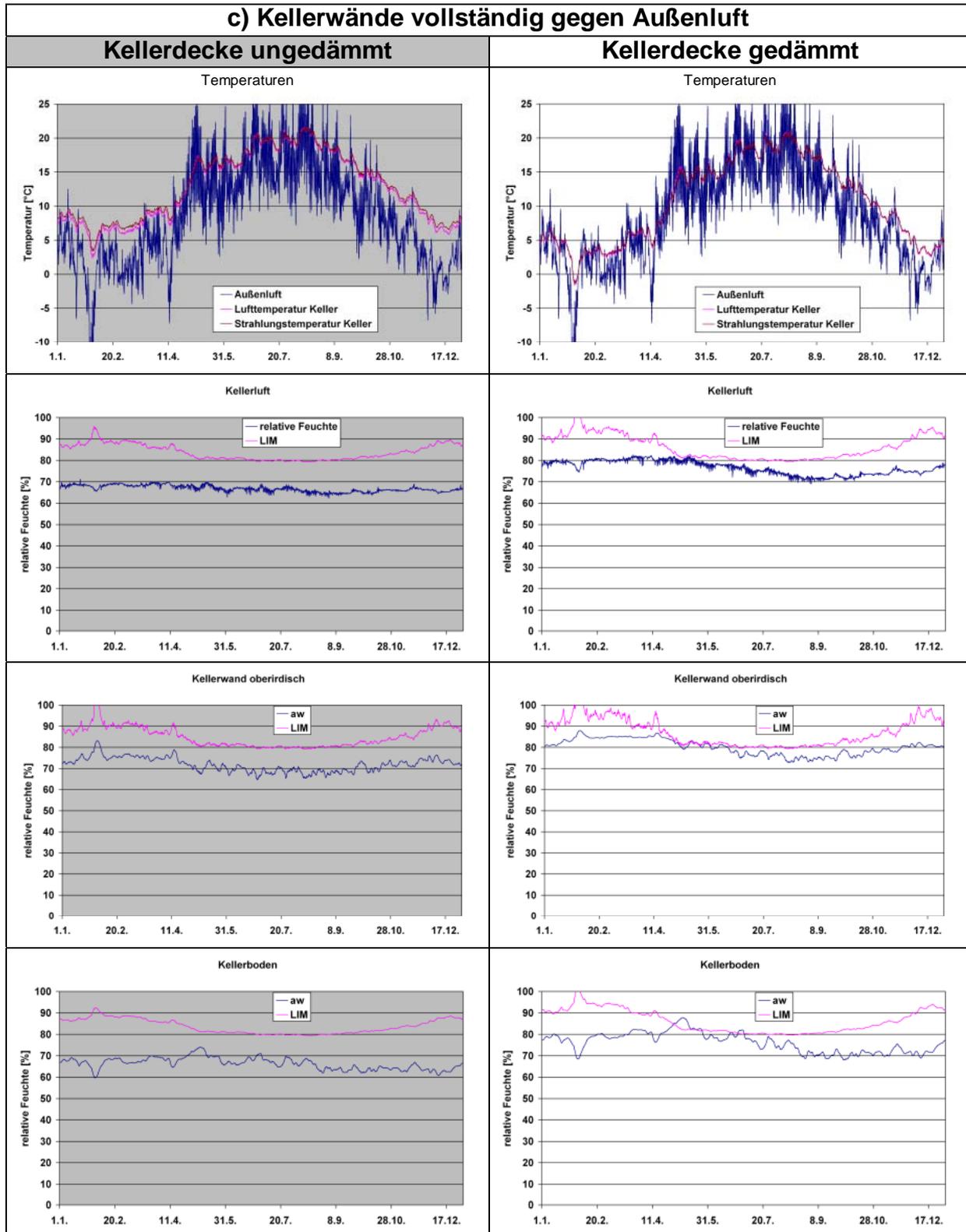


Abbildung 5: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – „Keller“ oberirdisch. Hier liegen ohne Wärmedämmung der Kelleraußenwände die Temperaturen im Keller nahe an der Außentemperatur – und im Frühsommer ergibt sich im Keller ein erhöhtes Risiko für Schimmelwachstum.

## 4.2 Lösungsansatz 1: Kellerwände zur Außenluft dämmen

Bei einer energetischen Modernisierung der Außenwand, etwa mittels Wärmedämmverbundsystem, wird man in der Regel schon aus optischen Gründen die Wärmedämmung bis zum Erdreich herunterziehen; die zusätzlichen Kosten sind nicht hoch. In diesem Zusammenhang muss wegen der Wärmebrücke am aufgehenden Mauerwerk die Wärmedämmung ohnehin eine Mindeststrecke entlang der Kellerwand weiter geführt werden. In vielen Fällen wird sogar entlang der Kellerwand aufgegraben, um beispielsweise eine Bitumendickbeschichtung anzubringen. Dann bietet sich eine zusätzliche Dämmung der erdberührten Außenwand – auch zum Schutz des Bitumens – an.

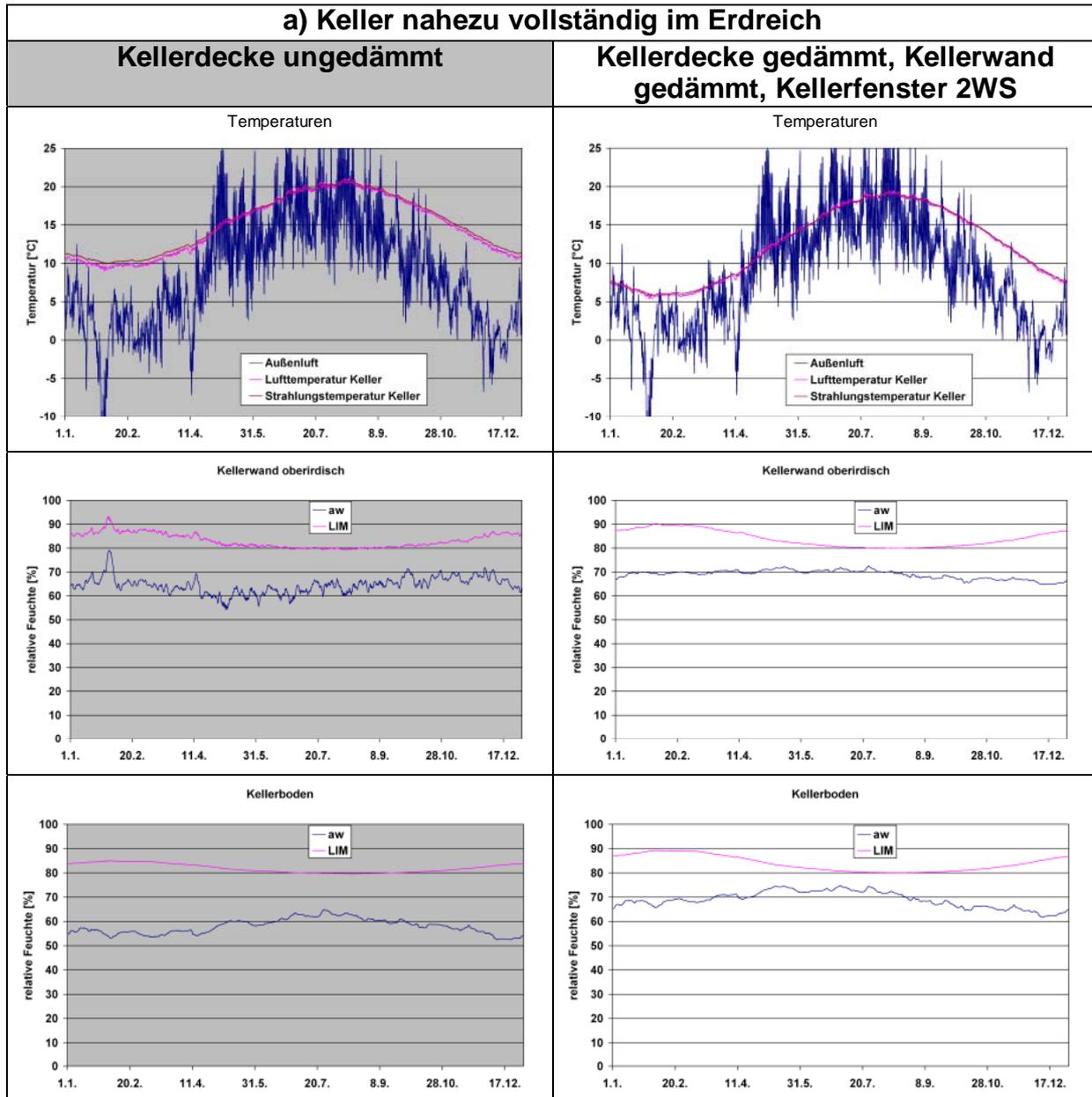
Letztlich besteht das Ziel dieses Ansatzes darin, die Oberflächentemperaturen im Keller auf ein höheres Niveau zu bringen.

Für die Beispiele aus Abschnitt 4.1 wird im Folgenden die oberirdische Kellerwand mit 20 cm Dämmung versehen und die einfachverglasteten Kellerfenster werden durch solche mit Zweifach-Wärmeschutzglas ersetzt. In der Tat führt dieser Ansatz bezüglich der Feuchte zu Verhältnissen, die ebenso gut oder sogar besser sind als vor der Modernisierung, und zwar je nach Kellergeometrie aus verschiedenen Gründen.

