

Aus dem Institut für Baukonstruktion und Bauphysik  
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Untersuchung zur Verbesserung  
des hygrothermischen Verhaltens von Gebäuden in Syrien  
als Beitrag für eine nachhaltige Baupolitik**

Dissertation  
zur  
Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)  
an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

vorgelegt von  
MSc. -Ing. Muhamad Ayas Harfosh,  
geb. am 29. März 1974 in Lattakia aus Syrien

urn:nbn:de:gbv:28-diss2008-0023-9

Rostock, den 13.02.2008

## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit stellt effektive, anwendbare Lösungen vor, indem sie die in Deutschland bekannten Wärme- und Feuchteschutzkonzepte auswertet und für die Verbesserung des hygrothermischen Verhaltens und der energetischen Leistung von Gebäuden in Syrien modifiziert. Für dieses Ziel wurde eine Simulationstechnologie genutzt, mit welcher dieses Verhalten mit und ohne die vorgeschlagenen Lösungen untersucht wurde.

Die Untersuchung erfolgte für Klimabedingungen im Raum Damaskus und Lattakia. Dafür wurde eine eigene Datenbank für die bauphysikalischen Kennwerte der typischen syrischen Baumaterialien hergestellt und eines der eingesetzten Simulationsprogramme für Syrien validiert.

Es konnte dabei durch einfache Wärmeschutznachweise festgestellt werden, dass eine Reduzierung des Energiebedarfs für die Klimatisierung einer typischen syrischen Wohnung bis um 75 % möglich ist, was der Vermeidung von ca. 200 kg/(m<sup>2</sup>a) CO<sub>2</sub>-Anstoß jährlich entsprechen würde. Durch diese potentielle Energieeinsparung im laufenden Betrieb wäre eine Refinanzierung der anfallenden Mehrkosten für die vorgeschlagenen baulichen Wärmeschutzmaßnahmen in weniger als 9 Jahren möglich (vgl. 8.3.2). Gleichzeitig sind klimabedingte Feuchteprobleme durch diese Maßnahmen effektiv beseitigt werden.

Abschließend wird ein Paket von erforderlichen regulativen Maßnahmen vorgeschlagen, die für Durchsetzung des energetisch optimierten qualitativen Bauens mit dem Ziel einer nachhaltigen Baupolitik in Syrien erforderlich sind.

## Glossar zu Fachbegriffen

Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes: Gesamtenergiedurchlassgrad für Verglasung und Sonnenschutz.

Dezentrale Klimageräte mit Splitsystem: Geräte zur Kühlung und Heizung. Sie verfügen über einen Kältekreislauf, über den bei Kühlung die Wärme von der Raumluft entzogen und an die Außenluft abgegeben wird. Folglich benötigen sie ein Medium (Kältemittel), mit dem die Wärme transportiert werden kann. Die Filterung erfolgt über Filtervliese und die Lufttrocknung über Kondensationsflächen mit Wasserabläufen.

Dichte: Quotient aus der Masse und dem Volumen.

Feuchtespeicherfunktion: Ein Baustoff kann maximal so lange Feuchte aufnehmen, bis alle seine Poren mit Wasser gefüllt sind.

Flüssigtransportkoeffizient Saugen: Kapillare Wasseraufnahme bei vollständiger Benetzung der Bauteiloberfläche. Dies entspricht in bauphysikalischem Zusammenhang der Beregnung des Bauteils oder einem Wasseraufnahmeversuch. Der Saugvorgang wird von den größeren Kapillaren bestimmt.

Flüssigtransportkoeffizient Weiterverteilung: Umverteilung des aufgesaugten Wassers, wenn nach Beendigung der Benetzung (z.B. Regen) kein neues Wasser mehr eindringt und das vorhandene Wasser sich zu verteilen beginnt (Trocknung). Die Weiterverteilung wird von den kleineren Kapillaren bestimmt, da sie mit ihrer größeren Saugkraft die großen Kapillaren entleeren.

Freie Sättigung: Definiert diejenige Stofffeuchte, die durch freies Saugen ohne Einwirkung äußerer Kräfte unter Normaldruck erreicht werden kann.

Luftwechsel (Infiltration): Austausch des gesamten Luftvolumens eines geschlossenen Raumes durch die Fugen in der Zeiteinheit (meist pro Stunde).

Porosität: Verhältnis des Volumens aller Hohlräume eines porösen Festkörpers zu dessen äußerem Volumen.

Sättigungsdampfdruck: Maximaler Dampfdruck bei einer bestimmten Temperatur.

Spezifische Wärmekapazität: Benötigte Wärmemenge, um die Temperatur einer Messeinheit eines Werkstoffes bei konstanter Temperatur und konstantem Druck um 1 K zu erhöhen.

Stahlsteinplatte: Flächiges Bauteil aus Steinen (Beton, Ziegel), die zusammen mit Stahleinlagen und frischem Beton zu einem homogenen Bauteil vergossen werden. Unterschiedliche Varianten sind mit mehr oder weniger großen Hohlräumen versehen, was zu einer Gewichtsersparnis bei Decken führen kann.

Unbelüftetes Flachdachsystem (Warmdach): Unter einem Warmdach versteht man ein einschaliges, unbelüftetes Dach, bei dem eine witterungsbeständige Dachabdichtung über der Wärmedämmung liegt, auf der eine Kies- bzw. Zementschicht noch kommt.

Wärmeleitfähigkeit: Stoffeigenschaft, die bestimmt, wie groß in einem gegebenen Temperaturfeld der Wärmestrom ist, der die Messfläche unter der Wirkung des in Richtung der Flächennormale genommenen Temperaturgefälle durchströmt.

Wärmeübergangswiderstand: Hervorgerufen durch eine vorhandene Temperaturdifferenz zwischen der Luft und der Oberfläche eines Bauteils, erfolgt durch Konvektion und Strahlung.

Wärmedurchlasswiderstand: Beschreibt das Verhältnis zwischen Materialdicke und seiner Wärmeleitfähigkeit.

Wärmedurchgangskoeffizient: Der U-Wert (früher k-Wert) wird auch als „Wärmedurchgangszahl“ bezeichnet. Er gibt an, welche Wärmemenge pro Stunde durch einen Quadratmeter eines Bauteils fließt, wenn der Temperaturunterschied zwischen der Luft der anschließenden Räume 1 Grad Kelvin (entspricht 1 Grad Celsius) beträgt.



Wärmedurchgangswiderstand: Gesamtwiderstand der Wärmewanderung von einer zur anderen Seite eines Bauteils. Er ergibt sich durch die Addition der gesamten Wärmedurchlasswiderstände eines Bauteils und der Wärmeübergangswiderstände.

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl: Quotient aus dem Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizienten der Luft und dem des betrachteten Stoffes.

Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient: Produkt aus dem Wasserdampfdiffusionsdurchlasskoeffizienten und der Dicke eines Werkstoffs.

Wasseraufnahmekoeffizient: Quotient aus der aufgenommenen Wassermenge eines Baustoffs und dem Produkt aus der Flächeneinheit und der Quadratwurzel der Zeit.

Wärmedämmverbundsystem (WDVS): Dämmsystem aus Dämmstoffplatten, die direkt von außen auf die Fassade (Neubau) oder auf den vorhandenen Außenputz (Altbau) aufgebracht werden (aufgeklebt und bei entsprechendem Untergrund zusätzlich zu dübeln).

Zentrale Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftsystem: System zur Lüftung und Klimatisierung eines gesamten Gebäudes. Über entsprechende Ventile gelangt die gefilterte Frischluft in die Zulufräume. Von dort strömt sie durch den sogenannten "Überströmungsbereich" (Diele, Flur, Gang) zu den Ablufträumen (Bad, WC). Von hier wird sie über Abluft-Ventile abgesaugt und ein Grossteil ihres Wärmeinhaltes wird vom zentralen Lüftungsgerät zurückgewonnen. Erst dann wird sie nach außen abgegeben.

## Verzeichnis der Formelzeichen und der Symbole

|              |                                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_w$        | Wasseraktivität für Schimmelpilzbildung [-]                                         |
| $c$          | Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kgK)]                                               |
| $C_a$        | CO <sub>2</sub> - Konzentration in der Außenluft [ppm]                              |
| $C$          | CO <sub>2</sub> - Konzentration in der Raumlufte [ppm]                              |
| $d_B$        | Dicke der Bauteile [m]                                                              |
| $d_h$        | Dicke der Luftschicht [m]                                                           |
| $d_s$        | Dicke der Hohlblocksteine [m]                                                       |
| $D_w$        | Flüssigtransportkoeffizient [m <sup>2</sup> /s]                                     |
| $D_{w_s}$    | Flüssigtransportkoeffizient Saugen [m <sup>2</sup> /s]                              |
| $D_{w_w}$    | Flüssigtransportweiterverteilung [m <sup>2</sup> /s]                                |
| $D_\phi$     | Flüssigleitkoeffizient [kg/(ms)]                                                    |
| $e_P$        | Primärenergiefaktor [-]                                                             |
| $f$          | Unebenheit des Fassadenuntergrundes [cm/m]                                          |
| $F_c$        | Abminderungsfaktor der Sonnenschutzvorrichtung [-]                                  |
| $f_T$        | Reduktionsfaktor für Verschattungselemente [-]                                      |
| $g$          | Gesamtenergiedurchlassgrad [-]                                                      |
| $G_t$        | Heizgradstunden [Kh]                                                                |
| $h_v$        | Verdunstungsenthalpie des Wassers [J/kg]                                            |
| $H$          | Enthalpie des feuchten Baustoffs [J/m <sup>3</sup> ]                                |
| $L$          | Länge der Wärmebrücke [m]                                                           |
| $N$          | Natürlicher Leckagenluftwechsel [h <sup>-1</sup> ]                                  |
| $n_{50}$     | Leckagenluftwechsel mit der Messmethode Blower Door bei 50 Pa [h <sup>-1</sup> ]    |
| $p$          | Wasserdampfpartialdruck [Pa]                                                        |
| $pH$         | Maß für die Stärke der sauren bzw. der basischen Wirkung einer wässrigen Lösung [-] |
| $p_{sat}$    | Sättigungsdampfdruck bei Versuchtemperatur [Pa]                                     |
| $q_w$        | Wärmeverluste durch Wärmebrücken [kWh]                                              |
| $q$          | Wärmestrom über den Hohlblockstein [W/m <sup>2</sup> ]                              |
| $Q_{T_w}$    | Wärmeverluste bzw. Wärmelast durch die Außenwand [%]                                |
| $Q_{T_F}$    | Wärmeverluste bzw. Wärmelast durch die Fenster [%]                                  |
| $Q_{T_D}$    | Wärmeverluste bzw. Wärmelast durch das Dach [%]                                     |
| $Q_{T_{WB}}$ | Wärmeverluste bzw. Wärmelast durch die Wärmebrücken [%]                             |
| $R$          | Kapillarradius [m]                                                                  |

|               |                                                                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_D$         | Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kgK)]                                                          |
| $R_e$         | Wärmeübergangswiderstand der Außenoberflächen [m <sup>2</sup> K/W]                              |
| $R_H$         | Relative Feuchte [%]                                                                            |
| $R_i$         | Wärmeübergangswiderstand der Innenoberflächen [m <sup>2</sup> K/W]                              |
| $R_L$         | Wärmedurchlasswiderstand der Luft [m <sup>2</sup> K/W]                                          |
| $R^2$         | Korrelationskoeffizient [-]                                                                     |
| $S$           | Pro zeit in die Raumluf abgegebene CO <sub>2</sub> - Masse [g/h]                                |
| $t$           | Zeit [h]                                                                                        |
| $T$           | Absolute Temperatur [K] oder gemessene bzw. berechnete Temperatur [° C]                         |
| $u$           | Wassergehalt [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]                                                  |
| $U$           | Wärmdurchgangkoeffizient [W/(m <sup>2</sup> K)]                                                 |
| $U_D$         | Wärmdurchgangkoeffizient des Daches [W/(m <sup>2</sup> K)]                                      |
| $U_f$         | Wärmdurchgangkoeffizient der Fensterrahmen [W/(m <sup>2</sup> K)]                               |
| $U_g$         | Wärmdurchgangkoeffizient der Fensterglasscheibe [W/(m <sup>2</sup> K)]                          |
| $U_w$         | Wärmdurchgangkoeffizient des gesamten Fensters [W/(m <sup>2</sup> K)]                           |
| $U_{WA}$      | Wärmdurchgangkoeffizient der Außenwand [W/(m <sup>2</sup> K)]                                   |
| $V$           | Raumlufvolumen [m <sup>3</sup> ]                                                                |
| $V'$          | Kumulative Porenvolumen [m <sup>3</sup> /kg]                                                    |
| $W$           | Wassergehalt in [kg/m <sup>3</sup> ]                                                            |
| $w_f$         | Freie Wassersättigung [kg/m <sup>3</sup> ]                                                      |
| $W_w$         | Wasseraufnahmekoeffizient [kg/(m <sup>2</sup> √s)] bzw. [kg/(m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> )] |
| $\beta$       | Randwinkel [grad]                                                                               |
| $\beta_D$     | Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]                                                            |
| $\delta$      | Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient in Luft [kg/(msPa)]                                        |
| $\theta$      | Temperatur [°C]                                                                                 |
| $\theta_e$    | Außentemperatur [°C]                                                                            |
| $\theta_i$    | Raumtemperatur [°C]                                                                             |
| $\theta_{si}$ | Mittlere Raumboberflächentemperatur [°C]                                                        |
| $\lambda$     | Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs [W/(mK)]                                                       |
| $\lambda_B$   | Wärmeleitfähigkeit des Bauteils [W/(mK)]                                                        |
| $\lambda_L$   | Effektive Wärmeleitfähigkeit der Luft [W/(mK)]                                                  |
| $\lambda_S$   | effektive Wärmeleitfähigkeit der Hohlblockstein [W/(mK)]                                        |
| $\mu$         | Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl (im trocken Zustand) [-]                                    |
| $\mu^*$       | Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl (im feuchten Zustand) [-]                                   |

|                |                                                                                                                               |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\zeta_v$      | Lichttransmissionsgrad [-]                                                                                                    |
| $\phi$         | Relative Feuchte [%]                                                                                                          |
| $\Delta\theta$ | Temperaturdifferenz zwischen außen und innen bzw. Temperaturdifferenz zwischen den gemessenen und berechneten Ergebnissen [K] |
| $\Delta p$     | Differenzdruck [Pa]                                                                                                           |
| $\Delta RH$    | Relative Feuchtedifferenz zwischen den gemessenen und berechneten Ergebnissen [%]                                             |
| $\rho$         | Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]                                                                                                   |
| $\rho_w$       | Dichte des Wassers [kg/m <sup>3</sup> ]                                                                                       |
| $\rho_p$       | Rohdichte der Probe [kg/m <sup>3</sup> ]                                                                                      |
| $\sigma$       | Oberflächenspannung des Wassers [N/m]                                                                                         |
| $\sigma_H$     | Haftzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]                                                                                        |
| $\alpha$       | Sonnenwinkel [°]                                                                                                              |
| $\delta$       | partielle Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient in Luft [kg/(msPa)]                                                            |
| $\partial$     | Ableitung                                                                                                                     |
| $\Psi$         | Längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(mK)]                                                                       |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Messergebnisse der Rohdichte und der Porosität. ....                                                                                                                                                  | 15 |
| Tabelle 2: Wärmekapazität der untersuchten Baustoffe. ....                                                                                                                                                       | 15 |
| Tabelle 3: Wärmeleitfähigkeit und Wärmedurchgangskoeffizienten der untersuchten<br>Baumaterialien und Bauteile. ....                                                                                             | 17 |
| Tabelle 4: Messergebnisse der Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl $\mu$ .....                                                                                                                                    | 18 |
| Tabelle 5: Maximaler Wassergehalt unter natürlichen Bedingungen $w_f$<br>verschiedener Materialien. ....                                                                                                         | 20 |
| Tabelle 6: Wasseraufnahmekoeffizienten $W_w$ der untersuchten Baumaterialien nach<br>der automatischen Messmethode. ....                                                                                         | 22 |
| Tabelle 7: Ergebnisse der natürlichen Infiltration für drei Stichproben (Wohnräume),<br>unter denen die untersuchten Wohnzimmer der Beispielgebäude<br>enthalten sind.....                                       | 29 |
| Tabelle 8: Maximale und summenhäufige Abweichungen der berechneten<br>Ergebnisse von Messergebnissen. ....                                                                                                       | 32 |
| Tabelle 9: Dämmsysteme im nachteiligen (-) und vorteiligen (+) Vergleich. ....                                                                                                                                   | 40 |
| Tabelle 10: Technische Eigenschaften der vorgeschlagenen Dämmstoffe. ....                                                                                                                                        | 43 |
| Tabelle 11: Physikalische Eigenschaften der typischen Fenster in Syrien gegenüber<br>dem vorgeschlagenen Fenster.....                                                                                            | 47 |
| Tabelle 12: Abminderungsfaktoren verschiedener Sonnenschutzvorrichtung nach<br>DIN 4108-2.....                                                                                                                   | 48 |
| Tabelle 13: Heiz- und Kühlenergiebedarf der untersuchten Wohnungen vor und nach<br>den vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen.....                                                                               | 57 |
| Tabelle 14: Berechnung der potentiellen CO <sub>2</sub> -Emissionen im Bereich der<br>Wohngebäude in Syrien, die durch die vorgeschlagenen energetischen<br>Verbesserungsmaßnahmen vermieden werden könnten..... | 68 |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Porenstruktur der untersuchten Baumaterialien.....                                                                                                                                                                   | 14 |
| Abbildung 2: Unterschiedliche Phasen der Feuchtespeicherfunktion eines Materials nach VÖLKNER (2003).....                                                                                                                         | 18 |
| Abbildung 3: Sorptions- und Desorptionsisothermen verschiedener untersuchten Materialien (a, b, c) und deren vorgenommenen Mittelung (d). ....                                                                                    | 19 |
| Abbildung 4: Anpassungsprozess zwischen den Druckporosimetriekurven und den Sorptionsisothermen der untersuchten Baumaterialien (a, b, c) und die daraus entwickelte Feuchtespeicherfunktion (d).....                             | 22 |
| Abbildung 5: Darstellung der durch die Approximation bestimmten Flüssigtransportkoeffizienten $Dw_w$ und $Dw_s$ . ....                                                                                                            | 24 |
| Abbildung 6: Gegenüberstellung der relativen Feuchte und der Raumtemperatur (berechnet und gemessen) für Wohnzimmer 1 und 2. [Abk. DAM für Damaskus und LAT für Lattakia].....                                                    | 34 |
| Abbildung 7: Korrelationsqualität zwischen den gemessenen und berechneten Ergebnissen.....                                                                                                                                        | 35 |
| Abbildung 8: Mess-Rechenabweichungen der Innen-Oberflächentemperatur der Innenwand bzw. des Daches zeigen, dass Wärmequellen (Heizung für Bild a bzw. Solarstrahlung für Bild b) bei der Berechnung nicht einbezogen wurden. .... | 36 |
| Abbildung 9: Aufbau des vorgeschlagenen Wärmedämmverbundsystems (a) bzw. des gedämmten Flachdachs (b). ....                                                                                                                       | 42 |
| Abbildung 10: Prinzip der geometrischen Wärmebrücken in der Kante der Außenwand nach FEIST (2004). Die Pfeile symbolisieren den Wärmestrom. ....                                                                                  | 44 |
| Abbildung 11: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der südwestorientierten Wohnung für die Beispiele Damaskus (a, b) und Lattakia (c, d) – jeweils vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen. ...                    | 55 |
| Abbildung 12: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der nordwestorientierten Wohnung für die Beispiele Damaskus (a, b) und Lattakia (c, d) – jeweils vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen. ...                   | 56 |
| Abbildung 13: Einfluss der nächtlichen Querlüftung auf die Raumtemperatur ohne und mit Berücksichtigung der konstruktiven                                                                                                         |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Verbesserungsmaßnahmen. Beispiele Damaskus (a) und Lattakia (b)<br>(Wohnzimmer Südwest).....                                                                                                                                                                | 60 |
| Abbildung 14: Innenoberflächentemperatur der nördlichen Fassade des<br>Wohnzimmers gegenüber der Raumlufttemperatur (Beispiel<br>Damaskus).....                                                                                                             | 61 |
| Abbildung 15: Heizungs- und Kühlenergiebedarf der syrischen Häuser gegenüber<br>dem Heizwärmebedarf der energetischen Gebäudetypen in<br>Deutschland.....                                                                                                   | 62 |
| Abbildung 16: Prozentuale Reduzierung der Wärmetransmission, der Solarlast, der<br>Heizung, der Kühlung und des Gesamtheiz- Kühlenergiebedarfs durch<br>die vorzusehenden konstruktiven Maßnahmen. Die Reduzierung<br>bezogen auf den unsanierten Fall..... | 64 |
| Abbildung 17: Wirkungsanteile der getroffenen konstruktiven Maßnahmen an der<br>Reduzierung des Energiebedarfs im Winter (a) und im Sommer (b). 64                                                                                                          |    |
| Abbildung 18: Günstige Dämmstoffdicke im Verhältnis zur Wirtschaftlichkeit unter<br>syrischen Bedingungen (Beispiel Damaskus).....                                                                                                                          | 65 |
| Abbildung 19: Amortisationszeit, in der die Investitionskosten der vorgeschlagenen<br>Wärmeschutzmaßnahmen durch die Einsparung von Energiekosten<br>abgedeckt werden können.....                                                                           | 67 |
| Abbildung 20: Einfluss der Orientierung auf das Raumklima. Beispiel Damaskus,<br>Temperaturverlauf für süd-, nord- und westorientierte Schlafzimmer im<br>Dezember und Juni.....                                                                            | 70 |
| Abbildung 21: Tauwasserbildung an lokalen Wärmebrücken (Wanddecke und<br>Stahlstein bzw. Stahlbetonplattendaschluß mit einer Attika) bei<br>maximaler Winterkälte. ....                                                                                     | 75 |
| Abbildung 22: Innenoberflächentemperatur gegenüber der Taupunkttemperatur für<br>die Außenwand aus Stein mit 15 cm Dicke links) bzw. für das Dach<br>aus einer Stahlbetonplatte (rechts), (Beispiel Damaskus im Januar). 78                                 |    |
| Abbildung 23: Gesamtwassergehalt in den simulierten Dachkonstruktionen<br>(Stahlbetonplatte und Stahlsteinplatte mit Hohlblockstein 14 cm) und<br>Wassergehalt im Innenputz der Stahlbetonplatte,(Beispiel Lattakia). 80                                    |    |
| Abbildung 24: Gesamtwassergehalt der Bauteil-Querschnitte: Im Praxisstein mit 15<br>cm Dicke (a), im Mörtel (b), in einer Luftkammer (c) und in zwei<br>Luftkammern (d), (Beispiel Lattakia). ....                                                          | 81 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 25: Wassergehalt im Innenputz der Wandkonstruktionen mit 18,5 cm bzw. 23,5 cm Dicke, entsprechend der durchgeführten Schnittebenen, (Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung). ..... | 82 |
| Abbildung 26: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Standardstein mit 20 cm Dicke, (Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung). .....                                              | 85 |
| Abbildung 27: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung). .....                                                | 85 |
| Abbildung 28: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Lattakia mit unstetiger Klimatisierung). .....                                      | 86 |
| Abbildung 29: Wassergehalt im Innenputz für Schnitt im Praxisstein, (Beispiel Lattakia mit unstetiger Klimatisierung). .....                                                                 | 87 |
| Abbildung 30: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 20 cm Dicke, (Beispiel Lattakia mit unstetiger Klimatisierung). .....                                      | 87 |
| Abbildung 31: Wassergehalt im Innenkalkzementputz. Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus ohne und mit unstetiger Klimatisierung). .....                                 | 88 |
| Abbildung 32: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus ohne Klimatisierung). .....                                                | 89 |
| Abbildung 33: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus mit unstetiger Klimatisierung). ....                                       | 89 |
| Abbildung 34: Beseitigung der Tauwasserbildung durch die Wärmedämmung. Beispiel. Wärmebrücken einer Wandecke und eines Dachanschlusses mit Attika. ....                                      | 90 |
| Abbildung 35: Wassergehalt im Innenzementputz. Schnitt im Praxisstein 15 cm mit einer Dämmschicht 5 cm, (Beispiel Lattakia). .....                                                           | 91 |
| Abbildung 36: Isoplethen der Innenoberflächen eines Zementputzes. Schnitt im Praxisstein (15 cm) und mit 5 cm Dämmschicht, (Beispiel Lattakia)..                                             | 92 |
| Abbildung 37: Isoplethen der Innenoberflächen eines Kalkputzes. Schnitt im Praxisstein (15 cm) und mit 5 cm Dämmschicht, (Beispiel Lattakia)..                                               | 92 |
| Abbildung 38: Isoplethen der Innenoberflächen eines Zementputzes. Schnitt im Praxisstein (15 cm) und mit 5 cm Dämmschicht, (Beispiel Lattakia mit Klimatisierung). .....                     | 93 |
| Abbildung 39: Wassergehalt im Innenkalkzementputz nach der Dämmung. Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus). .....                                                       | 93 |



|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 40: Isoplethen der Innenoberfläche des Innenputzes nach der Dämmung.<br>Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus). .... | 94 |
| Abbildung 41: Zunahme der Wärmeleitfähigkeit des Styropors in Abhängigkeit von<br>der Feuchte.....                                                  | 95 |
| Abbildung 42: Wassergehalt in der untersuchten Dämmschicht. Schnitt im Praxisstein<br>Beispiel Lattakia.....                                        | 95 |

# Inhaltverzeichnis

# Seite

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Kurzfassung.....                                                                                         | II  |
| Glossar zu Fachbegriffen.....                                                                            | III |
| Verzeichnis der Formelzeichen und der Symbole .....                                                      | VI  |
| Tabellenverzeichnis.....                                                                                 | IX  |
| Abbildungsverzeichnis.....                                                                               | X   |
| Inhaltverzeichnis.....                                                                                   | XIV |
| 1. Einleitung .....                                                                                      | 1   |
| 1.0 Allgemeines .....                                                                                    | 1   |
| 1.1 Problemstellung .....                                                                                | 1   |
| 2.1 Zielsetzung.....                                                                                     | 2   |
| 3.1 Lösungsweg.....                                                                                      | 3   |
| 2. Gegebenheiten in Syrien.....                                                                          | 5   |
| 2.1 Geographische Lage, Bevölkerung und Klima .....                                                      | 5   |
| 2.2 Energieversorgung und Energiebedarf .....                                                            | 5   |
| 2.3 Bauverfahren in Syrien .....                                                                         | 6   |
| 3. Genutzte Simulationswerkzeuge.....                                                                    | 8   |
| 3.0 Allgemeines .....                                                                                    | 8   |
| 3.1 Mathematisches Simulationsprogramm für das hygrothermische Verhalten von<br>Außenbauteilen WUFI..... | 8   |
| 3.2 Mathematisches Simulationsprogramm für das Raumklima BSIM.....                                       | 9   |
| 3.3 Thermische Simulationsprogramme HEAT 2 und HEAT 3.....                                               | 10  |
| 4. Erforderliche Eingabendaten der Simulationsprogramme.....                                             | 12  |
| 4.0 Allgemeines .....                                                                                    | 12  |
| 4.1 Klimadaten .....                                                                                     | 12  |
| 4.2 Bauphysikalische Datenbank .....                                                                     | 13  |
| 4.2.0 Allgemeines .....                                                                                  | 13  |
| 4.2.1 Bestimmung der mechanischen Kennwerte.....                                                         | 14  |
| 4.2.2 Bestimmung der thermischen Kennwerte .....                                                         | 15  |
| 4.2.3 Bestimmung der hygrischen Kennwerte .....                                                          | 17  |
| 5. Validierung von BSIM.....                                                                             | 25  |
| 5.0 Allgemeines .....                                                                                    | 25  |
| 5.1 Beschreibung der Beispielgebäude .....                                                               | 26  |
| 5.2 Langezeitmessungen .....                                                                             | 27  |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3 Simulation und Rechenergebnisse .....                                                                                                  | 29 |
| 5.3.1 Aufbau der geometrischen Modelle und Zuweisung der Bauteil- und<br>Konstruktionsdaten .....                                          | 29 |
| 5.3.2 Zuweisung der beeinflussenden Rahmenbedingungen .....                                                                                | 29 |
| 5.3.3 Berechnungsintervalle und Rechenergebnisse .....                                                                                     | 31 |
| 5.4 Auswertung der Vergleichsergebnisse .....                                                                                              | 31 |
| 5.5 Schlussfolgerungen .....                                                                                                               | 37 |
| 6. Nutzung der Wärmeschutzkonzepte zur Verbesserung des Raumklimas und<br>Reduzierung des Energieaufwands von Wohngebäuden in Syrien ..... | 39 |
| 6.0 Allgemeines .....                                                                                                                      | 39 |
| 6.1 Wärmedämmung .....                                                                                                                     | 39 |
| 6.2 Reduzierung von Wärmebrücken .....                                                                                                     | 43 |
| 6.3 Austausch der Fenster .....                                                                                                            | 46 |
| 6.4 Nutzung von Sonnenschutzvorrichtungen .....                                                                                            | 47 |
| 7. Untersuchung der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen am Beispiel<br>eines Wohngebäudes .....                                         | 49 |
| 7.0 Allgemeines .....                                                                                                                      | 49 |
| 7.1 Gebäudebeschreibung und Untersuchungseinschränkungen .....                                                                             | 49 |
| 7.2 Berechnungsvoraussetzungen und Rechenergebnisse .....                                                                                  | 50 |
| 7.2.0 Allgemeines .....                                                                                                                    | 50 |
| 7.2.1 Baukonstruktionen, Bauteile und Lage .....                                                                                           | 50 |
| 7.2.1.1 Vor der Verbesserung .....                                                                                                         | 50 |
| 7.2.1.2 Nach der Verbesserung .....                                                                                                        | 51 |
| 7.2.2 Rahmenbedingungen und Bewohnerverhalten .....                                                                                        | 51 |
| 8. Bewertung der Rechenergebnisse .....                                                                                                    | 58 |
| 8.1 Bewertung des Raumklimas vor und nach der Verbesserung .....                                                                           | 58 |
| 8.2 Bewertung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs vor und nach der Verbesserung<br>.....                                                      | 61 |
| 8.3 Ökonomische Bewertung .....                                                                                                            | 64 |
| 8.3.1 Ökonomische Dämmstoffdicke .....                                                                                                     | 64 |
| 8.3.2 Kosten- Nutzenanalyse .....                                                                                                          | 66 |
| 8.3.3 Ökologische Bewertung .....                                                                                                          | 67 |
| 8.4 Weitere integrale Verbesserungsmaßnahmen .....                                                                                         | 69 |
| 8.4.0 Allgemeines .....                                                                                                                    | 69 |

|                                                                                                                       |                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 8.4.1 Architektonische Maßnahmen.....                                                                                 | 69                                        |
| 8.4.2 Technische Maßnahmen .....                                                                                      | 71                                        |
| 8.5 Schlussfolgerungen .....                                                                                          | 72                                        |
| 9. Untersuchung des hygrischen Verhaltens der in Syrien verwendeten Bauteile<br>anhand der Schimmelpilzbildung.....   | 75                                        |
| 9.1 Untersuchung der Tauwassergefahr mit HEAT 2.....                                                                  | 75                                        |
| 9.2 Untersuchungen des hygrischen Verhaltens der Bauteile mit WUFI.....                                               | 76                                        |
| 9.2.0 Berechnungsvoraussetzungen.....                                                                                 | 76                                        |
| 9.2.1 Tauwasserbildung an den ungestörten Bauteilen .....                                                             | 77                                        |
| 9.2.2 Beurteilung der Bauteile anhand des Wassergehaltes .....                                                        | 78                                        |
| 9.2.3 Nutzung der Isoplethen zur Beurteilung der Schimmelpilzgefahr.....                                              | 83                                        |
| 9.3 Wirkung der vorgeschlagenen Wärmedämmung auf das hygrische Verhalten<br>der Bauteile.....                         | 90                                        |
| 9.4 Schlussfolgerungen .....                                                                                          | 96                                        |
| 10. Vorschläge zur Förderung des energetischen optimierten Bauens auf der Basis<br>einer nachhaltigen Baupolitik..... | 98                                        |
| 10.0 Allgemeines .....                                                                                                | 98                                        |
| 10.1 Bereich der am Bau Beteiligten.....                                                                              | 99                                        |
| 10.1.0 Allgemeines .....                                                                                              | 99                                        |
| 10.1.1 Ausbildung und fachliche Qualifizierung .....                                                                  | 99                                        |
| 10.1.2 Kommunikation und integrale Arbeit .....                                                                       | 100                                       |
| 10.1.3 Förderung der Forschung .....                                                                                  | 101                                       |
| 10.2 Erforderliche Baunormen und Verordnungen.....                                                                    | 101                                       |
| 10.3 Weitere Planungs- und Bewertungshilfsmittels .....                                                               | 102                                       |
| 10.4 Verbesserung der Wohnungsbau-Förderprogramme .....                                                               | 104                                       |
| 10.5 Nutzung der Medien.....                                                                                          | 104                                       |
| 11. Zusammenfassung und Ausblick .....                                                                                | 106                                       |
| 11.1 Zusammenfassung.....                                                                                             | 106                                       |
| 11.2 Ausblick für weitere Forschungsarbeiten .....                                                                    | 108                                       |
| 12. Literaturverzeichnis .....                                                                                        | 109                                       |
| Lebenslauf.....                                                                                                       | 125                                       |
| Selbstständigkeitserklärung.....                                                                                      | 126                                       |
| Thesen zur Dissertation.....                                                                                          | 127                                       |
| Anhang .....                                                                                                          | <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b> |

|                        |                                           |
|------------------------|-------------------------------------------|
| Tabellenanhang .....   | <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b> |
| Abbildungsanhang ..... | <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b> |

# **1. Einleitung**

## **1.0 Allgemeines**

Nach der Erdölkrise von 1973 setzten sich viele Staaten, darunter die Bundesrepublik Deutschland, das Ziel, den Energieverbrauch in verschiedenen Sektoren so weit wie möglich zu reduzieren und die erschöpfenden Fossilen möglichst weitgehend schrittweise durch erneuerbare Alternativen zu ersetzen.

Schon wenig später wurde der Zusammenhang von Klimaerwärmung und zunehmender CO<sub>2</sub>-Emissionen erkannt (z.B. UNO-Protokoll von Kyoto), was dieser Mission nicht nur eine wirtschaftliche und politische Wichtigkeit, sondern auch zunehmend ökologische Bedeutung verlieh. Dies brachte die Senkung des Energieverbrauchs als eine internationale Herausforderung mit sich, welche für alle Länder Relevanz besitzt, unabhängig davon, ob sie Öl exportierend oder Öl importierend, ökonomisch reich oder arm sind.

Davon ausgehend nimmt die Bedeutung des energetischen Bauens in dem Bausektor zunehmend weltweit zu, weil dieser Sektor eine nicht zu unterschätzende Quelle des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen darstellt. Verschiedene Länder, die dieses Energieeinsparpotenzial bislang nicht in berücksichtigt haben, versuchen nun zunehmend, dessen Vorteile zur Entwicklung der eigenen Bauqualität auszunutzen. Syrien ist eines dieser Länder, welches durch zielgerichtete eigene wissenschaftliche Arbeiten anstrebt, den Sektor des Bauens nachhaltig auf Basis eines optimierten Wärme- und Feuchteschutzes zu entwickeln.

## **1.1 Problemstellung**

Die in Syrien durchgeführten Bauverfahren konzentrieren sich hauptsächlich auf die statischen Aspekte während der Planung und Ausführung und ziehen bauphysikalischen Wärme- und Feuchteschutzmaßnahmen nicht in Betracht. Dieses Vorgehen hat die nachstehen Probleme zur Folge:

- Das Innenraumklima der ausgeführten Gebäude ist im Winter zu kalt und im Sommer zu heiß. Diese niedrige Behaglichkeit beeinflusst die psychische Situation und Gesundheit der Bewohner negativ.
- Es besteht ein großer Energiebedarf, um ein behagliches Innenraumklima zu gewährleisten.
- Die Gebäudeverfallen innerhalb kurzer Zeit, wodurch hohe Kosten für die Sanierung und die Renovierung entstehen. Die Kosten der Sanierung können sogar

die eingesparten Kosten während der Ausführung überschreiten.

- Der ästhetische Eindruck der Gebäude wird stark reduziert.

Diese negative Situation des Bauwesens in Syrien hat verschiedene Ursachen, die im Folgenden zusammengefasst werden können:

- Mangel an erforderlichen Fachkenntnissen, welche für ein optimiertes, energiesparendes Bauen notwendig sind
- Unterschätzung der Energieeinsparungspotenziale
- Fehlen von notwendigen Normen und Überwachungsmaßnahmen
- Falsche Bewertung der kurzfristigen Einsparungseffekte von einmaligen Baukosten (Erstellungskosten) gegenüber Konzepten des Umweltschutzes, der Gesundheit und der Behaglichkeit.

Ausgehend von den erwähnten Problemen gibt es einen großen Bedarf, die in Syrien üblichen Bauverfahren in Richtung einer nachhaltigen Baupolitik zu modifizieren. Nur eine solche Baupolitik kann den nachstehenden Gegebenheiten begegnen:

- Nach NERC (2006) werden die syrischen Erdölvorkommen in 2025 erschöpft sein
- Drastische Steigung der Ölpreise mit der kurzfristigen neuen staatlichen Politik, die Subventionierung der Erdölpreise abzuschaffen
- Erhöhter Stromverbrauch in den syrischen Haushalten mit hohen Endverbraucherpreisen; die monatliche Stromrechnung beträgt nach ME (2004) aktuell schon etwa 7 % des durchschnittlichen Einkommens.

Einen frühen wissenschaftlichen Anstoß für Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas im Wohnungsbau hat HALBOUNI (1978) gegeben, wobei der Schwerpunkt seiner Ausführungen bei architektonischen Lösungen liegt, die die Kenntnisse traditioneller Bauweisen von historischen Damaszener Gebäuden aufgreifen. Unter diesen Voraussetzungen soll die vorliegende Arbeit einen neuen wissenschaftlichen Schritt in Richtung einer nachhaltigen Baupolitik realisieren, um künftig ein energiesparendes, qualitativ hochwertiges Bauen zu ermöglichen.

## **2.1 Zielsetzung**

Die unmittelbaren Ziele der Arbeit können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Bestimmung der Schwachstellen an den typischen Baumaterialien, Bauteilen, und Baukonstruktionen, welche unter den herrschenden klimatischen Bedingungen hauptsächlich zum schlechten hygrothermischen Verhalten der syri-

schen Gebäude führen.

- Vorschläge und Verifizierung einfacher baulicher Lösungen dieser Schwachstellen, welche den Heiz- und Kühlenergiebedarf wirksam reduzieren und die Behaglichkeit des Innenklimas sowie die Bauqualität sowohl im Bereich Neubau als auch im Bereich Sanierung verbessern können.
- Bereitstellung der bauphysikalischen Eigenschaften der typischen Baustoffe in Syrien bzw. Einrichtung und Pflege einer entsprechenden Datenbank.
- Schaffung eines vielseitigen Leitfadens für die notwendigen potentiellen Konzepte eines energetisch qualitativen Bauens in Syrien, der auch eine eindeutige Basis für zukünftige Arbeiten sein kann.
- Direkte Verbindung des gegenwärtigen syrischen Wissensstands mit den erforderlichen modernen Erkenntnissen, Werkzeugen und praktischen Methoden, welche heutzutage in Deutschland erfolgreich angewendet werden.
- Beitrag zur Schaffung der erforderlichen Rahmenbedingungen eines energetisch qualitativen Bauens, das ein Hauptbestandteil einer nachhaltigen staatlichen syrischen Baupolitik sein muss.

### **3.1 Lösungsweg**

Die Realisierung der Arbeit erfolgte durch das Simulationsberechnen, was Zeit und Aufwand sparte. Drei digitale Simulationsprogramme wurden für diese Aufgabe eingesetzt, welche das hygrothermische Verhalten der Bauteile, das thermische Verhalten des Innenraumklimas und die Wirkung der bestehenden Wärmebrücken simulieren. Das Programm für das thermische Verhalten musste für die syrischen Rahmenbedingungen validiert werden. Die anderen beiden Programme sind durch verschiedene bereits vorliegende Arbeiten validiert worden.

Diese Simulationsprogramme wurden für zwei bestimmte Ziele eingesetzt:

- Bewertung der untersuchten Objekte (Gebäude bzw. Bauteile) hinsichtlich ihres Wärme- und Feuchteschutzes.
- Überprüfung der Wirkung der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen.

Für den Validierungsprozess wurden erforderliche Messungen vor Ort über ein Jahr für zwei typische Wohnungen in zwei repräsentativen syrischen Klimaregionen (Küstenregion und Binnenregion) durchgeführt. Laborversuche sind zur Bestimmung der bauphysikalischen Kennwerte der typischen verwendeten Baumaterialien erfolgt. Diese im Labor ermittelten Materialdaten sind auch für den Bewertungs- und Verbesserungsprozess sowohl bei der thermischen als auch hygrischen Simulation genutzt



worden. Für die thermische Simulation ist ein typisches Wohngebäude (fünfgeschossiges genossenschaftliches Wohngebäude) für die bereits genannten Klimaregionen bearbeitet worden. Dafür wurden ebenfalls die für Simulationsprogramme notwendigen Klimadateien im Jahresverlauf, als Testreferenzjahr-Klimadateien (TRY), zur Verfügung gestellt.

Aus den in Deutschland bekannten Wärmeschutzkonzepten wurden einfache konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen bzw. energetischen Verhaltens vom untersuchten Gebäude ausgewählt. Dabei wurde das thermische Verhalten simuliert und das Innenraumklima sowie der Energiebedarf mit und ohne diese Maßnahmen ausgewertet. Die eindeutigen Einflüsse der getroffenen Verbesserungsmaßnahmen auf die Behaglichkeit und Energieeinsparung wurden gezeigt und auf Basis der Kosten- Nutzenanalyse und der CO<sub>2</sub>-Emission bewertet.

Darüber hinaus sind auf dieser Grundlage verschiedene konstruktive Alternativen vorgestellt und mögliche technische bzw. architektonische Lösungen benannt worden.

Zunächst wurde eine Simulation für das hygrische Verhalten der typischen Baukonstruktionen vorgenommen und deren Schwachstellen bestimmt. Die an Baukonstruktionen vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen beim Wärmeschutz wurden auch für das hygrische Verhalten angewendet und überprüft.

Abschließend wurden regulative Ideen für künftige Bauvorhaben vorgeschlagen, die dem zu erzielenden energetisch qualitativen Bauen am syrischen Baumarkt dienen und die potentiellen Maßnahmen für eine zukünftige nachhaltige Baupolitik unterstützen können. Diese Vorschläge stützen sich direkt auf deutsche Erfahrungen und die syrischen Rahmenbedingungen, vornehmlich für weit verbreitete Bauvorhaben.

Erwähnenswert ist, dass die Untersuchung in dieser Arbeit nur an Wohngebäuden durchgeführt wurde, allerdings können die Arbeitsergebnisse auch andere Gebäudetypen mit Aufenthaltsräumen, einschließlich der touristisch genutzten Gebäude betreffen.

In der Arbeit ist es zu beachten, dass kursive gesetzte Wörter Fachbegriffe darstellen, die in einem eigenen Glossar zusammengestellt sind, während Formelzeichen mit deren Einheiten im Formelverzeichnis dargestellt sind. Die benutzten PC-Programme und Webseiten sind in eignen Literaturverzeichnissen aufgeführt.

## **2. Gegebenheiten in Syrien**

### **2.1 Geographische Lage, Bevölkerung und Klima**

Syrien liegt im Nahen Osten, zwischen 32° und 37° nördlicher Breite sowie 35° und 42° östlicher Länge und umfasst 185.180 Km<sup>2</sup> Fläche. Syriens Mittelmeerküste erstreckt sich über etwa 180 km von der Türkei bis zum Libanon und ist eines der fruchtbarsten Gebiete des Landes. Landeinwärts liegt ein Gebirge, östlich von diesem fließt der al-Asi Fluss durch den tiefen Syrischen Graben. Die gebirgige Landschaft setzt sich entlang der libanesischen Grenze bis zu den Golanhöhen im Südwesten fort. Nach Norden und Osten breitet sich ein weites, halbwüstenartiges Tafelland aus, das im Südosten vom Fluss Alphurat (Euphrat) durchzogen wird und in die syrische Wüste übergeht. Der Berg Hermon mit 2,814 Metern Höhe den höchsten Punkt des Landes (s. Abb. A2-1) [ROTTER und GERNOT, (1995)]. Nach SCFA (2005) beträgt die Bevölkerungszahl 18,4 Mio. mit einer jährlichen Zuwachsrate von 2,5 %. Die Landwirtschaft macht bis zu einem Drittel der Wirtschaftsleistung des Landes aus. Weizen und Baumwolle sind dabei die Hauptprodukte. In Syrien ist das Klima so unterschiedlich wie die Landschaft (s. Abb. A2-2), wo im Osten und Südosten (Binnenregionen) ein sommerheißes, trockenes Klima herrscht, mit großen Schwankungen zwischen Tag und Nacht, dagegen ein kaltes Klima im Winter (Steppen- und Wüstenklima), mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von max. 200 mm [SCHTRÄSSER (1999)]. Im Westen an der Küste herrscht heißes feuchtes Klima im Sommer und relativ mildes Klima im Winter (Mittelmeerklima) mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von etwa 800 mm. Die Gebirgsregionen sind kälter und vor allem regenreicher.

### **2.2 Energieversorgung und Energiebedarf**

Syrien besitzt Erdöl- und Erdgasvorkommen und produziert gegenwärtig nach SCO (2005) rund 400000 Barrel/d sowie nach SCG (2005) 11,5 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> Gas/d. 50 % der Ölproduktion wird exportiert, hingegen deckt die Gasproduktion knapp den eigenen Bedarf. Nach Einschätzung der für Energie zuständigen Behörden wie NERC (2006) wird Syrien im Jahr 2025 ein reines Ölimportland sein. Die Tabelle von NERC (2006) angeführte A2-1 bietet eine Vorhersage für die zukünftige Entwicklung der Gas- und Ölproduktion in Syrien bis zum Jahr 2030. Der Energiebedarf an elektrischem Strom hat nach ME (2005) zirka 35000 GWh/a im Jahr 2006 betragen, was sich bis 72000 GWh/a im Jahr 2020 erhöhen könnte. Die Stromerzeugung erfolgt in Syrien hauptsächlich durch ein einziges, sehr großes Wasserkraftwerk, das am Fluss Alphurat

erbaut wurde, ergänzt durch kleinere Wärmekraftwerke, die sich in verschiedenen Städten befinden. Nach Statisten von ME (2004) benötigt der Anteil der privaten Haushalte rund 20 % des gesamten Energiebedarfs in Syrien.

Als Heizenergieträger in den Wohnungen wird vornehmlich Heizöl verwendet, während der Stromverbrauch für Heizung nach ME (2004) nur etwa 10 % beträgt. Geheizt wird gewöhnlich entweder durch zentrale Heizungsanlagen mit einem zentralen Ölofen und im gesamten Gebäude verteilten Heizkörpern oder durch einzelne Ölöfen in jeder Wohnung, wobei dieser Ofen normalerweise im Wohnzimmer steht. Falls Strom für die Heizung verwendet wird, werden mobile Heizgeräte (Infrarotstrahler oder bewegliche Radiatoren) eingesetzt.

Zur Kühlung wird elektrischer Strom als einzige Energiequelle benutzt, wobei maßgeblich individuelle dezentrale Klimageräte (vorwiegend mit *Split-System*) eingesetzt werden. Solche Geräte haben eine wechselseitige Aufgabe, so dass sie oft (insbesondere in Hotels) auch zur Heizung genutzt werden können. Falls dieses Gerät nicht vorhanden ist, werden oft selbststehende Ventilatoren als Alternative benutzt. Zentrale Lüftungsanlagen (Zu- und Abluftsystem) sind selten vorhanden, vornehmlich verfügen öffentliche Gebäude über diese Technik.

### **2.3 Bauverfahren in Syrien**

In Syrien herrscht eine einzige Bautechnologie (für mehrgeschossige Gebäude) vor, bei der bisher die statische Sicherheit und Dimensionierung die dominante Bedeutung haben. Konstruktiv bestehen diese Gebäude hauptsächlich aus Stahlbetonskeletten, welche mit Hohlblocksteinen als monolithische Innen- und Außenwände ausgemauert und mit einfachen Innen- und Außenputzen versehen werden (s. Abb. A2-2). Manchmal kommen aus ästhetischen Gründen als äußere Verkleidung Natursteine statt des Putzes zum Einsatz. Solche Ausnahmen werden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt, weil sie bei den syrischen Wohngebäuden nur begrenzt vorkommen. Die Rohdecken bzw. die Rohdächer sind entweder als massive Stahlbetonplatten oder *Stahlsteinplatten* (s. Abb. A2-3) ausgeführt. Diese letzt genannte Bauweise wird gegenwärtig weit öfter verwendet als die massive Stahlbetonplatte, die bis Anfang der neunziger Jahre fast als einzige Variante für Decken bzw. Dächer eingesetzt wurde. Auf den Rohbau der Geschoßtrenndecke wird ein Fußbodenaufbau aufgebracht, der aus einer Sandschicht von rund 5 cm Stärke, einer Zementmörtelschicht von rund 3 cm und Mosaikplatten von 2 cm besteht. Für Dächer kommt nur eine schräge Zementschicht von 5 cm bis 7 cm Stärke zum Einsatz, die zur Ableitung

des Regenwassers dient. Die verwendeten Steine sowohl für die Wände als auch für die Deckenfüllkörper haben die gleiche Zusammensetzung und unterscheiden sich nur durch die Form bzw. die Abmessungen voneinander. Die Wandhohlblocksteine können eine Dicke von 10 cm für die Innenwände oder 15 cm bzw. 20 cm für die Außenwände haben, hingegen werden Steindicken von 14 cm oder 18 cm für die Deckenfüllkörper eingesetzt (s. Abb. A2-4). Die Zusammensetzung solcher Steine soll nach den Standardanforderungen von MCB (2006) das Verhältnis 200 kg Zement pro 1 m<sup>3</sup> grober Kalksand erfüllen. Solche Steine werden als Standardsteine bezeichnet. Aus Ersparnisgründen erfüllen viele Herstellungsbetriebe diese Anforderung nicht, sondern produzieren Steine, in denen weniger Zement enthalten ist (ca. 150 kg Zement pro 1 m<sup>3</sup> Kalksand). Diesen minderwertigen, nicht normgerechten Steinen kann man besonders oft auf den privaten Baustellen begegnen. Sie werden in dieser Arbeit als Praxissteine bezeichnet.

Als Putz kommt Sandzementputz (400 kg Zement pro 1 m<sup>3</sup> feinen Quarzsand) besonders in den Küstenregionen zum Einsatz. In den Binnenregionen wird dieser Sand durch feinen Kalksand (als Kalkzementputz) ersetzt. Der eingesetzte Mörtel hat die gleiche Zusammensetzung wie der aufgetragene Putz, jedoch mit etwas weniger Zementanteil (350 kg/m<sup>3</sup> Quarzsand bzw. Kalksand).

Die Außenfenster und Türen sind einfache Bauteile, die aus einer Einfachverglasung mit Aluminium- bzw. Holzrahmen bestehen. In den neueren Gebäuden werden die Aluminiumfenster und -türen wegen ihrer längeren Lebensdauer im Vergleich zum Holz oft bevorzugt. Die Rahmen sind dabei üblicherweise thermisch nicht getrennt.

Der Einsatz der mit Luftkammern versehenen Steine ist zur Verbesserung der akustischen und thermischen Eigenschaften tatsächlich als die einzige konstruktive getroffene Maßnahme in den meisten syrischen Bauwerken zu beobachten. Einige große Hersteller produzieren heutzutage aufwendige Fenster und Türen aus Aluminium (thermisch nicht getrennt) oder PVC mit Zweischeiben-Isolierglas. Diese Produkte kommen selten zum Einsatz. Zur Verbesserung des hygrischen Verhaltens ist nur der Ersatz des Kalks durch den Sand bei der Herstellung der Putze in den Küstenregionen in Betracht zu ziehen. Dessen ungeachtet sind die Feuchtigkeitsprobleme besonders in einer Küstenstadt wie Lattakia leicht mit bloßem Auge zu erkennen (s. Abb. A2-5) und das schlechte thermische Verhalten der Wohngebäude im Sommer bzw. im Winter zu spüren. Außerdem basieren die erwähnten Maßnahmen nicht auf bekannten technischen, sondern lediglich auf empirischen Regeln.

### **3. Genutzte Simulationswerkzeuge**

#### **3.0 Allgemeines**

Um unverhältnismäßig aufwendige Experimente bei der Untersuchung des gegenwärtigen hygrothermischen Verhaltens und bei der Bewertung der vorgeschlagenen Lösungen zu vermeiden, wurden instationäre Berechnungsprogramme (Simulationsprogramme) verwendet, welche durch ihre mathematische Basis anerkannte Fähigkeiten haben, realitätsnahe Ergebnisse zu liefern und eine gute Vorstellung der aktuellen Vorgänge anzubieten. Dafür sind hygrothermische Programm WUFI Pro 4.0 für die Bauteile, das thermische Simulationsprogramm für das Raumklima BSIM sowie das thermische Simulationsprogramm für die Wärmebrückenberechnung HEAT 2 und HEAT 3 genutzt worden.

#### **3.1 Mathematisches Simulationsprogramm für das hygrothermische Verhalten von Außenbauteilen WUFI**

WUFI (**W**ärme **U**nd **F**euchte **I**nstationär) ist ein PC-Programm zur Berechnung der Wärme- und Feuchtespeicherung sowie des gekoppelten eindimensionalen Wärme- und Feuchtetransports in Außenbauteilen. Damit kann man Tendenzen hinsichtlich der Temperatur und des Feuchtegehaltes an "gefährdeten" Stellen einer Baukonstruktion quantitativ abschätzen. In dieser Arbeit wurde nur die Simulation des Feuchtegehaltes in den untersuchten Baukonstruktionen genutzt. Dieses Programm wurde vom Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP (Holzkirchen) entwickelt. Die Auswahl dieses Programms greift auf die folgenden Vorteile zurück:

- Realitätsnahe Berechnung des instationären hygrothermischen Verhaltens von mehrschichtigen Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen
- Verwendung der neuesten Erkenntnisse zur Dampfdiffusion und dem Flüssigtransport in Baustoffen
- Verarbeitung sowohl von Standardstoffkennwerten als auch von einfach zu bestimmenden Speicher- und Flüssigtransportfunktionen
- Verschiedene graphische Ausgaben
- Mit dem Programm kann die vorliegende Untersuchung auf eine aufwendige Verifizierung verzichten, da es durch Freiland- und Labordaten sowie unterschiedliche Forschungen z.B. von KRUS und KÜNZEL (1995) und (1996) sowie von HOLM (2001) bereits validiert ist.

Die Wärmespeicherung setzt sich aus der Wärmekapazität des trockenen Baustoffes zuzüglich des darin enthaltenen Wassers zusammen. Die Feuchtespeicherung wird

durch die Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Der Wärmetransport basiert auf der feuchteabhängigen Wärmeleitung und dem Dampfenthalpiestrom (Latentwärme). Bei der Berechnung des Feuchtetransports berücksichtigt WUFI Pro 4.0 den Dampf- und Flüssigtransport. Beim Dampftransport werden folgende Transportmechanismen in Betracht gezogen:

- Dampfdiffusion
- Lösungsdiffusion.

Der konvektive Dampftransport durch die Luftströmungen ist im Programm nicht berücksichtigt.

Beim Flüssigtransport berücksichtigt WUFI folgende Transportmechanismen:

- Kapillarleitung
- Oberflächendiffusion.

Durch die Schwerkraft bedingte Sickerströmungen, hydraulische Strömungen aufgrund von Gesamtdruckunterschieden sowie elektrokinetische und osmotische Effekte sind im Programm nicht erfasst. Im vorliegenden Modell werden die eindimensional zeitlich veränderlichen Wärme- und Feuchtetransportprozesse in Bauteilen mit Hilfe folgender gekoppelter Differenzialgleichungen beschrieben, die aus IBP (2001) zitiert wurden:

$$\text{Wärmetransport} \quad \frac{\partial H}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta \cdot \partial p}{\mu \cdot \partial x} \right) \quad (1)$$

$$\text{Feuchtetransport} \quad \rho_w \frac{\partial u}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta \partial p}{\mu \partial x} \right) \quad (2)$$

### 3.2 Mathematisches Simulationsprogramm für das Raumklima BSIM

Das dänische Bauforschungsinstitut 'Danish Building Research Institute' entwickelte die Simulationssoftware für das thermische Gebäudeverhalten BSIM (Building Simulation). BSIM ist ein integriertes PC-Werkzeug für die thermische Analyse von Gebäuden und haustechnischen Systemen. BSIM enthält eine Sammlung von Werkzeugen zur stündlich-dynamischen Berechnung z.B. des thermischen Innenraumklimas, des Energieverbrauchs für das Gebäude und der Anlagensysteme. Die Vorteile von BSIM sind im Folgenden zusammengefasst:

- Schnelle Eingabe und problemlose Änderung von 3D-Geometrien
- Einfache Bedienung
- Hohe Zeitersparnis bei der Bearbeitung

- Kombinierte thermische Berechnungen zum Innenraumklima hinsichtlich Temperatur, Feuchtigkeit und Lüftung sowie Sonneneinstrahlung und Verschattung
- Dokumentation der Eingabe und Ergebnisse als präzise Voraussage des zu erwartenden Raumklimas

BSIM ist im Vergleich zu den anderen Simulationsprogrammen wie z.B. TRYNSIS und DOE2.2 als ein neues Instrument (Programm) in Deutschland zu betrachten, welches noch nicht sehr verbreitet ist, aber in der Forschung bereits getestet ist. Davon ausgehend muss das Programm durch wissenschaftliche Anforderungen für die jeweiligen regionalen Rahmenbedingungen validiert werden. In dieser Arbeit wurde die Validierung für das Beispiel Syrien vollzogen.

Das Modell berücksichtigt bei der Berechnung der Wärme- und Feuchtebilanz für das Innenraumklima in einer thermischen Zone die nachstehenden Faktoren:

- Wärme- und Feuchtetransport durch die angrenzenden Baukonstruktionen
- Wärmetransport und Solarstrahlung durch die Fenster
- Interne Wärme- und Feuchtequelle (Menschen, Maschinen etc.)
- Erwärmung und die Kühlung aus den mechanischen Heiz- und Kühlquellen
- Luftdurchdringung von außen durch Infiltration und natürliche Lüftung (Feuchte- und Wärmeaustausch zwischen innen und außen)
- Lufttransport zwischen den thermischen Zonen (Feuchte- und Wärmeaustausch zwischen den angrenzenden Zonen).

Die mathematische Basis und weitere Berechnungsmöglichkeiten des Programms sind ausführlich im DBRI (2001) beschrieben.

### **3.3 Thermische Simulationsprogramme HEAT 2 und HEAT 3**

HEAT 2 bzw. HEAT 3 sind PC-Programme zur Berechnung zweidimensionaler bzw. dreidimensionaler stationärer und instationärer Wärmeleitung innerhalb von Objekten (bzw. Bauteilen oder Baumaterialien), die durch ein kartesisches Koordinatensystem beschrieben werden können.

Dieses Programm ist unter anderem für folgende hauptsächlich bauphysikalische Anwendungen geeignet:

- Allgemeine Probleme der Wärmeleitung
- Berechnung des Wärmestroms durch die Bauteile
- Analyse der Wärmebrücken
- Bestimmung von Oberflächentemperaturen (bzw. des Tauwasser- und Schimmelrisikos)

HEAT 2 und HEAT 3 sind von BLOMBERG (2000) und (2001) entwickelt und auf Basis der EN ISO 10211-1 validiert. Die Programme werden deshalb nach der genannten DIN als genaue Verfahren eingestuft. Erwähnenswert ist, dass in dieser Arbeit nur stationäre Berechnungen mit HEAT angewendet wurden, was für die in der Arbeit erforderlichen Untersuchungen ausreichend ist. HEAT 2 und HEAT 3 lösen die Wärmeleitungsgleichungen mit Hilfe der Methode der expliziten finiten Differenzen, welche in der oben erwähnten Literatur ausführlich beschrieben ist.



## 4. Erforderliche Eingabendaten der Simulationsprogramme

### 4.0 Allgemeines

Die eingesetzten Simulationsprogramme benötigen für den Berechnungsprozess unterschiedliche real erhobene Daten, welche die untersuchten Elemente (Wohnung, Baukonstruktion etc.) und deren umgebende Rahmenbedingungen möglichst realistisch beschreiben können. Nur mit diesen Daten können die Programme die zu planende Situation umfassend simulieren und verlässliche Ergebnisse über das zu erwartende hygrothermische Verhalten und das Innenklima liefern.

Diese benötigten Daten können in den folgenden Punkten zusammen gefasst werden:

- Stündliche Daten über das umgebende herrschende Klima
- Daten über die bauphysikalischen Eigenschaften der verwendeten Baumaterialien
- Angenommene Daten, welche die herrschenden Rahmenbedingungen ergänzen können (z.B. die Gestaltung der Gebäude bzw. Baukonstruktionen, das Bewohnerverhalten, die Heiz- und Kühlanlagen etc.). Solche Daten werden im Einzelnen in den kommenden Kapiteln untersucht.

### 4.1 Klimadaten

Die erforderlichen stündlichen Klimadaten sollen in eine Klimadatei einfließen, die ein Programm dynamisch auslesen kann. Diese Klimadatei soll das herrschende regionale Klima ausdrücken und die folgenden Faktoren umfassen:

- Senkrecht auf die Außenoberfläche treffende Regenmenge in [mm/h] (Schlagregen); bei der Bestimmung dieser Regenmenge ist die Neigung und die Orientierung der Fläche zu berücksichtigen
- Globalstrahlung bzw. die diffuse Strahlung der Sonne in [W/m<sup>2</sup>]
- Senkrecht auf die Außenoberfläche treffende direkte Sonnenstrahlung in [W/m<sup>2</sup>]; bei der Bestimmung dieser Strahlungsmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden
- Temperatur der Außenluft in [°C]
- Relative Feuchte der Außenluft in [%]
- Windgeschwindigkeit in [m/s]
- Windrichtung in [°]
- Luftdruck in [hPa].

Die zur Rechnung benutzte Klimadatei kann gemessene Klimadaten, synthetische aber realistische Wetterdaten oder völlig künstliche Daten (die z.B. ein Laborexperiment beschreiben) enthalten. In dieser Arbeit wurden synthetische stündliche Klimadaten für ein typisches Jahr in Damaskus und Lattakia verwendet, die durch das Programm METEONORM in Form von Testreferenzjahr-Klimadateien TRY erzeugt und zur Verfügung gestellt wurden. Unter METEONORM versteht man umfangreiche Datengrundlagen der nationalen Wetterdienste sowie der Weltmeteorologie Organisation (WMO) von allen Teilen der Welt mit einer großen Anzahl von Berechnungsmodellen, welche im Rahmen internationaler Forschungsprojekte bei der aus der Schweiz stammenden Firma Meteotest entwickelt wurden. Seine Berechnungsalgorithmen sind international anerkannt und mehrfach mit tatsächlichen Wetterdaten wie SFOE (2003), BIER (2002) und MANGOLD (2004) verglichen und validiert worden. Zum Vorteil dieses Programms zählt auch, dass es Klimadateien in Format TRY/WUFI erstellt, die von WUFI automatisch ausgelesen werden können. Durch BSIM liegt somit die Möglichkeit vor, die Klimadatei in ein auslesbares Format zu invertieren.

## **4.2 Bauphysikalische Datenbank**

### **4.2.0 Allgemeines**

Die Wärme- und Feuchteströme, die sich im Bauteil einstellen, hängen nicht nur von seinen Bestandteilen, seiner Herstellung und den Einbaubedingungen ab, sondern wesentlich auch von den Leit- und Speicherfähigkeiten der einzelnen Materialien. Die wichtigsten Materialdaten, die bei hygrothermischen Berechnungen in die Simulationsprogramme eingegeben werden müssen, sind die nachstehenden Kennwerte:

- Dichte [ $\text{kg/m}^3$ ]
- Porosität [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]
- Spezifische Wärmekapazität [ $\text{J}/(\text{kgK})$ ]
- Wärmeleitfähigkeit [ $\text{W}/(\text{mK})$ ]
- Diffusionswiderstandszahl [-]
- Feuchtespeicherfunktion [-]
- Flüssigtransportkoeffizient für das Saugverhalten und die Weiterverteilung [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

Wegen des Mangels an speziellen Laboren und entsprechenden experimentellen Erkenntnissen in Syrien sind die meisten Kennwerte für die dort verwendeten Materialien nicht vorhanden. Deshalb war die Bestimmung dieser Kennwerte, soweit nicht

durch die Literatur und Normen bekannt, unter Laborbedingungen in Deutschland unvermeidbar, wobei selbstverständlich die syrischen Rahmenbedingungen ausreichende Beachtung fanden. Mehrere Probekörper von Hohlblocksteinen (Standard bzw. Praxis) und Sandzementputz (mindestens 4 Objekte jedes Materials) wurden in Syrien hergestellt und nach Deutschland transportiert. Die Proben hatten die Abmessungen von 23 cm Durchmesser und 2 cm Dicke. Für den Stahlbeton und Kalkzementputz sind die international anerkannten bauphysikalischen Standardkennwerte eingesetzt worden, welche in den Datenbanken der verwendeten Simulationsprogramme vorhanden sind.

Die erforderlichen Versuche wurden unter Berücksichtigung der einschlägigen deutschen Normen mehrere Monate lang im Labor an der Hochschule Wismar durchgeführt.

#### 4.2.1 Bestimmung der mechanischen Kennwerte

Die *Dichte* ist nach DIN 1306 bestimmt worden. Durch die Messmethode Quecksilberporosimetrie (s. Abb. A4-1) konnten die *Porosität* und die Porenstruktur der Materialien nach DIN 66133 bestimmt und nachfolgend zur Ermittlung der Feuchtespeicherfunktion genutzt werden. Die Versuche wurden für zwei Proben jedes Materials durchgeführt, die Messergebnisse gemittelt und in der Abbildung 1 dargestellt. In der Abbildung 1 ist ablesbar, dass die bei der Herstellung gepressten Hohlblocksteine im Vergleich zum Putz eine feinere Porenstruktur haben. Für die Dichte und die Porosität wurden die Ergebnisse in der Tabelle 1 zusammengefasst.

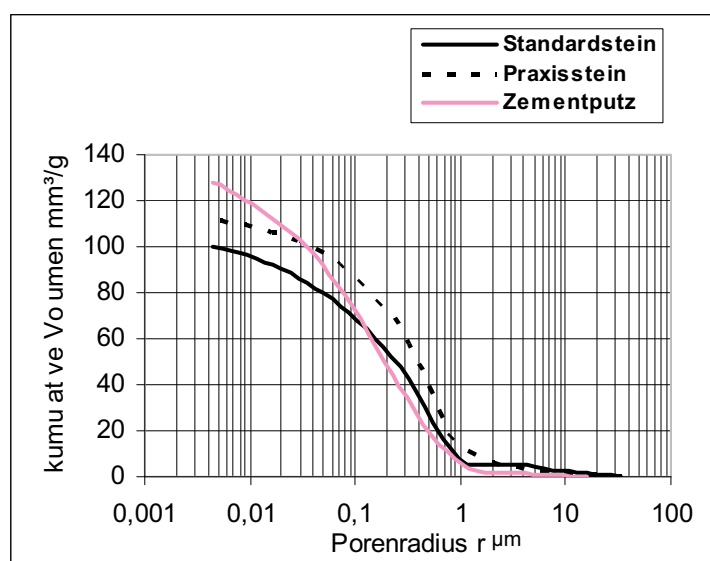


Abbildung 1: Porenstruktur der untersuchten Baumaterialien.

Tabelle 1: Messergebnisse der Rohdichte und der Porosität.

| Kennwert                      | Rohdichte         | Totalporosität |
|-------------------------------|-------------------|----------------|
| Einheit                       | kg/m <sup>3</sup> | %              |
| dichter Praxisstein           | 2200              | 23             |
| dichter Standardstein         | 2300              | 20             |
| Praxisstein mit Luftkammern   | 1500              | -              |
| Standardstein mit Luftkammern | 1600              | -              |
| Zementputz, Zementmörtel      | 2000              | 25             |

#### 4.2.2 Bestimmung der thermischen Kennwerte

Die spezifische Wärmekapazität wurde auf Grundlage der DIN EN 1159-3 (Verfahren B: Dynamische Differenz- Kalorimetrie) gemessen. Hierbei diente heißes Wasser als Wärmequelle.

Tabelle 2: Wärmekapazität der untersuchten Baustoffe.

| Kennwert                      | Wärmekapazität |
|-------------------------------|----------------|
| Einheit                       | kJ/(kgK)       |
| dichter Praxisstein           | 1              |
| dichter Standardstein         | 1,12           |
| Praxisstein mit Luftkammern   | -              |
| Standardstein mit Luftkammern | -              |
| Zementputz, Zementmörtel      | 1,1            |

Die Wärmeleitfähigkeit wurde durch das Wärmestrommessplatten-Gerät (s. Abb. A4-2) nach DIN EN 12667 gemessen. Die Messergebnisse stellen die Wärmeleitfähigkeitskennwerte für den dichten Stein dar. Tatsächlich enthalten die syrischen Betonsteine Luftkammern, welche einen erheblichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit haben. Aus technischen Gründen (das Messgerät im Labor kann nur Proben ab einer bestimmten Dichte messen) und Transportbeschränkungen gab es keine Möglichkeit zur Messung dieser eigenen Hohlblocksteine. Um dieses Problem zu überwinden, sollte der Hohlstein durch das Simulationsprogramm HEAT 3 konstruiert und sein realistischer Wert  $\lambda$  berechnet werden. Dabei wurden die Betonstege des Steins als Wärmebrücken und die Luftkammern als Luftschichten betrachtet. Die Wärmeleitfähigkeit der Luft ist mit 0,025 W/(mK) bekannt. Zusätzlich zur Wärmeleitung kann die Wärme in Luftschichten auch durch Konvektion und Strahlung transportiert werden. Deswegen muss in der vorliegenden Untersuchung die effektive Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_L$  eingesetzt werden, die diese unterschiedlichen Transportsmechanismen in Betracht ziehen kann. Die effektive Wärmeleitfähigkeit der Luftschicht kann durch die folgende Gleichung bestimmt werden:

$$R_L = \frac{d}{\lambda_L} \Rightarrow \lambda_L = \frac{d}{R_L} \quad (3)$$

Der *Wärmdurchlasswiderstand* der Luftschicht  $R_L$  ist aus der Tabelle A4-1 nach GÖSELE (1989) für z.B. eine Dicke  $d = 5$  cm (Dicke der Luftkammer eines Steins 15 cm) mit dem Wert  $0,18 \text{ m}^2\text{K/W}$  (senkrecht, nichtmetallische Stoffe) anzusetzen. Durch den Einsatz der berechneten Wärmeleitfähigkeit der Luft nach Gleichung (3) und der gemessenen Wärmeleitfähigkeit des dichten Steins konnte der Wärmestrom über einen Hohlblockstein mit HEAT 3 simuliert werden (s. Abb. A4-3). Aus dem sich ergebenden Wärmestrom ist die effektive Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_s$  des gesamten Hohlblocksteins durch den *Wärmedurchgangswiderstand*  $R_s$  (s. Gl. 4) zu berechnen:

$$q = \frac{1}{R_s} \times \Delta\theta = \frac{1}{(R_e + \frac{d_s}{\lambda_s} + R_i)} \times \Delta\theta \Rightarrow \lambda_s = \frac{q \times d}{\Delta\theta - q(R_e + R_i)} \quad (4)$$

Ähnlich wurde die Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Hohlblocksteine für unterschiedliche Größen und Verwendungszwecke bestimmt. Darüber hinaus wurde sie auch für die Baukonstruktionen berechnet, so dass Einflüsse des Mörtels zwischen den Steinen oder der Stahlbetonbrücken zwischen Steinen der Stahlsteinplatte auch berücksichtigt werden konnten. Solche konstruktiven Details sind von den eingesetzten Simulationsprogrammen BSIM bzw. WUFI nicht darzustellen und somit zu berechnen. Die wichtige Kennzahl für die thermische Leistung der Bauteile, der U-Wert [*Wärmedurchgangskoeffizient* in  $\text{W/(m}^2\text{K)}$ ], wird ebenfalls durch die Gleichung (5) berechnet.

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{(R_e + \frac{d_B}{\lambda_B} + R_i)} \quad (5)$$

Für Fenster wurden Holz- und Aluminiumfenster nach DIN EN ISO 10077-2 numerisch berechnet (s. auch 6.3). Hier ist das Programm HEAT 2 zum Einsatz gekommen (s. Abb. A4-4). Dabei sind Fenster mit einer einfachen Verglasungsscheibe gewählt, welche typisch in Syrien sind. Aluminiumfenster sind thermisch nicht getrennt und oft mit Schiebsystemen versehen (s. Abb. A4-5). Typische Rahmenabmessungen (6 cm Breite und 2 cm Dicke für Alurahmen sowie 4 cm Dicke für Holzrahmen) wurden ausgewählt. Schließlich sind die erzielten Mess- bzw. Simulationsergebnisse in der Tabelle 3 zusammengefasst worden.

*Tabelle 3: Wärmeleitfähigkeit und Wärmedurchgangskoeffizienten der untersuchten Baumaterialien und Bauteile.*

| Bauelement                             | Anmerkungen                                    | $\lambda$<br>W/(mK)                                         | U-Wert<br>W/(m²K) | Bestim-<br>mungsart |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
| dichter Praxisstein                    | Beton aus Zement und Kalkgesteinen             | 1,4                                                         | nach der Dicke    | Messung             |
| dichter Standardstein                  | Beton aus Zement und Kalkgesteinen             | 1,4                                                         | nach der Dicke    | Messung             |
| Hohlblockstein<br>Praxis bzw. Standard | Betonstein mit Luftkammern                     | 0,7 (40*20*20 cm)<br>0,8 (40*20*15 cm)<br>0,9 (40*20*10 cm) | 2,2<br>2,8<br>3,5 | Simulation          |
| Dachstein                              | Betonstein<br>(Sonderform)                     | 0,83 (40*20*14)<br>0,79 (40*20*18)                          | 3,2<br>2,7        | Simulation          |
| Zementputz                             | Sand + Zement                                  | 1,6 (2 cm)                                                  | 5,5               | Messung             |
| Stahlsteinplatte                       | mit Steinen 14 cm                              | 1,4 (28 cm)                                                 | 3                 | Simulation          |
| Stahlsteinplatte                       | mit Steinen 18 cm                              | 1,3 (32 cm)                                                 | 2,6               | Simulation          |
| Außenwand aus Hohlblockstein           | Zementputze                                    | 0,9 (40*20*15 cm)                                           | 2,7               | Simulation          |
| Außenwand aus Hohlblockstein           | Zementputze                                    | 0,8 (40*20*20 cm)                                           | 2,2               | Simulation          |
| Innenwand aus Hohlblockstein           | Zementputze                                    | 1 (40*20*10 cm)                                             | 3,2               | Simulation          |
| Aluminiumfenster                       | Einfachverglasung und thermisch nicht getrennt | -                                                           | 6,3               | Simulation          |
| Holzfenster                            | Einfachverglasung                              | -                                                           | 4,75              |                     |

#### 4.2.3 Bestimmung der hygrischen Kennwerte

Nach dem Versuchsplan wurde die *Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl*  $\mu$  nach DIN EN ISO 12572 in einem Messzeitraum über vier Monate bestimmt. Die Versuche sind nach der erwähnten DIN für zwei Situationen (trocken  $\mu$  und feucht  $\mu^*$ ) durchgeführt worden (s. Abb. A4-6). Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4 dargestellt. Für die Berechnung in WUFI wurde die gemittelte Zahl des  $\mu$ -Wertes jedes Materials eingesetzt.

Für die *Feuchtespeicherfunktion* wurden deren drei Bereiche charakterisiert und bestimmt, wie die Abbildung 2 nach VÖLKNER (2003) zeigt. Nach KAST und JOKISCH (1972) sowie KÜNZEL (1991) stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte bei hygroskopischen Baustoffen im Kontakt mit feuchter Luft ein, die von der relativen Luftfeuchte in der Umgebung bestimmt wird, während der Einfluß der Temperatur in bauphysikalischen Betrachtungen zu vernachlässigen ist. Aus diesem Grund werden die hygroskopischen Ausgleichsfeuchten von Baustoffen in Form von sogenannten Sorptionsisothermen dargestellt. Der gegensätzliche Vorgang, wobei die Poren Wasserdampf an die umgebende Luft abgeben, wird als Desorption (Trocknungsvorgang) bezeichnet.

Tabelle 4: Messergebnisse der Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl  $\mu$ .

| Baustoff      | Trockenbereichsverfahren<br>(0 % - 50 % RH)<br>$\mu$ [-] | Feuchtbereichsverfahren<br>(50 % - 100 % RH)<br>$\mu$ [-] |
|---------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Praxisstein   | 30-50                                                    | 17-36                                                     |
| Standardstein | 38-75                                                    | 27-40                                                     |
| Zementputz    | 40-50                                                    | 28-30                                                     |

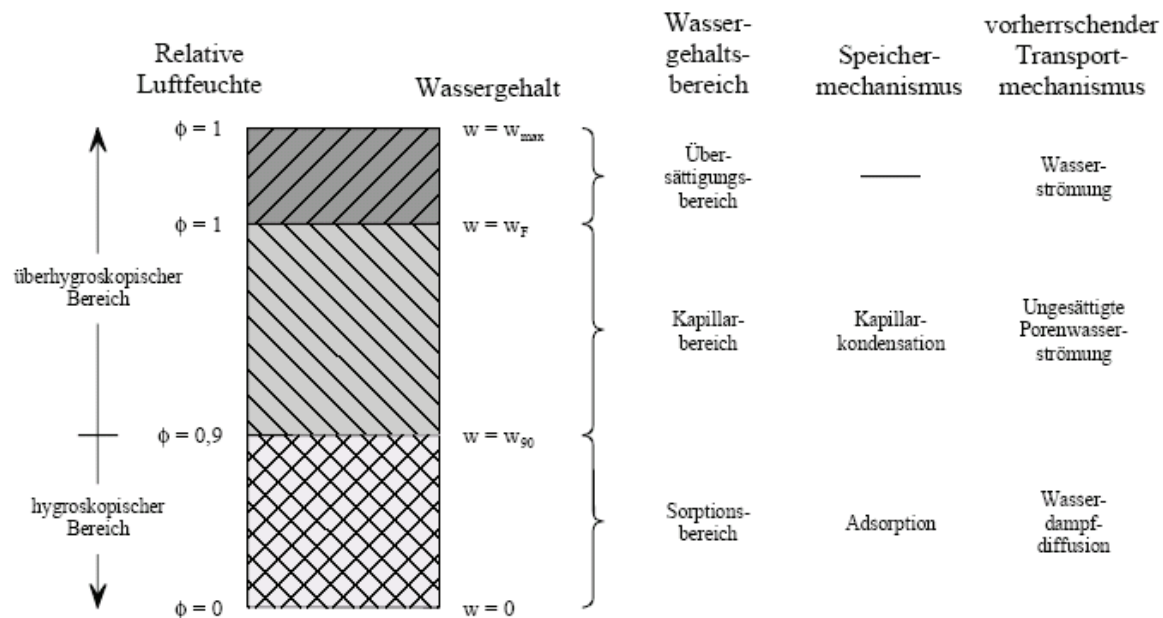


Abbildung 2: Unterschiedliche Phasen der Feuchtespeicherfunktion eines Materials nach VÖLKNER (2003).

