

# Aufdoppelung von WDVS – Hygrothermische Berechnung der Einsatzgrenzen unterschiedlicher Systeme

M. Krus, D. Rösler  
Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

## Kurzzusammenfassung

Viele der an den Bestandsgebäuden eingesetzten Wärmedämmverbundsysteme sind zwar noch voll funktionsfähig, entsprechen aber bei weitem nicht mehr dem heutigen Dämmstandard. Ein Rückbau und Ersatz dieser Systeme ist meist weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll, weshalb als Alternative die WDVS „aufgedoppelt“ werden. Das Ziel der folgend beschriebenen Untersuchungen besteht deshalb darin, festzustellen, ob hierbei aus feuchtetechnischer Sicht Probleme zu erwarten sind bzw. welche Kombinationen von Systemen als unkritisch einzustufen sind. Insgesamt werden elf Bauteilvarianten mit aufgedoppeltem WDVS mit Hilfe eindimensionaler Berechnungen in Bezug auf ihr feuchtetechnisches Verhalten beurteilt. Dabei zeigen alle Varianten geringe mittlere Wassergehalte in den Dämmschichten, sodass keine wesentliche Absenkung des Dämmniveaus zu erwarten ist. Bei vier der untersuchten Varianten zeigen sich aber lokal zeitweise sehr hohe Wassergehalte, die zu Problemen durch Frost oder ablaufendes Kondenswasser führen können.

## Abstract

A lot of exterior thermal insulation composite systems (ETICS) on existing buildings are still performing well, but they do not comply with actual standards of energy saving. In most cases a dismantling and substitution of these systems is not reasonable from the economic and ecologic point of view. An alternative solution may be to apply an additional ETICS on top of the existing one. Hence the aim of the investigations is to assess which combinations will work well and which will cause hygric problems. For eleven different combinations the moisture balance has been investigated by one-dimensional hygric calculations. All systems show low mean water contents, which will not result in a reduced insulation performance. But with four of these systems high local moisture contents have been observed, which may cause problems due to frost or draining condensate.

## 1 Hintergrund

Das Wärmedämmverbundsystem, das seit mehr als 40 Jahren auf dem Markt ist, hat sich durch seine Langlebigkeit und seine Anwendbarkeit im Bestand bewährt. Allerdings sind eine Vielzahl von WDVS „in die Jahre“ gekommen. Dies bedeutet nicht, dass deren Funktion nicht mehr gegeben ist, aber sie entsprechen nicht mehr den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz. Vielfach wurden, den damaligen Ansprüchen entsprechend, nur Dämmstoffdicken von 4 cm eingesetzt. Viele dieser Gebäude stehen zur thermischen Sanierung an. Dabei ist in

den meisten Fällen das vorhandene WDVS noch in ausreichendem Zustand, so dass es nicht entfernt werden muss. Hier bietet sich eine Aufdoppelung durch ein zusätzliches WDVS mit entsprechenden Dämmstoffstärken an. Durch hygrothermische Berechnungen wird im folgenden der Einfluss einer derartigen nachträglichen Dämmmaßnahme auf den Feuchtehaushalt ermittelt.

## 2 Durchführung der Untersuchungen

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten für die Kombination von Mauerwerk, Altbestands-WDVS und zur Aufdoppelung einsetzbarem neuem WDVS, die mit sinnvollem Aufwand nicht alle berechnet werden können. Aus diesem Grund werden Varianten ausgewählt, die zum einen das zu erwartende Spektrum an Kombinationen abdecken, aber die aus feuchtetechnischer Sicht jeweils möglichst ungünstigsten aber noch realistischen Varianten darstellen. Falls die rechnerischen Untersuchungen keine feuchtetechnischen Probleme ergeben, kann somit davon ausgegangen werden, dass alle anderen Kombinationen ebenfalls unbedenklich sind. Für die Berechnung des Feuchtehaushalts der Wandaufbauten kommt das am IBP entwickelte und vielfach validierte Programm zur instationären Berechnung des Wärme- und Feuchtetransports WUFI® [1-6] zur Anwendung.

### 2.1 Wandaufbau der Bauteilvarianten

Bei den Berechnungen wird als Ausgangsvariante eine Bimsbetonwand mit 24 cm Dicke zugrunde gelegt, da dies den diffusionsoffensten Wandaufbau darstellt, der im Altbaubereich anzutreffen ist. Als Innenoberfläche dient ein Gipsputz. Die zugrunde gelegten 11 Varianten von Altbestands-WDVS und zur Aufdoppelung einsetzbaren neuen WDVS sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Alle notwendigen Materialkennwerte werden, sofern nicht nachfolgend angegeben, der WUFI®-Materialdatenbank entnommen. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der zugrunde gelegten wesentlichen Materialkennwerte der Dämmstoffe und Putzsysteme für die bestehenden und neuen WDV-Systeme.

Tabelle 1: Bauteilvarianten mit verschiedenen Kombinationen von WDVS (MW = Mineralwolle; EPS = expandiertes Polystyrol)

Layouts with different combinations of ETICS (MW= mineral wool; EPS = expanded polystyrene)

Variante Nr.	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]	Bestehendes System			Aufgedoppeltes System		
		Dämmstoff	Dicke [mm]	Putzsystem	Dämmstoff	Dicke [mm]	Putzsystem
1	0,14	MW	80	mineralisch	MW	120	mineralisch
2	0,14	MW	80	mineralisch	MW	120	Kunsthartz
3	0,18	MW	80	mineralisch	MW	60	Kunsthartz
4	0,14	MW	80	mineralisch	EPS	120	mineralisch
5	0,14	MW	80	mineralisch	EPS	120	Kunsthartz
6	0,14	MW	40	mineralisch	EPS	160	mineralisch
7	0,11	EPS	40	mineralisch	EPS	260	mineralisch
8	0,14	EPS	40	mineralisch	EPS	160	Kunsthartz
9	0,14	EPS	40	mineralisch	MW	160	mineralisch
10	0,14	EPS	40	mineralisch	MW	160	Kunsthartz
11	0,14	EPS	40	Kunsthartz	MW	160	Kunsthartz

Tabelle 2: Zusammenstellung der zugrunde gelegten wesentlichen Materialkennwerte der Dämmstoffe und Putzsysteme.

Compilation of the essential material properties of the insulation and the rendering.