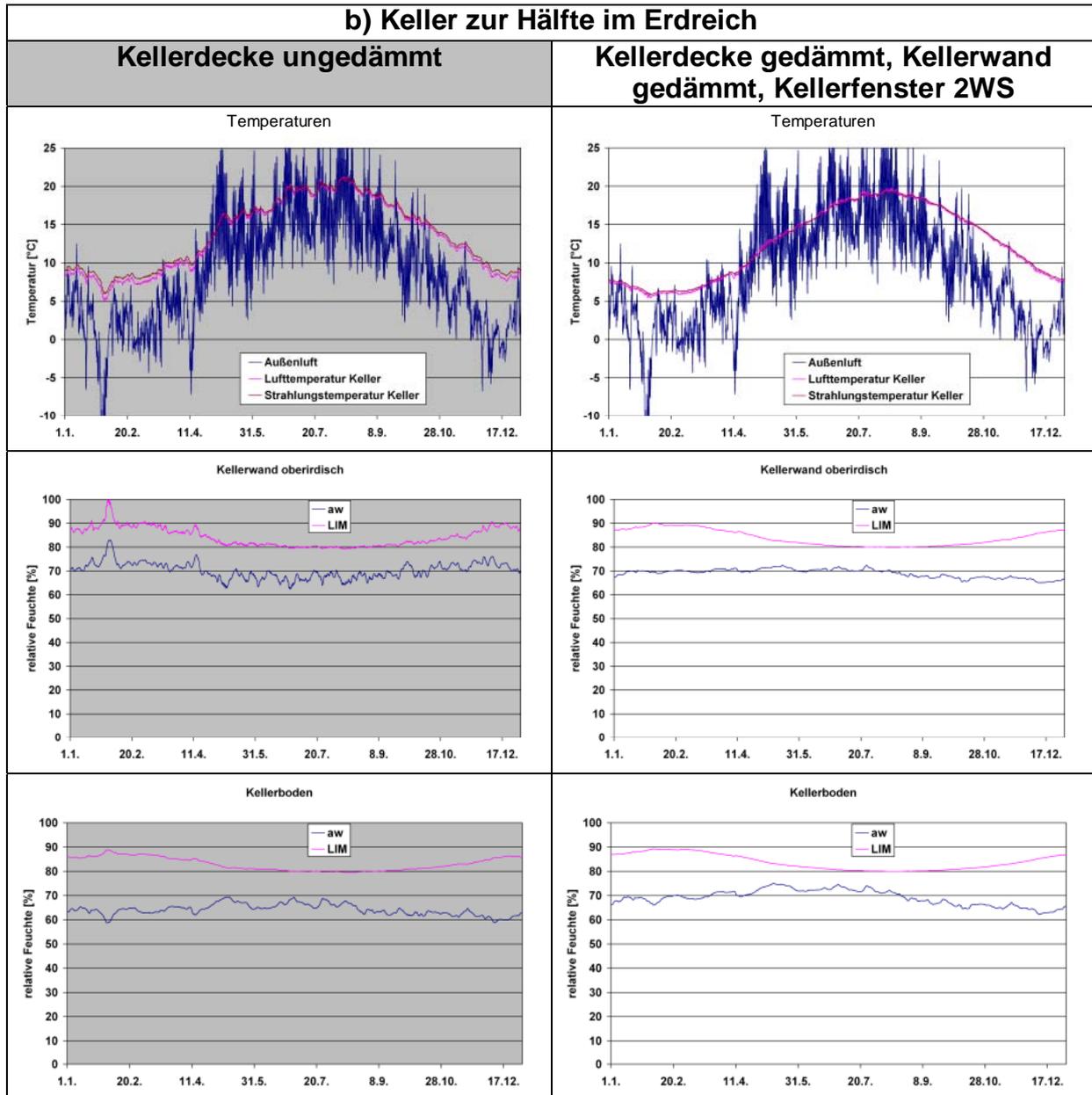
Für den fast vollständig im Erdreich liegenden Keller ändern sich die Temperaturen kaum. Dennoch gibt es dort nun keine Schimmelproblematik mehr, denn die Oberflächentemperatur der (in diesem Fall kritischen) Kelleraußenwand wird durch den verbesserten Wärmeschutz höher.

Schaut der Keller weiter aus dem Erdreich heraus, so erhöht die Dämmung der an Außenluft grenzenden Kellerwand die Raumtemperatur so weit, dass das zuvor aufgetretene Schimmelproblem am Kellerboden damit ebenfalls gelöst ist.

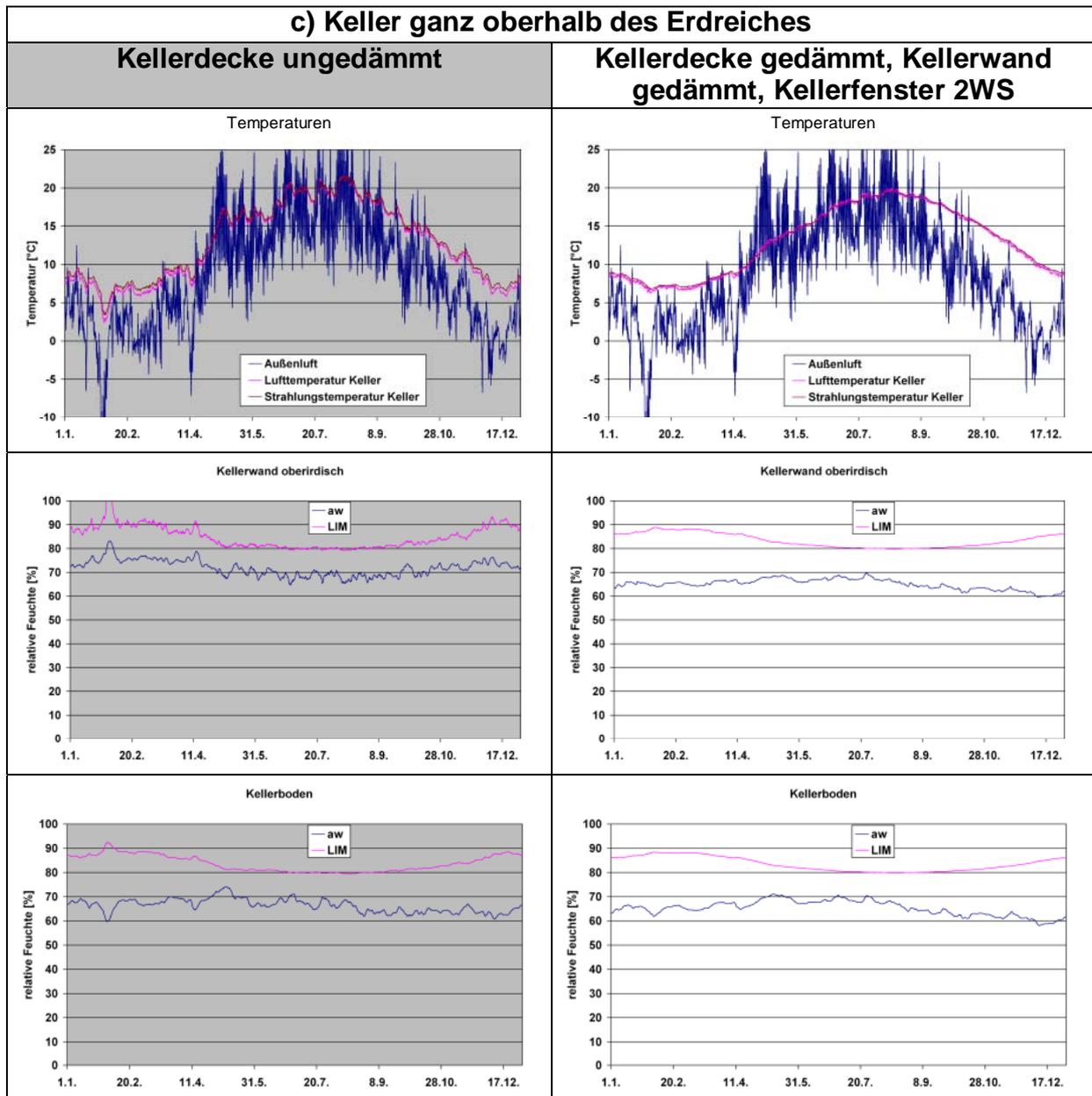
Eine zusätzliche Dämmschürze im Erdreich, etwa eine Plattenbreite tief, erscheint grundsätzlich sinnvoll, um auch die Oberflächentemperaturen im an Erdreich grenzenden, aber oberflächennahen Wandbereich anzuheben.



**Abbildung 6: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – Keller fast vollständig im Erdreich. Kein Risiko für Schimmelwachstum im gesamten Jahresverlauf.**



**Abbildung 7: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – Keller zur Hälfte im Erdreich. Mit der Dämmung der Keller-Außenwand ist das Risiko für Schimmelwachstum verschwunden**



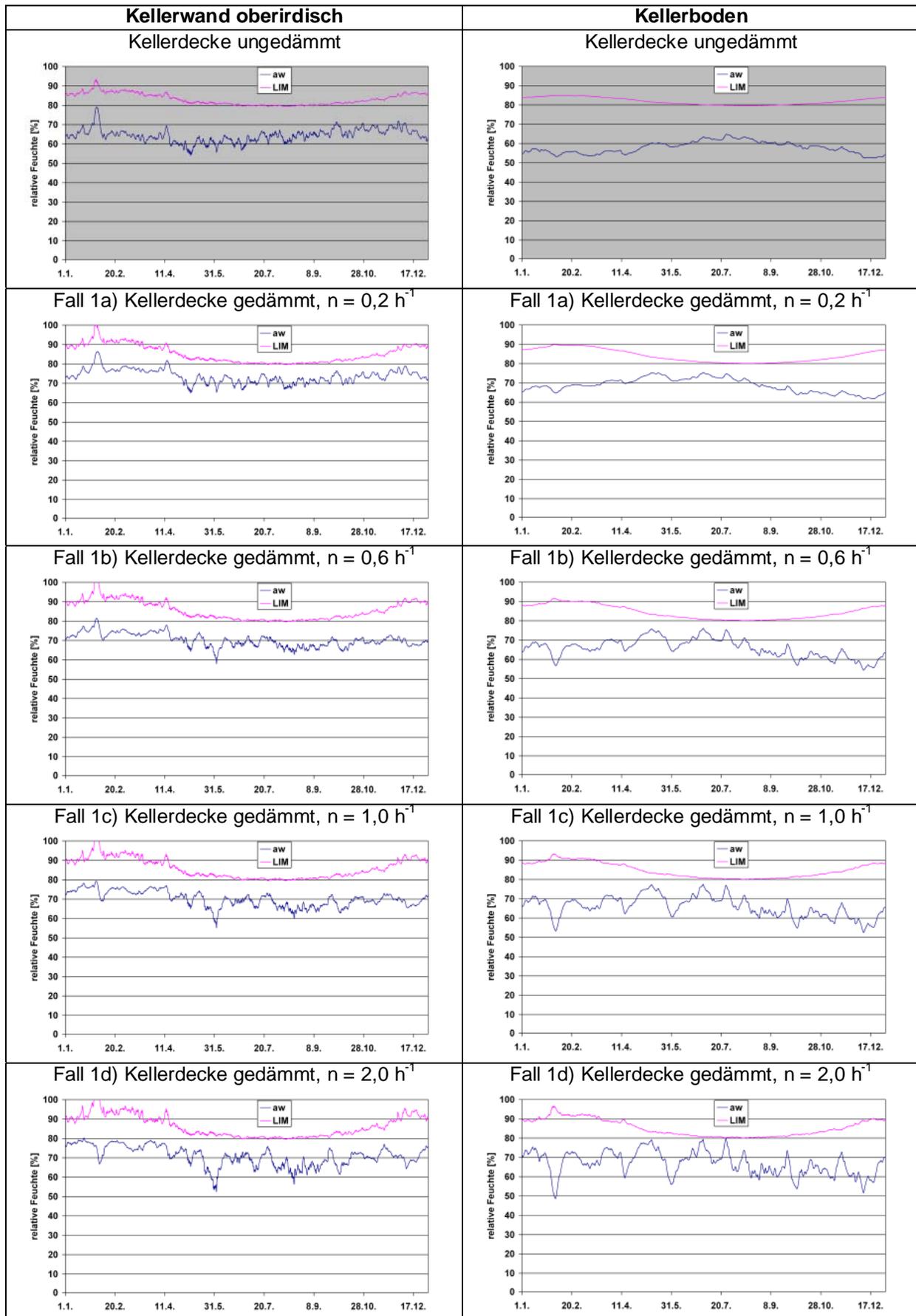
**Abbildung 8: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – „Keller“ oberirdisch. Die Situation wird durch die Dämmung der Außenwände zur Außenluft gegenüber dem Zustand im Altbau sogar verbessert.**