Die Sorptions- und Desorptionsisothermen der untersuchten Baumaterialien wurden nach DIN EN ISO 12571 bestimmt. Normalerweise ist die entstehende Hysterese zwischen Absorptions- und Desorption für die meisten Baustoffe so wenig ausgeprägt, dass nach KÜNZEL (1984) zur Charakterisierung der Feuchtespeicherung im Material die Sorptionsisothermen annäherungsweise ausreichen. Dieser Ansatz war eigentlich für die betrachteten Baustoffe nicht zutreffend, da das Sorptionsverhalten von zementhaltigen Materialien tatsächlich eine ausgeprägte Hysterese aufweist, was auch Untersuchungen von ESPINOSA (2005) das zeigen.

Um den Einfluss dieser starken Hysterese zu mildern, war nach Untersuchungen von RODE (1990), der seine Berechnungsergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Hysterese verglichen hat, eine ausreichend genaue Beschreibung des Sorptionsbereichs durch die Mittelung von Sorptions- und Desorptionsisothermen möglich. Diese Messergebnisse sind in der Abbildung 3 dargestellt.

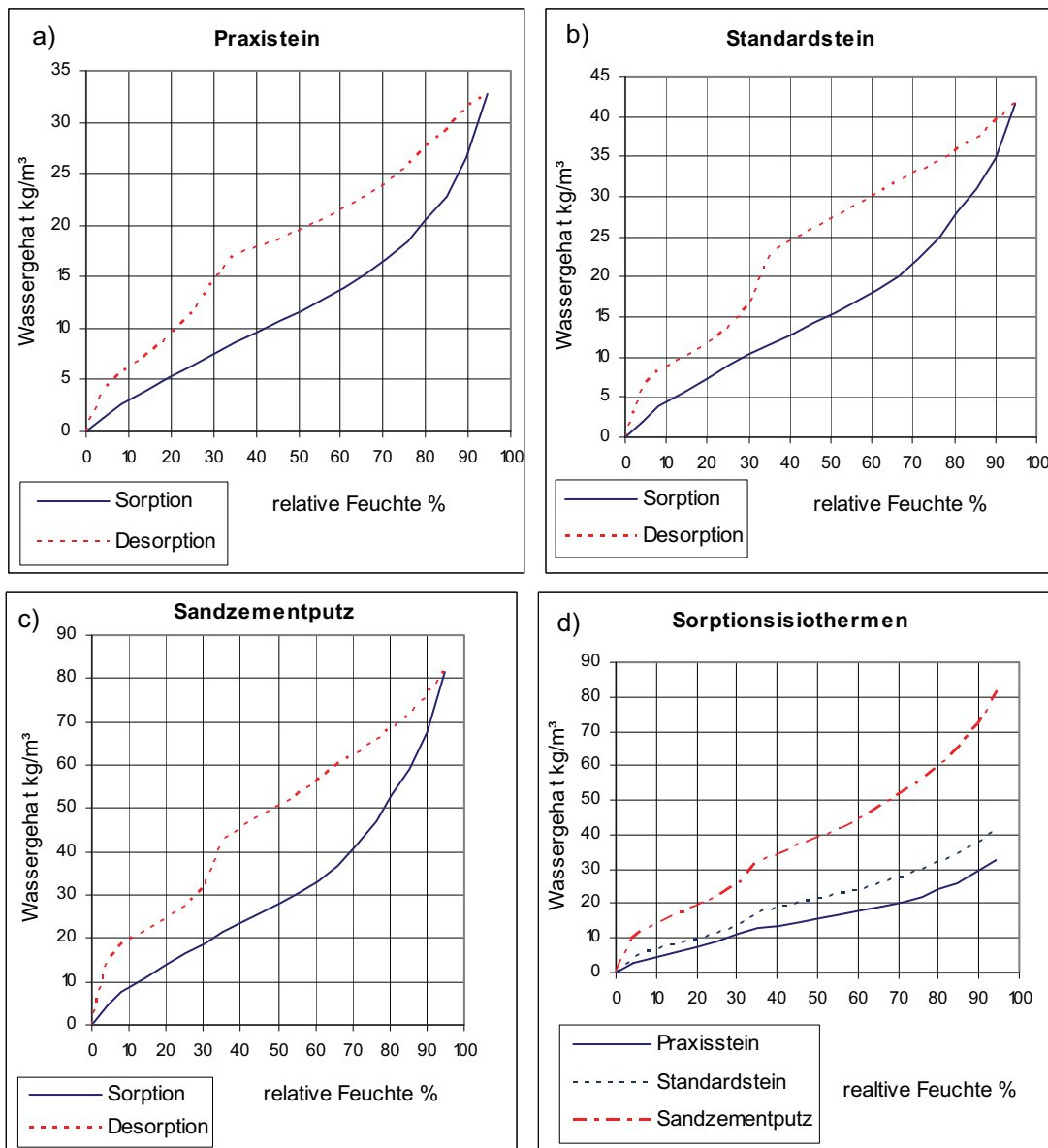


Abbildung 3: Sorptions- und Desorptionsisothermen verschiedener untersuchten Materialien (a, b, c) und deren vorgenommenen Mittelung (d).

Bei relativen Luftfeuchten von  $\phi > 95\%$  steigen die Sorptionsisothermen sehr stark an, so dass eine eindeutige Zuordnung des Wassergehaltes zur Luftfeuchte durch Messverfahren nicht mehr möglich ist. Hier beginnt der so genannte Kapillarwasserbereich (bzw. überhygroskopischer Bereich). Dieser Bereich ist gekennzeichnet durch die Fähigkeit kapillarporöser hygroskopischer Materialien, Wasser bis zum Erreichen der *freien Wassersättigung* aufzusaugen, wobei nach KRUS (1995) der Kapillardruck bzw. die Saugspannung in den Poren ein Gleichgewicht erreicht. Der überhygroskopische und der Übersättigungsbereich sind durch die Druckporosimetrie-kurven, die eine Beziehung zwischen dem Wassergehalt  $w$  [kg/m³] und den dem Kapillardruck entsprechenden Porenradien  $r$  [m] beschreibt, darzustellen. Der Wasser-



gehalt wurde durch die in der Abbildung 1 bereits angegebenen kumulativen Porenvolumen  $V'$  [m<sup>3</sup>/kg] in Anlehnung an KÜNZEL (1994) nach der nachstehenden Gleichung berechnet:

$$w = \rho_w \times \rho_p \times V' \quad (6)$$

Die Wasserdichte  $\rho_w$  ist mit 997,56 kg/m<sup>3</sup> bei einer Messtemperatur von  $\theta = 23$  °C nach PERROCHET (1994) eingesetzt worden. Da unter natürlichen bauphysikalischen Bedingungen eine Befeuchtung mineralischer Baustoffe über die freie Wassersättigung bis zum maximalen Wassergehalt  $w_{\max}$  hinaus nur in Ausnahmefällen (z.B. im Labor durch Anwendung äußeren Druckes, Anlegen eines Unterdruckes zum Entfernen der Luftblasen oder durch erzwungene Kondensation durch Unterschreiten des Taupunktes) auftritt, ist der Übersättigungsbereich nach KRUS (1995) nicht in Betracht zu ziehen. Ausgehend davon ist die Feuchtespeicherfunktion nur durch den hygroskopischen und überhygroskopischen Bereich bis zur freien Sättigung zu definieren. Im Bezug auf den freien Sättigungspunkt  $w_f$  sollte dieser separat experimentell nach DIN 52103 bestimmt werden. Die Ergebnisse werden in der Tabelle 5 gezeigt.

*Tabelle 5: Maximaler Wassergehalt unter natürlichen Bedingungen  $w_f$  verschiedener Materialien.*

| Material          | Praxisstein | Standardstein | Sandzementputz |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|
| kg/m <sup>3</sup> | 227         | 200           | 255            |

Ersichtlich ist, dass die Sorptionsisothermen und die Druckporosimetriekurven den Wassergehalt jeweils in der Abhängigkeit von echten unterschiedlichen Potentialgrößen, der relativen Luftfeuchte  $\phi$  als Verhältnis des Dampfdruckes zum Sättigungsdampfdruck und dem Kapillarradius  $r$  als kennzeichnende Größe für den Kapillardruck ergeben. Dies verhindert die Darstellung der Feuchtespeicherfunktion, die aus Sorptionsisothermen und Druckporosimetriekurven besteht. Aber beide Größen ( $\phi, r$ ) sind nach HOLM (2001) über thermodynamische Gleichgewichtsbedingung nach der Kelvins-Gleichung miteinander verknüpft:

$$\phi = \exp \left[ \frac{2\sigma \cos \beta}{r \rho_w R_D T} \right] \quad (7)$$

Damit kann der Wassergehalt im hygroskopischen und überhygroskopischen Bereich einheitlich als Funktion entweder von  $\phi$  oder von  $r$  als Feuchtespeicherfunktion zu-

sammengesetzt werden. Universell anwendbar und praktisch anschaulicher ist die Wahl der relativen Luftfeuchte als allgemeines Feuchtespeicherpotential.

Darauf aufbauend wurden die Druckporosimetriekurven in die relative Feuchtigkeit (als einziges Feuchtespeicherpotential für die Feuchtespeicherfunktion) umgerechnet und die Umrechnungsergebnisse den Sorptionsisothermen zur Bildung dieser Funktion angepasst. Die Anpassung erfolgte durch das dem Instrument WUFI beigegebene Programm HYGROAPPROX unter Berücksichtigung der freien Sättigung, wie in HOLM (2002) erklärt ist. Dieses Programm ist vom Fraunhofer Institut Holzkirchen IBP für diesen Zweck entwickelt worden. Der Anpassungsprozess und die Schlussergebnisse der Feuchtespeicherfunktion von den untersuchten Baustoffen sind in der Abbildung 4 dargestellt und zusammengefasst.

Die Bestimmung der Flüssigtransportkoeffizienten (*Flüssigtransportkoeffizient Saugen*  $Dw_s$ , *Flüssigtransportkoeffizient Weiterverteilung*  $Dw_w$ ) kann durch Messung instationärer Feuchteprofile in Baustoffproben erfolgen, wie dies in KIESSL und KRUS (1993) beschrieben ist. Da die messtechnische Bestimmung dieser Koeffizienten sehr aufwändig und im Labor nicht möglich war, sollten sie entsprechend annähernd approximiert werden.

Das Programm HYGROAPPROX bietet zusätzlich die Möglichkeit, die Wasseraufnahmekoeffizienten durch eine gute Approximation für den Flüssigtransportkoeffizienten Saugen  $Dw_s$  bzw. Weiterverteilung  $Dw_w$  zu bestimmen. Diese Approximation basiert auf der folgenden Exponentialfunktion:

$$Dw_s = 3,8(W_w/w_f)^2 1000^{w/w_f - 1} \quad (8)$$

Zur Berechnung des Feuchteverhaltens von Bauteilen, die ausschließlich kurzfristig mit Wasser in Kontakt kommen (z.B. beim Regen) ist diese Approximation nach KÜNZEL (1994) ausreichend genau. Für eine flexible und wirksame Messmethode wurde auf den Versuchsaufbau und Messungsablauf nach DIN EN ISO 15148 zur Bestimmung des erforderlichen *Wasseraufnahmekoeffizienten*  $W_w$  verzichtet und die erforderliche Messung durch kontinuierliche automatische Erfassung der Wasseraufnahme durchgeführt (s. Abb. A4-7). Diese angewendete Messmethode ist in MAINKA und HARFOSH (2006) ausführlich beschrieben und sie hat sich nach PLAGGE und SCHEFLER (2005) als wirksam und zuverlässig erwiesen. Mit ihr sind die



Unter Berücksichtigung des gemessenen Wasseraufnahmekoeffizienten wurde der Flüssigtransportkoeffizient  $Dw_s$  linear nach der Gleichung (8) durch das Programm HYGROAPPROX berechnet. Dafür wurde der Wassergehalt bei der relativen Feuchtigkeit von 80 % (Gleichgewichtswassergehalt  $w_{80}$ ) und bei der freien Wassersättigung  $w_f$  eingesetzt. Für die Berechnung der Flüssigtransportkoeffizient- Weiterverteilung  $Dw_w$  geht man auch von einer annähernd exponentiellen Abhängigkeit des Flüssigtransportkoeffizienten vom Wassergehalt aus. Zur Beschreibung dieser Funktion sind nach KÜNZEL (1994) nur zwei Werte erforderlich. Da der Vorgang des Weiterverteils in den kleinen Kapillaren mit ihrem höheren Strömungswiderstand im Vergleich zum Saugvorgang langsamer abläuft, ist der zugeordnete Flüssigtransportkoeffizient in der Regel deutlich kleiner als für das Saugen. Der erste Wert im hygroskopischen Feuchtebereich lässt sich nach den folgenden Gleichungen berechnen:

$$D_\phi(\phi) = p_{sat} \delta \left( \frac{1}{\mu^*(\phi)} - \frac{1}{\mu} \right) \quad (9)$$

$$D_\phi = Dw_w \frac{\partial w}{\partial \phi} \quad (10)$$

Unter Berücksichtigung, dass  $p_{sat}$  und  $\delta$  bereits bei der Messung der Wasserdampf-diffusionswiderstandzahl nach DIN EN ISO 12572 festgelegt worden sind, kann man die Gleichung (10) nach der Gleichung (9) lösen und den ersten Punkt von  $Dw_w$  bestimmen. Der zweite Punkt liegt aufgrund der vorhergehenden Untersuchungen von HOLM (2001) etwa eine Zehnerpotenz unter  $Dw_s$ . Die Abbildung (5) zeigt die Ergebnisse des Approximationsprozesses von  $Dw_w$  und  $Dw_s$ .

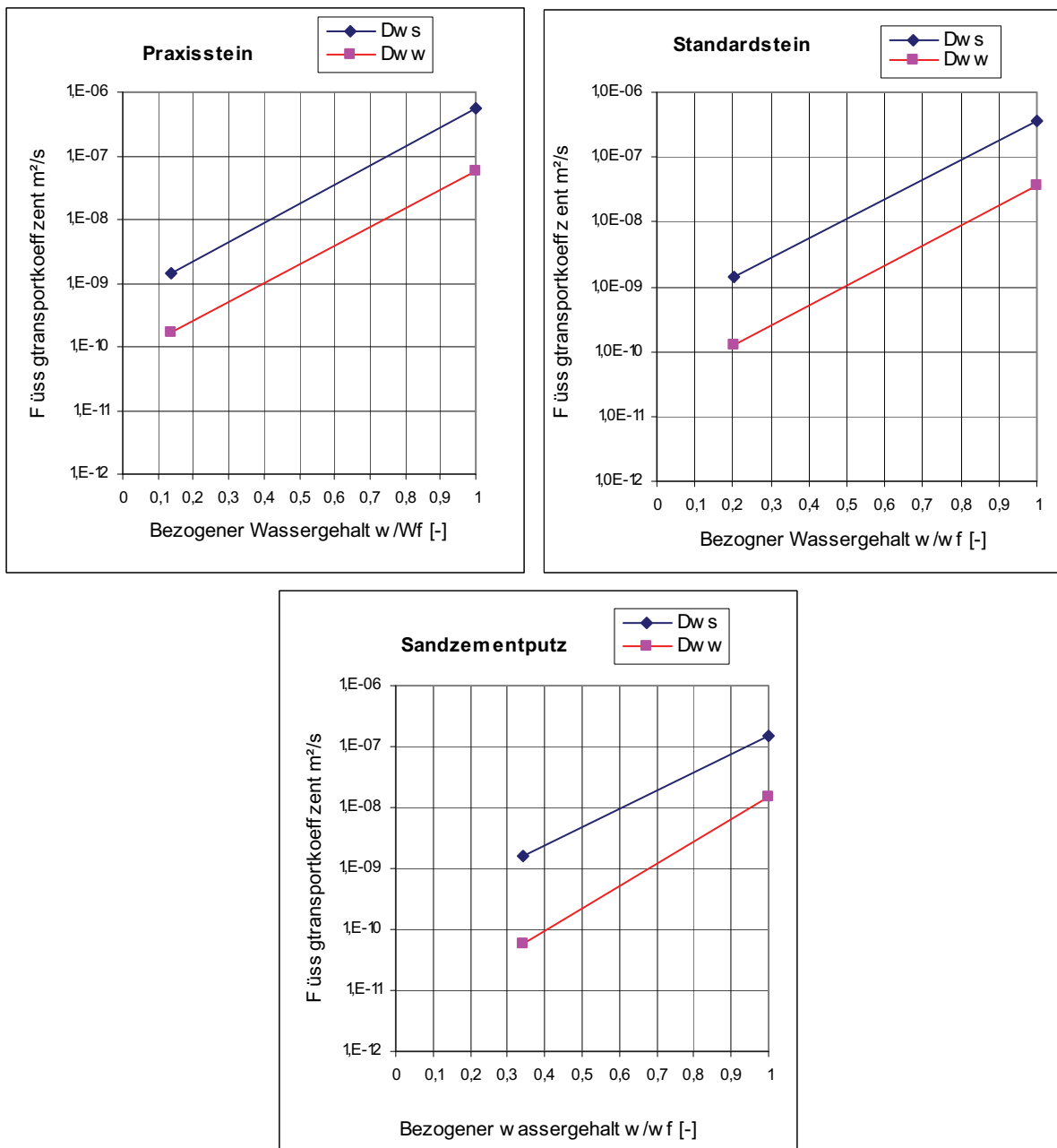


Abbildung 5: Darstellung der durch die Approximation bestimmten Flüssigtransportkoeffizienten  $D_{w w}$  und  $D_{ws}$ .

## 5. Validierung von BSIM

### 5.0 Allgemeines

Für das Berechnungsmodell BSIM war ein Test erforderlich, bevor es für die Raumklimauntersuchung zum Einsatz kommen konnte. Das ist durch einen Vergleich gemessener, realer Daten eines Raumklimas über einen bestimmten Zeitraum an einem bestimmten Ort mit den durch das Programm berechneten Daten für gleiche Gegebenheiten erfolgt. Dabei ist zu erwähnen, dass BSIM von ROZYNSKI (2006) eingesetzt und validiert wurde. Dabei umfasste die Validierung nur die Raumtemperatur und die Energiebilanz für 20 Messzeittage im Sommer. Die Raumluftfeuchtigkeit, die auch für das Behaglichkeitsgefühl und die Gefahr eines Schimmelwachstums eine wesentliche Rolle spielt, wurde in dieser Untersuchung nicht in Betracht gezogen.

Tatsächlich ist das Raumklima durch unterschiedliche bestehende Randbedingungen zu bestimmen, welche die nachstehenden Faktoren einschließen können:

- Das Außenklima und seine periodischen Veränderungen
- Die verwendeten Bauteile und Baukonstruktionen
- Die Luftdichtheit (der natürliche Luftwechsel)
- Das Verhalten der Bewohner
- Die eingesetzten Klimaanlage und deren Betriebszeiten
- Die Ausrichtung des Raumes
- Die geometrische Lage und ihre Elemente (wie die Verschattung, die Höhe, die Erschließung etc).

Für den Vergleich wurden Messungen vor Ort durchgeführt, die das Raumklima und die sich auswirkenden Randbedingungen beinhalteten. Diese gemessenen Randbedingungen wurden bei der Berechnung als Eingabedaten eingesetzt. Abschließend wurde das Rechenergebnis mit dem gemessenen Raumklima verglichen. Je besser die mathematischen Grundlagen des getesteten Modells die tatsächlichen physikalischen thermischen Erscheinungen beschreiben, und je realitätsnaher die eingegebenen Daten sind, desto erfolgreicher ist der Validierungsprozess. Die Validierung ist erfolgt, wenn eine gute Übereinstimmung zwischen den Rechenergebnissen und den gemessenen Ergebnissen vorhanden ist. Überweichungen sollen begründet werden. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass aufgrund der allgemein üblichen intensiven Nutzung und der Beeinträchtigung der Vorgänge innerhalb der Wohnung die Auswahl der zu untersuchenden Gebäude eingeschränkt war. Die ausgewählten Ge-

bäude entsprechen jedoch den beschriebenen typischen Wohnbedingungen des Landes. Darüber hinaus sollte die Validierung wegen der vorhandenen Messmöglichkeiten nur für ein relativ kleines Raumklima erfolgen, allerdings unter der Voraussetzung, dass die Erkenntnisse für die Validierung von kleinen Klimaräumen prinzipiell auch bei großen Klimaräumen zutreffen. Ausgehend davon sind die folgenden Voraussetzungen festzuhalten:

- Das Raumklima wurde nur für ein Zimmer gemessen und simuliert. Dafür wurde das Wohnzimmer ausgewählt, in dem normalerweise die Bewohner die meiste Zeit verbringen und demzufolge die vielfältigsten Vorgänge stattfinden.
- Der Vergleich hat sich nur auf die relative Innenluftfeuchte und die Innenlufttemperatur beschränkt, die hauptsächlich das Raumklima thermisch bestimmen.

### **5.1 Beschreibung der Beispielgebäude**

Zwei Wohnungen in zwei Mehrfamilienhäusern standen für die erforderlichen Messungen zur Verfügung. Sie liegen in der Küstenstadt Lattakia und in der Stadt im Landes-Inneren Damaskus. Sie sind zu den neueren Wohngebäuden in Syrien zu zählen, wobei das Gebäude in Lattakia 2000 und das Gebäude in Damaskus 1982 fertig gestellt wurden.

Das Haus in Damaskus ist ein fünfgeschossiges Wohngebäude, das in Nord-Süd Richtung liegt. Jedes Geschoss enthält zwei Wohnungen und hat eine Höhe von 3 m. Dieses Gebäude repräsentiert die typischen genossenschaftlichen Wohngebäude in Syrien, die durch staatliche Maßnahmen gefördert werden. Die einzelne Wohnung besteht aus einem Wohnzimmer, einem Ess- und Gästezimmer und zwei weiteren Wohnräumen (Schlaf- bzw. Kinderzimmer). Dazu kommen die Küche, das Badezimmer und zwei Balkone. Die gesamte Wohnfläche jener Wohnung beträgt 120 m<sup>2</sup>. Das Wohnzimmer (Wohnzimmer 1), in dem das Raumklima gemessen wurde, liegt an der Nordseite der dritten Etage und besitzt Außenwände nach West und nach Nord (s. Abb A5-1). Seine Grundfläche beträgt 13,6 m<sup>2</sup> (3,4 m Tiefe, 4 m Breite) und die Außenwandfläche 20,9 m<sup>2</sup>. Die nördliche Außenwand enthält ein Fenster mit 2,4 m<sup>2</sup> Fläche (2 x 1,2 m), während die westliche Fassade durch eine Fenstertür mit 4 m<sup>2</sup> Fläche auf einen Balkon hinausgeht. Die Brüstungshöhe der Fenster liegt 0,9 m über dem Fußbodenniveau. Die einzelnen Bauteile sind wie folgt konstruiert:

- Decke und Fußboden aus Stahlsteinplatte mit 21 cm Dicke (14 cm Stein, und 7 cm Stahlbeton), Innen-Kalkzementputz 2 cm, und Fußbodenaufbau 10 cm

- Außenwände aus Hohlblocksteinen (15 cm) mit 2 cm Kalkzementputz innen und außen
- Innenwände aus Hohlblocksteinen (10 cm) mit 2 cm Kalkzementputz auf beiden Seiten
- Fenster und Fenstertür mit Aluminiumrahmen mit einer einfachen Verglasung, wie es in 4.2.2 beschrieben ist. Ein Holzfensterladen ist an dem Fenster und eine Innenjalousie an der Fenstertür angebaut.

Das Gebäude in Lattakia ist ein dreigeschossiges Privatwohngebäude mit zwei Wohnungen auf jeder Etage und liegt in Nord-Süd Richtung (s. Abb. A5-2). Das untersuchte Wohnzimmer (Wohnzimmer 2) liegt in der nördlichen Wohnung des Dachgeschosses und besitzt eine einzige westliche Fassade. Die gesamte Wohnfläche der Wohnung beträgt 80 m<sup>2</sup>, während die Grundfläche vom Wohnzimmer 25,9 m<sup>2</sup> (7,1 m Tiefe, 3,65 m Breite) ausmacht. Die Fassade hat eine Fläche von 10,95 m<sup>2</sup>. Eine Fenstertür geht mit 4 m<sup>2</sup> Fläche auf einen kleinen Balkon hinaus.

Die nachstehenden Baumaterialien und Bauteile sind für diese Wohnung zum Einsatz gekommen:

- Dach aus einer massiven Stahlbetonplatte (14 cm) mit 2 cm Innen-Sandzementputz
- Fassade aus Hohlblocksteinen (15 cm) mit 2 cm Sandzementputz innen und außen
- Innenwände aus Hohlblocksteinen (10 cm) mit 2 cm Sandzementputz auf beiden Seiten
- Fenstertür aus Alurahmen mit einer einfachen Verglasung.

## 5.2 Langezeitmessungen

Für die Messungen wurden die Messgeräte ALMEMO 2890–9 von der Firma AHLBORN (2003) aus dem Bestand der Universität Rostock eingesetzt. Dieses Messgerät ist nach AHLBORN (2003) ein Datenlogger mit 9 Mess-Eingängen und 36 Fühlerkanälen, mit dem 36 Messgrößen für ein beliebiges Zeitintervall mit großer Speicherkapazität parallel gemessen werden können.

Der Messprozess dauerte einen Monat (von 19.9.2005 bis 19.10.2005) für die Wohnung in Lattakia, hingegen war es möglich, die Messung für die Wohnung in Damascus über ein Jahr (von 27.09.2005 bis 27.09.2006) durchzuführen. Für die Bestimmung des für die Berechnung erforderlichen aktuellen Innen- und Außenklimas wur-



den verschiedene Messsensoren an den Datenlogger angeschlossen, welche die nachstehenden Klimaparameter messen können (s. Abb. A5-3):

- Die Innen– und Außenlufttemperatur und die Innen – und Außenluftfeuchtigkeit
- Die Innen– und Außenoberflächentemperatur der Fassade.
- Die Innenoberflächentemperatur des Daches.
- Die Oberflächentemperatur der Innenwände. Dafür ist ein Messsensor der östlichen Wand (am Schlafzimmer) im Wohnzimmer 1 zugewiesen worden, während die Werte für eine nördliche Wand (am Schlafzimmer) und die südliche Wand (an der Nachbarwohnung) im Wohnzimmer 2 gemessen wurden.
- Die Globalstrahlung; hier wurde Sternpyranometer an den Balkonen eingebaut.
- Die Beleuchtungsstärke im Wohnzimmer.

Darüber hinaus wurde ein Sensor für die Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum am 29.03.2006 nachträglich im Wohnzimmer 1 angeschlossen. Die stündlichen Messdaten für die Außenluft und die Sonnenstrahlung wurden in die Klimadatei übertragen, welche das Außenklima darstellt. Angesichts der fehlenden Möglichkeiten zur Messung der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung und der diffusen Strahlung vor Ort wurde die Klimadatei durch realnahe Messdaten dieser fehlenden Parameter ergänzt. Stündliche Daten der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, und des Bedeckungsgrads wurden elektronisch aus den Online-Wetterwebseiten WEATHER UNDERGROUND und WETTERONLINE für Lattakia und Damaskus erhoben. Durch den Bedeckungsgrad sind die Diffusstrahlung und die Direktstrahlung abgeschätzt worden. Die Innen– und Außenoberflächentemperaturen waren für die Dateneingabe der umschließenden thermischen Zonen und für die Auswertung der Ergebnisse hilfreich. Die Messdaten für die CO<sub>2</sub>-Konzentration und die Beleuchtungsstärke wurden zur Abschätzung des Verhaltens von den Bewohnern im Wohnzimmer genutzt, soweit dieses klimatisch relevant und somit für die Untersuchung erforderlich ist.

Der erwähnte CO<sub>2</sub>-Sensor wurde auch Ende November 2006 für die Bestimmung des natürlichen Luftwechsels (Infiltration) der untersuchten Wohnräume nach DIN EN ISO 12569 eingesetzt. Dafür fand die Konzentrationsabfall-Methode Anwendung, wobei reines CO<sub>2</sub> als Indikatorgas (Spurengas) zum Einsatz gekommen ist (s. Abb. A5-4). Um eine bessere Vorstellung über die Luftdichtheit der neueren Gebäude in Syrien zu erhalten, wurde eine Untersuchung des natürlichen Luftwechsels für ein zusätzliches, drittes Wohnzimmer (in Lattakia) durchgeführt. Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. Die gemessenen Ergebnisse

zum Luftwechsel sind deutlich größer als der analog DIN EN 832 näherungsweise umgerechnete Mindestanforderungswert  $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$  für mäßig abgeschirmte Gebäude. Dieser Näherungswert wurde auf der Grundlage des Wertes  $n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$  nach DIN 4108-7 unter künstlichen Bedingungen (Differenzdruck  $\Delta p = 50 \text{ Pa}$ ) ermittelt.

*Tabelle 7: Ergebnisse der natürlichen Infiltration für drei Stichproben (Wohnräume), unter denen die untersuchten Wohnzimmer der Beispielgebäude enthalten sind.*

| Wohnzimmer                  | Beispiel Damaskus | Beispiel Lattakia | Dritte Stichprobe | Mittelwert |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
| Luftwechsel $\text{h}^{-1}$ | 0,41              | 0,35              | 0,38              | 0,38       |

### 5.3 Simulation und Rechenergebnisse

Die Simulation enthält unterschiedliche integrale Schritte, die durch die in BSIM vorhandenen Optionen zur Darstellung des untersuchten Objekts und zur Beschreibung der herrschenden Rahmenbedingungen in dem betrachteten Zeitraum erforderlich sind. Diese getroffenen Schritte sind in den folgenden Punkten zusammenzufassen.

#### 5.3.1 Aufbau der geometrischen Modelle und Zuweisung der Bauteil- und Konstruktionsdaten

Durch diesen Schritt wurden die Gebäude, in denen die untersuchten Wohnungen liegen, entsprechend der realen Situation (wie bereits beschrieben) geometrisch modelliert und ausgerichtet. Weiter hin wurden für diese Modelle die spezifischen Daten der Bauteil- und Baukonstruktionen zugewiesen. BSIM erlaubt, die eigenen Baumaterialien mit deren bauphysikalischen Eigenschaften, welche bereits im Kapitel 4 bestimmt wurden, in die Datenbank einzugeben. Durch diese eingegebenen Materialien wurden die erforderlichen Bauteile mit den entsprechenden Dicken und Schichten zusammengesetzt und den Modellelementen zugewiesen.

#### 5.3.2 Zuweisung der beeinflussenden Rahmenbedingungen

Zunächst wurde eine Klimadatei hergestellt und mit BSIM dynamisch verbunden. Diese Klimadatei enthält außer den gemessenen Klimadaten auch erforderliche Angaben über die geographische Lage. Im nächsten Arbeitsschritt wurden die erforderlichen Daten, welche die Energieversorgungssysteme, die interne Wärmequelle, die natürliche Lüftung und das Verhalten von Bewohnern beschreiben, in dem berechneten Zeitraum eingegeben. Durch Analyse der gemessenen Daten und intensive Interviews mit den Bewohnern konnte dieses Verhalten gut abgeschätzt werden, wobei die folgenden Einflüsse eingestellt wurden:

- Energieversorgungsanlagen und die Betriebszeiten: Im Wohnzimmer 1 ist ein Elektroraumklimagerät (Split-System) mit einer energetischen Leistung (3,5 kW)

zur Kühlung eingesetzt. Zur Heizung steht eine Zentralheizung zur Verfügung, wobei es in diesem Zimmer einen Heizkörper (ohne Thermostatsventil) gibt, der eine energetische Leistung von 2,5 kW hat. Für das Modell von Lattakia wurde der Einfluss der Klimaanlage nicht berücksichtigt, da sie in der gesamten Messzeit außer Betrieb waren. Betriebszeiten wurden entsprechend der Messaufnahmen gewählt, was auch durch Aussagen der Bewohner über das gewöhnliche Betriebsverhalten bestätigt wurde.

- Die künstliche Beleuchtung und die Elektrogeräte: In den zwei untersuchten Wohnzimmern ist ein Neon-Leuchtstoffstab mit 350 Lux Stärke eingesetzt, wie er oft in den Wohnräumen für die Beleuchtung in Syrien eingebaut wird. Der einzelne Stab hat eine energetische Leistung von 36 W. Wegen der großen Fläche des Wohnzimmers 2 wurde die Beleuchtung mit einem zweiten Leuchtstoffstab unterstützt, der beim Besuch von Gästen angeschaltet wird. Eingaben über die Beleuchtungszeiten wurden durch den Fühler der Beleuchtungsstärke bestimmt. Weiterhin gab es in jedem Wohnzimmer einen Fernseher, dessen Einfluss in die thermische Berechnung eingefügt wurde. Die energetische Leistung eines Fernsehapparats wurde nach DIN 4108 Tabelle 2 mit 35 W eingegeben. Sein Betrieb ist nach Aussagen der Bewohner für die Zeiten vorausgesetzt worden, in denen die Wohnzimmer belegt sind.
- Natürliche Lüftung: Die Lüftung durch die natürliche Infiltration wurde nach der Tabelle 6 eingestellt. Für die Lüftung durch die Fenster erfolgt sie durch das nördliche Fenster im Wohnzimmer 1, während dies im Wohnzimmer 2 durch die westliche Fenstertür geschieht. Mit einem CO<sub>2</sub>-Fühler können schnelle Aussagen über die Lüftungszeiten getroffen werden, was für die Hälfte der Messungen (ab April 2006) in Damaskus der Fall war. Für die restliche Messzeit in Damaskus und die gesamte Messperiode in Lattakia, als kein CO<sub>2</sub>-Fühler vorhanden war, sind die Beleuchtungsstärke und die plötzlichen außerordentlichen Schwankungen der Innenluftfeuchtigkeit zur Bestimmung der Lüftungszeiten genutzt worden. Für die frische Luft im Raum (bei offenen Fenstern) gibt der CO<sub>2</sub>-Fühler einen Wert von rund 0,04 % (400 ppm) an, während die Lux-Sonde der Beleuchtungsstärke für eine natürliche Beleuchtung bei einem klaren Tag einen Wert von 350 bis 500 Lux anzeigt.
- Belegung des Raumes von Bewohnern: Die Anzahl der Familienmitglieder beträgt in der Wohnung in Damaskus 5 Personen (Erwachsene) und in Lattakia 4 Perso-

nen (2 Erwachsene und 2 kleine Kinder). Unterschiedliche Parameter (stündliche Änderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration, Beleuchtungsstärke, Betrieb der Klimaanlage etc.) und die erhaltenen Aussagen von den Bewohnern waren dabei unterstützend, die Belegungszeiten und die Zahl der bestehenden Personen so weit wie möglich abzuschätzen. Eine Person gibt normalerweise (beim Sitzen) nach DIN EN ISO 8996 und DIN EN 13779 Tabelle A-2 100 W interne Wärme und 50 g/h Feuchte ab. Dabei wurden die zwei Kinder im Modell Lattakia als ein Erwachsener behandelt. Erwähnenswert ist, dass eines der Kinder im Wohnzimmer 2 schlief, während das Wohnzimmer 1 von zwei Personen häufig bis in die späteren Abend- und Nacht belegt blieb.

### **5.3.3 Berechnungsintervalle und Rechenergebnisse**

Die Simulation wurde für das Wohnzimmer 1 nur auf einen Monat im Winter (Januar) und einen im Sommer (August) beschränkt, in denen die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenklima signifikant groß ist. Diese Abkürzung der Berechnungszeit erlaubt es, die stündlichen Rechenergebnisse besser zu bearbeiten und die Vergleiche deutlicher aufzuzeigen. Für das Wohnzimmer 2 war die ganze Messperiode (19. September bis 19. Oktober) zu simulieren. Die Rechenergebnisse stellen das berechnete Raumklima dar, welches durch die Innenlufttemperatur und die relative Innenluftfeuchtigkeit definiert wurde. Schließlich erfolgte die Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Werte in der Abbildung 6.

### **5.4 Auswertung der Vergleichsergebnisse**

Zur eindeutigen Auswertung der Ergebnisse wurde die Summenhäufigkeit der absoluten Abweichungen für die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchte in der Tabelle 8 dargestellt. Weiterhin ist die Qualität der Korrelation zwischen den gemessenen und berechneten Ergebnissen durch den Korrelationskoeffizient  $R^2$  bewertet worden (s. Abb. 7). Der  $R^2$ -Wert liegt zwischen 1 (perfekte Korrelation) und 0 (keine Korrelation).

Für Januar beträgt im Wohnzimmer 1 die Abweichung der Temperatur  $\Delta\theta > 1$  K an weniger als 52 % und  $\Delta\theta > 2$  K an weniger als 9 %, während die maximale Abweichung 3,7 K nicht überschritten wurde. Die Summenhäufigkeit der Abweichung der Lufttemperatur konzentriert sich erheblich in nur 7 Stunden (19 % von 01.00 Uhr bis 07.00 Uhr), wobei die Heizung im Zimmer außer Betrieb ist. Die berechnete Raumtemperatur bleibt immer geringer als die gemessene Raumtemperatur.

*Tabelle 8: Maximale und summenhäufige Abweichungen der berechneten Ergebnisse von Messergebnissen.*

| Temperatur-Differenz $\Delta\theta$    | $\Delta\theta > 1 \text{ K}$ | bezogen auf 744 h | Jan. 8 24 Uhr<br>Aug.10 18 Uhr | Jan. 1 7 Uhr<br>Aug. 19 9 Uhr | $\Delta\theta > 2 \text{ K}$ | bezogen auf 744 h | Max $\Delta\theta$ |
|----------------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
|                                        | h                            | %                 | %                              | %                             | h                            | %                 | K                  |
| Wohnzimmer 1 (Januar)                  | 380                          | 52                | 27                             | 25                            | 63                           | 9                 | 3,7                |
| Wohnzimmer 1 (August)                  | 426                          | 57                | 11                             | 46                            | 37                           | 5                 | 3,14               |
| Wohnzimmer 2                           | 438                          | 59                | 12                             | 47                            | 108                          | 15                | 2,86               |
| Relative Feuchte-Differenz $\Delta RH$ | $\Delta RH > 5 \%$           | bezogen auf 744 h | Jan. 8 24 Uhr<br>Aug.10 18 Uhr | Jan. 1 7 Uhr<br>Aug. 19 9 Uhr | $\Delta RH > 10 \%$          | bezogen auf 744 h | Max $\Delta RH$    |
|                                        | h                            | %                 | %                              | %                             | h                            | %                 | % RH               |
| Wohnzimmer 1 (Januar)                  | 274                          | 37                | 27                             | 10                            | 30                           | 4                 | 15                 |
| Wohnzimmer 1 (August)                  | 129                          | 18                | 6                              | 12                            | 19                           | 3                 | 14                 |
| Wohnzimmer 2                           | 204                          | 28                | 10                             | 18                            | 23                           | 3,5               | 11                 |

Für die Zeit von 08.00 bis 24.00 Uhr erscheint die Abweichung deutlicher nach 20.00 Uhr. Diese Abweichung ist grundsätzlich auf die nachstehenden Ursachen zurückzuführen:

- Das Verhalten der Bewohner im angrenzenden Schlafzimmer sowie in den oberen und unteren benachbarten Wohnungen wurde bei der Berechnung nicht in Betracht gezogen. Dies kann potentielle Wärmeabgaben von dem bzw. an das untersuchte Zimmer nicht berücksichtigen. Beispielweise zeigt die Abbildung (8, a) für den Tag 02. Januar, wie die gemessenen Oberflächentemperaturen der trennenden Wand mit dem Schlafzimmer aufgrund einer möglichen Heizung in der Nacht wärmer als die berechneten Temperaturen sind.
- Die Möbel können während der Heizungszeit relativ Wärme speichern und sie dann beim Abschalten der Heizung durch die Konvektion an die Raumluft abgeben. In BSIM ist diese Wirkung rechnerisch nicht zu berücksichtigen.

Die Wirkung dieses ignorierten Wärmegewinns zeigt sich eindeutig in der Messzeit von 10.01 bis 15.01.2006 (grau unterlegte Tage in der Abbildung 6, a und b). In diesem Zeitraum gab es sowohl keine interne Wärmequelle wegen der Abwesenheit der Bewohner als auch keine Sonnenstrahlung wegen des wolkigen Wetters, was die sehr gute Übereinstimmung bei der Raumtemperatur (Maximalabweichung bis 1K) erklärt. Die Abbildung (7, a) hat gezeigt, dass es eine hohe Korrelationsqualität für  $R^2 = 0,9$  in diesem Vergleichsbeispiel gibt. Auffällig sind die maximalen Abweichungen

der relativen Feuchte in diesem Zeitraum ( $\Delta RH > 10\%$  -RH) trotz der guten Übereinstimmung der Lufttemperatur. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Wände wegen des in diesem Zeitraum fallenden Regens nach einer langen Trocknungszeit feucht geworden waren, was die relative Raumfeuchte erhöhen kann.

BSIM kann diese Befeuchtung (durch den kapillaren Feuchtetransport in den Baukonstruktionen) nicht berechnen. Immerhin hat die Abweichung der relativen Feuchte über  $10\%$  -RH weniger als  $4\%$  der Summenhäufigkeit betragen, während sie unter  $5\%$  -RH die größte Summe (bis  $63\%$ ) dargestellt hat. Der Korrelationskoeffizient  $R^2$  mit dem Wert  $0,7$  (s. Abb. 7, b) ist hier auch im Bereich der hohen Korrelation geblieben.

Im August ist die Differenz der Temperatur größer geworden ( $\Delta\theta > 1\text{ K}$  bei  $57\%$ ). Zum großen Teil konzentriert sich die Abweichung in der Messzeit von 19.00 bis 06.00 Uhr ( $44\%$  der Abweichung), wenn die Bauteile und die Möbel deren gespeicherte Wärme nach einem heißen Tag wieder abgeben. Wie im Januar ersichtlich, bleibt die berechnete Raumtemperatur deutlich geringer als die gemessene Raumtemperatur. Neben dem bereits erwähnten unberücksichtigten Möblierungseinfluss, kann unempfangene Solarstrahlung wegen der nicht optimalen Positionierung des Mess-Sensors (auf dem westlichen Balkon) dazu führen, die zusätzliche gespeicherte Solarwärmelast bei der Berechnung nicht zu berücksichtigen. Dies kann begründen, dass die rechnerische Raumtemperatur nach dem Sonnenuntergang stets kälter ist. Die Abweichung erreicht ihre maximalen Werte ( $\Delta\theta > 2\text{ K}$  bis  $3,17\text{ K}$ ) an weniger als  $5\%$  in der Nacht. In diesem Beispiel ist die generelle Korrelation mit dem  $R^2$  - Wert  $0,57$  im guten Bereich zu betrachten (s. Abb. 7, c).

Im Bereich des Daches tritt das geschilderte Problem noch stärker im Wohnzimmer 2 auf, wo der auf dem Balkon positionierte Messsensor einen großen Teil der auf das Dach fallenden Sonnenstrahlung nicht aufnehmen konnte. Die Abbildung (8, b) zeigt, wie die berechnete Innen-Oberflächentemperatur des Daches wegen dieser bei der Berechnung unberücksichtigten Solarstrahlung deutlich kleiner als die gemessene Temperatur bleibt. Folglich betrug die Abweichung für  $\Delta\theta > 2\text{ K}$  die maximale Summenhäufigkeit ( $15\%$ ) in diesem Modell. Immerhin hat der Koeffizient  $R^2$  mit dem Wert  $0,81$  (s. Abb. 7, e) auch eine hohe Korrelation gezeigt.

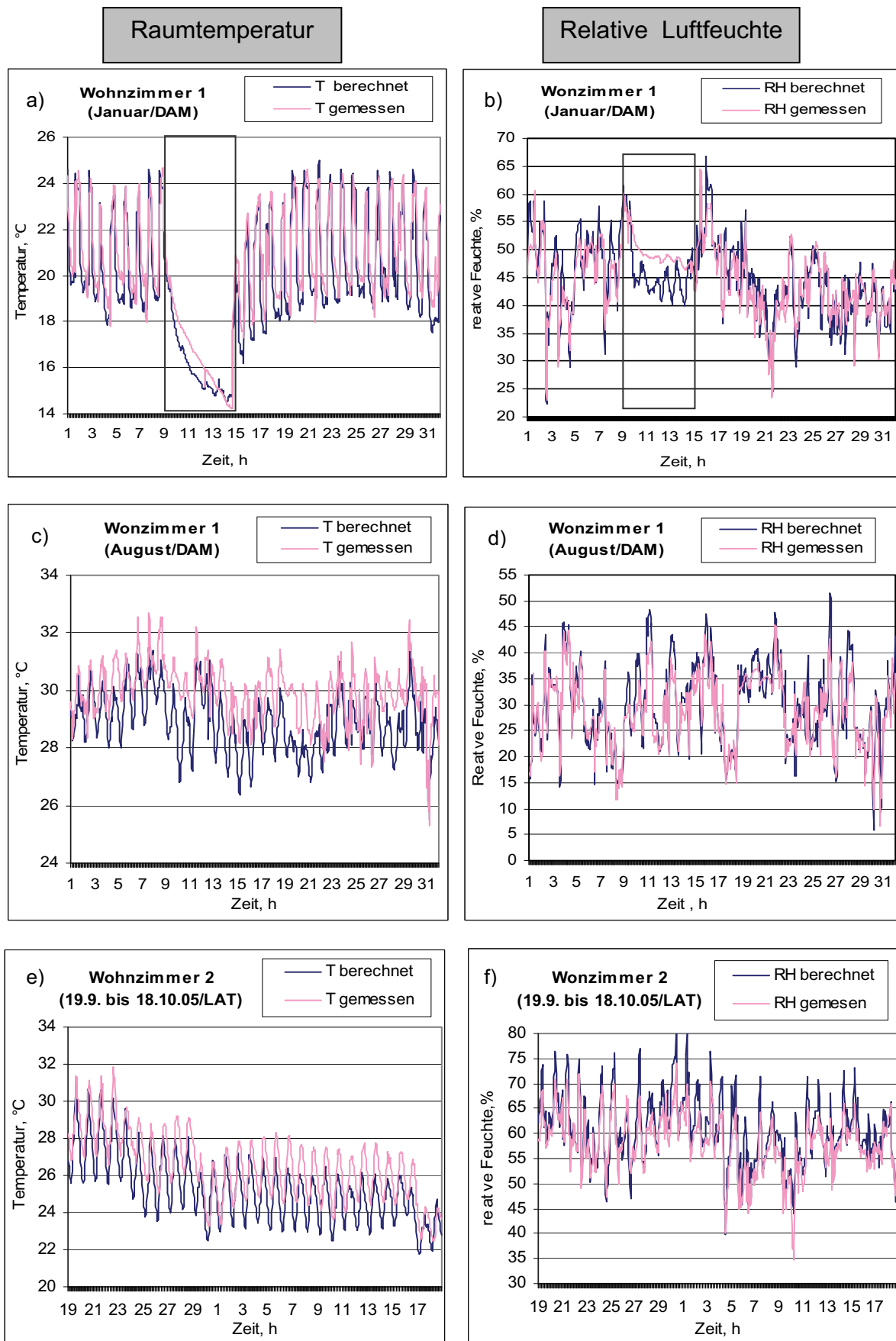


Abbildung 6: Gegenüberstellung der relativen Feuchte und der Raumtemperatur (berechnet und gemessen) für Wohnzimmer 1 und 2. [Abk. DAM für Damaskus und LAT für Lattakia]

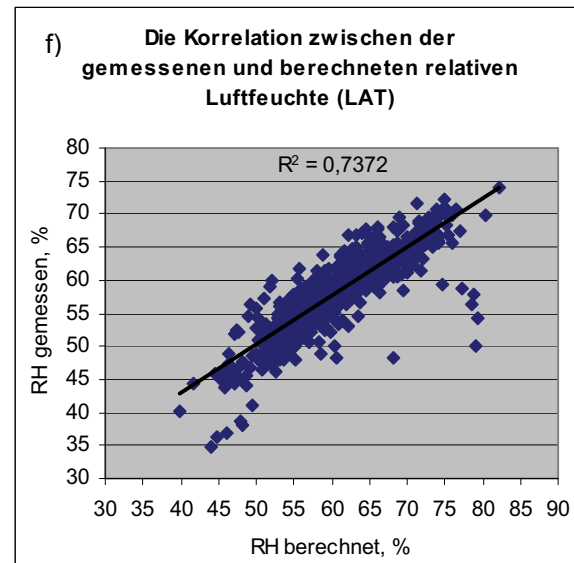
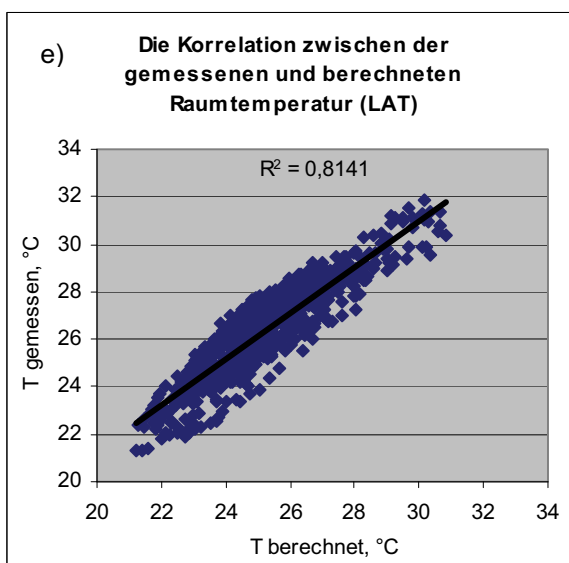
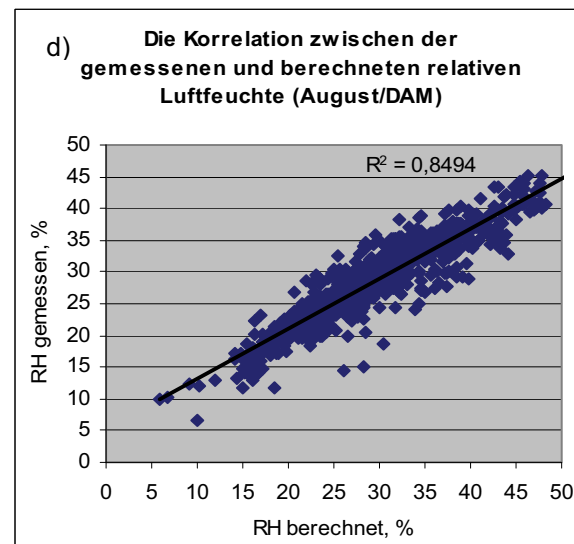
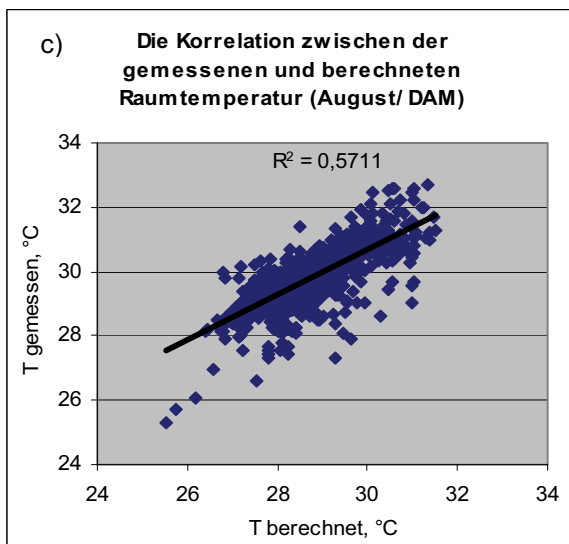
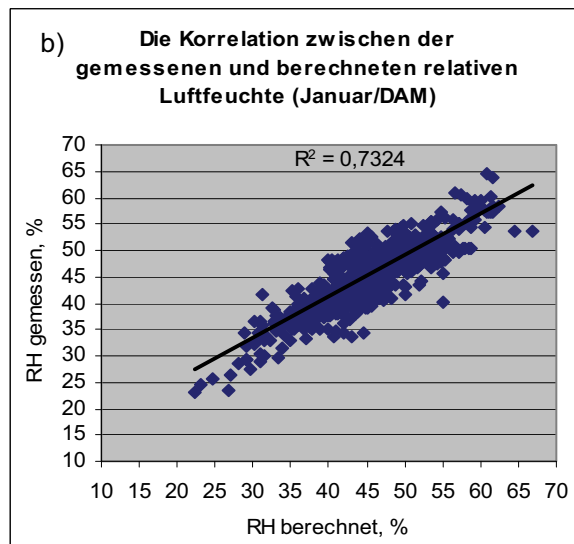
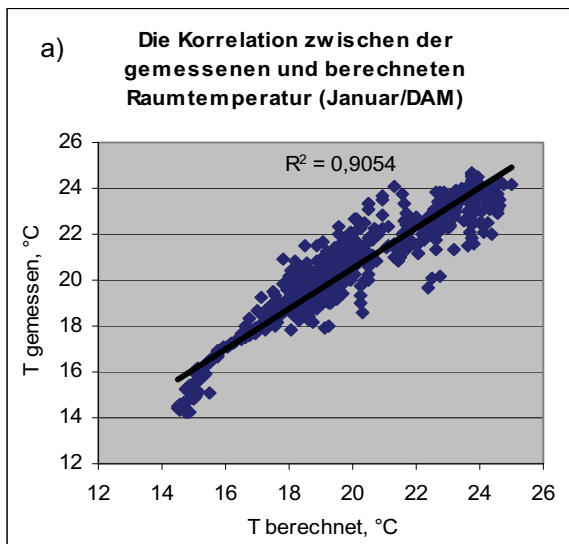
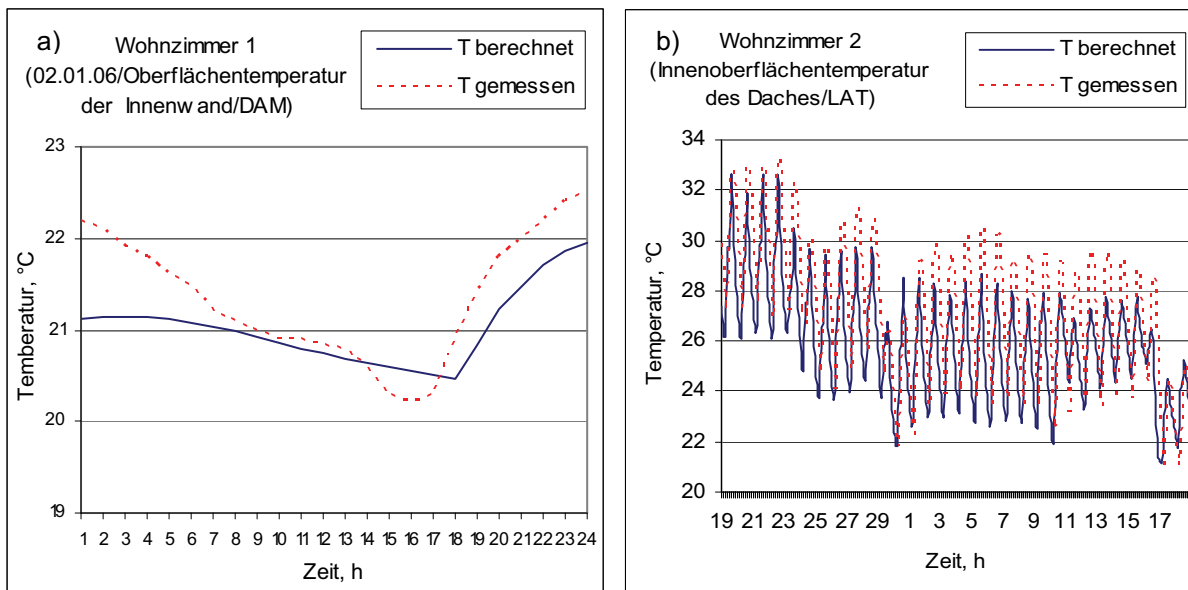


Abbildung 7: Korrelationsqualität zwischen den gemessenen und berechneten Ergebnissen.





*Abbildung 8: Mess-Rechenabweichungen der Innen-Oberflächentemperatur der Innenwand bzw. des Daches zeigen, dass Wärmequellen (Heizung für Bild a bzw. Solarstrahlung für Bild b) bei der Berechnung nicht einbezogen wurden.*

Eigentlich ist die relative Luftfeuchte von der Lufttemperatur proportional abhängig, wobei die Temperatursenkung zur Zunahme der relativen Feuchte führen kann. Davon ausgehend haben die entstehenden Abweichungen der Raumtemperatur gleichzeitig entsprechende Abweichungen der relativen Luftfeuchte zur Folge. Nach dem Mollier-Diagramm (s. Abb. A5-5) kann diese Feuchtezunahme bei 1 K Temperatursenkung je nach dem Feuchtezustand von rund 1 % -RH (im trockenen Zustand) bis ca. 5 % -RH (im feuchten Zustand) betragen. Dies kann begründen, dass die Übereinstimmung der relativen Feuchte in Wohnzimmer 1 für August (s. Abb. 7, d) im Vergleich zum Januar bzw. zum Wohnzimmer 2 (s. Abb. 7, b, f) deutlicher ausgefallen ist ( $\Delta RH > 5\%$  an weniger als 18 % Summenhäufigkeit und  $R^2 = 0,85$ ). Auffällig größer und häufiger als im Januar sind auch die extremen Abweichungen ( $> 10\%$ ) im August (3 % zu 2 %). Erheblich sammeln sich diese extremen Abweichungen in den Zeiten, in denen das Kühlklimagerät angeschaltet ist. Dieses Kühlgerät filtert, kühlt und entfeuchtet die Raumluft in einer Zirkulation. Das heißt, die relative Raumluftfeuchte ist stark vom Gerätszustand (mechanisch) abhängig, hingegen ist sie in BSIM innerhalb des allgemeinen Kühlprozesses zu berechnen.

Darüber hinaus können die folgenden potentiellen Randbedingungen Anteil an den sich ergebenden Abweichungen haben:

- BSIM geht bei der Berechnung davon aus, dass die Lufttemperatur in der Mitte des Raums auf 1 m Höhe bestimmt wird, was sich eigentlich von der Messlufttemperatur, d.h. wo der Sensor stationiert ist, unterscheidet.
- Der potentielle Wärmeaustausch zwischen den Zimmern wurde in der Berechnung nicht berücksichtigt.
- Materialbedingte Wärmebrücken (s. 6.2) sind in BSIM nicht zu berechnen, welche eine relative Wirkung auf die Raumlufthtemperatur haben können.
- Bei der Lüftung ist die entstehende Öffnungsweite nicht immer identisch, was den Luftwechsel bei der Lüftung beeinflussen kann
- Abhängig vom konkreten Standort des untersuchten Gebäudes können die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung geringfügig von den Daten der jeweiligen Wetterstation abweichen.
- Vermutliche Ungenauigkeiten entstehen bei der Verteilung der Diffusstrahlung und der Direktstrahlung aufgrund des Bewölkungsgrads.
- Das eingegebene Verhalten der Bewohner war sicherlich nicht vollkommen mit dem realen Verhalten übereinstimmend.

## 5.5 Schlussfolgerungen

Die vorgehende Diskussion hat gezeigt, dass die Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Ergebnisse (Raumtemperatur und relative Luftfeuchte) trotz der herausgekommenen Abweichungen in einem guten Bereich liegt, in dem sie überwiegend für die Raumlufthtemperatur weniger als 2 K und für die relative Feuchte weniger als 10 % betragen. Die Korrelationskoeffizient  $R^2$  hat in den drei Vergleichsbeispielen den guten Bereich nicht unterschritten.

Darüber hinaus ist ein Hauptteil der Abweichung, welche vom Bewohnerverhalten abhängig war, bei der Untersuchung der energetischen Leistung von den syrischen Gebäuden zu beseitigen. Die Untersuchung wird dabei für allgemeine Randbedingungen durchgeführt. In Bezug auf die entstehenden Störungen wegen der ungenau gemessenen Außenklimaeinflüsse (die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit, die Solarstrahlung), fallen sie durch Nutzung der Referenzklimadaten bei der Berechnung aus.

In Bezug auf die unvermeidbaren Berechnungsstörungen sind die folgenden Gerichtsgründe in Betracht zu ziehen:

- Der Möblierungseinfluss auf die Raumtemperatur ist geringfügig, so dass sie zu vernachlässigen ist
- Einfluss der Wärmebrücken auf den Energiebedarf wird individuell rechnerisch bestimmt (s. 7.2.2).

In Folge dessen ist es festzustellen, dass BSIM 2002 ein funktionsfähiges Modell zur instationären Berechnung des realnahen thermischen Verhaltens von Gebäuden ist.

## **6. Nutzung der Wärmeschutzkonzepte zur Verbesserung des Raumklimas und Reduzierung des Energieaufwands von Wohngebäuden in Syrien**

### **6.0 Allgemeines**

Die Verbesserungsmaßnahmen werden nur als einfache konstruktive Maßnahmen vorgeschlagen, die grundsätzlich durch die traditionellen Baukonstruktionen und verfügbaren Bauteile in Syrien umgesetzt werden können. Obwohl diese Maßnahmen besonders für neue Wohngebäude empfohlen werden, aber sind sie auch bei Sanierungsmaßnahmen zum großen Teil anwendbar. Weiterhin sind andere Arten von Gebäuden (touristisch genutzte Gebäude, öffentliche Gebäude etc.) von diesem Verbesserungspotential nicht auszuschließen. Diese Voraussetzung geht von der Tatsache aus, dass das Bauverfahren bei allen Gebäuden sehr ähnlich ist. Das Hauptziel dieser vorgeschlagenen Maßnahmen ist, den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz zu verbessern, was eine Reduzierung des Energiebedarfs ermöglicht. Dies kann durch die folgenden integralen Konzepte realisiert werden:

- Reduzierung des Energieverlustes über die Bauteile durch die Dämmung der Gebäudehülle
- Reduzierung der Wärmebrücken
- Austausch der Fenster
- Anwendung von Verschattungselementen

Eine Praxisuntersuchung der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen ist an einem Beispielwohngebäude durchgeführt worden.

### **6.1 Wärmedämmung**

Die zu erwähnenden Dämmmaßnahmen betreffen nur die wichtigen Außenbauteile zum Wärmtransport (Dach und Außenwände). Die Bodenplatte wird in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt. Grundsätzlich gibt es drei angewendete Dämmungssysteme auf den Baustellen (s. Abb. A6-1). Bei der Innendämmung wird das Dämmmaterial an der Innenseite der Bauteile angebracht, bei der Außendämmung entsprechend an der Außenseite. Die Innen- und Außendämmung wird durch Dämmplatten durchgeführt. Bei der Kerndämmung liegt die Dämmschicht im Bauteil, das aus zwei Schalen besteht. Hier kann die gesamte Baukonstruktion durch eine zusätzliche Luftschicht zur Verbesserung der hygrothermischen Eigenschaften ausgerüstet werden. Bei Zwischendämmungen ohne Luftschicht (Kerndämmung) kann die Dämmung durch einzufüllende (schüttbare) Dämmstoffe durchgeführt werden, während die

Dämmplatten im anderen Fall (mit Luftschicht) zum Einsatz kommen. In Anlehnung an SEUNIG (2004) und KRUS, et al. (2005) sind die drei Systeme mit folgenden Vor- und Nachteilen in der Tabelle 9 gegenübergestellt.

*Tabelle 9: Dämmsysteme im nachteiligen (-) und vorteiligen (+) Vergleich.*

| Dämmsystem   | Dämmwirkung | Unterbindung<br>der<br>Wärmebrücken | Schutz vor<br>Witterung | Risse<br>durch<br>Dehnung | Speicher<br>Fähigkeit | Kosten (Montage<br>und Wartung) |
|--------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Innendämmung | +           |                                     |                         |                           |                       | +                               |
| Außendämmung | ++          | +                                   | +                       | +                         | +                     |                                 |
| Kerndämmung  | ++          | +                                   |                         | 0                         | +                     |                                 |

Die Tabelle 9 zeigt, dass die Außendämmung gegenüber den anderen Dämmsystemen generell die bessere Lösung darstellt. Illustriert mit der Abbildung A6-2 lässt sich das hauptsächlich auf die folgenden Erklärungen zurückführen:

- Das außenliegende Dämmsystem können die Bauteile auch gegen die Witterung (Regen, Sonnenstrahlung) schützen, was die anderen Dämmmethoden nicht leisten können.
- Weiterhin ist bei der außenliegenden Dämmung die thermische Schwankung im Bauteil zwischen Sommer und Winter bzw. Tag und Nacht sehr gering, was vor Rissbildung im Bauteil schützt. Dieser Vorteil ist von großer Bedeutung in einer Wüstenzone (wie z.B. in Damaskus), in der die thermischen Schwankungen erheblich sind.
- Bei der Innendämmung können durch die Innenwände durchgestoßenen Dämmstellen Wärmebrücken bilden.
- Im Vergleich zur Kerndämmung ist die Außendämmung bei der Montage und der Wartung sehr wirtschaftlich und flexibel. Außerdem verringert sie die Nutzflächen nicht, was bei der Innendämmung der Fall ist.
- Nach KRUS und et al. (2005) kann die Innendämmung Probleme durch Tauwasserbildung hinter den Dämmplatten hervorrufen und die Trocknungsprozesse der Außenwand nach Innen behindern, was bei der Außendämmung nicht der Fall ist.
- Die Außendämmung beeinträchtigt das Wärmespeichervermögen des Bauteils nicht. Tatsächlich trifft das für die sommerlichen Klimabedingungen in Syrien zu, wobei die schweren Bauteile auch zum sommerlichen Wärmeschutz beitragen.
- Beim Anbringen der Außendämmplatten an den Bauteilen kann ein großer Teil der Wärmebrückenwirkungen ohne zusätzliche Maßnahmen reduziert werden.

Darauf aufbauend wurde die Außendämmung für die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste in dieser Arbeit bevorzugt und zum Einsatz gebracht. Für Außenwände wurde das sogenannte *Wärmedämmverbundsystem WDVS* gewählt, während das Dach als genutztes Flachdach (*unbelüftetes Dachsystem*) gedämmt wurde. Die Abbildung 9 zeigt die vorgeschlagene Baukonstruktion vom WDVS und vom gedämmten Flachdach. Für eine optimale Auswahl der Dämmstoffe gilt, dass sie so weit wie möglich ökologisch verträglich, ökonomisch realisierbar und regional verfügbar sein sollen. Weiterhin müssen sie dem Anwendungsbereich entsprechen. Expandierter Polystyrolschaum EPS (Styropor) in Form von Platten (PS 15) und Glaswolle in Form von Matten sind die einzigen Dämmmaterialien, die für unterschiedliche Dämmungsmaßnahmen in Syrien selbst hergestellt werden. Da das Styropor in Form von Platten für das WDVS und Dachdämmung gegenüber der vorhandenen Form der Mineralwolle geeignet ist, wurden Dämmplatten aus EPS 15 für das WDVS eingesetzt.

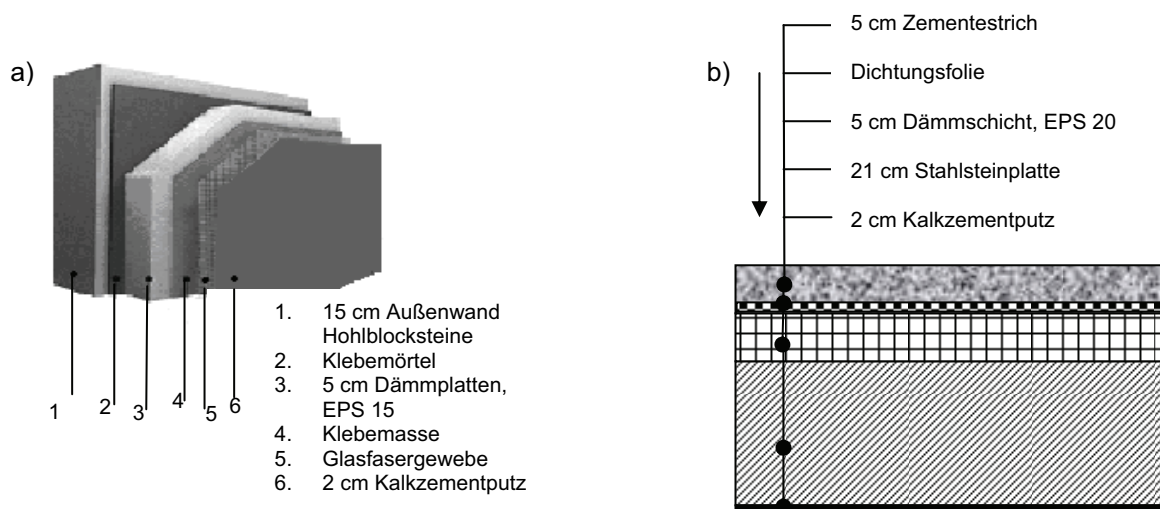
Die Befestigung erfolgt entweder durch Verklebung und bei hohen Anforderungen an die Befestigung durch Verdüblung. Nach STO AG (2005) ist die Verklebung ausreichend, wenn die Haftzugsfestigkeit des Untergrunds (für Syrien Hohlblockstein)  $\sigma_H > 0,08 \text{ N/mm}^2$  beträgt. Dabei muss die Klebfläche mindestens 40 % der Dämmplattenfläche betragen. Falls die Haftzugsfestigkeit nicht ausreicht ( $\sigma_H < 0,08 \text{ N/mm}^2$ ), ist eine Verdüblung in der Fläche notwendig. In jedem Fall müssen die Untergründe nach DIN 18202 eine Unebenheit  $f < 1 \text{ cm/m}$  aufweisen. Die Verklebung kann durch einen Spachtel- und Klebemörtel ausgeführt werden, der nach DIN EN 998-1 genormt ist.

Zur Verbesserung der Haftung zwischen den Dämmplatten und dem Außenputz soll dort ein Glasfasergewebe (genormt DIN EN ISO 13934-1) in die Klebmasse eingebettet werden. Für die Schlussbeschichtung wird ein Kalkzementputz angebracht. Nach DIBT (2005) sind ähnliche Schlussbeschichtungssysteme (Kalkzementputz auf EPS) in der EU bauaufsichtlich zuzulassen. Weiterhin bietet die Abbildung A6-3 nach GERKEN (1997) ein Projektbeispiel, in dem Kalkzementputz auf EPS-Dämmplatten für ein WDVS angewendet ist. Ein Zementputz als Schlussbeschichtung für WDVS ist aufgrund seiner Steife in Deutschland nicht zulässig. Als weitere Alternativen für die Schlussbeschichtung können mineralische Edelputze nach DIN 18550 bzw. pastöse Putze (z.B. Silikatputz, Silikonharzputz) nach DIN 18558 zum Einsatz kommen. Die Verarbeitung der Außenputze ist nach DIN EN 13914-1 genormt.

Hinzuweisen ist auf die Forderung, dass das vorgeschlagene Dämmsystem auf seine praktische Gebrauchstauglichkeit für die syrischen Bedingungen vor der Anwendung getestet werden muss, was jedoch außerhalb des Rahmens der vorliegenden Arbeit liegt. Nach EOTA (2000) müssen die folgenden Anforderungen erfüllt werden, um die bauaufsichtliche Zulassung ETAG 004 solcher Dämmsysteme erteilt zu werden:

- EPS-Dämmplatten sind nach DIN EN 13163 genormt.
- Zur Bewehrung des Unterputzes ist ein Textilglasgewebe vorzusehen.
- Die Haftzugfestigkeit  $\sigma_H$  zwischen dem ausgehärteten Unterputz und dem Dämmstoff, sowie die Querkzugfestigkeit  $\zeta$  des Dämmstoffs unter trockenen Bedingungen müssen mindestens  $0,08 \text{ N/mm}^2$  (s. Tab. A6-1) betragen.

Für die Dachdämmung, wobei das typische Dach in Syrien begehbar ist, können Dämmplatten aus EPS 20 zum Einsatz kommen, welche nach DIN EN 13163 solch hohe Druckbelastung aufnehmen können. EPS 20 soll durch eine obere Wasserabdichtungsschicht nach DIN 18531-4 geschützt werden, auf der ein geneigter Zementestrich analog DIN 18560 zur Entwässerung gebracht wird. Die Abbildung A6-4 zeigt ein Anwendungsbeispiel der Flachdachdämmung.



*Abbildung 9: Aufbau des vorgeschlagenen Wärmedämmverbundsystems (a) bzw. des gedämmten Flachdachs (b).*

In Anlehnung an WEISS (2001), REYER (2003) sind die technischen Daten der gewählten Dämmstoffe in der Tabelle 10 gegenübergestellt. Außerdem wurden sie für weitere alternative Dämmmaterialien, die in Syrien anwendbar sein können, in der Tabelle A6-2 dargestellt und deren Vor- und Nachteile nach FISCH (2001), LMB (2002) und REYER (2003) in der Tabelle A6-3 aufgeführt. Der Anwendungstyp ist nach DIN V 4108–10 bezeichnet (s. Tab. A6-4).

*Tabelle 10: Technische Eigenschaften der vorgeschlagenen Dämmstoffe.*

| Dämmstoff | $\lambda$ | $\rho$            | $\beta_D$         | $\mu$ | Abwendungsbereich nach             | Primärenergie      | Preis in GR 2007 | Preis in SYR 2007                 |
|-----------|-----------|-------------------|-------------------|-------|------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------------|
|           | W/(mK)    | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> |       |                                    | kWh/m <sup>3</sup> | €/m <sup>3</sup> | Lira <sup>1</sup> /m <sup>3</sup> |
| PES 15    | 0,035     | > 15              | 0,07<br>0,12      | 20/50 | WAP <sup>2</sup>                   | 600                | 45               | 2000                              |
| PES 20    | 0.035     | > 20              | 0,12<br>0,16      | 30/70 | DAA <sup>3</sup> , dh <sup>4</sup> | 800                | 60               |                                   |

1. 1 Euro = rund 70 SYP (syrisches Pfund) bzw. syrische Lira, 2. Außendämmung der Wand unter Putz

3. Außendämmung von Dach vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtung, 4. hohe Druckbelastbarkeit

Die technischen Anforderungen an die Verarbeitung des Wärmedämmverbundsystems sind in der DIN 55699 und jene an die Flachdächerdämmung in ZDD (2001) ausführlich dargestellt.

## 6.2 Reduzierung von Wärmebrücken

In einem gedämmten Gebäude ist die Wirkung von Wärmebrücken auf die Wärmeverluste erheblich. Sie können trotz der Dämmung als kalte Stellen im geheizten Raum an den Innenoberflächen zur Tauwasserbildung führen. Eine Vernachlässigung der Wärmebrücken kann erheblich das Dämmungssystem beeinträchtigen. Davon ausgehend wurden die typischen vorhandenen Wärmebrücken für die üblichen syrischen Bauverfahren bzw. die potentiellen Wärmebrücken bestimmt, die nach dem Einbau der Dämmung entstehen können, und Lösungsvorschläge für ihre Reduzierung gemacht. Die folgenden Arten von Wärmebrücken treten hauptsächlich auf:

- Geometrische Wärmebrücken
- Materialbedingte Wärmebrücken
- Lüftungsbedingten Wärmebrücken (Leckagen)
- Heizkörper mit einem hohen Temperaturgefälle

Die geometrischen Wärmebrücken lassen sich bei einem Baukörper nicht vermeiden. Nach FEIST (2004) treten sie immer dann auf, wenn die wärmeaufnehmende Innenoberfläche kleiner als die wärmeabgebende Außenoberfläche ist, wie es der Fall bei einer Ecke oder Kante ist (s. Abb. 10). Solche Wärmebrücken sind nicht zu vermeiden sondern durch die Dämmung relativ zu reduzieren (s. Abb. A6-5, a und b).



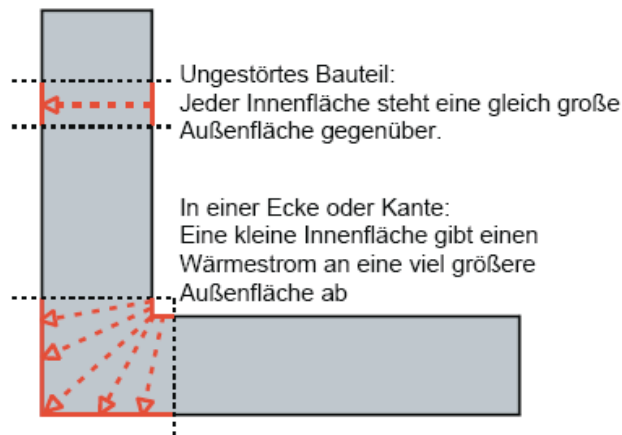


Abbildung 10: Prinzip der geometrischen Wärmebrücken in der Kante der Außenwand nach FEIST (2004). Die Pfeile symbolisieren den idealisierten Wärmestrom.

Die so genannten materialbedingten Wärmebrücken entstehen, wenn die Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit ein Außenbauteil mit besserem Wärmeschutz durchstoßen. Das in Syrien verbreitete Bauverfahren verfügt mit den typischen Stahlbetonskelettkonstruktionen, deren Vorsprüngen und auskragenden Bauteilen über optimale Stellen, um solche Wärmebrücken auszubilden. Diese Wärmebrücken wurden bei den untersuchten Beispielen individuell bestimmt und deren Wärmeverlustkoeffizient  $\psi$ -Wert durch vorgeschlagene Maßnahmen reduziert. Die Berechnung wurde durch das Programm HEAT 2 realisiert.

Die Wärmebrücken, die durch die durchstoßenden Stahlbetonstützen bzw. die Fensterstürze der Außenwand entstehen, wurden durch das Wärmedämmverbundsystem ohne besondere Maßnahmen reduziert (s. Abb. A6-6, a und b). Es ist zu berücksichtigen, dass Anschlüsse der Bauteile hier in gleicher Ebene von außen vorausgesetzt sind. Falls die Stützen kleine Vorsprünge zeigen, sind sie durch entsprechende Dämmstreifen zu dämmen. Ebenso können die auf den Stützen aufgelagerten Deckenanschlüsse durch WDVS ohne weiters deutlich reduziert werden (s. Abb. A 6-7, a und b).

Für den Eckstützenanschluss war die thermische Verbesserung durch WDVS weitgehend begrenzt, wie die Abbildung A6-8 (a und b) zeigt. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient dieser Wärmebrücke mit dem Wert  $\psi = 0,28 \text{ W/(mK)}$  konnte nur auf  $0,18 \text{ W/(mK)}$  verkleinert werden. Dies führt man darauf zurück, dass dieser kritische Anschluss nicht nur eine materialbedingte Wärmebrücke sondern auch eine geometrische Wärmebrücke darstellt.