Wärmedämmstoffe	Rohdichte [kg/m³]	Diffusionswiderstandszahl $\mu$ [-]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/mK]
Polystyrol (bestehende Systeme)	15	30	0,040
Polystyrol (neue Systeme)	30	50	0,035
Mineralwolle (bestehende Systeme)	60	1,3	0,040
Mineralwolle (neue Systeme)	60	1,3	0,040
Putzsysteme	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d$ [m]	Wasseraufnahmekoeffizient $w_{24}$ [kg/m²√h]	Dicke [mm]
mineralischer Putz (bestehende Systeme)	0,07	0,1	6
mineralischer Putz (neue Systeme)	0,14	0,3	8
Kunsthartzputz (bestehendes System)	6	0,08	6
Kunsthartzputz (neues System)	0,77	0,07	6

## 2.2 Klimatische Randbedingungen

Als äußere Randbedingungen dienen stündliche Werte gemessener Holzkirchner Klimadaten (Bild 1), da an diesem Standort ein für die BRD aus feuchtetechnischer Sicht besonders kritisches Klima vorliegt. Die Ausrichtung der Wand erfolgt nach Westen. Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl wird für die Außenoberfläche mit 0,4 angenommen, was dem Wert für eine bewitterte weiße Wand entspricht. Die langwellige Strahlungsemissionszahl liegt bei dieser Art von Oberfläche bei 0,9. Die Schlagregenbelastung errechnet sich entsprechend [7] aus der Neigung und Orientierung des Bauteils. Durch einen Regenabsorptionsgrad von 0,7 wird berücksichtigt, dass von dem auf senkrechte Flächen auftreffenden Regen ein Teil sofort wegspritzt und nicht mehr für den kapillaren Saugvorgang zur Verfügung steht.

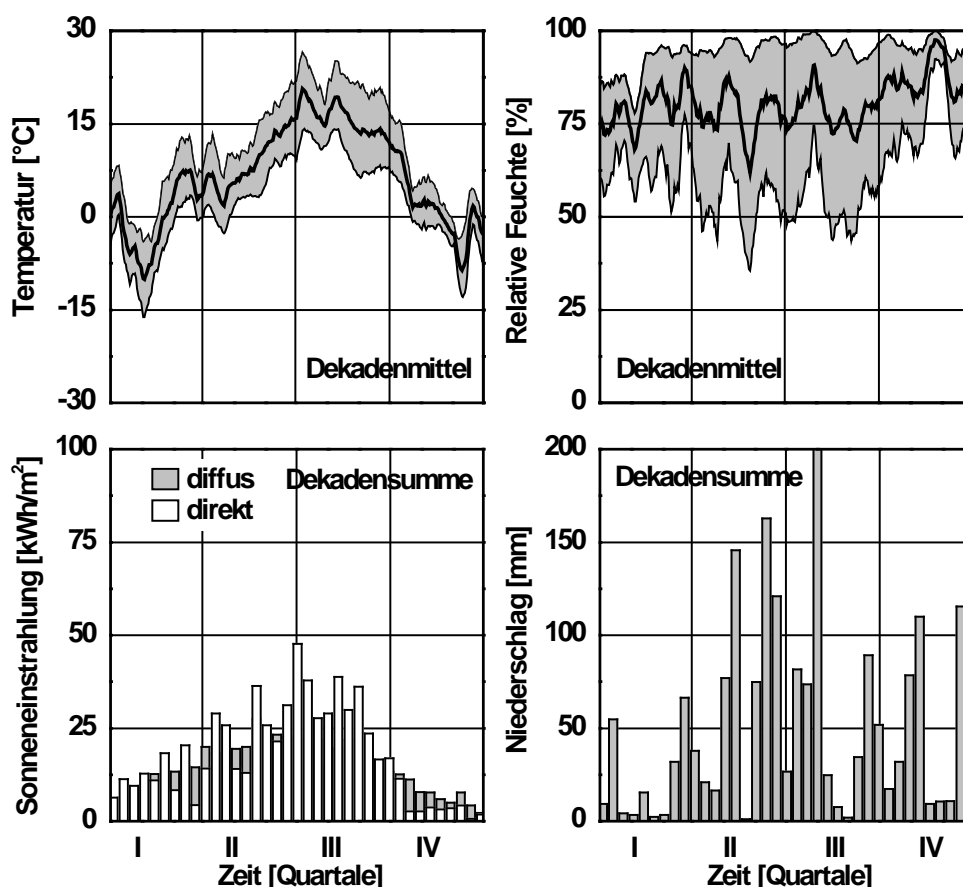


Bild 1: Klimatische Randbedingungen eines für Holzkirchen (Alpenvorland) typischen Jahres. Ambient climatic conditions of a typical year of Holzkirchen at the foothills of the Alps.

Das Raumklima variiert sinusförmig zwischen 20° C, 40 % relative Feuchte im Winter und 22° C, 60 % rel. Feuchte im Sommer. Das entspricht einer normalen Feuchtebelastung bei Wohnraumnutzung [8]. Der Wärmeübergangswiderstand  $R_s$  beträgt auf der Innenseite 0,125 m<sup>2</sup>K/W und auf der Außenseite 0,056 m<sup>2</sup>K/W.

## 2.3 Durchführung der Berechnungen

Bei den Berechnungen wird der anfängliche Wassergehalt der Bimsbetonwand und des Innenputzes sowie des bestehenden WDVS-Systems den Bedingungen im Altbau nachempfunden.

den. Dafür wird der Wassergehalt der Bauteilkonstruktionen ohne aufgedoppelte WDVS-Systeme nach 5 Jahren Bewitterung berechnet und als Ausgangswert für die Berechnungen mit aufgedoppeltem WDVS zugrunde gelegt (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Für Altbau berechnete Wassergehalte der Bauteilkonstruktionen der bestehenden Systeme im eingeschwungenen Zustand sowie Gesamtwassergehalt der Konstruktion (Zeitpunkt: Oktober).  
Calculated periodic steady state water contents of the materials in the existing construction and total water contents (date:October).

	Bestehendes System für Variante 1-5	Bestehendes System für Variante 6-10	Bestehendes System für Variante 11
Wassergehalt	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
Innenputz	4,45	4,49	4,55
Bimsbeton	10,83	12,07	15,17
Mineralwolle	0,95		
EPS		0,98	2,47
Mineral. Außenputz	64,31	61,81	
Kunstharzputz			34,38
Gesamtwassergehalt	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
	3,13	3,37	4,01

Betrachtet wird die zeitliche Entwicklung der Wassergehaltsverteilung im gesamten Bauteil und in den einzelnen Materialschichten (vorrangig in den WDVS-Systemen) über einen Zeitraum von 5 Jahren, wobei die Klimarandbedingungen in jedem Jahr identisch sind. Beobachtet wird ferner der Verlauf der Temperatur und des Wassergehaltes an ausgewählten Stellen innerhalb der Konstruktion, die im Folgenden als Monitorpositionen bezeichnet werden.