### 4.3 Lösungsansatz 2: Lüftungsstrategie optimieren

Verbesserungen der Feuchtesituation sind auch allein durch Anpassung der Lüftungsstrategie im Keller möglich. Wie das am besten geschehen kann, wird nachfolgend in verschiedenen Varianten untersucht:

- 1a) bis 1d) konstanter Luftwechsel durch mechanische Lüftung,  $n$  mit verschiedenen Werten zwischen  $0,2$  und  $2 \text{ h}^{-1}$
- 2) Referenzfall: Lüftung durch Leckagen, angetrieben durch Wind und ggf. thermisch bedingte Dichtedifferenzen
- 3) verstärkte Sommerlüftung: Grundlüftung mit  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ , von Mai bis September  $n = 1 \text{ h}^{-1}$ . Vorteilhaft wirkt sich hier aus, dass die mittleren und insbesondere die sommerlichen Kellertemperaturen erhöht werden. Nachteilig ist allerdings der erhöhte sommerliche Feuchteeintrag.
- 4) verstärkte Winterlüftung: Grundlüftung mit  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ , von November bis März  $n = 1 \text{ h}^{-1}$ . Hier wird der umgekehrte Ansatz verfolgt, d.h. Austrocknung des Kellers durch verstärkte Zufuhr trockener, aber kalter Außenluft im Winter.
- 5) feuchtegeregelte Lüftung: Grundlüftung mit  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ , erhöhter Luftwechsel von  $n = 1 \text{ h}^{-1}$  immer dann, wenn die absolute Feuchte der Außenluft niedriger ist als diejenige der Raumluft. Derartige Steuerungen oder sogar komplette Systeme sind am Markt verfügbar, derzeit z.T. allerdings zu hohen Preisen (z.B. [Drytec 2009], [Logidry 2009]). Außer einem Ventilator samt Außenwanddurchführung für die mechanische Lüftung wird vor allem ein Steuergerät, das die absolute Feuchte innen und außen hinreichend genau messen kann, sowie ggf. eine mechanische Ansteuerung einer Überströmöffnung benötigt.

Die Ergebnisse für die Fälle 1a) bis 1d), d.h. konstante Luftwechsel mit verschiedenen Werten, sind wenig ermutigend: Höhere Luftwechsel entschärfen zwar teilweise die Problematik bei plötzlich ansteigenden Temperaturen und Feuchten der Außenluft am Kellerboden, weil sie in solchen Situationen die Oberflächen schneller aufheizen. Sie führen aber gleichzeitig zu stärkeren Schwankungen der Temperaturen und der Wasseraktivität, so dass die LIM-Grenze zu anderen Zeiten leichter erreicht oder sogar überschritten werden kann.



**Abbildung 9:** Konstante Luftwechselraten von 0,2 bis 2,0 h<sup>-1</sup> im unterirdischen Keller; in der Tendenz werden die Risiken durch höhere Luftwechsel eher erhöht. Diese Strategie kann daher nicht empfohlen werden.

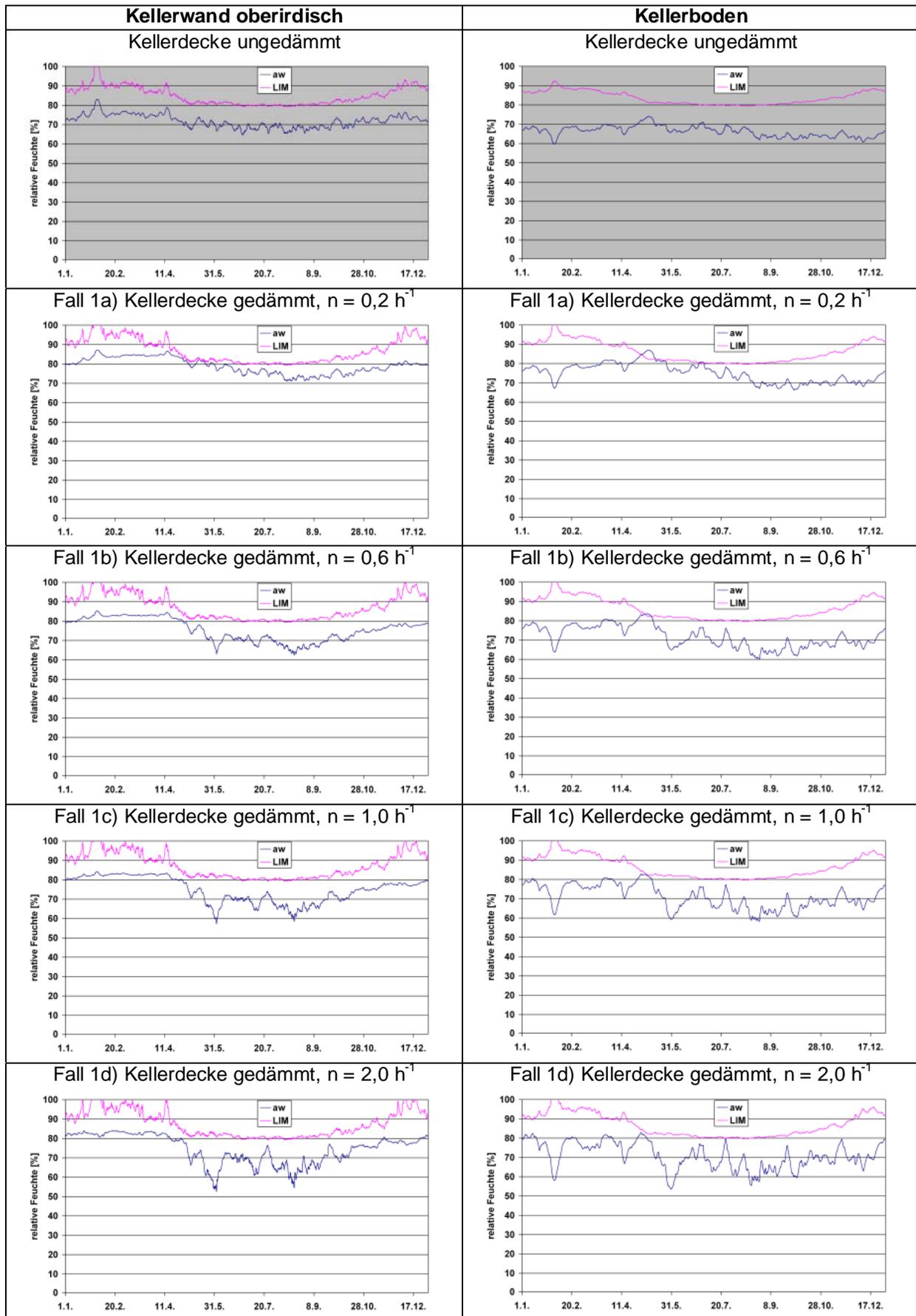


Abbildung 10: Konstante Luftwechselraten von 0,2 bis  $2 \text{ h}^{-1}$  im oberirdischen Keller; die Risiken werden durch höhere Luftwechsel leicht reduziert, es bleiben aber immer wieder kritische Zeiträume.



Auch die Strategien mit variablem Luftwechsel führen nicht immer zum Erfolg. Abbildung 11 zeigt die sich einstellenden Wasseraktivitäten im Vergleich mit der LIM-Grenze für die Strategien 2 bis 5, jeweils für einen Keller, der fast vollständig im Erdreich liegt. Jahreszeitlich verstärkt zu lüften verbessert die Situation an der oberirdischen Kellerwand nicht nachhaltig. Bei der verstärkten Lüftung im Sommer nähert sich die Wasseraktivität an der Bodenoberfläche außerdem während des Sommers häufiger der LIM-Grenze.

Als wirkungsvolle Verbesserung erweist sich dagegen die feuchtegeregelte Lüftung. Die Luftfeuchte liegt immer mit Abstand unterhalb der LIM-Grenze.

Liegt der Keller oberhalb des Erdreichs (Abbildung 12), so ist erneut der Kellerboden im Frühsommer besonders kritisch. Die besten Ergebnisse werden auch hier mit der feuchtegeregelten Lüftung erzielt.