Der auskragende Balkon bildet eine wichtige Wärmebrücke (s. Abb. A6-9, a). Offensichtlich ist die Wirkung dieser Wärmebrücke bei der Dämmung größer geworden (s. Abb. A6-9, b). Dies zeigt, dass eine Vernachlässigung der Wärmebrücken dem Dämmungssystem drastisch schaden kann. Nach MAINKA und PASCHEN (1986) wurden für eine optimale Lösung die auskragenden Platten durch Dämmtragelemente (z. B. das so genannte System Schöck-Isokorb) thermisch effektiv von der Decke bzw. vom Dach getrennt (s. Abb. A6-10, a). Für Bauten im Bestand kann die Wirkung dieser Wärmebrücke durch Verlegung der Dämmplatten auf der Oberseite (unter dem Fußbodenaufbau) und auf der Unterseite der auskragenden Platte bis 80 cm deutlich reduziert, d.h. halbiert werden (s. Abb. A6-10, b). Beim Schöck-Isokorbsystem darf die Dämmschicht nur von Armierungen aus rostfreiem Stahl durchstoßen werden (s. Abb. A6-11). Als eine Alternative ist der Balkon freistehend an der Fassade zu befestigen (s. Abb. A6-12). Diese Lösung bildet zwar durch die Befestigung (für die Kippsicherheit) ebenfalls Wärmebrücken, jedoch wird die Dämmung nur an kleineren Stellen unterbrochen. In beiden Fällen muss die Befestigung statisch berechnet werden.

Üblicherweise werden die Fenster in Syrien mit einem Anschlag an die Leibung von innen eingebaut. Die Abbildung A6-13 (a und b) zeigt, dass die Dämmung der Außenwand bzw. der Stütze bei den Fensteranschlüssen in der Leibung auf den Fensterblendrahmen geführt werden sollte. Ohne diese Maßnahme kann die Leibung eine bedeutende Wärmebrücke darstellen.

Für ein begehbare Flachdach ist eine Attika bzw. ein Geländer unvermeidbar. Die Attika wird in Syrien normalerweise aus Hohlblocksteinen mit 10 cm Dicke gebaut. Die Abbildung (A6-14, a) zeigt, dass sie die Außenwanddämmung von der Dachdämmung trennt und dadurch eine problematische Wärmebrücke an dieser konstruktiv sensiblen Stelle bildet. Um dieses Problem zu lösen, wurde die Attika durch eine Untermauerung von Porenbetonsteinen ( $\lambda = 0,1-0,2 \text{ W/(mK)}$ ) thermisch von der Dachplatte getrennt. Mit dieser Lösung konnte die Wirkung dieser Wärmebrücke überzeugend reduziert werden (s. Abb. A 6-14, b). Nach MAINKA und PASCHEN (1986) kann die Attika als Sanierungsmaßnahme extrem dick mit Dämmung ummantelt werden, was das Problem zumindest entschärfen kann.

Es ist zu erwähnen, dass DIN 4108 (Beiblatt 2) weitere Beispiele von Wärmebrücken vorstellt und konstruktive Lösungen zu ihrer Eindämmung bzw. Beseitigung (einschließlich der Wärmebrücken im Erdgeschoß) bietet. Weiterhin ist auf ausführung-

bedingte Wärmebrücken zu achten, welche während des Einbaus der Wärmedämmung entstehen können. Dies kann in Anlehnung an FEIST (2004) durch die folgenden Maßnahmen gewährleistet werden:

- Dämmplatten müssen bei der Verlegung dicht aneinander gestoßen werden, um Zwischenfugen zu vermeiden. Bei Dachdämmung sind die Dämmplatten in zwei Schichten zu verlegen, wobei die obere Schicht die Zwischenfugen der unteren Schicht abdichten. Die Dämmstofflagen verschiedener Bauteile müssen an den Stoßstellen lückenlos in einander übergehen.
- Eine Wärmebrücke, die wegen des hohem Temperaturgefälles bei einem Heizkörper an der Außenwand entsteht, kann durch eine mit Alufolie versehene Innendämmplatte hinter dem Heizungskörper effektiv beseitigt werden.
- Leckagen in der dämmenden Hülle (durch z.B. Elektromontage, Wasserleitung etc.) muss deren Wirkung minimiert werden.

### **6.3 Austausch der Fenster**

Die Verbesserung der thermischen Leistung der in Syrien verwendeten Fenster betrifft sowohl die Rahmen als auch die Verglasung. Für die Verglasung wird das sogenannte Isolierglas-System aus zwei einfachen Glasscheiben von 6 mm Dicke vorgeschlagen, die über einen Kunststoff-Randverbund mit einer Breite von 12 mm (Luft-Zwischenraum) miteinander verbunden sind. Ein Randverbund aus Aluminium ( $\lambda = 200 \text{ W/(mK)}$ ) soll vermieden werden, da er im Allgemeinen eine echte Wärmebrücke darstellt. Hier kann ein Randverbund aus Kunststoff bzw. Edelstahl eingesetzt werden. Nach BECKER (2002) wurden die Vorteile und die Nachteile der oben genannten Materialien auf nachhaltiger Basis in der Tabelle A6-5 gegenübergestellt. Deutlich erkennbar ist, dass Holzrahmen gegenüber Aluminium- bzw. Kunststoffrahmen (in Syrien aus PVC) besonders aus ökologischen Aspekten generell zu bevorzugen sind. Um die Holzrahmen vor Witterung (Sonne, Regen) zu schützen, können sie mit einer Aluminiumverkleidung an der Außenseite versehen werden (s. Abb. A6-15). Durch diese Kombination kann das Fenster eine gute thermische Leistung und hohe Beständigkeit (niedrige Pflegekosten) erhalten.

Wie es bereits in 4.2.2 erklärt, wurde der Wärmedurchgangskoeffizient dieses Fensters auch nach DIN ISO 10077-2 numerisch berechnet. Hier ist der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $\psi$  bestimmt geworden, der durch die Wechselwirkung zwischen Rahmen und Glasrand einschließlich des Einflusses des Abstandshalters verursacht wird. Die physikalischen Eigenschaften des neuen Fensters sind im Ver-

gleich zu den in Syrien verwendeten Fenstern in der Tabelle 11 gegenübergestellt. Der Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  und der Lichttransmissionsgrad  $\zeta_v$  der Verglasung  $g$  sind nach DIN EN 13363-1 bestimmt worden. Erwähnenswert ist, dass eine Möglichkeit zur thermischen Verbesserung des Zweischeiben-Isolierglases durch die im Zwischenraum Edelgasfüllung (z.B. aus Argon oder Krypton) besteht. Dies ist als Zweischeiben-Wärmeschutzglas ( $U_g = 0,9$  bis  $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) bezeichnet und mit hohen Herstellungskosten verbunden.

Beim Einbau von Aluminiumfenstern soll die thermische Leistung der Rahmen verbessert werden. Dies kann durch Profile mit mehreren Hohlräumen und eine thermische Trennung durch geeignete Werkstoffe (z.B. Polyamid-Stege) gewährleistet werden (s. Abb. A6-16). Solche Verbesserungsmaßnahmen sind aufwendig und erhöhen die Kosten überdurchschnittlich stark. Bei Kunststofffenstern sind recyclingfähige chemische Verbindungen einzusetzen, um deren hohen Primärenergiebedarf einzudämmen.

*Tabelle 11: Physikalische Eigenschaften der typischen Fenster in Syrien gegenüber dem vorgeschlagenen Fenster.*

| Fenster                                                    | $U_g$                    | $\zeta_v$ | $g$  | Scheibendicke | $U_f$                    | $\psi$          | $U_w$                    |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------|------|---------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
|                                                            | $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | -         | -    | mm            | $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | $\text{W/(mK)}$ | $\text{W/(m}^2\text{K)}$ |
| Einfachverglasung,<br>Holzfenster                          | 5,68                     | 0,9       | 0,85 | 4             | 2                        | 0,27            | 4,8                      |
|                                                            | 5,74                     |           |      | 6             |                          |                 | 4,75                     |
| Einfachverglasung,<br>Alu Fenster thermisch nicht getrennt | 5,68                     | 0,9       | 0,85 | 6             | 7,2                      | 0,1             | 6,35                     |
| Isolierglas, Holzfenster mit Aluverkleidung                | 3,1                      | 0,82      | 0,75 | 6             | 1,42                     | 0,036           | 2,7                      |

#### 6.4 Nutzung von Sonnenschutzvorrichtungen

Die Sonnenschutzvorrichtungen stellen einen wichtigen Aspekt für den sommerlichen Wärmeschutz dar. In Anlehnung an die DIN 4108-2 zeigt die Tabelle 12 Anhaltswerte für die Abminderungsfaktoren  $F_c$  von verschiedenen fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen. Innenliegende Vorrichtungen zum Sonnenschutz sind nicht zu empfehlen, da sie die Solarstrahlung nicht außerhalb des Gebäudes halten können. Dabei wandelt sich diese Strahlung hinter der innenliegenden Vorrichtung (Vorhang, Jalousie) in Wärme um und erreicht durch die Wärmekonvektion den Raum. In Folge dessen sind solche Einbauten für den sommerlichen Wärmeschutz als nicht effektiv zu betrachten. Demgegenüber stellen die außenliegenden Vorrichtungen die beste

einfache Lösung zum sommerlichen Wärmeschutz dar, mit der die Solarstrahlung effektiv außerhalb des Gebäudes zurückgehalten werden kann. Nach WAREMA (2003) zeigt die Abbildung A6-17 eine Darstellung für die Effektivität der Sonnenschutzvorrichtungen im Verhältnis zu ihrer Positionierung.

Bei der Planung der Sonnenschutzvorrichtungen muss folgendes beachtet werden:

- Bei außenliegenden Vorrichtungen muss ein ausreichender Abstand vom Fenster eingehalten werden, um einen Wärmestau hinter der Sonnenschutzvorrichtung zu vermeiden und die erforderliche Hinterlüftung zu gewährleisten (s. Abb. A6-18). Dagegen ist dieser Abstand bei innenliegenden Vorrichtungen unerwünscht.
- Bei den Montagearbeiten dieser Elemente müssen Durchdringungen der Wärmedämmung vermieden oder minimiert werden. Falls Rolladenkästen eingebaut werden, müssen sie optimal gedämmt werden, da sie eine wichtige Wärmebrücke auch an den seitlichen Stirnflächen darstellen können. Nach BRS (2000) bietet die Abbildung A6-19 unterschiedliche Lösungen zur optimalen Dämmung der Rolladenkästen.
- Innenliegende Vorhänge dürfen den Heizkörper nicht überdecken, sonst kann sich der Energieverlust nach BSWVT (1998) um über 40 % durch den entstehenden Wärmestau zwischen dem Vorhang und dem Fenster erhöhen. Die optimale Anordnung der Sonnenschutzvorrichtungen im Verhältnis zum Heizkörper ist in der Abbildung A6-20 dargestellt.

*Tabelle 12: Abminderungsfaktoren verschiedener Sonnenschutzvorrichtung nach DIN 4108-2.*

| <b>Sonnenschutzvorrichtung</b>                               | <b>F<sub>c</sub>-Werte</b> |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ohne Sonnenschutzvorrichtung                                 | 1                          |
| <b>Innenliegend</b>                                          |                            |
| weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz | 0,75                       |
| helle Farbe oder geringe Transparenz                         | 0,8                        |
| dunkle Farbe oder höhere Transparenz                         | 0,9                        |
| <b>Außenliegend</b>                                          |                            |
| drehbare Lamellen, hinterlüftet                              | 0,25                       |
| Jalousien mit geringer Transparenz                           | 0,25                       |
| Jalousien, allgemein                                         | 0,4                        |
| Rolläden, Fensterkästen                                      | 0,3                        |
| Vordächer, Loggien                                           | 0,5                        |
| Markisen, oben und seitlich ventiliert                       | 0,4                        |
| Markisen, allgemein                                          | 0,5                        |

## **7. Untersuchung der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen am Beispiel eines Wohngebäudes**

### **7.0 Allgemeines**

Das für die Untersuchung ausgewählte Wohngebäude sollte einerseits für die Bauweise und andererseits für die in der Gegenwart staatlich bevorzugten Typen von Wohngebäuden charakteristisch sein. Davon ausgehend wurde ein genossenschaftliches Wohngebäude für die Untersuchung ausgewählt, welches aus ökonomischen und sozialen Bedürfnissen seit Jahren eine bevorzugte Lösung in Syrien darstellt. Diese Projekte sind in der Regel staatlich gefördert.

Die Untersuchung behandelt das Raumklima und den Energiebedarf für die Heizung und für die Kühlung vor und nach den vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen. Anschließend sind die Rechenergebnisse vergleichend bewertet und die Schlussfolgerungen bestimmt worden.

### **7.1 Gebäudebeschreibung und Untersuchungseinschränkungen**

Das untersuchte Modell ist ein fünfgeschossiges Wohngebäude, das in Ost-West-Richtung angeordnet ist. Jedes Geschoss enthält drei Wohneinheiten, von denen zwei benachbarte Wohnungen mit gespiegelten Grundrissen an der Süd-West bzw. Nord-Westseite liegen und zusätzlich durch einen großen Lichtschacht ( $3,5 \times 3,8$  m) mit dem Außenraum verbunden sind. Dieser Innenhof wird einerseits zur Verbesserung der natürlichen Beleuchtung und andererseits zur Lüftung genutzt. Die dritte Wohnung ist an den zwei anderen Fassaden entlang der östlichen Seite ausgerichtet (s. Abb. A7-1). Die gespiegelten Wohnungen haben eine Wohnfläche von jeweils 97 m<sup>2</sup> (einschließlich der Balkone), während die Wohnfläche der dritten Wohnung 108 m<sup>2</sup> beträgt. Alle verfügen über ein Wohnzimmer, zwei Schlafzimmer, ein Esszimmer und ein Gästezimmer. Dazu kommen die Küche und das Bad/WC.

Die Untersuchung wurde nur für ausgewählte kleinere Einheiten (Wohnungen) in diesem Wohngebäude durchgeführt. Diese Beschränkung erlaubt eine bessere Bearbeitung der Ergebnisse und ist für Ziele der Untersuchung ausreichend. Dafür sind bei den kleineren Wohnungen mit gespiegelter Grundriss (südwest- und die nordwestorientiert) im Dachgeschoß ausgewählt worden, welche aufgrund ihrer Lage die extremen Klimabedingungen im Sommer bzw. im Winter berücksichtigen. Die Berechnungen wurden für zwei unterschiedliche Hauptklimaregionen durchgeführt, woraus allgemeingültige Daten für das thermische und energetische Verhalten von Gebäu-

den in ganz Syrien entwickelt werden können. Die erste Region ist die Binnenregion (Beispiel Damaskus), wo das Klima im Sommer sehr heiß und trocken und im Winter kalt ist. Die zweite Region ist die Küstenregion (Beispiel Lattakia), wo das Klima im Sommer heiß und feucht und im Winter mäßig ausfällt. Die Abbildung A7-2 stellt den Tagesverlauf des Außenklimas für August (Sommerspitze) und für Januar (Winterspitze) in Damaskus und in Lattakia dar. Die Tagesverläufe wurden hier aus den stündlichen Klimadaten jedes Tages ermittelt. Für eine kompakte Bearbeitung und Bewertung der Berechnungsergebnisse des Raumklimas wurden sie in dieser selben Weise dargestellt.

## **7.2 Berechnungsvoraussetzungen und Rechenergebnisse**

### **7.2.0 Allgemeines**

Ähnlich wie in 5.3 wurden die erforderlichen Schritte zum Aufbau des zu untersuchenden Modells (das Beispiel-Wohngebäude) und anschließend zur Zuweisung der Baukonstruktionen und der Rahmenbedingungen getroffen. Danach wurde das Raumklima der untersuchten Wohnungen vor und nach der Verbesserung simuliert. Darauf aufbauend sind die Heiz- bzw. Kühlzeiten bestimmt und den Heiz- und Kühlenergiebedarf berechnet worden.

### **7.2.1 Baukonstruktionen, Bauteile und Lage**

#### **7.2.1.1 Vor der Verbesserung**

Für die Baukonstruktionen wurden Außenwände aus Hohlblocksteinen mit 15 cm Dicke und eine Dachkonstruktion aus einer Stahlsteinplatte mit 28 cm Dicke vorausgesetzt. Die Innenwände sind aus Hohlblocksteinen mit 10 cm Dicke hergestellt worden.

Für die Fenster und die Fenstertür wurden Aluminiumfenster mit einer einfachen Verglasungsscheibe eingegeben, welche zurzeit in Syrien üblich sind. Deren Abmessungen sind mit  $2,16 \text{ m}^2$  ( $1,8 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ ) für die Fenster und  $2 \text{ m}^2$  ( $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) für die Türen in typischer Größe ausgewählt. Davon abweichend hat das Fenster im Esszimmer aus geometrischen Gründen die Größe  $1,2 \text{ m}^2$  ( $1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ ).

Als ein Verschattungselement ist eine Innengardine an den Fenstern zum Einsatz gekommen, welche nach DIN 4108-6 Tabelle 7 einen Abminderungsfaktor der Solarstrahlung  $F_c$  von 0,9 hat. Das ganze Wohngebäude ist freistehend. Diese Voraus-

setzungen können für das thermische Verhalten der untersuchten Wohnungen extreme Bedingungen darstellen.

#### **7.2.1.2 Nach der Verbesserung**

Hier wurden die oben genannten Baukonstruktionen und Bauteile durch die im Kapitel 6 vorgeschlagenen neuen Konstruktionen (WDVS, gedämmtes Dach, Isolierfenster mit Holzrahmen) ersetzt bzw. ergänzt. Für die Dämmschicht ist eine Dicke von 5 cm sowohl für das WDVS als auch für die Dachdämmung angesetzt.

Für den sommerlichen Wärmeschutz wurden Fensterläden ausgewählt. Darüber hinaus können sie mit dem entstehenden Luftzwischenraum zur Verringerung der Wärmeverluste durch die Fenster (temporärer Wärmeschutz) im Winter beitragen.

In Anlehnung an die Tabelle 12 kann dieses Sonnenschutzelement einen Abminderungsfaktor von  $F_c = 0,3$  erhalten. Für den temporären Wärmeschutz wird der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand nach DIN EN 13125 mit  $R = 0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$  (Fensterläden mit mittlerer Luftdurchlässigkeit -Klasse 3) abgeschätzt.

#### **7.2.2 Rahmenbedingungen und Bewohnerverhalten**

Für die Berechnung kann die Voraussetzung gelten, dass eine Wärmeübertragung zwischen den angrenzenden Wohnungen ausgeschlossen ist, da sie die gleichen thermischen Rahmenbedingungen haben. Weiter hin sind die folgenden Voraussetzungen in Betracht zu ziehen:

- Für die Infiltrationen ist der Wert  $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$  als Grundluftwechsel eingesetzt worden, welcher den ungünstigsten Wert der Messergebnisse darstellt. Nach DIN EN 12831 (Anhang D) ist er für eine Wohnung in Syrien für rationell, da keine besondere Dichtungsmaßnahmen für die Fenster getroffen werden. Dieser Wert ist auch bei der Untersuchung nach der Verbesserung verwendet worden.
- Für die freie Lüftung (Fensterlüftung) im Sommer und in den Übergangszeiten wurde die Berechnung zunächst mit einer einseitigen Dauerlüftung mit  $90^\circ$  Öffnungswinkel (Öffnungsweite) durchgeführt. In den Übergangszeiten findet die Lüftung tagsüber statt. Für den Sommer wurde sie zur Vermeidung der Hitzezeiten im Beispiel Damaskus nur vormittags und abends in den Wohnzimmern ausgewählt, während sie in Lattakia zur Nutzung der relativ niedrigen relativen Feuchte auch tagsüber stattfindet. Einseitige Nachtlüftung erfolgt dauerhaft jeweils nur in den Schlafzimmern.



- Darüber hinaus ist der Einfluss der nächtlichen Querlüftung auf die Raumtemperatur als zusätzliches thermisches Verbesserungspotenzial untersucht worden. Hier erfolgt die nächtliche Lüftung nicht nur in den Schlafzimmern, sondern auch in den unbelegten Wohn- und Esszimmern. Anzumerken ist, dass eine besondere Wirkung des Schachts auf die Lüftung in BSIM nicht berücksichtigt wird. Er wurde als von Wind verschattete Außenzone simuliert.
- Die Wohnung ist von 4 Personen belegt, was in Syrien bei einer Wohnfläche von 100 m<sup>2</sup> zu einer jungen Familie passt. Die Belegungszeiten der Räume wurden nach einem bestimmten Zeitplan angesetzt, der in der Abbildung A7-3 dargestellt ist. Es wurde angenommen, dass das Wohnzimmer und das Esszimmer mit 3 Personen maximal besetzt werden können, während die ganze Wohnung durch die abwechselnde Belegung der Räume ständig besetzt bleibt. Gastbesuch ist hier ausgeschlossen. In dem Belegungszeitplan wurde das in Syrien gewöhnliche tägliche Verhalten während der Woche so weit wie möglich abgeschätzt.
- Um die erforderlichen kurzen Stoßlüftungen, welche im Winter normalerweise aus hygienischen Aspekten stattfinden, in der Berechnung zu berücksichtigen, wurde deren entsprechender Luftwechsel zum Grundluftwechsel hinzugefügt. Dabei sind die Luftqualitätsparameter (Wasserdampfkonzentration und CO<sub>2</sub>-Konzentration) berücksichtigt worden.
- In Anlehnung an die Darstellung in der Abbildung A7-4 soll die gesamte Luft des Schlafzimmers (30 m<sup>3</sup> Volumen) nach 4 h Belegungszeit einmal gelüftet werden, um die gesättigte Raumluft abzuführen, die durch die natürliche Feuchteproduktion bei der bloßen Anwesenheit der Bewohner zwangsläufig entsteht. Jedoch wird nach KÜNZEL (2006) und gemäß 4.2.3 (Sorptionisothermen) ein wesentlicher Teil dieser Feuchte in der Nacht von den Wänden und Möbeln absorbiert (Sorption) und im Laufe des Tages an die Raumluft wieder abgegeben (Desorption). Deshalb ist es ausreichend, zweimal täglich die Luft im Schlafzimmer vollkommen zu wechseln (Öffnen der Fenster). Das soll am frühen morgen (zur Abführung der hohen Raumluftfeuchte) und am Abend (zur Abführung der von den Innenoberflächen abgegebenen Feuchte) erfolgen. Die zweimalige Erneuerung der gesamten Raumluft erbringt für 8 h Belegungszeit einen durchschnittlichen erforderlichen Luftwechsel  $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$ . Für Wohnzimmer sind drei derartige Lüftungsschübe zumutbar, was bei 13 h Belegungszeit einen durch-

schnittlichen Luftwechsel  $n = 0,23 \text{ h}^{-1}$  darstellt. Die Berechnung wurde hier für frische Außenluft mit 80 % relativer Feuchte und  $0^\circ\text{C}$  Temperatur durchgeführt. Somit kann der angesetzte Grundluftwechsel  $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$  eigentlich schon durch die Infiltration die erforderlichen Werte abgedeckt werden.

- Dennoch ist ein Luftwechsel  $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$  zum Ausgleich der unerwünschten  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Raumluft nicht ausreichend. Nach SILBERNAGEL (1991) atmet der ruhende Mensch durchschnittlich  $0,5 \text{ m}^3$  Luft pro Stunde aus, die 20.000 ppm  $\text{CO}_2$ -Konzentration enthält. Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Stadtluft kann rund 500 ppm  $\text{CO}_2$  betragen. Die Abbildung A7-5 zeigt, dass ein Luftwechsel von  $n = 0,75 \text{ h}^{-1}$  für Wohnzimmer und von  $0,9 \text{ h}^{-1}$  für Schlafzimmer erforderlich ist, um den nach DIN 1946-2 empfohlenen Richtwert der  $\text{CO}_2$ -Konzentration (1500 ppm) im Wohnraum einzuhalten. Nach UBA (2000) kann eine  $\text{CO}_2$ -Konzentration oberhalb dieses Richtwertes Müdigkeit, Kopfschmerzen, Konzentrationsschwäche und Belästigungen durch Körpergerüche auslösen. Die entsprechende Berechnung wurde durch Nutzung des Modells QUIRL/ $\text{CO}_2$  auf Basis der Gleichung 11 durchgeführt, welche von NLGA (2003) entwickelt worden ist.

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = -nVC + nVC_a + S \quad (11)$$

- Davon ausgehend wurde ein durchschnittlicher Luftwechsel-Wert von  $n = 0,35 \text{ h}^{-1}$  für Wohnzimmer und von  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$  für Schlafzimmer zum Grundluftwechsel in den Belegungszeiten hinzugefügt. Im Allgemeinen können diese eingegebenen Werte mit dem nach DIN 4108-6 angesetzten Werten ( $n = 1 \text{ h}^{-1}$  für undichte Gebäude bzw.  $0,7 \text{ h}^{-1}$  für Gebäude ohne Dichtheitsnachweis) bei der energetischen Berechnung übereinstimmen. Weiterhin ist ein zusätzlicher theoretischer Luftwechsel für Schlafzimmer angesetzt worden, obwohl gewöhnlich keine Lüftung während des Schlafens stattfindet. Für Esszimmer, in denen die einzelne Belegungszeit nicht mehr als 1 h dauert, ist der Luftwechsel in Höhe von  $0,4 \text{ h}^{-1}$  beibehalten worden.
- Für den inneren Wärmegewinn durch die Beleuchtung und durch die Elektrogeräte ist ein Neonleuchtstoffrohr (36 W) in jedem Raum und ein Fernsehapparat (35 W) im Wohnzimmer angenommen worden. Solange das Wohnzimmer genutzt werden, sind der Fernsehapparat und die Beleuchtung eingeschaltet unter der

Berücksichtigung, dass die Beleuchtung ab 15.00 Uhr im Winter bzw. ab 19.00 Uhr im Sommer notwendig ist bzw. benutzt wird.

- Für eine optimale Nutzung der vorgeschlagenen Fensterläden wurde in Anlehnung an das Sonnenstanddiagramm der Untersuchungsregion (s. Abb. A7-6) vorausgesetzt, dass sie von 08.00 Uhr bis 15.00 für die südliche Fassade und von 15.00 bis 19.00 Uhr in der sommerlichen Kühlperiode geschlossen sind. Nur im September und Oktober fängt die Verschattung um 07.00 Uhr an der südlichen Seite und um 16.00 Uhr an der westlichen Seite an. Der Sonnenstand ist nach dem Berechnungsprogramm SONNENGANSG ermittelt worden. In Folge dessen sind einerseits die Fenster so weit wie möglich verschattet und andererseits ist eine natürliche Beleuchtung den ganzen Tag in den Wohnzimmern garantiert. Für Esszimmer sind die Fensterläden geöffnet, solange sie tagsüber belegt sind, während sie in Schlafzimmern und Gästezimmern tagsüber geschlossen bleiben.

Auf der Basis der oben genannten Eingabendaten ist das thermische Verhalten der untersuchten Wohnungen vor und nach der Verbesserung simuliert worden. Die Rechenergebnisse sind in der Abbildung 11 für die südorientierte Wohnung und in der Abbildung 12 für die nordorientierte Wohnung gegenübergestellt. Hier ist die Darstellung nur auf Januar und August und die Wohnzimmer beschränkt. Die Rechenergebnisse der anderen Zimmer sind in den Abbildungen A7-7 bis A7-10 dargestellt.

Zur Bestimmung der Heiz- und Kühlzeiten wurde es nach der bei TERHAAG (1986) angeführten Abbildung A7-11, und nach DIN 1946-2 sowie DIN per EN 15251 Tabelle A-3 angenommen, dass die Heizung angeschaltet wird, wenn die Raumlufthtemperatur unter 20 °C sinkt. Dann wird sie auf 22 °C erwärmt. Für die Schlafzimmer ist die Raumlufthtemperatur mit 18 °C angesetzt worden. Andererseits ist das Kühlungsgerät in Betrieb, wenn die Raumtemperatur 26 °C in Damaskus überschreitet. Für Lattakia sind die Schwülgrenzen beachtet worden. In beiden Fällen war 24 °C die zu erreichende Kühltemperatur. Derartige Annahmen können gewährleisten, dass das Raumklima während der Belegungszeiten noch im behaglichen Bereich liegt.

Außerdem musste der zusätzliche Energiebedarf, der aufgrund des Einflusses der Wärmebrücken entsteht, bestimmt werden. Dabei wurden die bestehenden Wärmebrücken gemäß 6.2 festgelegt. Nach HERMAN (2006) wurden Transmissionswärmeverluste der festgelegten Wärmebrücken anhand der Heizgradstunden wie folgt berechnet:

$$q_w = \sum l \times \psi \times f_t \times G_t / 1000 \quad (12)$$

Die Heizgradstunden  $G_h$  können durch die Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungstemperatur und der Innenraumtemperatur für beliebige Zeitintervalle (hier eine Stunde) berechnet werden. Nach DIN 4108-6 ist  $f_t = 1$  für das Dach und die Wand anzusetzen.

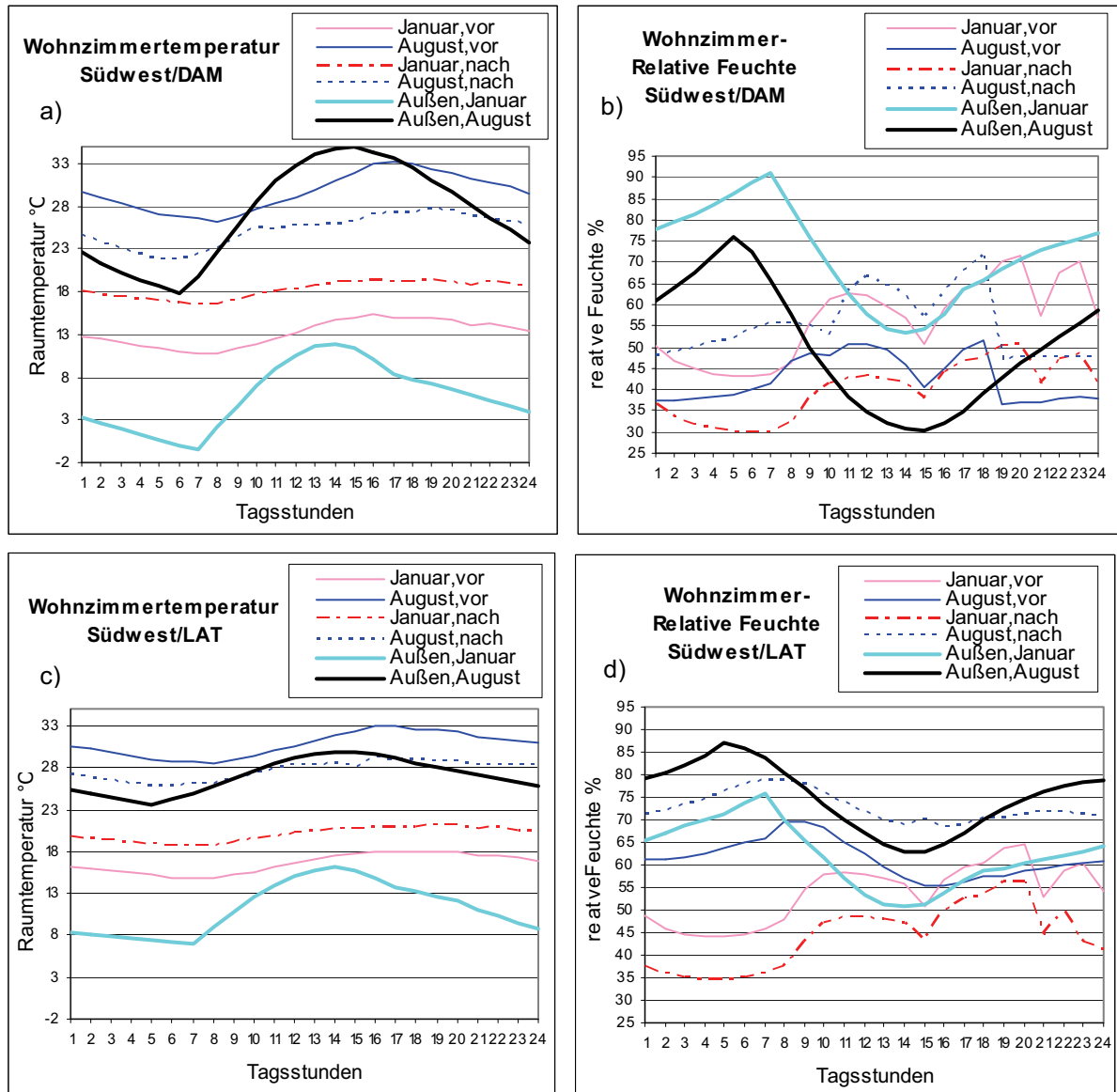


Abbildung 11: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der südwestorientierten Wohnung für die Beispiele Damaskus (a, b) und Lattakia (c, d) – jeweils vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.

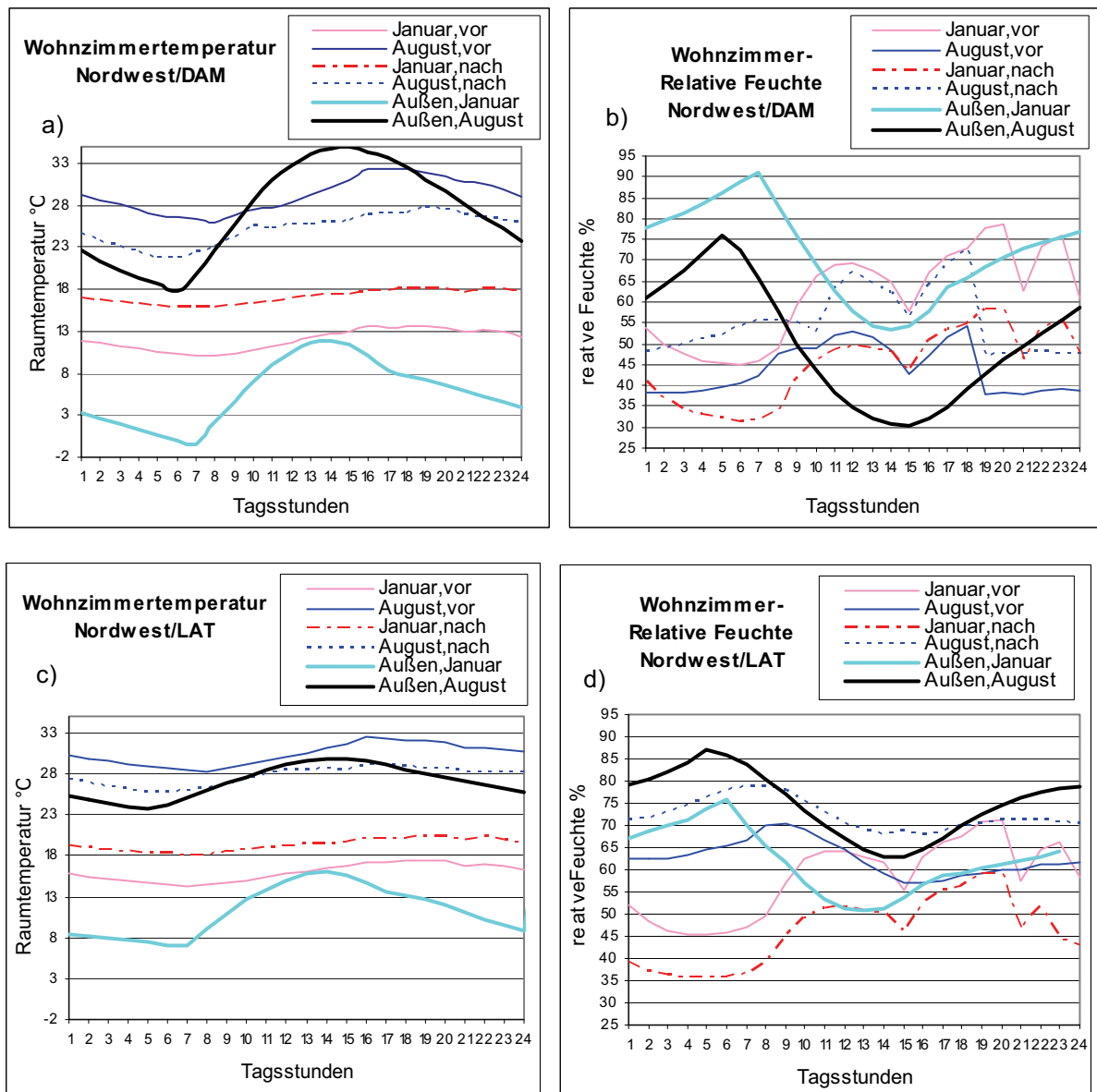


Abbildung 12: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der nordwestorientierten Wohnung für die Beispiele Damaskus (a, b) und Lattakia (c, d) – jeweils vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.

Abschließend wurde der Heiz- und Kühlenergiebedarf der untersuchten Wohnungen in der Tabelle 13 zusammengestellt. Der Gesamtenergiebedarf ist auf den Jahres-Heizenergiebedarf bezogen berechnet worden, der den Jahres-Heizwärmebedarf und die an der Systemgrenze anfallenden Energieverluste der Anlagentechnik (Erzeugungsverluste, Verteilungs- und Speicherungsverluste, Übergabeverluste) einschließt. Solche Verluste sind in der sogenannten Anlagenaufwandzahl  $e_p$  zusammengefasst, welche nach DIN V 4701-10 ermittelt und mit dem Heizwärme- und Kühlbedarf multipliziert wurde. Die Aufwandzahl der Heizung wurde für einen Konstanttemperaturheizkessel ( $e_p = 1,38$ ) genommen, der in Syrien häufig für eine zent-

rale Heizung benutzt wird. Für ein dezentrales Elektrokühlgerät spielen solche Verluste keine Rolle.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Berechnungsergebnisse gemäß den bereits angeführten Rahmenbedingungen den maximalen theoretischen Jahres- Heiz- und Kühlenergiebedarf darstellen, bezogen auf die beheizte/gekühlte Wohnfläche in Damaskus bzw. in Lattakia. Tatsächlich weist dieser Bedarf gegenüber dem realen Jahres-Energieverbrauch der jeweiligen Wohnung erhebliche Differenzen auf, was im unterschiedlichen Verhalten der Bewohner und der unterschiedlichen Gegebenheiten der Wohngebäude (Lage, die offene oder geschlossene Bauweise, Baukonstruktionen etc.) begründet ist.

*Tabelle 13: Heiz- und Kühlenergiebedarf der untersuchten Wohnungen vor und nach den vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen.*

| Vor der Verbesserung  |                               |                |                      |                                   |                                  |                                    |                        |
|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Wohnung               | Jahres Heiz<br>wärme bedarf   | e <sub>p</sub> | Jahres<br>Kühlbedarf | **Jahres<br>Heizenergie<br>Bedarf | *Jahres<br>Kühlenergie<br>bedarf | Jahres Ge<br>samtenergie<br>bedarf | Alter<br>Zustand       |
|                       | kWh                           |                |                      | kWh                               | kWh/(m²a)                        | kWh/(m²a)                          | kWh/(m²a)              |
| DAM,SW                | 8318                          | 1,38           | 6194                 | 212                               | 114                              | 326                                | 100                    |
| DAM,NW                | 9507                          |                | 5738                 | 243                               | 106                              | 349                                |                        |
| LAT,SW                | 4467                          |                | 7123                 | 114                               | 132                              | 246                                |                        |
| LAT,NW                | 5157                          |                | 6721                 | 131                               | 125                              | 256                                |                        |
| Nach der Verbesserung |                               |                |                      |                                   |                                  |                                    |                        |
| Wohnung               | Jahres<br>Heizwärme<br>bedarf | e <sub>p</sub> | Jahres<br>Kühlbedarf | Jahres<br>Heizenergie<br>bedarf   | Jahres<br>Kühlenergie<br>bedarf  | Gesamtener<br>gie bedarf           | Verbes<br>serung<br>um |
|                       | kWh                           |                |                      | kWh                               | kWh/(m²a)                        | kWh/(m²a)                          | kWh/(m²a)              |
| DAM,SW                | 1500                          | 1,38           | 510                  | 39                                | 9                                | 48                                 | 85                     |
| DAM,NW                | 2250                          |                | 400                  | 59                                | 7                                | 66                                 | 81                     |
| LAT,SW                | 642                           |                | 1870                 | 17                                | 35                               | 52                                 | 79                     |
| LAT,NW                | 867                           |                | 1730                 | 22                                | 32                               | 55                                 | 78                     |

\* bezogen auf beheizte bzw. gekühlte Fläche 54 m², \*\* und multipliziert mit 1,38

## 8. Bewertung der Rechenergebnisse

### 8.1 Bewertung des Raumklimas vor und nach der Verbesserung

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen ganz offensichtlich, dass das in den syrischen Wohngebäuden das Raumklima ohne Klimaanlage und unter den dargestellten gegenwärtigen Rahmenbedingungen für den gesamten Tag sowohl im Sommer als auch im Winter extrem unbehaglich ist. Anhand der vorgeschlagenen Maßnahmen kann eine wesentliche Verbesserung dieser sehr ungünstigen Gegebenheiten nachgewiesen werden.

Im Beispiel Damaskus kann für einen sommerlichen Monat wie August die Raumtemperatur nachmittags zwischen 17.00 und 18.00 Uhr bis zu 33 °C erreichen und auch um 24.00 Uhr trotz der mäßigen Außentemperatur (24 °C) nicht unter 30 °C absinken (s. Abb. 11, a). Das ist auf die große Wärmespeichermasse der verwendeten schweren Bauteile (Beton mit  $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ ) zurückzuführen, welche nachts diese Wärme zu einem erheblichen Teil auch an den Innenraum wieder abgeben. Die relative Luftfeuchte bleibt im Bereich von 35 % bis 50 % schwankend, was für eine heiße trockene Region wie Damaskus im Sommer typisch ist (s. Abb. 11, b). Im Januar schwankt die Raumtemperatur im Bereich zwischen 10 °C und 13,5 °C (s. Abb. 12, a), während die relative Feuchte wegen des kalten Raumklimas über 70 % steigen kann (s. Abb. 12, b). Mit den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen hat sich die Raumtemperatur im Bereich von 21 °C bis 27,5 °C für August und von 16 °C bis 19,3 °C für Januar eingeepegelt. Im Vergleich zur bisherigen Situation ist mit einer thermischen Verbesserung von durchschnittlich 5 K sowohl im Sommer als auch im Winter zu rechnen. Die relative Feuchte lag dabei im Bereich von 50 % bis 70 % im Sommer und zwischen 40 % und 65 % im Winter, was nach der Abbildung A7-11 in der Wechselwirkung mit der Raumtemperatur größtenteils ein angenehmes Wohnklima garantiert. Es ist anzumerken, dass die vorliegende Bewertung des hygrothermischen Zusammenhangs nur für die Zeiten erfolgt ist, in denen der Raum belegt ist. Für das Beispiel Lattakia ändert sich das Untersuchungsergebnis im Vergleich zu Damaskus trotz des deutlichen Unterschieds der Außentemperatur im Sommer nicht. Die Raumtemperatur von 33 °C sinkt allerdings nur bis 30,5 °C um 24.00 Uhr ab (s. Abb. 11, c). Das hängt grundsätzlich mit der großen Solarbelastung durch die Diffusstrahlung zusammen, welche in Lattakia wegen der stärkeren Bewölkung höher als in Damaskus ist (s. Abb. A8-1, c und d). Beispielweise erreicht die diffuse Strahlung an der nördlichen Fassade ihren maximalen Wert von 0,2 kWh/m<sup>2</sup> für das Beispiel in

Lattakia gegenüber lediglich 0,07 kWh/m<sup>2</sup> für das Beispiel in Damaskus. Weiterhin kann diese entstehende Solarwärmelast wegen der sehr geringen Temperaturschwankung zwischen Tag und Nacht nicht effektiv verringert werden. Diese Hitze wird von einer durchschnittlichen Feuchtigkeit (55 % - 70 %) begleitet (s. Abb. 11, d), die nach der Abbildung A7-11 zu einer starken Schwüle führen kann. Für einen mäßigen Winter am Mittelmeer fällt das Raumklima gegenüber dem Beispiel Damaskus relativ besser aus, wenn die Raumtemperatur im Tagesverlauf im Bereich zwischen 14,3 °C und 17,5 °C und die relative Raumluftfeuchte im Bereich zwischen 45 % und 70 % schwankt (s. Abb. 12, c und d). Dennoch bleibt das Raumklima klar im unbehaglichen Bereich. Unter Berücksichtigung der untersuchten thermischen Verbesserung hat sich die sommerliche Raumtemperatur im Vergleich zum Beispiel Damaskus wegen der oben genannten Einflüsse nicht effektiv verbessert, wo sie an der Hitze-Spitze nur bis 29 °C (3,5 K Unterschied) absinkt. Andererseits hat dies zur Erhöhung der relativen Raumfeuchte mit einem Bereich von 70 % bis 80 % geführt. Infolgedessen und nach der Abbildung A7-11 bleibt das Raumklima für August generell noch in einem unbehaglichen Bereich aber eigentlich mit einem deutlich niedrigeren Energiebedarf. In der Winter-Simulation ist die thermische Verbesserung mit zirka 4 K Unterschied ausreichend, das Raumklima als unmittelbare Annäherung an dem behaglichen Bereich zu bewerten. Dabei lag die Raumtemperatur im Bereich von 18,5 °C bis 20,5 °C und die relative Feuchte in der Belegungszeit im Bereich zwischen 40 % und 60 %. Da der Winter in Damaskus gegenüber Lattakia durchschnittlich wesentlich heiterer ist (s. Abb. A8-1, a und b), entsteht ein zusätzlicher Solarwärmege-  
winn (z.B. insgesamt rund 200 kWh in Januar), der wegen der thermischen Verbesserung effektiv im Raum gespeichert wird. Dies kann die bessere Erhöhung der winterlichen Raumtemperatur in Damaskus im Vergleich zu Lattakia (4 zu 5 K) begründen.

Zur Verdeutlichung des Einflusses einer nächtlichen Querlüftung auf die thermische Verbesserung des Raumklimas zeigt die Abbildung 13 die Raumtemperatur vor (mit und ohne nächtliche Querlüftung) und nach der konstruktiven Verbesserung (wiederum mit und ohne nächtliche Querlüftung) für die Beispiele in Damaskus und Lattakia. Es ist ersichtlich, dass die schweren Bauteile wegen ihrer großen Speichermasse die gespeicherte Wärme durch diese Querlüftung generell nicht effektiv abgegeben haben. Die Verbesserung hat für das Beispiel in Damaskus nachts durchschnittlich 2 K ausgemacht (s. Abb. 13, a), wobei das Zimmer dann unbelegt ist, während sie tags-



über weniger als 1 K betragen hat. Für die in der Nacht belegten Schlafzimmer ist diese Maßnahme effektiver einzuschätzen, wobei die Raumtemperatur für die wesentliche Zeitspanne im behaglichen Bereich lag (s. Abb. A7-7). Wie erwartet war Einfluss der nächtlichen Querlüftung im Beispiel Lattakia geringfügig, wo die thermische Verbesserung lediglich weniger als 1 K ausgemacht hat (s. Abb. 13, b).

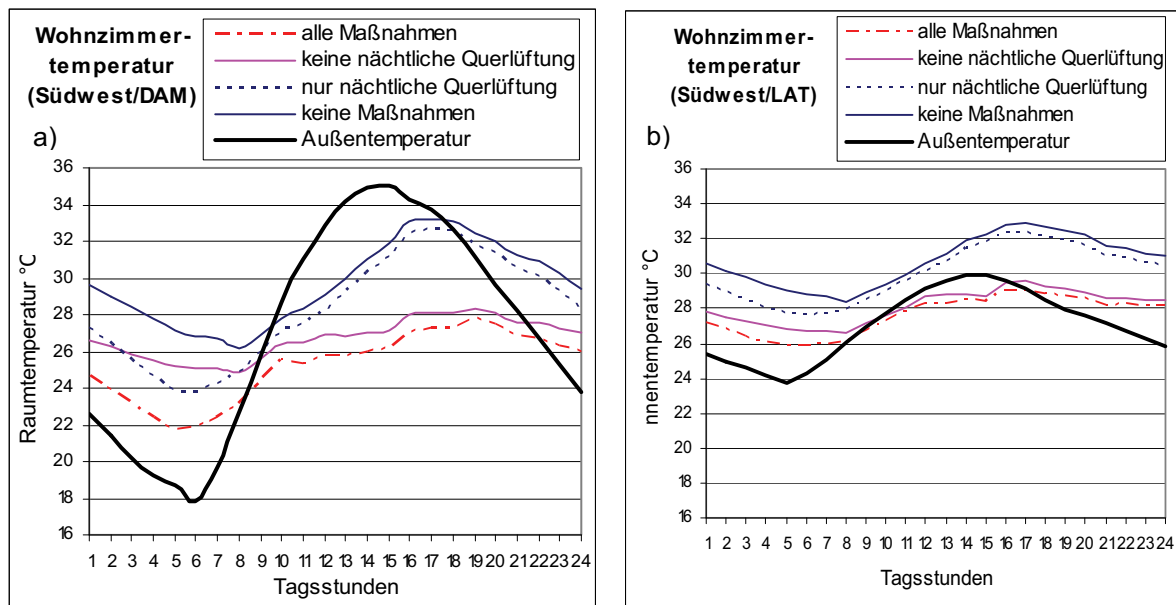


Abbildung 13: Einfluss der nächtlichen Querlüftung auf die Raumtemperatur ohne und mit Berücksichtigung der konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen. Beispiele Damaskus (a) und Lattakia (b) (Wohnzimmer Südwest).

Als entscheidender Einflussfaktor auf die thermische Behaglichkeit des Raumklimas zählt nicht nur das Verhältnis der Raumtemperatur zur relativen Raumfeuchte, sondern auch zur Oberflächentemperatur der umschließenden Fläche. Nach KALLENRODE (2005) kann ein großer thermischer Unterschied zwischen der Oberflächentemperatur und der Raumtemperatur zu körperlichen Wärmeverlusten durch die Wärmestrahlung (vom Raumnutzer zur kalten Oberfläche) führen. Darüber hinaus kann diese Temperaturdifferenz eine unangenehme Luftzirkulation (Konvektion) verursachen. In Folge dessen wird die Empfindungstemperatur unbehaglich, obwohl die Raumtemperatur theoretisch im behaglichen Bereich liegt. Nach FRANK (1975) zeigt die Abbildung A8-2 die Empfindungstemperatur (sog. operative Raumtemperatur  $\theta_R$ ) als Mittelwert der mittleren Oberflächentemperatur  $\theta_{si}$  und der Raumlufthtemperatur  $\theta_i$ . Beispielweise zeigt die Abbildung (14, a), dass die Grenzempfindungstemperatur (19 °C) als Funktion der Innenoberfläche der ungedämmten Außenwand vom Wohnzimmer und der Raumlufthtemperatur nur nach mehr als zwei Stunden Heizung (22 °C Raumlufthtemperatur und 16 °C Oberflächentemperatur, um 11.00 Uhr) erreicht wird.

Dabei kann sie bei einer Außentemperatur über 10 °C erst nach langen Heizungsstunden im behaglichen Bereich bleiben. Diese Untersuchung ist für die nördliche Fassade des nördlichen Wohnzimmers im Beispiel Damaskus durchgeführt worden. Unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Wärmedämmung fällt das Verhältnis zwischen der Raumlufthtemperatur und der Innenoberflächentemperatur vollkommen im behaglichen Bereich (s. Abb. 14, b). Die Außendämmung hat einerseits die Innenoberflächentemperatur der Wand erhöht und andererseits deren Wärmespeicherfähigkeit verbessert.

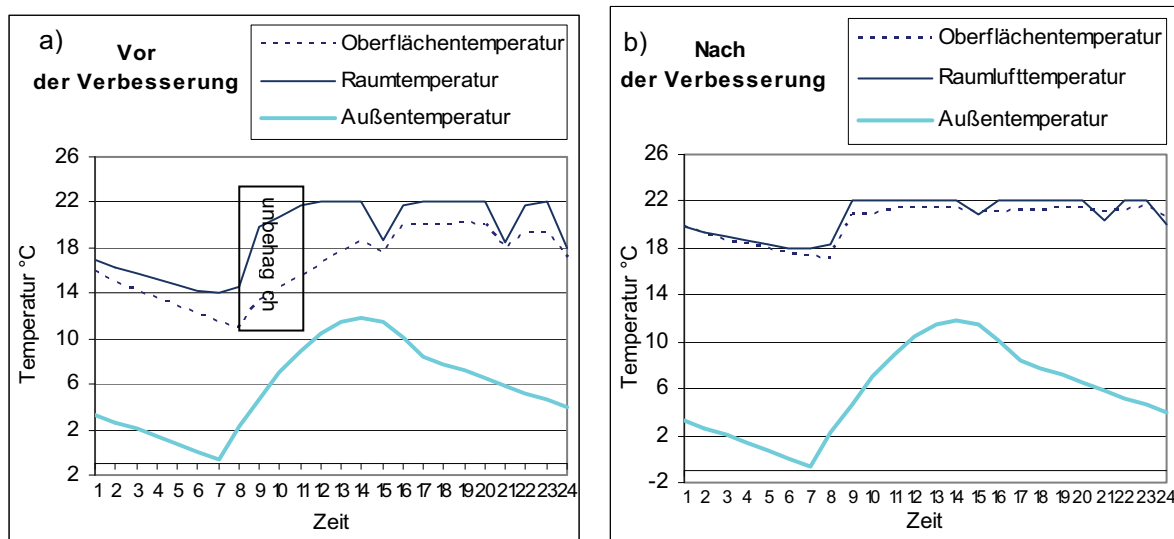


Abbildung 14: Innenoberflächentemperatur der nördlichen Fassade des Wohnzimmers gegenüber der Raumlufthtemperatur (Beispiel Damaskus).

## 8.2 Bewertung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs vor und nach der Verbesserung

In Anlehnung an die Tabelle 13 und nach FEIST (2001) zeigt die Abbildung 15, dass die syrischen Wohngebäude unter Berücksichtigung des Kühlenergiebedarfs im Vergleich zum deutschen Zustand energetisch generell als alte Bestandgebäude (bis 250 kWh/(m²a) Heizenergiebedarf) einzustufen sind. Das entspricht den Gebäuden, für die seit der Errichtung keine besonderen Maßnahmen für den Wärmeschutz getroffen wurden, was in Syrien ebenfalls der vorherrschende Zustand ist. In Bezug auf den Heizenergiebedarf stimmen die syrischen Häuser mit einem Bedarf von 240 kWh/(m²a) unter den klimatischen Bedingungen der Binnenregion mit dem deutschen Gebäudebestand überein. Für die Küstenregion können sie mit den deutschen Häusern verglichen werden, welche die Anforderung der Wärmeschutzverordnung aus dem Jahr 1995 erfüllen.

Es ist anzumerken, dass der Heizenergiebedarf in einer am Mittelmeer liegenden warmen Küstenstadt wie Lattakia fast die Hälfte gegenüber einer Stadt im Landes-Inneren mit vergleichsweise kalten Wintern wie Damaskus ausmacht. Dagegen fällt der Kühlenergiebedarf in Lattakia wegen der höheren relativen Luftfeuchte gegenüber Damaskus auffällig höher aus. Dieser Unterschied zeigt sich auch nach der thermischen Verbesserung noch deutlich. Die Abbildung A8-3 weist aus, dass sich die Hauptheizperiode in der Stadt Damaskus (bezogen auf die nördliche Wohnung) von November bis Ende April erstrecken kann, während sie sich in Lattakia auf vier Monate (von Dezember bis Ende März) beschränkt. Als Hauptkühlperiode (bezogen auf die südliche Wohnung) ist sowohl für Damaskus als auch für Lattakia der Zeitraum von Juni bis Anfang Oktober anzusehen. Durch die getroffenen energetischen Verbesserungsmaßnahmen konnten die Monate der Klimatisierung eindeutig verringert werden. Dabei sind sie mit niedrigerem Energiebedarf als bisher auf vier Heizmonate in Damaskus (von Dezember bis März) und auf drei in Lattakia (von Dezember bis Februar) eingeschränkt worden. Der Kühlbedarf ist nur für Juli und August in Lattakia relativ hoch geblieben.

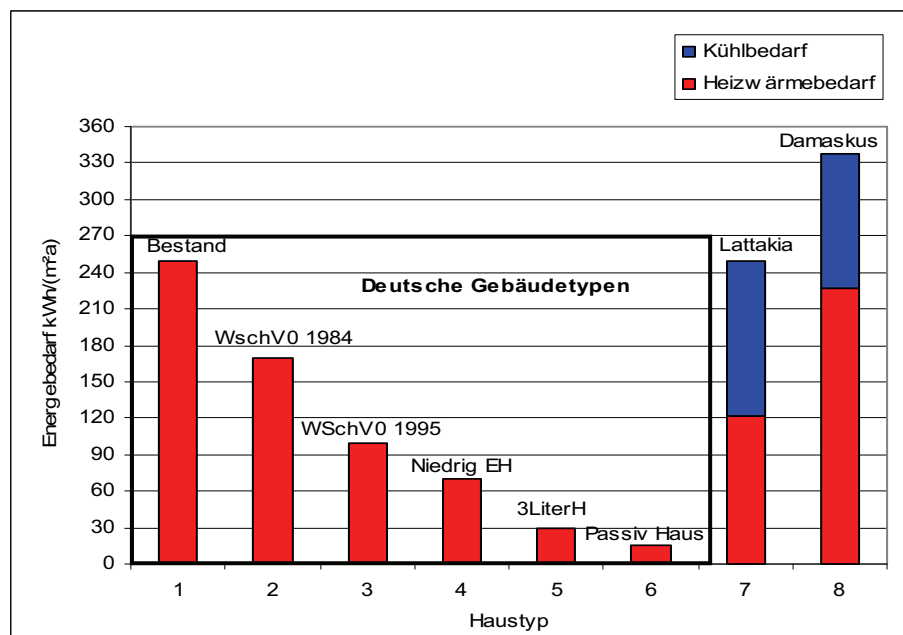


Abbildung 15: Heizungs- und Kühlenergiebedarf der syrischen Häuser gegenüber dem Heizwärmebedarf der energetischen Gebäudetypen in Deutschland.

Anzumerken ist, dass die Zahl der Heiz- und Kühlstunden auf Basis des herrschenden Raumklimas ohne die Klimatisierung bestimmt worden ist. Da BSIM einerseits die thermische Wechselwirkung zwischen den Zonen und andererseits die Wärmespeichermechanismen während der Klimatisierung berücksichtigen kann (z.B. s.

Abb. A8-4), sind die realen Heiz- bzw. Kühlstunden beim Simulationsprozess eigentlich als geringer einzuschätzen.

In Bezug auf die getroffenen Verbesserungsmaßnahmen zeigen die Ergebnisse, dass der Heiz- und Kühlenergiebedarf generell um über 80 % reduziert werden konnte. Abgesehen vom Einfluss der natürlichen Querlüftung auf den Energiebedarf (15 % für das Beispiel Damaskus und 5 % für das Beispiel Lattakia) kann die energetische Verbesserung durch die konstruktiven Maßnahmen bis etwa 75 % erreichen. In Folge dessen ist der neue Zustand der syrischen Häuser nach der Abbildung 27 unter dem Status von Niedrigenergiehäusern (30 bis 70 kWh/(m<sup>2</sup>a)) einzuordnen.

Die graphische Darstellung der berechneten Gesamtenergiebilanz (Abbildung A8-5, a und c) zeigt, dass die Transmissionswärmeverluste über die Bauteile mit deren großen Wärmedurchgangskoeffizienten (über 2,5 W/(m<sup>2</sup>k)) den wesentlichen Anteil der winterlichen Wärmeverluste (bis 88 %) ausmachen. Im Sommer spielt die Solarwärmelast neben der Transmissionswärmelast eine entscheidende Rolle. Bei der Bewertung des Einflusses der Wärmebrücken haben sie 15 % der Gesamttransmissionswärmeverluste ausgemacht. Die Berechnung hat gezeigt, dass der Einfluss der Wärmebrücken nach der Dämmung bis 30 % steigen kann, falls sie nicht reduziert werden. Mit den getroffenen Reduzierungsmaßnahmen (s. 6.2) ist deren Einfluss auf 7 % gesunken (s. A8-5, b und d). Deutlich erkennbar sind dabei die Anteile der Infiltration (bis 38 %) und der internen Wärmegewinne bzw. der Wärmelast (bis 65 %) nach der thermischen Verbesserung der Bauteileleistung und der getroffenen sommerlichen Wärmeschutzmaßnahmen angestiegen. Es ist darauf hinzuweisen, dass eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung des Energiebedarfs in der Erhöhung der Luftdichtheit (besonders Verbesserung der Dichtheit von Fenstern und Türen) besteht. Dennoch wurde im vorliegenden Zusammenhang an der bestehenden Luftdichtheit aus Gründen eines ausreichend hygienischen Luftwechsels festgehalten (s. 7.2.2). In IFT (2007) sind wichtige Dichtungsmaßnahmen bei der Fenstermontage ausführlich dargestellt.

Schließlich bietet die Abbildung 16 eine zusammenfassende Darstellung der geschaffenen thermischen und energetischen Verbesserungen bezogen auf den unsanierten Fall durch die vorgesehenen konstruktiven Maßnahmen. Weiter hin stellt die Abbildung 17 die durchschnittlichen Wirkungsanteile der getroffenen konstruktiven Maßnahmen auf Grundlage der angenommenen Rahmenbedingungen dar.

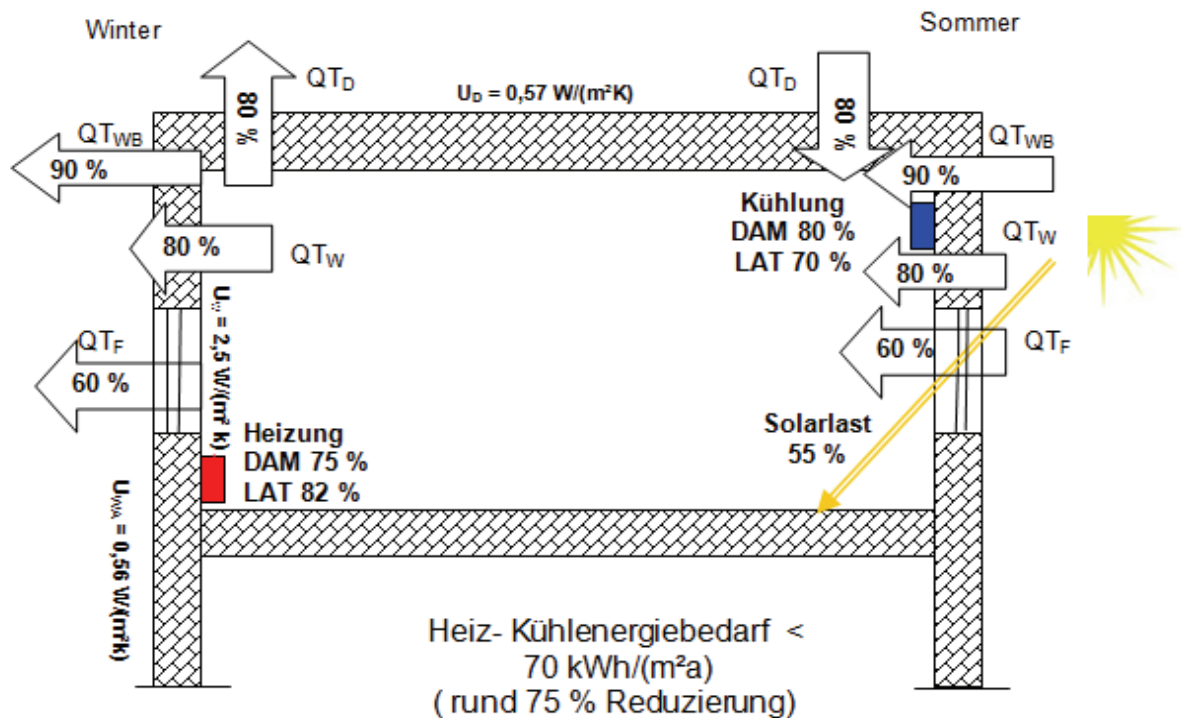


Abbildung 16: Prozentuale Reduzierung der Wärmetransmission, der Solarlast, der Heizung, der Kühlung und des Gesamtheiz- Kühlenergiebedarfs durch die vorzusehenden konstruktiven Maßnahmen. Die Reduzierung bezogen auf den unsanierten Fall.

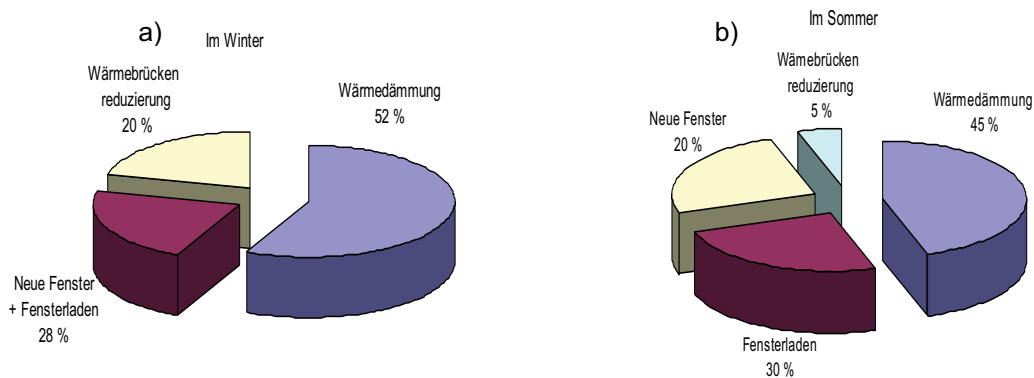


Abbildung 17: Wirkungsanteile der getroffenen konstruktiven Maßnahmen an der Reduzierung des Energiebedarfs im Winter (a) und im Sommer (b).

### 8.3 Ökonomische Bewertung

#### 8.3.1 Ökonomische Dämmstoffdicke

Um die günstige Dämmstoffdicke für eine sinnvolle Energiekosteneinsparung (Heizung und Kühlung) im Zusammenhang mit den Dämmstoffkosten (WDVS und Dachdämmung) zu bestimmen, wurde die Berechnung auch für Dämmdicken von 1 cm, 3 cm, 7 cm und 10 cm durchgeführt. Die Dämmkosten bestehen hierbei (abgesehen

von den Lieferungs- und Einbaukosten) vor allem aus den Herstellungskosten für das Material, für die auch künftig eine Energiepreissteigerung zu berücksichtigen ist. Bei der Bestimmung der Energiekosteneinsparung wurde nur Wirkung der Dämmung als einzige Verbesserungsmaßnahme berücksichtigt. Die Untersuchung hat sich auf Styropor mit  $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$  beschränkt, das in Form von Dämmplatten gegenwärtig bereits in Syrien verwendet wird. Im Bezug auf die Netto-Kosteneinsparung hängen die Ergebnisse stark von der Energie- und Dämmstoffpreisentwicklung ab. Weiterhin besitzen die Kosten für die Herstellung von Dämmstoffen in Syrien einen breiten Spielraum. Die vorliegende Bewertung basiert auf den bis 31. August 2007 gültigen Energiepreisen (7 syrische Lira für 1 Liter Heizöl und 2,25 syrische Lira für jede Kilowattstunde Stromverbrauch zusätzlich zu einem Sockelverbrauch von 2000 kWh) nach ME (2002). Die Preise für Styropor wurden nach den in 2007 auf dem syrischen Markt durchschnittlichen erhältlichen Preisen (Angabe jeweils für 1 m<sup>2</sup> Material) ausgewählt: 50 syrische Lira für 1 cm Stärke, 75 für 3 cm, 100 Lira für 5 cm, 125 Lira für 125 cm und 175 Lira für 10 cm. Für das Beispiel Damaskus zeigt die Abbildung 18, dass die ökonomisch sinnvolle Dämmstoffdicke im Wohnungsbau für breite Bevölkerungsschichten unter syrischen Rahmenbedingungen im Bereich von 3 cm bis 5 cm liegen kann. Es ist zu erkennen, wie die Kurve der Energieeinsparung über die Dämmdicke von 5 cm stark abflacht. Die zusätzliche Energieeinsparung einer Dämmstoffstärke mit 10 cm macht nur 12 % gegenüber der Dämmstoffstärke von 5 cm aus.

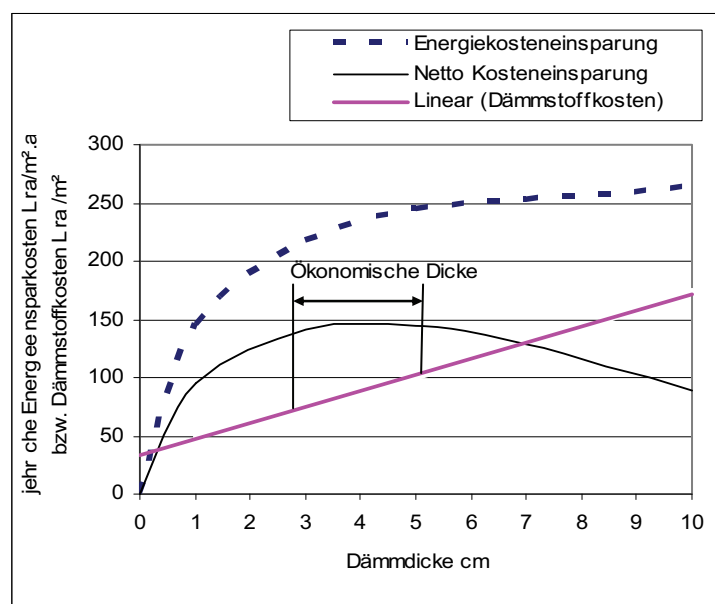


Abbildung 18: Günstige Dämmstoffdicke im Verhältnis zur Wirtschaftlichkeit unter syrischen Bedingungen (Beispiel Damaskus).

### **8.3.2 Kosten- Nutzenanalyse**

Für eine sinnvolle ökonomische Bewertung der getroffenen konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen wurde eine Kosten-Nutzenanalyse angestellt, in der das gesamte Energieeinsparungspotenzial einer Wohnung den gesamten Investitionskosten gegenübergestellt wurde (s. Tab A8-1). Die Bewertung der Investitionskosten dieser Maßnahmen hat gezeigt, dass sie die gegenwärtigen Wohnungsbaukosten um geschätzte 10 % bis 12 % erhöhen würden. Die Analyse hat beide untersuchten Beispiele in Damaskus und Lattakia eingeschlossen und sich auf die Variante mit einer Dämmstoffdicke von 5 cm beschränkt. Da die Wärmedämmung an Gebäuden in Syrien bisher noch nicht angewendet wird, wurden die Kosten der Montage für das WDVS an den Außenwänden wie die Montagekosten von Fassaden-Mosaikplatten angesetzt und für die Dachdämmung die Verlegekosten von Bodenplatten verwendet. Für die neuen isolierverglasten Fenster sind die doppelten Preise der Einfachverglasfenster aus Holz angenommen worden. Davon ausgehend wurde der Preis eines zusätzlichen einfachverglasten Fensters für jedes vorhandene Fensterelement aufsummiert. Erwähnenswert ist, dass bei der Bestimmung der gesamten Energiekosteneinsparung die sich aus der Nachtlüftung ergebene Einsparung nicht berücksichtigt wurde.

Als neue wirtschaftliche Maßnahme versucht der syrische Staat, die seit 35 Jahren angewandete Subventionierung der Energiepreise abzuschaffen. Als einen ersten unmittelbaren Schritt dieser neuen Maßnahmen hat die Regierung seit dem 01. September 2007 die Stromgebühren erhöht und sie diskutiert momentan eine kurzfristige Erhöhung der Heizölpreise. Davon ausgehend wurde die Berechnung für den Strompreis auf Basis des alten Preises (2,5 syrische Lira/kWh nach ME (2002) und des neuen Preises (4 syrische Lira/kWh Verbrauch über den Sockelverbrauch von 2000 kWh nach ME (2007) durchgeführt. Für den Heizölpreis sind der derzeitige Preis (7 syrische Lira/Liter) und der vorgeschlagene zukünftige Preis (14 syrische Lira/Liter) untersucht worden. Weitere zukünftige Einflüsse wie die jährliche Energiepreissteigerung, die Preisentwicklung der Baustoffe und Förderungszinsen der Verbesserungsmaßnahmen, sind nicht exakt quantifizierbar und konnten deshalb nicht in Betracht gezogen werden.

Die Abbildung 19 zeigt, dass die Investitionskosten beim gegenwärtigen Energiepreisniveau in ca. sieben Jahren für das Beispiel Damaskus und in ca. neun Jahren für das Beispiel Lattakia amortisiert werden könnten. Unter den neuen erhöhten Energiepreisen würde sich die Amortisationszeit generell auf rund vier bis fünf Jahre

reduzieren. Dies ist im Vergleich zur durchschnittlichen Nutzungsdauer der Dämmstoffe (bis 35 Jahre) bzw. der Wohngebäude (bis 80 Jahre) als kurzer Zeitraum zu betrachten.

Eigentlich stellt dieses Resultat lediglich die theoretische Amortisationszeit dar, welche auf Basis des maximalen Energiebedarfs bestimmt wurde. Auf Basis des Energieverbrauchs, der normalerweise sehr unterschiedlich ist, kann dieser Zeitraum verdoppelt werden.

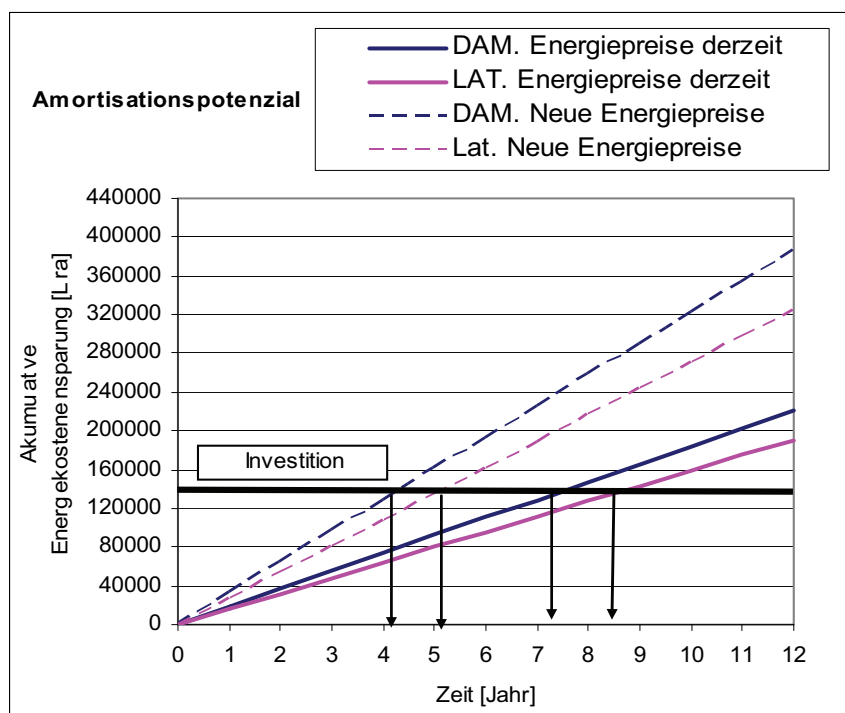


Abbildung 19: Amortisationszeit, in der die Investitionskosten der vorgeschlagenen Wärmeschutzmaßnahmen durch die Einsparung von Energiekosten abgedeckt werden können.

### 8.3.3 Ökologische Bewertung

Eine ökologische Bewertung der getroffenen Verbesserungsaspekte soll im Bezug auf die potentielle Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission in Zusammenhang mit Reduzierung des Energiebedarfs erfolgen. Zur Ermittlung dieses Potenzials soll die sogenannte Primärenergie (PE) berücksichtigt werden, welche neben dem Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf auch die erforderliche Energie für die Erzeugung und den Transport der Energieträger außerhalb der Systemgrenze von Gebäuden einschließt. Die Bestimmung des Primärenergiebedarfs erfolgt durch die Multiplizierung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs mit dem sogenannten Primärenergiefaktor. Dieser Faktor ist nach DIN V 4701-10 Tabelle C.4.1 abzuleiten. In Anlehnung an [P&P CO2 MAN



MENT] ist der CO<sub>2</sub>-Inhalt der Energieträger mit 2,7 kg je 1 Liter Heizöl und 0,6 kg je 1 kWh Strom zu schätzen.

Die Tabelle 14 zeigt an, dass rund 219 kg/(m<sup>2</sup>a) CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Beispiel Damaskus und rund 192 kg/(m<sup>2</sup>a) für das Beispiel Lattakia unter den angenommen Rahmenbedingungen durchschnittlich vermeidbar wären. Demgegenüber ist die bei der Herstellung von Styropor im Umfang des benötigten Volumens anfallende CO<sub>2</sub>-Emission auf Basis der in der Tabelle 10 aufgeführten Daten für den erforderlichen Herstellungsenergiebedarf mit rund 1200 kg anzusetzen. Diese Menge stellt nur ca. 20 % der jährlichen eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Dämmungsmaßnahmen dar. Nach ME (2004) wird die Zahl der Wohngebäude in Syrien auf ca. drei Millionen geschätzt. Bei der Annahme, dass 30 m<sup>2</sup> Wohnfläche jedes Hauses klimatisiert sind, könnten ca. 19 · 10<sup>9</sup> kg als durchschnittliches jährliches Reduzierungspotenzial der CO<sub>2</sub>-Emission für das ganze Land zur Verfügung stehen.

*Tabelle 14: Berechnung der potentiellen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Wohngebäude in Syrien, die durch die vorgeschlagenen energetischen Verbesserungsmaßnahmen vermieden werden könnten.*

|                                                                      |             |                                                           |                          |             |                             |                               |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Beispiel<br>DAM                                                      | Heizung     |                                                           |                          |             |                             |                               |
|                                                                      | Reduzierung | Energieträger                                             | PE-Faktor f <sub>p</sub> | PE          | CO <sub>2</sub> - Inhalt    | CO <sub>2</sub> - Reduzierung |
|                                                                      | Liter/(m²a) | Heizöl                                                    | -                        | Liter/(m²a) | kg/Liter                    | kg/(m²a)                      |
|                                                                      | 18          |                                                           | 1,1                      | 19,8        | 2,7                         | 53,46                         |
|                                                                      | Kühlung     |                                                           |                          |             |                             |                               |
|                                                                      | kWh/(m²a)   | Strom - Mix                                               | -                        | kWh/(m²a)   | kg/(kWh)                    | kg/(m²a)                      |
|                                                                      | 92          |                                                           | 3                        | 276         | 0,6                         | 165,6                         |
| Summe                                                                |             |                                                           |                          |             | 219,06                      |                               |
| Beispiel<br>LAT                                                      | Heizung     |                                                           |                          |             |                             |                               |
|                                                                      | Reduzierung | Energieträger                                             | PE-Faktor f <sub>p</sub> | PE          | CO <sub>2</sub> - Inhalt    | CO <sub>2</sub> - Reduzierung |
|                                                                      | Liter/(m²a) | Heizöl                                                    | -                        | Liter/(m²a) | kg/Liter                    | kg/(m²a)                      |
|                                                                      | 10          |                                                           | 1,1                      | 11          | 2,7                         | 29,7                          |
|                                                                      | Kühlung     |                                                           |                          |             |                             |                               |
|                                                                      | kWh/(m²a)   | Strom - Mix                                               | -                        | kWh/(m²a)   | kg/(kWh)                    | kg/(m²a)                      |
|                                                                      | 90          |                                                           | 3                        | 270         | 0,6                         | 162                           |
| Summe                                                                |             |                                                           |                          |             | 191,7                       |                               |
| potentielle Gesamtreduzierung im ganzen Land                         |             |                                                           |                          |             |                             |                               |
| durchschnittliche CO <sub>2</sub> – Reduzierung (Damaskus, Lattakia) |             | voraussichtliche klimatisierte Gesamtwohnfläche in Syrien |                          |             | jährliche Gesamtreduzierung |                               |
| kg/(m²a)                                                             |             | 10 <sup>6</sup> m²                                        |                          |             | 10 <sup>9</sup> kg/a        |                               |
| 205,38                                                               |             | 90                                                        |                          |             | 18,4842                     |                               |

## 8.4 Weitere integrale Verbesserungsmaßnahmen

### 8.4.0 Allgemeines

Neben den konstruktiven Vorkehrungen zur Reduzierung des Energiebedarfs der Gebäude und zur Verbesserung des Raumklimas stehen verschiedene weitere Möglichkeiten aus architektonischen und technischen Perspektiven bei der Planung zur Verfügung, welche dieses Ziel weiter unterstützen können. Grundsätzlich sollen die drei Achsen (Bauphysik, Architektur, Technik) integral genutzt werden, so dass ein energetisch optimiertes Gebäude geschaffen wird. Als Hauptplanungsstrategie sollen die Wärmeverluste im Winter und die Wärmelast im Sommer so weit wie möglich reduziert, sowie die passive Energie genutzt werden. Weiterhin wird der restliche Energiebedarf durch aktive erneuerbare Energien (mechanisch) gedeckt.