In Bild 2 ist exemplarisch der in WUFI® eingegebene Konstruktionsaufbau der Variante 1 mit den Monitorpositionen zu sehen.

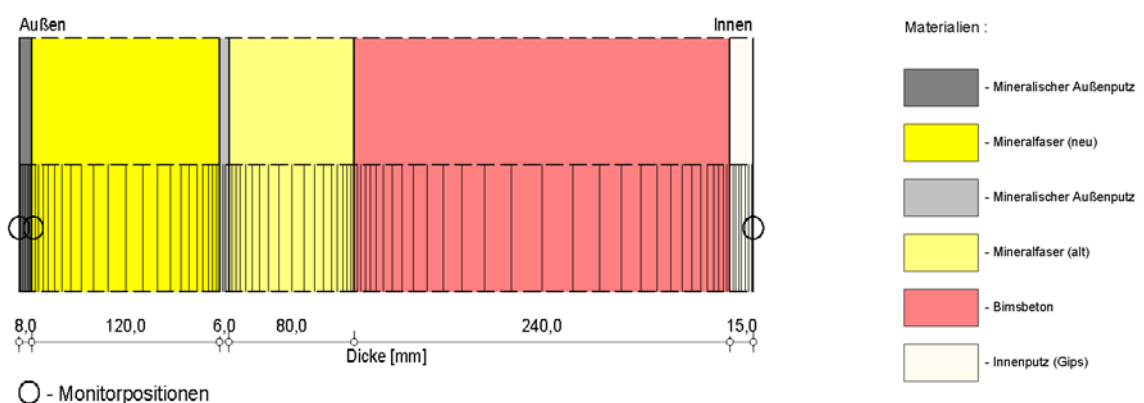


Bild 2: Schematische Darstellung des Konstruktionsaufbaus der Variante 1 mit den Monitorpositionen.  
Schematic view of the construction of variant 1 with monitor positions.

### 3 Ergebnisse der Untersuchungen

Es wird überprüft, ob es infolge der Aufdoppelung der WDVS-Systeme langfristig zu partiellen Feuchteanreicherungen kommen kann. Die Wassergehaltsverteilung in den einzelnen Materialschichten, vorrangig in den WDVS und den Außenputzen, wird jeweils für das 5. Jahr nach der Aufdoppelung grafisch dargestellt und dem Verlauf der Materialien vor der Aufdoppelung gegenübergestellt.

#### 3.1 Zeitliche Entwicklung des Gesamtwassergehaltes über 5 Jahre

Bild 3 zeigt beispielhaft den Verlauf des Gesamtwassergehaltes für die Varianten 1 bis 3, also aus der Kombination Mineralwolle im Altbestand und Mineralwolle im aufgedoppelten System. Ausgehend von einem für Altbauten typischen Gesamtwassergehalt für diesen Wandaufbau vor der Aufdoppelung (siehe Tabelle 3) und einer Ausgleichfeuchte von 80 % in dem aufgedoppelten WDVS-System ergeben sich innerhalb der berechneten 5 Jahre typische jahreszeitliche Schwankungen des Gesamtwassergehaltes. Die jahreszeitlichen Schwankungen fallen bei der Kombination Mineralwolle und mineralischer Putz im aufgedoppelten System höher aus als in der Kombination Mineralwolle und Kunstharzputz. Dies gilt analog für die nicht dargestellten Varianten 4 bis 11.

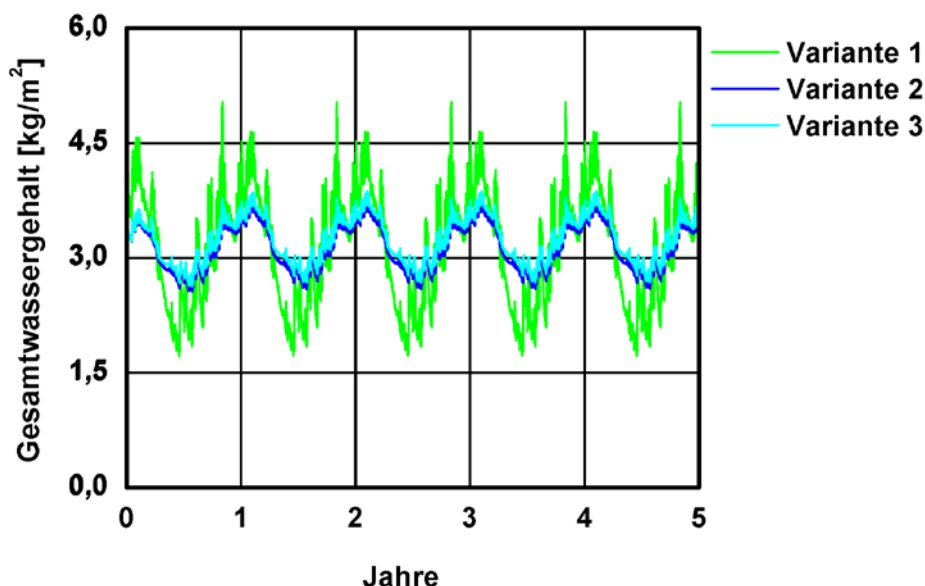


Bild 3: Verlauf des Gesamtwassergehaltes der Varianten 1 bis 3 über einen Zeitraum von 5 Jahren, beginnend im Oktober.  
Course of the total water content of variant 1 to 2 for a period of 5 year, starting in October.

#### 3.2 Einfluss der Aufdoppelung auf den Feuchtehaushalt des bestehenden Systems

Der Wassergehalt der Bimsbetonwand wird durch die Aufdoppelung bei einer Altdämmung aus Mineralwolle nur äußerst geringfügig verändert. Bei einer Altdämmung mit EPS führt die Aufdoppelung zu einer deutlichen Absenkung des Wassergehaltes, begründet durch die damit verbundene höher mittlere Temperatur des Dämmstoffes. Bei allen Varianten bleibt der mittlere Wassergehalt der Bimsbetonwand unterhalb 1,5 Vol.-%.

Auch beim Dämmstoff des Altsystems ergibt sich durch die Aufdoppelung eine deutliche Reduktion der klimabedingten Schwankungsbreite und eine Absenkung des mittleren Wassergehaltes. Bei beiden Dämmstoffarten (Mineralwolle und EPS) ergeben sich äußerst geringe Wassergehalte von lediglich ca. 0,1 Vol.-%.