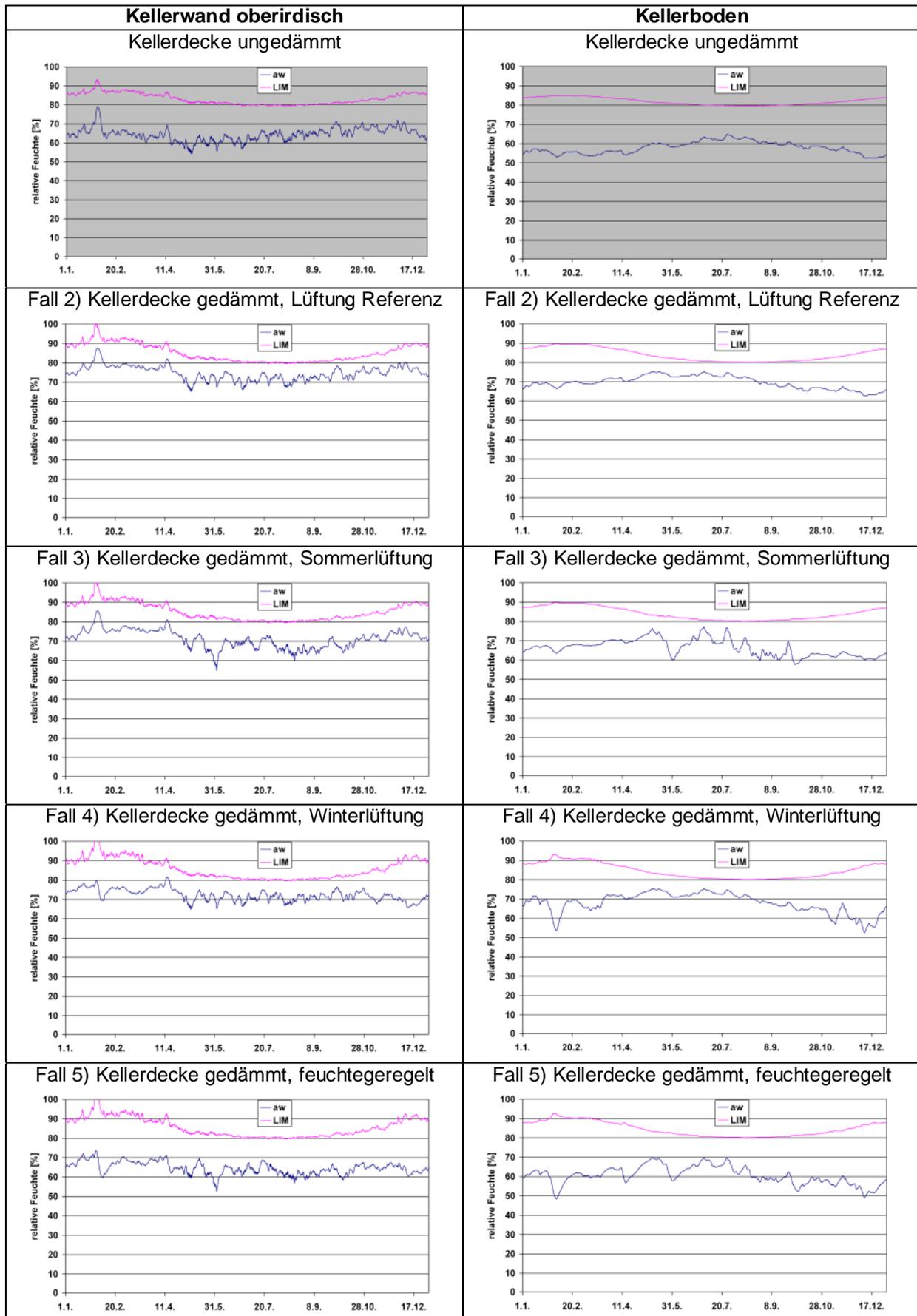


Abbildung 11: Wasseraktivität für verschiedene Lüftungsstrategien (Keller im Erdreich)

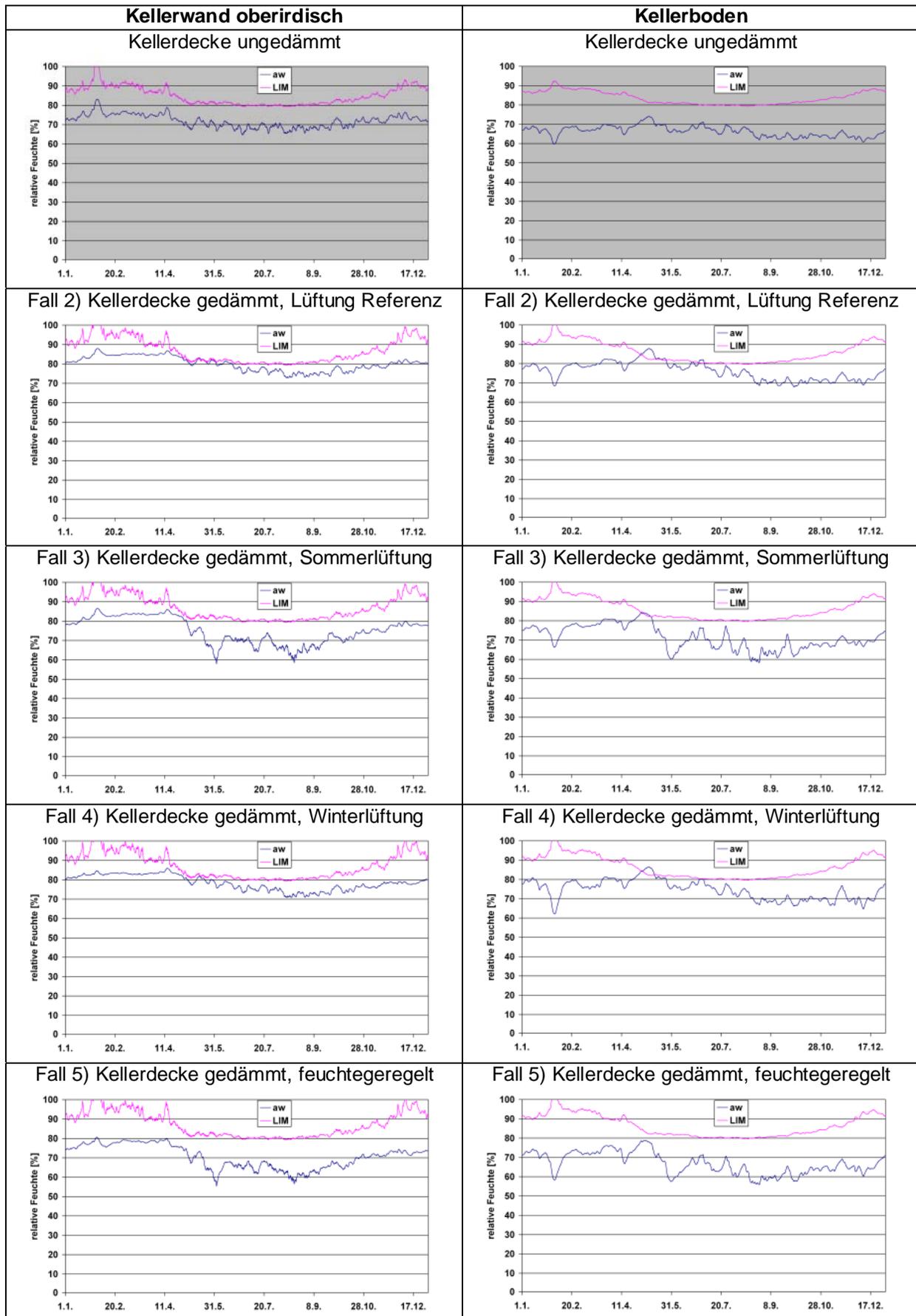
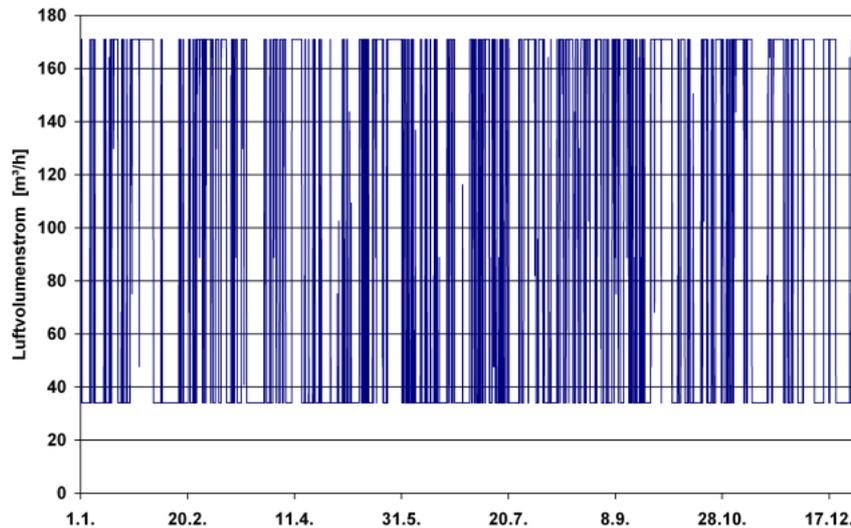


Abbildung 12: Wasseraktivität für verschiedene Lüftungsstrategien (Keller oberirdisch)

Manuell ist eine Approximation der feuchtegeregelten Lüftung übrigens nur sehr schwer zu erreichen. Wie man in Abbildung 13 sieht, muss die verstärkte Lüftung in Intervallen von wenigen Stunden, maximal Tagen ein- und ausgeschaltet werden. Eine einfache Systematik ist dabei nicht zu erkennen. Da außerdem der Mensch nicht über Sinnesorgane für die absolute Feuchte verfügt, bietet sich eine automatische Ansteuerung der Lüftung an.