### 8.4.1 Architektonische Maßnahmen

**Orientierung und die Ausrichtung der Gebäude:** Diese Faktoren können eine wichtige Rolle sogar für die winterliche passive Solarnutzung als auch für den sommerlichen Wärmeschutz spielen. In der Abbildung 20 sind die Raumtemperaturverläufe von süd-, nord- und westorientierten Schlafzimmern für die Monate Dezember und Juni im Beispiel Damaskus gegenübergestellt. Die verglichenen Zimmer haben relativ gleiche Größen. Abgesehen von Belegungszeiten ist zu erkennen, dass die südliche Orientierung eines Gebäudes in dieser Stadt als optimal zu betrachten ist. Im Winter, wenn die Sonne in einem tiefen Winkel einstrahlt (bis  $32,5^\circ$  um 12.00 Uhr im Dezember), empfängt das südliche Zimmer im Laufe des Tages eindeutig mehr Sonnenenergie gegenüber dem nördlichen bzw. westlichen Zimmer (s. Abb 20, a). Dagegen empfängt es geringere Solarenergie im Sommer, bei dem die Sonne sehr hoch einstrahlt (bis  $79,9^\circ$  um 12.00 Uhr im Juni). Deswegen zeigt es keinen wesentlichen Unterschied zum nördlichen Zimmer (die günstigste Ausrichtung im Sommer), während die westliche Richtung für diesen Fall deutlich ungünstig erscheint (s. Abb. 20, b). Darauf aufbauend haben die Berechnungsergebnisse des Energiebedarfs (s. Tab. 13) gezeigt, dass der Energiebedarf für eine südorientierte Wohnung bis 1200 kWh in Damaskus und bis 700 kWh in Lattakia gegenüber einer nordorientierten Wohnung im Winter geringer ausfallen kann, während sich dieser Unterschied im Sommer deutlich kleiner ist.

**Zimmerverteilung:** Bei Planung der Wohnung sollte berücksichtigt werden, dass die Zimmer, die eine vergleichsweise niedrige Raumtemperatur erfordern (z.B. Schlafzimmer und Bäder), nach Norden ausgerichtet werden. Dagegen ist die Südseite für

das Wohnzimmer, in dem die Bewohner die meiste Zeit verbringen, als optimale Seite anzusehen.

**Optimale Nutzung des Balkons:** Neben seiner in Syrien wichtigen sozialen Funktion kann ein Balkon an der südlichen Seite zur Ergänzung des sommerlichen Wärmeschutzes optimal genutzt werden ohne den winterlichen passiven Wärmegewinn zu beeinträchtigen.

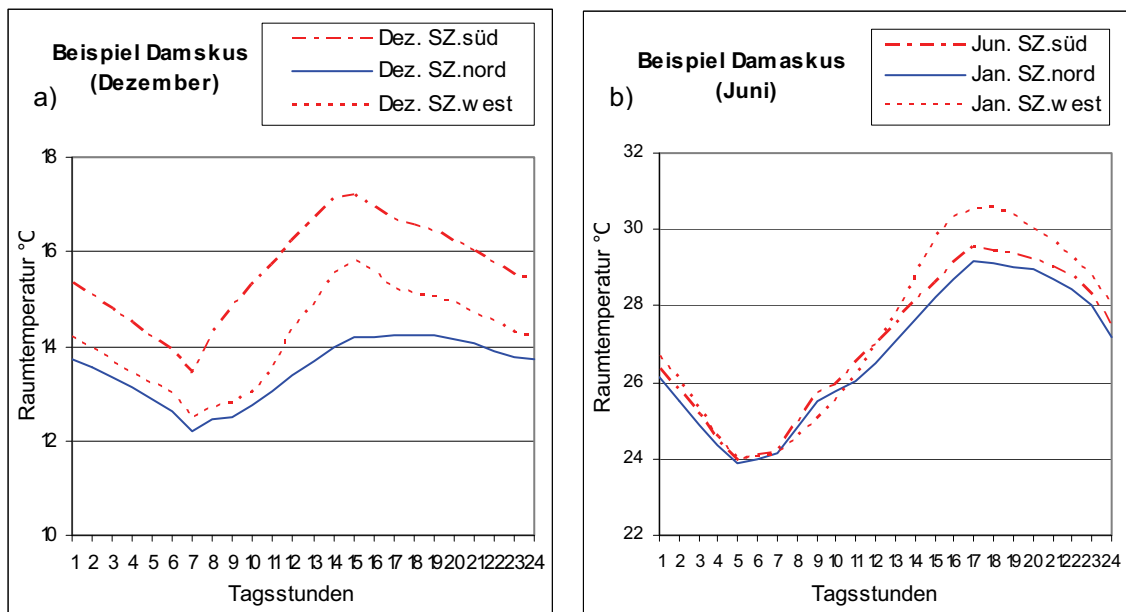


Abbildung 20: Einfluss der Orientierung auf das Raumklima. Beispiel Damaskus, Temperaturverlauf für süd-, nord- und westorientierte Schlafzimmer im Dezember und Juni.

Beispielsweise zeigt die Abbildung A8-6, dass ein Balkonüberstand von 0,7 m an der südlichen Seite der Wohnung optimal für syrische Bedingungen sein kann. In Anlehnung an das Sonnenstanddiagramm (s. Abb A7-6) ist die Solarstrahlung dabei im Juli von 11.40 Uhr bis 12.20 Uhr von der Fassade vollkommen abgeschirmt, während sie von 10.30 Uhr bis 01.30 Uhr (bei Sonnenhöhe  $\alpha = 65^\circ$ ) total außen bleibt. Für Juni sind längere Abschirmzeiten zu erwarten, bei dem die Sonne ihre maximale Höhe erreicht. Mit diesem Ansatz wird die passive Solarnutzung in der Heizperiode in keinen Fall beeinträchtigt. Dies zeigt, dass südorientierte Fenster hohe passive Solargewinne gewährleisten können und einfach zu beschatten sind. Ein Balkon an der westlichen bzw. östlichen Fassade ist für die Verschattung nicht sinnvoll, weil die Sonne zu tief einstrahlt. An diesen Seiten und für die Zeiten, in denen die Sonne na-

türlich in der Kühlperiode in den Raum einstrahlt, sind die Sonnenschutzvorrichtungen (z.B. Fensterläden) wirksam anzuwenden.

**Fensterflächenanteile:** Da die Fenster eine sensible Stelle einerseits für die Wärmeverluste mit deren typischen großen U-Wert und andererseits für den Solargewinn sowie die Tageslichtsnutzung darstellen, müssen sie optimal platziert, dimensioniert und konstruktiv ausgebildet werden. Nach Untersuchungen von HALBOUNI (1978) ist in Syrien ein Verhältnis der Fensterfläche zur Fußbodenfläche von 1:6 bis 1:8 an der südlichen Seite als optimal anzusehen. An der nördlichen Seite sollten die Fenster mit einem kleineren Verhältnis ausgebildet werden.

**Günstiges A/V-Verhältnis:** Der Quotient aus der wärmeübertragenden Umfassungsfläche zum beheizten Gebäudevolumen kann die Transmissionswärmeverluste bzw. die Menge der erforderlichen Dämmung verringern. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto kompakter ist der Baukörper. Deshalb ist es wichtig, nutzlose Vorsprünge und Auskragungen (z.B. Balkone an den Nord-, West und Ostseiten, hervorgehende Stürzen, wenig zweckmäßige, d.h. ausschließlich gestalterische Bauteile etc.) so weit wie möglich zu vermeiden. Darüber hinaus sollen weitgehend die Systeme des Geschosswohnungsbaus genutzt werden, mit denen kompakte Baukörper geschaffen werden können. Nach FEIST (1998) kann das effektive A/V-Verhältnis für diese Bausysteme normalerweise zwischen 0,25 und 0,5 m<sup>1</sup> liegen (s. Abb A8-7).

#### **8.4.2 Technische Maßnahmen**

**Heizkesselmodernisierung:** Als eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs ist Ersatz der Konstanttemperaturheizkessels, die überwiegend in Syrien eingesetzt sind, durch innovative Haustechnik (Niedrigtemperaturkessel bzw. Brennwertkessel) zu bewerten. Nach DIN V 4701-10 ist der Heizenergieverbrauch mit einem Niedrigtemperaturkessel um 16 bis 19 % und mit dem Brennwertkessel um 22 bis 28 % zu reduzierbar. Als weitere Verbesserung des Heizungssystems sollte die Heiztemperatur der Heizkörper durch Ventile regelbar sein, was einen wesentlichen Energieverlust vermeiden kann.

**Nutzung der Solarkollektoren:** Die Sonne als erneuerbare Energiequelle sollte nicht nur passiv (Absorption durch die Bausubstanz), sondern auch aktiv (technisch) durch Solarkollektoren genutzt werden. Für ein Land wie Syrien, bei dem der jährliche Gesamtsolarstrahlung mehr als 2000 kW/m<sup>2</sup> betragen kann, ist die Nutzung dieser Energie von großer Bedeutung. Obwohl diese Anlagen heutzutage auch in Syrien hergestellt werden, sind sie von der einheimischen Bevölkerung bisher aus finanziel-

len Gründen und wegen des Mangels an Kenntnissen über deren Vorteile selten angewendet worden. ZEN und HENDI (2006) liefern in der Tabelle A8-2 technische Daten über die syrische Produktpalette von Kollektoren, welche deutlich zeigen, dass unter den syrischen Rahmenbedingungen durch diese Technologie bis zu 2800 kWh/a Energie in einer Stadt wie Damaskus erzeugt werden können. Mit einer solchen Energiemenge können rund 44 % des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung gedeckt werden.

**Wärmepumpen, Lüftungsanlagen mit Erdwärmetauchern und Solarzellen:** Diese Systeme können optimale Lösungen für eine wirksame kombinierte Nutzung der erneuerbaren Energien in Gebäuden darstellen, wobei sie an sehr aufwendige Investitionen gebunden bleiben. Spezielle Forschungen sind erforderlich, um die Anwendbarkeit solcher Anlage in den verschiedenen Regionen Syriens zu bestimmen, was im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist. Die Abbildungen A8-8 bis A8-10 bieten einen Überblick über den Einsatz der oben genannten Anlagen. Weiterhin kann die Verwendung von Energiespar-Lampen und -Haushaltsgeräten zu einer energetisch optimierten Planung und Nutzung von Gebäuden führen. Die Bewertung dieser technischen Lösungen erfolgt hauptsächlich nach DIN V 4701–10 und DIN V 18559-4 sowie -7.

## 8.5 Schlussfolgerungen

In den syrischen Wohngebäuden herrscht generell ein unbehagliches Raumklima sowohl im Sommer als auch im Winter. Die Hauptheizperiode kann sich bis zu sechs Monaten in der Binnenregion und bis zu vier Monaten in der Küstenregion erstrecken. Während dessen beträgt die Hauptkühlperiode allgemein vier Monate (heiß und trocken in der Binnenregion bzw. heiß und feucht in der Küstenregion). Das kann einen Heiz- und Kühlenergiebedarf von über 340 kWh/(m<sup>2</sup>a) in der Binnenregion und über 240 kWh/(m<sup>2</sup>a) in Küstenregion erfordern, um das Raumklima dauerhaft im behaglichen Bereich zu halten. Mit einem solchen Energiebedarf überschreiten die syrischen Häuser den Heizenergiebedarf des Gebäudebestandes in Deutschland deutlich. Dies lässt sich grundsätzlich auf die folgenden baulichen Ursachen zurückführen:

- Die verwendeten einfachen Bauteile (monolithische Baukonstruktionen aus Beton und einfache Einscheibenfenster), welche einen großen U-Wert (über 2,5 W/(m<sup>2</sup>K) für Dächer bzw. Außenwände und über 5,8 W/(m<sup>2</sup>K) für Fenster) auf-

weisen. Dies verursacht große winterliche Transmissionswärmeverluste bzw. sommerliche Transmissionswärmelasten über die Bauteile.

- Die verwendeten Baukonstruktionen (Skelettbausysteme aus Stahlbeton mit U-Wert von  $2,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) stellen riesige Wärmebrücken dar, welche zusätzliche Energieverluste bzw. Energielasten bewirken.
- Es gibt in Syrien keine besondere Abdichtungsmaßnahmen für Fenster, die die Dichtheit über einen Wert  $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$  hinaus erhöhen könnten.
- Weiterhin entsteht eine zusätzliche Wärmelast im Sommer, falls keine besonderen sommerlichen Wärmeschutzmaßnahmen getroffen werden.

Durch bestimmte konstruktive thermische Verbesserungsmaßnahmen kann der erwähnte Energiebedarf bis um ca. 75 % reduziert werden. Bei der Erfüllung dieses Standards (unter  $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ) können die Gebäude als Niedrigenergiehäuser betrachtet werden. Dabei würde die Heizperiode auf vier Monate in der Binnenregion und auf drei Monate in der Küstenregion verringert, während der Kühlaufwand extrem reduziert werden könnte. Eine problematische Rahmenbedingung bleibt die hohe relative Luftfeuchte in den Wohnräumen für die Monate Juli und August in Lattakia, die trotz der thermischen Verbesserung und dem verringertem Energiebedarf noch etwas ansteigt. Gleichwohl verbessert sich auch das Verhältnis der Behaglichkeitsparameter (Raumtemperatur, reaktive Raumlufteuchte, Außenoberflächentemperatur) im Raum effektiv. Im Winter steigen die Raumtemperatur und die Oberflächentemperatur und die relative Feuchte sinkt. Im Sommer tritt das im Gegenteil ein, was für ein trockenes heißes Klima (wie in der Binnenregion) als optimal zu betrachten ist. Diese Maßnahmen bestehen in Folgendem:

- Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten der monologischen Bauteile auf rund  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{a})$ . Dies kann durch die Anwendung eines Dämmsystems (WDVS) für Außenwände und eines unbelüfteten Dämmsystems für die Dächer mit einer äußeren Dämmschicht aus Styropor in der Stärke von 5 cm realisiert werden ( $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ ). In Folge dessen wird die der Wärmetransmission durch diese Bauteile bis um 80 % reduziert.
- Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Fenster auf rund  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  durch Ersatz der einfachen Fenster mit Isolierverglasfenstern (Doppelscheiben).
- Reduzierung der Wärmebrücken bis 90 % durch bestimmte konstruktive Maßnahmen an Detailpunkten.

- Reduzierung der Solarlast um mehr als die Hälfte durch Nutzung von Fensterläden.

Weiterhin kann die energetische Verbesserung durch Gewährleistung der nächtlichen Querlüftung regional in einer maximalen Größenordnung von 80 % erhöht werden.

Durch die Untersuchung hat es festgestellt, dass die Wärmedämmung sowohl für den winterlichen Wärmeschutz (Wirkungsanteil bis 52 % der Heizenergieerduzierung) als auch für den sommerlichen Wärmeschutz (Wirkungsanteil bis 45 % der Kühlernergieerduzierung) effektiv ist.

Die vorgeschlagenen konstruktiven Maßnahmen haben sich als ökonomisch sinnvolle Lösungen erwiesen. Eine Stärke der Dämmschicht von 3 bis 5 cm kann eine günstige konstruktive Maßnahme unter den volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen Syriens darstellen. Die Investitionskosten, die zur Ausführung dieser Maßnahmen erforderlich sind, sind in ca. vier bis neuen Jahren durch die jährliche Energiekosteneinsparung zu amortisieren. Darüber hinaus kann die erwähnte energetische Verbesserung als ökologisches Konzept durchschnittlich CO<sub>2</sub>-Emission von 200 kg/m<sup>2</sup>(Wohnfläche).a reduzieren, was eine erhebliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission des ganzen Landes darstellen kann.

Schließlich können die konstruktiven Verbesserungen durch weitere architektonische und technische Maßnahmen unterstützt werden, welche mit der optimalen Nutzung der erneuerbaren Energien auch einen wesentlichen Teil des zur Klimatisierung erforderlichen weiteren Energiebedarfes, der Warmwasserbereitung und des Haushaltsstroms, decken können.

## 9. Untersuchung des hygrischen Verhaltens der in Syrien verwendeten Bauteile hinsichtlich der Schimmelpilzbildung

### 9.1 Untersuchung der Tauwassergefahr mit HEAT 2

Die Wärmebrücken können im Winter als kalte Stellen an der Innenseite von Außenbauteilen nicht nur die Wärmeverluste erhöhen, sondern auch zur Tauwasserbildung an diesen Stellen führen, wodurch das Schimmelpilzwachstum eine Folge sein kann. Bei einer stationären Untersuchung der Ecke einer ungedämmten Wand von 18,5 cm Dicke und eines ungedämmten Stahlsteindachanschlusses mit HEAT 2 für extreme Rahmenbedingungen (Winterfall mit Raumtemperatur 20 °C, Außentemperatur 0 °C und Raumfeuchte 50 %), weist die Berechnung auf eine Tauwassergefahr hin. Wie die Abbildung 21 verdeutlicht, beträgt die Temperatur am Innenanschluss der Wand-ecke 10,4 °C (s. Abb. 21, a), welche nach Mollièr-Diagramm (s. Abb. A9-1) nahe der Taupunktstemperatur (9,3 °C) liegt.

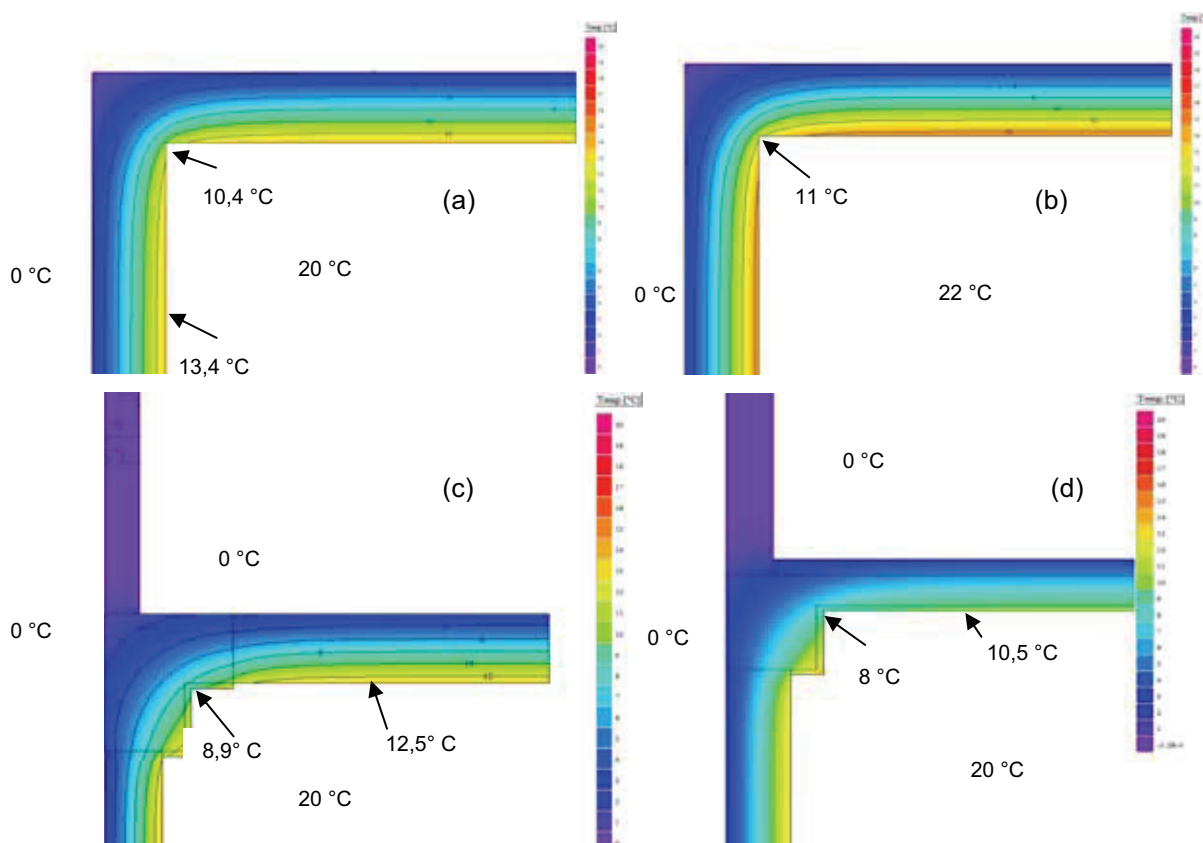


Abbildung 21: Tauwasserbildung an lokalen Wärmebrücken (Wand-ecke und Stahlstein bzw. Stahlbetonplattendaschluß mit einer Attika) bei maximaler Winterkälte.



Bei Erhöhung der Raumtemperatur auf 22 °C (s. Abb. 21, b), was typisch für ein Wohnzimmer ist, erreicht die Oberflächentemperatur an dieser Stelle den Taupunkt (11,1 °C). Für den Dachanschluss einer Stahlsteinplatte (s. Abb. 21, c) bzw. einer Stahlbetonplatte (s. Abb. 21, d) mit einer Attika ist die Taupunkttemperatur (9,3 °C) für eine Raumtemperatur von 20 °C zu unterschreiten. Es zeigt sich auch, dass Tauwasser an den Oberflächen der ungestörten Bauteile bei stationärer Berechnung nicht zu erwarten ist. Für ein mäßiges Klima wie in Lattakia ist diese Erscheinung vollkommen ausgeschlossen.

## **9.2 Untersuchungen des hygrischen Verhaltens der Bauteile mit WUFI**

### **9.2.0 Berechnungsvoraussetzungen**

Die Simulation wurde für die Außenwand- und Dachkonstruktionen von Gebäuden mit der Höhe von 10 bis 20 m (typisches Wohngebäude) durchgeführt, welche besonders der Witterung in freier Lage ausgesetzt sind. Im Beispiel Lattakia wird die nach West (Regenseite) orientierte Wandkonstruktion untersucht, wobei der Wind vom Mittelmeer aus Westen im Vergleich zu den anderen Seiten häufiger und intensiver weht. Für Damaskus ist die Nordseite (geringe Besonnung) ausgewählt worden. Das Außenklima leitet sich aus den bereits benutzten Test-Referenz-Jahr (TRY) ab. Für das Innenklima ist das durch das Programm BSIM berechnete Raumklima (einschließlich der natürlichen Lüftung) in Lattakia bzw. in Damaskus für die instationären Innenrandbedingungen benutzt worden. Die Bauteile wurden dabei ohne und mit Klimatisierung untersucht. Dieser Unterschied geht von der Tatsache aus, dass ein in Syrien beträchtlicher Teil der Einwohner aus wirtschaftlichen Gründen total auf das Klimakühlgerät bzw. die Heizung verzichtet und nur mit freistehenden Ventilatoren im Sommer bzw. dezentralem Ölofen im Winter auskommen muss. Falls ein Klimakühlgerät vorhanden ist, beschränkt sich seiner Betrieb meistens auf ein paar Stunden (Spitzenzeiten) und nur auf eine kleine Fläche der Wohnung (ein Raum bzw. zwei Räume).

Die im Stein der Außenwände vorhandenen Luftkammern und der Bindungsmörtel zwischen den Steinen haben ebenso wie beim Wärmetransport einen Einfluss auf den Feuchtetransport. Das muss bei der Berechnung der Außenfassade und der Stahlsteindecke berücksichtigt werden. In Anbetracht der eindimensionalen Rechnung sind verschiedene Schnitte in den untersuchten Bauteilen durchgeführt worden, welche die potentiellen internen Wassertransportbahnen so weit wie möglich ein-

schließen. Die Bauteile und deren Schnitte sind in der Abbildung A9-2 (A und B für Bauteile sowie a bis f für Schnitte) dargestellt. Die Dachkonstruktion als Stahlsteinplatte wurde durch zwei Schnitte (a und b) gebildet. Hier sind die in die vertikale Richtung einzige Luftkammer des Steins (14 cm Dicke) und die Stahlbetonstreifen zwischen den Steinen in Betracht gezogen worden. Erwähnenswert gilt der Schnitt a für eine Stahlsteinplatte (Schnitt durch Stahlbeton) und eine Stahlbetonplatte jedoch mit unterschiedlichen Dicken. Die 5 cm Neigung des schwimmenderen Zementestrichs (zur Entwässerung) ist auch berücksichtigt.

Die eindimensionalen potentiellen Strecken des Feuchtransportes durch die Wand mit 18,5 cm Dicke sind mit vier Schnitten (c bis f) dargestellt worden. Das betrifft den Wassertransport durch den Mörtel zwischen den Steinen, durch die seitlichen Stege des Steins, wo sich normalerweise keine Luftkammern befinden, sowie den Wassertransport durch eine bzw. zwei Luftkammern. Für die Wand mit 23,5 cm Dicke ist die Berechnung ähnlich durchgeführt worden, unter der Maßgabe, dass der Stein mit 20 cm Dicke drei Reihen von Luftkammern enthält. Erwähnenswert ist, dass der Zementputz im Beispiel Damaskus durch Kalkzementputz ersetzt worden ist, ansonsten wurden die Bauschichten gleich belassen.

Nach Ergänzung der erforderlichen Ausgangsdaten (Oberflächenübergangskoeffizienten, Anfangsbedingungen, Rechenzeit etc.) konnte die Berechnung gestartet werden. Als Anfangsbedingungen wurde die Anfangstemperatur 20 °C angesetzt, unter Berücksichtigung dass bereits nach wenigen Stunden kein Unterschied durch unterschiedliche Anfangstemperaturen mehr festgestellt werden konnte. Für den Anfangswassergehalt ist der Wassergehalt bei der Ausgleichfeuchte von 80 % gewählt worden. Die Rechenzeit ist auf 3 Jahre eingestellt worden, so dass signifikante Ergebnisse erhalten werden.

WUFI bietet die Möglichkeit, den Wassergehalt sowohl im gesamten Bauteil als auch in den einzelnen Schichten bzw. an Grenzen der Schichten zu berechnen. Außerdem ist es auch zu bestimmen, ob die Gefahr von Tauwasserbildung und eine Wahrscheinlichkeit vom Schimmelpilzwachstum an bzw. in den Schichten bestehen. Die erwähnten Möglichkeiten gestatten, das hygrische Verhalten der untersuchten Bauteile unter den betrachteten Randbedingungen effektiv zu bewerten.

### **9.2.1 Tauwasserbildung an den ungestörten Bauteilen**

Die Berechnungen der Tauwasserbildung an den Innenoberflächen zeigen, dass sie mit den in 9.1 dargestellten Ergebnissen übereinstimmen. Sie wurden hier instationär

für den kältesten Monat (Januar im Beispiel Damaskus) und nur für die im thermischen Sinne schlechtesten Konstruktionen (Schnitt a und e) durchgeführt. Die Abbildung 22 zeigt, dass kein Risiko für Tauwasserbildung an diesen ungestörten Konstruktionen besteht. Die Tautemperatur bleibt im Winter deutlich unterhalb der Oberflächentemperatur. Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit der Stahlbeton-Konstruktion ( $\lambda = 2,1 \text{ W/(mK)}$ ) hat sich eine Annäherung zwischen der Oberflächentemperatur und der Taupunkttemperatur für die Stahlbetonplatte deutlicher als beim Wandquerschnitt gezeigt.

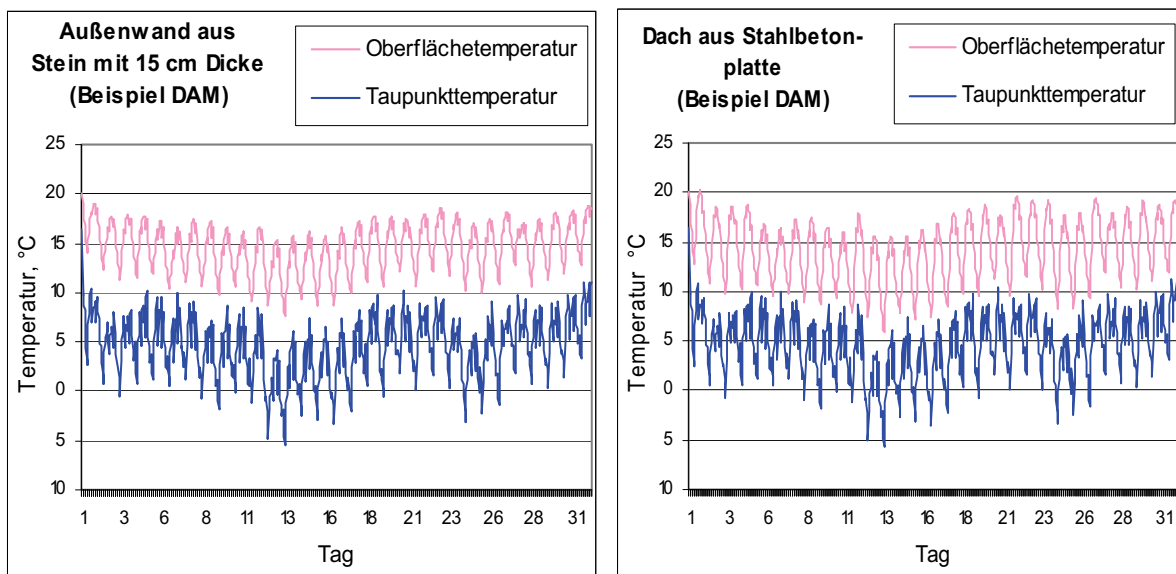


Abbildung 22: Innenoberflächentemperatur gegenüber der Taupunkttemperatur für die Außenwand aus Stein mit 15 cm Dicke (links) bzw. für das Dach aus einer Stahlbetonplatte (rechts), (Beispiel Damaskus im Januar).

### 9.2.2 Beurteilung der Bauteile anhand des Wassergehaltes

In der Baubiologie ist als Maß für die Verfügbarkeit der Baustofffeuchte für biologisches Wachstum die Wasseraktivität bzw. der  $a_w$ -Wert [-] üblich, der nach SEDLBAUER und KRUS (2002) mit der relativen Feuchte  $\phi$  [%] im Baustoff bzw. an dessen Oberfläche identisch ist ( $\phi = a_w \cdot 100$ ). Im Folgenden wird stets die relative Feuchte als Bewertungsfaktor verwendet. Auf Basis der Sorptionsisothermen (s. 4.2.2) steht diese relative Feuchte im Zusammenhang mit dem Wassergehalt des Bauteils. Optimale Wachstumsbedingungen der Pilze finden sich immer dann, wenn es zu Tauwasserbildung auf oder im Material kommt. Nach DIN 4108-2 ist die Tauwasserbildung für das Schimmelpilzwachstum bzw. für die Auskeimung der Schimmelpilzsporen an den Oberflächen nicht erforderlich. Dabei wird als Wachstumsvoraussetzung für Schimmelpilze temperaturunabhängig eine relative Feuchte von 80 % an

der Oberfläche angenommen. Weiterhin haben Laborexperimente von GERTIS, ERHORN und REISS (1999), sowie Forschungen von SEDLBAUER (2001) und von UBA (2005) gezeigt, dass die Schimmelpilzbildung bei relativer Feuchte ab 70 % an den Innenoberflächen des Bauteils auftreten kann. Manche trockenheitstoleranten Pilze (xerophile) begnügen sich zwar schon mit einer relativen Feuchte von 65 %, aber nach ZILLIG (2001) treten sie nicht in Gebäuden auf. Mit zunehmendem Feuchtegehalt steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Schimmelpilzwachstum auftritt. Bei 80 % relativer Feuchte sind die Wachstumsbedingungen für fast alle Schimmelpilzarten erreicht. Bei höherer Feuchte kommen nur noch wenige Spezies hinzu; diese streben ihren Optimalbereich bei 90 % bis 96 % an. Ferner kann davon ausgegangen werden, dass nur wenige Schimmelpilze unmittelbar im Wasser(-bad) ausreichende Lebensbedingungen finden. Die aus NORTHOLT (1995) entnommene Tabelle A9-1 zeigt die erforderliche minimale Wasseraktivität, den  $a_w$ -Wert, bzw. die minimale relative Feuchte für das Wachstum unterschiedlicher Schimmelpilze.

In WUFI soll die erste Bewertung der Ergebnisse anhand des Gesamtwassergehalts in der Konstruktion erfolgen. Dieser zeigt an, ob eine Feuchtezunahme oder -abnahme im Bauteil während des betrachteten Zeitraums von Jahr zu Jahr stattfindet. Die Abbildung (23, a) zeigt den Verlauf des Gesamtwassergehalts in den untersuchten Schnitten (A9 -2, a und b) von Dachkonstruktionen im Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung. Es ist deutlich erkennbar, dass keine permanente Feuchteakkumulation stattfindet und sowohl die Stahlbetonplatte als auch die Stahlsteinplatte mit 14 cm Hohlblockstein im Jahresverlauf austrocknen. Bei der Untersuchung des Wassergehalts im Innenzementputz des Stahlbetondachs wurde festgestellt, dass er über den ganzen Rechenzeitraum den Grenzwassergehalt  $w_{70 \%} = 52 \text{ kg/m}^3$ , ab dem die Schimmelpilzbildung auftreten kann, nicht deutlich überschritten hat (s. Abb. 23, b).

Es kann festgestellt werden, dass die in Syrien verwendeten Dachkonstruktionen vor Feuchte stabil sind. Dies ist hauptsächlich auf den kleinen Wert des Wasseraufnahmekoeffizienten von Beton mit einem  $W_w$ -Wert  $= 0,6 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5}) < 2$  (nach DIN 4108-3 wasserhemmend) und auf seinen hohen  $\mu$ -Wert von 248 [-] (diffusionsdicht) zurückzuführen. Weiterhin spielt die starke horizontale Besonnung besonders im Sommer dabei eine wichtige Rolle.

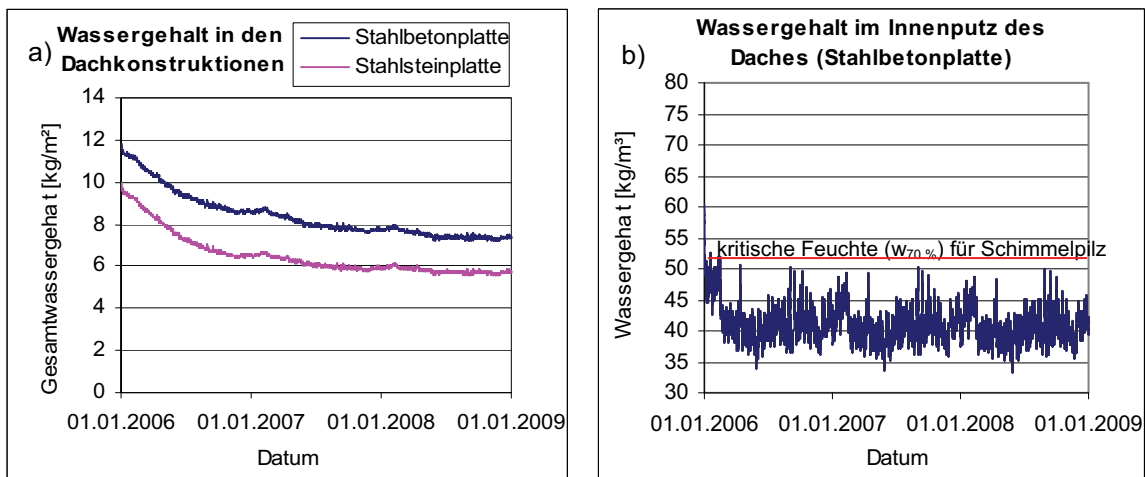


Abbildung 23: Gesamtwassergehalt in den simulierten Dachkonstruktionen (Stahlbetonplatte und Stahlsteinplatte mit Hohlblockstein 14 cm) und der Wassergehalt im Innenputz der Stahlbetonplatte, (Beispiel Lattakia).

Für die durch Schnitte c bis f dargestellte Wandkonstruktion befindet sich der Gesamtwassergehalt immer in einem eingepegelten Zustand (s. Abb. 24, a bis d), was keine klare Aussage über den hygrischen Zustand in dieser Konstruktion bieten kann. In diesem Fall muss die Bewertung mit der Betrachtung der Wassergehalte in den einzelnen Materialschichten fortfahren. Da die untersuchte Konstruktion aus mineralischen Baustoffen besteht, hat sich die Bewertung auf den Wassergehalt der Innenschicht (Innenputz) beschränkt, weil sie für die Schimmelpilzwachstumsgefahr von Bedeutung ist.

Die Rechenergebnisse des in der Innenschicht vorhandenen Wassergehalts der Außenwandkonstruktion mit 18,5 cm bzw. 23,5 cm Dicke sind in der Abbildung 25 zusammengefasst dargestellt. Wie die Abbildung 25 zeigt, liegt der Wassergehalt fast für alle Schnitte der Konstruktion mit 18,5 cm Stärke sowohl im Winter als auch im Sommer über den kritischen Grenzwerten (über 52 kg/m³ bzw. über 70 % relative Feuchte). Während er mit dem Wert 88 % relativer Feuchte in der Regenzeit Spitze beim Schnitt durch den Praxisstein mit 15 cm Dicke den nach DIN 4108 gegebenen Grenzwert 60 kg/m³ bzw. 80 % relative Feuchte überschreitet (s. Abb. 25, a). Ein Ausnahmefall war der Wassergehalt des Schnitts durch zwei bzw. drei Luftkammern (s. Abb. 25, c), der die kritische Grenze nicht überschritten hat. Die Begründung dieser Ergebnisse wird im Folgenden erläutert.

Der Außenputz ist mit einem Wasseraufnahmekoeffizient  $W_w$ -Wert von 3 kg/(m²h<sup>0,5</sup>) als wassersaugend zu betrachten, der den Schlagregen im Regenzeitraum fast bis zur freien Sättigung ( $w_f = 238 \text{ kg/m}^3$ ) aufsaugen kann.

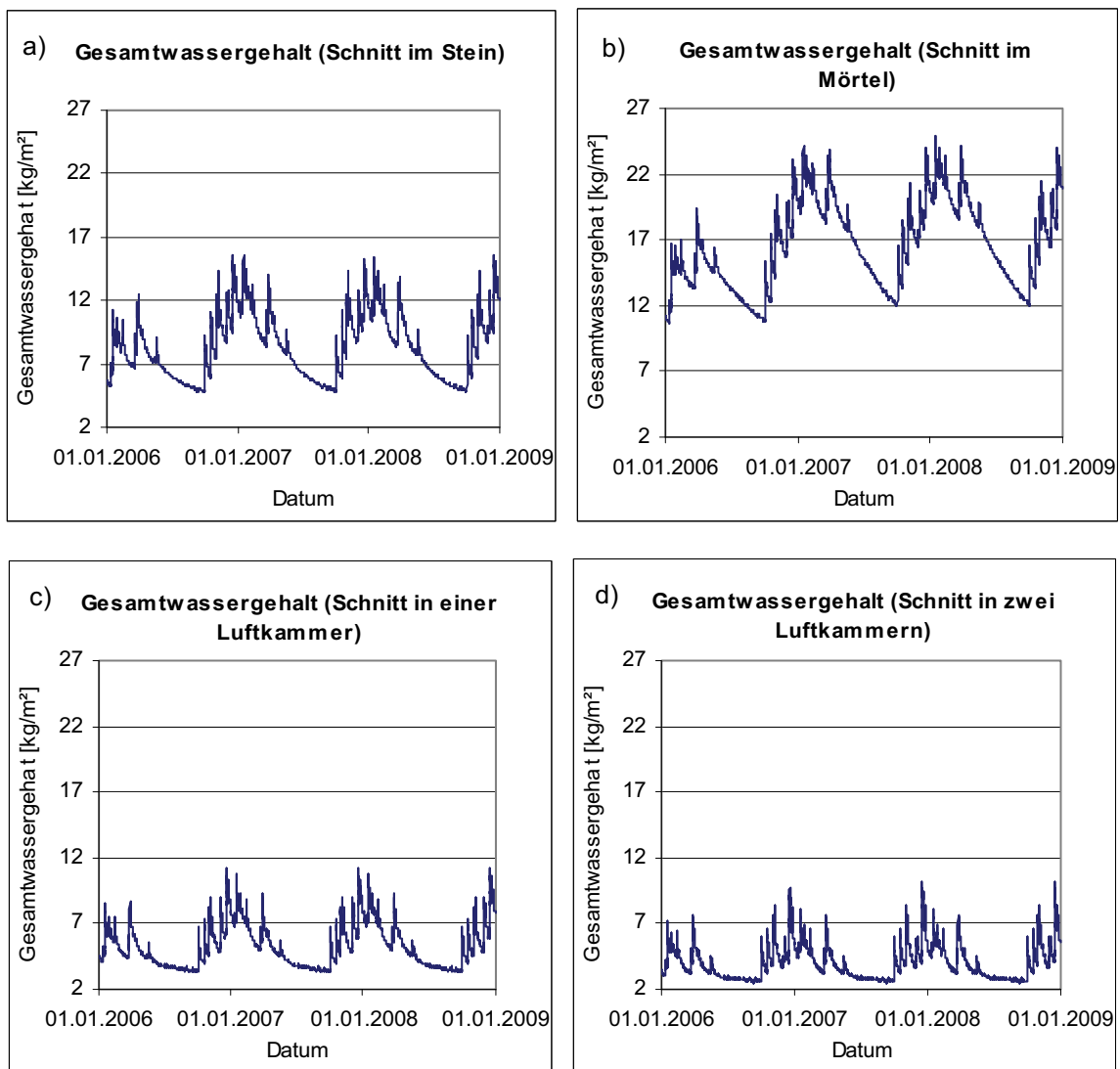


Abbildung 24: Gesamtwassergehalt der Bauteil-Querschnitte: Im Praxisstein mit 15 cm Dicke (a), im Mörtel (b), in einer Luftkammer (c) und in zwei Luftkammern (d), (Beispiel Lattakia).

Durch den Kapillarleitungsmechanismus wird das aufgesaugte Wasser von der befeuchteten Seite zur trocknen Seite bzw. von außen nach innen hin transportiert. Der große Wasseraufnahmekoeffizient des Steins gegenüber dem Mörtel kann begründen, dass der im Innenputz enthaltene Wassergehalt für den Schnitt im Stein (s. Abb. 25, a) größer als für den Schnitt im Mörtel ausfällt (s. Abb. 25, b). Wegen der niedrigen Außen- und Raumtemperatur (ohne Klimatisierung) und dem großen  $\mu$ -Wert des Innenputzes wird der Prozess der Desorption verhindert. Dies kann die Austrocknung verschlechtern und den Wassergehalt über der kritischen Grenze halten. Im Sommer sollte die gesamte Wand wegen der intensiven Solarstrahlung und der hohen Temperatur stark austrocknen. Allerdings war das wegen bei den speziellen Klimabedin-

gungen in Lattakia (hohe relative Feuchte) nicht der Fall, wo die hohe sommerliche Feuchte und die großen Wasserdampf Widerstände der Putze keine effektive Verdunstung erlauben.

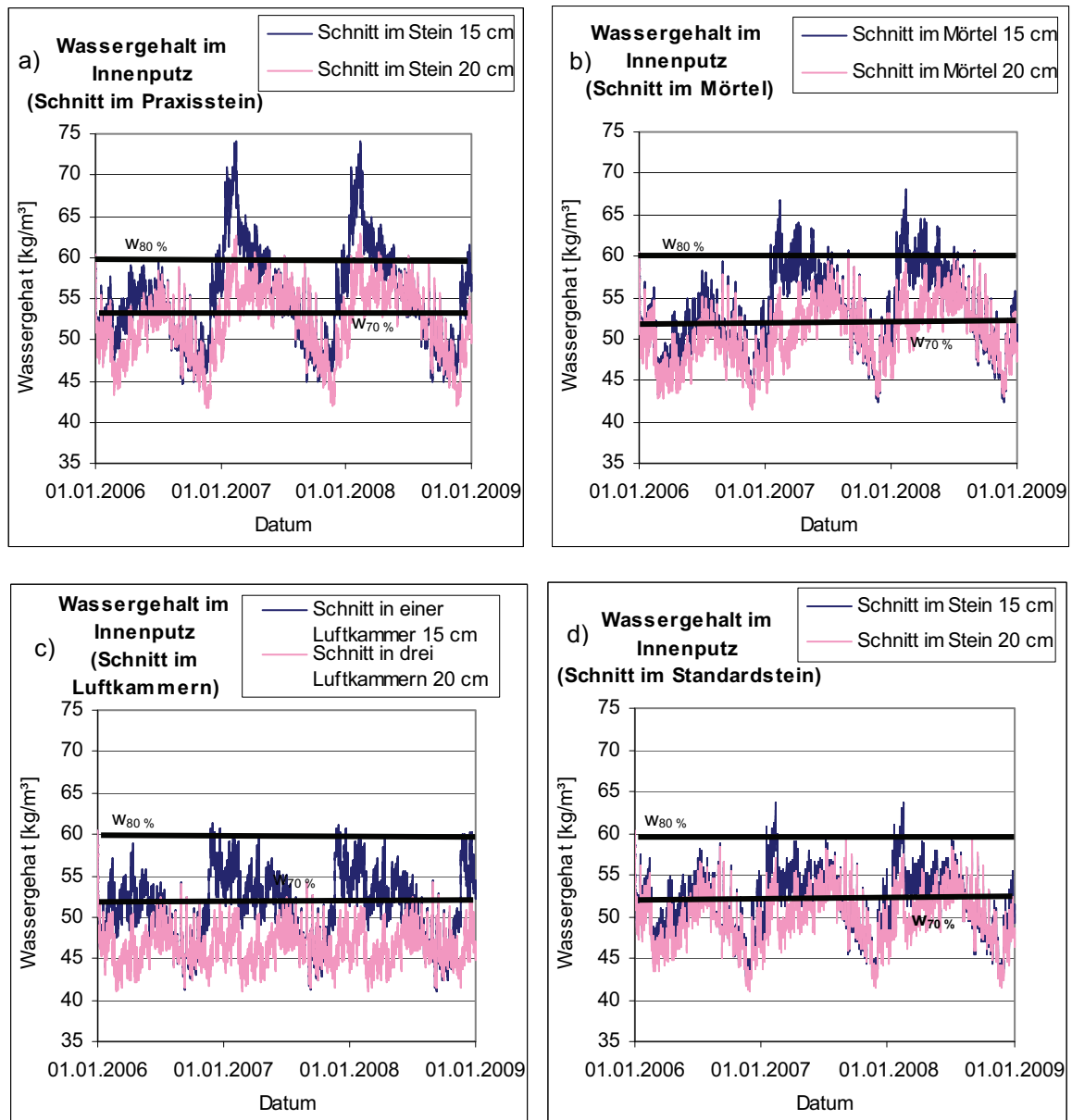


Abbildung 25: Wassergehalt im Innenputz der Wandkonstruktionen mit 18,5 cm bzw. 23,5 cm Dicke, entsprechend der durchgeführten Schnittebenen, (Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung).

In Folge dessen bleibt der Wassergehalt des Innenputzes sogar im Sommer über seiner zulässigen Grenze. Vor Beginn der Regenzeit (Ende November) erreicht der Wassergehalt (für den Schnitt im Stein von 20 cm Dicke) seinen niedrigsten Wert (43 kg/m³ bzw. 58 % relative Feuchte), mit dem er unter den herrschenden Klimabedin-

gungen und wegen der schlechten hygrischen Materialeigenschaften in den kritischen Bereich im Winter leicht zurückkehren kann.

Das niedrige Niveau des Innenputzwassergehalts in den Schnitten durch die Luftkammern (s. Abb. 25, c) im Vergleich zu den Schnitten im Mörtel bzw. im Stein kann darauf zurückgeführt werden, dass die bestehenden Luftkammern den Feuchtetransport durch den Stein unterbinden und einen kleinen Teil der Feuchte auch speichern können. Die in den Luftkammern gesammelte Feuchte (Wasser oder Wasserdampf) findet einen weiteren Übergangswiderstand, bis sie sich über die Innenoberfläche der Kammer weiter verteilen kann. Dies verringert einerseits den in der Innenschicht gesammelten Wassergehalt, verzögert aber andererseits die Austrocknung des Wassergehalts im gesamten Bauteil. Die Verstärkung der Wanddicke durch Benutzung eines Steins mit 20 cm Dicke hat eine relative Verbesserung erbracht, dennoch liegt der Wassergehalt noch eindeutig besonders für die Schnitte im Stein bzw. im Mörtel über seiner zulässigen Grenze. Ein Ersatz des Praxissteins durch den genormten Stein (Standardstein) hat aufgrund des besseren  $W_w$ -Werts den hygrischen Zustand der Innenschicht gegenüber dem Üblichenstein deutlich verbessert (s. Abb. 25, d). Trotzdem konnte dieser Einsatz den Wassergehalt für den Schnitt im Stein nicht völlig unter den kritischen Bereich zurückführen, weil er in bestimmten Zeiten (besonders in der sommerlichen Feuchtespitze) problematisch bleibt. Weiterhin ändert sich der Zustand hier nicht für den Schnitt durch den Mörtel gegenüber der Wandkonstruktion mit dem Standardstein, da beide die gleichen Schichten an dieser identischen Stelle haben.

### **9.2.3 Nutzung der Isoplethen zur Beurteilung der Schimmelpilzgefahr**

Das wichtige Kriterium für Keimung und das sich anschließende Wachstum von Schimmelpilzen ist die für die Sporen zur Verfügung stehende Feuchte, wobei sie nach ADAN (1994) sowohl aus Substrat als auch aus der Luft Wasser bzw. Wasserdampf entnehmen können. Diese erforderliche Feuchte war in der bzw. an der obigen untersuchten Innenschicht der Wandkonstruktion vorhanden. Tatsächlich gibt es andere Einflussfaktoren wie die Temperatur und die Substrate (Nährboden), die ebenfalls entscheidend sind. Nach SEDLBAUER, KRUS und ZILLIG (2001) müssen diese drei für die Sporenauskeimung bzw. für Myzelwachstum erforderlichen Voraussetzungen (Feuchte, Temperatur und Substrat) gleichzeitig für eine bestimmte Zeitperiode gegeben sein.



Ein Modell steht zur Verfügung, welches diesen Zusammenhang instationär beschreiben und unter den vorhandenen Randbedingungen eine Vorhersage für potentielle Sporenauskeimung bzw. Schimmelwachstum liefern kann. Es ist das sogenannte Isoplethensystem, das die Sporenauskeimungszeiten in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte (hygrothermisch) an Innenoberflächen bestimmen kann. Eigentlich bestehen neben den genannten Einflüssen noch weitere Einflussfaktoren auf das Wachstum von Mikroorganismen, wie der pH-Wert, das Licht, der Sauerstoffgehalt, die Oberflächenbeschaffenheit, der Salzgehalt etc. Nach SEDLBAUER (2001) zeigt die Tabelle A9-2 die unterschiedlichen Einflussfaktoren, die im eingesetzten Modell berücksichtigt werden.

Die Berechnung hat sich hier auf die Schnitte im Praxisstein für 15 cm und im Standardstein für 20 cm Dicke beschränkt, in denen der Wassergehalt seine maximalen Werte erreicht. Die Abbildung 26 weist deutlich auf, dass das Schimmelpilzwachstum sogar für die mit den besten bauphysikalischen Eigenschaften der Wandkonstruktion (Standardstein mit 20 cm Dicke) unter den voraussichtlichen Randbedingungen nicht ausgeschlossen werden kann. Die Punkte, die über den Grenzkurven LIM (Lowest Isopleth for Mould) liegen, stellen die Zeiten (Angabe in Stunden) dar, in denen die für die Pilzauskeimung erforderlichen Einflussfaktorenverhältnisse (relative Feuchte, Raumtemperatur, Substrat) über die Rechenzeit aufgetreten sind. Für den Praxisstein mit 15 cm (s. Abb. 27) sind die Überschreitungspunkte häufiger und höher aufgetreten.

Die Überschreitung trat für die beiden Kurven LIM B I und LIM B II auf. LIM B II stellt die Substratgruppe mit porigem Gefüge (Putze, mineralische Baustoffe etc.) und minimaler relativer Feuchte 79 % (für den Zementputz 59 kg/m<sup>3</sup>) dar, während LIM B I Substraten aus biologisch verwertbaren Materialien wie z.B. Tapeten, Gipskarton etc. und mit minimaler relativer Feuchte 76 % (56 kg/m<sup>3</sup>) zuzuordnen ist.

In Syrien werden die Farben direkt als Schlussbeschichtung auf die Oberflächen aufgebracht, während Materialien wie Tapeten oder Gipskarton selten zum Einsatz kommen. Da diese Farben häufig auf organischer Basis hergestellt bzw. aufbereitet werden, ist die Isolinie LIM B I für die Bewertung entscheidend.

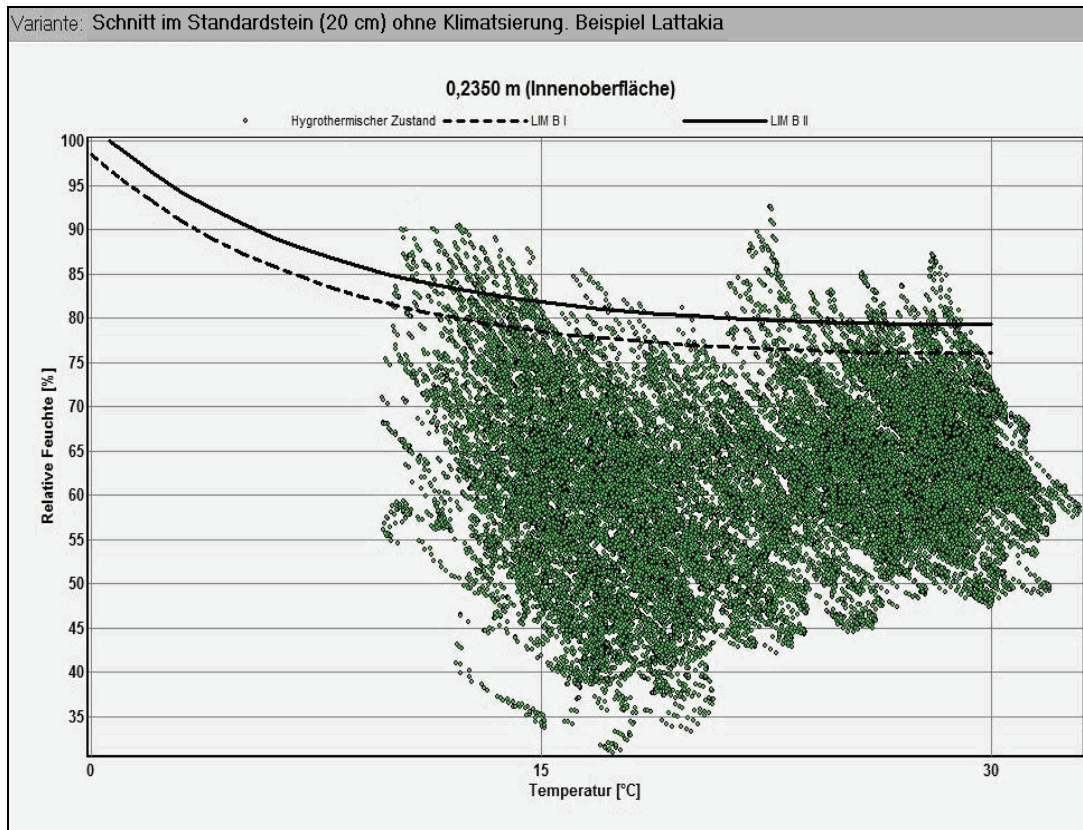


Abbildung 26: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Standardstein mit 20 cm Dicke, (Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung).

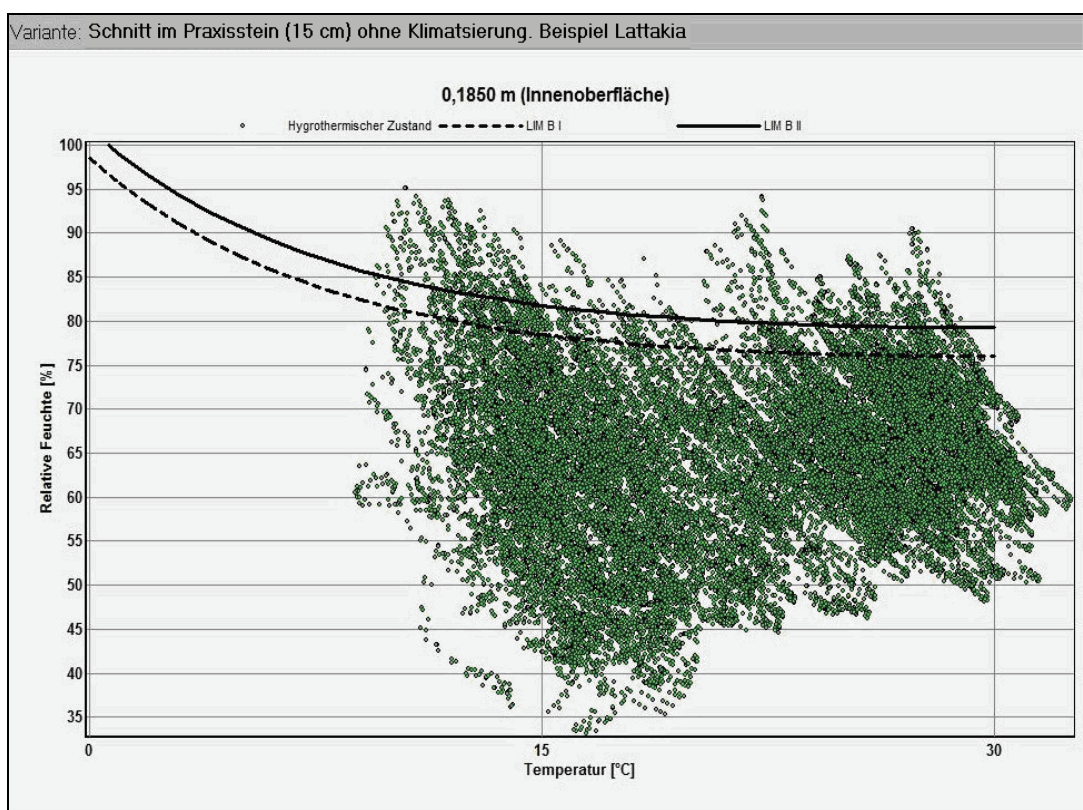


Abbildung 27: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Lattakia ohne Klimatisierung).

SEDLBAUER (2001) und UBA (2004) weisen drauf hin, dass Substrate mit porigem Gefüge unter der Gruppe I einzustufen sind, wenn sie mit einer feinen Verschmutzungsschicht (Staub, Fett etc.) bedeckt sind, was in den syrischen Wohngebäuden wegen der staubigen Umgebung (Straßen etc.) auftritt.

Bei der Untersuchung des Schnitts im Praxisstein mit 15 cm Dicke bei einer un stetigen Klimatisierung (z.B. für Schlafzimmer nur nachts) konnten die Zeiten der vermutlichen Schimmelpilzauskeimung stark, aber nicht total (besonders im Winter) eingeschränkt werden (s. Abb. 28). Die un stetige Heizung und die relativ niedrige Heiztemperatur (18 °C) sowie der große  $\mu$ -Wert des Putzes gestatten es nicht die Austrocknung optimal zu gewährleisten. Das kann den Wassergehalt im Innenputz in diesem Zeitraum über den kritischen Bereich ( $w_{80}$  %) hinaus anhalten lassen (s. Abb. 29). Die Abbildungen 29 und 30 zeigen, dass bei Vergrößerung der Steindicke (20 cm) sind bessere Ergebnisse zu erzielen sind.

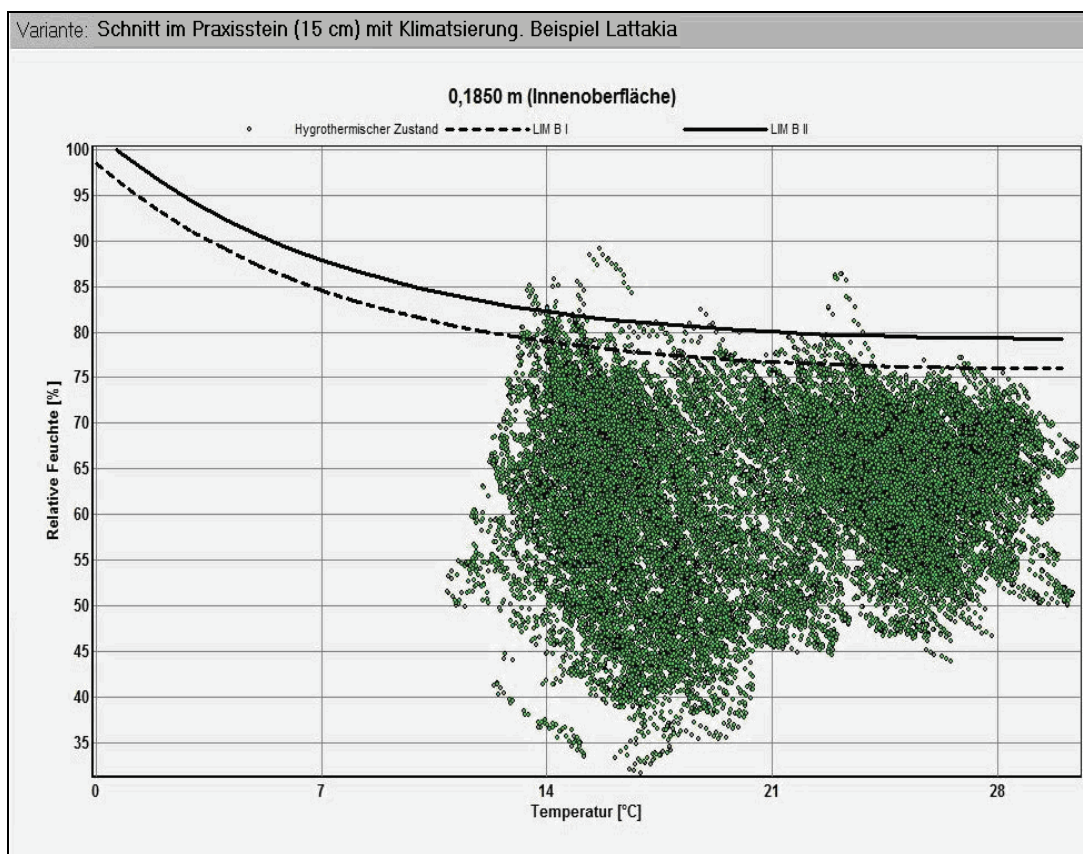


Abbildung 28: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Lattakia mit un stetiger Klimatisierung).

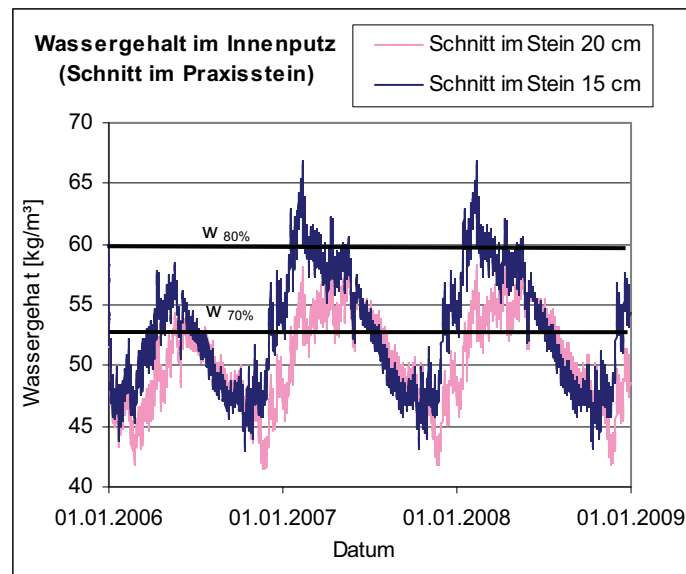


Abbildung 29: Wassergehalt im Innenputz für Schnitt im Praxisstein, (Beispiel Lattakia mit unstetiger Klimatisierung).

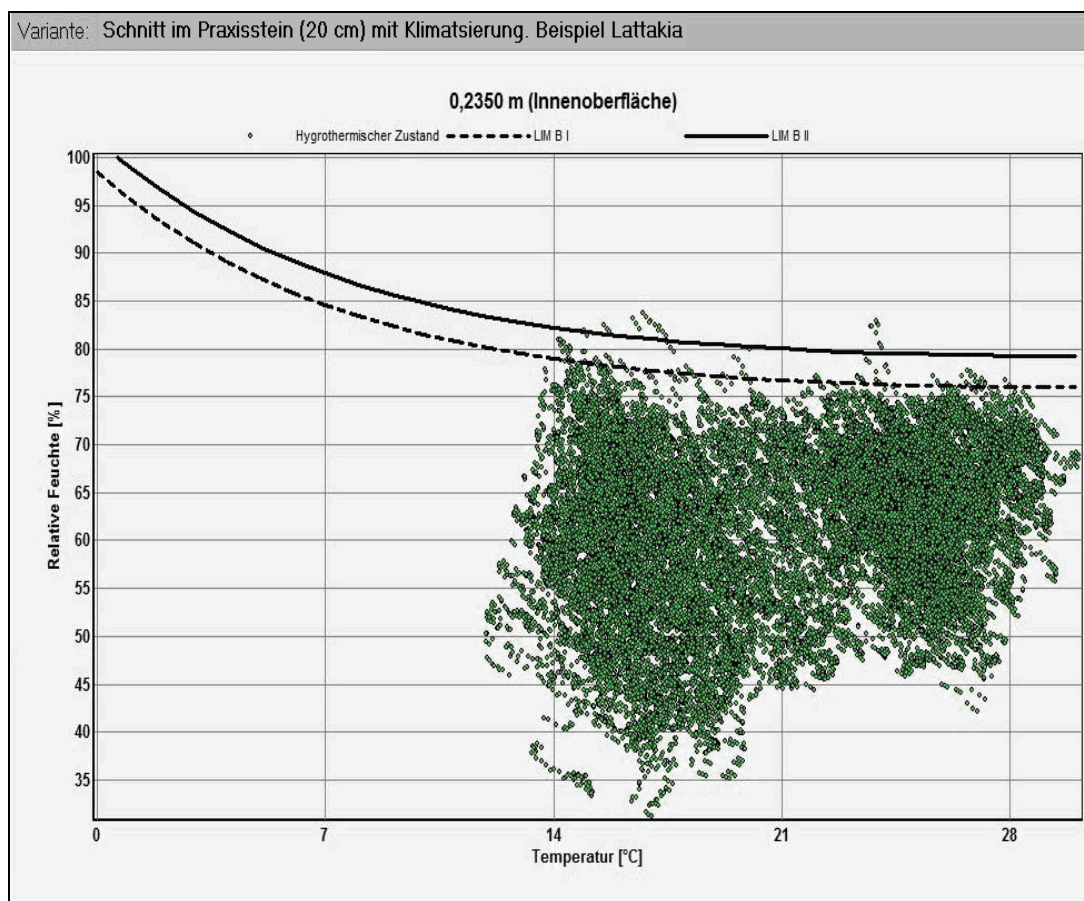
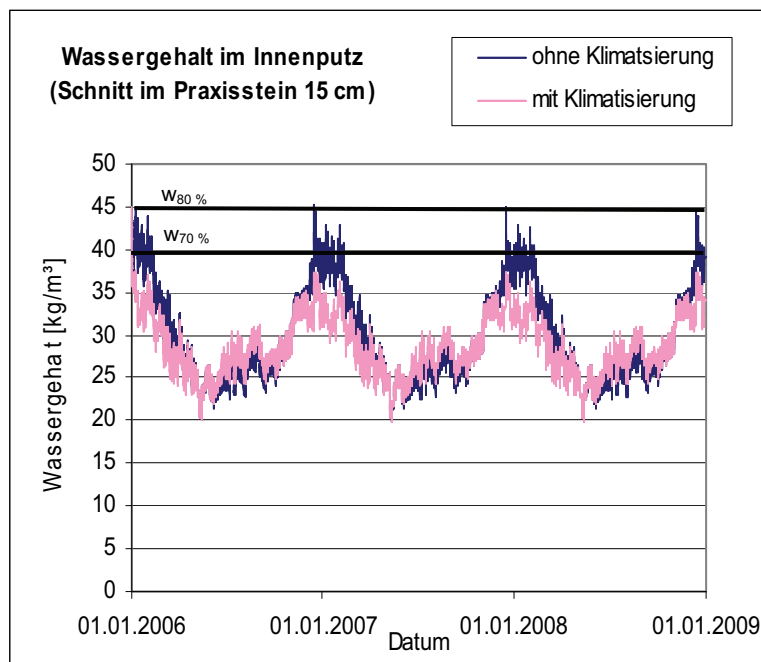


Abbildung 30: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 20 cm Dicke, (Beispiel Lattakia mit unstetiger Klimatisierung).

Im Beispiel Damaskus wurde die Berechnung für die Wandkonstruktion aus Praxisstein mit 15 cm Dicke durchgeführt, die das schlechteste hygrische Verhalten gezeigt



hat. Dabei wurde sie ohne und mit un stetiger Klimatisierung untersucht. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 41 für die Wassergehalte und in den Abbildungen 42 sowie 43 für die Isoplethenkurven dargestellt. Es ist festzustellen, dass die Schimmelpilzbildung in den kältesten Wintermonaten (Januar und Dezember) trotz des niedrigen Niederschlagsregens mit Abwesenheit der Klimatisierung möglich wäre. Der Wassergehalt überschreitet die kritische Grenze (über  $w_{70\%}$  bzw.  $40 \text{ kg/m}^3$  bis  $w_{80\%}$  bzw.  $45 \text{ kg/m}^3$ ) in diesen Zeiten (s. Abb. 31), und die Isoplethen zeigen diese kritischen Stunden deutlich an (s. Abb. 32). Dies ist hauptsächlich auf die hohe relative Feuchte der Außenluft zurück zu führen, die in diesen kalten Monaten besonders nachts spät auftritt. Z.B. in einem Schlafzimmer ist mit dieser hohen Außenfeuchte auch mit einer hohen Raumluftheuchte zu rechnen. Da die Hauptquelle der Feuchte von innen her durchdringt hat die Vergrößerung der Wanddicke keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Nur bei der Klimatisierung (un stetig) ist die Schimmelpilzbildung abgesehen von der Wärmebrückenwirkung total zu unterbinden (s. Abb. 33). Dabei sinkt die relative Raumluftheuchte (hier entscheidend) durch Erhöhung der Raumtemperatur, und gleichzeitig gibt der Innenkalkzementputz deren Feuchte an die Raumluf ab. Im Sommer und wegen des trocknen heißen Klimas liegt der Wassergehalt bzw. der hygrothermische Zusammenhang stark (bis  $20 \text{ kg/m}^3$ ) unter den Grenzwerten.



*Abbildung 31: Wassergehalt im Innenkalkzementputz. Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus ohne und mit un stetiger Klimatisierung).*

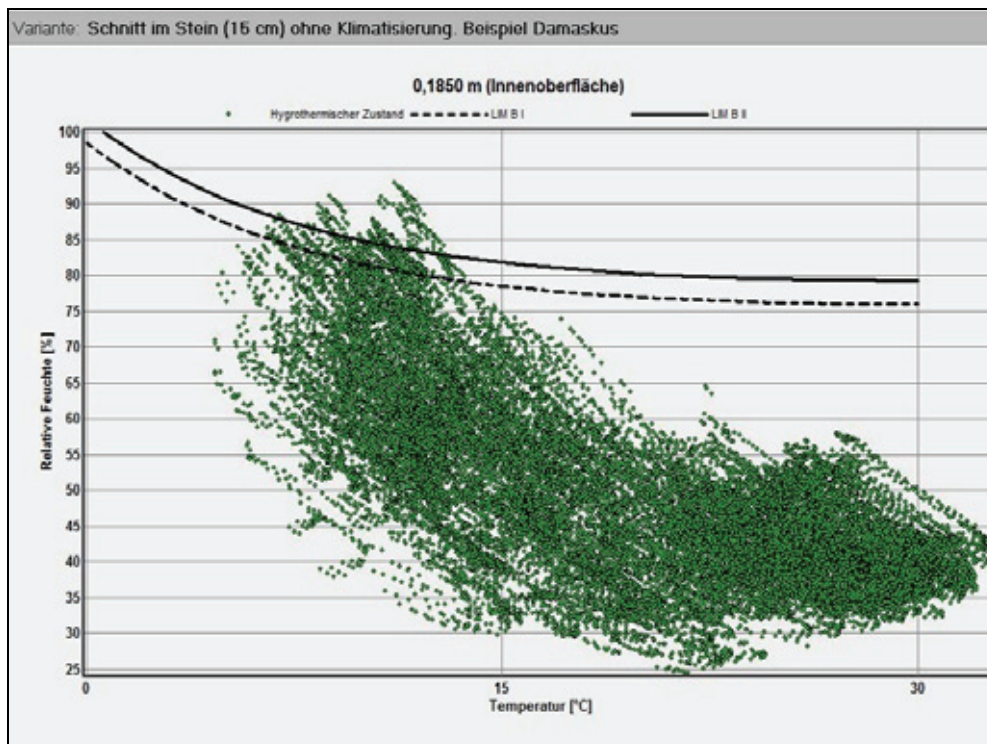


Abbildung 32: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus ohne Klimatisierung).

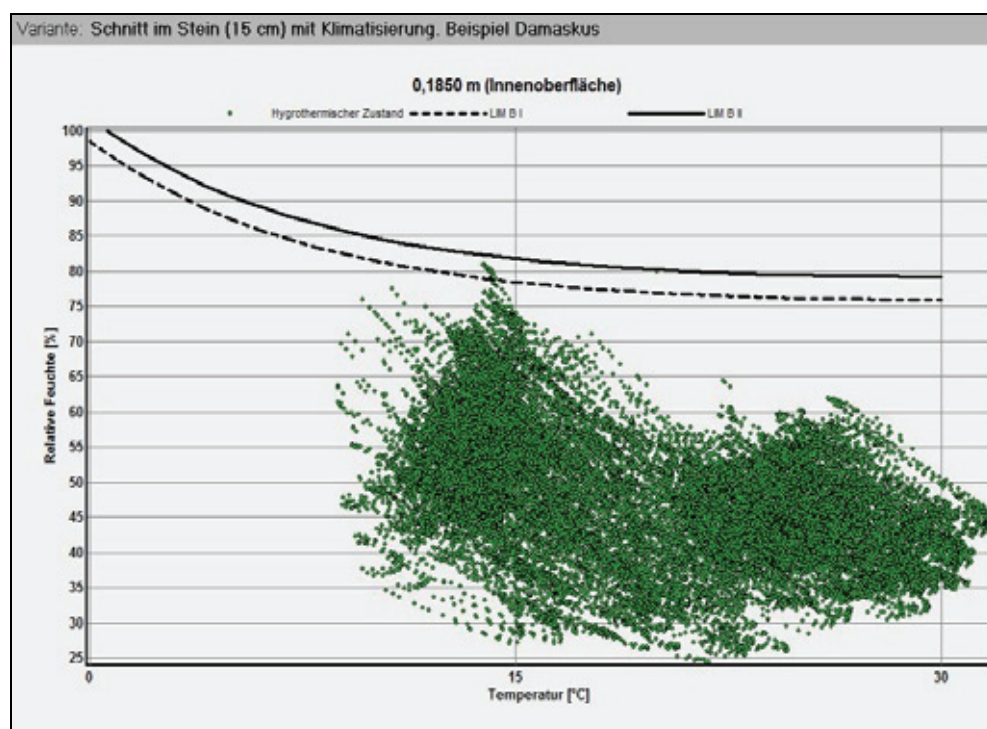


Abbildung 33: Hygrothermische Isoplethenkurven für den Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus mit un stetiger Klimatisierung).

### 9.3 Wirkung der vorgeschlagenen Wärmedämmung auf das hygrische Verhalten der Bauteile

Das in Ziffer 6.1 erwähnte Wärmedämmverbundsystem und das gedämmte Dach wurden hier ebenfalls unter den syrischen Rahmenbedingungen hygrisch berechnet. Die Abbildung 34 zeigt, wie das Problem der Tauwasserabbildung an den in 9.1 bearbeiteten Wärmebrücken, welches in Damaskus auftreten kann, durch die Dämmung beseitigt wurde. Die Wärmedämmung hat eine Erhöhung der Oberflächentemperatur zur Folge gehabt, was verhindert, dass der Taupunkt bei den Wärmebrücken innerhalb der Konstruktion erreicht wird.

Da die verwendeten monolithischen Dachkonstruktionen sich sogar für Lattakia als vor Feuchte beständig erwiesen haben, ist es zu erwarten, dass sie mit den Dämmungsmaßnahmen noch bessere hygrische Leistungen zeigen. Mit der oberhalb der Dämmschicht angebrachten Abdichtungsbahn und mit dem sehr hohen  $\mu$ -Wert des Betons findet das Regenwasser bzw. die Raumfeuchte keinen Weg in die Innenschichten (Beton und Styropor).

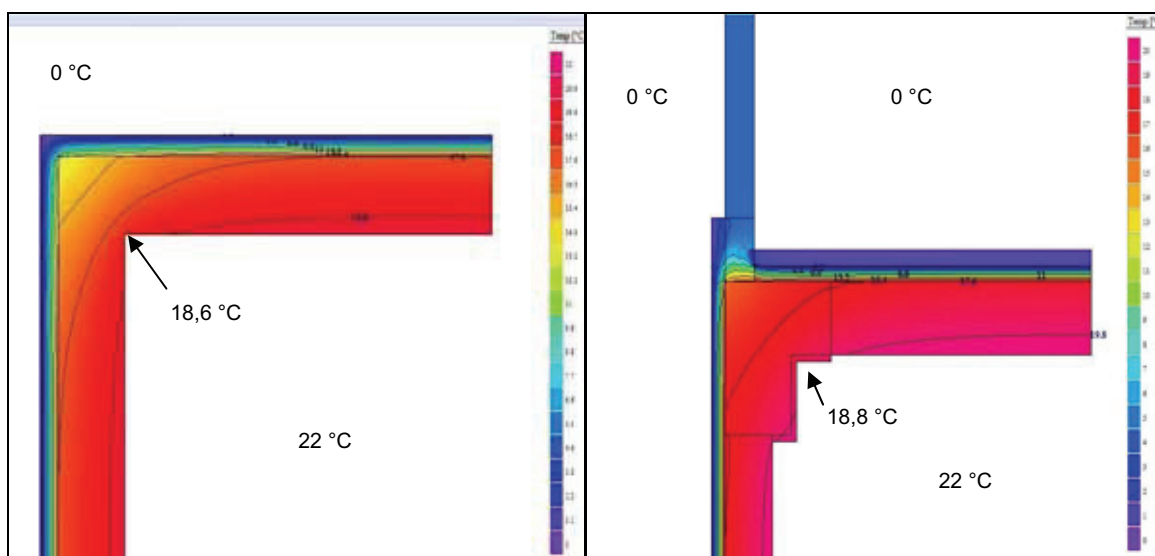


Abbildung 34: Beseitigung der Tauwasserbildung durch die Wärmedämmung. Beispiel Wärmebrücken einer Wandecke und eines Dachanschlusses mit Attika.