Naturgemäß hat die Aufdoppelung den größten Einfluss auf den vormals direkt der Witterung ausgesetzten Altputz. Während deren Wassergehalte, bedingt durch Regenereignisse, sehr schnell zwischen Feuchtegehalten von nahezu 0 und freier Wassersättigung variieren, ergibt sich nach der Sanierung ein deutlich ruhigerer Verlauf mit Wassergehalten von unter 5 Vol.-% bei den meisten Varianten. Lediglich bei Variante 4 und 5 mit komplett mineralischem Altsystem und einer Aufdoppelung mit EPS ergeben sich im Winter höhere Wassergehalte (siehe Bild 4), da der Diffusionstransport nach außen durch das EPS reduziert wird.

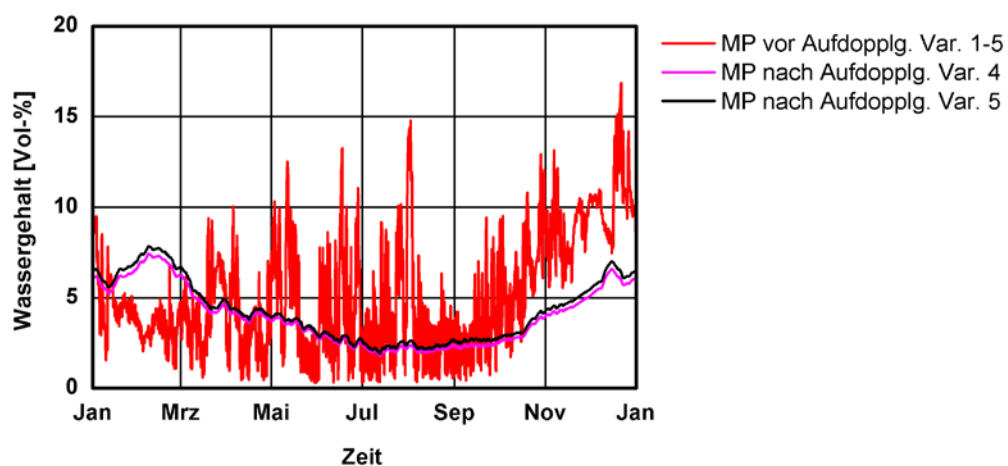


Bild 4: Verlauf des Wassergehaltes des mineralischen Putzes (MP) des bestehenden Systems vor und im 5. Jahr nach der Aufdoppelung für die Varianten 4 bis 5.  
Course of the water content of the mineral rendering (MP) for variant 1 to 5 of the existing system before and 5 years after applying an additional ETICS on top.

Insgesamt zeigen die Berechnungsergebnisse, dass die Aufdoppelung für das bestehende System stets zu einer Verbesserung der Feuchtesituation führt. Das neu aufgebrachte WDVS stellt somit immer einen gewissen Schutz für den Bestand dar.

### 3.3 Feuchtehaushalt der aufgedoppelten Dämmung

Bild 5 zeigt den zeitlichen Verlauf des Wassergehaltes der aufgedoppelten Dämmungen der Varianten 1 bis 3, also der Kombination Mineralwolle unterschiedlicher Dicke auf Mineralwolle bei Verwendung von verschiedenen Außenputzen. In Bild 6 ist die Kombination von Polystyrol auf Mineralwolle mit verschiedenen Außenputzen der Varianten 4 und 5 zu sehen. Bei den Varianten 1, 4 und 5 ergeben sich Werte von stets unter 0,5 Vol.-%. Dagegen steigt der Wassergehalt bei den Varianten 2 und 3, deren aufgedoppelte WDVS-Systeme aus einer Kombination von Mineralwolle und Kunstharzputz bestehen, im Winter auf bis zu 1,6 Vol.-% an. Da dies nur der Mittelwert über die jeweilige Materialbreite ist, ist die Kenntnis der Verteilung des Wassergehaltes über die gesamte Bauteilkonstruktion von Interesse, um lokale Feuchteanreicherungen zu erkennen.

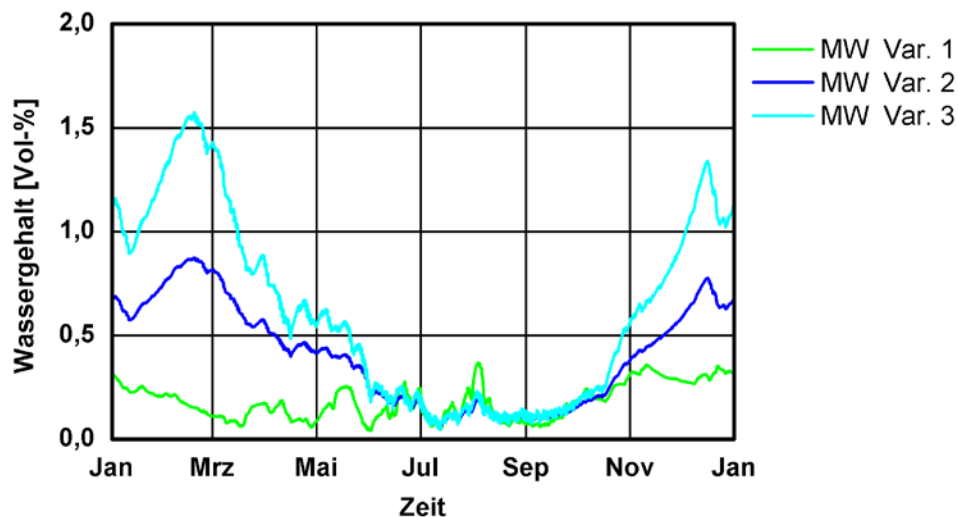


Bild 5: Verlauf des Wassergehaltes der aufgedoppelten Dämmung aus Mineralwolle (MW) für die Varianten 1 bis 3 im 5. Jahr nach der Aufdoppelung.  
 Course of the water content of the additional insulation made of mineral wool for variant 1 to 3 five years after applying the additional ETICS on top.