**Abbildung 13: Beispiel für den Zeitverlauf des Luftvolumenstroms bei feuchtegeregelter Lüftung. Durch manuelles Öffnen und Schließen der Fenster ist eine verbesserte Entfeuchtung somit kaum zu erreichen.**

Der Energiebedarf für diese Art der Entfeuchtung lässt sich leicht abschätzen (jeweils bezogen auf eine Energiebezugsfläche von  $150 \text{ m}^2$ ): Zunächst ist der Strombedarf der Steuerung zu ermitteln, der sich bei einer Leistungsaufnahme von  $10 \text{ W}$  auf  $0,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  beläuft. Bei Verwendung motorisch öffnbarer Fenster und ansonsten passiver Durchlüftung entspricht das bereits weitgehend dem Gesamtstrombedarf. Geht man davon aus, dass der komplette Luftwechsel, auf niedriger wie hoher Stufe, durch einen Ventilator gefördert wird, fällt bei einem spezifischen Strombedarf von  $0,2 \text{ Wh}/\text{m}^3$  (für Abluftanlagen ohne Filter leicht zu erreichen) ein zusätzlicher Strombedarf von  $1,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  an.

Die Kellerlüftung mit motorisch öffnbaren Fenstern erscheint nicht nur bezüglich des Stromverbrauchs eine sehr vorteilhafte Lösung zu sein: Ist, wie hier angenommen, Querlüftung möglich, so können höhere Luftwechsel realisiert werden, als es mit mechanischer Lüftung noch sinnvoll erscheint. Die Nutzung des unzuverlässigen Wind- und Temperaturantriebs ist bei dieser Anwendung im Gegensatz zu Wohnräumen nicht problematisch, denn es kommt weder auf Zugfreiheit noch auf einen jederzeit ausreichenden Mindestluftwechsel an. Der durch den höheren Luftwechsel verursachte zusätzliche Heizwärmebedarf beträgt etwa  $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

## 4.4 Lösungsansatz 3: aktive Entfeuchtung

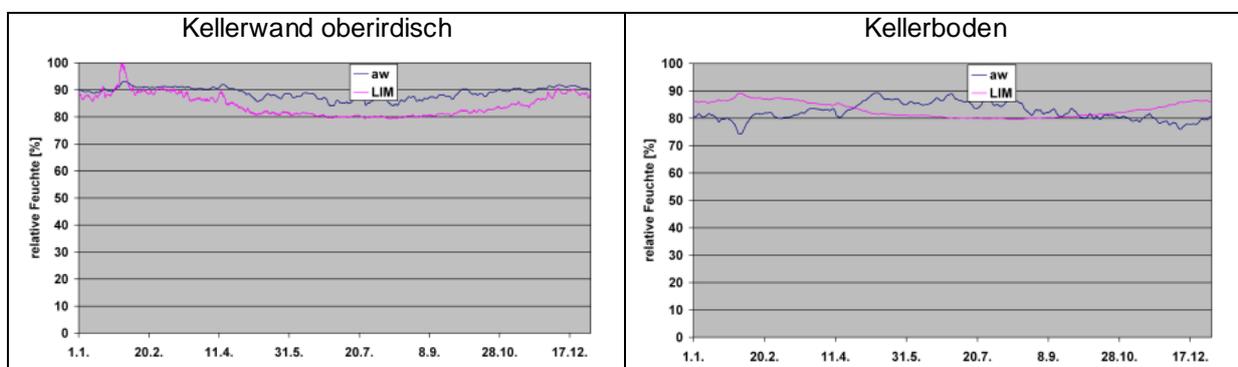
Eine in Deutschland eher unübliche Technologie zur Regulierung der Feuchte im Keller ist die aktive Entfeuchtung. Begrenzt man die relative Luftfeuchte auf 70%, so lässt sich Schimmelwachstum damit zuverlässig vermeiden. Im Beispiel des halb im Erdreich liegenden Kellers ohne innere Feuchtequellen ergibt sich aus der Simulation ein Entfeuchtungsbedarf von 194 kWh/a. Das entspricht auch in etwa dem Strombedarf eines konventionellen, handelsüblichen Entfeuchters, der damit (bei 150 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche) etwa 1,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) an Strom verbrauchen würde. Hocheffiziente Entfeuchter kommen mit dem halben Strombedarf aus. Damit könnte die aktive Entfeuchtung eine Alternative zur feuchtegeregelten, maschinellen Lüftung sein.

Eine sorgfältige Einstellung des Entfeuchters ist allerdings Voraussetzung für einen effizienten Betrieb: Schon bei einem Sollwert von 60 statt 70% wird der Energiebedarf mehr als doppelt so groß.

## 4.5 Einfluss der Feuchtequellen

Häufig werden Kellerräume zum Wäschetrocknen genutzt. Das ist primärenergetisch wesentlich günstiger als das Trocknen z.B. in elektrischen Wäschetrocknern, verursacht aber erhebliche Feuchteinträge in die Raumluft. In diesem Abschnitt werden einige Fälle untersucht, in denen im betrachteten Keller täglich eine Waschmaschine voll Wäsche getrocknet wird. Der Feuchteeintrag wird dabei als gleichmäßig über die Zeit verteilt angenommen. Dabei wird exemplarisch der zur Hälfte aus dem Erdreich herausragende Keller betrachtet.

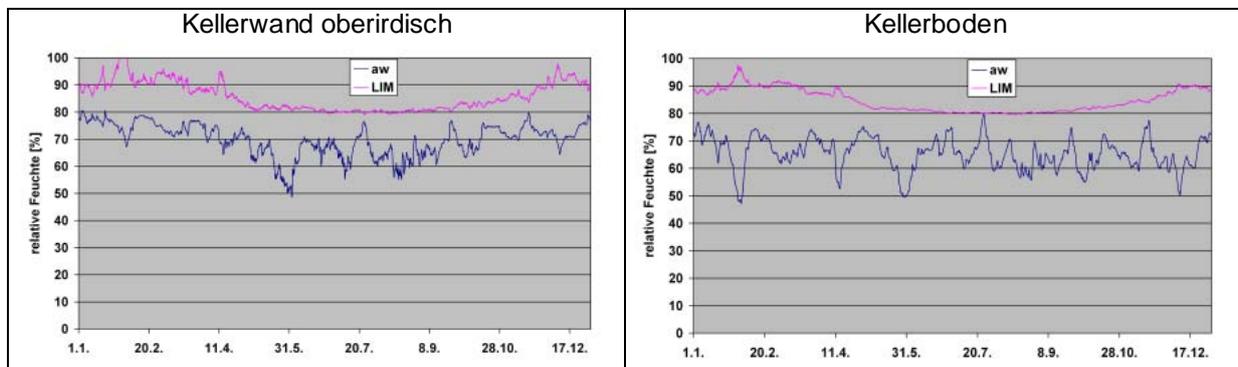
Ein derartiger Feuchteeintrag erfordert auch im indirekt beheizten Keller ohne Kellerdeckendämmung, also im ungedämmten Altbauzustand, ein Öffnen der Kellerfenster. Wird lediglich durch Infiltration gelüftet, so liegt die relative Luftfeuchte ganzjährig oberhalb von 80%, was massive Schimmelprobleme zur Folge hätte (Abbildung 14).



**Abbildung 14: Wasseraktivität bei Wäschetrocknen im Keller, Altbau ohne Kellerdeckendämmung, Keller halb im Erdreich, Lüftung durch Infiltration ( $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$  im Mittel)**

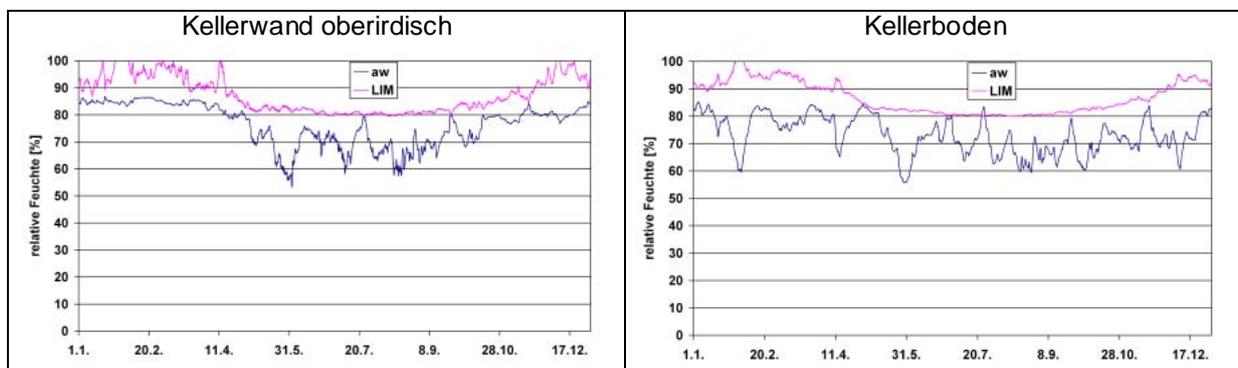
Werden die Kellerfenster dagegen offen gehalten, so stellt sich ein mehr als 4-facher Luftwechsel ein. Das reicht aus, um die durch das Wäschetrocknen eingetragene Feuchte abzutransportieren und die Wasseraktivität auf den Oberflächen fast immer unter die kritische Grenze zu drücken, zumal durch die indirekte Beheizung des Kellers die Kellertemperaturen in der kalten Jahreszeit deutlich über der Außentemperatur liegen.

Durch das Öffnen der Kellerfenster entsteht ein Heizwärmemehrbedarf von 7 kWh/(m<sup>2</sup>a) im beheizten Bereich (bei angenommenen 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche und 2 cm Trittschalldämmung). Das liegt noch unter dem jährlichen *Stromverbrauch* eines typischen elektrischen Wäschetrockners der Energieeffizienzklasse C (3,5 kWh pro Trockenvorgang); selbst bei ungedämmter Kellerdecke ist also das Wäschetrocknen auf der Leine noch immer primärenergetisch weit energieeffizienter als das Trocknen im Wäschetrockner.