Da einerseits die außenliegenden Dämmstoffe (Styropor) keine Kapillarstruktur besitzen (Kapillarleitungsunfähig  $W_w = 0$ ), und andererseits der Hohlblockstein einen hohen  $\mu$ -Wert über 40 [-] hat, ist der hygrische Zustand der Innenschicht stark vom Raumklima abhängig. Das führt dazu, dass der Innenputz sich für die unterschiedlichen Schnitte gleich verhält. Davon ausgehend hat sich die Diskussion hier auf den Schnitt im Praxisstein beschränkt. In Beispiel Lattakia ist es offensichtlich, dass der

Wassergehalt mit einem maximalen Wert von  $44 \text{ kg/m}^3$  in der Regenzeit (Winter) eindeutig unter den kritischen Grenzen liegt (s. Abb. 35). Die Unterbindung der Kapillarleitung von außen und die Steigerung der Raumtemperatur wegen der Dämmung können dieses Resultat begründen. Nur im Zeitraum, in dem die Raumluftfeuchte hoch ist (im Sommer), steigt der Wassergehalt über die kritische Grenze. Die Isoplethen können diese kritischen Zeiten, in denen an den Innenoberflächen Schimmelpilzbildung möglich ist, eindeutig darstellen (s. Abb. 36). Die kritischen Zeiten konzentrieren sich stark in der Sommerzeit. Beim Ersatz des Innenzementputzes durch einen Kalkputz ändert sich die Situation nicht gravierend (s. Abb. 37), wobei die hohe relative Feuchte im Sommer immer noch problematisch bleibt. Nur mit Einsatz der Klimaanlage ist dieser Gefahr der Schimmelpilzbildung zu begegnen (s. Abb. 38).

Für das Beispiel Damaskus zeigt sich die Dämmung als eine optimale Lösung, mit der die Wahrscheinlichkeit der Schimmelpilzgefahr im Winter total unterbunden wurde (s. Abb. 39 und 40). Die Senkung der relativen Raumfeuchte wegen der Steigung der Raumtemperatur (nach der Dämmung) ist grundsätzlich für dieses Resultat verantwortlich.

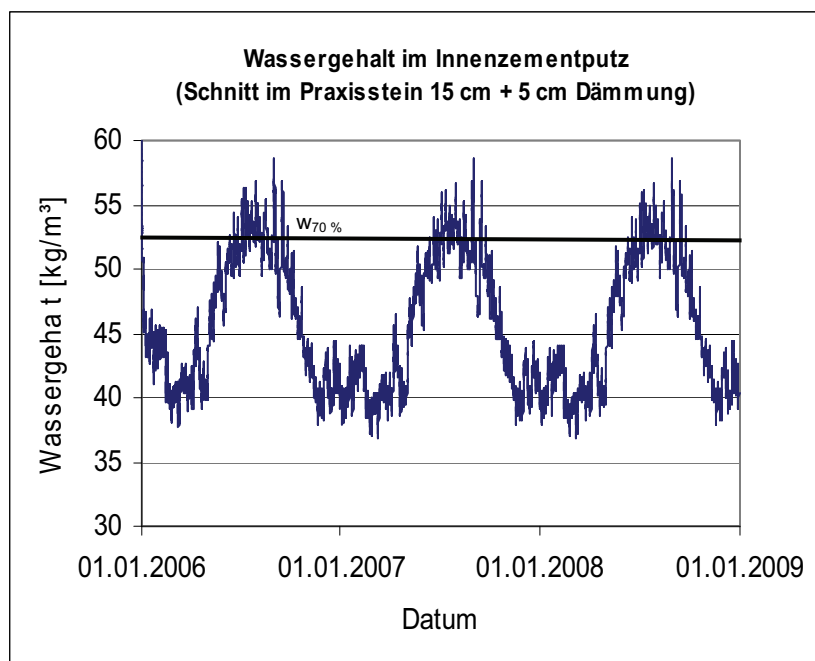


Abbildung 35: Wassergehalt im Innenzementputz. Schnitt im Praxisstein 15 cm mit einer Dämmschicht 5 cm, (Beispiel Lattakia).



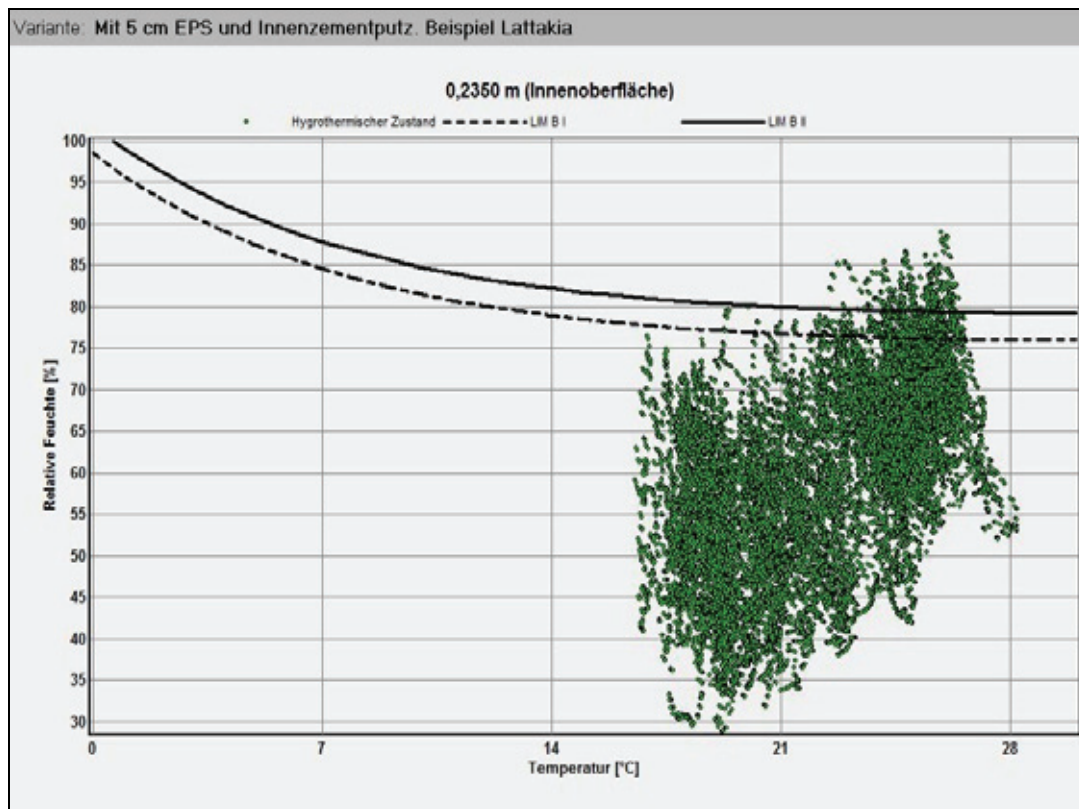


Abbildung 36: Isoplethen der Innenoberflächen eines Zementputzes. Schnitt im Praxisstein (15 cm) und mit 5 cm Dämmschicht, (Beispiel Lattakia).

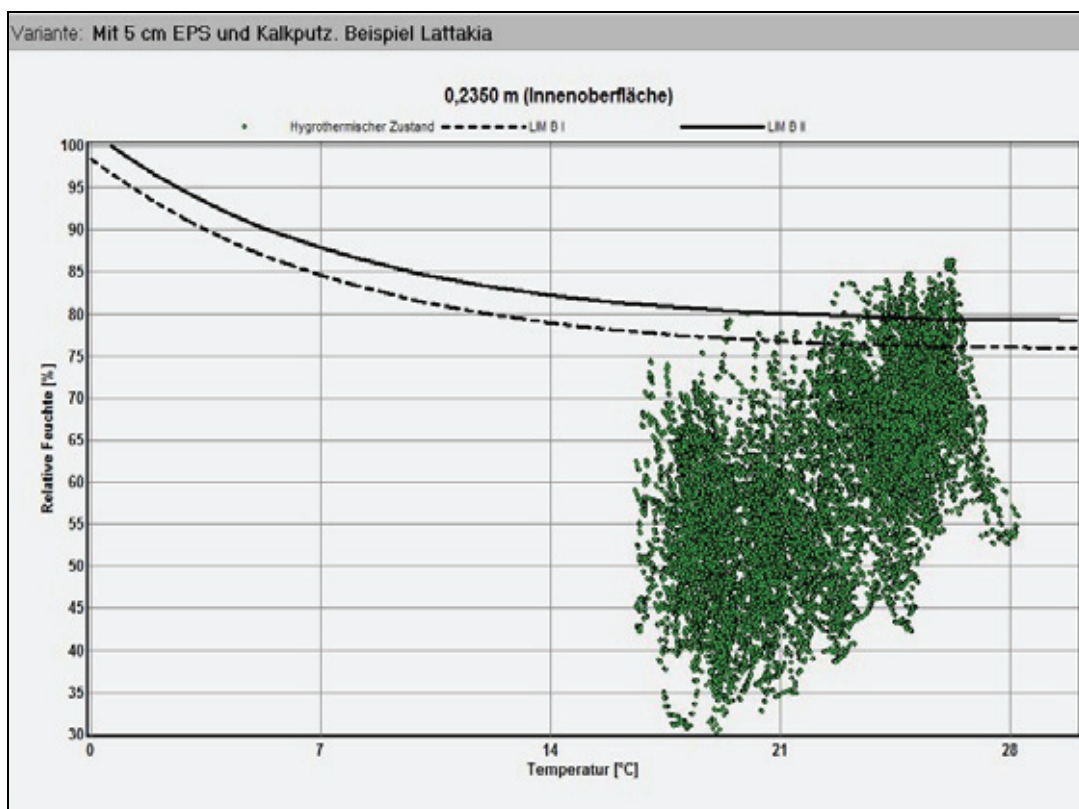


Abbildung 37: Isoplethen der Innenoberflächen eines Kalkputzes. Schnitt im Praxisstein (15 cm) und mit 5 cm Dämmschicht, (Beispiel Lattakia).

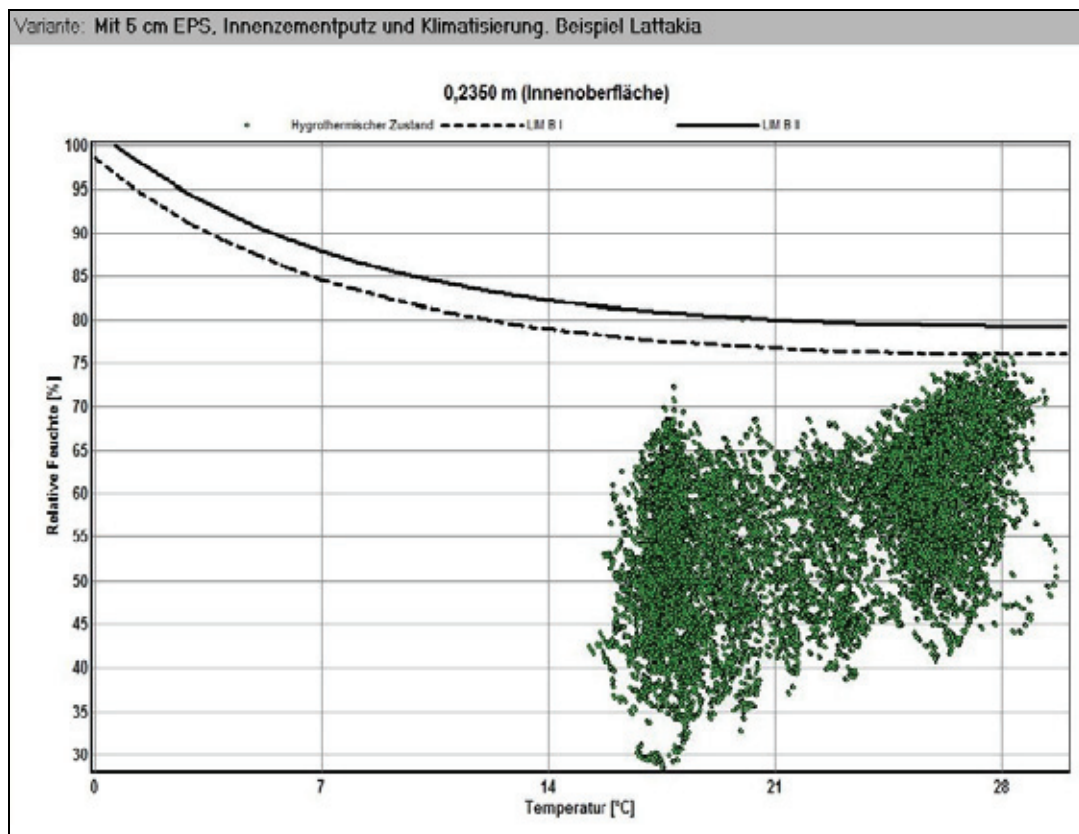


Abbildung 38: Isoplethen der Innenoberflächen eines Zementputzes. Schnitt im Praxisstein (15 cm) und mit 5 cm Dämmschicht, (Beispiel Lattakia mit Klimatisierung).

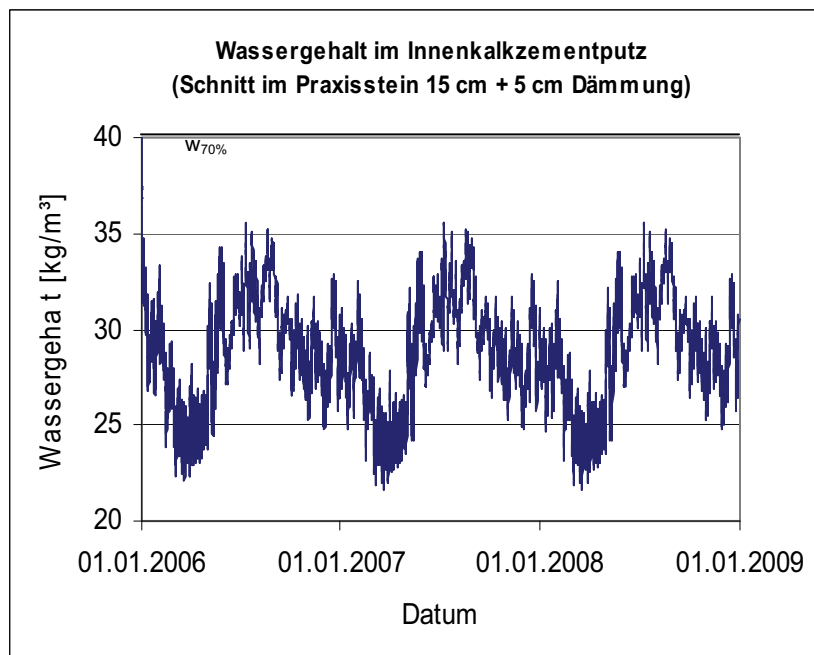


Abbildung 39: Wassergehalt im Innenkalkzementputz nach der Dämmung. Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus).

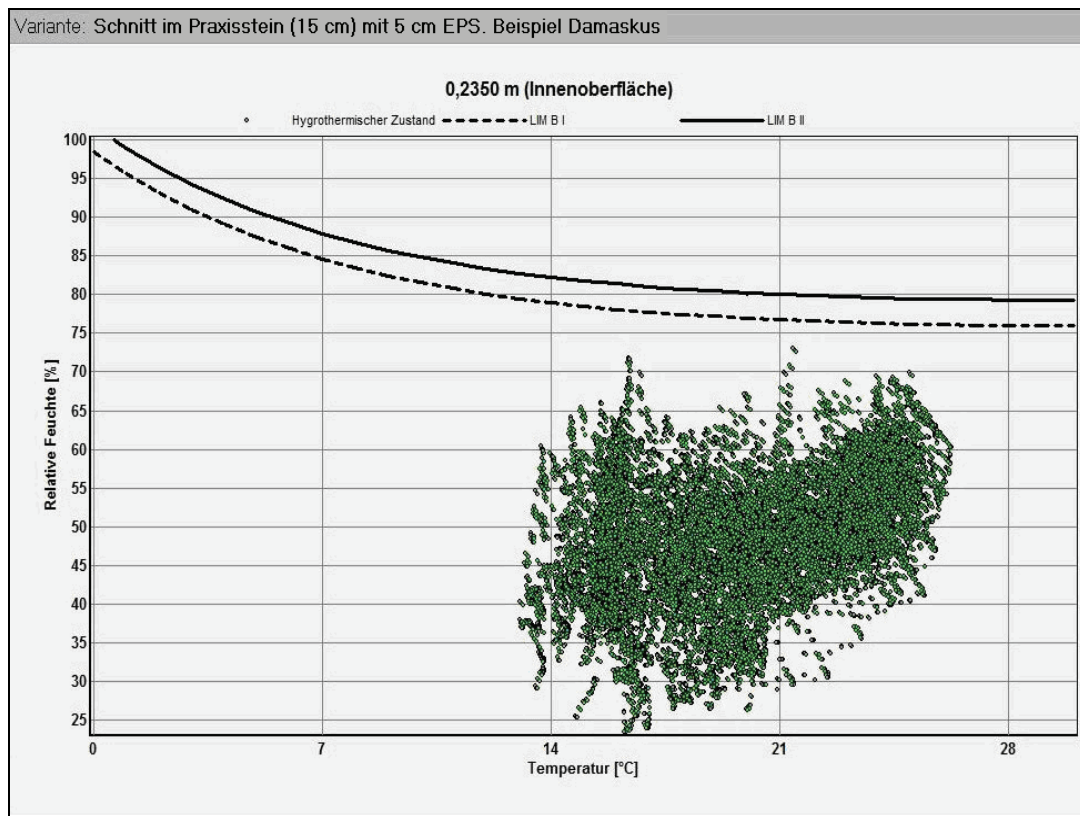


Abbildung 40: Isoplethen der Innenoberfläche des Innenputzes nach der Dämmung. Schnitt im Praxisstein mit 15 cm Dicke, (Beispiel Damaskus).

Eine endgültige Bewertung des vorgeschlagenen Wärmedämmverbundsystems WDVS verlangt eine Untersuchung des in der Dämmschicht aufgesammelten Wassergehalts. Eine starke Befeuchtung des Dämmmaterials kann die Wärmedämmfähigkeit erheblich verschlechtern. In Anlehnung an FIW (2001) zeigt die Abbildung 41 die Wärmeleitfähigkeit des Styropors ( $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ ) in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Wie sich zeigt, nimmt sie exponentiell mit diesem Gehalt zu, wobei sie bei  $100 \text{ kg/m}^3$  Wassergehalt bis  $0,05 \text{ W/(mK)}$  erreichen kann. Deutliche Ergebnisse zeigen, dass der Wassergehalt in der angebrachten Dämmschicht unter den angewendeten Klimabedingungen (Beispiel Lattakia) den Wert  $4,5 \text{ kg/m}^3$  in der Regenzeit nicht überschreitet (s. Abb. 42). Im Zusammenhang mit der Abbildung 41 hat solche gesammelte Feuchte eine geringfügige Einwirkung auf die Wärmeleitfähigkeit.

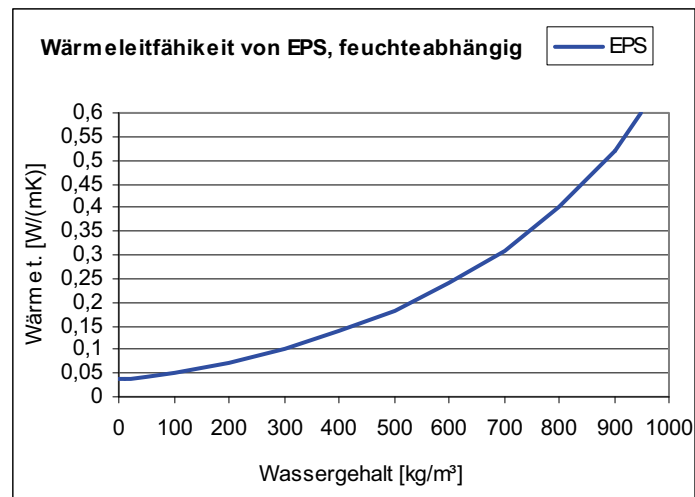


Abbildung 41: Zunahme der Wärmeleitfähigkeit des Styropors in Abhängigkeit von der Feuchte.

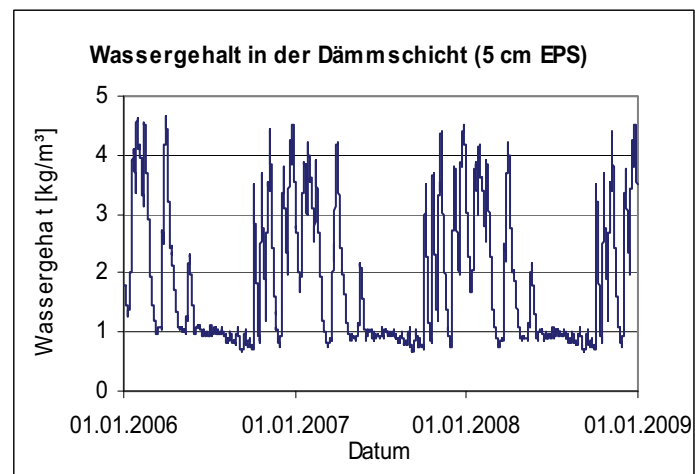


Abbildung 42: Wassergehalt in der untersuchten Dämmschicht. Schnitt im Praxisstein Beispiel Lattakia.

Die Geringfügigkeit des in Styropor eingelagerten Wassergehalts hängt grundsätzlich von seinem hohen  $\mu$ -Wert = 40 ab. Trotzdem muss bei der Auswahl des Styropors als Dämmsicht darauf geachtet werden, dass die eindringende Feuchte wegen Fehlern beim Einbau bzw. Materialschäden dessen Dämmfunktionsfähigkeit stark beeinträchtigen kann. In diesem Fall ist die Mineralwolle zu bevorzugen, die wegen des niedrigen  $\mu$ -Wertes ( $\mu = 1$ ) diese Feuchte wieder abgeben kann.

Eine Untersuchung für den Schimmelpilzbefall in diesen Dämmstoffen ist nicht erforderlich, weil die synthetischen Dämmstoffe (z.B. Styropor) und sogar die mineralischen Dämmstoffe (z.B. Mineralwolle) nach DIN EN 13163 und DIN EN 13162 aufgrund des bei der Produktion vorgenommenen Imprägnierungsprozesses gegen Schimmelpilz beständig sind. Weiterhin haben Untersuchungen von KÜVER, PE-

TERSCHEWESKI und MEINKE (2003) gezeigt, dass die Schimmelpilzbildung keine wesentliche Wirkung auf die physikalischen Eigenschaften dieser Dämmstoffe hat, falls sie überhaupt auftritt.

Anschließend ist es wichtig zu beachten, dass entstehende Feuchteprobleme in Gebäuden aus anderen Ursachen wie Ausführungsmängeln, die aus der Temperaturdehnung entstehenden Risse, die aufsteigende Bodenfeuchte, die Feuchte in Nassräumen etc. ausgelöst werden können. Gegen Spritzfeuchte und aufsteigende Bodenfeuchte sind entsprechende Feuchteschutzmaßnahmen in DIN 18195–1 bis 6 ausführlich beschrieben.

#### **9.4 Schlussfolgerungen**

Aus der oben dargestellten Diskussion und aus den resultierenden Berechnungsergebnissen können die folgenden Schlussfolgerungen zusammengefasst werden:

- Die Tauwasserbildung ist in einer Landinnenstadt wie Damaskus, in der die Außentemperatur unter 0 °C im Januar sinken kann, für die verwendeten ungedämmten Baukonstruktionen an bestimmten Stellen (Wärmebrücken) wahrscheinlich. Die Oberflächentemperatur unterschreitet die Taupunkttemperatur (9,8 °C für 20 °C Raumtemperatur) an diesen Stellen deutlich.
- Die Tauwasserbildung ist an den ungestörten Bauteilen dieser Konstruktionen ausgeschlossen, wenn keine Gardinen oder Möbel sich unmittelbar vor ihnen befinden bzw. ausreichend gelüftet wird.
- Die in Syrien verwendeten Dachkonstruktionen sind vor Feuchteschäden beständig. Diese Konstruktionen trocknen im Jahresverlauf wieder aus.
- Die Innenoberflächen der in Lattakia verwendeten Wandkonstruktionen sind für das Schimmelpilzwachstum unter bestimmten Bedingungen sowohl im Winter als auch im Sommer gefährdet. Der Wassergehalt des Innenputzes überschreitet generell seine kritischen Grenze ( $w_{70\%}$  bis  $w_{80\%}$ ) und die für Schimmelpilzbildung entsprechenden Bedingungen sind eindeutig vorhanden. Die Abbildung A9-3 bietet ein Beispiel für durch die Klimaumgebung bedingte Feuchteprobleme an den Innenoberflächen einer nach West orientierten Außenwand eines Wohngebäudes in Lattakia. Neben der potentiellen hygienischen und gesundheitlichen Gefahr entstehen beim Schimmelpilzbefall auch ästhetische und ökonomische Mängel, weshalb die Innenoberflächen nach der Austrocknung wieder gestrichen werden sollen. Dabei müssen Atemschutzmaßnahmen getroffen werden.

- Die Schimmelpilzgefahr ist auf Basis der klimabedingten Feuchte in einem winterlichen unbeheizten Raumklima in Damaskus (z.B. in einem Schlafzimmer) nicht auszuschließen. Abgesehen von der Wärmebrückenwirkung und unter Berücksichtigung der ausreichenden Lüftung ist diese Gefahr durch un stetiges Heizen zu beseitigen. Im Sommer besteht diese Gefahr wegen des trockenen Klimas dort nicht.
- Mit Anwendung der Wärmedämmung (5 cm Dämmschicht aus Styropor) ist die festgestellte Tauwassergefahr an den Wärmebrücken vollkommen zu vermeiden.
- Weiterhin ist die Wahrscheinlichkeit des Schimmelpilzwachstums durch entsprechende Randbedingungen (Verhinderung des Nährbodens, der entsprechenden Raumtemperatur und der relativen Raum- bzw. Materialfeuchte) im Winter sowohl für Damaskus als auch für Lattakia zu unterbinden.
- Nur im Sommer bleibt diese Gefahr wegen der hohen Luftfeuchte in Lattakia bestehen, welche durch Klimatisierung fernzuhalten ist.

Mit einer Verschlechterung der Wärmeleitfähigkeit der vorgeschlagenen Dämmschicht (EPS) ist in Abhängigkeit von den untersuchten Klimabedingungen und dem anzunehmenden gesammelten Wassergehalt nicht zu rechnen. Nur bei starker Befuchtung kann die Dämmfähigkeit drastisch verringert werden, was normalerweise nur bei Dämmschaden (Ausführungsmängel, Durchstoßungen etc.) stattfindet.

## **10. Vorschläge zur Förderung des energetischen optimierten Bauens auf der Basis einer nachhaltigen Baupolitik**

### **10.0 Allgemeines**

Bauen bedeutet langfristige Investition. Aus diesem Grund müssen alle Bauvorhaben professionell und strategisch geplant werden. Eine erfolgreiche Baupolitik muss von der Nachhaltigkeit als internationale anerkannte Zielrichtung für die Entwicklung ausgehen. Eine nachhaltige Baupolitik ist ein umfassendes Entwicklungskonzept, welches ökologische, ökonomische und soziale Dimensionen aufweisen muss. Nach VOGDT (2004) zeigt die Abbildung A10-1 exemplarische Schutzziele des nachhaltigen Bauens.

Die vorhergehenden Kapitel haben deutlich gezeigt, dass die Vorteile der Wärme- und Feuchteschutzmaßnahmen am Bauen die drei vorgenannten Dimensionen erfüllen können. Energetisches Bauen bildet einen Hauptbestandteil jeder anzustrebenden nachhaltigen Baupolitik. Die durch diese Maßnahmen geschaffene Energiekosteneinsparung kann einerseits für die Erwerber (Eigentümer, Mieter etc.) und andererseits für die Volkswirtschaft bzw. die staatliche Politik insgesamt kurz- bzw. langfristig eine erfolgreiche ökonomische Investition darstellen und zusätzlich Kapitalschutz gewährleisten.

Als ein wichtiges Motiv für den Schutz der natürlichen Ressourcen und der Ökosysteme kann der Wärmeschutz an Gebäuden auch zur generellen Reduzierung des Primärenergieverbrauchs in ganz Syrien führen, was auch eine generelle Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes mit sich bringt. Weiterhin bildet die allgemeine Verbesserung des Wohnraumklimas und die Beseitigung der Schimmelpilzgefahr eine zentrale soziale und gesundheitliche Zielstellung (Behaglichkeit und Gesundheitsvorsorge).

Als Gesetzgeber ist der Staat grundsätzlich verantwortlich, eine solche Baupolitik im Bereich der Wohngebäude (inkl. touristischer und öffentlicher Gebäude) zu realisieren. Dabei sollte die Teilnahme an der Umsetzung dieses Ziels und die Unterstützung dieser Politik durch den Privatsektor bzw. speziell der Privatunternehmen bei Formulierung dieser Politik angestrebt werden.

Mehrere Vorschläge hierzu werden in diesem Kapitel angeboten, welche eine Basis eines Primärarbeitsplans darstellen können, um Bedürfnisse des energetischen Bauens am Bauplatz und im gesamten Bauwesen zu etablieren. Diese Vorschläge richten sich grundsätzlich an alle am Bauwesen beteiligten Einrichtungen und Unterneh-

men. Sie sollen bei der Gesetzgebung, den staatlichen Förderprogrammen, dem Ausbildungssektor und der Qualitätskontrolle thematisiert und durchgesetzt werden.

## **10.1 Bereich der am Bau Beteiligten**

### **10.1.0 Allgemeines**

Dieser Bereich soll verschiedene Aktive und Betroffene wie Bauingenieure, Architekten, Hersteller von Bauprodukten, Bauträger, Bauherren, Handwerker und nicht zuletzt die Bewohner einschließen. Wirksame Maßnahmen sind zu treffen, welche das Thema des energetischen Bauens in der Fachöffentlichkeit des Bauwesens populär machen und es kontinuierlich weiter entwickeln. In der Folge solcher Maßnahmen können Perspektiven dieses Themas bei der Bauproduktion, der Planung, der Ausführung und der Investition vorrangig in Betracht gezogen werden. Die Ausbildung, die Unterstützung der Kommunikation und der koordinierten sowie die Forschung stellen wichtige Bereiche dar, in denen solche erforderliche Maßnahmen getroffen müssen.

#### **10.1.1 Ausbildung und fachliche Qualifizierung**

Die Vorschläge in diesem Bereich sind in den folgenden Punkten zusammenzufassen:

- Einführung der Aspekte wie ökologisches Bauen, Bauphysik, und Bauqualität in die Lehrprogramme an den Bauhochschulen. Die Einrichtung eines speziellen Fachgebiets zum Studium dieser Konzepte ist von großer Bedeutung, damit sie zukünftig in den Grundkenntnissen der Ingenieure verankert sind. Dafür müssen Labore, Projektarbeiten, Software, Personal etc. zur Verfügung stehen, um auch nachhaltige Erkenntnisse aus der praktischen Anschauung zu gewinnen.
- Ein Angebot an regelmäßigen Fort- und Weiterbildungskursen mit günstigen Teilnahmebedingungen, welche den Berufsbetätigten des Bauwesens die modernen Erkenntnisse über das energetische Bauen kompetent vermitteln können. Solche Aktivitäten sollten von potentiellen interessierenden Stellen (z.B. von den Ingenieur- bzw. Handwerkskammern, den Ministerien für Energie, Umwelt, Bau, Wirtschaft etc.) angeboten werden. In einer ersten Phase können die Anbieter teilweise noch ausländische Experten hierfür hinzuziehen, bis ein einheimisches Lehrteam mittelfristig diese Aufgabe vollkommen übernehmen kann.
- Eine breite Behandlung und gute Aufmachung dieses Themas in Veröffentlichungen, Zeitschriften und anderen Medien, die sich mit dem Bauwesen beschäftigen.



- Erscheinung von Merkblättern. Hier kann die Zielgruppe unterschiedlich sein (Planer, Bauherr, Eigentümer, Mieter). Solche Merkblätter können Hilfsmittel bei der Planung, der Ausführung und der Nutzung darstellen. Beispielweise können die Vermieter bzw. die Bauherren den Mietern bzw. Käufern Merkblätter über die richtige Investition beim Einzug abgeben. Sie sollen Informationen über das optimale Verfahren des Haustechnikbetriebs, die ideale Lüftung und alle erforderlichen Merkmale zur Vermeidung der Bauschäden und der Wasser- bzw. Energieverluste enthalten. Der Nutzer besitzt in der Regel kein entsprechendes Grundlagenwissen, deshalb müssen die Informationsschriften in einer solchen knappen und verständlichen Form erstellt werden. Die bei HANNEMAN (2007) gezeigte Abbildung A10-2 stellt ein Merkblattmuster für das richtige Verhalten von Einwohnern zur Vermeidung der Feuchteschäden in Gebäuden vor.
- Öffnung der Bauinstitute für die Bauhandwerker, welche bisher in Syrien keine Ausbildungsmöglichkeiten haben. Das kann eine spürbare Verbesserung der gesamten Bauqualität und einschließlich bei der Ausführung der Wärme- und Feuchteschutzmaßnahmen bewirken.
- Das ökologische Bauen muss in die Außenpolitik (technologischer Austausch) eingeführt werden. Das gewährleistet die Teilhabe an neuen Erkenntnissen und Methoden bzw. ermöglicht rasche Fortschritte in Richtung einer nachhaltigen Baupolitik. Weiterhin ist ein kompetenter Lehr- und Expertenkader aufzubauen.

### **10.1.2 Kommunikation und integrale Arbeit**

Hier handelt es sich um Begründung von Arbeitsnetzwerken und Organisation eines ständigen wissenschaftlichen Austausches, vornehmlich durch Veranstaltungen, an denen unterschiedliche Interessende am energetischen Bauen (Hochschulen, Bauunternehmen, Bauhersteller, Industrieverbände etc.) teilnehmen können. Solche Aktivitäten können einen laufenden Austausch der Informationen und der Neuigkeiten und eine einheitliche Bestimmung der gegenwärtigen Bedürfnisse gewährleisten, was den Entwicklungsprozess in diesem Bereich stark unterstützt.

Darüber hinaus sind fortlaufend Wettbewerbe zu organisieren, in denen die optimalen energetischen Entwürfe und Projekte ausgezeichnet werden. Die Ingenieurkammer oder das Energieministerium (z.B. das Forschungszentrum für Energie) könnten für solche Wettbewerbe verantwortlich sein. Auch Bauunternehmen und Industrieverbände sollten unterstützt werden (z.B. vom Bauministerium), innovative Baupro-

dukte auf Messen (z.B. auf der Damaskus-Messe bzw. auf speziellen Baumessen) anzubieten.

### **10.1.3 Förderung der Forschung**

Als Schlüsselbereich für die Entwicklung muss die Forschung für energiesparende und umweltverträgliche Gebäude an Bauhochschulen, Forschungszentren und in der Bauindustrie effektiv unterstützt und gefördert werden. In Richtung einer nachhaltigen Baupolitik sollten die folgenden Forschungsthemen dringend bearbeitet werden:

- der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energieträger
- die Entwicklung neuer Modelle von Bauteilen sowie Heiz- und Klimageräte aus energetischer Sicht
- die Erhöhung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe und ein effizienter Materialeinsatz
- die Wirtschaftlichkeit, der Kostenvergleich zu herkömmlichen Bauweisen bzw. die Senkung der Betriebskosten.

### **10.2 Erforderliche Baunormen und Verordnungen**

Das energetische Bauen benötigt entsprechende Normen, welche Konzepte und Anforderungen dieses Bereichs beschreiben und sie sachgesetzlich ordnen können. In der syrischen Bauordnung (als einzige gesetzliche Quelle) gibt es bisher keine Regeln, die solche Konzepte konkret und eindeutig beschreiben. Deswegen stellt zunächst die Reformierung dieser Bauordnung auf der Basis der Bauqualität und des ökologischen Bauens eine Priorität für die angestrebte nachhaltige Baupolitik dar. Dies muss durch die Erstellung und die Einführung der für diese Konzepte erforderlichen Normen ergänzt werden. Der Normierungsprozess müsste systematisch wie folgt durchgeführt werden:

- Bestimmung der erforderlichen Daten (Grundlagen, technische Erkenntnisse, Forschungsergebnisse etc.). Neben der eigenen Erfahrung müssen auch internationale Erkenntnisse berücksichtigt werden.
- Prüfung und anschließende Zulassung der neuen Erkenntnisse vor der Normierung. Falls sie sich im Laufe einer Versuchsphase für gebrauchsfähig erwiesen haben, können sie genormt und anschließend rechtsverbindlich festgelegt werden.
- Formulierung der gezielten Normen und der Vorschriften, welche die gewonnenen Erkenntnisse beinhalten. Die Normen sollen anwendbar, flexibel (basierend auf

dem obligatorischen Mindeststandard mit zusätzlichen Empfehlungen für den erhöhten Standard) und mit den syrischen Rahmenbedingungen bzw. den allgemeinen Bedürfnissen harmonisiert sein.

- Publikation dieser Normen im Abgleich mit einer neuartigen Energieeinsparverordnung, auf die sich auch die syrische Bauordnung beziehen muss. Dabei stellen die neuen Normen feste Anforderungen dar, die bei Planung und Ausführung erfüllt werden müssen.
- Regelmäßige Fortschreibung der Normen und Zertifikate auf Grund neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und regionaler Gegebenheiten.

Als eine wichtige Maßnahme soll die Baugenehmigung auch ökologische Kriterien enthalten, so dass zusätzlich ein Nachweis des Wärme- und Feuchteschutzes gefordert wird. Die bei FR (2007) angeführte Abbildung A10-3 zeigt ein Musterformular eines Bauantrags mit den entsprechenden Forderungen, wie es normalerweise in Deutschland angewendet wird (abgebildet das Formular des Bundeslandes Rheinland-Pfalz). Schließlich ist eine regelmäßige öffentliche bzw. zertifizierte Bauaufsicht unverzichtbar, um die Erfüllung der Genehmigungsanforderungen bei der Ausführung und der Bauabnahme zu garantieren.

### **10.3 Weitere Planungs- und Bewertungshilfsmittels**

Es gibt verschiedene Möglichkeiten und Hilfsmittel, damit die Bauobjekte auf Basis der Qualitätsstandards und der Umweltverträglichkeit geplant, realisiert und bewertet werden können. Die öffentliche Hand und alle am Bau Beteiligten müssen an der Einführung und Umsetzung dieser Standards teilnehmen. Diese Aufgabenfelder sind in Folgendem zusammenzufassen:

- **Güte- und Umweltzeichen für Bauprodukte.** Nach BDI und BUNR (2004) ist Ziel dieser Zeichen (bzw. Gütesiegel) die effektive Förderung von Produkten, die über deutlich bessere Umwelteigenschaften verfügen als vergleichbare konventionelle Waren. Sie müssen von einer neutralen unabhängigen Fachkommission (Jury) auf Basis vereinbarter Qualitätskriterien vergeben werden. Die unabhängige Kommission kann von der öffentlichen Hand (Umweltministerium) oder einer beauftragten anerkannten Stelle berufen werden. Das Umweltministerium sollte mittelfristig seine eigenen Standards und Gütesiegel auf Basis der europäischen Erfahrung entwickeln. Die bei IIB (2000) angeführte Tabelle A10-1 zeigt unterschiedliche Beispiele über solche Siegel in Deutschland.

- **Deklaration der Bauprodukte.** Hierbei besteht nach BVBW (2002) das Ziel in der Bereitstellung von überprüfbaren, genauen Angaben zu den Umweltaspekten von Bauprodukten. Ein Kriterien-Raster kann über Eigenschaften der Bauprodukte (technische Merkmale, Inhaltsstoffe, Herkunft der Ausgangsstoffe, energie-, umwelt- und/oder gesundheitsrelevante Eigenschaften) und Angaben über die Herstellung, die Anwendung, die Verarbeitung, die Nutzung, die Entsorgung und das Recycling entwickelt werden. Der Entwicklungsprozess ist durch eine Zusammenarbeit zwischen der Erteilungsstelle (z.B. Industrie- bzw. Ingenieurkammer) und den Herstellern der Bauprodukte durchzusetzen. Die Abbildung A10-4 zeigt eine schematische Darstellung zum Vergebungsprozess einer Deklaration von [AUB] nach ISO 14025. Die Deklarationen sollten in einer eigenen Datenbank von der Kammer gesammelt und zur Verfügung gestellt werden.
- **Positiv- Negativlisten** im Sinne einer Aufzählung zu empfehlender bzw. auszuschließender handelsüblicher Produkte bzw. allgemeiner Materialien. Sie können den Praktikern klare und leicht interpretierbare Aussagen über die Materialien liefern. Nach LÜZKENDORF (2000) erfolgt die Erstellung insbesondere von Negativlisten auf der Basis einer Abschätzung von Risiken für die Umwelt und die Gesundheit bei der Anwendung des Produktes, aber auch bei seiner Herstellung und Entsorgung. Beispielweise bietet die von AKÖH (1998) angeführte Tabelle A10-2 eine Positivliste für unterschiedliche Baustoffe.
- **Objekt-Beispiele.** Sie können Entwürfe mit energetischen guten bzw. vorbildlichen Lösungen und technische Einzellösungen mit Modellcharakter enthalten. Die Fallbeispiele mit Vorbildwirkung können durch Zusammenarbeit von den Ingenieurkammern und von den Bauherren– und Bauträgerverbänden ausgewählt und publiziert werden.
- **Güte- und Umwelt-Zertifikate für Niedrigenergiegebäude.** Sie dienen einerseits Käufern und Mietern als Orientierung- und Bewertungsmaßstab, andererseits Investoren und Baubetrieben als Anreiz und Marketinginstrument. Wesentliche Voraussetzung für den Wert des Zertifikates sind die Neutralität und die Transparenz der Kriterienwahl, der Datenermittlung und der Bewertung. Durch eine Zusammenarbeit zwischen der Ingenieurkammer und dem Umweltministerium bzw. dem Energieministerium können solche Zeichen vergeben werden.
- **Energieausweis für Gebäude.** In diesem Ausweis sind der jährliche Endenergiebedarf für die Raumheizung- bzw. Kühlung und Warmwasserbereitung, die

thermische Qualität der Hüllkonstruktion und/oder der Haustechnik sowie allgemeine Angaben zum Objekt zu enthalten (s. Abb. A10-5). Er kann durch Planer, Gutachter oder Ingenieure (z.B. Mitglieder eines zertifizierten Energieberaterverbandes) erstellt und dem Eigentümer übergeben werden, was als Nachweis für die energetische Qualität beim Kauf oder der Vermietung dient.

#### **10.4 Verbesserung der Wohnungsbau-Förderprogramme**

Der einzige Fördermittelgeber im Bereich des Bauwesens in Syrien ist die staatliche Grundbesitzbank, die Sanierungs- und Neubauvorhaben sowohl für Privatbesitzer als auch für Wohnungsbaugenossenschaften mit Krediten unterstützt.

Die Förderungsbedingungen beinhalten hauptsächlich die Ausgabe- und Rückgabesicherheit, während die Förderungsmenge nur auf Basis des Umfangs der Baumaßnahme abgeschätzt wird, ohne die Bauqualität zu berücksichtigen. Generell sollen die Wohnförderprogramme nicht nur auf soziale Standards, sondern auch auf Aspekte der Nachhaltigkeit orientiert sein. Dabei können sie eine wichtige Möglichkeit darstellen, um die neuen Anforderungen für das Bauwesen in der Realität umsetzbar zu machen und sie zu einem unverzichtbaren Bestandteil zu entwickeln. Davon ausgehend müssen die Wärmeschutzmaßnahmen durch diese Programme von den Bauherren gefordert, und somit ihre Durchsetzung gefördert werden. Die Förderung muss alle Verbesserungsmöglichkeiten (Wärmedämmung, Haustechnik, erneuerbare Energietechnik etc.) einschließen, die zur Energieeinsparung am Bauen und zur Verbesserung der Bauqualität führen. Dabei kann dies ohne oder mit einem geringfügigen Zinssatz erfolgen. Die Förderbedingungen müssen mit den reformierten genormten Anforderungen des Bauwesens harmonisiert werden. Nachwachsende, einheimische Baumaterialien und erneuerbare Energien sind zu bevorzugen. Parallel zur Entwicklung der Bauanforderungen, des Baumarkts, der staatlichen Pläne zur Energieeinsparung müssen die Förderprogramme mit entwickelt werden. Anschließend soll die Bauaufsicht auch hier bei der Kontrolle der Erfüllung der Förderbedingungen eingebunden sein. Die bei THERMOSOLAR (2004) dargestellte Abbildung A10-6 zeigt ein Muster eines der bekannten deutschen Wohnungsbau-Förderprogramme von der staatlichen Förderbank KfW.

#### **10.5 Nutzung der Medien**

Die Medien können auch effektiv dazu beitragen, in der Gegenwart vorherrschende, veraltete und Ressourcen verschwendende Bauverfahren in Richtung des energetischen Bauens zu verbessern. Zielgerichtete Informationsprogramme können die

nachhaltigen Vorteile der neuen Verfahren einer breiten Öffentlichkeit wirksam vorstellen, und die Investierenden davon überzeugen, dass das energetische Bauen keinen nebensächlichen Aspekt darstellt, sondern eine Grundanforderung für das gesamte Bauwesen. Weiterhin ist Werbung für die ökologische Produktion durch günstige Konditionen durch die betreffenden Medien zu unterstützen.

## 11. Zusammenfassung und Ausblick

### 11.1 Zusammenfassung

Trotz ihrer international erheblich gestiegenen Bedeutung werden die Regeln des energetisch optimierten Bauens und die Wärme- und Feuchteschutzkonzepte bei der Planung und der Ausführung von Gebäuden in Syrien noch nicht angewendet. Dies führt einerseits zum erhöhten Heiz- und Kühlenergiebedarf und andererseits zu niedriger Bauqualität. Für eine qualitative energetische Verbesserung der syrischen Gebäude wurden in der vorliegenden Arbeit konstruktive Wärme- und Feuchteschutzmaßnahmen vorgeschlagen, die für Syrien anwendbar sind bzw. unter den dortigen Rahmenbedingungen mit vertretbarem Aufwand realisiert werden können. Zur Untersuchung der Wirkung dieser Verbesserungsmaßnahmen auf das hygrothermische Verhalten der syrischen Gebäude wurde die Simulationstechnologie angewendet. Dabei sind Laborversuche zur Bestimmung der fehlenden bauphysikalischen Kennwerte von typischen syrischen Baustoffen und Messungen vor Ort zur Validierung eines der in der Arbeit verwendeten Simulationsprogramme durchgeführt worden.

Für das thermische und energetische Verhalten wurde das Beispiel jeweils eines Wohngebäudes für zwei syrische klimatische Bedingungen (Binnenregion - Beispiel Damaskus, und Küstenregion - Beispiel Lattakia) untersucht. Unter Berücksichtigung der Ausrichtungen und des Regionalklimas hat die Untersuchung erwiesen, dass das Raumklima sowohl im Sommer als auch im Winter generell in einem extrem unbehaglichen Bereich liegt. Die monolithischen Bauteile ( $U\text{-Wert} > 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), die einfachverglasten Fenster ( $U\text{-Wert} \approx 6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) und die wegen der Skelettbauweise erheblichen Wärmebrücken führen zu großen Transmissionswärmeverlusten (im Winter) bzw. zu großen Transmissionswärmelasten (im Sommer). Unter diesen Bedingungen entsteht ein beträchtlicher Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf (bis  $250 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  für Beispiel Lattakia und bis  $350 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  für Beispiel Damaskus), um ein behagliches Raumklima zu gewährleisten.

Zur Verbesserung des Raumklimas und zur Reduzierung des Energiebedarfs wurde die Gebäudehülle mit 5 cm dickem Styropor (als ein ökonomisch realistischer Materialeinsatz) von außen gedämmt, die einfachverglasten Fenster durch Isolierglasfenster ersetzt, die Wärmebrücken reduziert und Fensterläden für den sommerlichen Wärmeschutz angebracht. Es ist erwiesen, dass der Heiz- und Kühlenergiebedarf durch diese getroffenen konstruktiven Maßnahmen bis ca. um 75 % reduziert werden kann. Weiterhin wurden dadurch unbehagliche Raumtemperaturen vermindert.

Grundsätzlich waren die getroffenen Maßnahmen für den winterlichen Wärmeschutz in Lattakia effektiver, während das Schwülegefühl im Sommer (für Juli und August) unvermeidbar bleibt, wenn auch der Kühlbedarf abgesenkt werden kann. Dem gegenüber war die Verbesserung im Sommer in Damaskus noch ausgeprägter. Die Kosten-Nutzenanalyse hat gezeigt, dass sich die Investitionskosten dieser angewendeten Maßnahmen generell in weniger als 9 Jahren durch die jährliche Energieeinsparung amortisieren. Außerdem wird die CO<sub>2</sub>-Emission um rund 19.10<sup>9</sup> kg jährlich im ganzen Land vermindert. Darüber hinaus sind die vorgeschlagenen konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen durch technische und architektonische Konzepte zu ergänzen, welche weitere wichtige Reduzierungspotentiale des gesamten Energiebedarfs (Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung) ausnutzen können.

Bei der hygrothermischen Untersuchung der ungedämmten Bauteile hat die Berechnung eine Tauwasserbildungsmöglichkeit an den Wärmebrücken für die Klimabedingungen in Damaskus gezeigt, während solche Erscheinungen in Lattakia völlig auszuschließen sind. Weitere Untersuchungen wurden für das klimabedingte hygrische Verhalten unterschiedlicher Bauteile durchgeführt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass in den unklimatisierten Räumen die Außenwände (westliche Fassade) unter den klimatischen Rahmenbedingungen der Küstenregion sowohl im Winter (regenreiches Klima) als auch im Sommer (feuchtes heißes Klima) generell für die Schimmelpilzbildung anfällig sind. Nur durch die intensive Klimatisierung ist diese Gefahr zu beseitigen. In der Binnenregion ist die Schimmelpilzbildung im Sommer (trocken heißes Klima) vollkommen ausgeschlossen, während sie unter bestimmten Bedingungen (z.B. unbeheizte Schlafzimmer) in den kältesten Wintermonaten möglich ist. Durch un stetiges Heizen kann diese Gefahr völlig unterbunden werden.

Bei der Untersuchung der mit dem vorgeschlagenen Wärmdämmverbundsystem gedämmten Außenwände unter identischen Rahmenbedingungen wurde festgestellt, dass die Schimmelpilzgefahr zum großen Teil sowohl in Damaskus als auch in Lattakia beseitigt wurde. Nur in einem heißen und feuchten Klima (Lattakia, Sommer) besteht die Gefahr weiterhin, welche durch un stetige Kühlung zu beseitigen ist. Darüber hinaus ist jedoch keine Tauwasserbildung an den Wärmebrücken mehr zu erwarten. Schließlich wurde aufgezeigt, dass regulative Maßnahmen notwendig sind, um das energiesparende Bauen in Richtung einer nachhaltigen Baupolitik in Syrien zu thematisieren und fortzuentwickeln. Sie sollen hauptsächlich die am Baubeteiligten, die Normen und Gesetze, die Bauförderprogramme und die Medien betreffen.



### **11.2 Ausblick für weitere Forschungsarbeiten**

- Erweiterung und Vertiefung der Untersuchung, um unterschiedliche Lösungen und Konzepte für unterschiedlichste Gebäudearten und Klimabedingungen auf Basis des energiesparenden Bauens zu entwickeln
- Verifizierung und Weiterentwicklung der gewonnenen Erkenntnisse über das hygrische Verhalten von den syrischen Bauteilen durch weitergehende hygrische Messungen vor Ort
- Erweiterung der Datenbank über bauphysikalische Eigenschaften, so dass möglichst viele Baustoffe des syrischen Marktes berücksichtigt werden
- Bearbeitung und Validierung weiterer hygrothermischer Simulationswerkzeuge, welche weitere Feuchte- und Wärmetransportsmechanismen beschreiben können
- Meteorologische Arbeiten zur Erweiterung der Klimadateien in Format TRY, um die unterschiedlichen Klimaregionen in Syrien zu erfassen (z.B. Gebirgsklima)
- Heimische Untersuchungen von Baumaterialien (für Dämmstoffe, Fenster etc.) nach nachhaltigen Kriterien (z.B. Verfügbarkeit der Rohstoffe, Herstellungs-, Entsorgungs-, Recyclingmöglichkeiten, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, Anwendungsbereiche)
- Forschungen zur Nutzung der erneuerbaren Energie bei der Herstellung von Dämmstoffen
- Beschaffung belastbarer Daten über den gesamten Primärenergieverbrauch für die Heizung und die Kühlung in den unterschiedlichen Verbrauchssektoren und über die Heiz- Kühlsysteme sowie deren energetische Leistung
- Entwicklung der erforderlichen nachhaltigen Baupolitik, welche eindeutige kurzfristige und langfristige Strategien enthalten muss.

## 12. Literaturverzeichnis

**ADAN, O. (1994):** On the fungal defacement of interior finishes. Eindhoven, University of Technology, Diss., 1994.

**AHLBORN (2003):** ALMEMO – Handbuch für alle ALMEMO Messgeräte V5. 4., überberarb. Aufl., Holzkirchen, 2003.

**AKÖH (1998):** Positivliste Baustoffe, der Ratgeber zur Baustoffauswahl im Holzhausbau. Kassel: Arbeitskreis Ökologischer Holzbau e.V., 1. Aufl., 1998.

**BECKER, F. (2002):** Ausschreibung von ökologisch eingerechneten Sanierungsmaßnahmen. Bremen, Universität, Fakultät Bauingenieurwesen, Dipl., 2002.

**BIER, W. (2002):** Untersuchung von Gebäuden mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf- validierte Modellierung zur thermischen Simulation. Siegen, Universität, Fachbereich Physik, Dipl., 2002.

**BLOMBERG, T. (2000):** PC-Programm für zweidimensionalen Wärmedurchgang Handbuch mit Einführung in die theoretischen Grundlagen und Beispielen. Version 5. Stand August 2000, Deutsche Fassung, 2005.

**BLOMBERG, T. (2001):** PC-Programm für dreidimensionalen Wärmedurchgang Handbuch mit Einführung in die theoretischen Grundlagen und Beispielen. Version 4. Stand September 2001, Deutsche Fassung, 2005.

**BRS (2000):** Bundesverband Rolladen + Sonnenschutz e.V.: Technische Richtlinie, Rolladen und Rolladenkasten – Blatt 3. Bonn, 2000.

**BSWVT (1998):** Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie: Hinweise zum Energiesparen 13; Temporärer Wärmeschutz / Fensterabdeckungen.

<http://www.stmwvt.bayern.de/pdf/energie/13.pdf>, 17.04. Stand 1998, Abfrage: 14.01-2007.

**BVBW (2002):** Umweltzeichnungen und –Deklarationen. Bundesministerium für Verkehr, Bau– und Wohnungswesen, Referat BS 31.

<http://www.iemb.de/moe/moe19/pre-umweltdeklarationen.pdf>. Stand 08.11.2002, Abfrage: 20.02.2007.

**DBRI (2001):** BSim User's Guide, version 4.4.8.11, 11. Hørsholm, Denmark: Danish Building Research Institute, 2001.

**DIBT (2005):** Bauaufsichtliche Zulassungen (BAZ); Teil I: Tragwerke, Wärme- und Schallschutz. Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin: ERICH SCHMIDT Verlag, Ordner 4., 2005.

**ENEV (2007):** Energieeinsparverordnung, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und Energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Bundesrechtsverordnung, Juli 2007.

**EOTA (2000):** Leitlinie für europäische Zulassung für außenseitiges Wärmedämmverbundsystem mit Putzschicht. Europäische Organisation für Technische Zulassung, Brüssel, 2000.

**ESPINOSA, R. M. (2005):** Sorptionsisothermen von Zementsteinen und Mörteln. Hamburg Harburg, Technische Universität, Institut für Bauphysik und Werkstoffe im Bauwesen, Diss., 2005.

**FEIST, W. (2001):** Energieeffizienz, in Handbuch Energie. Heidelberg 2001.

**FEIST, W. (2004):** Wärmebrücken; Ursache und Auswirkungen, Hinweise zur Verringerung und Vermeidung. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, und Landentwicklung, Institut Wohnen und Umwelt IWU, 2004.

**FISCH, N.; KRÜGER, E.; ULRIKE, A. (2001):** Energetische Gebäudeplanung, Energieeinsparungsverordnung in der Praxis. Köln, R-Müller, 2001.

**FR (2007):** Antrag auf Baugenehmigung. Finanzministerium in Rheinlandpfalz.

[http:// www.fm.rlp.de/Bauen/Baurecht und Bautechnik/Vordrucke/PDF/An-lage1.pdf](http://www.fm.rlp.de/Bauen/Baurecht_und_Bautechnik/Vordrucke/PDF/An-lage1.pdf).  
Abfrage: 19.9.2007.

**FRANK, W. (1975):** Raumklima und thermische Behaglichkeit. Berlin: Ernst & Sohn.  
Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, 1975.

**GERKEN, D. (1997):** Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) im Wohnungsbau; Bestandanalyse zur langfristigen Lebensdauer und Kostendämpfung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1997.

**GERTIS, K.; ERHORN, H.; REISS, J. (1999):** Klimawirkungen und Schimmelpilzbildung bei sanierten Gebäuden. Proceedings Bauphysik-Kongress in Berlin (1999), S. 241-253.

**GÖSELE, K.; SCHÜLE, W. (1989):** Schall- Wärme- Feuchte. Bauverlag 1989.

**HALBOUNI, G. (1978):** Untersuchung zur Entwicklung des Wohnungsbaus in Gebieten mit trocken-heißem Klima unter besonderer Berücksichtigung bauklimatisch und hygienisch optimaler Lösungen, dargestellt am Beispiel der Stadt Damaskus. Dresden, Technische Universität, Diss., 1978.

**HANNEMANN (2007):** Merkblatt für Mieter; so Vermeiden Sie Feuchteschäden in Ihrer Wohnung. Hannemann Gruppe, Ebert- Bausanierung.  
<http://www.hannemann-gmbh.de/07merkblattlueften.pdf>. Abfrage: 18.09.2007.

**HANS, P. (2007):** BAU 2007 richtungweisend für „Nachhaltiges Bauen “ Umwelt Deklaration für Bauprodukte kommen, Presseinformation.  
[http://www.ba-umwelt.com/fileadmin/user\\_upload/RR/aub-pm-33-bau2007.pdf](http://www.ba-umwelt.com/fileadmin/user_upload/RR/aub-pm-33-bau2007.pdf). Stand 01.2007.

**HERMANN, J. (2006):** Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Potential von klein- Block-heizkraftwerken. Max- Planck Institut für Plasmaphysik, IPP- Report 16/8, 2006.

**HOLM, A. H. (2001):** Ermittlung der Genauigkeit von Instationären hygrothermischen Bauteilberechnungen mittels eines stochastischen Konzepts. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur - und Vermessungswesen, Diss., 2001.

**HOLM, A.; KRUS, M.; KÜNZEL, H. M. (2002):** Approximation der Feuchtespeicherefunktion aus einfach bestimmbar Kennwerte. IBP- Mitteilung 29 (2002), Nr. 406.

**IBP (2001):** Feuchtetransport durch Bauteile Rechnerische Simulation mit Hilfe des Modells WUFI. Fraunhofer- Institut für Bauphysik IBP, 2001.

[http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/drundl ueberblick.html](http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/drundl_ueberblick.html). Abfrage: 31.7.2007.

**IFT, ROSENHEIM (2007):** Leitfaden zur Montage von Fenstern und Fenstertüren. Rosenheim: Institut für Fenstertechnik e.V., 4. Aufl. Verlaganstalt Handwerk, 2007.

**IIB, ÖI, FKG, FK (2000):** Endbericht für Forschungsvorhaben "Europäisches Umweltzeichen für ökologische Bauprodukte" des Umweltbundesamtes". Institut für Industrielle Bauproduktion, Öko-Institut, Institut für angewandte Ökologie e.V., Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Fachhochschule Kiel, Fachbereich Bauwesen. [http:// www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/1985.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/1985.pdf). Stand, 2000. Abfrage: 20.5.2007.

**KALLENRODE, M. -B. (2005):** Bauphysik- Bau und Bauenergie. Osnabrück, Universität, Fachbereich Physik, Lehrenskript, 2005.

<http://www.sotere.uni-osnabrueck.de/Lehre/skript/bauphys.pdf>

**KAST, W.; JOKISCH, F. (1972):** Überlegungen zum Verlauf von Sorptionsisothermen und zur Sorptionskinetik an porösen Feststoffen. Chemie-Ingenieur Technik – CIT, 1972, H. 8, S. 556-563.

**KIESSL, K.; KRUS, M.; KÜNZEL, H. M. (1993):** Weiterentwickelte Mess- und Rechenansätze zur Feuchtebeurteilung von Bauteilen, Praktische Anwendungsbeispiele. Bauphysik 15 (1993), Nr. 2, S. 61-67, ISSN: 0171-5445

**KRUS, M. (1995):** Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Diss., 1995.

**KRUS, M.; KÜNZEL, H. M. (1995):** Beurteilung des Feuchteverhaltens von Natursteinfassaden durch Kombination von rechnerischen und experimentellen Untersuchungsmethoden. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 1 (1995), H. 1, S. 5-19.

**KRUS, M.; KÜNZEL, H. M. (1996):** Vergleich experimenteller und rechnerischer Ergebnisse anhand des Austrocknungsverhaltens von Ziegelwänden. Wien, CIB-Beitrag, 1996.

**KRUS, M.; SEDLBAUER, K.; KÜNZEL, H. (2005):** Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht. Stuttgart, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, 2005.

**KÜNZEL, H. (1984):** Zusammenhang zwischen der Feuchtigkeit von Außenbauteilen in der Praxis und den Sorptionseigenschaften der Baustoffe. Bauphysik 4, 1984, H. 3, S. 101-107.

**KÜNZEL, H. (1991):** Feuchteinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit bei hygroskopischen und nicht hygroskopischen Stoffen. In: WKSB 36 (1991), H. 29, S. 15-18.

**KÜNZEL, H. (1994):** Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur - und Vermessungswesen, Diss., 1994.

**KÜNZEL, H. (2006):** Wärmedämmung– Wohnverhalten- Feuchteschäden. WKSB 55 (2006), S. 2-6.

**KÜVER, J.; PETERSCHEWSKI, J.; MEINKE, R. (2003):** Untersuchungen zum Verhalten von konventionellen und ökologischen Dämmstoff gegenüber mikrobiellem Befall unter verschiedenen klimatischen Klimabedingungen und Bewertung der

mikrobiellen Kontamination für die Wohnhygiene und Effizienz der Energieeinsparung. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2003, 65 S. Abb.,Tab.,Lit.

**LMB (2002):** Ökologisches Bauen. Landkreis Mainz – Bingen, Much: Verleger Buch Broschüre VBB Thissen, Aufl. 5, 2002.

**LÜZKENDORF, T. (2000):** Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung in Baubereich. Weimar, Universität, Fakultät Architektur, Habil., 2000.

**MAINKA, G. -W.; HARFOSH, M. A. (2006):** Automatische Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten. Rostock, Universität, In: Rostocker Berichte aus dem Fachbereich Bauingenieurwesen, Heft 16, 2006, S. 139-148.

**MAINKA, G.-W., PASCHEN, H. (1986):** Wärmebrückenkatalog; Tafeln mit Temperaturverläufen, Isothermen und Angaben über zusätzliche Wärmeverluste. Stuttgart: B.G. Teubner Verlag, 1986.

**MANGOLD, D.; HEIDMANN, W.; MÜLLER-STEINHAGEN, H. (2004):** Einflüsse des Klimas auf die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit solar unterstützter Nahwärmesysteme. Stuttgart, Universität, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, 2004.

**MCB (2006):** Tables of Materials for Building. Lattakia: Military Company for Building, 2006.

**ME (2002):** new Report for the Prices of consumed Electricity. Damascus: Ministry of Electricity in Syrian Arab Republic, 2002.

**ME (2004):** Demand-Side Management (DSM) Assessment Project, Final Report. Damascus: Ministry of Electricity in Syrian Arab Republic, 2004.

**ME (2005):** Status of the Building Codes and Energy Efficiency Standards and Labels in SYRIA. Damascus: Ministry of Electricity in Syrian Arab Republic, .2005.

**ME (2007):** new Report for the Prices of consumed Electricity. Damascus: Ministry of Electricity in Syrian Arab Republic, 2007.

**NERC (2006):** The Syrian energy sector; energy efficiency and renewable energy action Plan. Damascus: National Energy Research Center in Syria, 2006.

**NLGA (2003):** Ein Modell zur Simulation der Qualität der Innenraumluft am Beispiel von CO<sub>2</sub>; Handbuch zum Programm QUIRL/CO<sub>2</sub> Version 1.0. Hannover: Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, 2003.

**NORTHOLT, M.; FRISVAD, J.; SAMSON R. (1995):** Occurrence of food-borne fungi and factors for growth. In: Samson RA et al. (ed.) Introduction to food-borne fungi, CBS, Baarn, NL, 1995.

**PERROCHET, J. (1990):** Dichte. Schweiz Lebensmittelbuch Kapitel 67, Wabern-Bern, 1994.

**PLAGGE, R.; SCHEFFLER, G.; GRUNEAULD, J. (2005):** Automatische Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten und des kapillaren Wassergehaltes von porösen Baustoffen. Berlin: Ernst & Sohn. Bauphysik 27 (2005), Heft 6, S. 315–323.

**PRÖSLER, M. (2004):** Umweltinformationen für Produkte und Dienstleistungen; Anforderungen, Instrumente, Beispiele. Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Auflage 2, 2004.

**REYER, E.; SCHILD, K.; VÖLKNER, S. (2003):** Wärmedämmstoffe und – systeme, Bauphysik Kalender 2003. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2003.

**RODE, C. (1990):** combined heat and moisture transfer in building components. Denmark, Technical University, Diss., 1990.

**ROTTER, G. (1995):** Syrien, Edition – Erde- Reisenführer. Nurnberg: BW- Verlag, 1995.



**ROZYNSKI, M.:** Sanierung von Bürohochhäusern der 1960 er und 1970 er Jahre. Carolo Wilhelmina zu Braunschweig, technische Universität, Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Diss., 2006.

**SCFA (2005):** yearly Report. Damascus: Syrian Commission for Family Affairs, 2005.

**SCG (2005):** Report 2005 Investing of Gas in Syria. Damascus: Syrian Company for Gas, 2005.

**SCHILD, K. (2006):** Sommerlicher Wärmeschutz. Lehrveranstaltung, Bauphysik II. Bochum, Ruhr- Universität, Fakultät Baukonstruktionen und Bauphysik, 2006.  
[http://www.ruhr-unibochum.de/bauko/downloads/bph2\\_sommerlicher\\_waermeschutz.pdf](http://www.ruhr-unibochum.de/bauko/downloads/bph2_sommerlicher_waermeschutz.pdf). Abfrage: 07.03.2007.

**SEDLBAUER, K. (2001):** Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Diss., 2001.

**SEDLBAUER, K.; KRUS, M. (2002):** Schimmelpilz aus bauphysikalischer Sicht Beurteilung durch aw- Werte oder Isoplethensysteme. Beitrag zur Tagung "Schimmelpilze im Wohnbereich" der TU München. Fraunhofer- IBP, Fachpublikation, 2002.

**SEDLBAUER, K.; KRUS, M.; Zillig, W. (2001):** Schimmelpilzbildung in dampfdichten Steildächern . IBP- Mitteilung 28 (2001), Nr. 385.

**SEUNIG, G. (2004):** Wärmeschutz an der Außenwand. München: Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr, und Technologie, Merkblatt 14, 2004.  
[http://www.landesentwicklung.bayern.de/pdf/energie/merkbaetter/Merkblatt\\_14.pdf](http://www.landesentwicklung.bayern.de/pdf/energie/merkbaetter/Merkblatt_14.pdf). Abfrage: 10.03.2006.

**SFOE (2003):** Meteotest, Handbooks: Theory 1, 2 of Meteorology. The Swiss Federal Office of Energy, 2003.

**SIERIG, J. (2006):** Wärmepumpensysteme – Vergleich und Einsatzmöglichkeiten. Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz, Wärmepumpen Tag, 2006.

[http://www.tsb-energie.de/veranstaltung/ve\\_wp.html](http://www.tsb-energie.de/veranstaltung/ve_wp.html). Abfrage: 25.09.2007.

**SILBERNAGEL, S.; DESPOPOLOUS, A. (1991):** Taschenbuch der Physiologie. Thieme Verlag, 4. Auflage (1991).

**STO AG (2005):** Bewusst Bauen: Fassade, Innenraum, Beton. Sto AG Katalog, 2002.

**STRÄSSER, M. (1999):** Klimadiagramm- Atlas der Erde. Teil 2: Asien, Lateinamerika, Afrika, Australien und Ozeanien, Polarländer. Monats- und Jahresmittelwerte von Temperatur und Niederschlag für den Zeitraum 1961 bis 1990. Dortmund, 1999.

**TERHAAG, L. (1986):** Thermische Behaglichkeit. Beckert J. et al., Gesundes Wohnen. Düsseldorf: Beton- Verlag, 1986.

**THERMOSOLAR (2004):** KfW-CO<sub>2</sub> Gebäudesanierungsprogramm; Programm- Nr. 130, 132. Online: [http://www.Thermosolar.com/pdf/bund\\_gebsan.pdf](http://www.Thermosolar.com/pdf/bund_gebsan.pdf). Abfrage: 22.11.2004.

**UBA (2000):** Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Umweltbundesamt Umwelt Bundes Amt für Mensch und Umwelt, Berlin-Brandenburg, 2000.

**UBA (2004):** Hilfe Schimmel im Haus, Ursachen - Wirkungen Abhilfe. Umwelt Bundes Amt für Mensch und Umwelt, Berlin, 2004.

**UBA (2005):** Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Umwelt Bundes Amt für Mensch und Umwelt, Dessau, 2005.

**WAREMA (2003):** Sonnenschutztechnik: Einstellbarer sommerlicher Wärmeschutz. <http://www.warema.de/informationen/enev/pdf/EinstellbSommerlWaermeschutz.pdf>, 02.04.2003, Abfrage 20.02.2006.

**WEISS, R.-G.; PAPAROTH, O. (2001):** Leitfaden Ökologische Dämmstoffe; Wärmedämmung für Wohngesundheit und Energieeinsparung. Bonn: NABU Bundesverband, 2001.

**VOGDT, F. (2004):** Bewertung der nach Nachhaltigkeit von baulichen Maßnahmen; Erstbewertung entsprechend des Leitfadens „ Nachhaltiges Bauens“. [http:// www.iemb.de/moe/moe19/nachhaltigkeit.pdf](http://www.iemb.de/moe/moe19/nachhaltigkeit.pdf). Abfrage 20.11.2004

**VÖLKNER, S. (2003):** zum Einfluss räumlich begrenzter Diskontinuität auf die zeitabhängige Feuchteverteilung in Außenwänden. Bochum, Universität, Fakultät für Bauingenieurwesen, Diss., 2003.

**ZDD (2001):** Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik e.V.: Fachregel für Dächer mit Abdichtungen; Flachdachrichtlinien. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks-Fachverband, 2001.

**ZEN, A.; HENDI, E. (2006):** the national project to use the solar energy for heating the housing water. Damascus: National Energy Research Centre (NERC) in Syria, 2006.

**ZILLIG, W. (2001):** Hygrothermisches Modell zur rechnerischen Vorhersage des Schimmelpilzbefalls. Rosenheim, Fachhochschule, Dipl., 2001.

*Normen und Vorschriften:*

**DIN 1036:** Dichte Begriffe, Angaben. Juni 1984.

**DIN 1946-2:** Raumluftechnik – Gesundheitliche Anforderungen. Januar 1994.

**DIN 4102-1:** Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Mai 1998.

**DIN 4108–2:** Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. März 2003.

**DIN 4108-3:** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden- Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Juli 2001.

**DIN 4108-6:** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Juni 2003.

**DIN 4108-7:** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele. August 2001.

**DIN 13363-1:** Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen- Berechnungen der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades- Teil 1: Vereinfachtes Verfahren.

**DIN 18195:** Bauwerkabdichtungen - Teil 1 bis 10. August 2000, März 2006.

**DIN 18202:** Toleranz im Hochbau- Bauwerke. Oktober 2005.

**DIN 18531-4:** Dachabdichtungen- Abdichtungen für nicht genutzte Dächer- Teil 4: Instandhaltung.

**DIN 18550:** Putz; Putzsysteme- Ausführung. April 2005.

**DIN 18558:** Kunstharzputze; Begriffe, Anforderungen, Ausführung. Januar 1985.

**DIN 18560:** Estriche im Bauwesen – Teil 1 bis 7. April 2004.

**DIN 52103:** Prüfung von Naturstein und Gesteinkörnungen; Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert. Oktober 1988.

**DIN 55699:** Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystem. Februar 2005.

**DIN 66133:** Bestimmung der Porenvolumenverteilung und spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Quecksilberintrusion. Juni 1993.

**DIN 4108 Beiblatt 2:** Wärmeschutz und Energiesparung in Gebäuden- Wärmebrücken- Planung – und Ausführungsbeispiele. März 2006.

**DIN EN 832:** Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wohngebäude. Juni 2003.

**DIN EN 998-1:** Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau. September 2003.

**DIN EN 1159-3:** Keramische Verbundwerkstoffe, thermophysikalische Eigenschaften Teil 3: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität, Deutsche Fassung. Juli 2003.

**DIN EN 12667:** Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten- Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät - Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand. Mai 2001.

**DIN EN 12831:** Heizungsanlagen in Gebäuden- Verfahren zur Berechnung der Norm- Heizlast. März 2003.

**DIN EN 13125:** Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand; Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt. Oktober 2001.

**DIN EN 13162:** Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW). Oktober 2001.

**DIN EN 13163:** Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS). Oktober 2001.

**DIN EN 13779:** Lüftung von Nichtwohngebäuden- Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage. Juli 2005.

**DIN EN 13914-1:** Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen; Teil 1: Außenputz. Juni 2005.

**DIN EN 15251:** Einsparparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden- Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Juli 2005.

**DIN EN ISO 8996:** Ergonomie der thermischen Umgebung- Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes. Januar 2005.

**DIN EN ISO 10211-1:** Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. November 1995.

**DIN EN ISO 12569:** Bestimmung des Luftwechsels in Gebäuden, Indikatorgasverfahren. März 2001.

**DIN EN ISO 12571:** Wärme- und Feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten- Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften. April 2000.

**DIN EN ISO 12572:** Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit. September 2001.

**DIN EN ISO 13934-1:** Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden Teil 1; Bestimmung der Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen- Zugversuch. April 1999.

**DIN EN ISO 15148:** Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen. März 2003.

**DIN V 4108–10:** Wärmeschutz und Energie- Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe. Februar 2002.

**DIN V 4701-10:** Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. August 2003.

**DIN V 18559-4:** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz und Endenergiebedarf für Beleuchtung. Februar 2007.

**DIN V 18599-7:** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik – und Klimakältesystemen. Februar 2007.

**EN ISO 10077-2:** Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten- Teil 2; Numerisches Verfahren für Rahmen. Oktober 2003.

Webseiten:

**AUB:** Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt.

<http://www.bau-umwelt.com/verfahren.html>. Abfrage: 23.08.2007.

**FAO:** Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

<http://fao.org/AGPC/doc/Counprof/syria.htm>. Abfrage: 07.01.2008.

**FDSG:** Fensterbau D. Schulze-Gräfe.

<http://www.schulze-graefe.de/produkt2>. Abfrage: 10.07.2007.

**HEIZ-TIPP:** Energieratgeber.

<http://www.heiz-tipp.de/ratgeber-735-Uebersicht.html>. Abfrage: 12.11.2007.

**P&P CO<sub>2</sub>- MANGMENT:** Pein&Pein CO<sub>2</sub> Management, Unternehmen.

[http://www.co2management.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=19&Itemid=45](http://www.co2management.de/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=45). Abfrage: 05.06.2007.

**SOLARINTIGATION:** Informationsdienst für solares Gestalten und Bauen.

<http://solarintegration.de/index.php?id=59>. Abfrage: 20.10.2007

**WEATHERUNDERGROUND:** Weather Underground.

<http://deutsch.wunderground.com/global/SY.html>. Abfrage: 03.02.2006

**WETTERONLINE:** WetterOnline.

<http://www.wetteronline.de/Syrien.htm>. Abfrage: 04.02.2006

PC Programme:

**AHH.5:** Air Humid Handling. Version 5. Suisse, Zeller Consulting, 1994.

**BSIM:** Bulding Simulation. Version 4, 6, 1, 10. Denmark, Danish Building Research Institute, 2002.

<http://www.sbi.dk/indeklima/simulering/bsim-building-simulation/>.

**DOE-2.2:** Software program for building energy simulation. Version 2. USA, Department of Energy.

<http://www.doe2.com/>.

**HEAT 2:** Heat Transfer in two Dimensions, PC- Program, Version 5, 1999.

<http://www.buildingphysics.com/>.

**HEAT 3:** Heat Transfer in three Dimensions, PC- Program, Version 4, 2000.

<http://www.buildingphysics.com/>.

**HYGROAPPROX:** hygrothermische Approximation.

<http://www.hoki.ibp.fhg.de/wufi/downloads.html>.

**QUIRL/CO2:** Qualität der Innenraumluft. Version 1. Hannover, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, 2005.

**SONNENGANGCG:** Sonnenstandberechnung. Zürich, Kantonsschule Züricher Unterland, 2005.

[http://www.kzu.ch/personen/schueler/projekte/AM\\_6h\\_FS05\\_Sonnengang/Prgm/SonnengangCG.xls](http://www.kzu.ch/personen/schueler/projekte/AM_6h_FS05_Sonnengang/Prgm/SonnengangCG.xls).

**TRNSYS:** Transient System Simulation. USA, University of Wisconsin.

<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>.



**WUFI:** Wärme und Feuchte Instationär. Version 4 IBP. Holzkirchen, Fraunhofer Institut für Bauphysik.

<http://www.ibp.fraunhofer.de/software/wufi.html>.

## **Lebenslauf**

### **Persönliche Angaben**

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Name                | Muhamad Ayas Harfosh  |
| Geburtsdatum        | 29.3.1974             |
| Geburtsort          | Lattakia / Syrien     |
| Familienstand       | verheiratet, 2 Kinder |
| Staatsangehörigkeit | syrisch               |

### **Bildungsweg**

|                         |                                                                                                                                                                          |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09.1980 – 08. 1986      | Grundschule                                                                                                                                                              |
| 09.1986 – 08. 1989      | Mittellehreschule                                                                                                                                                        |
| 09.1989 – 08. 1992      | Gymnasium                                                                                                                                                                |
| 10.1992 – 08. 1997      | Studiengang Bauingenieurwesen/Umweltschutz<br>Universität Tishreen / Lattakia                                                                                            |
| 01.01.1999 – 10.12.2001 | Magister „ Bau eines Expertensystems zur Steuerung<br>der biologischen Behandlung von Abwasser in der<br>Klärungsanlage Adra-Damaskus ”<br>Universität Tishreen/Lattakia |

### **Praktika / Weiterbildung**

|                         |                                                                                       |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.01.1998 – 01.01.1999 | Staatliches Wasser- und Abwasserunternehmen<br>(staatliche Stelle) in Syrien          |
| 01.11.2004 – 31.12.2004 | Iproplan Planungsgesellschaft mbH<br>Beratende Ingenieure und Architekten in Chemnitz |

### **Fähigkeiten**

|                 |                                                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PC – Kenntnisse | MS Word, MS Excel, PowerPoint,<br>Fachliche Berechnungsprogramme /HEAT2, HEAT 3<br>Dämmwerk, WUFI, BSIM/. |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel: „Untersuchung zur Verbesserung des hygrothermischen Verhaltens von Gebäuden in Syrien als Beitrag für eine nachhaltige Baupolitik“ selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe.