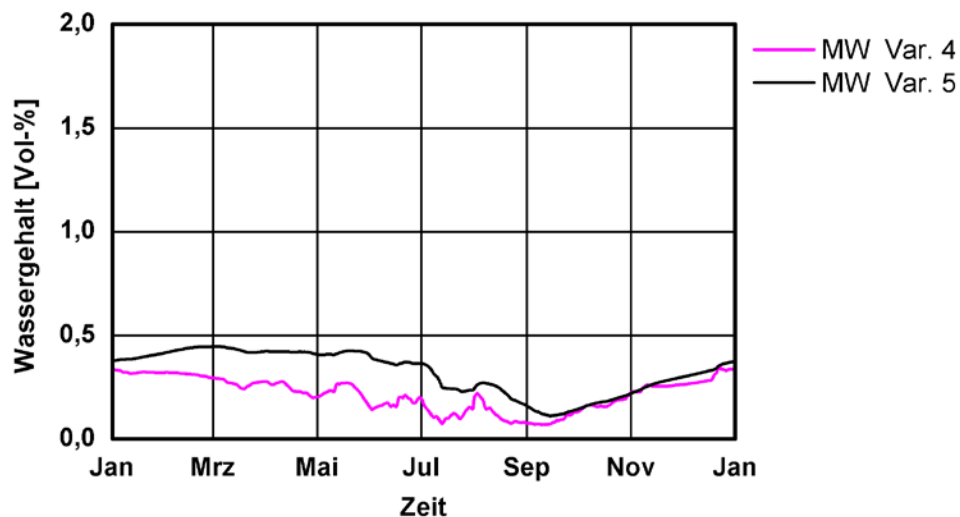


Bild 6: Verlauf des Wassergehaltes der aufgedoppelten Dämmung aus Polystyrol (EPS) für die Varianten 4 und 5 im 5. Jahr nach der Aufdoppelung.  
 Course of the water content of the additional insulation made of polystyrene for variant 4 and 5 five years after applying the additional ETICS on top

Betrachtet man in Bild 7 die Verteilung des Wassergehaltes über die Bauteilkonstruktion der Variante 3 zum Zeitpunkt des höchsten Wassergehaltes (19. Februar, Spitzenwert in Bild 5), so zeigt sich, dass der Außenputz und die Mineralwolle direkt unterhalb des Putzes mit bis zu 28 Vol-% deutlich erhöhte Werte aufweisen. Bereits 1 cm innerhalb der Dämmung liegt der Wassergehalt wieder unter 1-Vol-%.



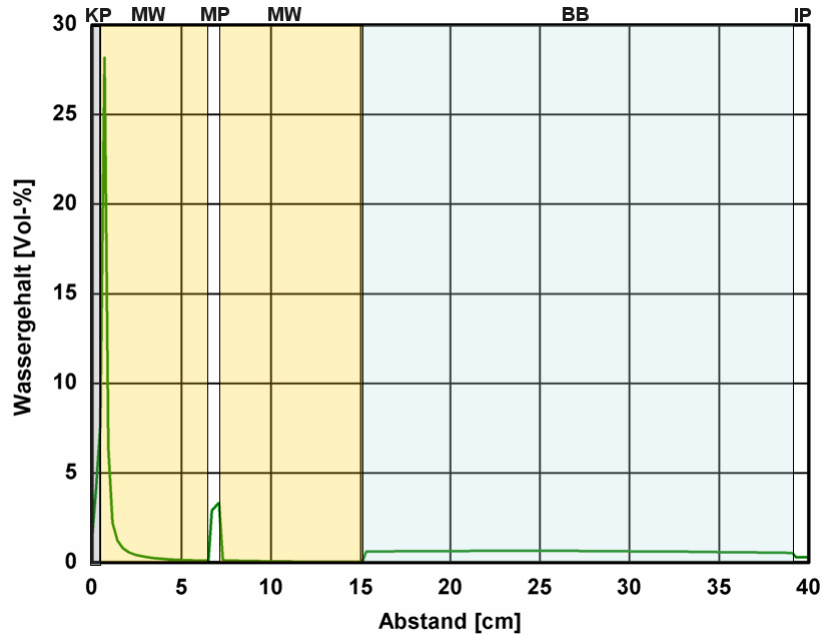


Bild 7: Profil des Wassergehaltes der Bauteilkonstruktion der Variante 3 zum Zeitpunkt des maximalen Wassergehaltes in der Dämmung (19. Februar) (von links: Kunstharzputz (KP) 0,6 cm, Mineralwolle (MW) 6 cm, mineralischer Putz (MP) 0,6 cm, Mineralwolle 8 cm, Bimsbeton (BB) 24 cm, Innenputz (IP) 1,5 cm).  
 Profile of the water content in variant 3 at the point of maximum water content in the insulation (February 19<sup>th</sup>). (from left side: synthetic resin plaster (KP) 0,6 cm, mineral wool (MW) 6 cm, mineral rendering (MP) 0,6 cm, mineral wool 8 cm, pumice concrete (BB) 24 cm, interior plaster (IP) 1,5 cm)

Die Ursache für die hohen Wassergehalte im Übergangsbereich zwischen Dämmung und Außenputz liegt darin, dass auf einer sehr diffusionsoffenen Wandkonstruktion mit dem Kunstharzputz außen eine relativ dichte Beschichtung aufgebracht ist. Dies zeigt sich auch dadurch, dass im Kunstharzputz zeitweise Wassergehalte oberhalb der freien Wassersättigung berechnet werden, die durch Beregnung allein nicht erklärt werden können. Hier fällt ein Teil des vom Innenraum nach außen diffundierenden Wasserdampfes am Kunstharzputz als Tauwasser an. Dies kann langfristig zu einer Schädigung des Verbundes zwischen Außenputz und Dämmstoff und infolge dessen zu Schädigungen, z.B. zum Abplatzen des Putzes, führen.

Zur Verdeutlichung der Problematik sind in Bild 8 die Wassergehalte der Mineralwolle direkt unterhalb des Außenputzes (2. Monitorposition von außen in Bild 2) bei Verwendung eines Kunstharzputzes (Variante 3) und eines mineralischen Putzes (Variante 1) in Abhängigkeit von der örtlichen Temperatur für das 5. Jahr nach der Aufdoppelung dargestellt. Wie deutlich zu sehen ist, ist der Wassergehalt der Mineralwolle an dieser Position bei Verwendung von Kunstharzputz gravierend erhöht. Während bei Verwendung eines mineralischen Putzes der Wassergehalt nicht über  $50 \text{ kg/m}^3$  (5 Vol.-%) steigt, erreicht der Wassergehalt bei der Kombination Mineralwolle/Kunstharzputz Werte von bis zu  $290 \text{ kg/m}^3$  (29 Vol.-%). Damit liegt der Wassergehalt des Dämmstoffes an dieser Stelle auf einem derart hohen Niveau, dass auch eine merkliche Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit gegeben ist.