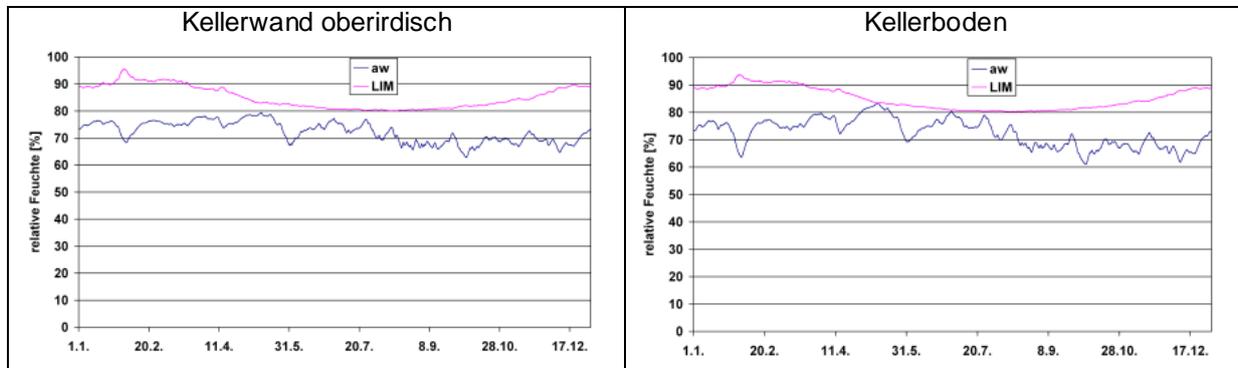
**Abbildung 15: Wasseraktivität bei Wäschetrocknen im Keller, Altbau ohne Kellerdeckendämmung, Keller halb im Erdreich, Lüftung durch offene Kellerfenster ( $n = 4,4 \text{ h}^{-1}$  im Mittel)**

Wird die Kellerdecke gedämmt, verschlechtern sich zwangsläufig die Feuchteverhältnisse. Lüftung durch Infiltration ist auch in diesem Fall völlig indiskutabel. Selbst mit Querlüftung entsteht eine gegenüber dem ungedämmten Fall verschlechterte Feuchtesituation (Abbildung 16).



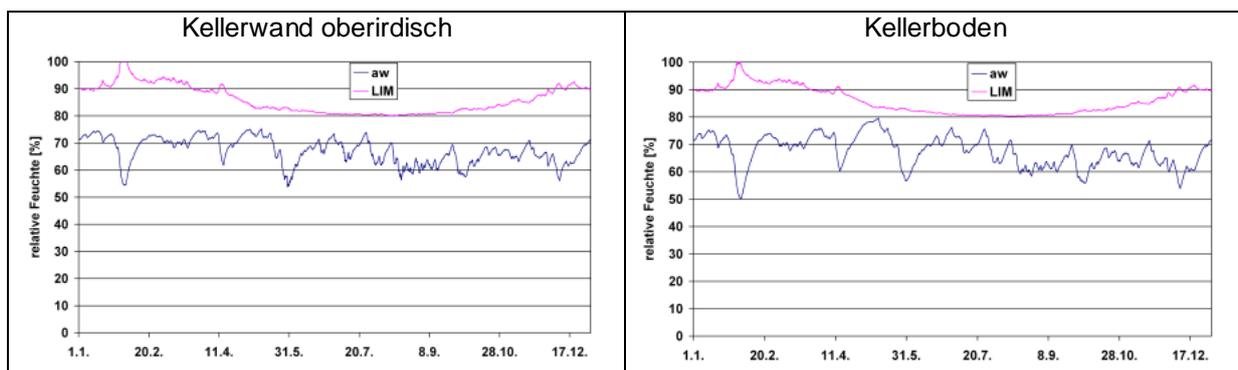
**Abbildung 16: Wasseraktivität bei Wäschetrocknen im Keller, modernisierter Zustand mit Kellerdeckendämmung, Keller halb im Erdreich, Lüftung durch offene Kellerfenster ( $n = 4,4 \text{ h}^{-1}$  im Mittel)**

Die feuchtetechnisch optimierte, gedämmte Variante zeigt Abbildung 17. Trotz bedeutend kleinerer maximaler Luftwechsel von maximal  $1 \text{ h}^{-1}$  wird die LIM nicht mehr überschritten; im überwiegenden Teil des Jahres sind die Wasseraktivitäten deutlich geringer als bei Querlüftung.



**Abbildung 17: Wasseraktivität bei Wäschetrocknen im Keller, modernisierter Zustand mit Kellerdeckendämmung, Keller halb im Erdreich, feuchtgeregelte Lüftung, Kelleraußenwand oberirdisch gedämmt**

Durch Kombination der Feuchterege lung mit erhöhten Luftwechseln während der Perioden mit Lüftung können die Verhältnisse noch weiter verbessert werden. In Abbildung 18 sieht man, dass mit einem maximalen Luftwechsel von  $3 \text{ h}^{-1}$  eine bedeutende weitere Reduzierung der Luftfeuchten in Perioden mit trockener Außenluft erreicht werden kann. Die getrockneten Bauteile können dann auch in kritischeren Perioden Feuchtigkeit aus den Feuchtequellen aufnehmen, ohne dass die LIM-Grenze erreicht wird.



**Abbildung 18: Wasseraktivität bei Wäschetrocknen im Keller, modernisierter Zustand mit Kellerdeckendämmung, Keller halb im Erdreich, feuchtgeregelte Lüftung mit maximalem Luftwechsel von  $3 \text{ h}^{-1}$ , Kelleraußenwand oberirdisch gedämmt**

## 4.6 Einfluss des Klimas

Vom Deutschen Wetterdienst werden Testreferenzjahre für 15 Klimaregionen zur Verfügung gestellt (DWD 2004]). Für jede Klimaregion existieren ein Standardwetterdatensatz sowie zwei Datensätze mit extremen Winter- und Sommersituationen.



Sämtliche 45 resultierenden Datensätze wurden bezüglich der Feuchteverhältnisse und der Unterschiede zwischen der Situation mit gedämmter und ungedämmter Kellerdecke untersucht. Verwendet wurde dabei die Konfiguration mit halb im Erdreich liegendem Keller.

Ohne Kellerdeckendämmung liegen die Kellertemperaturen in fast allen Klimata so hoch, dass kein Risiko von Schimmelwachstum mehr besteht, wenn auch zum Teil der verbleibende Abstand der Wasseraktivität, insbesondere an der Oberfläche der ungedämmten Kellerwand, von der LIM-Grenze sehr gering ist. Eine Verschlechterung der Situation in besonders warmen Sommern oder besonders kalten Wintern konnte in den Simulationsrechnungen nicht festgestellt werden.

Die ungünstigsten Feuchteverhältnisse ergeben sich für das TRY 15 Garmisch-Partenkirchen, gefolgt vom TRY 11 Fichtelberg. In diesen Klimata ist das Schimmelrisiko im Sommer am höchsten. Im Winter können zwar zeitweise Wasseraktivitäten über 80% an den Oberflächen auftreten, die Oberflächentemperaturen liegen dann aber um 0 °C, so dass kein Schimmelwachstum mehr möglich ist. Auch im ungedämmten Fall gibt es in diesem Klima zeitweise bereits keinen Sicherheitsabstand mehr von der LIM-Grenze, bei Dämmung der Kellerdecke ohne sonstige Maßnahmen ist das Schimmelrisiko an Wand und Boden sehr hoch (Wachstumsgeschwindigkeit auf optimalem Substrat 8 mm pro Jahr).

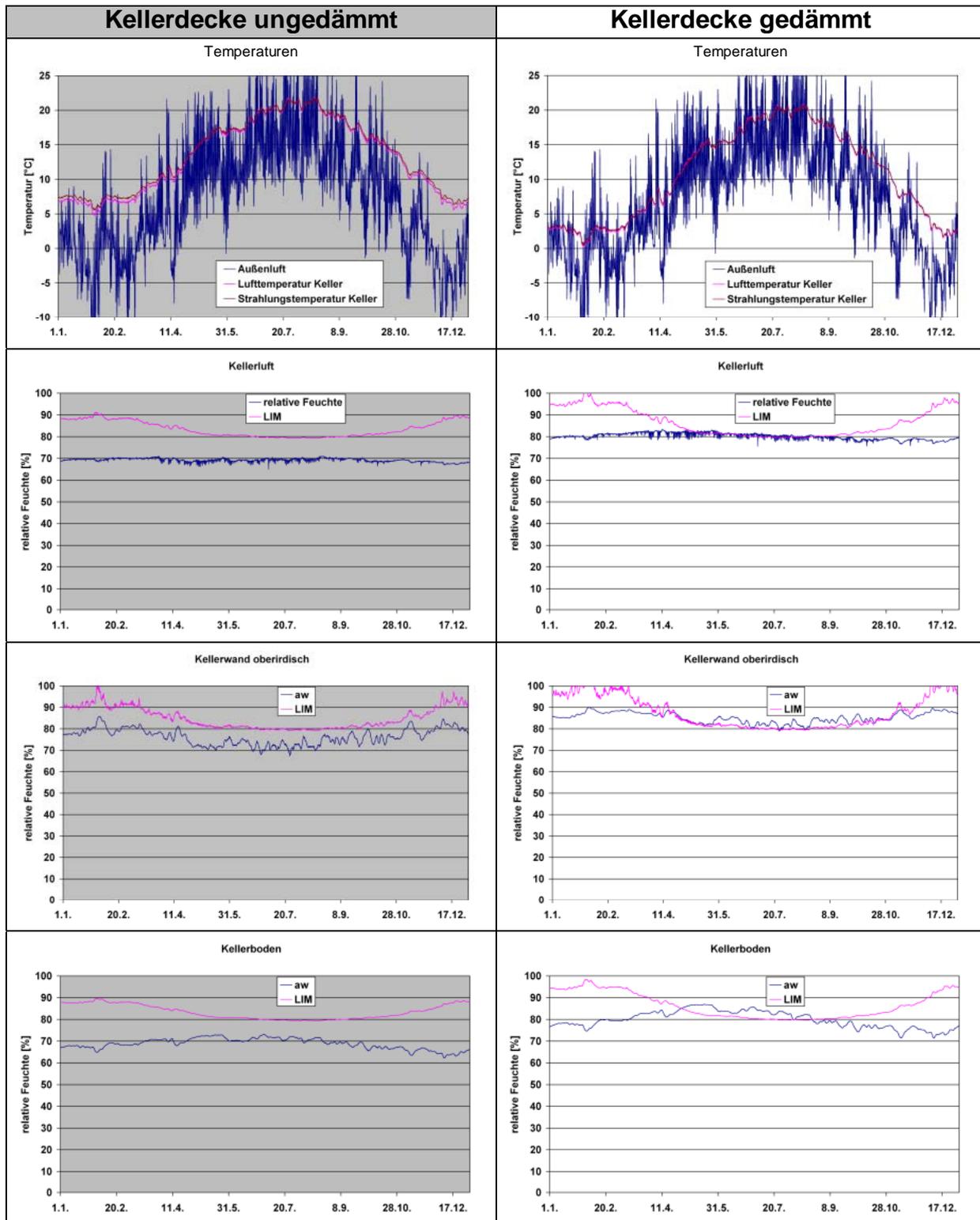


Abbildung 19: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – Keller zur Hälfte im Erdreich, TRY 15 Garmisch-Partenkirchen

Am wenigsten kritisch ist das TRY 4 Potsdam, wo im Referenzfall auch mit Kellerdeckendämmung die LIM-Grenze kaum überschritten wird. Nahezu genauso trocken sind die TRY 9 Chemnitz und TRY 12 Mannheim. Diese Standorte weisen mit weni-



ger als 600 mm/a relativ geringe Niederschlagsmengen und damit auch niedrige Luftfeuchten auf, während am Alpenrand um 2000 mm Niederschlag pro Jahr fallen.