Rostock, den 13.02.2008

# Thesen zur Dissertation

## Zielsetzung

- In Syrien berücksichtigen die üblicherweise angewendeten Bauverfahren die Konzepte eines energetisch optimierten Bauens und entsprechende Anforderungen bisher noch nicht in Betracht. Dies führt zu einem hohen Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf und zur niedrigen Bauqualität. Wissenschaftliche Arbeiten sind erforderlich, um energetisch verbesserte Konzepte entsprechend der syrischen Gegebenheiten umzusetzen.
- Eine eigene Datenbank für die bauphysikalischen Eigenschaften der in Syrien verwendeten Baustoffe und Bauteile ist nicht vorhanden. Die vorliegende Arbeit kann als Basis für diese erforderliche Datenbank zur Verfügung gestellt werden
- Simulationswerkzeuge zur flexiblen hygrothermischen Bewertung der Gebäude werden in Syrien bisher nicht angewendet. Diese Arbeit ermöglicht eine detaillierte Vorstellung über Möglichkeiten und Potenziale solcher Werkzeuge.
- Zur Durchsetzung des energiesparenden Bauens sind in Syrien zusätzlich regulative Maßnahmen für das Bauwesen selbst und die Thematisierung des Problems in der Öffentlichkeit (Fortbildung, Medien) erforderlich.

## Ergebnisse

- Das Simulationsmodell BSIM ist für die realnahen thermischen und energetischen Berechnungen von Gebäuden funktionsfähig.
- Aufgrund der bauphysikalischen Kennwerte der syrischen Baustoffe und Bauteile sowie der üblicherweise verfolgten Bauverfahren tritt sowohl im Sommer als auch im Winter unter den herrschenden Klimabedingungen ein extrem unbehagliches Raumklima in den Wohngebäuden auf.
- Weiterhin sind die Außenwände besonders im feuchten regenreichen Klima der Küstenregion für Schimmelpilzbildung anfällig. Die Tauwasserbildung an Wärmebrücken ist auch im kalten winterlichen Klima nicht auszuschließen.
- Aufgrund dieser extrem Unbehaglichkeit benötigen die Wohngebäude einen gesamten Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf bis zu 250 kWh/(m<sup>2</sup>a) für die Küstenregion und bis zu 350 kWh/(m<sup>2</sup>a) für die Binnenregion.
- Der Heiz- und Kühlenergiebedarf überschreitet in Syrien den Heizwärmebedarf des Altbaubestandes in Deutschland.

- Durch einfache konstruktive Wärmeschutzmaßnahmen (Außendämmung, Fenaustausch, Wärmebrückenreduzierung und Sonnenschutzvorrichtungen) kann der Heiz- und Kühlenergiebedarf von Wohngebäuden in Syrien generell um ca. 75 % zu reduziert werden.
- Durch diese Reduzierung kann der Standard so genannter Niedrigenergiehäuser realisiert werden.
- Die zu erwartende Energieeinsparung erbringt eine wesentliche Reduzierung des jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des Landes insgesamt.
- Die Investitionskosten der getroffenen Maßnahmen amortisieren sich unter den syrischen Gegebenheiten durch die jährliche Energieeinsparung kurzfristig.
- Die vorgesehene Wärmedämmung ist sowohl für den winterlichen als auch für den sommerlichen Wärmeschutz geeignet.
- Für die allgemeinen syrischen Rahmenbedingungen ist bei den Wärmeschutzmaßnahmen eine Dämmdicke zwischen 3 bis 5 cm als ökonomisch realistisch zu betrachten.
- Die Heizung der Gebäude und die Warmwasserbereitung stellt in Syrien ein wichtiges Potenzial zur Nutzung der erneuerbaren passiven und aktiven Energie dar.
- Durch das vorgeschlagene Wärmedämmverbundsystem kann die Schimmelpilzgefahr und die Tauwasserbildung weitgehend beseitigt werden.
- Die Thematisierung des energiesparenden Bauens in Syrien sollte als Aufgabe für unterschiedliche Bereiche (die Akteure des Bauwesens, der Bereich der Normung, der gesetzlichen Vorschriften bzw. der Wohnungsbauförderung und nicht zuletzt die Medien) verstanden werden und auf eine nachhaltige Baupolitik ausgerichtet werden.

### **Allgemeine Bedeutung der Arbeit**

- Die vorliegende Arbeit stellt eine Grundlage für weitere syrische Untersuchungen im Bereich der Bauphysik dar und beschreibt damit ein Forschungsgebiet, das trotz seiner wachsenden Bedeutung in Syrien bisher nur unzureichend behandelt wurde.
- Die Untersuchung ist für syrische Stellen (z.B. das nationale Zentrum für Energieforschung), die im Bereich der Energieforschung tätig sind, nutzbar.

- Die vorliegende Studie zeigt die erheblichen Potentiale zur Vertiefung der wissenschaftlichen und ökonomischen Beziehungen zwischen Deutschland und Syrien im Baubereich bzw. in der Bautechnik.

## Anhang

## **Tabellenverzeichnis**

|                |                                                                                                                                                                                               |     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle A2-1:  | Energiebedarf an Öl und Gas mit einer Vorhersage zur Entwicklung des Versorgungsprozesses in Syrien [NERC, 2006].....                                                                         | 1   |
| Tabelle A4-1:  | Wärmedurchlasswiderstände von Luftschichten [GÖSELE, 1989]....                                                                                                                                | 1   |
| Tabelle A6-1:  | Mindesthaftzugfestigkeit des Klebemörtels auf dem Untergrund bzw. dem Dämmstoff nach ETAG 004. ....                                                                                           | 130 |
| Tabelle A6-2:  | Bauphysikalische Eigenschaften der Dämmstoffe und deren Anwendung. ....                                                                                                                       | 130 |
| Tabelle A6-3:  | Verwendete Dämmstoffe im Bauwesen und deren Vor- und Nachteile. ....                                                                                                                          | 131 |
| Tabelle A6-4:  | Anwendungsgebiete von Wärmedämmung nach DIN 4108 –10....                                                                                                                                      | 132 |
| Tabelle A6-5:  | Vergleich der verschiedenen Materialien für Fensterrahmen [BECKER, 2002].....                                                                                                                 | 133 |
| Tabelle A8-1:  | Kosten-Nutzenanalyse zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der getroffenen Wärmeschutzmaßnahmen, Beispiele Damaskus und Lattakia (für eine Wohnung und Außendämmung von 5 cm Dämmdicke). .... | 134 |
| Tabelle A8-2:  | Untersuchungsergebnisse zur Effektivität der in Syrien vorhandenen Solarkollektoren von verschiedenen Herstellungsfirmen [ZEN und HENDI, 2006]. ....                                          | 135 |
| Tabelle A9-1:  | Für das Wachstum unterschiedlicher Schimmelpilze erforderliche mini-male Wasseraktivitäten (minimale $a_W$ - Werte) [NORTHOLT, 1995]. ....                                                    | 136 |
| Tabelle A9-2:  | Zusammenstellung und Bewertung der Einflussfaktoren auf das Schimmelpilzwachstum und deren Berücksichtigung im Vorhersagemodell [SEDLBAUER, 2001].....                                        | 136 |
| Tabelle A10-1: | Beispiele für deutsche Güte- und Umweltzeichen im Bereich der Bauprodukte [IIB, 2000].....                                                                                                    | 137 |
| Tabelle A10-2: | Beispiel einer Positivliste unterschiedlicher Baustoffe [AKÖH, 1998]. ....                                                                                                                    | 138 |



## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung A2-1: .....                                                                                                                                                                                                                                   | Landkarte des Staates Syrien [FAO].                                                                                                                                                                                                |     |
| .....                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                    | 139 |
| Abbildung A2-2: .....                                                                                                                                                                                                                                   | Klimazonen in Syrien [FAO].                                                                                                                                                                                                        |     |
| .....                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                    | 139 |
| Abbildung A2-3: Typisches Rohbauverfahren in Syrien: Stahlbetonskelett, Wände mit Hohlblocksteinen ausgemauert, Decke bzw. Dach als Stahlsteinplatte.                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                    | 140 |
| Abbildung A2-4: Beispiele von in Syrien verwendeten Hohlblocksteinen. Hohlblockstein für Wände mit 10 cm (links) und 15 cm Dicke (mittel) sowie für Stahlsteinplatten mit 18 cm Dicke (rechts).....                                                     |                                                                                                                                                                                                                                    | 140 |
| Abbildung A2-5: . Feuchteschäden und ästhetische Probleme an Gebäuden in Syrien, wodurch hohe Sanierungskosten entstehen (Beispiel Lattakia).....                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                    | 141 |
| Abbildung A4-1: .....                                                                                                                                                                                                                                   | Messgerät für die Porosität von Baustoffen (Quecksilberporosimetrie). Labor Wismar.....                                                                                                                                            | 141 |
| Abbildung A4-2: .....                                                                                                                                                                                                                                   | Wärmestrommessplatten-Gerät (2-Plattengerät) für die Wärmeleitfähigkeit von Materialien nach DIN EN 12667 (a) und schematischer Aufbau der Messordnung (b). ....                                                                   | 142 |
| Abbildung A4-3: . Eingabe zur Simulation der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von typischen syrischen Baustoffen (z.B. Hohlblockstein 15 cm, links) bzw. der Baukonstruktionen (z.B. Dach aus Stahlsteinplatte, rechts) durch das Programm HEAT 3..... |                                                                                                                                                                                                                                    | 142 |
| Abbildung A4-4: .....                                                                                                                                                                                                                                   | Eingabe zur Simulation der Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten von typischen Fenstern in Syrien durch Heat 2. Holzfenster (links) und Alufenster (rechts) wurden mit ihren Rahmen und Verglasungsscheiben dargestellt..... | 143 |
| Abbildung A4-5: Typisches Fenster in Syrien. Aluminiumfenster mit Schiebsystem und Einfachverglasung. ....                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                    | 143 |
| Abbildung A4-6: ...Versuche zur Bestimmung der Wasserdampfwiderstandszahl $\mu$ der untersuchten Proben in der Klimakammer nach DIN ISO 12572 bei einem Klima von 23 °C/50 % (a), und schematischer Aufbau der Messordnung (b). ....                    |                                                                                                                                                                                                                                    | 144 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung A4-7: ... Automatische Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten $W_w$ der untersuchten Baustoffe. Links: Waage mit Überlaufschale und Probe, rechts: Auswertungscomputer. ....                                                                          | 144 |
| Abbildung A5-1: ..Grundriss der Wohnung, in deren Wohnzimmer die Messungen von 20. 9 2005 bis 20.9.2006 durchgeführt werden (Beispiel Damaskus). ....                                                                                                            | 145 |
| Abbildung A5-2: ..Grundriss der Wohnung, in deren Wohnzimmer die Messungen von 19. 9 bis 19.10.2005 durchgeführt werden ( Beispiel Lattakia). ....                                                                                                               | 146 |
| Abbildung A5-3: .....Messungen vor Ort. a) Der benutzte 9-kanalige Datenlogger ALMEMO, b) Sensoren im Einsatz, c) Lichtstärkesensor und Luftfeuchte-Temperaturfühler, d) Globalstrahlungssensor auf dem Balkon.....                                              | 147 |
| Abbildung A5-4: .... Versuchsmaterialien zur Bestimmung des natürlichen Luftwechsels mit Hilfe von Tracergas nach DIN EN ISO 12569. CO <sub>2</sub> -Konzentrationsfühler (links), Flasche reinen CO <sub>2</sub> - Gases (mittel), und Messgerät (rechts). .... | 147 |
| Abbildung A5-5: .....Mollièr-Diagramm, das den thermodynamischen Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur, relativer Feuchte, absoluter Feuchte, und der spezifischen Enthalpie beschreibt [PC- Programm AHH. 5]. ....                                           | 148 |
| Abbildung A6-1: .... Anwendungsbeispiele für Wärmedämmung von Außenwänden. a) Außendämmung, b) Innendämmung, c) Kerndämmung ohne Luftschicht, und d) Dämmung mit hinterlüfteter Vorschale [SEUNIG, 2004]. ....                                                   | 149 |
| Abbildung A6-2: .....Angewendete Systeme bei der Wärmedämmung in Gebäuden: a) Außendämmung, b) Innendämmung, c) Kerndämmung, d) Dämmung mit hinterlüfteter Vorschale. ....                                                                                       | 149 |
| Abbildung A6-3: ..... Objektbeispiel für ein Wärmedämmverbundsystem WDVS aus Mineralwolle bzw. EPS mit Kalkzementputz als Oberputz [GERKEN, 1997].....                                                                                                           | 150 |
| Abbildung A6-4: ..... Beispiel für Flachdachdämmung mit Abdichtungsmaßnahmen. ....                                                                                                                                                                               | 150 |
| Abbildung A6-5: ..... Geometrische Wärmebrücke bei syrischen Bauteilen. Eine Außenwanddecke, vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung. ....                                                                                                                    | 151 |
| Abbildung A6-6: ..... Materialbedingte Wärmebrücke bei syrischen Baukonstruktionen. Eine durch Stahlbetonstürze durchgestoßene Außenwand, vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung. ....                                                                       | 152 |

|                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung A6-7: Materialbedingte Wärmebrücke bei syrischen Baukonstruktionen. Ein auf den Stahlbetonstürze aufgelagerter Deckenanschluss, vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung. ....                                                             | 153 |
| Abbildung A6-8: ..... Materialbedingte und geometrische Wärmebrücke bei syrischen Baukonstruktionen. Ein Eckstützenanschluss aus Stahlbeton, vor (Bild, a) und nach (Bild, b) der Dämmung. ....                                                        | 154 |
| Abbildung A6-9: ... Materialbedingte Wärmebrücken bei syrischen Baukonstruktionen. Ein auskragender Balkon (Stahlsteinplatte), vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung. ....                                                                        | 155 |
| Abbildung A6-10: .. Konstruktive Lösungen bei einer aus einem auskragenden Balkon resultierenden Wärmebrücke.), thermische Trennung mit Schöck-Isokorbsystem (Bild a) bzw. verlegte Dämmplatten auf der Ober- und Unterseite der Platte (Bild b). .... | 156 |
| Abbildung A6-1: ..... Beispiel eines Schöck-Isokorbes zur thermischen Trennung des Balkons von der Deckenplatte [Institut für Baukonstruktion und Bauingenieurwesen an der Universität Rostock]. ....                                                  | 157 |
| Abbildung A6-12: .... Ein vor die Fassade gestellter Balkon kann eine optimale Lösung zur Vermeidung der aus auskragendem Stahlbeton entstehenden Wärmebrücken darstellen [Gebäude 6, Waldemarstraße, Rostock]. ....                                   | 157 |
| Abbildung A6-13: ... Materialbedingte Wärmebrücken. Fensteranschluss bei syrischen Baukonstruktionen ohne Leibungsdämmung (Bild a) und mit Leibungsdämmung (Bild b). ....                                                                              | 158 |
| Abbildung A6-14: . Materialbedingte Wärmebrücken bei syrischen Baukonstruktionen. Ein Dachanschluss mit einer Attika, vor (Bild a) und nach (Bild b) der thermischen Trennung der Attika von der Dachplatte. ....                                      | 159 |
| Abbildung A6-15: ..... Beispiel eines Isolierglasfensters mit Holzrahmen und einer Aluoberbekleidungsschale [FDSG]. ....                                                                                                                               | 160 |
| Abbildung A6-16: ..... Beispiele für Aluminiumfenster ohne thermische Trennung (a, c) bzw. mit thermischer Trennung (b, d) [DOBRE-OKNA]. ....                                                                                                          | 160 |
| Abbildung A6-17: .... Effektivität der Sonnenschutzvorrichtungen im Verhältnis zu ihrer Positionierung [WAREMA, 2003]. ....                                                                                                                            | 161 |
| Abbildung A6-18: . Abstandswirkung der außenliegenden Sonnenschutzelemente von Fenstern [SCHILD, 2006]. ....                                                                                                                                           | 161 |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung A6-19: ..... | Beispiele für optimale Ausführung der Rolladenkästen, um Wärmebrücken an dieser Stelle zu vermeiden [BRS, 2000]. .....                                                                                                                                                                                          | 162 |
| Abbildung A6-20: ...   | Optimale Planung der Wärmeschutzelemente im Zusammenhang mit der Heizungspositionierung [BSWVT, 1998]. .....                                                                                                                                                                                                    | 162 |
| Abbildung A7-1: .....  | Grundriss des untersuchten Gebäudes. ....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 163 |
| Abbildung A7-2: .....  | Typisches Außenklima (a Außentemperatur und b relative Außenluftfeuchte) aus den benutzten Klimadaten (TRYs aus dem Programm METEOTEST) in den untersuchten Regionen (Beispiel Damaskus und Lattakia). ....                                                                                                     | 164 |
| Abbildung A7-3: .....  | Angenommene Belegungszeiten der untersuchten Wohnungen. ....                                                                                                                                                                                                                                                    | 164 |
| Abbildung A7-4: .....  | Erforderliche Zeit zum Erreichen des maximalen Wasserdampfgehalts in der Raumluft (Lüftungsbedarf). Berechnungsannahmen (frische kalte Außenluft mit 80 % relative Feuchte und 0 °C Temperatur, Feuchteabgabe 50g/h.Person). ....                                                                               | 165 |
| Abbildung A7-5: .....  | Erforderlicher Luftwechsel zum Erhalt des Richtwerts der CO <sub>2</sub> -Konzentration nach DIN 1946-2 im untersuchten Wohnzimmer (37 m <sup>3</sup> Volumen) und im Schlafzimmer (30 m <sup>3</sup> Volumen) mit durchschnittlich 2 Personen Raumbelegung. ....                                               | 165 |
| Abbildung A7-6: .....  | Bestimmung der erforderlichen Verschattungszeiten nach dem Azimut und der Sonnenhöhe (Bilder a bis c) in Anlehnung an das Sonnenstanddiagramm (Bild A) für 34° nördliche Breite. Für die südliche Fassade von 08.00 Uhr bis 15.00 Uhr und für die westliche Fassade ab 15 Uhr bis 19 Uhr. Beispiel August. .... | 166 |
| Abbildung A7-7: .....  | Simulationsergebnisse des Raumklimas in der südorientierten Wohnung für das Beispiel Damaskus vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.....                                                                                                                                                          | 167 |
| Abbildung A7-8: .....  | Simulationsergebnisse des Raumklimas in der nordorientierten Wohnung für das Beispiel Damaskus vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.....                                                                                                                                                         | 168 |
| Abbildung A7-9: .....  | Simulationsergebnisse des Raumklimas in der südorientierten Wohnung für das Beispiel Lattakia vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.....                                                                                                                                                          | 169 |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung A7-10: ..... | Simulationsergebnisse des Raumklimas in der nordorientierten Wohnung für das Beispiel Lattakia vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.....                                                                                                                         | 170 |
| Abbildung A7-11: ..... | Behaglichkeitsgrenze im Raumklima auf Grundlage des Verhältnisses von Raumlufttemperatur zur relativen Luftfeuchte.[TERHAAG, 1986].....                                                                                                                                         | 171 |
| Abbildung A8-1: .....  | Direkt- und Diffussolarstrahlungsertrag an den unterschiedlichen Fassaden der untersuchten Wohnzimmer für Dezember und Juni. Beispiele Damaskus und Lattakia. ....                                                                                                              | 171 |
| Abbildung A8-2: .....  | Thermische Behaglichkeit als Funktion der mittleren Oberflächentemperatur der umschließenden Fläche und der Raumlufttemperatur [Frank, 1975]. ....                                                                                                                              | 172 |
| Abbildung A8-3: ...    | Erforderliche Heiz- und Kühlstunden vor und nach der thermischen Verbesserung für die Beispiele Damaskus und Lattakia.....                                                                                                                                                      | 172 |
| Abbildung A8-4: .....  | Raumtemperaturverlauf ohne und mit der Heizung in unsaniertem Gebäudezustand. Beispiel Damaskus (nördliches Schlafzimmer am 02. Januar 2007).....                                                                                                                               | 173 |
| Abbildung A8-5: ...    | Energetische Gesamtbilanz der untersuchten Wohnungen Vor und nach der Verbesserung. Die Beispiele Damaskus (a, b) und Lattakia (c, d).....                                                                                                                                      | 173 |
| Abbildung A8- 6: ..    | Ein Balkon mit 0,7 m Breite an der Südseite kann die Fassade von 11.40 bis 12.20 Uhr im Juli und von 11.20 bis 12.40 Uhr im Juni total von der Sonne abschirmen, ohne den Solargewinn in der Heizperiode zu beeinträchtigen. Beispiel 34 ° nördliche Breite.....                | 174 |
| Abbildung A8-7: .....  | Beispiele für den Einfluss des A/V–Verhältnisses auf die Energiekennwerte von Gebäuden [FEIST (1998)]. ....                                                                                                                                                                     | 174 |
| Abbildung A8-8:        | Wärmepumpensysteme zur Erzeugung von Wärme in Gebäuden aus der Luft (Bild a: Luft/Wasser-System), aus dem Grundwasser (Bild b: Wasser/Wasser-System) und aus dem Boden (Bild c bzw. d: Sole/Wasser-System durch Erdwärmesonde bzw. horizontale Kollektoren) [SIERIG, 2006]..... | 175 |
| Abbildung A8-9: .....  | Technische Anwendung zur Stromerzeugung aus erneuerbarer Energiequelle / Fensterladen mit Solarzellen kombiniert [SOLARINTIGATION].....                                                                                                                                         | 175 |

|                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung A8-10: ..... Zu- und Abluftsystem mit einem Erdwärmetauscher und Wärmerückgewinnung. Ein beträchtlicher Teil des Heiz- und Kühlenergiebedarfs kann durch dieses System gedeckt werden [HEIZ-TIPP].....                           | 176 |
| Abbildung A9-1: ..... Tauwasserbildung nach dem Mollièr-Diagramm. Beispiel für eine stationäre Berechnung mit einer Raumtemperatur von 20 °C bzw. 22 °C und einer relativen Raumfeuchte von 50 %. [PC- Programm AHH. 5]. ..                | 176 |
| Abbildung A9-2: ..... Berechnete Schnitte von den mit WUFI untersuchten Bauteilen. ....                                                                                                                                                    | 177 |
| Abbildung A9-3: ..... Beispiel für Feuchteprobleme an einer Innenoberfläche einer westorientierten Außenwand einer Wohnung in Lattakia aufgrund der klimatischen Umgebungswirkung. ....                                                    | 178 |
| Abbildung A10-1: ..... Exemplarische Schutzziele des nachhaltigen Bauens [VOGDT, 2004].....                                                                                                                                                | 178 |
| Abbildung A10-2: .. Muster eines Merkblattes zur Vermeidung von Feuchteschäden in Folge des falschen Verhaltens in der Wohnung [HANNEMAN, 2007]. ..                                                                                        | 179 |
| Abbildung A10-3: .. Blatt aus dem Antragsformular zur Baugenehmigung für das Land Rheinland-Pfalz. Nachweise zum Wärme- Schall- und Brandschutz sind grundsätzlich gefordert. [FR, 2007].....                                              | 180 |
| Abbildung A10-4: . Ablaufschema der Zusammenarbeit zur Vergabe einer Deklaration von der Organisation Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt [AUB]. ....                                                                       | 181 |
| Abbildung A10-5: Musterblatt aus dem Energieausweis für Wohngebäude gemäß der Energieeinsparverordnung [EnEV, 2007].....                                                                                                                   | 182 |
| Abbildung A10-6: ... nformationen zum KfW-Gebäudesanierungsförderprogramm. Das Programm ist mit der nachhaltigen Politik zur Minderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen 25 % bis 2025 in Deutschland harmonisiert [THERMOSOLAR, 2004]. .... | 183 |

## Tabellenanhang

### Anhang des Kapitels 2:

*Tabelle A2-1: Energiebedarf an Öl und Gas mit einer Vorhersage zur Entwicklung des Versorgungsprozesses in Syrien [NERC, 2006].*

| Gas [Mtoe <sup>1</sup> ] |        |            | Öl [Mtoe] |        |            | Jahr |
|--------------------------|--------|------------|-----------|--------|------------|------|
| Export                   | Import | Produktion | Export    | Import | Produktion |      |
| 0                        | 0      | 5,2        | 14,1      | 0      | 25,7       | 2003 |
| 0                        | 0      | 5,2        | 13        | 0      | 24,6       | 2005 |
| 0                        | 0      | 9,1        | 6,9       | 0      | 18,6       | 2010 |
| 0                        | 0,9    | 8,8        | 0         | 2,8    | 14,8       | 2015 |
| 0                        | 0,9    | 8,4        | 0         | 17,9   | 5,6        | 2020 |
| 0                        | 0,9    | 8,4        | 0         | 23,5   | 0          | 2025 |
| 0                        | 0,9    | 8,4        | 0         | 23,5   | 0          | 2030 |

1 Mtoe =  $7,35 \cdot 10^6$  Barrel Öl =  $1,27 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup> Gas

### Anhang des Kapitels 4:

*Tabelle A4-1: Wärmedurchlasswiderstände von Luftschichten [GÖSELE, 1989].*

| Lage der Luftschicht und Richtung des Wärmestromes    | Strahlungszahl C der Begrenzungsflächen  | Dicke der Luftschicht | Wärmedurchlasswiderstand |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                                                       | W/(m <sup>2</sup> k)                     | cm                    | m <sup>2</sup> .k/W      |
| Luftschicht senkrecht                                 | 5,5<br>Nichtmetallische Stoffe aller Art | 1                     | 0,14                     |
|                                                       |                                          | 2                     | 0,16                     |
|                                                       |                                          | 5                     | 0,18                     |
|                                                       |                                          | 10                    | 0,17                     |
|                                                       |                                          | 15                    | 0,16                     |
| Luftschicht waagrecht. Wärmestrom von unten nach oben | 5,5<br>Nichtmetallische Stoffe aller Art | 1                     | 0,14                     |
|                                                       |                                          | 2                     | 0,15                     |
|                                                       |                                          | 5                     | 0,16                     |
|                                                       |                                          | 10                    | 0,16                     |
|                                                       |                                          | 15                    | 0,16                     |
| Luftschicht waagrecht, Wärmestrom von oben nach unten | 5,5<br>Nichtmetallische Stoffe aller Art | 1                     | 0,15                     |
|                                                       |                                          | 2                     | 0,18                     |
|                                                       |                                          | 5                     | 0,21                     |
|                                                       |                                          | 10                    | 0,21                     |
|                                                       |                                          | 15                    | 0,21                     |
| Luftschicht senkrecht                                 | 0,23 bis 0,35<br>(blank Metallfläche)    | 1                     | 0,28                     |
|                                                       |                                          | 2                     | 0,43                     |
|                                                       |                                          | 5                     | 0,62                     |
|                                                       |                                          | 10                    | 0,58                     |
|                                                       |                                          | 15                    | 0,43                     |

## Anhang des Kapitels 6:

**Tabelle A6-1: Mindesthaftzugfestigkeit des Klebemörtels auf dem Untergrund bzw. dem Dämmstoff nach ETAG 004.**

|                            |                                                                  |                        |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Klebemörtel/<br>Untergrund | unter trockenen Bedingungen bzw.<br>nach 7-tägiger Rücktrocknung | 0,25 N/mm <sup>2</sup> |
|                            | nach 2-stündiger Rücktrocknung                                   | 0,08 N/mm <sup>2</sup> |
| Klebemörtel/<br>Dämmstoff  | unter trockenen Bedingungen bzw.<br>nach 7-tägiger Rücktrocknung | 0,08 N/mm <sup>2</sup> |
|                            | nach 2-stündiger Rücktrocknung                                   | 0,03 N/mm <sup>2</sup> |

**Tabelle A6-2: Bauphysikalische Eigenschaften der Dämmstoffe und deren Anwendung.**

| Dämmstoff  | Bauphysikalische Eigenschaften |                   |           |          |               |                   | Herstellungs<br>Form                             | Anwendungstyp               | Energiebedarf<br>bei der Her-<br>stellung |
|------------|--------------------------------|-------------------|-----------|----------|---------------|-------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|
|            | $\lambda$                      | $\rho$            | $\mu$     | c        | Brennbarkeit. | $\beta_D$         |                                                  |                             |                                           |
|            | W/(m <sup>2</sup> K)           | kg/m <sup>3</sup> |           | kJ/(kgK) | Klasse        | N/mm <sup>2</sup> |                                                  |                             | kWh/m <sup>3</sup>                        |
| Baumwolle  | 0,04                           | 20                | 1<br>2    | 0,84     | B1, B2        |                   | Blaswolle,<br>Matten,<br>Vliese, Filze           | WZ, DI, DZ,<br>DES, WTH, WI | Sehr niedrig $\cong$<br>12,5              |
| Zellulose  | 0,04<br>0,045                  | 25<br>100         | 1<br>1,5  | 1,9      | B1, B2        |                   | Flocken,<br>Matten                               | WZ, DI, DZ,<br>DES, WAP     | 15 45                                     |
| Kork       | 0,041                          | 60<br>150         | 5<br>10   | 1,67     | B2            | 0,1<br>0,2        | Schrott,<br>Platten                              | WZ, DI, PW,<br>WAP, DES     | 360 440                                   |
| Schafwolle | 0,04                           | 25,5              | 1         |          | B2            |                   | Matten,<br>Filzen, Vlie-<br>sen, Stopf-<br>wolle | WZ, DI, DZ,<br>DES, WTH, WI | 25 80                                     |
| Flachs     | 0,04<br>0,05                   | 20<br>50          | 1<br>2    | 1,5      | B2            |                   | Matten,<br>Filzen, Vlie-<br>sen, Stopf-<br>wolle | WZ, DI, DZ,<br>DES, WTH, WI | 90                                        |
| Perlite    | 0,04<br>0,08                   | 60<br>300         | 2<br>5    | 0,94     | A1            |                   | Schüttung,<br>Platten                            | WD, WS                      | 100 230                                   |
| Schaumglas | 0,04<br>0,05                   | 105<br>165        | $\infty$  | 0,84     | A1, A2        | 0,48              | Platten,<br>Granulat                             | DUK, PW, PB                 | 750                                       |
| XPS        | 0,03<br>0,04                   | 20<br>50          | 80<br>250 | 1,5      | B1, B2        | 0,06<br>0,25      | Platten                                          | WAP, DUK                    | 600 950                                   |
| PUR        | 0,025<br>0,04                  | 30<br>80          | 30<br>100 | 1,4      | B1, B2        |                   | Platten,<br>Ortschaum                            | DUK, PW, PB                 | 750 1080                                  |
| Blähton    | > 0,08                         | 500<br>800        | 2<br>8    | 1,1      | A1            | 1,5<br>6,5        | Granulat                                         | Schüttung                   | 290 425                                   |
| Blähglas   | 0,06<br>0,07                   | 120<br>600        | 1         | 0,8      | A1            | 0,08<br>2,1       | Granulat,<br>Körnungen                           | Schüttung                   | 20 100                                    |

A1: Nicht brennbar, A2: Schwer brennbar, B1: Schwer entflammbar, B2: Normal entflammbar, B3: Leicht entflammbar, nach DIN 4102 1.



*Tabelle A6-3: Verwendete Dämmstoffe im Bauwesen und deren Vor- und Nachteile.*

| Material                             | Rohstoff                                                                                                     | Vorteile                                                                                                                                                                       | Nachteile                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nachwachsende Dämmmaterialien</b> |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Stroh</b>                         | landwirtschaftlicher Abfall produkt aus dem Getreide anbau                                                   | Einheimischer, nachwachsender Rohstoff. Hohe Lebensdauer, sehr geringer Energiebedarf Entsorgung über Kompostierung möglich                                                    | geringere Wärmedämmung                                                                                                                                                                     |
| Schafwolle                           | Wolle aus der jährlichem Schafschur                                                                          | Gute Wärme und Schalldämmung, höher Feuchteausgleich, einheimisch, wieder verwendbar, hohe Lebensdauer, sehr geringer Energiebedarf, Entsorgung über Kompostierung             | Mottenfraß, sensibel gegen Feuchte, begrenzte Anwendungsgebiete                                                                                                                            |
| Baumwolle                            | Samenhaare einer bestimmten Malvengattung                                                                    | Sehr gute Wärme und Schalldämmung, höher Feuchteausgleich, einheimisch, wieder verwendbar, hohe Lebensdauer, sehr geringer Energiebedarf Entsorgung über Kompostierung         | Mottenfraß, sensibel gegen Feuchte, begrenzte Anwendungsgebiete                                                                                                                            |
| Flachsfaser                          | Fasern aus echtem Leinpflanze                                                                                | Einheimischer, nachwachsender Rohstoff. Hohe Lebensdauer, Entsorgung über Kompostierung möglich                                                                                | Möglicher Schädlingsbefall, Staubentwicklung bei Herstellung                                                                                                                               |
| Kork                                 | Gewinn aus der Rinde der Korkweide                                                                           | Gute Wärmedämmung, gute Wärmespeicherfähigkeit, hohe Lebensdauer, Recyclingmaterial, Kompostierung möglich                                                                     | Begrenzter Rohstoff, mögliche Schadstoffemission durch Bindmittel, hoher Wasserverbrauch                                                                                                   |
| <b>Organische Dämmmaterialien</b>    |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                            |
| Zellulosedämmstoffe                  | Natürlicher Gewinn aus dem Altpapier                                                                         | gute Wärmedämmung, hohe Lebensdauer, geringer Energie und Wasserverbrauch, wieder verwendbar, kompostierbar                                                                    | Staubentwicklung bei Einblasverfahren feuchteempfindlich, braucht Borsalz zum Schutz gegen Brand, Verrottung, und Ungeziefer                                                               |
| Polystyrol, expandiert EPS           | Synthetisch hergestellt aus Erdölrohstoffen (Benzol und Ethylen)                                             | Sehr hohe Wärmedämmung, feuchteunempfindlich, sehr hohe Lebensdauer, schimmelt oder fault nicht, form stabil, problemlos bei Verarbeitung                                      | Hoher Energiebedarf bei Herstellung, Entsorgung durch Deponierung, im Brandfall kann durch Substanzen (CO <sub>2</sub> , Styrol, PAK) gesundheitlich sein                                  |
| Polystyrol extrudiert, XPS           | Synthetisch hergestellt aus Erdölrohstoffen (Benzol und Ethylen). Hier nach der Expansion kommt Extrudierung | Sehr hohe Wärmedämmung, feuchteunempfindlich, sehr hohe Lebensdauer, schimmelt oder fault nicht, form stabil, problemlos bei Verarbeitung, hohe Belastbarkeit Vergleich zu EPS | Sehr hoher Energiebedarf bei Herstellung, Entsorgung durch Deponierung, im Brandfall kann durch Substanzen (CO <sub>2</sub> , Styrol, PAK) gesundheitlich sein.                            |
| Polyurethan Hartschaum PUR           | Synthetisch hergestellt aus Erdölrohstoffen (Polyisocyanate, Polyole)                                        | Starke Wärmedämmung, feuchteunempfindlich, sehr hohe Lebensdauer, Problemlos bei Bearbeitung, sehr hohe Belastbarkeit                                                          | Sehr hoher Energiebedarf bei Herstellung, bei Herstellung ist teilweise HFKW verwendet, Entsorgung durch Deponierung                                                                       |
| <b>Anorganische Dämmmaterialien</b>  |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                            |
| Schaumglas                           | Synthetisch hergestellt aus geschäumtem Glas                                                                 | gute Wärmedämmung, wasserdicht, druckfest, feuerfest, chemikalienbeständig, fäulnisresistent, einheimisch, sehr hohe Lebensdauer (120 Jahr) gut geeignet für Außenbauteile     | mögliche Schadstoffemissionen und hoher Energiebedarf bei der Herstellung, kritisch ist die Verarbeitung mit Heißbitumen oder gesundheitlich bedenklichen Klebern, Entsorgung über Deponie |

Tabelle A6-3: Fortsetzung.

| Material                            | Rohstoff                                               | Vorteile                                                                                                                                    | Nachteile                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Anorganische Dämmmaterialien</b> |                                                        |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                             |
| Perlite                             | Aus natürlichem Perlit Gestein (vulkanischer Ursprung) | alterungsbeständig, unverrottbar, ungezieferresistent, unbrennbar, unbehandelt feuchteempfindlich, hohe Lebensdauer, natürliche Vorkommen.  | Schadstoffemissionen bei Behandlung mit Bitumen oder Kunstharzen, hohe Energiebedarf, erhöhte Radioaktivität möglich, Entsorgung über Deponie               |
| Blähton                             | Material aus Ton                                       | resistent gegen Ungeziefer, wasserabweisend, unverrottbar, Verwendung als Schüttung                                                         | Schlechte Wärmedämmung, Gewinnung im Tagebau, relativ hoher Energie Aufwand, Staubens Wicklung beim Schütten, evtl. Radioaktivität, Entsorgung über Deponie |
| Blähglas                            | Expandiert aus Altglas                                 | Gute Wärmedämmung, resistent gegen Ungeziefer, wasserabweisend, unverrottbar, hohe Lebensdauer, Wieder verwendbar, Verwendung als Schüttung | evtl. Emissionen bei Glasherstellung, Entsorgung über Deponie                                                                                               |

Tabelle A6-4: Anwendungsgebiete von Wärmedämmung nach DIN 4108 –10.

| <b>Neue Anwendungsgebiete von Wärmedämmungen</b> |             |                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anwendungsgebiete                                | Kurzzeichen | Anwendungsbeispiele                                                                                                     |
| Decke, Dach                                      | DAD         | Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen                                    |
|                                                  | DAA         | Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtungen                                 |
|                                                  | DUK         | Außendämmung des Daches, der Bewitterung ausgesetzt (Umkehrdach)                                                        |
|                                                  | DZ          | Zwischensparrendämmung, zweischaliges Dach, nicht begehbare aber zugängliche oberste Geschossdecken                     |
|                                                  | DI          | Innendämmung der Decke (unterseitig) oder des Daches, Dämmung unter den Sparren/Tragkonstruktion, abgehängte Decke usw. |
|                                                  | DEO         | Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig) unter Estrich ohne Schallschutzanforderungen                       |
|                                                  | DES         | Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig) unter Estrich mit Schallschutzanforderungen                        |
| Wand                                             | WAB         | Außendämmung der Wand hinter Bekleidung                                                                                 |
|                                                  | WAA         | Außendämmung der Wand hinter Abdichtung                                                                                 |
|                                                  | WAP         | Außendämmung der Wand unter Putz                                                                                        |
|                                                  | WZ          | Dämmung von zweischaligen Wänden, Kerndämmung                                                                           |
|                                                  | WH          | Dämmung von Holzrahmen- und Holztafelbauweise                                                                           |
|                                                  | WI          | Innendämmung der Wand                                                                                                   |
|                                                  | WTH         | Dämmung zwischen Haustrennwänden mit Schallschutzanforderungen                                                          |
|                                                  | WTR         | Dämmung von Rauntrennwänden                                                                                             |
| Perimeter                                        | PW          | Außenliegende Wärmedämmung von Wänden gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)                                         |
|                                                  | PB          | Außenliegende Wärmedämmung unter der Bodenplatte gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)                              |

Tabelle A6-5: Vergleich der verschiedenen Materialien für Fensterrahmen [BECKER, 2002].

|                         | Aluminium | Holz               | Kunststoff |                 |    |
|-------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|----|
|                         |           |                    | PVC        | PP              | PU |
| Konstruktive Aspekte    |           |                    |            |                 |    |
| Wärmeisolierung         | --        | +                  | ++         | ++              | ++ |
| Korrosionsbeständigkeit | o         | ++                 | ++         | ++              | ++ |
| Schwerentflammbarkeit   | ++        | --                 | +          | +               | +  |
| Witterungsbeständigkeit | ++        | o                  | +          | +               | +  |
| Steifigkeit             | ++        | ++                 | ++         | ++              | ++ |
| Ökologische Aspekte     |           |                    |            |                 |    |
| Rohstoffe               | o         | ++                 | --         | -               | -- |
| Primärenergie           | --        | ++                 | --         | -               | -- |
| Raumgifte               | ++        | ++/- <sup>1)</sup> | --         | o               | o  |
| Brandfall               |           | +/- <sup>2)</sup>  | -          | o               | -  |
| Langlebigkeit           | ++        | +                  | ++         | +               | +  |
| Recyclingfähigkeit      | ++        | -                  | -          | -               | -  |
| Entsorgung              |           | ++                 | -          | o               | -  |
| Ökonomische Aspekte     |           |                    |            |                 |    |
| Anschaffungskosten      | --        | o                  | ++         | - <sup>3)</sup> | +  |
| Reparaturmöglichkeit    | -         | ++                 | --         | --              | -- |
| Wartungs- / Pflegearmut | +         | --                 | ++         | ++              | ++ |

1. Durch den Einsatz Schadstoffbehafteter Holzschutzmittel kann es zur Beeinträchtigung des Raumklimas kommen. 2. Durch den Einsatz Schadstoffbehafteter Holzschutzmittel ist im Brandfall die Entstehung giftiger Dämpfe möglich.

Anhang des Kapitels 8:

*Tabelle A8-1: Kosten-Nutzenanalyse zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der getroffenen Wärmeschutzmaßnahmen, Beispiele Damaskus und Lattakia (für eine Wohnung und Außendämmung von 5 cm Dämmdicke).*

| Investitionskosten                   |                        |                       |                  |         |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|---------|
|                                      | System                 | Einheitskosten        | Größe            | Kosten  |
| Verbesserungsmaßnahmen               | -                      | Lira / m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup>   | Lira    |
| neue Fenster                         | Holzisolierglasfenster | 3000                  | 16,60            | 33200   |
| Verschattungselemente                | Holzfensterladen       | 2500                  | 16,60            | 41500   |
| Außenwanddämmung                     | WDVS                   | 100                   | 49,00            | 4900    |
| Dachdämmung                          | unbelüftets Dach       | 150                   | 97,00            | 14550   |
| thermsiche Trennung der Attika       | Porenbetonunterreihe   | 50                    | 42,00            | 2100    |
| thermische Trennung des Balkons      | Schöck-Isokorb         | 500                   | 1,80             | 900     |
| Montagekosten                        | WDVS                   | 125                   | 49,00            | 6125    |
|                                      | Dachdämmung            | 125                   | 97,00            | 12125   |
| Summe                                |                        |                       |                  | 132000  |
| Energiekosteneinsparung beim Betrieb |                        |                       |                  |         |
| Damaskus                             | Heizöleinsparung       | Einheitskosten        | Kosteneinsparung | Summe   |
|                                      | Liter/a                | Lira/Liter            | Lira/a           | Lira/a  |
|                                      | 961,2                  | 7                     | 6728,4           | 18432,9 |
|                                      | Kühlstromeinsparung    | Einheitskosten        | Kosteneinsparung |         |
|                                      | kWh/a                  | Lira/kWh              | Lira/a           |         |
|                                      | 4681,8                 | 2,5                   | 11704,5          |         |
| Lattakia                             | Heizöleinsparung       | Einheitskosten        | Kosteneinsparung | Summe   |
|                                      | Liter/a                | Lira/Liter            | Lira/a           | Lira/a  |
|                                      | 550,8                  | 7                     | 3855,6           | 15911,1 |
|                                      | Kühlstromeinsparung    | Einheitskosten        | Kosteneinsparung |         |
|                                      | kWh/a                  | Lira/kWh              | Lira/a           |         |
|                                      | 4822,2                 | 2,5                   | 12055,5          |         |
| Damaskus/ neue Preise                | Heizöleinsparung       | Einheitskosten        | Kosteneinsparung | Summe   |
|                                      | Liter/a                | Lira/Liter            | Lira/a           | Lira/a  |
|                                      | 961,2                  | 14                    | 13456,8          | 32184   |
|                                      | Kühlstromeinsparung    | Einheitskosten        | Kosteneinsparung |         |
|                                      | kWh/a                  | Lira/kWh              | Lira/a           |         |
|                                      | 4681,8                 | 4                     | 18727,2          |         |
| Lattakia/ neue Preise                | Heizöleinsparung       | Einheitskosten        | Kosteneinsparung | Summe   |
|                                      | Liter/a                | Lira/Liter            | Lira/a           | Lira/a  |
|                                      | 550,8                  | 14                    | 7711,2           | 27000   |
|                                      | Kühlstromeinsparung    | Einheitskosten        | Kosteneinsparung |         |
|                                      | kWh/a                  | Lira/kWh              | Lira/a           |         |
|                                      | 4822,2                 | 4                     | 19288,8          |         |

Tabelle A8-2: Untersuchungsergebnisse zur Effektivität der in Syrien vorhandenen Solarkollektoren von verschiedenen Herstellungsfirmen [ZEN und HENDI, 2006].

| Jährliche Effektivität % | Zahl der Kollektoren - | Kollektoren-Fläche m <sup>2</sup> | Kapazität des Wärmespeichers Liter | Jährliche Energieerzeugung kWh/a | Firma                 |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 35,0                     | 2                      | 3,88                              | 233                                | 2677                             | إنشآت معدنية - شام 2  |
| 24,8                     | 2                      | 3,56                              | 172                                | 1740                             | بركات                 |
| 34,5                     | 1                      | 1,94                              | 115                                | 1319                             | إنشآت معدنية - شام 1  |
| 21,4                     | 1                      | 1,7                               | 164                                | 717                              | الشواخ                |
| 35,3                     | 2                      | 3,28                              | 255                                | 2282                             | دعبول - فرنسي 2       |
| 22,7                     | 2                      | 3,28                              | 160                                | 1479                             | NE200سلو              |
| 20,9                     | 2                      | 3,54                              | 180                                | 1458                             | أعاكو                 |
| 37,2                     | 3                      | 5,14                              | 342                                | 3765                             | لافا 3                |
| 44,1                     | 2                      | 3,28                              | 300                                | 2852                             | دعبولل - فرنسي 1      |
| 30,8                     | 2                      | 3,26                              | 176                                | 1976                             | DK2ريكو               |
| 35,4                     | 2                      | 3                                 | 201                                | 2094                             | حافظ                  |
| 34,5                     | 2                      | 2,59                              | 200                                | 1759                             | إنشآت معدنية - شام 3  |
| 36,4                     | 2                      | 3,42                              | 247                                | 2452                             | لافا 2                |
| 26,5                     | 2                      | 2,68                              | 170                                | 1401                             | موصلي                 |
| 34,0                     | 2                      | 3                                 | 201                                | 2008                             | حافظ 2                |
| 27,3                     | 2                      | 2,38                              | 130                                | 1280                             | المنشأة السورية- KSS1 |
| 30,1                     | 24 أنبوب               | 3,32                              | 200                                | 1970                             | ديس- أنابيب مفرغة     |
| 30,1                     | 1                      | 1,71                              | 154                                | 1016                             | لافا 1                |



## Anhang des Kapitels 9:

*Tabelle A9-1: Für das Wachstum unterschiedlicher Schimmelpilze erforderliche minimale Wasseraktivitäten (minimale  $a_w$ -Werte) [NORTHOLT, 1995].*

| Schimmelpilzart                     | Minimale $a_w$ -Werte |
|-------------------------------------|-----------------------|
| <i>Aspergillus restrictus</i>       | 0,71–0,75             |
| <i>Aspergillus versicolor</i>       | 0,78                  |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>        | 0,85–0,94             |
| <i>Cladosporium cladosporioides</i> | 0,86–0,88             |
| <i>Fusarium solani</i>              | 0,87–0,90             |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>      | 0,78–0,81             |
| <i>Rhizopus stolonifer</i>          | 0,93                  |
| <i>Stachybotrys chartarum</i>       | 0,94                  |
| <i>Wallemia sebi</i>                | 0,69–0,75             |

*Tabelle A9-2: Zusammenstellung und Bewertung der Einflussfaktoren auf das Schimmelpilzwachstum und deren Berücksichtigung im Vorhersagemodell [SEDL-BAUER, 2001].*

| Einflussfaktor         | Bewertung                                 | Berücksichtigung der Einflussfaktoren im eingesetzten Modell                         |
|------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Feuchte                | Wesentlichstes Wachstumskriterium         | Kombination von Temperatur und relative Feuchte mittels Isoplethen                   |
| Temperatur             | Starke Beeinflussung                      |                                                                                      |
| Zeit                   |                                           | Zeitangaben in den Isoplethen enthalten                                              |
| Nährstoffverfügbarkeit | Einfluss durch Substanz und Verschmutzung | Substratgruppen                                                                      |
| Salzgehalt             |                                           | indirekt in den Substratgruppen enthalten                                            |
| PH- Wert               | Wird von Pilz selbst verändert            | keine Berücksichtigung im Modell;<br>wird stets als ausreichend vorhanden betrachtet |
| Licht                  | Wachstum ohne Licht möglich               |                                                                                      |
| Sauerstoff             | Immer vorhanden                           |                                                                                      |
| Sporenflug             | Sporen sind ubiquitär                     |                                                                                      |
| Oberflächenrauigkeit   | Einflüsse gering                          | über die Substratgruppen enthalten                                                   |
| Biotik <sup>1</sup>    | Einflüsse vorhanden                       | Berücksichtigung mittels LIM                                                         |

1. gegenseitige Beeinflussung der Pilze untereinander bzw. dem Wettbewerb mit anderen Mikroorganismen.

Anhang des Kapitels 10:

*Tabelle A10-1: Beispiele für deutsche Güte- und Umweltzeichen im Bereich der Bauprodukte [IIB, 2000].*

| Zeichen                                                           | Vergabestelle                                       | Zeichen                 |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|
| Umweltzeichen<br>"Der Blaue Engel"                                | RAL in Verbindung mit dem Umweltbundesamt           |                         |
| Mitgliedszeichen                                                  | Arbeitsgemeinschaft umweltverträgliches Bauprodukt. |                         |
| ECO-Zertifikat Ökologische Produktprüfung Baubiologisch empfohlen | ECO-Umweltinstitut                                  |                         |
| LGA-schadgeprüft                                                  | LGA Nürnberg                                        |                         |
| Empfohlen vom IBR                                                 | Institut für Baubiologie in Rosenheim               |                         |
| DIN plus                                                          | DIN certco Gesellschaft für Konformitätsbewertung   |                         |
| RAL-Gütesiegel <sup>9</sup>                                       | RAL-Gütegemeinschaften                              | sehr viele verschiedene |
| Umweltsiegel des TÜV Süddeutschland                               | TÜV Süddeutschland                                  |                         |
| Toxproof                                                          | TÜV Rheinland                                       |                         |
| Öko-Tex Standard 100                                              | Institut Hohenstein                                 |                         |
| Kork-Logo                                                         | Deutscher Korkverband                               |                         |
| Econcert<br>(in Vorbereitung)                                     | Verband deutscher Baustoffhändler                   |                         |

Tabelle A10-2: Beispiel einer Positivliste unterschiedlicher Baustoffe [AKÖH, 1998].

|                                           | Material                                  | Zusätze                    | Bewertung       | Anmerkung                                     |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| Mauerwerk-<br>steine incl.<br>Bindemittel | Natursteine                               | Kalkstein,<br>Sandstein    | ●●              | regional                                      |
|                                           | Vormauerziegel                            |                            | ●●              | regional                                      |
|                                           | Ziegel, porosiert                         | Sägemehl,<br>Polystyrol    | ●●              | unbedingt<br>regional                         |
|                                           | Porenbetonstein                           |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Leichtbetonstein                          | Bims, Blähton              | ●●              | bei Bims evtl.<br>erhöhte Radio-<br>aktivität |
|                                           | Kalksandstein                             |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Lehmstein                                 | Blähton, Stroh,<br>Holz    | ●●●             | Ausführung<br>durch Fachleute                 |
| Zuschläge                                 | Perlite                                   |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Bims                                      |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Blähton                                   |                            | ● <sup>b)</sup> |                                               |
|                                           | Stroh                                     |                            | ●●●             | *                                             |
|                                           | Holzspäne                                 |                            | ●●●             | *                                             |
| Sperr-<br>schichten                       | Bitumenbahn                               |                            | ●●              |                                               |
|                                           | EPDM                                      |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Polyethylen /<br>Polyolefin               |                            | ●●              |                                               |
| Kellerab-<br>dichtung                     | Bitumenschweiß-<br>bahn                   |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Bituminöse<br>Dickbeschichtung            | emulgiert                  | ●●              |                                               |
|                                           | Zementschlämme                            | modifiziert                | ●●              |                                               |
|                                           | Quellton                                  |                            | ●●●             | nur mit<br>Fachmann                           |
| Einfüllschutz                             | Bitumenwellplatte                         |                            | ●●              |                                               |
|                                           | Hartfaserplatte                           |                            | ●●              | nur für<br>Einfüllvorgang                     |
|                                           | Kunststoff-<br>Noppenbahn                 |                            | ● <sup>a)</sup> |                                               |
|                                           | Starker Karton                            |                            | ●●              | nur für<br>Einfüllvorgang                     |
|                                           | Hochlochsteine                            | Geotextilien               | ●●              | für Dränage **                                |
|                                           | Betonfiltersteine                         | Geotextilien               | ●●              | für Dränage **                                |
| Perimeter-<br>Dämmung                     | extrudierter<br>Polystyrolhart-<br>schaum | CO <sub>2</sub> -geschäumt | ● <sup>a)</sup> |                                               |
|                                           | Schaumglas                                |                            | ●●              |                                               |

\* bei Lehmsteinen auf schnelle Austrocknung achten!  
 \*\* Dränage nach Möglichkeit vermeiden, weiße oder schwarze Wanne bevorzugen.  
 a) ausschließliche Herkunft aus Erdöl führt zur Abwertung  
 b) hoher Herstellungs-Energiebedarf führt zur Abwertung

Bewertung: ●●● → sehr empfehlenswert | ●● → empfehlenswert | ● → bedingt empfehlenswert



## Abbildungsanhang

### Anhang des Kapitels 2:



Abbildung A2-1: Landkarte des Staates Syrien [FAO].

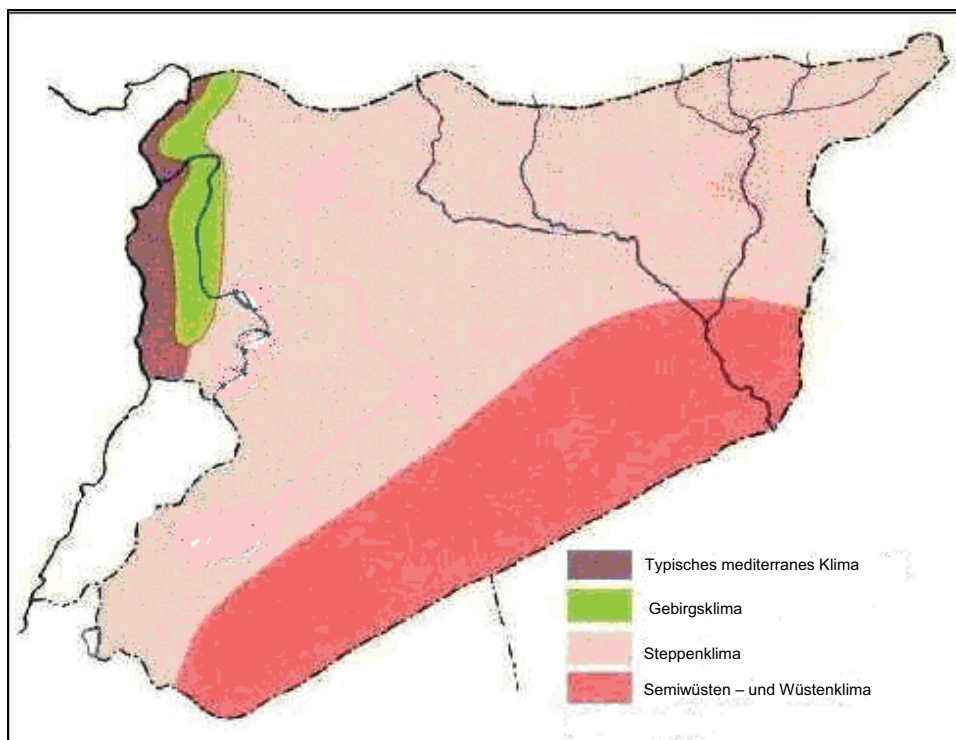


Abbildung A2-2: Klimazonen in Syrien [FAO].



*Abbildung A2-3: Typisches Rohbauverfahren in Syrien: Stahlbetonskelett, Wände mit Hohlblocksteinen ausgemauert, Decke bzw. Dach als Stahlsteinplatte.*



*Abbildung A2-4: Beispiele von in Syrien verwendeten Hohlblocksteinen. Hohlblockstein für Wände mit 10 cm (links) und 15 cm Dicke (mittel) sowie für Stahlsteinplatten mit 18 cm Dicke (rechts).*



*Abbildung A2-5: Feuchteschäden und ästhetische Probleme an Gebäuden in Syrien, wodurch hohe Sanierungskosten entstehen (Beispiel Lattakia).*

Anhang des Kapitels 4:



*Abbildung A4-1: Messgerät für die Porosität von Baustoffen (Quecksilberporosimetrie). Labor Wismar.*

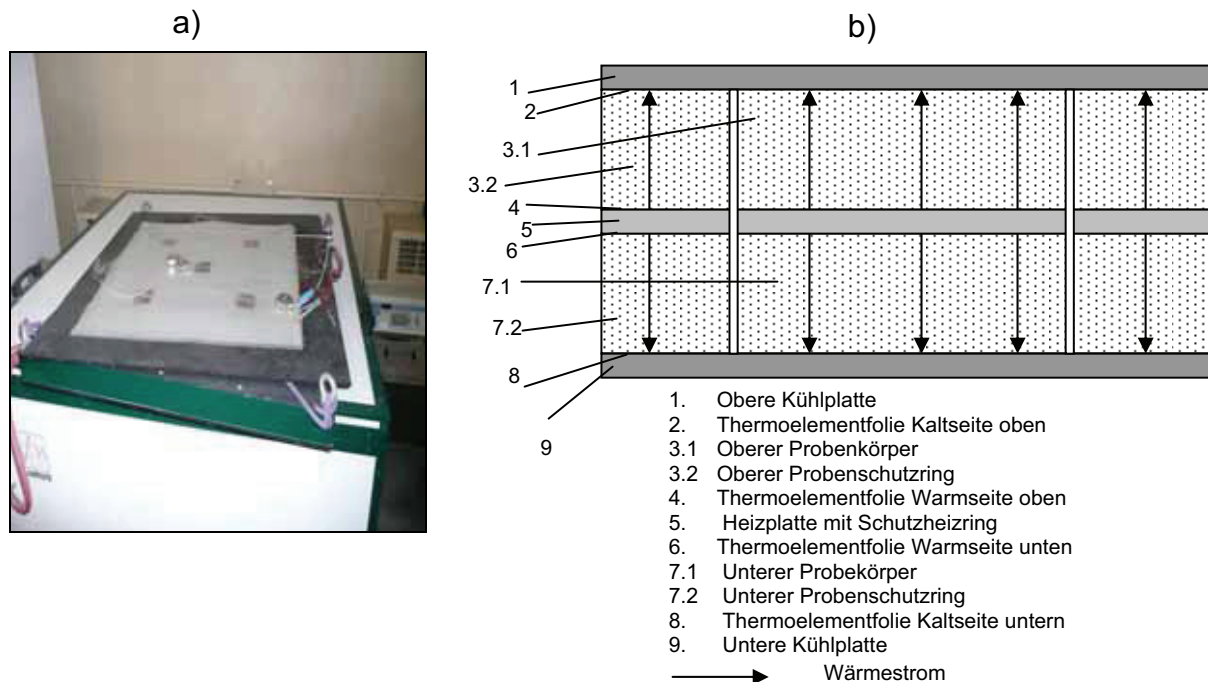


Abbildung A4-2: Wärmestrommessplatten-Gerät (2-Plattengerät) für die Wärmeleitfähigkeit von Materialien nach DIN EN 12667 (a) und schematischer Aufbau der Messordnung (b).

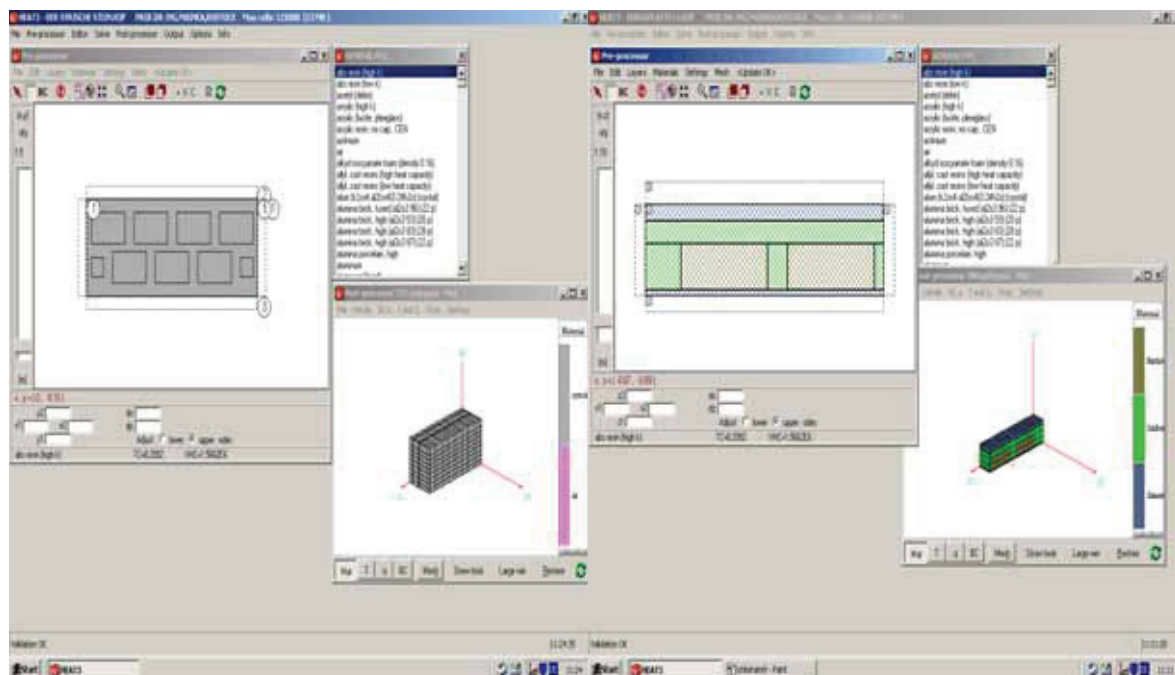


Abbildung A4-3: Eingabe zur Simulation der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von typischen syrischen Baustoffen (z.B. Hohlblockstein 15 cm, links) bzw. der Baukonstruktionen (z.B. Dach aus Stahlsteinplatte, rechts) durch das Programm HEAT 3.



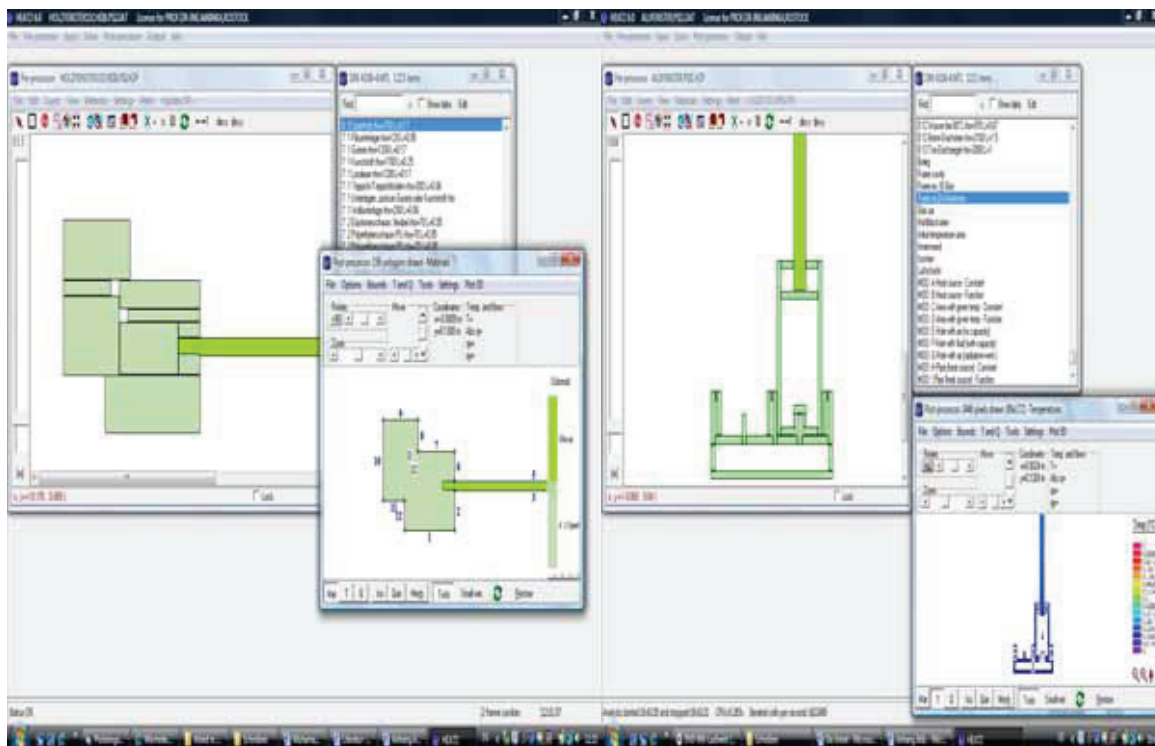


Abbildung A4-4: Eingabe zur Simulation der Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten von typischen Fenstern in Syrien durch Heat 2. Holzfenster (links) und Alufenster (rechts) wurden mit ihren Rahmen und Verglasungsscheiben dargestellt.



Abbildung A4-5: Typisches Fenster in Syrien. Aluminiumfenster mit Schiebsystem und Einfachverglasung.

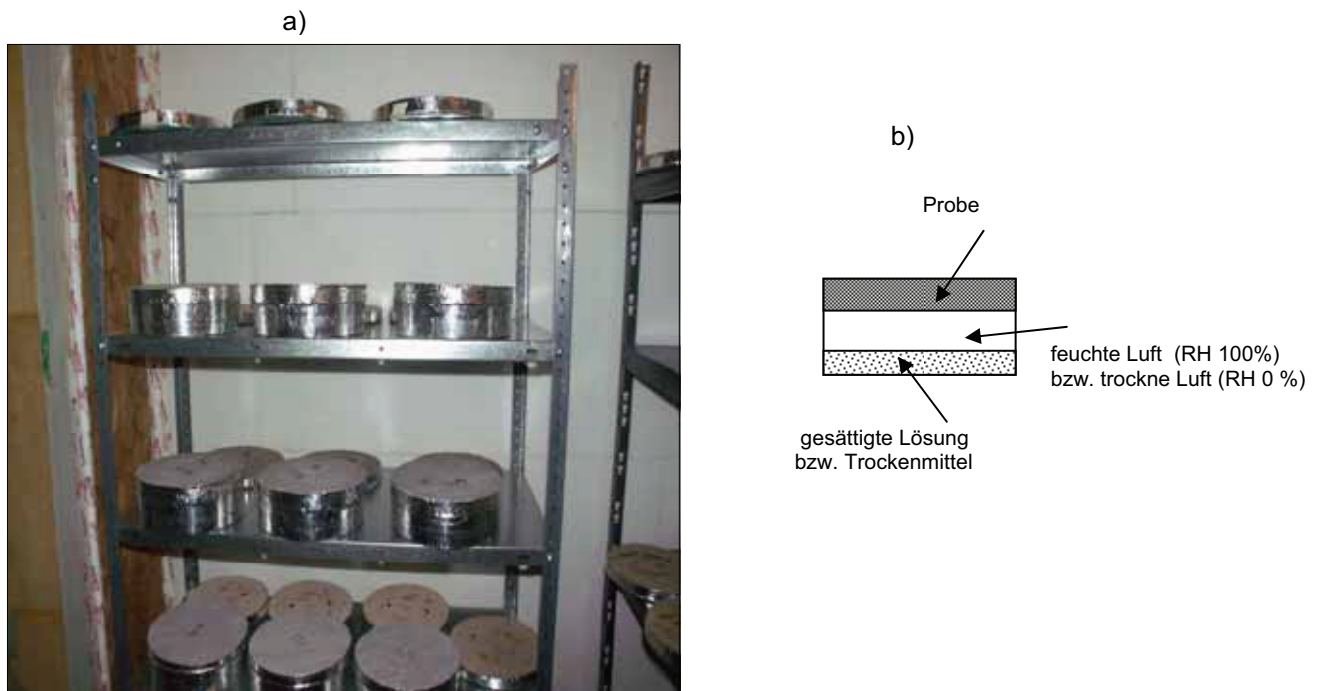


Abbildung A4-6: Versuche zur Bestimmung der Wasserdampfwiderstandszahl  $\mu$  der untersuchten Proben in der Klimakammer nach DIN ISO 12572 bei einem Klima von 23 °C/50 % (a), und schematischer Aufbau der Messordnung (b).



Abbildung A4-7: Automatische Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten  $W_w$  der untersuchten Baustoffe. Links: Waage mit Überlaufschale und Probe, rechts: Auswertungscomputer.

Anhang des Kapitels 5:

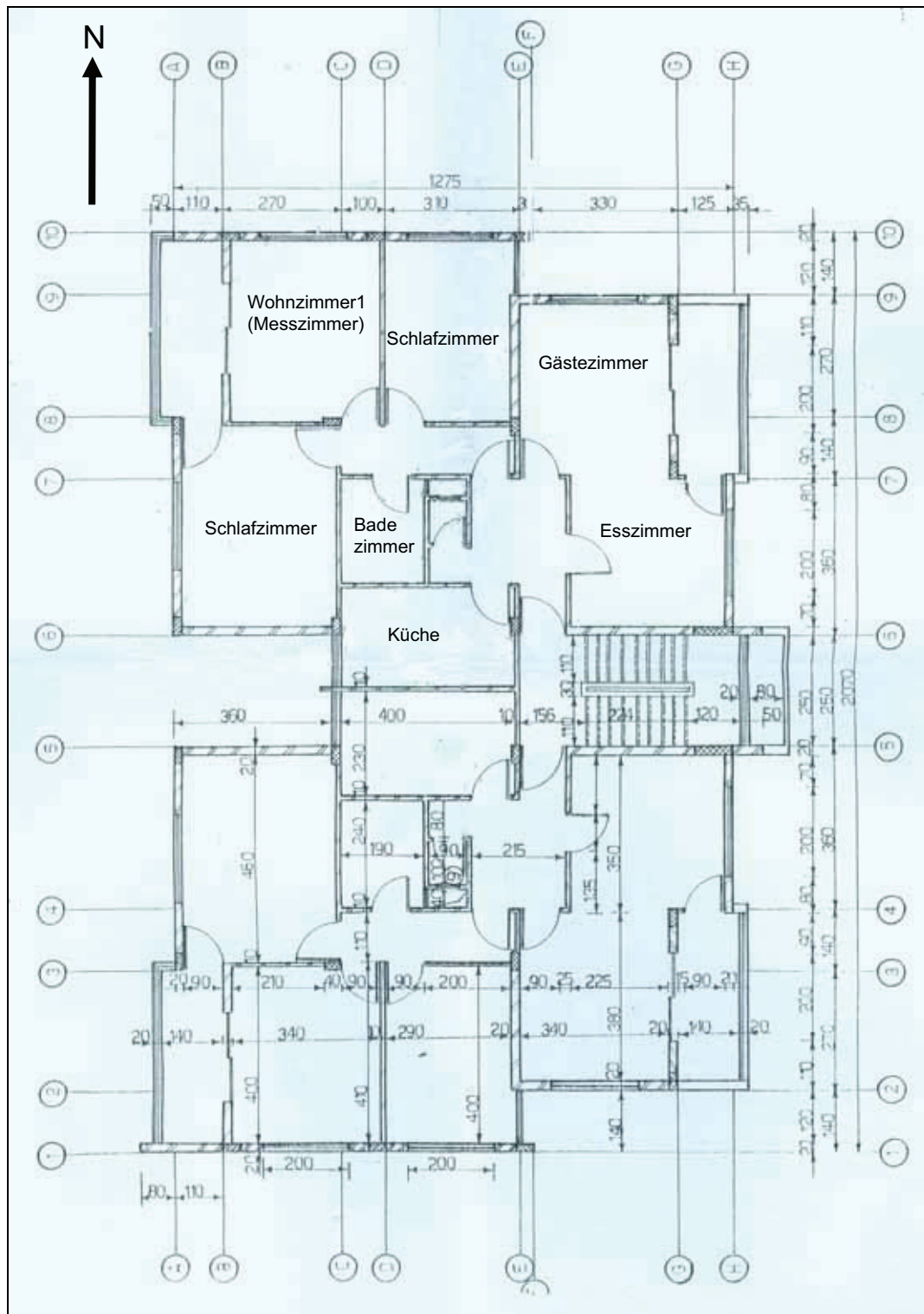


Abbildung A5-1: Grundriss der Wohnung, in deren Wohnzimmer die Messungen von 20. 9 2005 bis 20.9.2006 durchgeführt wurden (Beispiel Damaskus).

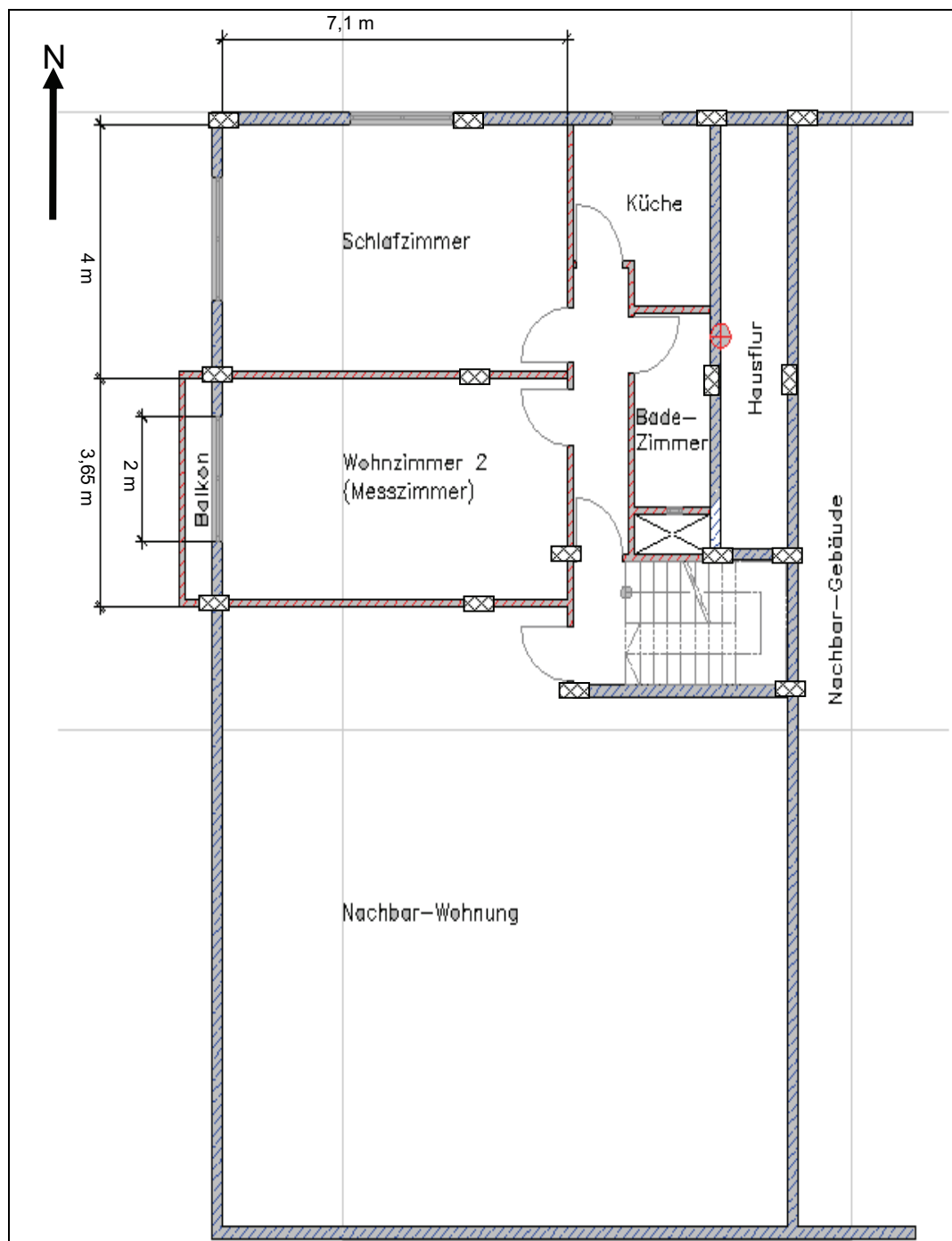


Abbildung A5-2: Grundriss der Wohnung, in deren Wohnzimmer die Messungen von 19. 9 bis 19.10.2005 durchgeführt wurden ( Beispiel Lattakia).



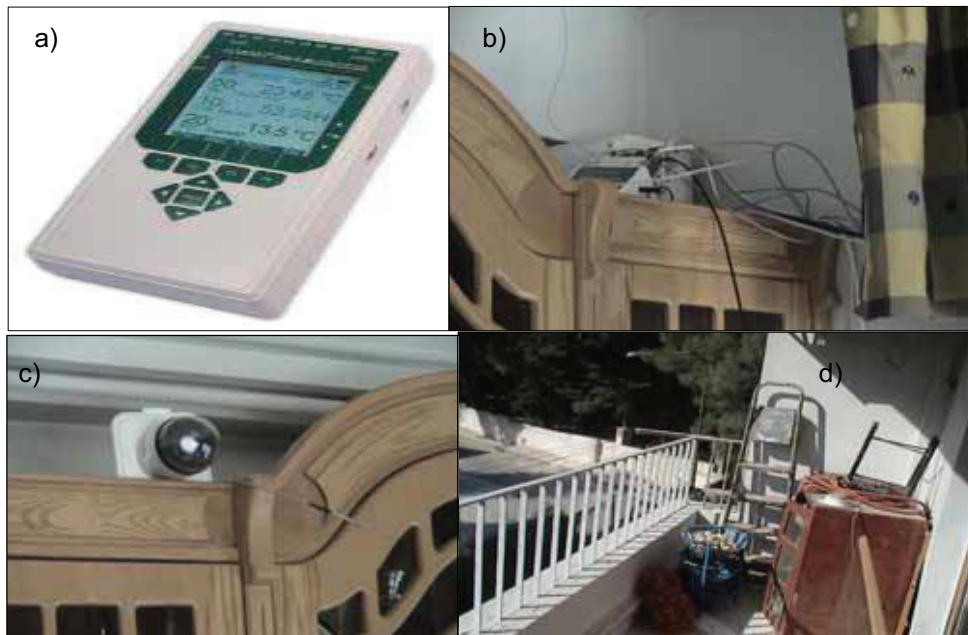


Abbildung A5-3: Messungen vor Ort. a) Der benutzte 9-kanalige Datenlogger ALME-MO, b) Sensoren im Einsatz, c) Lichtstärkesensor und Luftfeuchte-Temperaturfühler, d) Globalstrahlungssensor auf dem Balkon.