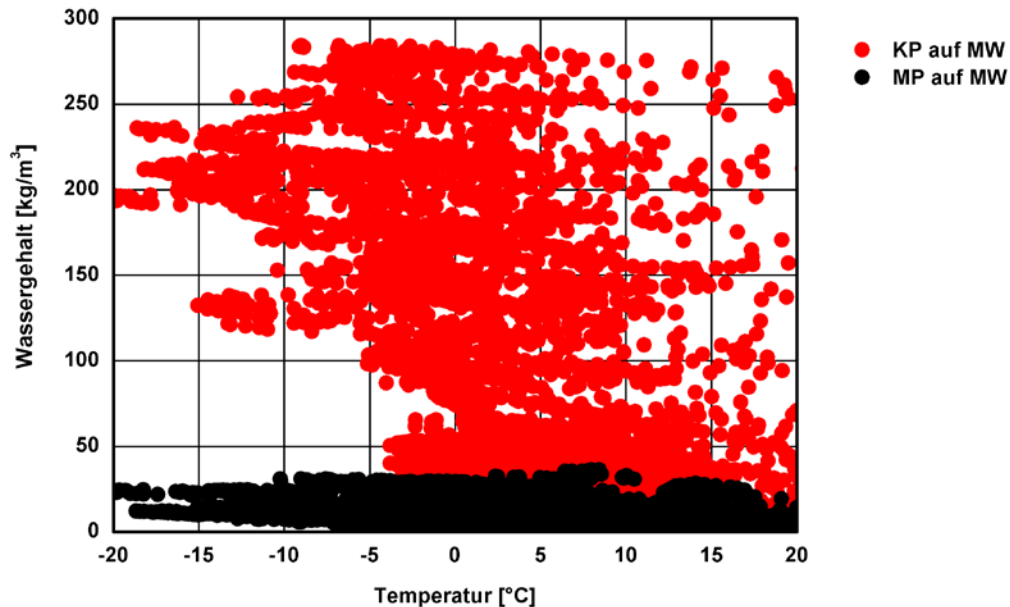


Bild 8: Wassergehalt von Mineralwolle (MW) an der Position direkt unterhalb des mineralischen (MP) und des Kunstharzputzes (KP) in Abhängigkeit von der Temperatur im 5. Jahr nach der Aufdoppelung (Stundenmittelwerte).  
Water content in the mineral wool directly behind the mineral rendering (MP) and the synthetic resin plaster (KP).

Nachdem die rechnerischen Untersuchungen zeigen, dass bei zwei Varianten an der Grenze zwischen Außenputz und Dämmstoff zeitweise hohe Wassergehalte auftreten, stellt sich für die Beurteilung eines Schadensrisikos die Frage, ab welchem Wassergehalt im Dämmstoff Mineralwolle an der Grenzschicht zum Außenputz das Wasser aufgrund dessen Eigengewicht nach unten läuft. In der Literatur wurden dazu keine Angaben gefunden. Um eine Abschätzung für den kritischen Wassergehalt zu erhalten, werden deshalb mit einer speziellen Versuchseinrichtung zur Betauung von Proben Untersuchungen mit Mineralwolle durchgeführt.

Die Proben bestehen aus 1 cm dicker Mineralwolle mit einer Grundfläche von 5 x 5 cm, wobei sowohl Mineralwollplatten als auch -lamellen untersucht werden. Vor dem Betauen lagern die Proben bei 23 °C und 65 % in einer Klimakammer. Eine Seite der Probe wird mit selbstklebender Aluminiumfolie abgeklebt und anschließend wird die Probe gewogen. Danach wird diese Seite mittels einer Wärmeleitpaste, die einen optimalen Wärmetransport zur Probe gewährleistet, auf einen Kühlblock aus Kupfer aufgebracht, dessen Kühlung über einen Kühlwasserkreislauf realisiert wird. Für die Temperaturerfassung auf der Oberfläche wird ein spezieller sehr flacher Pt-100-Fühler auf die Probenoberfläche aufgebracht.

Die Probe wird mittels der rückseitig angebrachten Kühleinrichtung unterkühlt um Tauwasser in der Mineralwolle, vorrangig an der Grenzschicht Mineralwolle/Aluminiumfolie zu erhalten. Die Aluminiumfolie wirkt hier wie ein diffusionsdichter Außenputz. Sobald Tauwasser aus der Probe heraustropft (wie in Bild 9 zu sehen), wird die Probe von der Versuchseinrichtung abgenommen; die Wärmeleitpaste und das Tauwasser auf der Aluminiumfolie werden abgewischt und die Probe gewogen. Nach Abzug des Anfangsgewichtes vor dem Versuch wird somit die Wassermenge in der Probe bestimmt, die zu einem Abtropfen von Wasser führt.



Bild 9: Rückwärtig unterkühlte Mineralwolleprobe mit Tauwasser.  
Mineral wool specimen cooled from the back side.

Mit diesen experimentellen Untersuchungen wird der kritische Wassergehalt für eine 1 cm dicke Probe aus Mineralwolle ermittelt, ab dem Wasser austritt. Die Messergebnisse liefern trotz unterschiedlicher Orientierung der Mineralwollfasern sowohl für Mineralwollplatten als auch für – lamellen einen kritischen Wert für den Wassergehalt von etwa  $20 \text{ kg/m}^3$  (gemittelt über die 1 cm dicke Probe). Auf die Fläche bezogen ergibt sich aus dem Experiment ein Abfließen ab einer Tauwassermenge von  $200 \text{ g/m}^2$  an der Grenzfläche zwischen Mineralwolle und Putz. Wird dieser Wert überstiegen, ist mit senkrecht nach unten driftendem Wasser in dem Übergangsbereich von Außenputz und Dämmung zu rechnen. Damit ist von einer erhöhten Feuchtigkeit im unteren Bereich der Wandkonstruktion und einer Erhöhung des Frostrisikos mit der Folge des Abplatzen des Putzes in diesem Bereich auszugehen. Aufgrund der Rauigkeit des Putzes kann am kompletten System der Wassergehalt, ab dem ein Abfließen zu erwarten ist, etwas höher liegen als an der Grenzfläche zwischen Mineralwolle und Aluminiumfolie der verwendeten Proben.