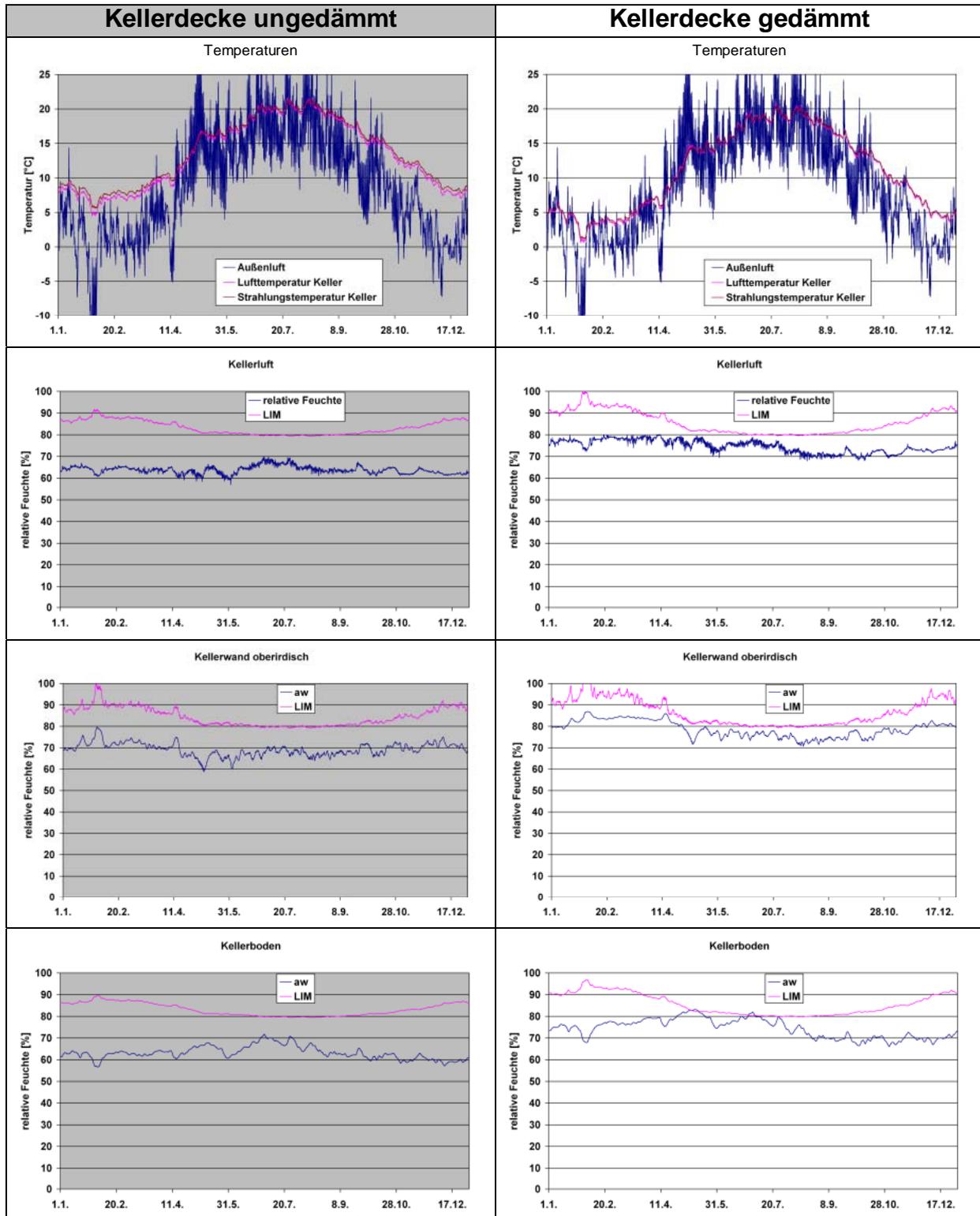


Abbildung 20: Temperaturen und Feuchteverhältnisse – Keller zur Hälfte im Erdreich, TRY 4 Potsdam



Die für das Klima von Kassel ermittelten Lösungsvorschläge funktionieren grundsätzlich auch in diesen anderen Klimaten: In Garmisch ist die feuchtegeregelte Lüftung besonders wirksam, sie verbessert die Situation sogar deutlich gegenüber dem ungedämmten Ausgangszustand. Die Dämmung der oberirdischen Kellerwand allein reicht hier dagegen für eine sichere Vermeidung von Schimmel nicht aus.

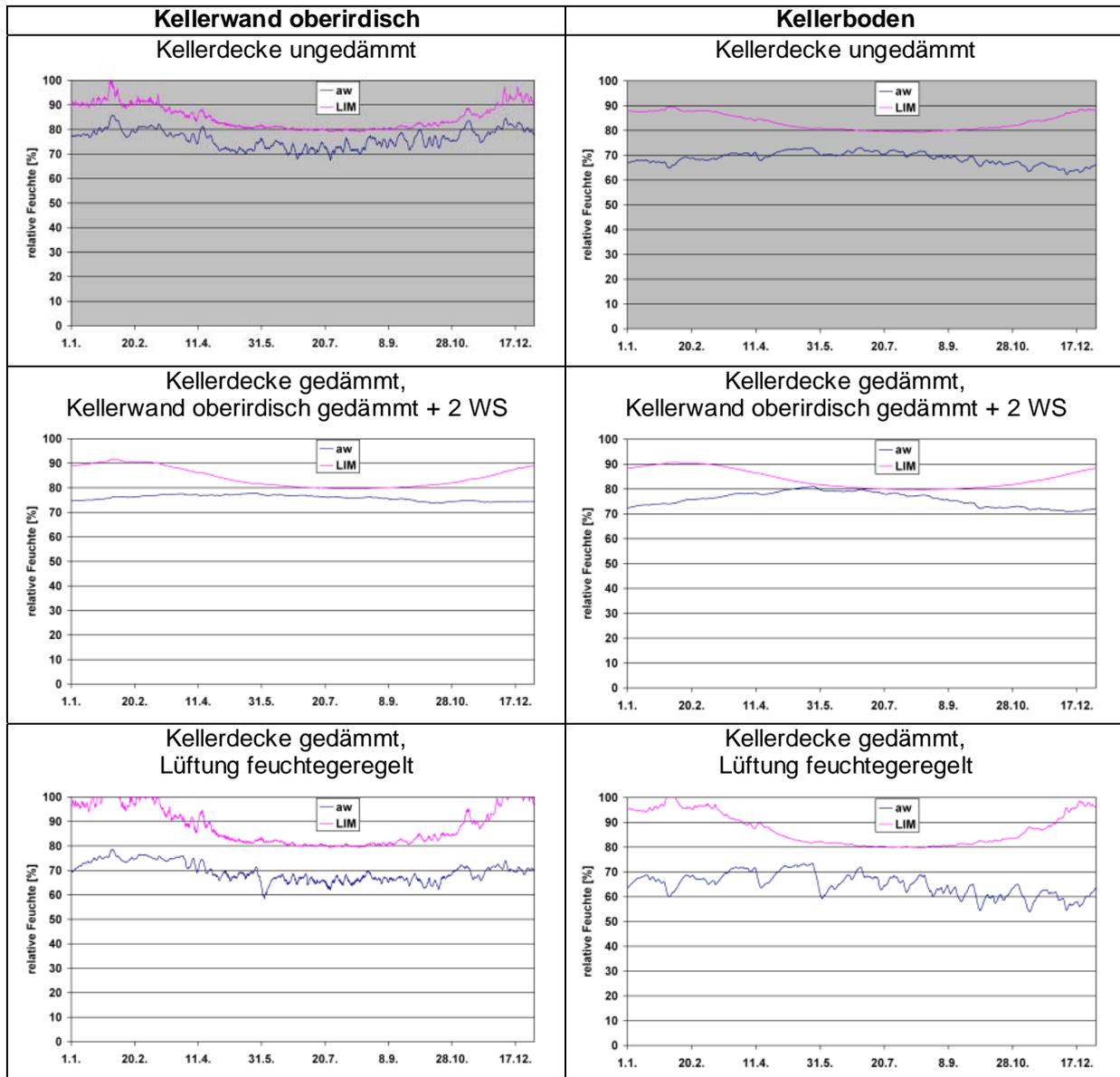


Abbildung 21: Wasseraktivität für verschiedene Lüftungsstrategien – Keller zur Hälfte im Erdreich, TRY 15 Garmisch-Partenkirchen

Im Klima von Potsdam ist jede der beiden Maßnahmen für sich bereits ausreichend, um die Wasseraktivität deutlich unter der LIM-Grenze zu halten (Abbildung 22). Auch hier reduziert vor allem die feuchtegeregelte Lüftung wirkungsvoll die Luftfeuchte im Keller.