Abbildung A5-4: Versuchsmaterialien zur Bestimmung des natürlichen Luftwechsels mit Hilfe von Tracergas nach DIN EN ISO 12569. CO<sub>2</sub>-Konzentrationsfühler (links), Flasche reinen CO<sub>2</sub>-Gases (mittel), und Messgerät (rechts).

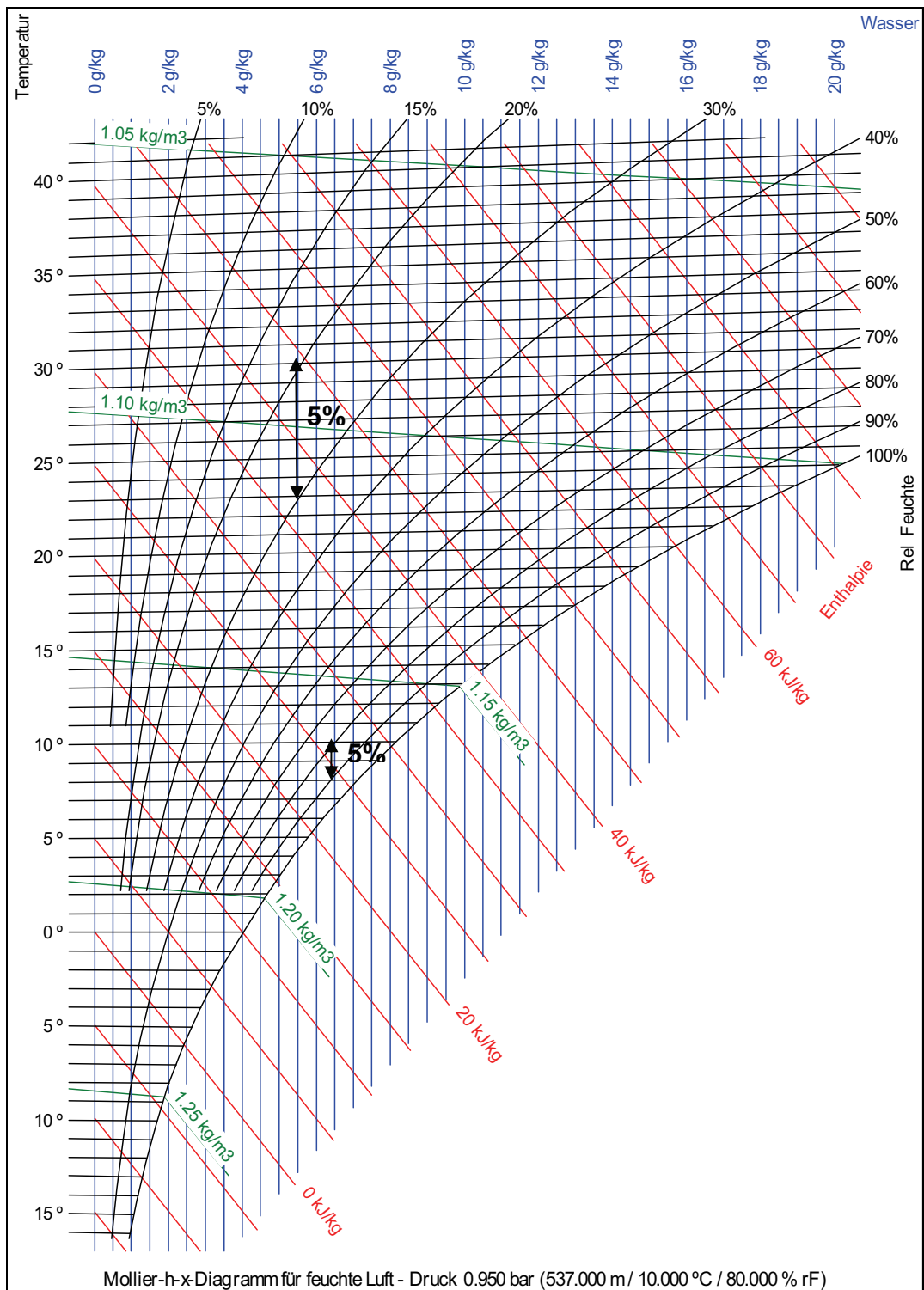


Abbildung A5-5: Mollièr-Diagramm, das den thermodynamischen Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur, relativer Feuchte, absoluter Feuchte, und der spezifischen Enthalpie beschreibt [PC- Programm AHH. 5].

Anhang des Kapitels 6:



Abbildung A6-1: Anwendungsbeispiele für Wärmedämmung von Außenwänden. a) Außendämmung, b) Innendämmung, c) Kerndämmung ohne Luftschicht, und d) Dämmung mit hinterlüfteter Vorschale [SEUNIG, 2004].

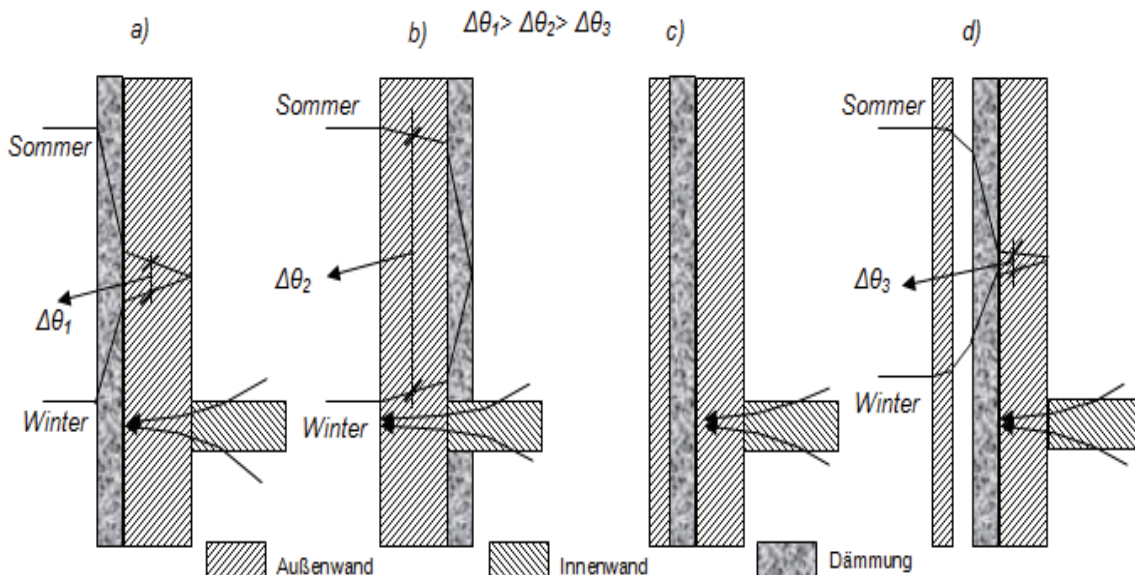


Abbildung A6-2: Angewendete Systeme bei der Wärmedämmung in Gebäuden: a) Außendämmung, b) Innendämmung, c) Kerndämmung, d) Dämmung mit hinterlüfteter Vorschale.



|                         |                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objekt:                 | Bellevue-Center<br>164er Ring / Sedanstraße<br>31785 Hameln                                                                                                     |
| Eigentümer/Verwalter:   | Eigentümergesellschaft Bellevue-Center<br>164er Ring / Sedanstraße<br>31785 Hameln                                                                              |
| Gebäudeart:             | Hochhausgruppe, Wohn- und Geschäftshaus<br>7 - 10geschossig<br>340 WE                                                                                           |
| Baujahr:                | 1973                                                                                                                                                            |
| Außenwände:             | Stahlbetonkonstruktion, 20 cm                                                                                                                                   |
| Dachform:               | Flachdach                                                                                                                                                       |
| Wärmedämmverbundsystem: | 1973 - 60 mm Polystyrol-Hartschaumplatten,<br>(30 mm Mineralfaserplatten im Brüstungs-<br>bereich, 70 mm im oberen Teil des Treppen-<br>hauses), Kalkzementputz |



Abbildung A6-3: Objektbeispiel für ein Wärmedämmverbundsystem WDVS aus Mineralwolle bzw. EPS mit Kalkzementputz als Oberputz [GERKEN, 1997].



Abbildung A6-4: Beispiel für Flachdachdämmung mit Abdichtungsmaßnahmen.

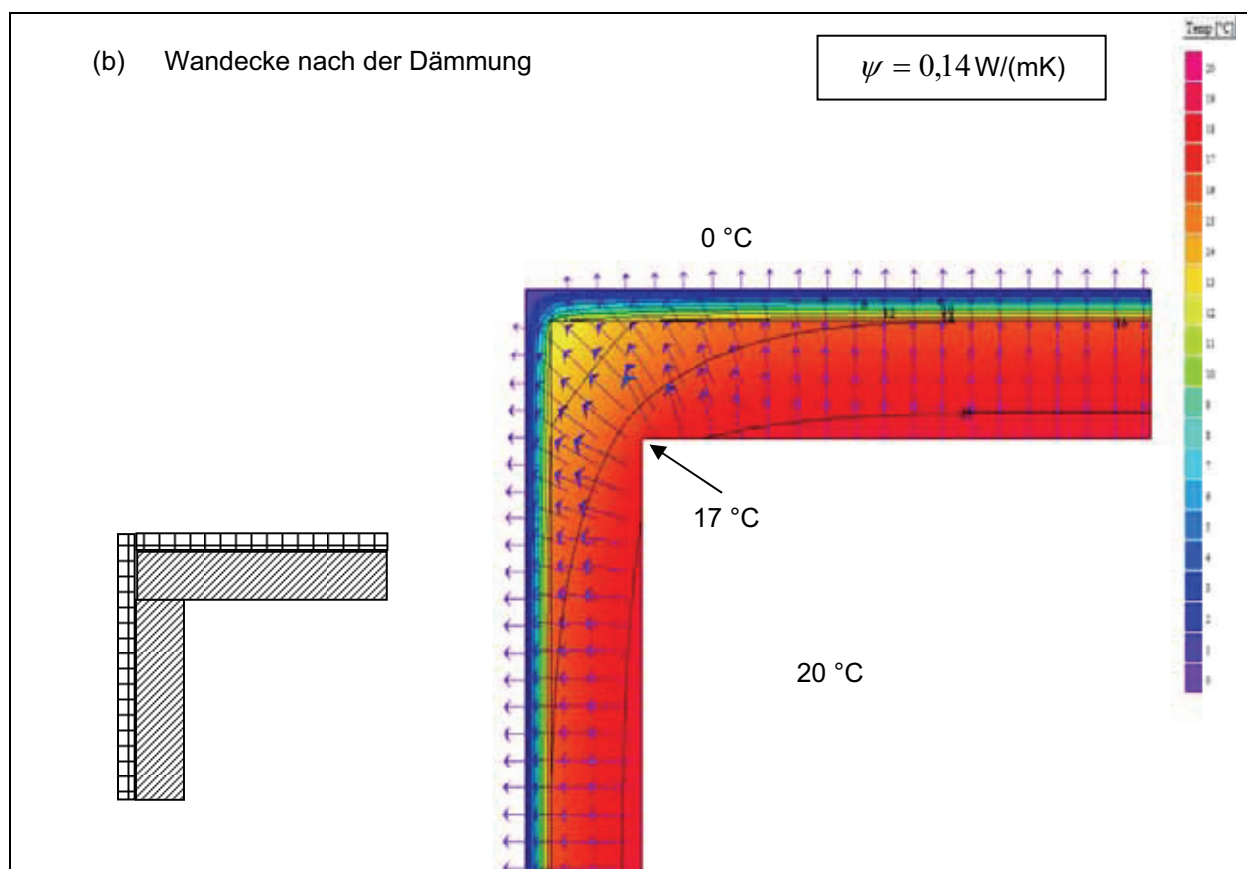
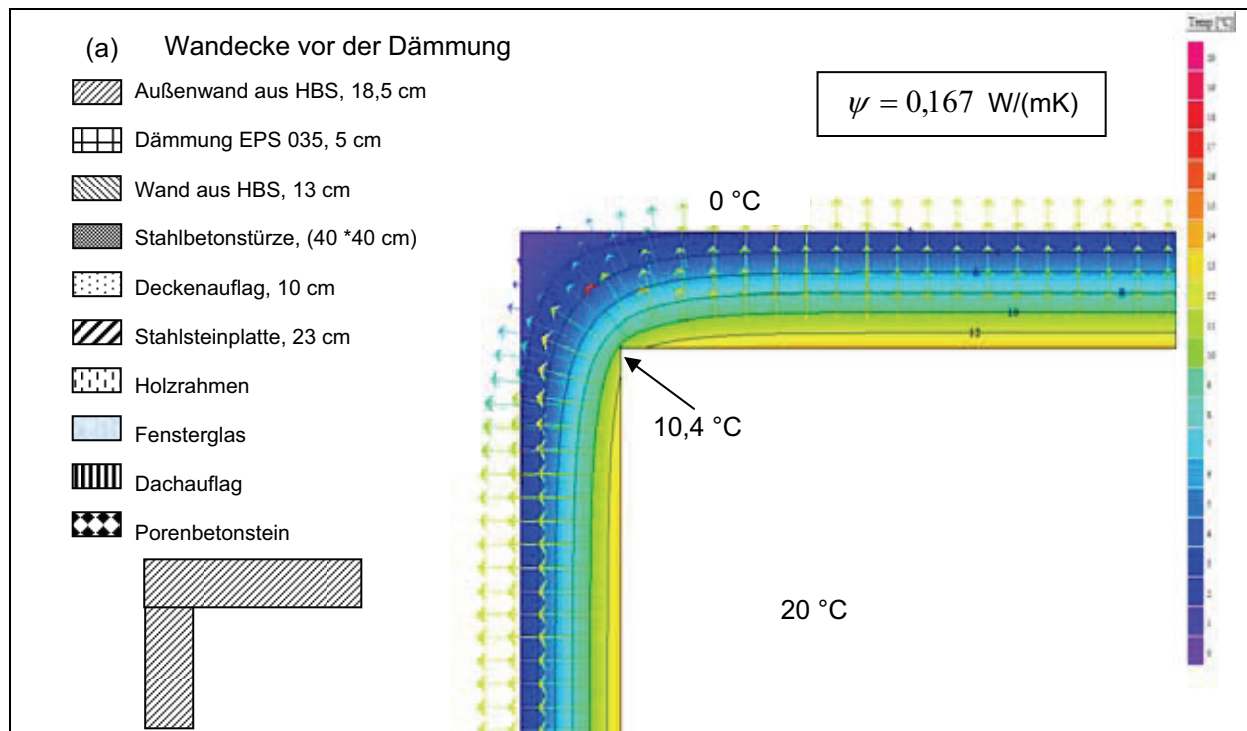


Abbildung A6-5: Geometrische Wärmebrücke bei syrischen Bauteilen. Eine Außenwandecke, vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung.

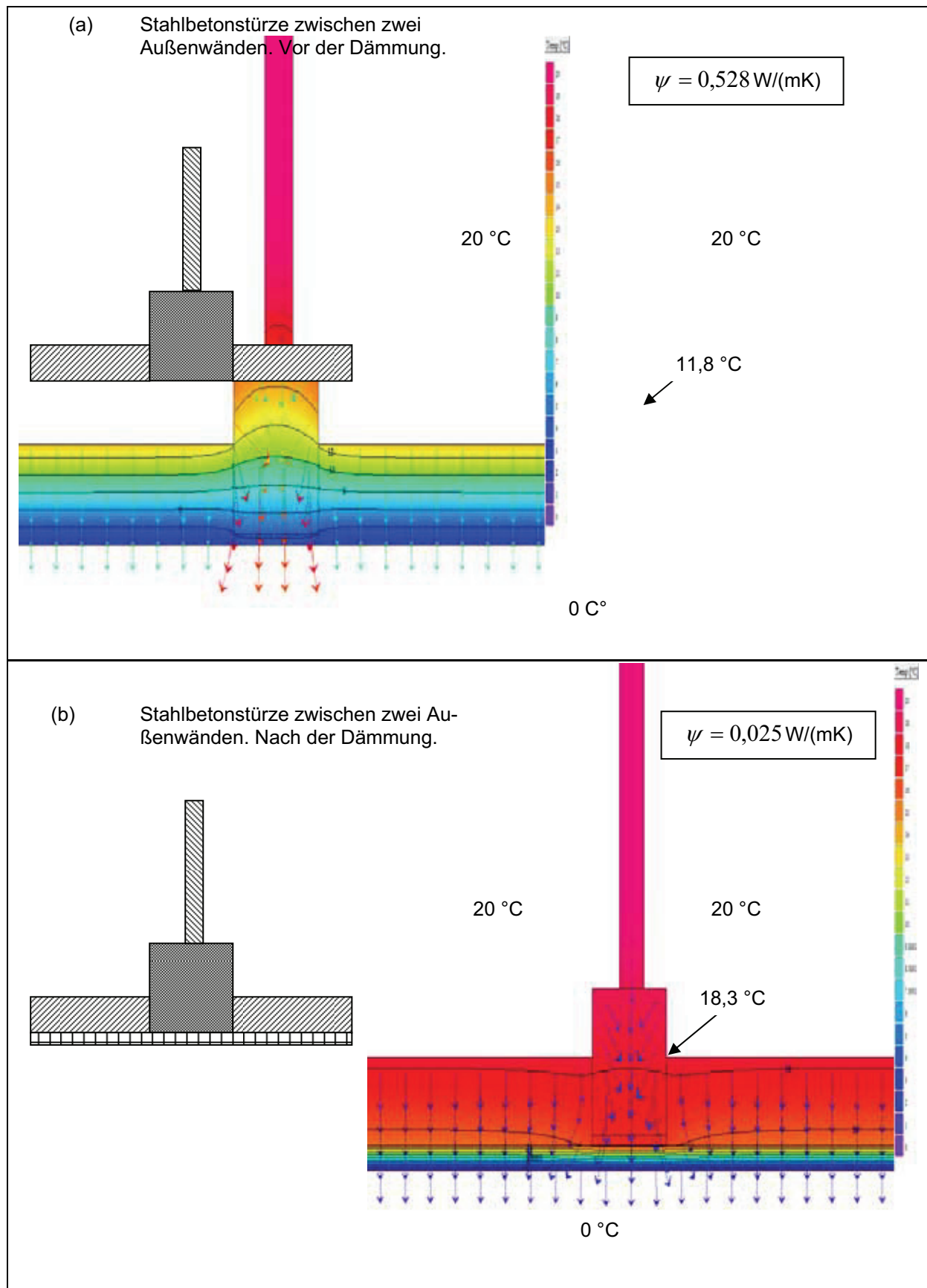


Abbildung A6-6: Materialbedingte Wärmebrücke bei syrischen Baukonstruktionen. Eine durch Stahlbetonstürze durchgestoßene Außenwand, vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung.

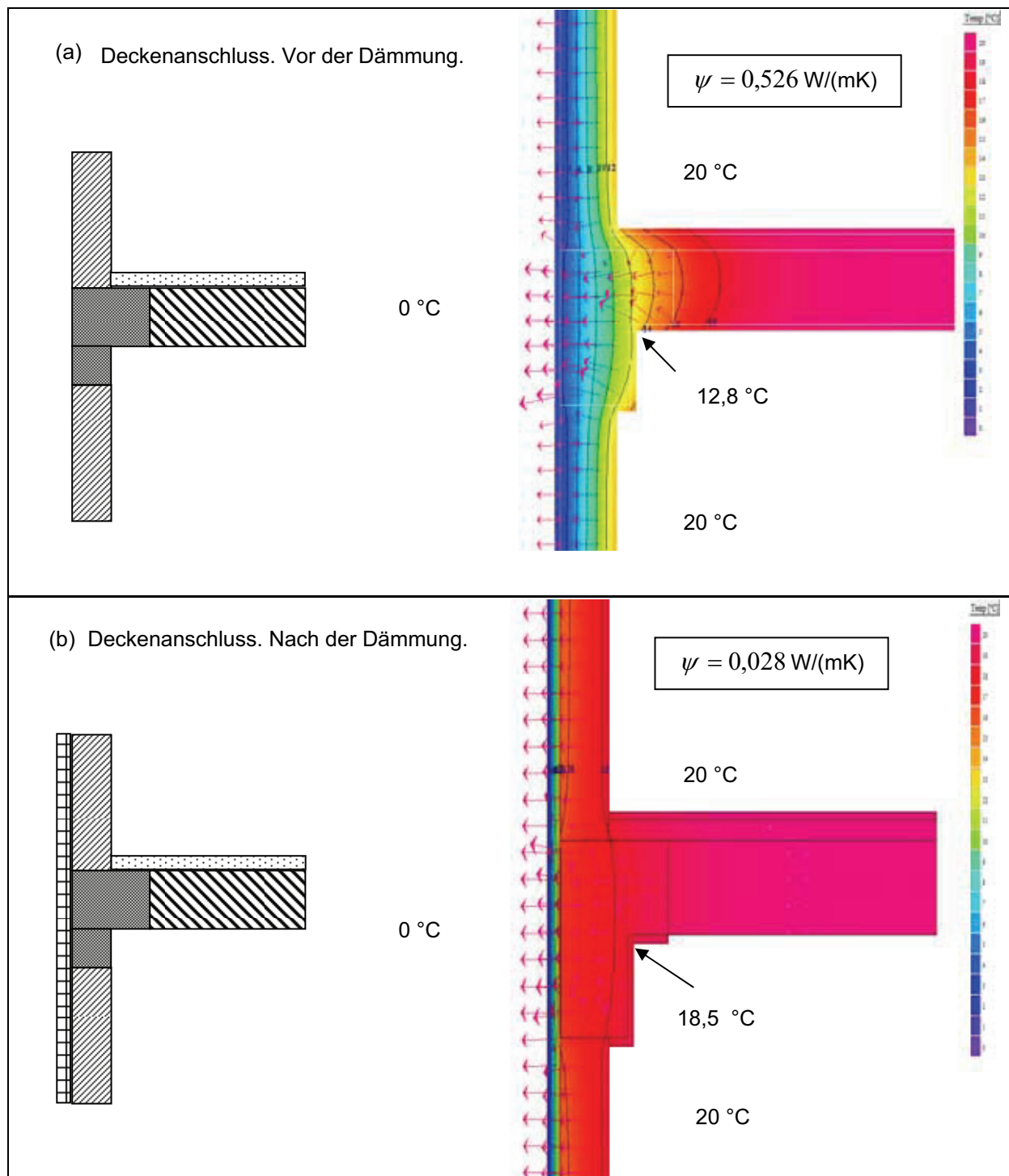


Abbildung A6-7: Materialbedingte Wärmebrücke bei syrischen Baukonstruktionen. Ein auf den Stahlbetonstürze aufgelagerter Deckenanschluss, vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung.



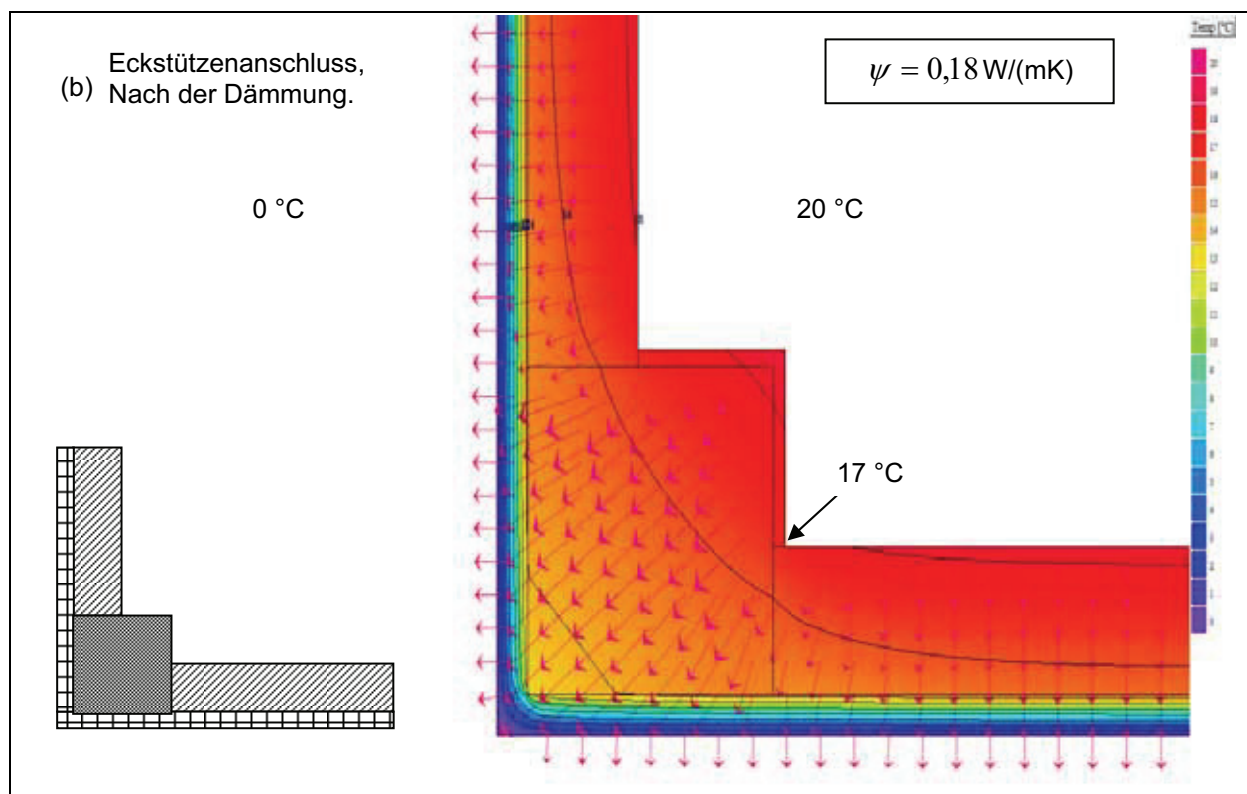
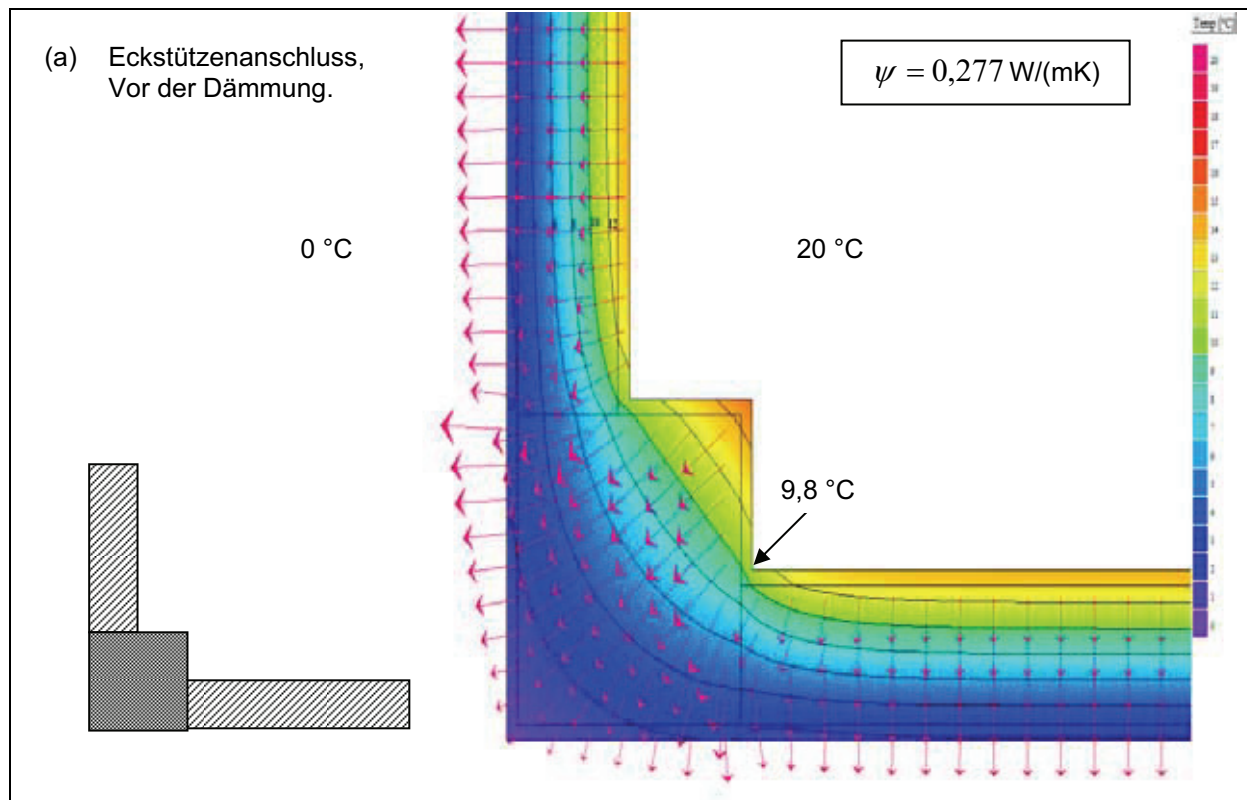


Abbildung A6-8: Materialbedingte und geometrische Wärmebrücke bei syrischen Baukonstruktionen. Ein Eckstützenanschluss aus Stahlbeton, vor (Bild, a) und nach (Bild, b) der Dämmung.



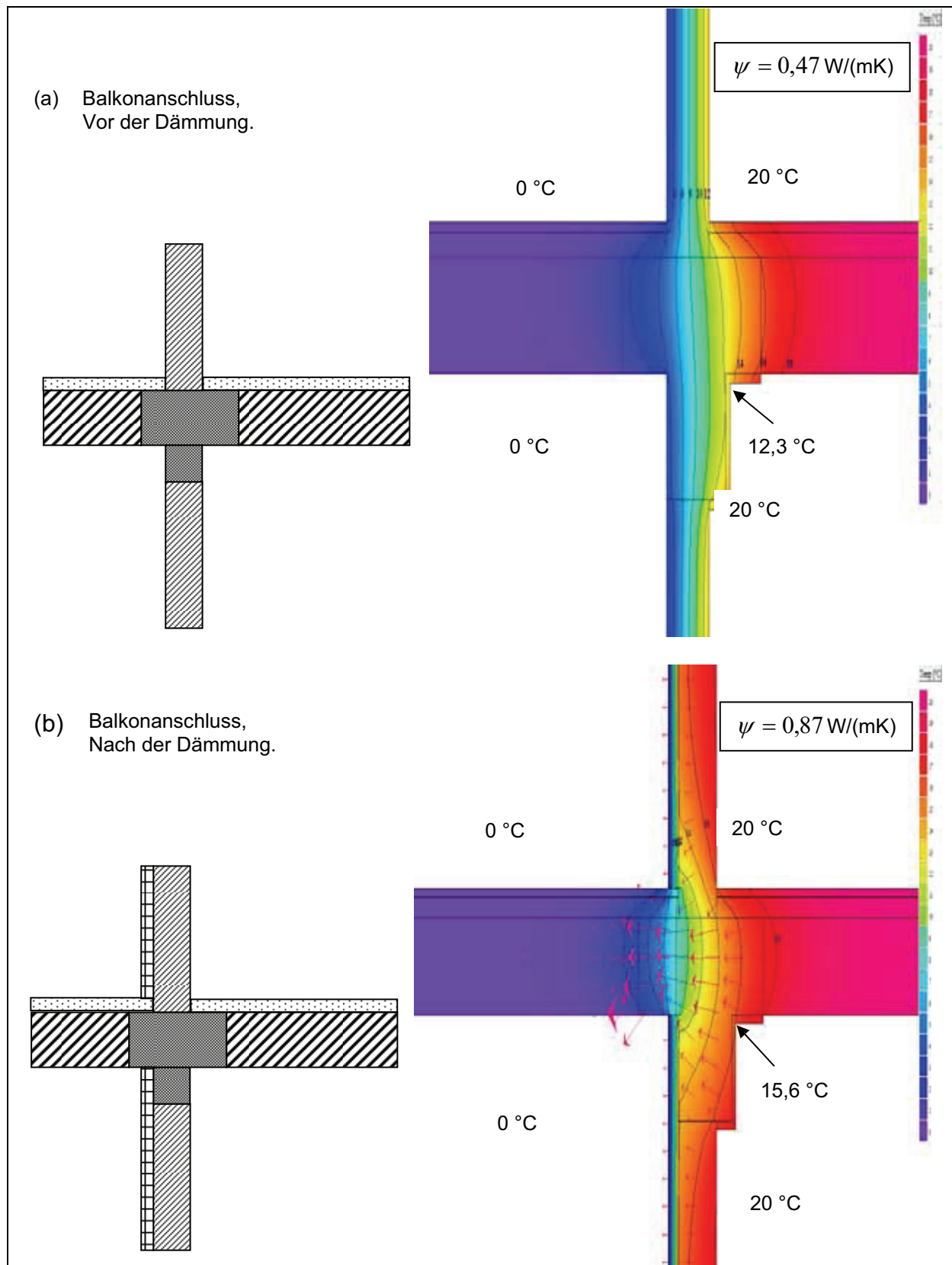


Abbildung A6-9: Materialbedingte Wärmebrücken bei syrischen Baukonstruktionen. Ein ausragender Balkon (Stahlsteinplatte), vor (Bild a) und nach (Bild b) der Dämmung.

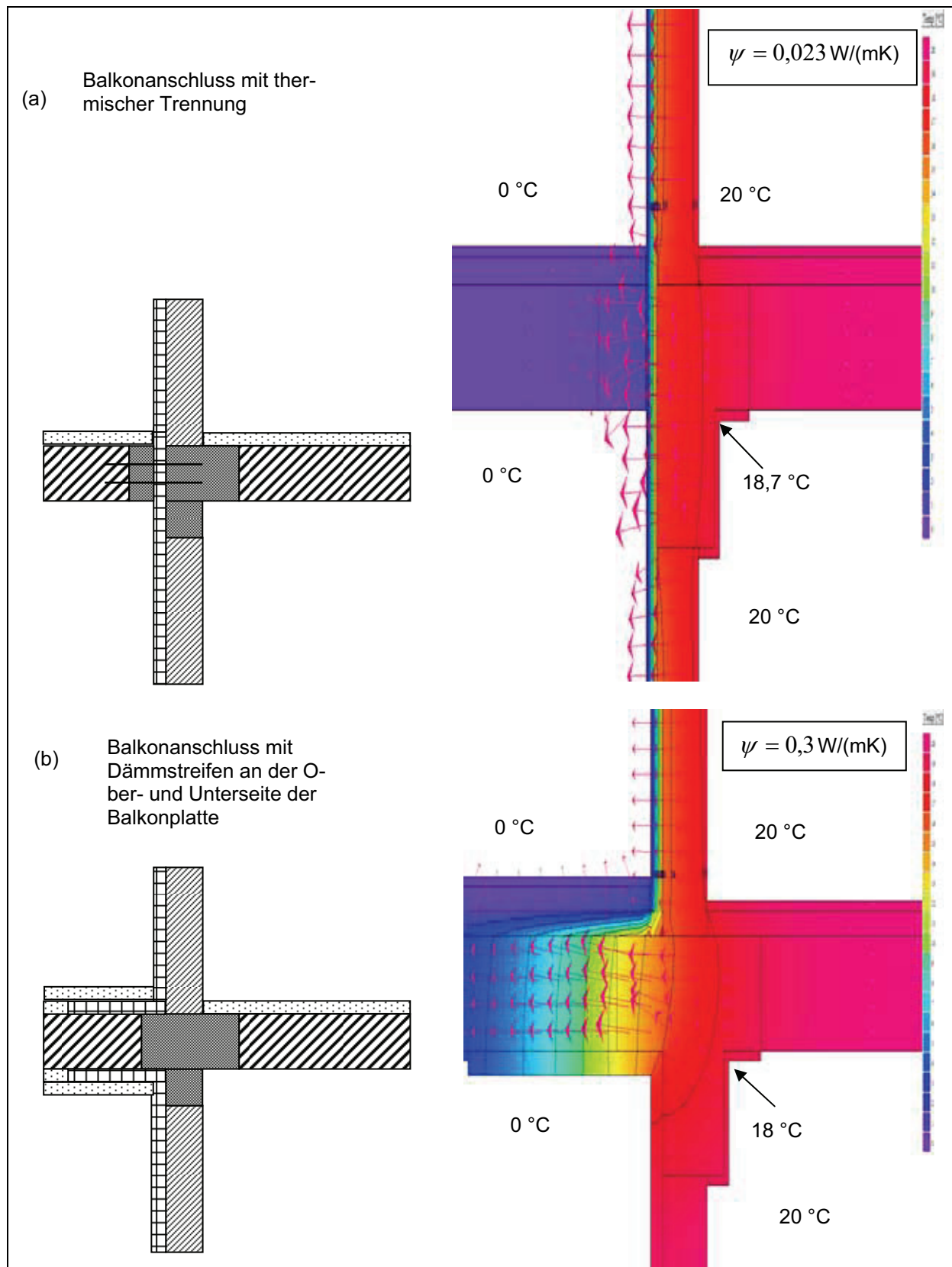


Abbildung A6-10: Konstruktive Lösungen bei einer aus einem auskragenden Balkon resultierenden Wärmebrücke.), thermische Trennung mit Schöck-Isokorbsystem (Bild a) bzw. verlegte Dämmplatten auf der Ober- und Unterseite der Platte (Bild b).



Abbildung A6-11: Beispiel eines Schöck-Isokorbes zur thermischen Trennung des Balkons von der Deckenplatte [Institut für Baukonstruktion und Bauingenieurwesen an der Universität Rostock].



Abbildung A6-12: Ein vor die Fassade gestellter Balkon kann eine optimale Lösung zur Vermeidung der aus auskragendem Stahlbeton entstehenden Wärmebrücken darstellen [Gebäude 6, Waldemarstraße, Rostock].

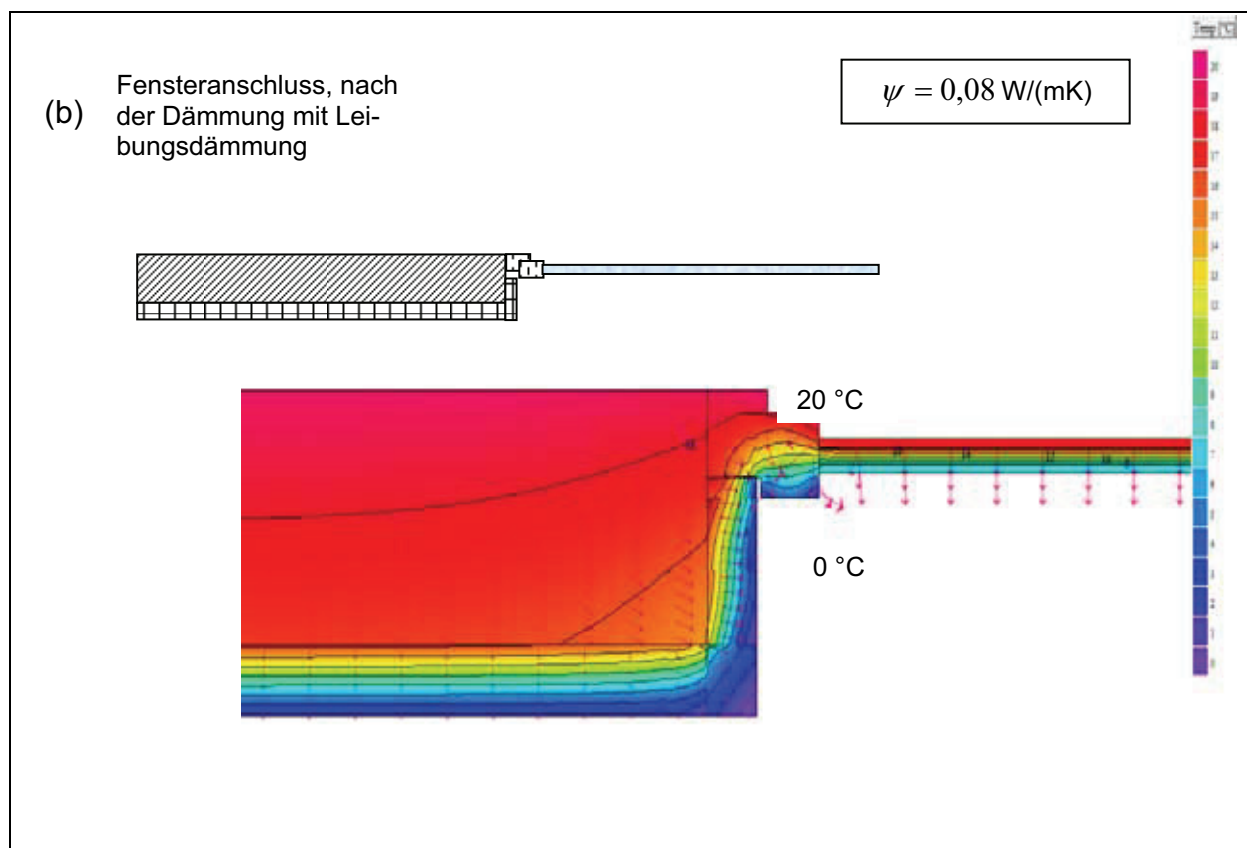
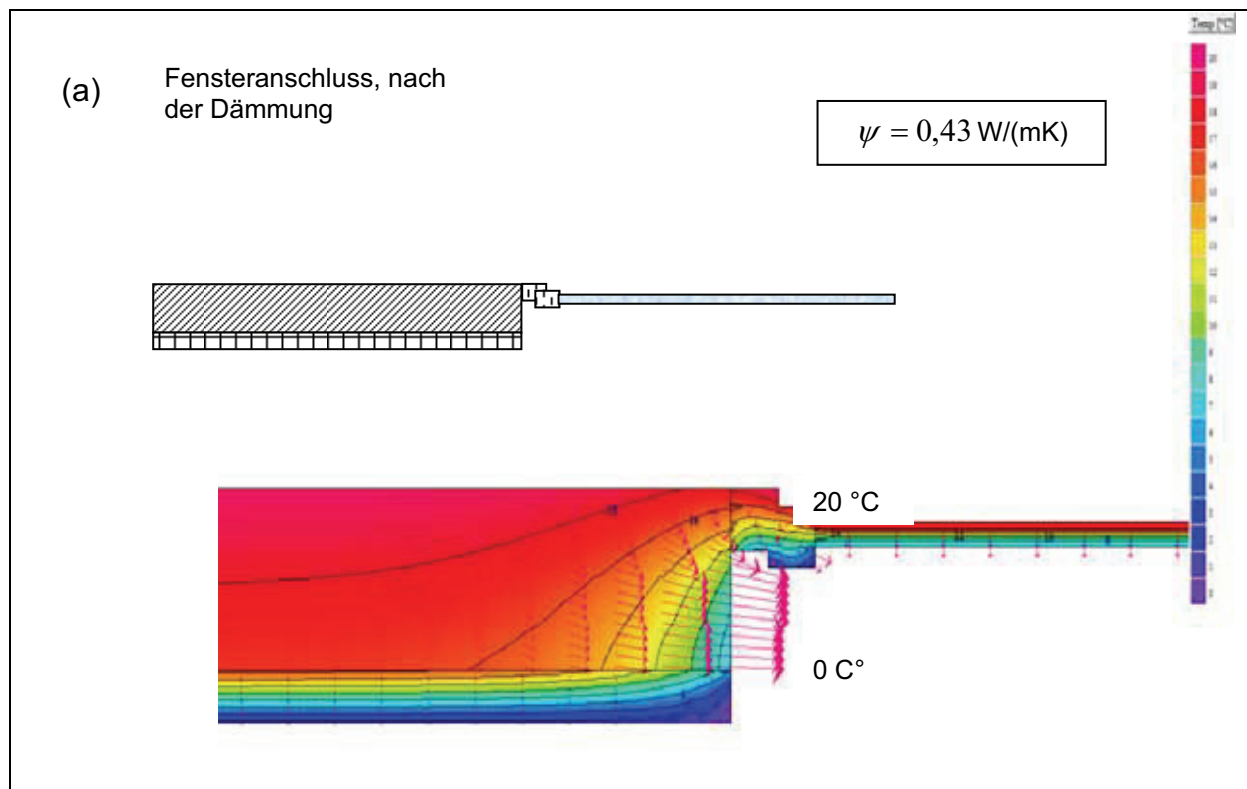


Abbildung A6-13: Materialbedingte Wärmebrücken. Fensteranschluss bei syrischen Baukonstruktionen ohne Leibungsdämmung (Bild a) und mit Leibungsdämmung (Bild b).

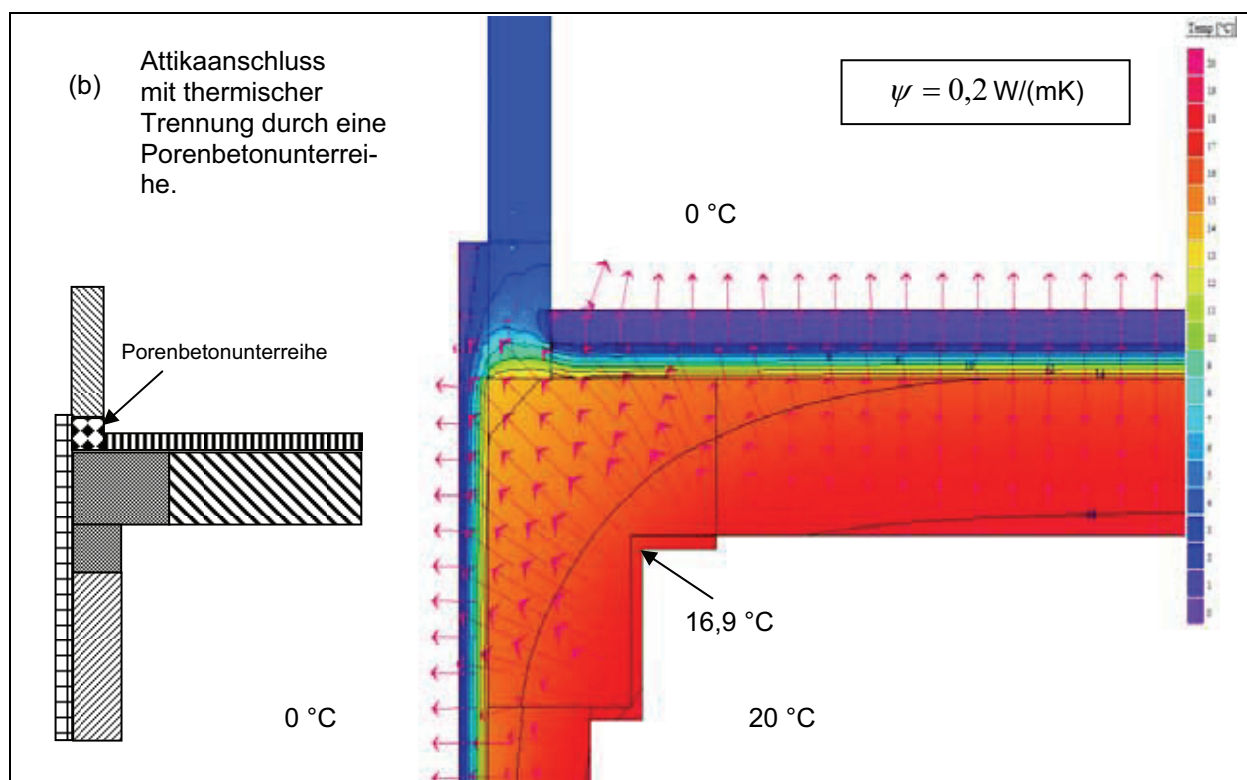
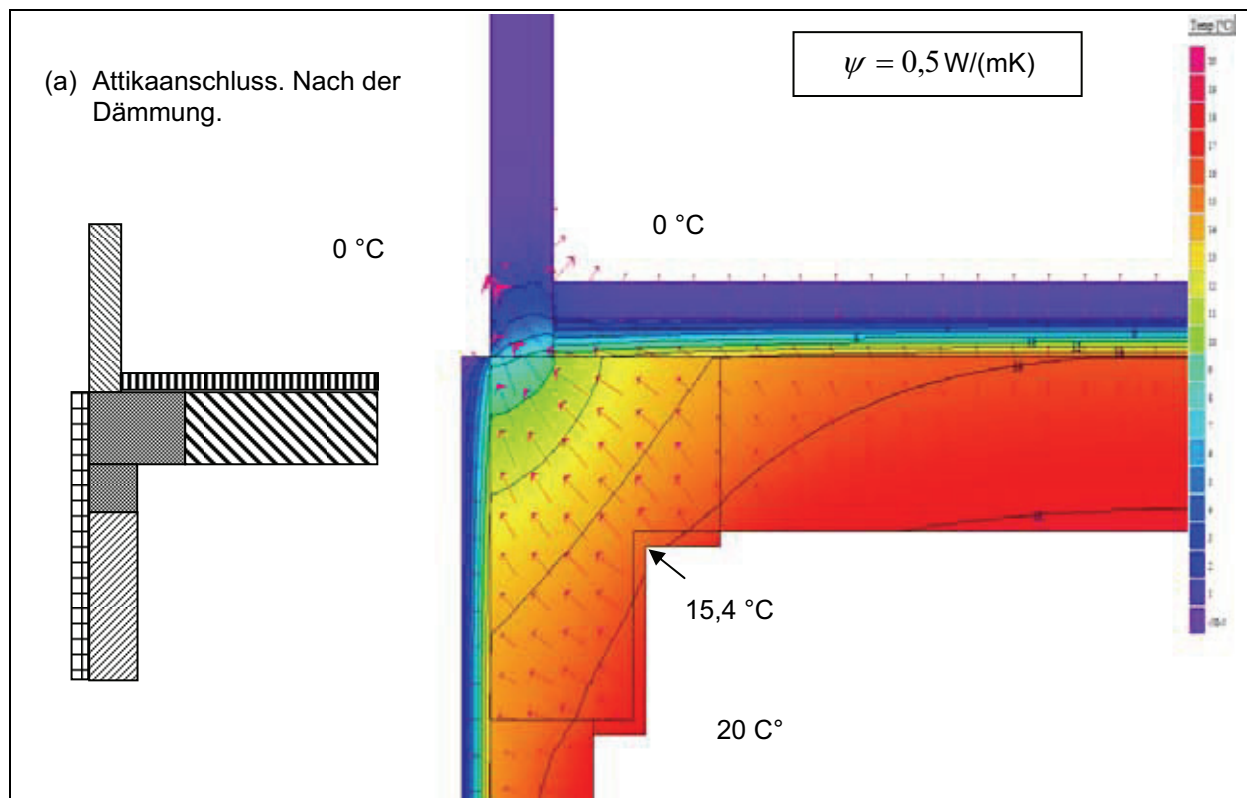


Abbildung A6-14: Materialbedingte Wärmebrücken bei syrischen Baukonstruktionen. Ein Dachanschluss mit einer Attika, vor (Bild a) und nach (Bild b) der thermischen Trennung der Attika von der Dachplatte.





Abbildung A6-15: Beispiel eines Isolierglasfensters mit Holzrahmen und einer Alu-oberbekleidungsschale [FDSG].

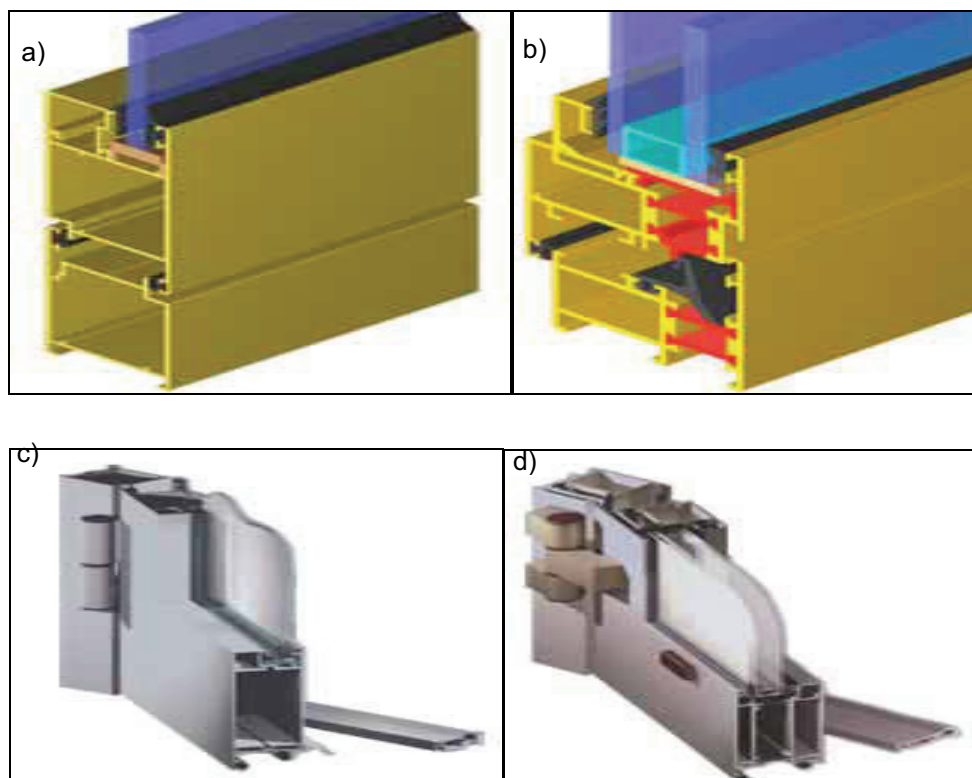


Abbildung A6-16: Beispiele für Aluminiumfenster ohne thermische Trennung (a, c) bzw. mit thermischer Trennung (b, d) [DOBRE-OKNA].

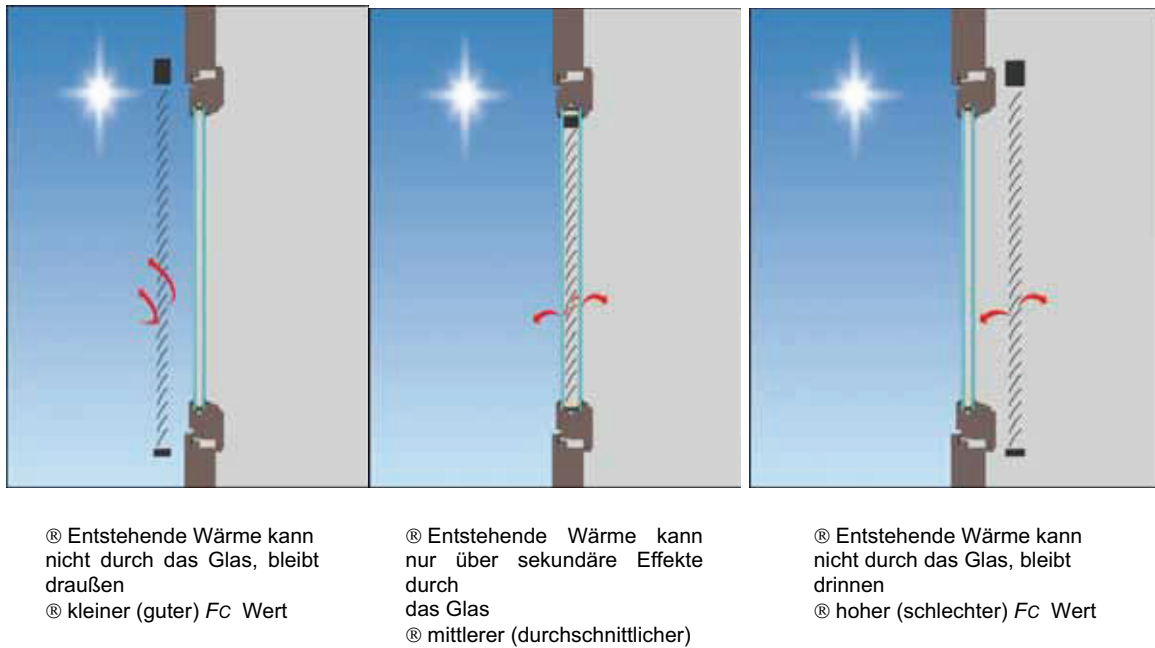


Abbildung A6-17: Effektivität der Sonnenschutzvorrichtungen im Verhältnis zu ihrer Positionierung [WAREMA, 2003].

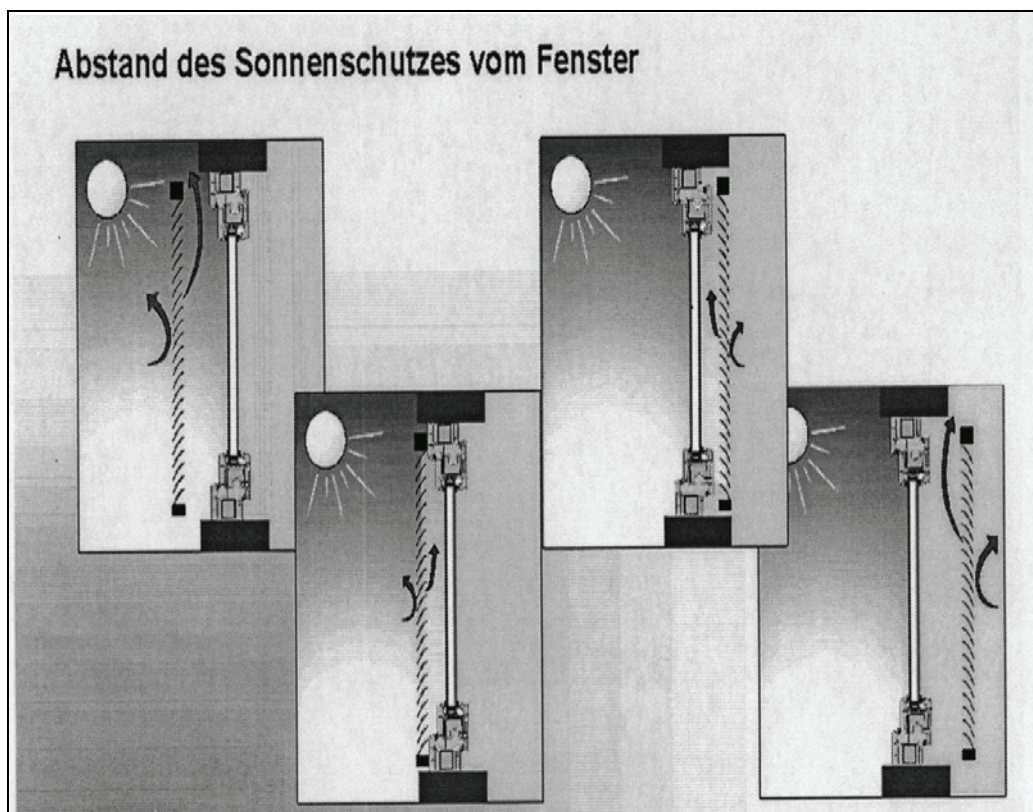


Abbildung A6-18: Abstandswirkung der außenliegenden Sonnenschutzelemente von Fenstern [SCHILD, 2006].

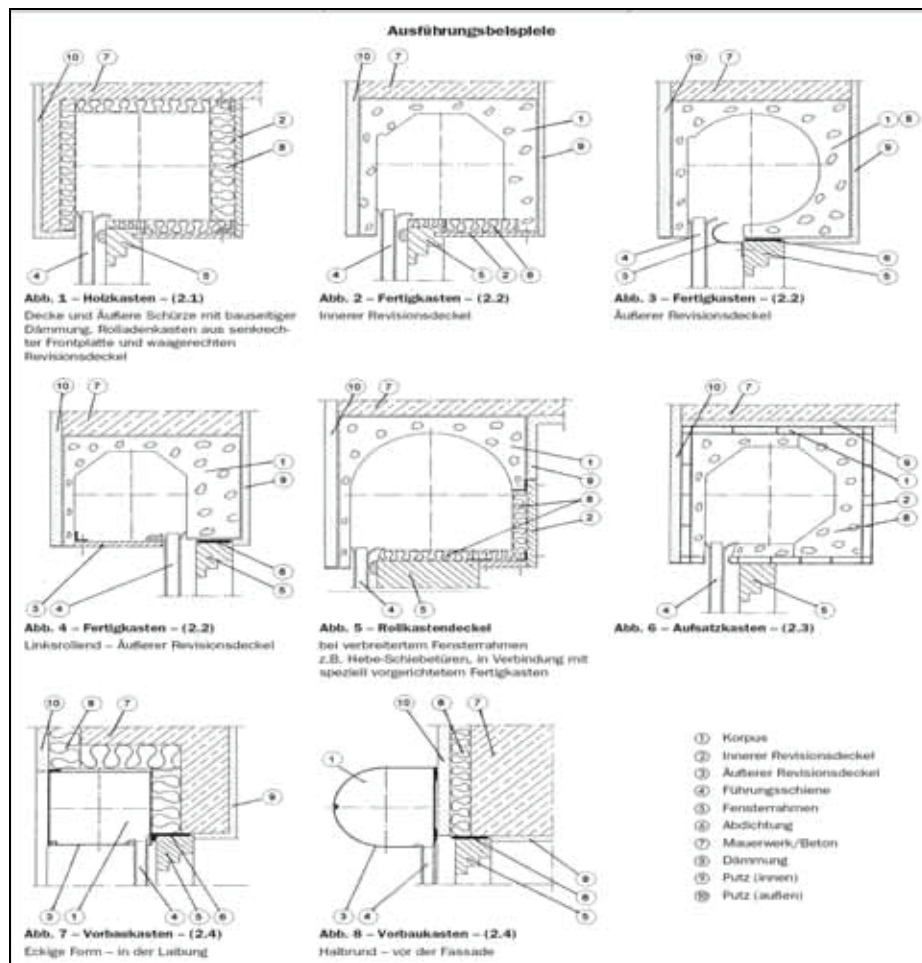


Abbildung A6-19: Beispiele für optimale Ausführung der Rolladenkästen, um Wärmebrücken an dieser Stelle zu vermeiden [BRS, 2000].

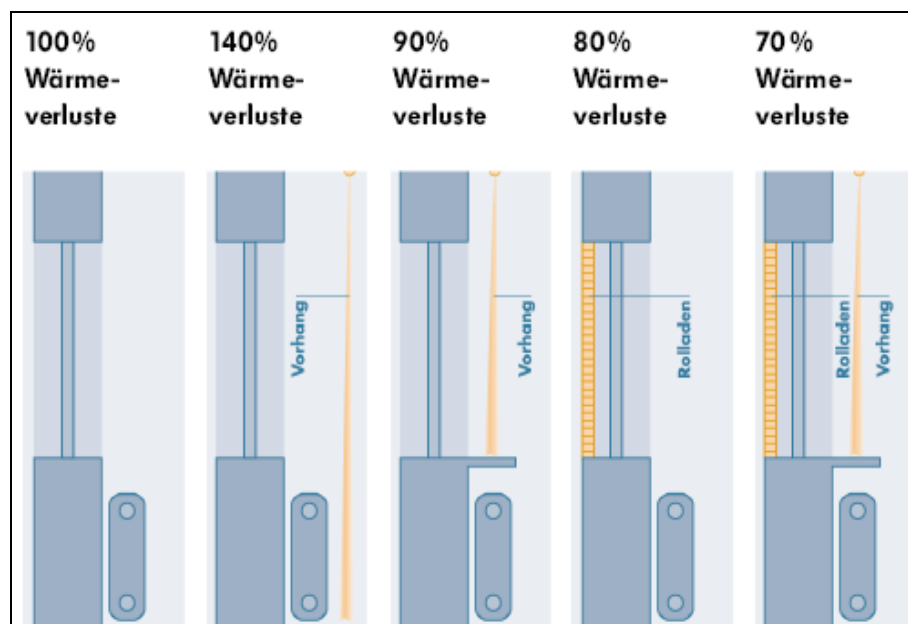


Abbildung A6-20: Optimale Planung der Wärmeschutzelemente im Zusammenhang mit der Heizungspositionierung [BSWVT, 1998].



Anhang des Kapitels 7:

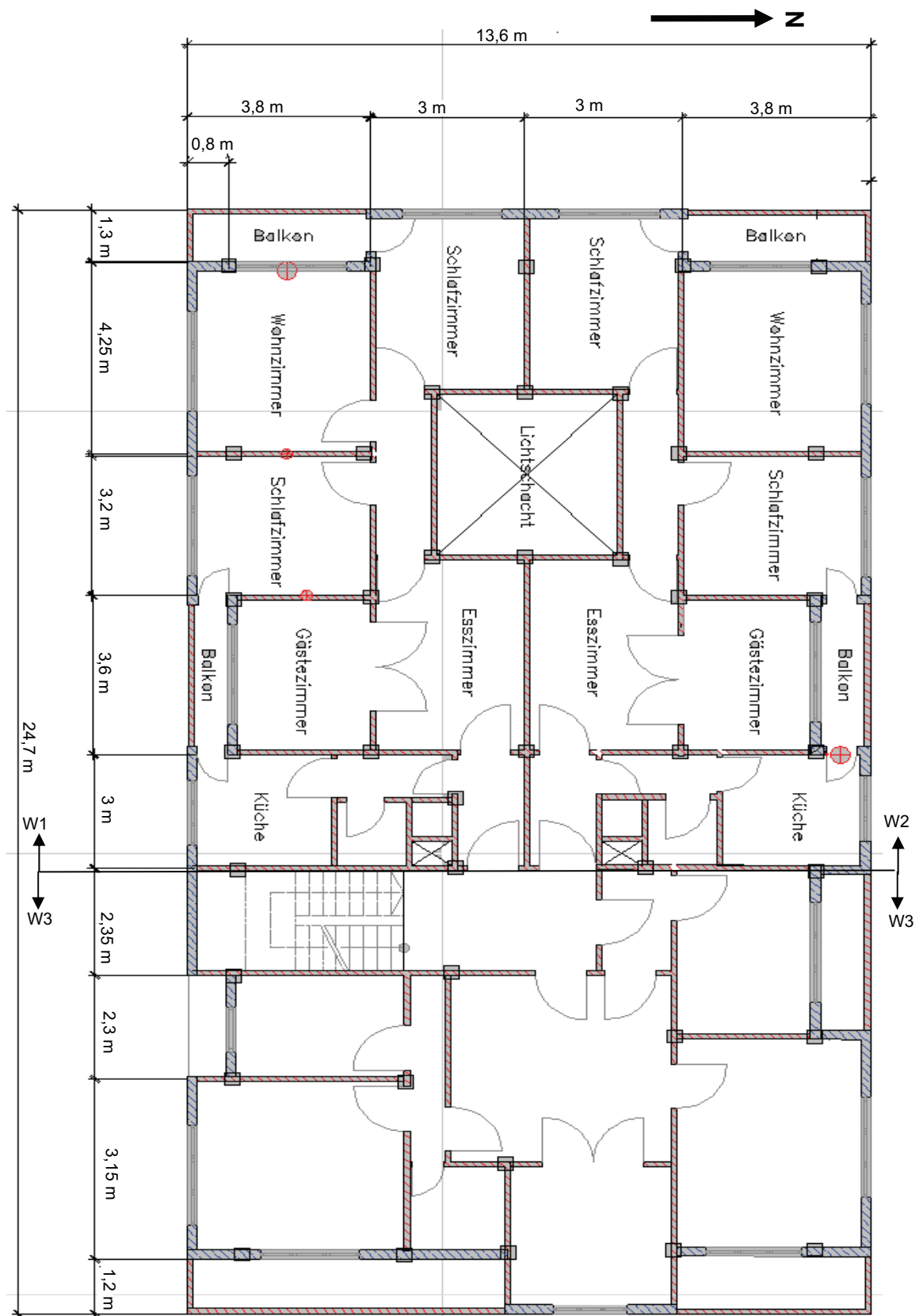


Abbildung A7-1: Grundriss des untersuchten Gebäudes.

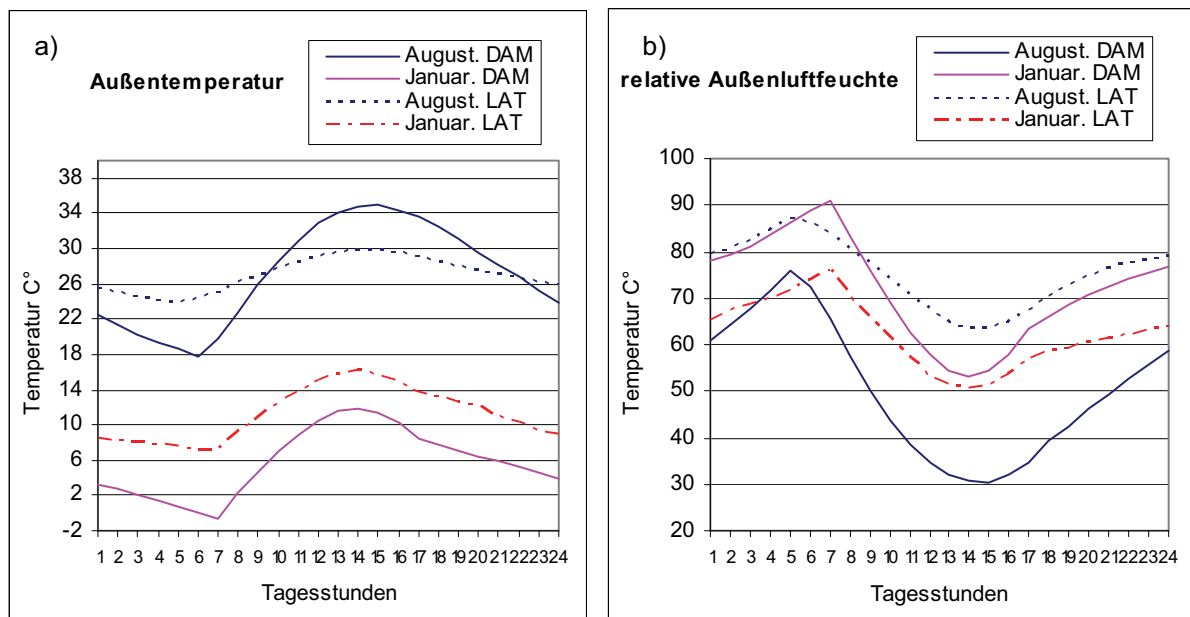


Abbildung A7-2: Typisches Außenklima (a Außentemperatur und b relative Außenluftfeuchte) aus den benutzten Klimadaten (TRYs aus dem Programm METEOTEST) in den untersuchten Regionen (Beispiel Damaskus und Lattakia).

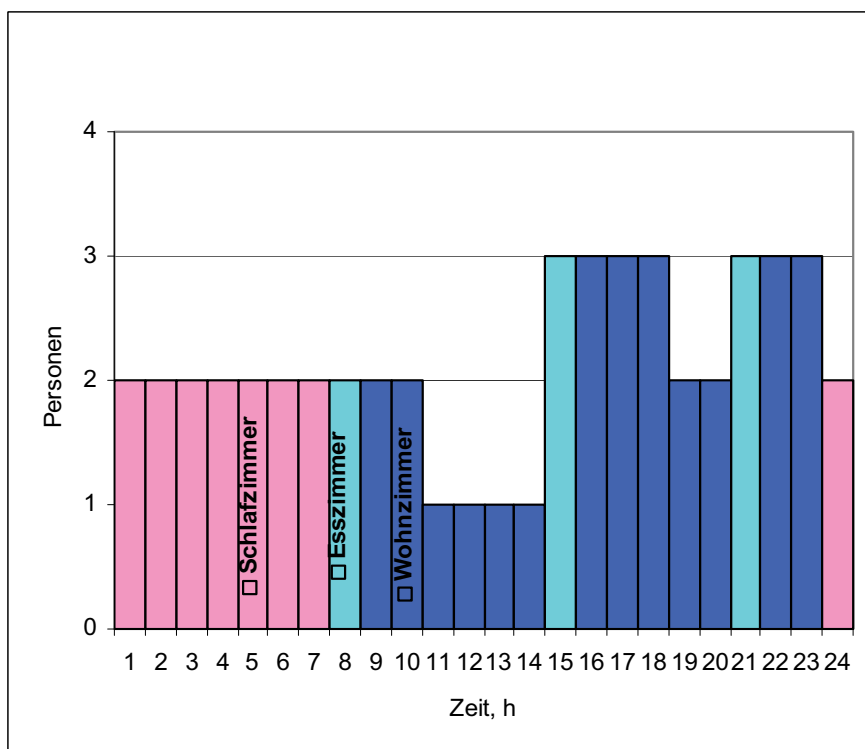


Abbildung A7-3: Angenommene Belegungszeiten der untersuchten Wohnungen.

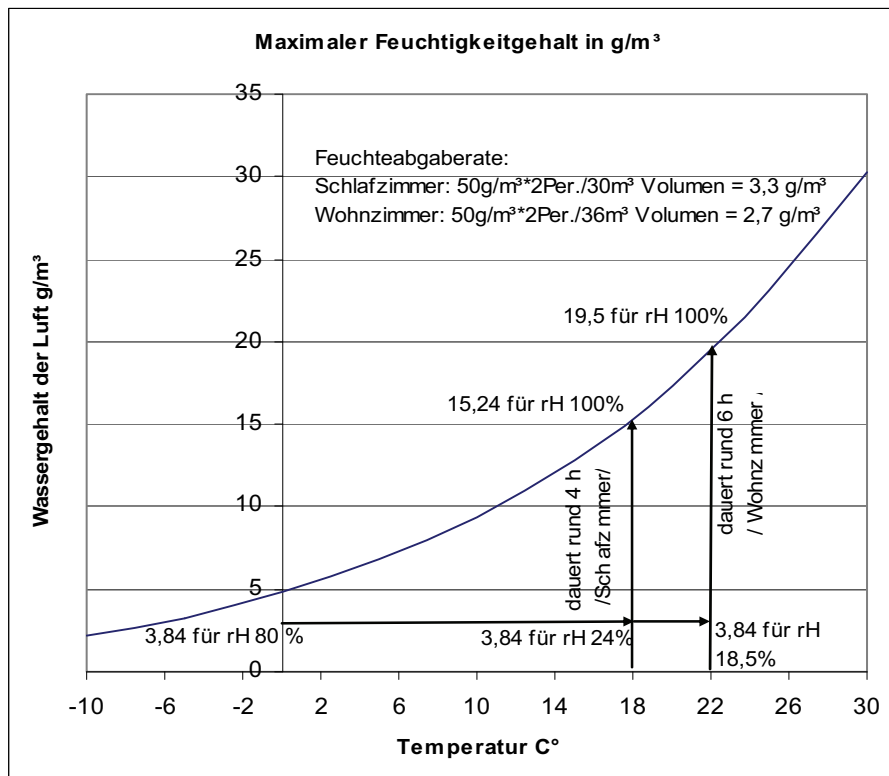


Abbildung A7-4: Erforderliche Zeit zum Erreichen des maximalen Wasserdampfgehalts in der Raumluft (Lüftungsbedarf). Berechnungsannahmen (frische kalte Außenluft mit 80 % relative Feuchte und 0 °C Temperatur, Feuchteabgabe 50g/h.Person).

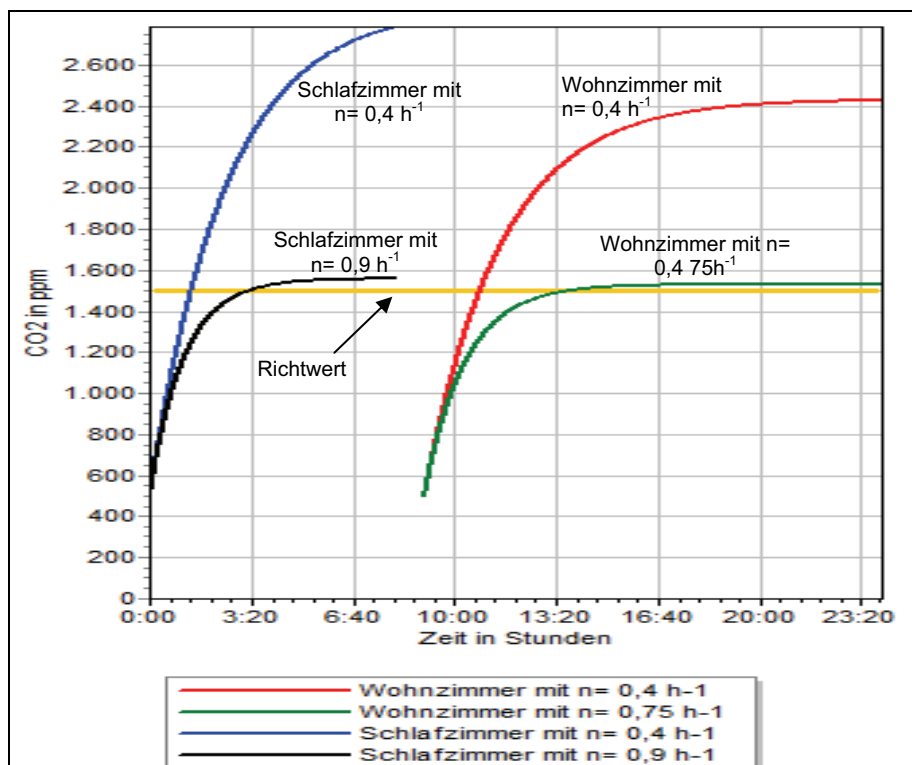


Abbildung A7-5: Erforderlicher Luftwechsel zum Erhalt des Richtwerts der CO<sub>2</sub>-Konzentration nach DIN 1946-2 im untersuchten Wohnzimmer (37 m<sup>3</sup> Volumen) und im Schlafzimmer (30 m<sup>3</sup> Volumen) mit durchschnittlich 2 Personen Raumbesetzung.