In Bild 10 sind die im 5. Jahr nach der Aufdoppelung maximal erreichten Wassergehalte der 1 cm dicken Mineralwollschicht direkt unterhalb des Putzes mit dem für Mineralwolle kritischen Wassergehalt als Grenzwert dargestellt. Der Unterschied der errechneten maximal erreichten Werte des Wassergehaltes in Bild 10 und die der errechneten Werte in Bild 8 erklärt sich damit, dass in Bild 8 die punktuelle Situation in der Mineralwolle direkt unterhalb des Putzes dargestellt ist. In Bild 10 ist der Wassergehalt der Mineralwolle über 1 cm gemittelt (von der Position direkt unterhalb des Putzes bis in 1 cm Tiefe). Die Mittelung über 1 cm Probendicke ermöglicht einen direkten Vergleich mit dem in den experimentellen Untersuchungen ermittelten Wassergehalt der 1 cm dicken Mineralwollprobe. Variante 1 mit der Kombination Mineralwolle und mineralischen Außenputz liegt mit maximal  $17,5 \text{ kg/m}^3$ , wie erwartet, immer unter dem kritischen Wert. Die maximalen Werte für die Varianten 2 und 3 liegen mit jeweils  $80 \text{ kg/m}^3$  deutlich über dem kritischen Wert. Hier muss also mit nach unten driftendem Wasser gerechnet werden. Zunächst erscheint es überraschend, dass Variante 2 und 3 die gleichen maximalen Wassergehalte aufweisen, obwohl beim in Bild 5 dargestellten Verlauf der Wassergehalte die Variante 2 nur einen etwa halb so großen maximalen Wassergehalt aufweist. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um den über die ganze Dämmstoffdicke gemittelten Wert handelt und Variante 2 gegenüber Variante 3 eine doppelt so dicke Dämmung besitzt. Bei gleichem maximalem Wassergehalt im äußersten Zentimeter ergibt sich

somit etwa der halbe mittlere Wassergehalt, da der restliche Dämmstoff nur sehr geringe Wassergehalte aufweist.

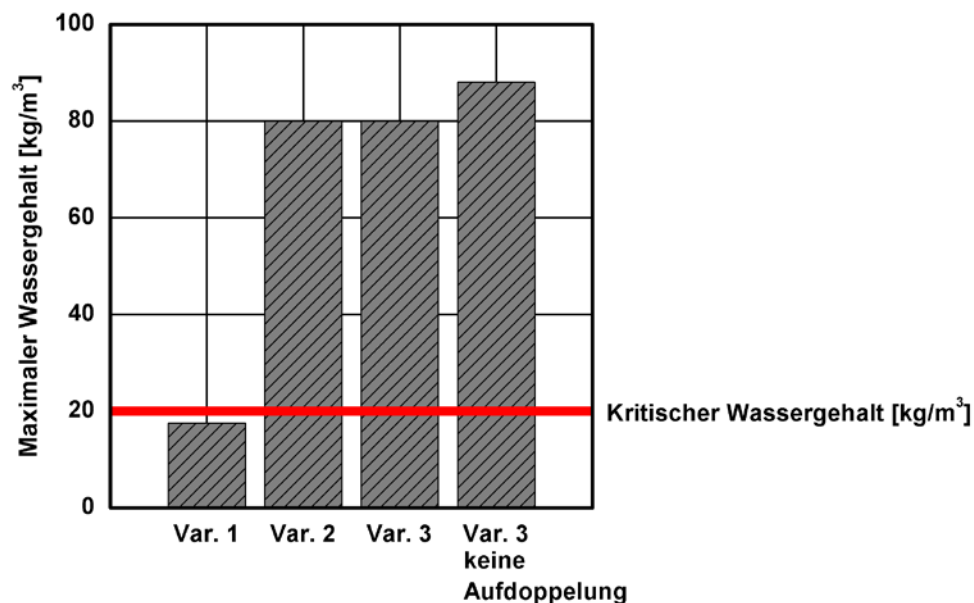


Bild 10: In 1 cm Mineralwolle unterhalb des Außenputzes maximal auftretender Wassergehalt der Varianten 1 bis 3 sowie der Variante 3 ohne Aufdoppelung und bezüglich des Austretens von Wasser kritischer Wassergehalt in dieser Schicht. Maximum water content 1 cm below the exterior rendering of variant 1 to 3 as well as a system with 140 mm mineral wool and synthetic resin rendering (similar to variant 3, without the old mineral rendering). This critical water content is marked as a red line.

Um die Frage zu klären, inwieweit die Aufdoppelung des WDV-Systems einen Einfluss auf die maximal erreichten Wassergehalte in dieser Schicht hat, wurden Berechnungen mit einer Wandkonstruktion analog der von Variante 3 durchgeführt, bei der jedoch keine Aufdoppelung erfolgt (also ohne Altputz). Der Wandaufbau besteht somit aus Innenputz, Bimsbeton, 14 cm Mineralwolle und Kunstharzputz. Es wird ebenfalls der maximale Wassergehalt innerhalb von 1 cm Mineralwolle direkt unterhalb des Putzes betrachtet. Hier liegt der maximale Wassergehalt mit fast  $90 \text{ kg/m}^3$  sogar noch über dem der Varianten 2 und 3. Die Kombination aus einem diffusionsoffenen Wandaufbau und einem diffusionsdichtem Außenputz muss somit stets als kritisch betrachtet werden.

Bei den Varianten mit EPS als Dämmstoff für das Altsystem und Aufdoppelung mit EPS ergeben sich stets nur sehr geringe Wassergehalte im neuen Dämmstoff. Bei einer Aufdoppelung mit Mineralwolle sieht die Situation hier etwas ungünstiger aus. Nur mit einem diffusionsoffenen mineralischen Neuputz (Var. 9) bleibt der Wassergehalt unterhalb des kritischen Wassergehaltes (siehe Bild 11). Bei Verwendung eines Kunstharzputzes liegt der maximale Wassergehalt in der Schicht unterhalb des Außenputzes dagegen darüber; bei einem mineralischen Altputz in stärkerem Maße als bei einem Altputz auf Kunstharzbasis.