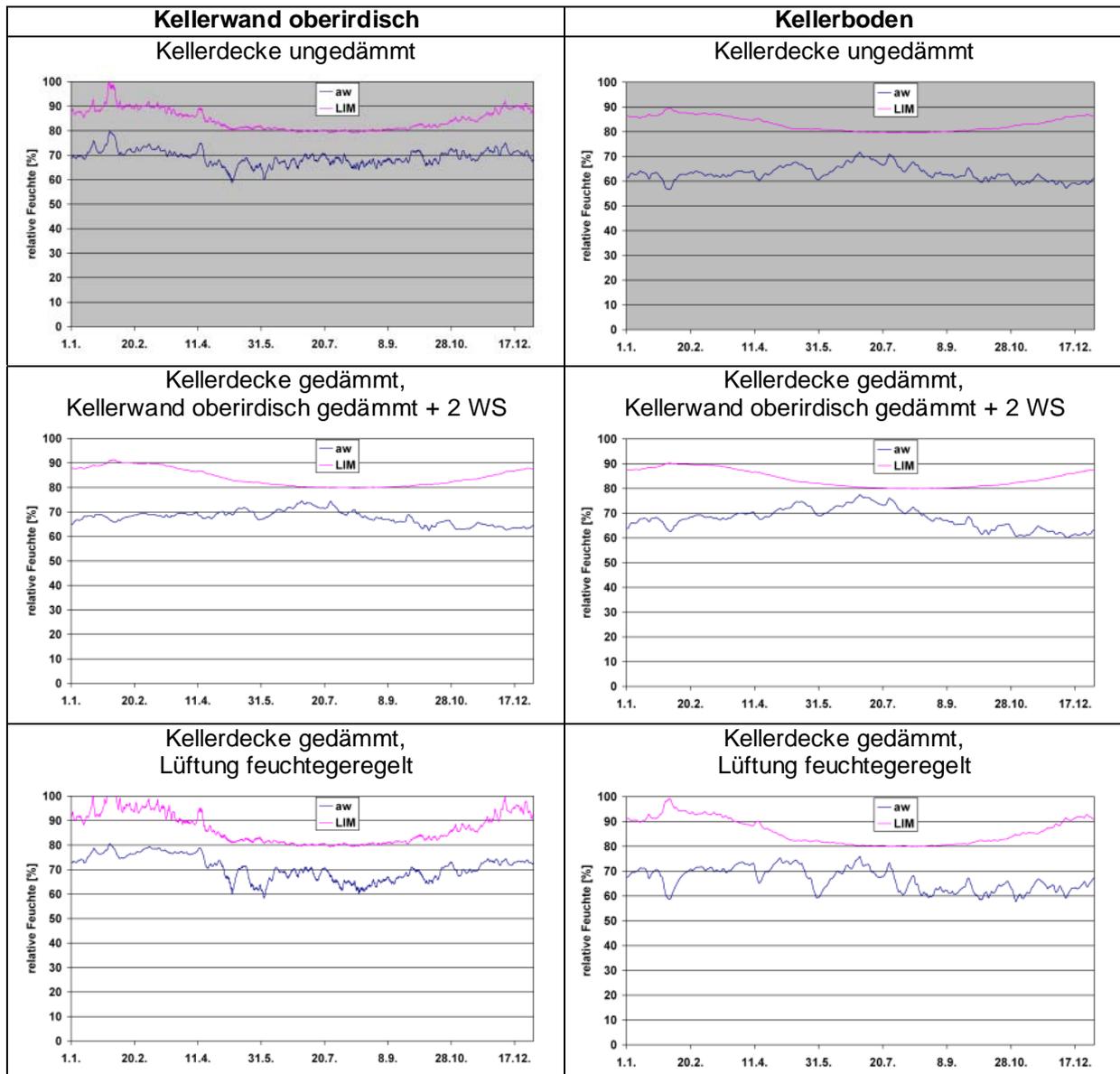


Abbildung 22: Wasseraktivität für verschiedene Lüftungsstrategien – Keller zur Hälfte im Erdreich, TRY 4 Potsdam

## 5 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Eine Dämmung der Kellerdecke reduziert nicht nur die Wärmeverluste, sondern wirkt sich auch auf die Feuchtigkeit im Keller aus, da sie die indirekte Beheizung der Kellerräume vom Wohnraum her reduziert. Dadurch sinkt die mittlere Temperatur des Kellers, vor allem in den Wintermonaten. Das führt bei konstanter absoluter Feuchte der Kellerluft zu einem Anstieg der relativen Luftfeuchte, der bei konsequenter Kellerdeckendämmung 10 bis 15 Prozentpunkte betragen kann. Dadurch erhöht sich auch das Risiko von Schimmelbildung auf den Bauteiloberflächen im Keller. Besondere Beachtung verdienen derartige Feuchteprobleme in Klimaregionen wie dem Voralpenland oder den Hochlagen der Mittelgebirge, wo häufiger Niederschlag und relativ niedrige Temperaturen zusammentreffen. Kondensat auf den sorptionsfähigen Oberflächen des Kellers konnte in der Simulation, unabhängig vom Klima, zu keinem Zeitpunkt festgestellt werden.

Sind im Keller Feuchtebelastungen vorhanden, etwa durch aufsteigende Feuchte oder insbesondere durch Wäschetrocknen, so kann auch eine verbesserte Luftdichtheit (wie etwa Änderungen bei den Fenstern oder Einbau einer luftdichten Kellertür zum EG) zu erhöhter Luftfeuchte führen.

Eine Reduzierung der Kellertemperaturen kann sich ferner ergeben, wenn im Keller untergebrachte, ineffiziente Haustechnik entfernt oder erneuert wird, Heizungs- oder Warmwasserleitungen gedämmt werden etc.

Im Wesentlichen wurden zwei Möglichkeiten identifiziert, um die Feuchteverhältnisse zu verbessern: gezieltes Lüften zur Feuchteabfuhr sowie Erhöhung der Oberflächentemperaturen im Keller.

Will man durch Lüften die Feuchteverhältnisse in einem Keller ohne nennenswerte Feuchtelasten verbessern, so führt eine einfache Erhöhung des Luftwechsels nicht zum Ziel. Auch saisonal verstärkte Lüftung im Sommer (um die Temperaturen zu erhöhen) bzw. im Winter (um die niedrige absolute Außenluftfeuchte zu nutzen) ist nicht zweckmäßig. Es sind jedoch Steuerungen und auch komplette Systeme am Markt, die immer dann verstärkt lüften (durch motorisches Öffnen der Kellerfenster und/oder Ansteuerung eines Ventilators), wenn die absolute Feuchte der Außenluft niedriger ist als diejenige der Raumluft. Besonders wirksam und gleichzeitig energieeffizient ist Querlüftung über motorisch öffnbare Fenster bzw. Lüftungsklappen.

Eine merkliche Reduzierung der relativen Feuchte an den Oberflächen ergibt sich bei Erhöhung der Oberflächentemperaturen, die sich etwa durch ein Herunterziehen der Außenwanddämmung bis Oberkante Erdreich erreichen lässt. Das sollte man ohnehin tun, zum einen aus gestalterischen Gründen, zum anderen zur Gewährleistung ausreichender Oberflächentemperaturen an der Wärmebrücke, die in der Kante Kellerdecke - Außenwand im Erdgeschoss des Gebäudes besteht.



Zusätzliche Beiträge zur Temperaturerhöhung kann ein verbesserter Wärmeschutz der Kellerfenster leisten. Gegebenenfalls können einige der alten Öffnungen der Kellerfenster auch einfach überdämmt werden. In beiden Fällen ist jedoch darauf zu achten, dass eine ausreichende Belüftung des Kellers erhalten bleibt, insbesondere wenn Feuchtequellen zu erwarten sind.

Ein Mindestluftwechsel von  $0,2 \text{ h}^{-1}$  (bei Wäschetrocknen mindestens  $2 \text{ h}^{-1}$ ) kann entweder mit einer mechanischen Lüftung oder auch – ganz im Gegensatz zum üblichen Vorgehen bei Passivhaus-*Wohnräumen* – durch Leckagen sichergestellt werden. Im letzteren Fall ist die Dimensionierung mit größeren Unsicherheiten verbunden; das Arbeitsblatt Sommluft aus dem Passivhaus Projektierungs Paket [PHPP 2007] kann hier gute Dienste leisten. Temperaturdifferenzen von 3 K und Windgeschwindigkeiten von 2,5 m/s (bei Kellerfenstern in Lichtschächten in Verbindung mit einseitiger Lüftung nur 0,5 m/s) liefern eine brauchbare Approximation für den mittleren Volumenstrom.

Es muss betont werden, dass Probleme durch aufsteigende Feuchtigkeit, eindringendes Regenwasser u.ä. nur durch Abdichten der betroffenen Bauteile gelöst werden können. Lüftungs- oder Dämmstrategien führen in solchen Fällen nicht bedeutend weiter.

## 6 Literatur

- [Airaksinen 2003] Miimu Airaksinen, Jarek Kurnitski, and Olli Seppänen: On the crawl space moisture control in buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2003, 9, 1, 34–58
- [Bund 1995] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden, 1995
- [Drytec 2009] www.drytec.org, Abruf am 8.11.09
- [DWD 2004] Christoffer, Jürgen, Thomas Deutschländer, Monika Webs: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach 2004
- [GAEA] GAEA Gesellschaft für Umweltconsulting: Ursachen und Auswirkungen von Feuchtigkeit und mikrobiellen Belastungen in Innenräumen. Ohne Datum. [http://gaea-umweltconsulting.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/Ursachen\\_und\\_Auswirkungen\\_von\\_Feuchtigkeit.pdf](http://gaea-umweltconsulting.de/fileadmin/user_upload/downloads/Ursachen_und_Auswirkungen_von_Feuchtigkeit.pdf), Zugriff 16.10.09
- [Krus 2002] Krus, M. und Sedlbauer, K.: Brauchen wir Gefährdungsklassen für Schimmelpilze zur Beurteilung von Baukonstruktionen? Tagungsbeitrag für das 11. Bauklimatische Symposium der TU Dresden, 26.-30.9.2002, Dresden, S. 790 – 802.
- [Logidry 2009] www.logidry.de, Abruf am 8.11.09
- [Sedlbauer 2001] Sedlbauer, Klaus: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, 2001
- [Seifert 2002] Seifert, Bernd et al: Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“). Umweltbundesamt, Berlin 2002
- [Schnieders 2003] Schnieders, Jürgen: Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 22, Lüftungsstrategien für den Sommer, Darmstadt, Passivhaus Institut, 2003