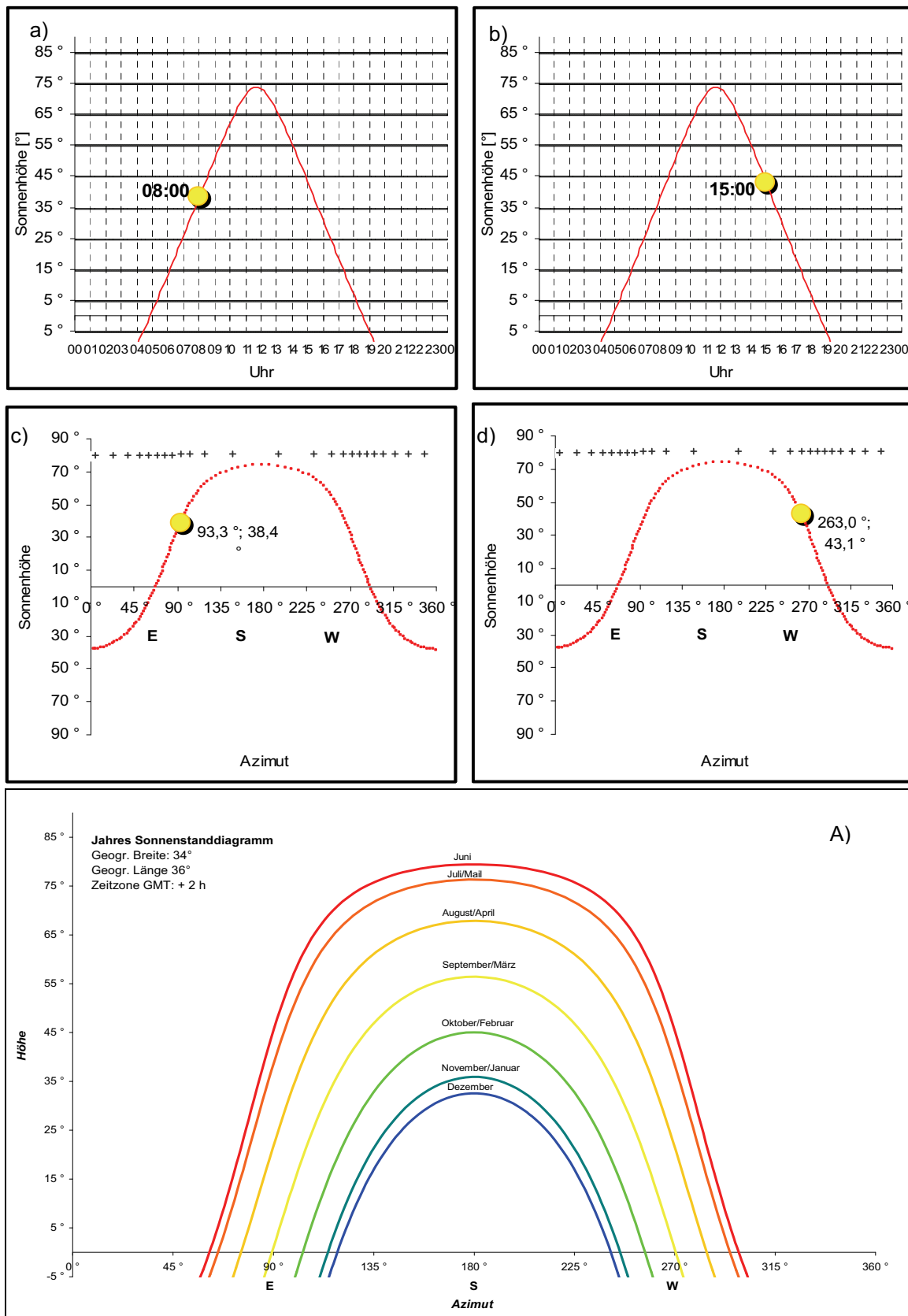


Abbildung A7-6: Bestimmung der erforderlichen Verschattungszeiten nach dem Azimut und der Sonnenhöhe (Bilder a bis c) in Anlehnung an das Sonnenstanddiagramm (Bild A) für 34° nördliche Breite. Für die südliche Fassade von 08.00 Uhr bis 15.00 Uhr und für die westliche Fassade ab 15 Uhr bis 19 Uhr. Beispiel August.

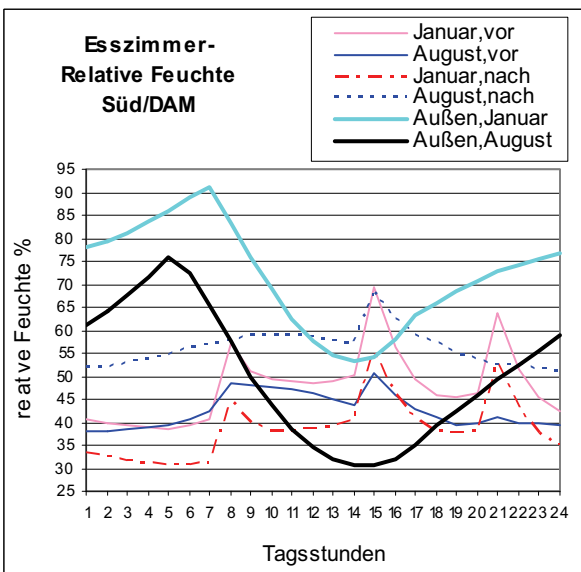
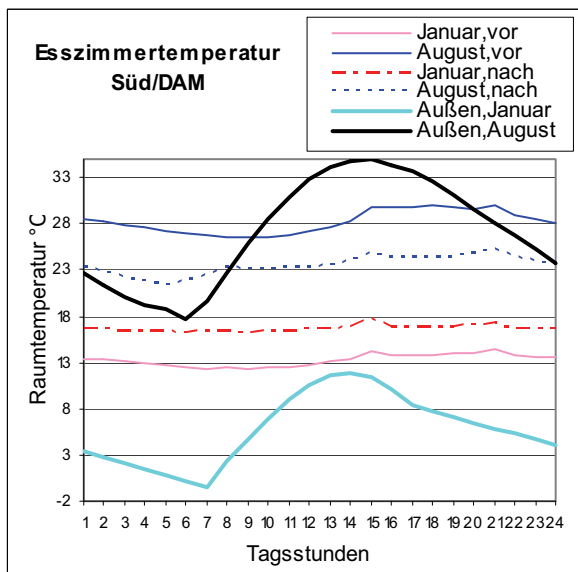
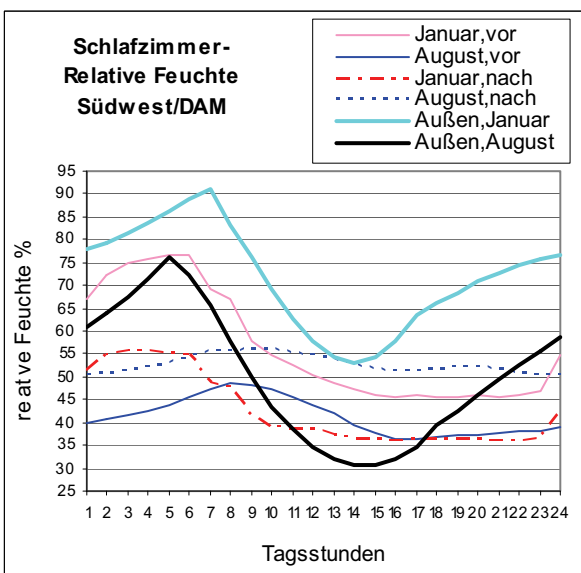
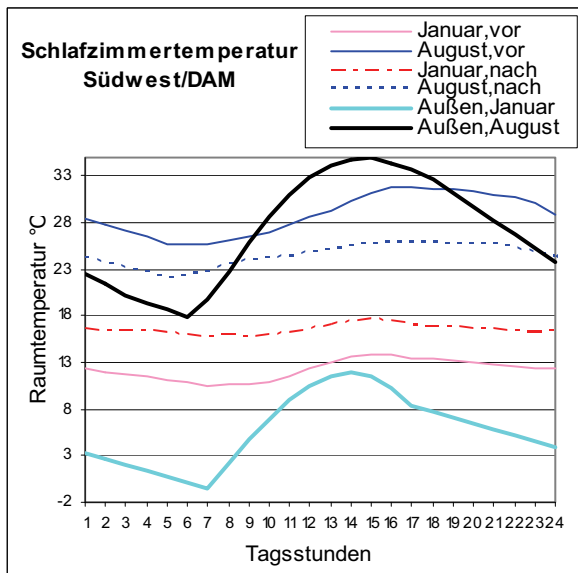
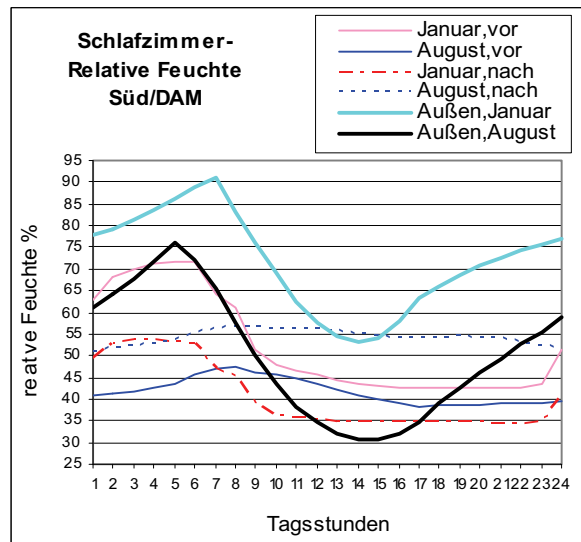
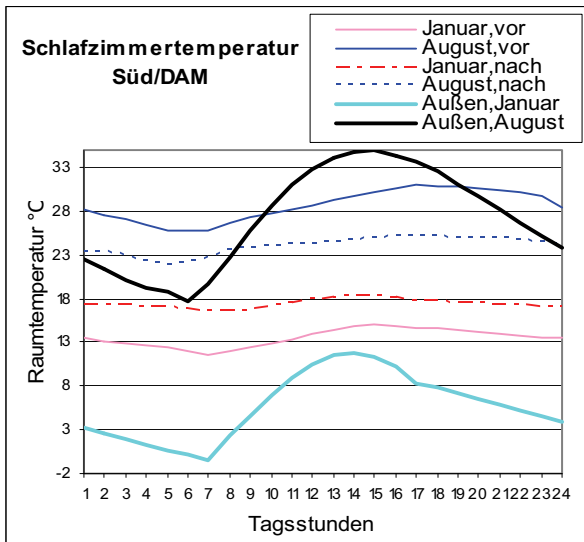


Abbildung A7-7: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der südorientierten Wohnung für das Beispiel Damaskus vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.

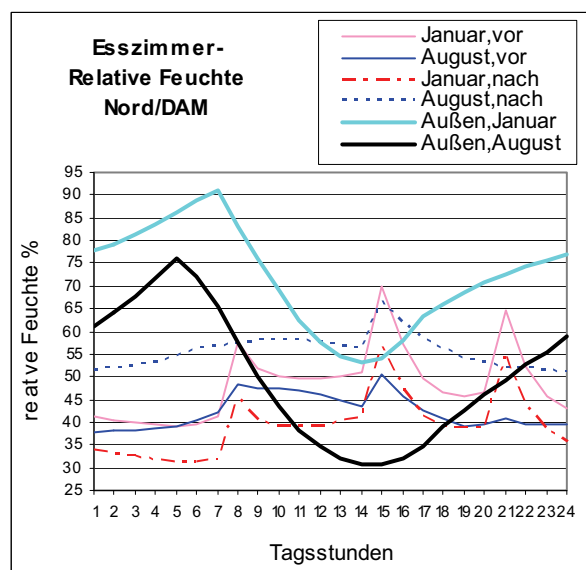
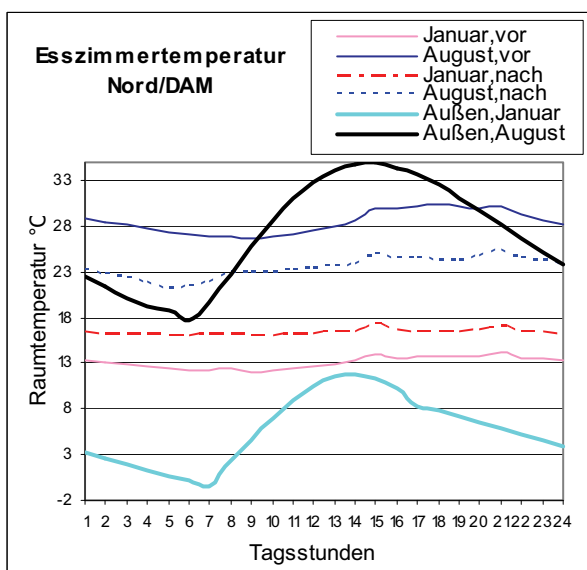
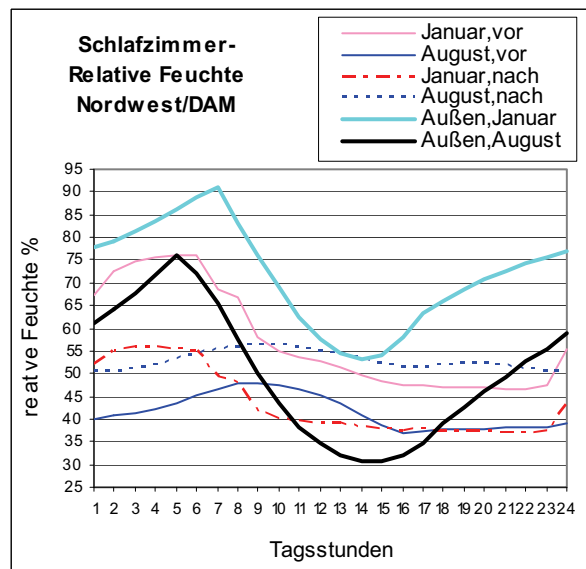
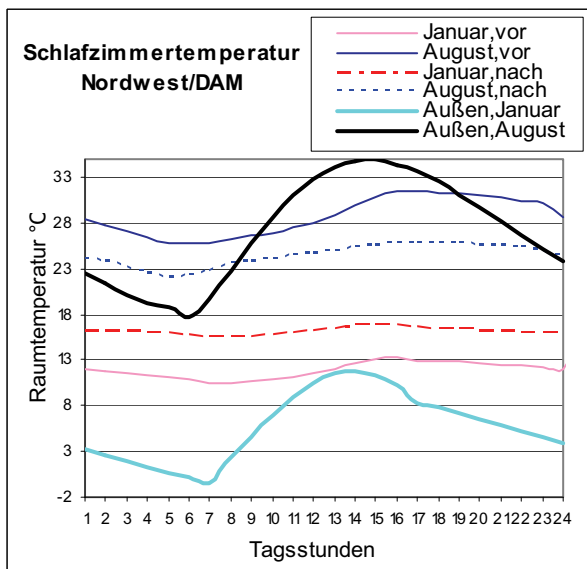
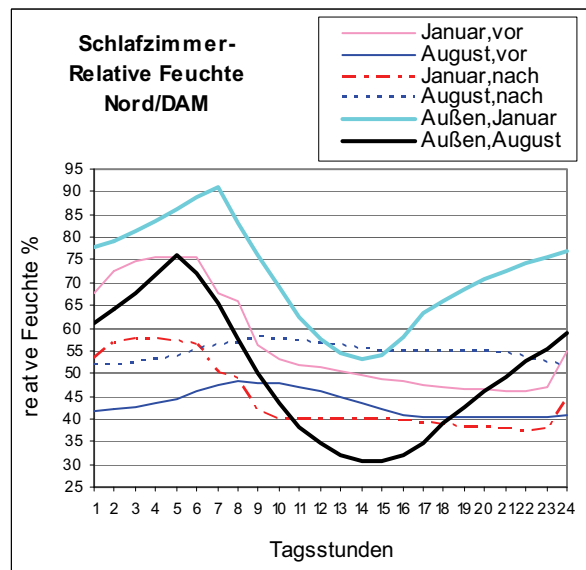
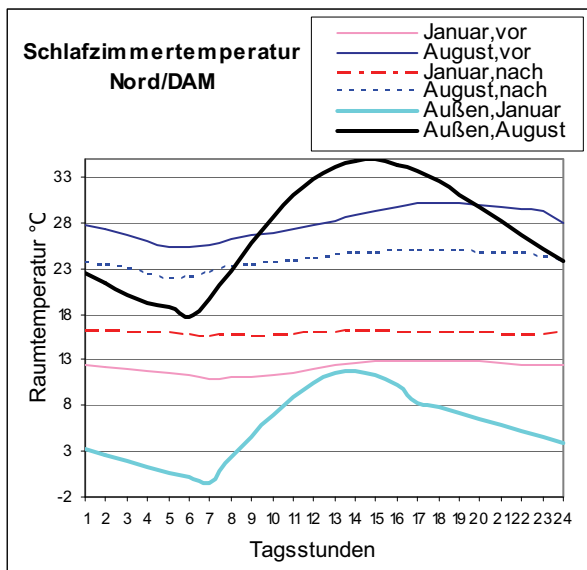


Abbildung A7-8: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der nordorientierten Wohnung für das Beispiel Damaskus vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.

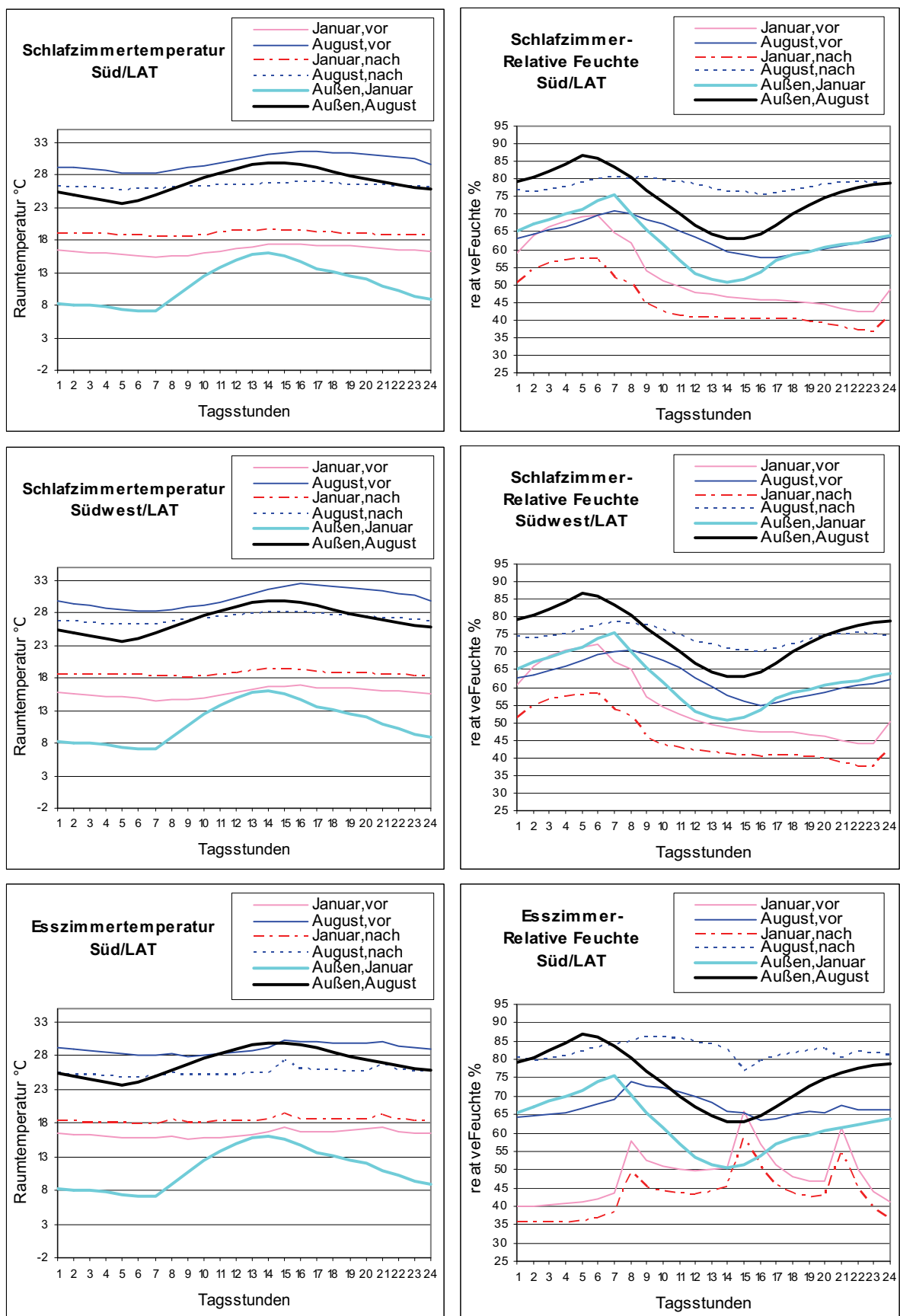


Abbildung A7-9: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der südorientierten Wohnung für das Beispiel Lattakia vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.

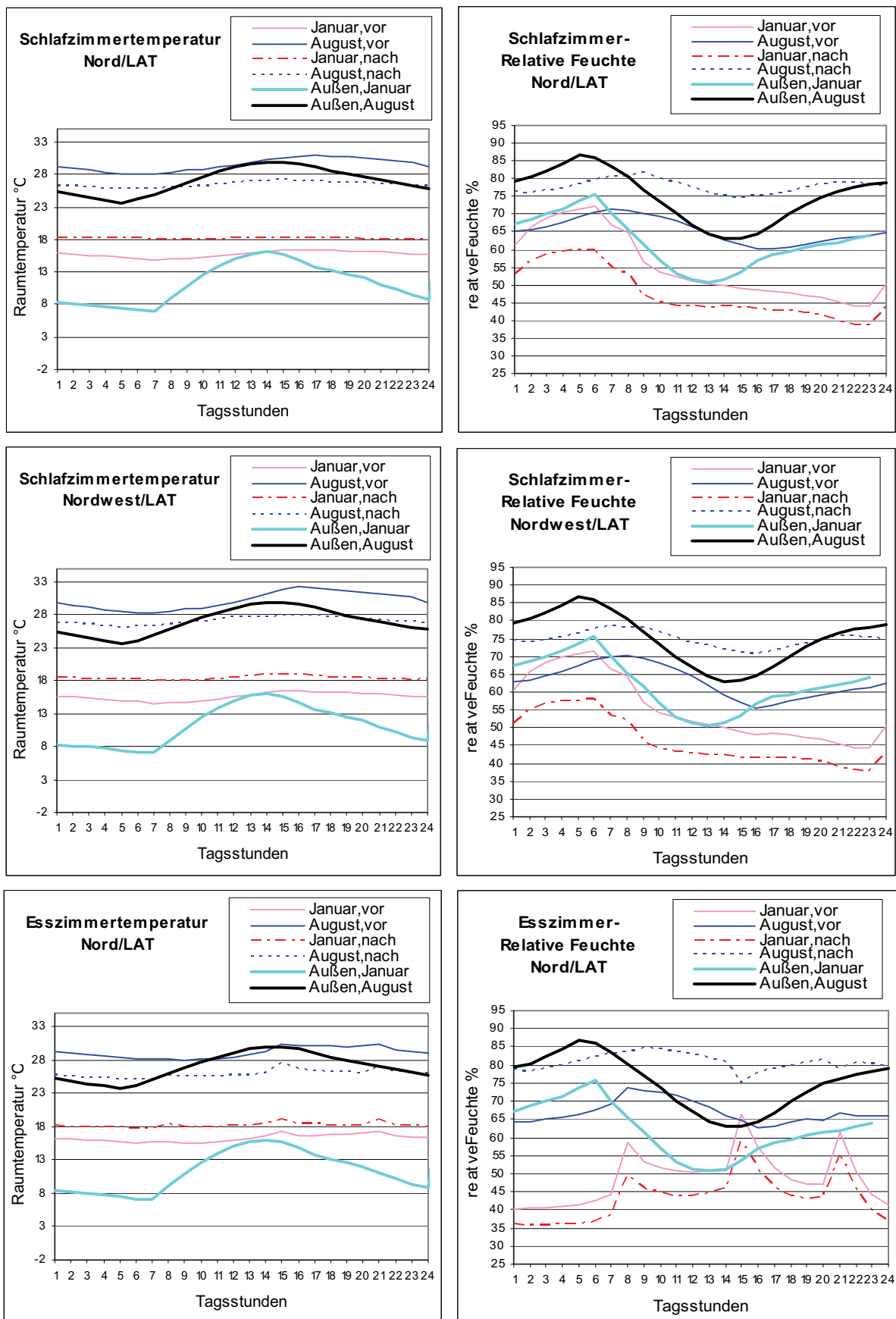


Abbildung A7-10: Simulationsergebnisse des Raumklimas in der nordorientierten Wohnung für das Beispiel Lattakia vor und nach den getroffenen Verbesserungsmaßnahmen.



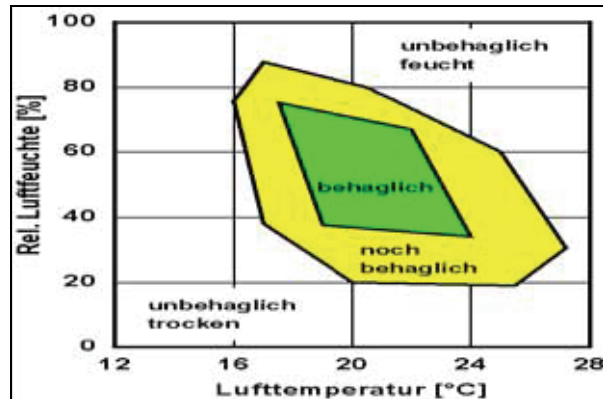


Abbildung A7-11: Behaglichkeitsgrenze im Raumklima auf Grundlage des Verhältnisses von Raumlufttemperatur zur relativen Luftfeuchte.[TERHAAG, 1986]

### Anhang des Kapitels 8:

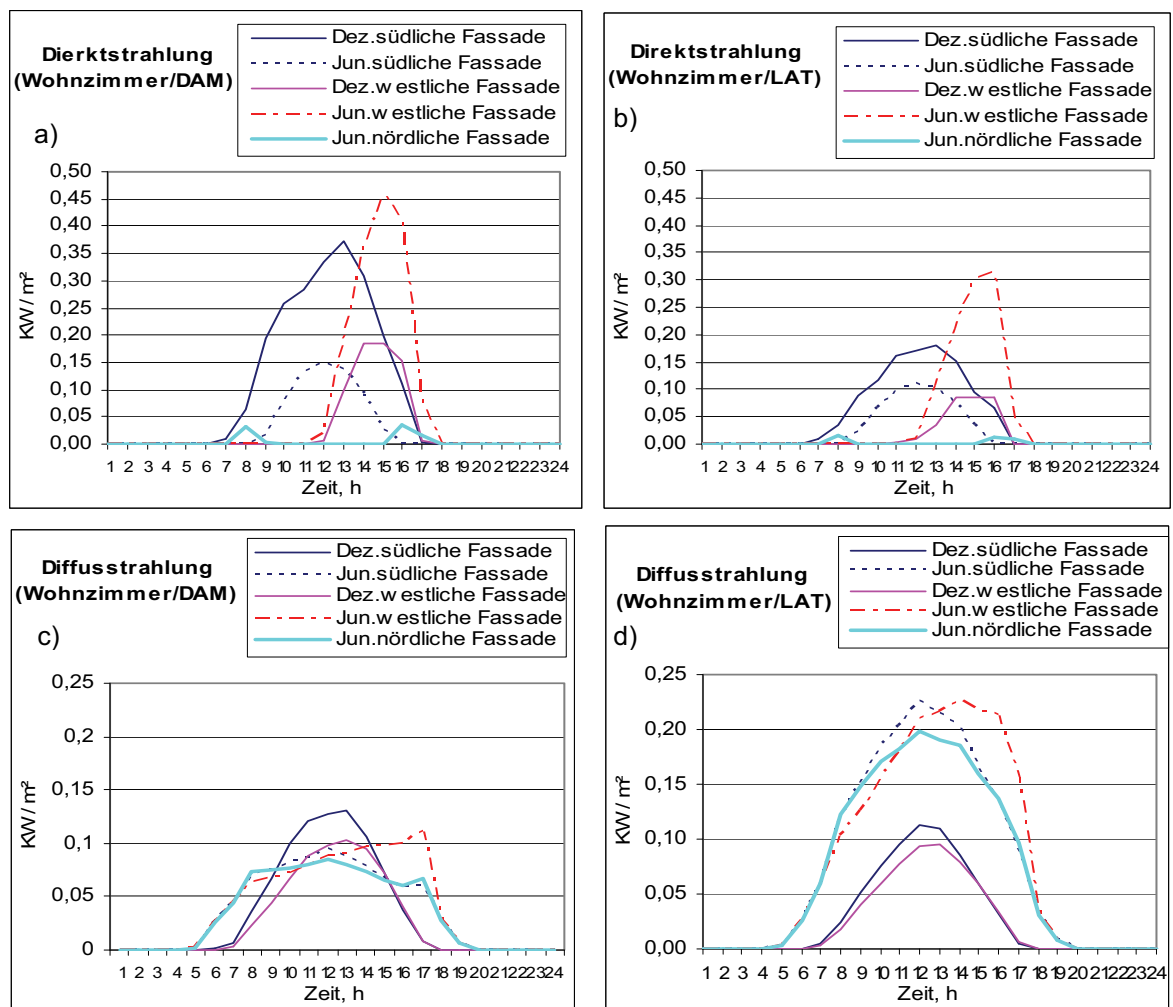


Abbildung A8-1: Direkt- und Diffussolarstrahlungsertrag an den unterschiedlichen Fassaden der untersuchten Wohnzimmer für Dezember und Juni. Beispiele Damas-kus und Lattakia.

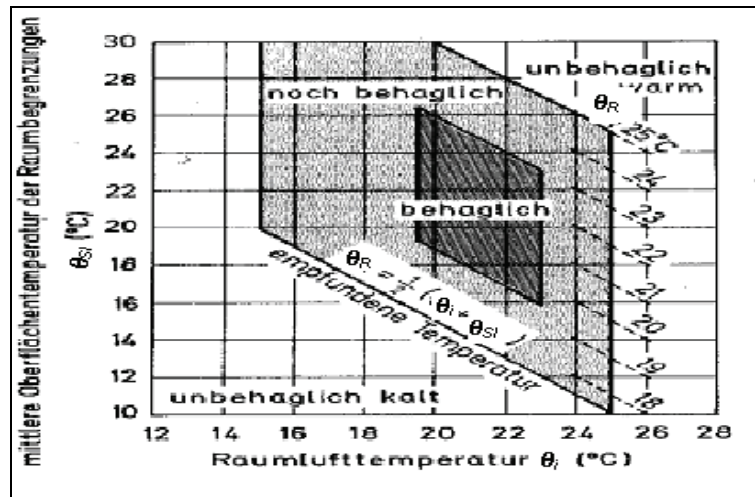


Abbildung A8-2: Thermische Behaglichkeit als Funktion der mittleren Oberflächentemperatur der umschließenden Fläche und der Raumlufttemperatur [Frank, 1975].

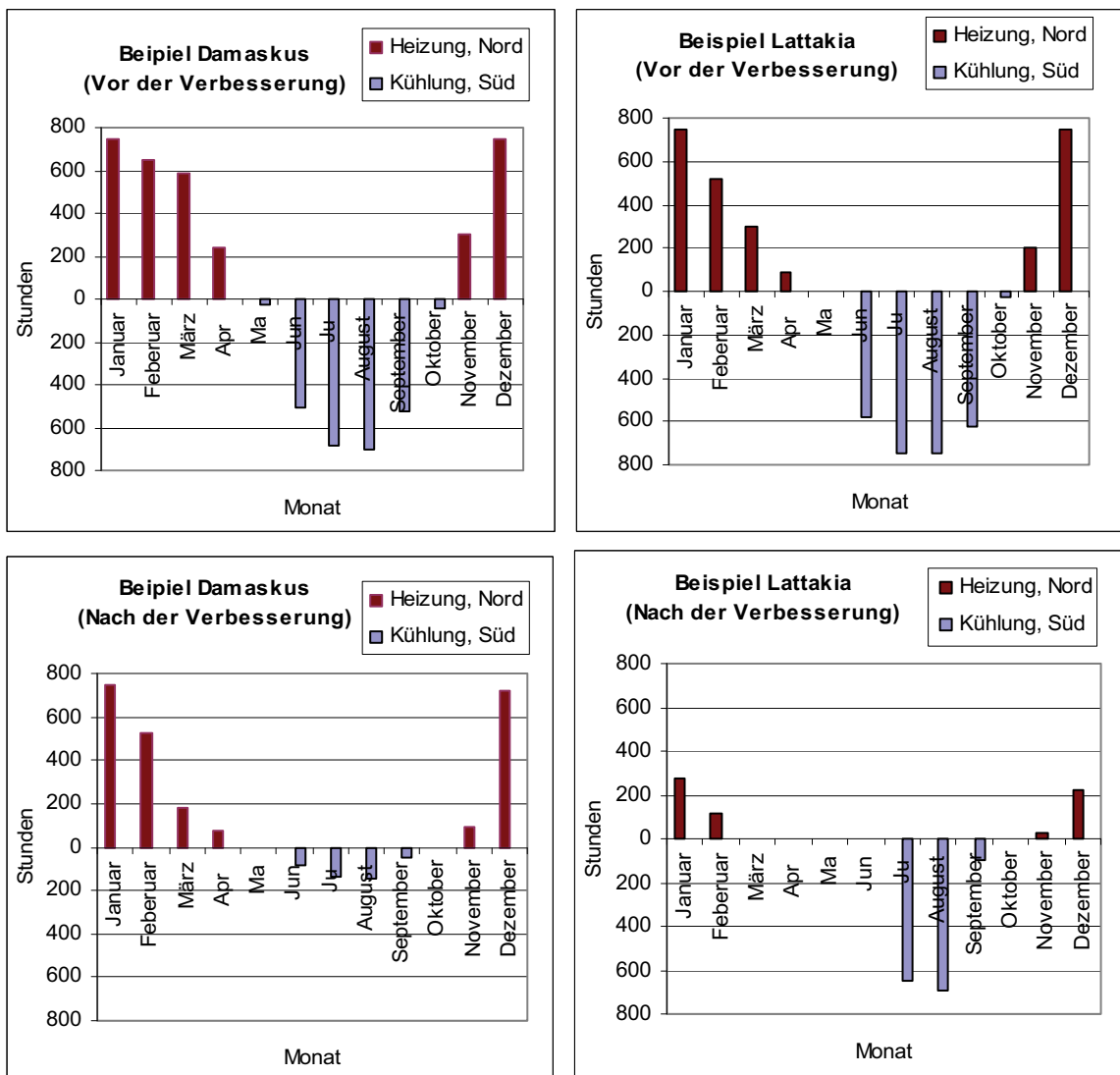


Abbildung A8-3: Erforderliche Heiz- und Kühlstunden vor und nach der thermischen Verbesserung für die Beispiele Damaskus und Latakia.

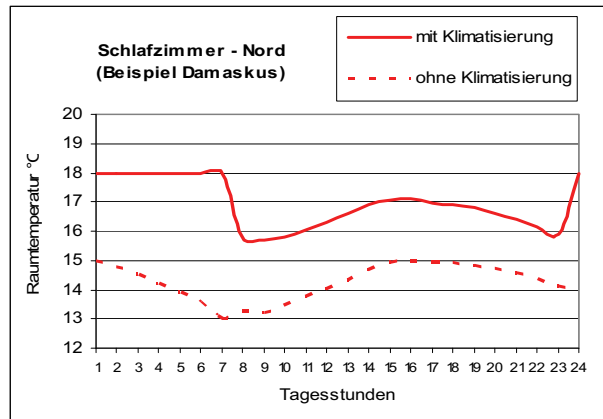


Abbildung A8-4: Raumtemperaturverlauf ohne und mit der Heizung in unsaniertem Gebäudezustand. Beispiel Damaskus (nördliches Schlafzimmer am 02. Januar 2007).

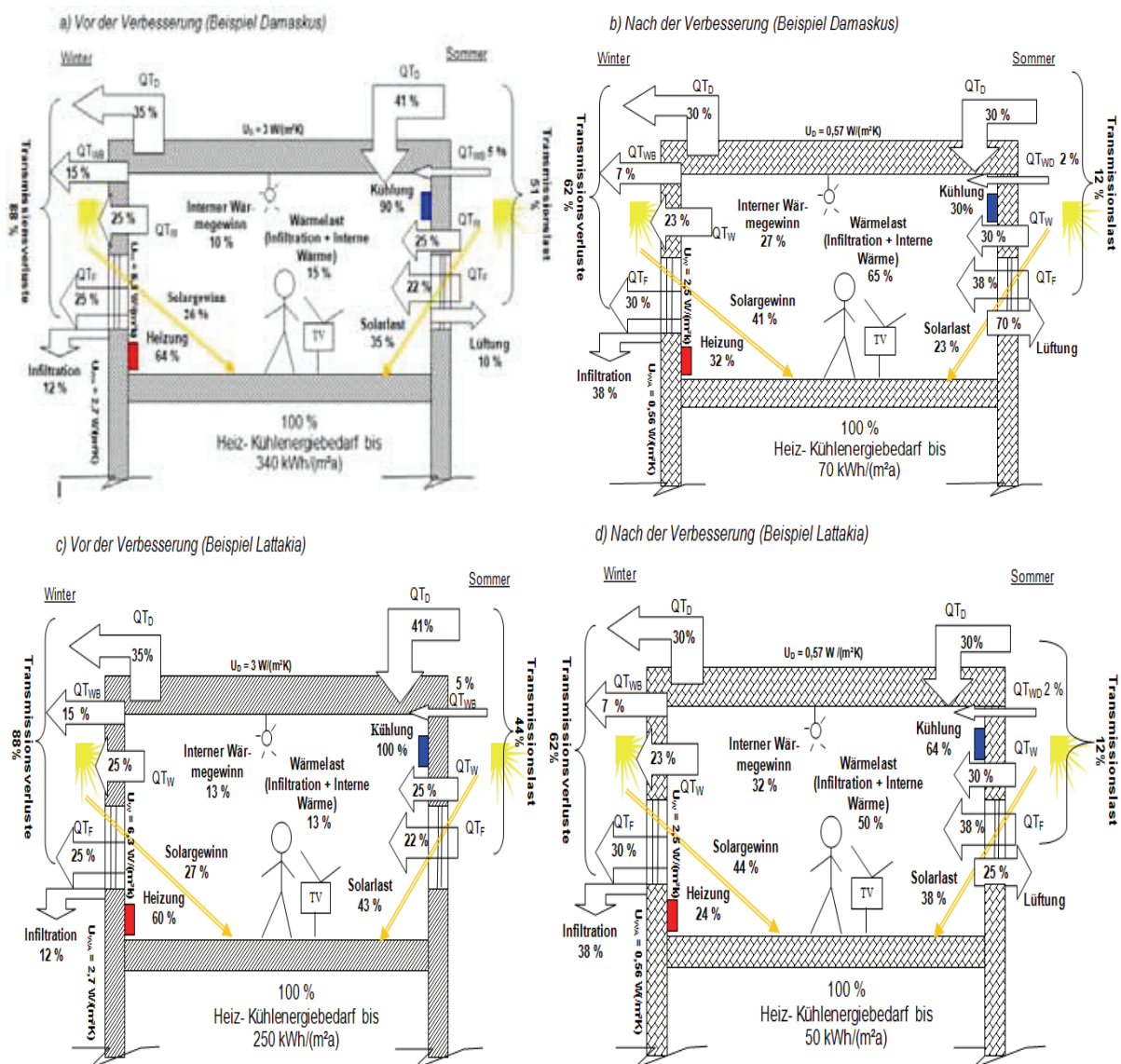


Abbildung A8-5: Energetische Gesamtbilanz der untersuchten Wohnungen Vor und nach der Verbesserung. Die Beispiele Damaskus (a, b) und Lattakia (c, d).

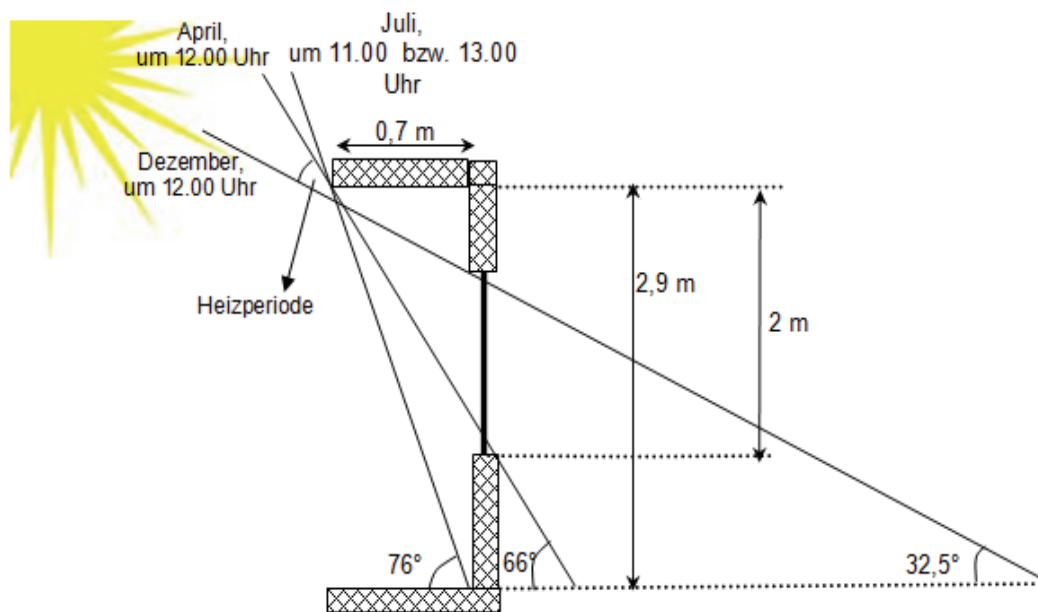


Abbildung A8- 6: Ein Balkon mit 0,7 m Breite an der Südseite kann die Fassade von 11.40 bis 12.20 Uhr im Juli und von 11.20 bis 12.40 Uhr im Juni total von der Sonne abschirmen, ohne den Solargewinn in der Heizperiode zu beeinträchtigen. Beispiel 34 ° nördliche Breite.

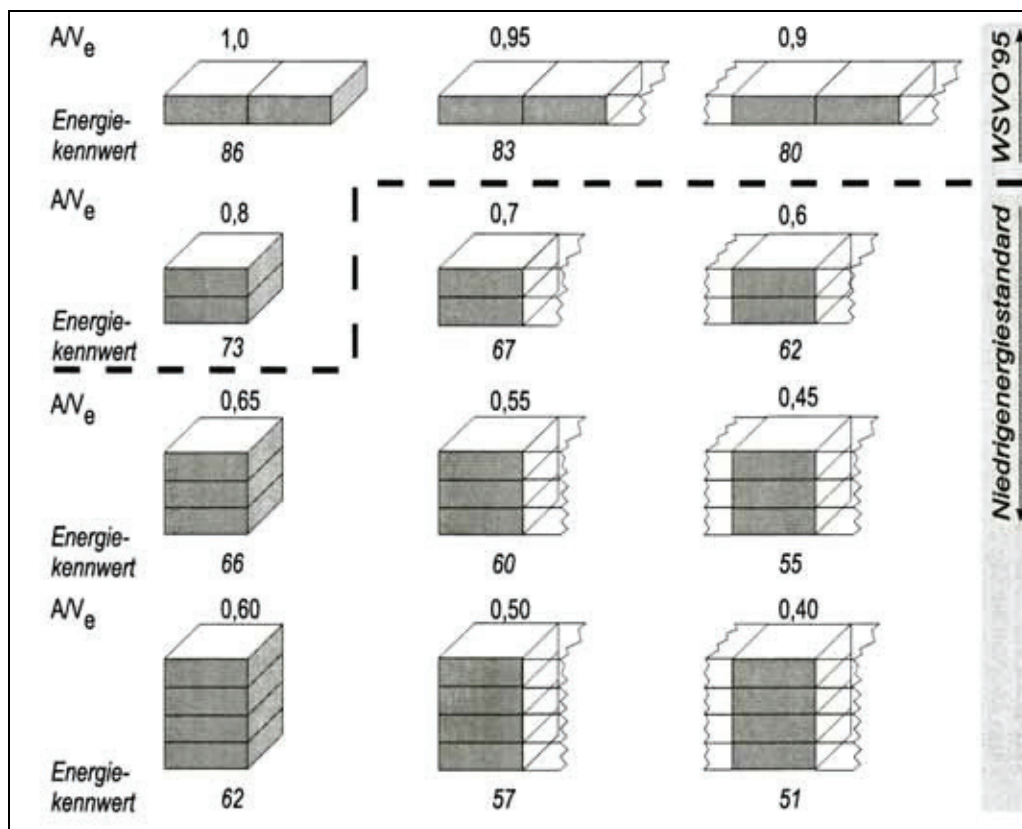


Abbildung A8-7: Beispiele für den Einfluss des  $AV$ -Verhältnisses auf die Energie-kennwerte von Gebäuden [FEIST (1998)].



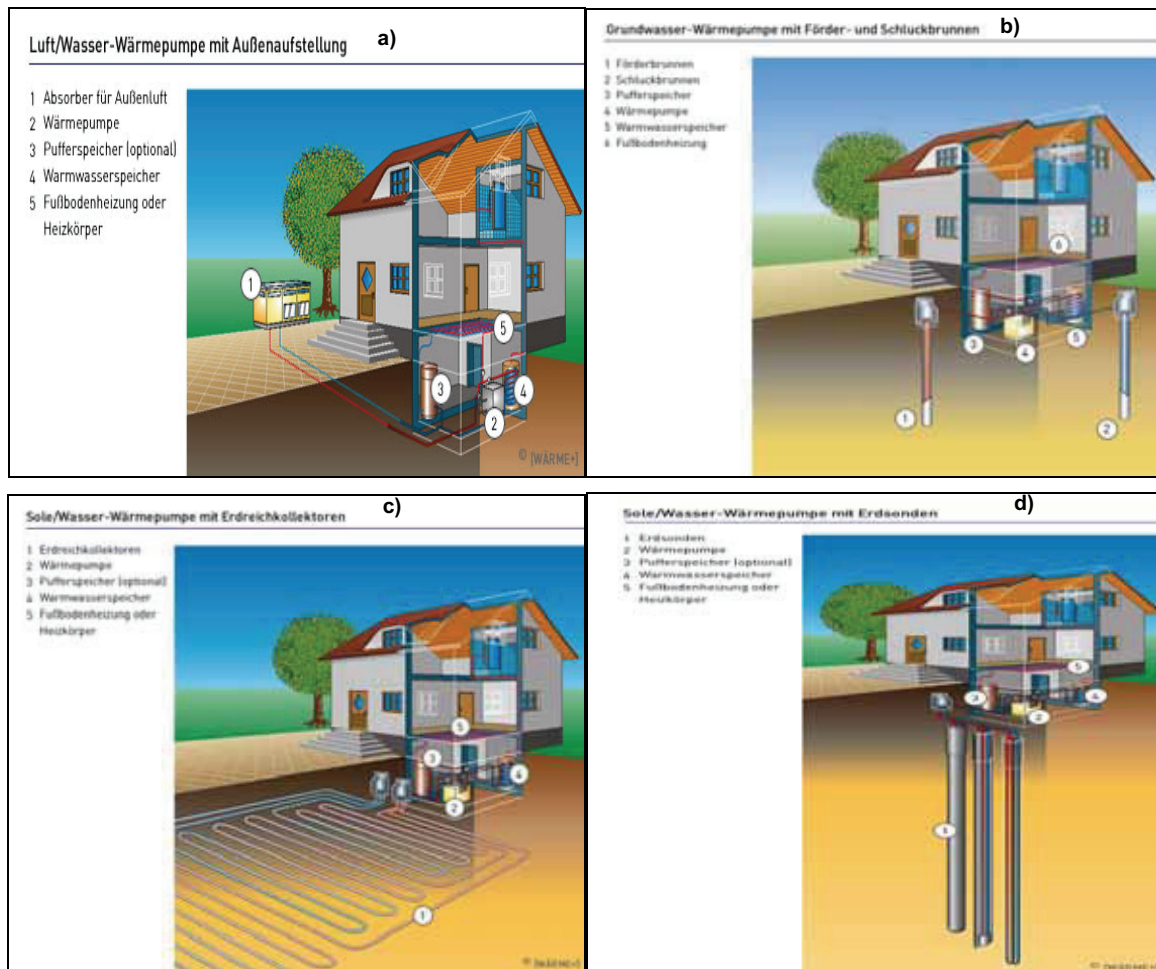


Abbildung A8-8: Wärmepumpensysteme zur Erzeugung von Wärme in Gebäuden aus der Luft (Bild a: Luft/Wasser-System), aus dem Grundwasser (Bild b: Wasser/Wasser-System) und aus dem Boden (Bild c bzw. d: Sole/Wasser-System durch Erdwärmesonde bzw. horizontale Kollektoren) [SIERIG, 2006].

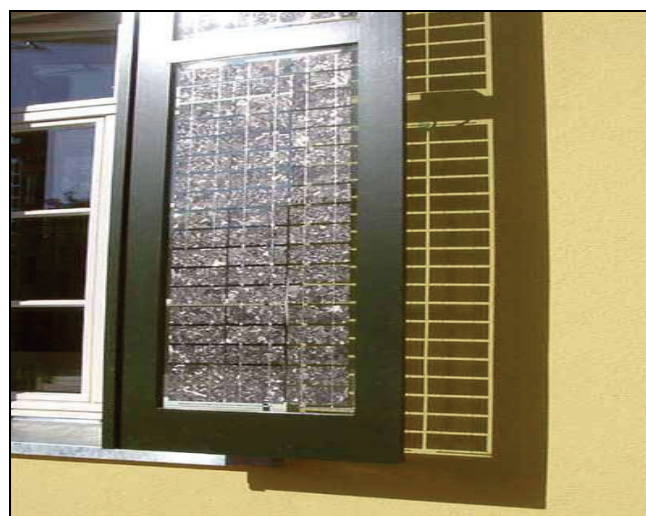


Abbildung A8-9: Technische Anwendung zur Stromerzeugung aus erneuerbarer Energiequelle / Fensterladen mit Solarzellen kombiniert [SOLARINTIGRATION].

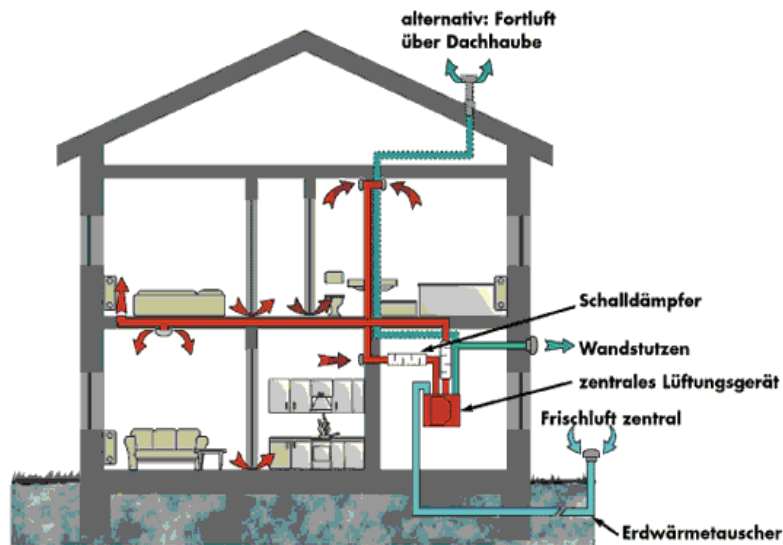


Abbildung A8-10: Zu- und Abluftsystem mit einem Erdwärmetauscher und Wärmerückgewinnung. Ein beträchtlicher Teil des Heiz- und Kühlenergiebedarfs kann durch dieses System gedeckt werden [HEIZ-TIPP].

#### Anhang des Kapitels 9:

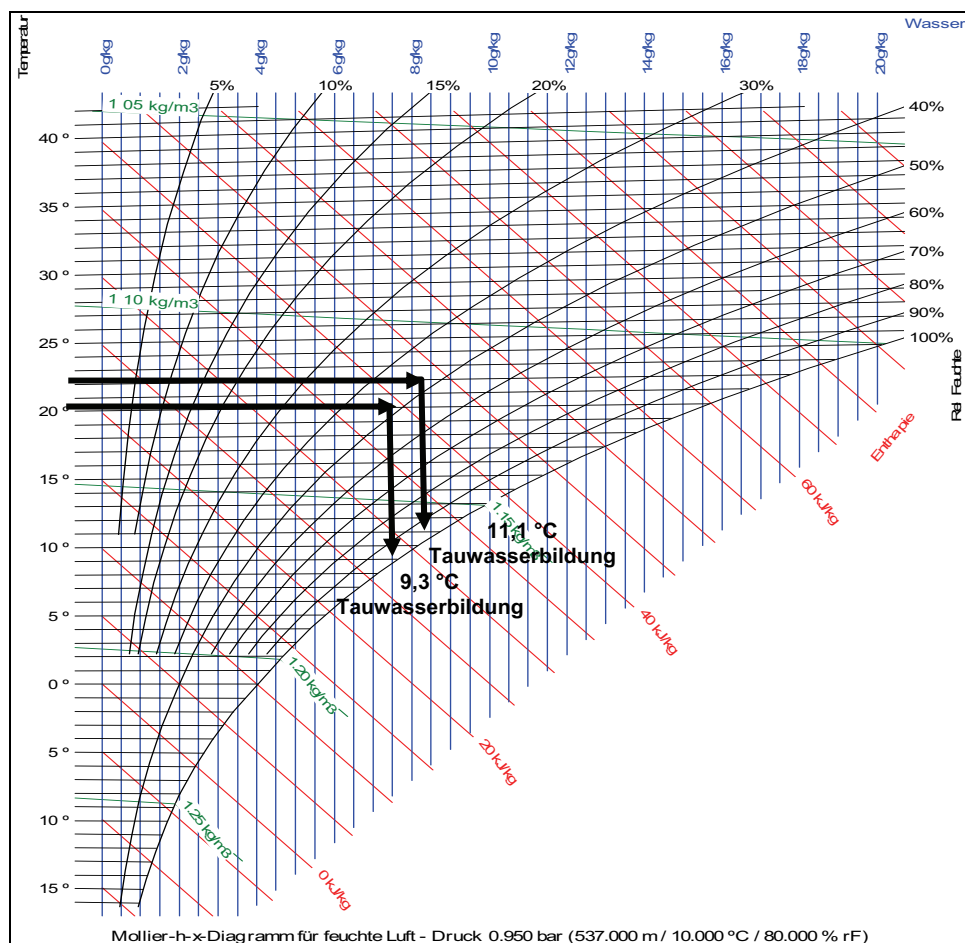


Abbildung A9-1: Tauwasserbildung nach dem Mollier-Diagramm. Beispiel für eine stationäre Berechnung mit einer Raumtemperatur von 20 °C bzw. 22 °C und einer relativen Raumfeuchte von 50 %. [PC- Programm AHH. 5].

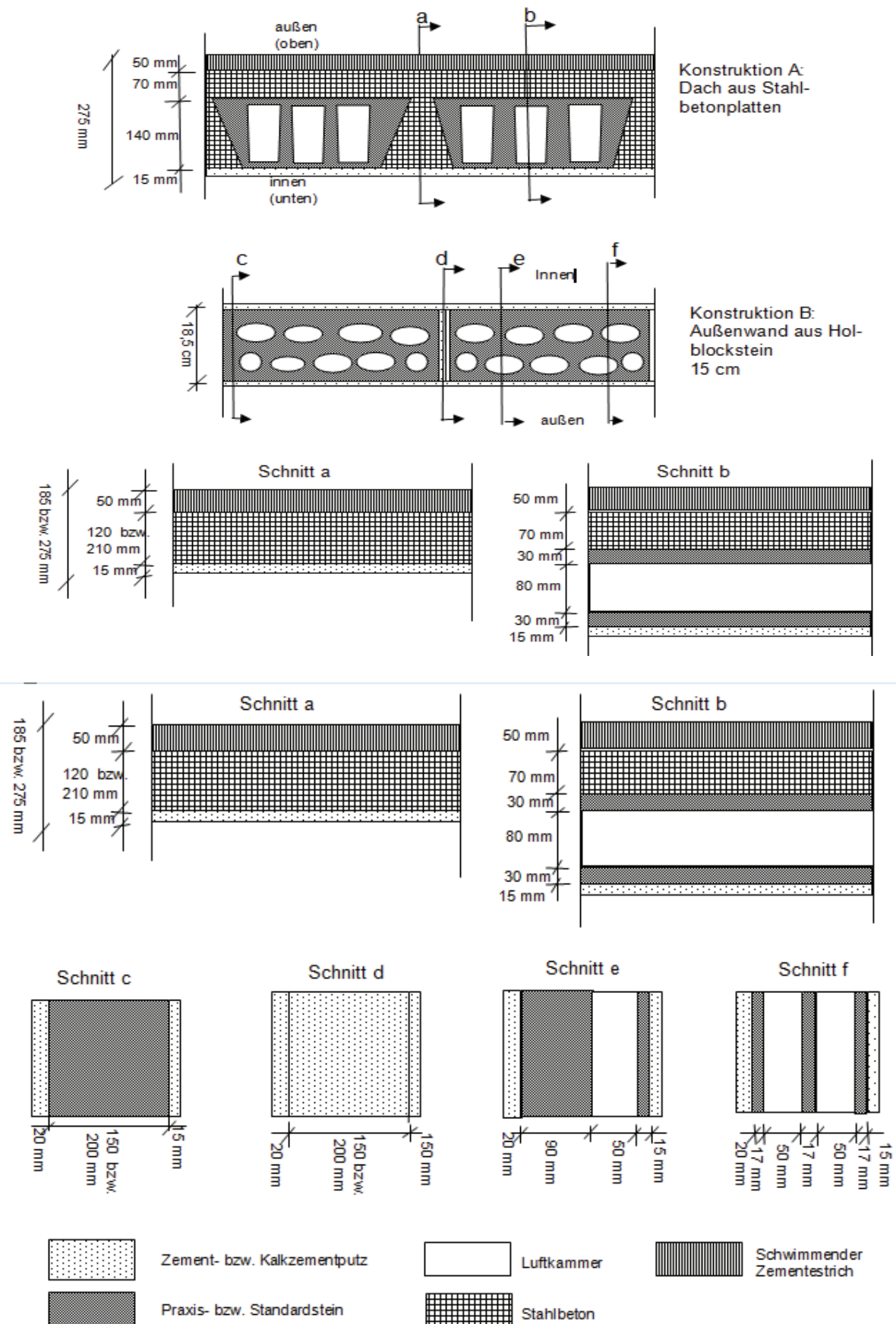


Abbildung A9-2: Berechnete Schnitte von den mit WUFI untersuchten Bauteilen.



Abbildung A9-3: Beispiel für Feuchteprobleme an einer Innenoberfläche einer west-orientierten Außenwand einer Wohnung in Lattakia aufgrund der klimatischen Umgebungswirkung.

Anhang des Kapitels 10:



Abbildung A10-1: Exemplarische Schutzziele des nachhaltigen Bauens [VOGDT, 2004].



## **Merkblatt für Mieter**

### **So vermeiden Sie Feuchteschäden in Ihrer Wohnung**

Immer öfter werden Schimmelbefall oder Stockflecken an den Wänden oder Decken gemeldet. Meist wird zuerst vermutet, dass die Feuchtigkeit von außen kommt. Tatsächlich liegt der Fehler nur in sehr seltenen Fällen in der Bauausführung. Ursache ist vielmehr das Tauwasser. Im Volksmund auch gern „Schwitzwasser“ genannt.

#### **Wieviel Feuchtigkeit entsteht in der Wohnung?**

In einem 4-Personen-Haushalt können täglich durchaus 10 Liter Wasser an die Raumluft abgegeben werden:

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| • Mensch (Schwitzen):    | 1,0 - 1,5 Liter               |
| • Kochen:                | 0,5 - 1,0 Liter               |
| • Duschen, Baden/Person: | 0,5 - 1,0 Liter               |
| • Wäschetrocknen         | geschleudert: 1,0 - 1,5 Liter |
|                          | tropfnaß: 2,0 - 3,5 Liter     |
| • Zimmerpflanzen:        | 0,5 - 1,0 Liter               |

Die Feuchtigkeit kommt aus der Wohnung selbst. Da die Oberflächen-Temperatur von Wänden bzw. Decken im allgemeinen geringer ist als die Lufttemperatur, schlägt sich die Feuchtigkeit dort nieder. Schimmelpilze und Stockflecken entstehen.

#### **Lüften dient der Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Raumhygiene.**

Um dies zu vermeiden, sollte regelmäßig gelüftet werden. Ein ruhender Mensch benötigt in der Stunde etwa 20 bis 30 m<sup>3</sup> Frischluft, ein körperlich aktiver Mensch braucht entsprechend mehr unverbrauchte Luft. Bei modernen, dicht schließenden Kunststoff-, Alu- oder Holzfenstern muss (vor allem im Winter) auf ausreichende Lüftung geachtet werden.

Auf die richtige Luftzirkulation kommt es an. Um die Zirkulation der Luft nicht zu beeinträchtigen, sollten Schränke und Regale oder große Bilder nicht an die Außenwand gestellt bzw. gehängt werden. Die Wand kühlt sonst zu schnell ab.

Bei großen Bildern sollten Korkscheiben auf der Rückseite (an den Ecken) den nötigen Abstand zur Wand garantieren.

#### **Sinnvoll heizen und lüften.**

Zimmer in der Wohnung, die nicht so häufig genutzt werden (z.B. Schlafzimmer, Bad, Hobbyraum, Gästezimmer), brauchen nicht ständig beheizt zu werden. So hat es sich in vielen Familien eingebürgert, die Temperatur im Schlafzimmer stark abfallen zu lassen, um kühl zu schlafen. Kurz vor dem Schlafengehen wird versucht, durch kurzes Öffnen der Tür etwas Wärme aus der Wohnung ins Schlafzimmer zu lassen. Das ist vielleicht angenehmer zum Einschlafen, hat jedoch den Nachteil, dass sich dadurch Tauwasser niederschlagen kann. Die warme, feuchte Luft aus dem Wohnbereich kühlt sich ab und schlägt sich hinter den Schränken, Gardinen und Bildern oder in den Ecken und Nischen nieder. Ähnliches passiert in Badezimmern, die meistens nur morgens und abends kurz aufgeheizt werden. Einzelne Zimmer sollten also nicht von der Beheizung der Wohnung ausgeschlossen werden. Genauso falsch ist es, die Fenster den ganzen Tag zu öffnen und zu lüften.

#### **Ebert-Bausanierung**

Habichthorst 38 A - 22429 Hamburg - Tel. 040/89 08 45 20 - Fax 040/89 08 45 45  
E-Mail: [info@ebert-bausanierung.de](mailto:info@ebert-bausanierung.de) - Internet: [www.ebert-bausanierung.de](http://www.ebert-bausanierung.de)

*Abbildung A10-2: Muster eines Merkblattes zur Vermeidung von Feuchteschäden in Folge des falschen Verhaltens in der Wohnung [HANNEMAN, 2007].*

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anlage 1 / Blatt 3 | Zutreffendes ankreuzen <input type="checkbox"/> bzw. ausfüllen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>6</b>           | <p><b>Bauunterlagen</b> nach der Landesverordnung über Bauunterlagen und die bautechnische Prüfung (BauuntPrüfVO)</p> <p>Folgende von der Bauherrin/dem Bauherrn und von der Entwurfsverfasserin/dem Entwurfsverfasser unterschriebenen Bauunterlagen sind 2-fach (3-fach, wenn die Kreisverwaltung untere Bauaufsichtsbehörde ist) beigelegt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>6.1</b>         | <p><b>Allgemeine Bauunterlagen</b></p> <p><input type="checkbox"/> Lageplan</p> <p><input type="checkbox"/> Bauzeichnungen</p> <p><input type="checkbox"/> Baubeschreibung Gebäude (Vordruck) - bei Vorhaben nach § 66 Abs. 1 u. § 67 Abs. 1 LBauO nicht erforderlich -</p> <p><input type="checkbox"/> Baubeschreibung Feuerungsanlagen (Vordruck) - bei Vorhaben nach § 66 Abs. 1 u. § 67 Abs. 1 LBauO nicht erforderlich -</p> <p><input type="checkbox"/> Baubeschreibung Anlagen zur Lagerung von mehr als 10 m³ Heizöl (Vordruck)</p> <p><input type="checkbox"/> Baubeschreibung Anlagen zur Lagerung von 3 und mehr t Flüssiggas (Vordruck)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>6.2</b>         | <p><b>Berechnungen</b></p> <p><input type="checkbox"/> des Maßes der baulichen Nutzung (§ 17 BauNVO)</p> <p><input type="checkbox"/> der Zahl und Größe der Stellplätze und Garagen für Kraftfahrzeuge (VV des Min. der Finanzen v. 24.07.2000, MinBl. 2000 S. 231)</p> <p><input type="checkbox"/> der Zahl und Größe der Spielplätze für Kleinkinder</p> <p><input type="checkbox"/> des Brutto-Rauminhalts (BRI) nach DIN 277</p> <p><input type="checkbox"/> der Nutzfläche (NF) nach DIN 277, ausgenommen Wohnfläche</p> <p><input type="checkbox"/> der Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung - nur bei Inanspruchnahme öffentlicher Förderungsmittel -</p> <p><input type="checkbox"/> der Herstellungskosten für Anlagen oder Einrichtungen - nur soweit diese gesondert errichtet werden -</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>6.3</b>         | <p><b>Darstellung der Grundstücksentwässerung</b></p> <p><input type="checkbox"/> Entwässerungsplan M 1 : 500</p> <p><input type="checkbox"/> Baubeschreibung der Entwässerungsanlage</p> <p><input type="checkbox"/> Bauzeichnungen - bei Vorhaben nach § 66 Abs. 1 u. § 67 Abs. 1 LBauO nicht erforderlich -</p> <p><input type="checkbox"/> Bezeichnung und Beschreibung der Kleinkläranlage/Abwassergrube</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>6.4</b>         | <p><b>Bautechnische Nachweise</b></p> <p>Bei Vorhaben nach § 66 Abs. 1 LBauO, auch bei Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1 bis 3 im Freistellungsverfahren:</p> <p><input type="checkbox"/> Standsicherheitsnachweis einschließlich Bewehrungs- und Konstruktionszeichnungen</p> <p><input type="checkbox"/> Nachweis des Wärmeschutzes</p> <p><input type="checkbox"/> Nachweis des Schallschutzes</p> <p>Die Unterlagen sind spätestens bei Baubeginn der Bauaufsichtsbehörde in einfacher Ausfertigung vorzulegen.</p> <p>Bei Vorhaben nach § 66 Abs. 2 LBauO im vereinfachten Genehmigungsverfahren und im Freistellungsverfahren:</p> <p><input type="checkbox"/> Standsicherheitsnachweis einschließlich Bewehrungs- und Konstruktionszeichnungen, der von einer Prüferin oder einem Prüfer für Baustatik im Auftrag der Bauherrin oder des Bauherrn geprüft ist</p> <p><input type="checkbox"/> Bescheinigung über die Gewährleistung des Brandschutzes einer anerkannten sachverständigen Person für baulichen Brandschutz<br/>Eine Prüferin oder ein Prüfer für Baustatik und eine anerkannte sachverständige Person für baulichen Brandschutz sind von der Bauherrin / dem Bauherrn mit der Prüfung der Bauunterlagen <input type="checkbox"/> beauftragt <input type="checkbox"/> werden noch rechtzeitig beauftragt.</p> <p><input type="checkbox"/> Nachweis des Wärmeschutzes</p> <p><input type="checkbox"/> Nachweis des Schallschutzes</p> <p><input type="checkbox"/> Bei Vorhaben nach § 66 Abs. 2 Nr. 5 LBauO im Freistellungsverfahren eine Bescheinigung der Struktur- und Genehmigungs-<br/>direktion hinsichtlich der Beachtung der Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung und des Immissionsschutzrechts</p> <p>Die Unterlagen sind spätestens bei Baubeginn der Bauaufsichtsbehörde in einfacher Ausfertigung vorzulegen.</p> |

Abbildung A10-3: Blatt aus dem Antragsformular zur Baugenehmigung für das Land Rheinland-Pfalz. Nachweise zum Wärme- Schall- und Brandschutz sind grundsätzlich gefordert. [FR, 2007].

# Ablauf- schema

Typ III  
Umwelt-Deklaration  
für Bauprodukte  
nach ISO 14025

Selbst-Deklaration  
und unabhängige  
Überprüfung

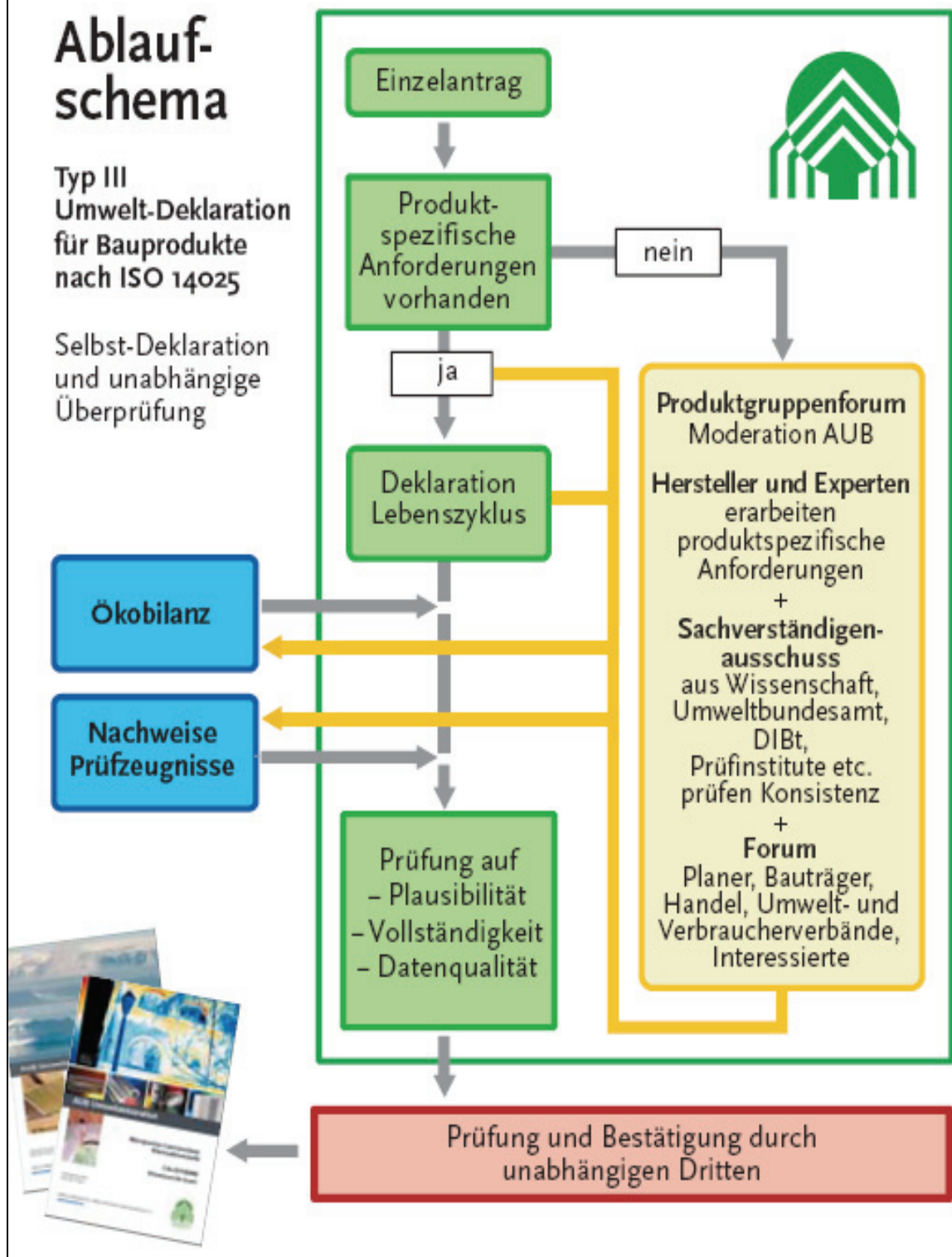


Abbildung A10-4: Ablaufschema der Zusammenarbeit zur Vergabe einer Deklaration von der Organisation Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt [AUB].

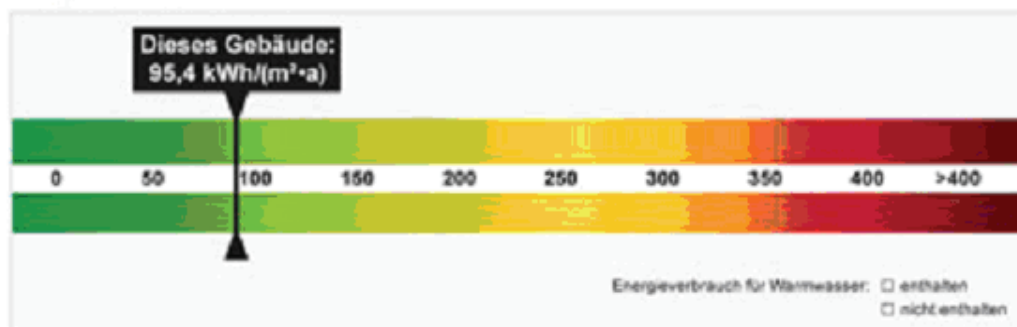


# Energieausweis für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

## Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes

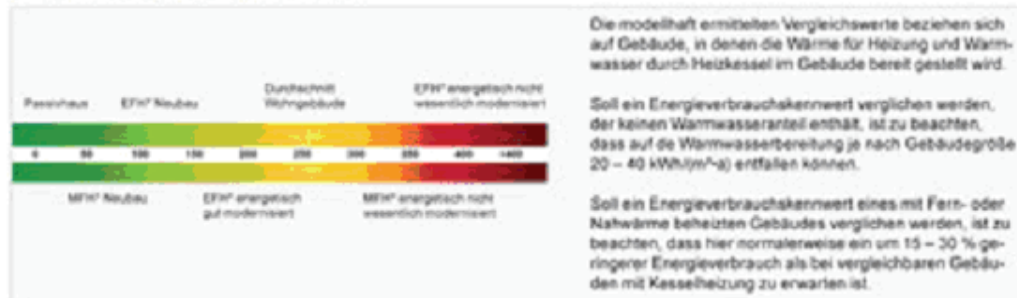
### Energieverbrauchskennwert:



### Verbrauchserfassung - Heizung und Warmwasser

| Energieträger | Abrechnungszeitraum<br>von | bis      | Brennstoffmenge (kWh) | Anteil Warmwasser (kWh) | Klimafaktor | Energieverbrauchskennwert in kWh/(m²·a)<br>(zeitlich bereinigt, klimabereinigt) |            |          |
|---------------|----------------------------|----------|-----------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
|               |                            |          |                       |                         |             | Heizung                                                                         | Warmwasser | Kennwert |
| Ferne Wärme   | 01.01.03                   | 31.12.03 | 288494                | 0                       | 1,00        | 107,6                                                                           | 0          | 107,6    |
| Ferne Wärme   | 01.01.04                   | 31.12.04 | 247122                | 0                       | 1,00        | 92,2                                                                            | 0          | 92,2     |
| Ferne Wärme   | 01.01.05                   | 31.12.05 | 239000                | 0                       | 0,97        | 89,2                                                                            | 0          | 86,5     |
|               |                            |          |                       |                         |             | Durchschnitt: 95,4                                                              |            |          |

### Vergleichswerte Endenergiebedarf



### Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A<sub>n</sub>) nach Energieeinsparverordnung. Der tatsächlich gemessene Verbrauch einer Wohnung oder eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens vom angegebenen Energieverbrauchskennwert ab.

Abbildung A10-5: Musterblatt aus dem Energieausweis für Wohngebäude gemäß der Energieeinsparverordnung [EnEV, 2007].

## KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm

PROGRAMM-NR.  
130, 132

- Finanzierung:**
- von Maßnahmenpaketen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen von Wohngebäuden
  - zur Erreichung des Niedrigenergiehausniveaus im Bestand
  - zum Austausch von Altheizungen
  - von KfW-Energiesparhäusern 40 einschließlich Passivhäusern (Neubau)

Das Programm ist Bestandteil des Nationalen Klimaschutzprogramms und dient der zinsgünstigen langfristigen Finanzierung von besonders umfangreichen Investitionen zur CO<sub>2</sub>-Minderung und zur Energieeinsparung in Wohngebäuden des Altbaubestandes mit einem Einspareffekt von in der Regel mindestens 40 kg CO<sub>2</sub> pro m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche und Jahr.

Investitionen entsprechend der Maßnahmenpakete 0 bis 6 werden mit zinsgünstigen Krediten gefördert. Der Zinssatz wird in den ersten 10 Jahren der Kreditlaufzeit verbilligt.

Zusätzlich zu den zinsgünstigen Krediten für die Maßnahmenpakete 0 bis 4 wird die energetische Sanierung eines Gebäudes zum „Niedrigenergiehaus im Bestand“ (Neubau-Niveau nach § 3 Energieeinsparverordnung (EnEV) in der jeweils gültigen Fassung) mit einem Teilschulderlass des KfW-Darlehens gefördert.

Mit diesem Programm wird auch der Austausch von Altheizungen als Einzelmaßnahme gefördert.

Zudem wird die Errichtung oder der Ersterwerb von KfW-Energiesparhäusern 40 einschließlich Passivhäusern gefördert.

### Wer kann Anträge stellen?

Träger von Investitionsmaßnahmen an selbstgenutzten und vermieteten Wohngebäuden (z. B. Privatpersonen, Wohnungsunternehmen, Wohnungsgenossenschaften, Gemeinden, Kreise, Gemeindeverbände sowie sonstige Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts).

Eine Förderung von Contracting-Vorhaben ist möglich.

### Was wird mitfinanziert?

Finanziert werden abgeschlossene Wohneinheiten, die selbstgenutzt oder mit Mietverträgen nach BGB vermietet sind.

### Maßnahmenpakete 0 bis 4

Gefördert werden Investitionen in Wohngebäuden, die bis zum 31. Dezember 1978 fertiggestellt worden sind. Gefördert werden folgende Maßnahmenpakete:

#### Maßnahmenpaket 0

- Wärmedämmung der Außenwände und
- Wärmedämmung des Daches und
- Wärmedämmung der Kellerdecke oder von erdberührten Außenflächen beheizter Räume und

- Erneuerung der Fenster

#### Maßnahmenpaket 1

- Austausch der Heizung und
- Wärmedämmung des Daches und
- Wärmedämmung der Außenwände

#### Maßnahmenpaket 2

- Austausch der Heizung und
- Wärmedämmung des Daches und
- Wärmedämmung der Kellerdecke oder von erdberührten Außenflächen beheizter Räume und
- Erneuerung der Fenster

#### Maßnahmenpaket 3

- Austausch der Heizung und
- Umstellung des Heizenergieträgers und
- Erneuerung der Fenster

Es sind grundsätzlich alle Außenwände, das gesamte Dach, die gesamte Kellerdecke oder die gesamten erdberührten Außenflächen zu dämmen sowie alle Fenster zu erneuern, sofern sie im jeweiligen Maßnahmenpaket enthalten sind.

Für die Durchführung der Maßnahmen nach Paket 0 bis 3 sind mindestens die Anforderungen der EnEV und der ANLAGE A dieses Merkblattes zu erfüllen. Dies ist durch den Darlehensnehmer zu bestätigen.

Die einzelnen Maßnahmenpakete können im Rahmen des Kredithöchstbetrages um weitere Einzelmaßnahmen aus einem der anderen Maßnahmenpakete ergänzt werden.

Vor Durchführung der Maßnahmen nach den Paketen 0 bis 3 wird empfohlen, eine Energieberatung durch einen Sachverständigen in Anspruch zu nehmen.

#### Maßnahmenpaket 4

Abweichende Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen sowie Maßnahmen mit abweichenden technischen Spezifikationen können gefördert werden, wenn der Darlehensnehmer durch Bestätigung eines in Bundesprogrammen zugelassenen Energieberaters oder einer nach Landesrecht berechtigten Person für die Aufstellung/Prüfung der Nachweise nach der Energieeinsparverordnung (nachfolgend **Sachverständiger**) nachweist, dass mit den Maßnahmen eine

Datum: 11/2004 • Bestellnummer: 142 661

KfW • Palmengartenstr. 5-9, 60325 Frankfurt • Postfach 11 11 41, 60046 Frankfurt • Tel.: 069 7431-0 • Fax: 069 7431-2944 • www.kfw.de  
• Infocenter der KfW Förderbank Tel.: 01801 335577 • Beratungszentrum Berlin: Behrenstr. 31, 10117 Berlin, Tel.: 030 20264-0  
• Beratungszentrum Bonn: Ludwig-Erhard-Platz 1-3, 53179 Bonn, Tel. 0228 831-0

Abbildung A10-6: Informationen zum KfW-Gebäudesanierungsförderprogramm. Das Programm ist mit der nachhaltigen Politik zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen 25 % bis 2025 in Deutschland harmonisiert [THERMOSOLAR, 2004].