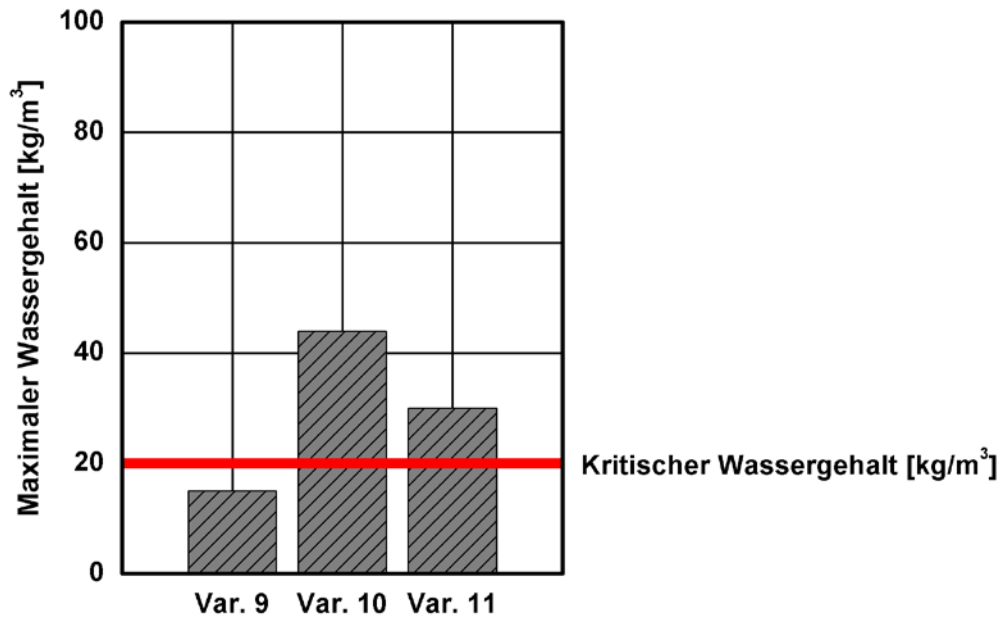


Bild 11: In 1 cm Mineralwolle unterhalb des Außenputzes maximal auftretender Wassergehalt der Varianten 9 bis 11 und bezüglich des Austretens von Wasser kritischer Wassergehalt in dieser Schicht.

Maximum water content 1 cm below the exterior rendering of variant 9 to 11. This critical water content is marked as a red line.

## 4 Beurteilung der Ergebnisse

Elf Bauteilvarianten mit aufgedoppeltem WDVS werden mit Hilfe eindimensionaler Berechnungen in Bezug auf das feuchtetechnische Verhalten beurteilt. Die Berechnungen zeigen, dass sich in den einzelnen Materialschichten, bis auf die Außenputze (witterungsbedingt), aller Varianten relativ geringe mittlere Wassergehalte ergeben. Die Wassergehalte in den Dämmschichten liegen weit unter 2 Vol.-% und damit auf einem Niveau, bei dem noch keine Absenkung der Dämmwirkung zu erwarten ist. Bis auf die Varianten 2 und 3 sowie 10 und 11 sind bei keinem der untersuchten Systeme feuchtetechnische Probleme zu erwarten. Diese Varianten sind dadurch gekennzeichnet, dass hierbei auf eine Mineralwollendämmung mit einem Kunstharzputz außen eine relativ diffusionsdichte Beschichtung aufgebracht ist. Dies führt dazu, dass sich vor allem im Winter an der Grenzfläche zwischen Mineralwollendämmung und Außenputz zeitweise hohe Feuchtegehalte ergeben und der Außenputz Wassergehalte erreichen kann, die oberhalb der freien Wassersättigung liegen. In diesem Übergangsbereich kann es langfristig zu einer Schwächung des Verbundes zwischen Putz und Dämmstoff und damit zu entsprechenden Schadensbildern kommen.

Vor allem bei den Varianten 2 und 3, bei denen auf einem diffusionsoffenen alten WDVS mit Mineralwollendämmung und mineralischem Putz eine weitere Mineralwollendämmung, aber mit außenseitigem relativ diffusionsdichtem Kunstharzputz, aufgebracht ist, ist mit Schädigungen zu rechnen. Hier treten an der Grenzfläche zwischen Dämmung und Außenputz zeitweise derart hohe Wassergehalte auf, dass ein Abfließen des Kondensats erfolgen wird. In den unteren Bereichen der Fassade werden dadurch deutlich erhöhte Wassergehalte auftreten, die gegebenenfalls zu Frostschäden, Verfärbungen oder vermehrtem biologischen Bewuchs führen werden.

Bei den Varianten 10 und 11 sind aufgrund des mit Polystyrol­dämmung versehenen diffusionsdichteren Altsystems deutlich geringere Kondensatmengen an der Rückseite des Außenputzes gegeben. Aber auch hierbei ist nicht auszuschließen, dass, wenn auch in geringerem Maße, vergleichbare Schäden auftreten. Dies gilt vor allem dann, wenn ein Kunstharzputz mit höherem Diffusionswiderstand, als bei den Berechnungen zugrunde gelegt wird, eingesetzt wird.

Zusammengefasst lässt sich somit feststellen, dass bei allen Aufdoppelungssystemen mit mineralischem Außenputz und bei den Systemen mit Kunstharzputz bei gleichzeitiger Verwendung einer Dämmung aus Polystyrol (wahlweise in der Aufdoppelung oder in beiden Dämmungen) bei korrekter Bauausführung keine feuchtetechnischen Probleme zu erwarten sind. Die Kombination von EPS im Altsystem mit Mineralwoll­dämmung und Kunstharzputz in der Aufdoppelung kann zu Feuchteschäden führen.

Allgemein muss davon ausgegangen werden, dass infolge der Aufdoppelung des WDVS-Systems und der damit verbundenen geringeren Wärmeströme durch das Bauteil die Temperaturen der Außenoberflächen geringer sind als ohne Aufdoppelung. Damit ist vermehrt mit Tauwasseranfall auf der Oberfläche, hervorgerufen durch die nächtliche langwellige Abstrahlung, und infolgedessen mit einem erhöhten Bewuchsrisko zu rechnen. Dieser Effekt tritt jedoch bei allen WDV-Systemen mit vergleichbarem Dämmwert auf.

## 5 Literatur

- [1] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart (1994).
- [2] Krus, M., Künzel, H.M., Kießl, K.: Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk. Bauforschung für die Praxis (1996), Band 25, IRB-Verlag Stuttgart.
- [3] Künzel, H.M.: Praktische Beurteilung des Feuchteverhaltens von Bauteilen durch moderne Rechenverfahren. WTA-Schriftenreihe (1999), Heft 18, Aedificatio Verlag.
- [4] Künzel, H.M., Krus, M.: Beurteilung des Feuchteverhaltens von Natursteinfassaden durch Kombination von rechnerischen und experimentellen Untersuchungsmethoden. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen (1995), H. 1, S. 5-19.
- [5] Künzel, H.M., Kießl, K., Krus, M.: Feuchtemigration und langfristige Feuchteverteilung in exponierten Natursteinmauern. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen (1995), H. 4, S. 267-279
- [6] Künzel, H.M. und Kießl, K.: Feuchte- und Wärmeschutz von Sichtmauerwerk mit und ohne Fassadenhydrophobierung. Mauerwerksbau (1998).
- [7] Künzel, H. M.: Bestimmung der Schlagregenbelastung von Fassadenflächen. IBP Mitteilung (1994), Nr. 263.
- [8] Künzel, H. M.: Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnräumen. IBP Mitteilung (1997), Nr. 314.