

Dipl.-Ing. Daniela Ludwig, Berlin

**Transparente  
Wärmedämmung -  
Verschattung und  
thermodynamische Risiken  
bei der Integration in die  
Baustruktur**

Reihe **4**: Bauingenieurwesen

Nr. **141**

# *Inhaltsverzeichnis*

## **Einführung 1**

### **I. Funktionsweise von TWD-Fassaden 4**

- I. 1. Der Weg zur transparenten Wärmedämmung 4
- I. 2. Das TWD-System 7
  - I. 2. a. Funktionsweise und Systemkomponenten des TWD-Systems 7
  - I. 2. b. Transparente Wärmedämmung 7
  - I. 2. c. Speicherwand 8
  - I. 2. d. Anforderungen an Systemkomponenten 8

### **II. Thermodynamik einer TWD-Wand 10**

- II. 1. TWD-Materialien 10
  - II. 1. a. Absorberparallele Strukturen 10
  - II. 1. b. Absorbersenkrechte Strukturen 12
  - II. 1. c. Kammerstrukturen 14
  - II. 1. d. Homogene Strukturen 14
- II. 2. Thermodynamische Zusammenhänge 15
  - II. 2. a. Physikalische Eigenschaften des transparenten Wärmedämmsystems 15
  - II. 2. b. Strahlungs-Transmissionsgrad 15
  - II. 2. c. Absorption und Reflexion 16
  - II. 2. d. Der effektive Transmissionsgrad 18
  - II. 2. e. Strahlungsbedingungen und Transmission 18
  - II. 2. f. Wärmeleitfähigkeit 19
  - II. 2. g. Wärmeeindringkoeffizient 20
  - II. 2. h. Gesamtenergiedurchlaßgrad  $g$  21
  - II. 2. i. Der  $k$ -Wert, effektiv 21
- II. 3. Klimarelevante Zusammenhänge 24
- II. 4. Wirkungsgrad 26
- II. 5. Nutzungsgrad 26
- II. 6. Temperaturamplitudenverhältnis TAV 26

### **III. Wärmedurchgang und Temperaturspitzen in Innenräumen 28**

- Problemstellung 28
- III. 1. Das Klima und seine Bedeutung bei der Betrachtung von TWD-Systemen 29
- III. 2. Die Bedeutung von Wärmeübertragungsvorgängen für die Bewertung von TWD-Systemen 30
- III. 3. Simulationsrechnungen 33
  - III. 3. a. Das Programm TRNSYS 33
  - III. 3. b. Das Testreferenzjahr 34
  - III. 3. c. Zielsetzung der Simulation 34
  - III. 3. d. Verwendete Parameter und deren Praxisbezug 34
- III. 4. Die Relation von Verschattung und Innenraumtemperatur 38
- III. 5. Außenfenster 43
- III. 6. Aus dem TWD-System resultierende Kühllasten 45

### **IV. Die Problematik der Regulierung des solaren Wärmestroms bei der Anwendung von TWD-Systemen**

- IV. 1. Die Reziprozität des Einstrahlungspotentials zum jahreszeitlich bedingten Wärmebedarf 48

- IV. 2. Anforderungen an Verschattungssysteme 49
- IV. 3. Die Verschattungssysteme und ihre Vor- und Nachteile 50
  - IV. 3. 1. Außenliegender Sonnenschutz 50
  - IV. 3. 2. Starre Systeme 50
  - IV. 3. 3. Bewegliche Systeme 52
  - IV. 3. 4. Horizontaler Sonnenschutz 52
  - IV. 3. 5. Vertikaler Sonnenschutz 52
  - IV. 3. 6. Im System integrierter Sonnenschutz 54
  - IV. 3. 7. Sonnenschutzrollos 55
  - IV. 3. 8. Lamellenjalousien 55
  - IV. 3. 9. Beadwall™ 56
  - IV. 3. 10. Glasarten mit unveränderlichen Eigenschaften 57
  - IV. 3. 11. Winkelabhängig beschichtetes und photosensitives Glas 57
  - IV. 3. 12. Holographische Elemente 58
  - IV. 3. 13. Emailliertes Glas 58
  - IV. 3. 14. Glasarten mit veränderbaren Eigenschaften 59
  - IV. 3. 15. Thermisch veränderbare Glasarten 59
  - IV. 3. 16. Optisch veränderbare Glasarten 61
  - IV. 3. 17. Elektrisch veränderbare Glasarten 62
  - IV. 3. 18. TWD-Systeme, die keine Verschattung erfordern 64
- IV. 4. Die Priorität zwischen Verschattungseffizienz und Wärmeeintrag 65
- IV. 5. Kühlung mittels TWD 66
  
- V. Modell Liquidverschattung 68**
  - V. 1. Anforderungsprofil einer Verschattung 68
  - V. 2. Thermische Strahlung und Verschattung 69
    - V. 2. 1. Thermische Strahlung und das elektromagnetische Spektrum 69
    - V. 2. 2. Der optimale Absorber - Versuchsanordnung 69
  - V. 3. Die Absorptionsflüssigkeit 71
    - V. 3. 1. Anforderungsprofil einer Absorptionsflüssigkeit 71
    - V. 3. 2. Vorgehensweise 71
    - V. 3. 3. Solvens 72
    - V. 3. 4. Farbstoffe 72
    - V. 3. 5. Spektrometrische Analyse von Farbstoffgemischen 75
    - V. 3. 6. Beschreibung der Farbstoff- und Liquideigenschaften 78
    - V. 3. 7. Absorptionsverhalten des Liquids im Element 79
  - V. 4. Anforderungen an die Glasscheiben 81
  - V. 5. Thermisches Verhalten des Elements bei Einstrahlung 82
    - V. 5. 1. Aufheizverhalten und Parameter 82
    - V. 5. 2. Berechnung der Maximalerwärmung des Elementes 84
  - V. 6. Glaselemente, Vorratsbehälter und ihre Integration in ein System 86
    - V. 6. 1. Das mechanische Funktionsprinzip der Verschattungselemente 86
    - V. 6. 2. Integration der Elemente in Fassaden 87
    - V. 6. 3. Ausführung des Randverbundes der Liquidverschattungselemente 88
    - V. 6. 4. Liquidzuleitung 89
  - V. 7. Vor- und Nachteile sowie Kostenaspekte der Liquidverschattung 90
  - V. 8. Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten der Liquidverschattung im Sichtfensterbereich 92
  
- VI. Anwendung von TWD an Gebäuden 94**
  - VI. 1. Grundvoraussetzungen für die Anwendung von TWD 94
  - VI. 2. Versteckte Hemmnisse in der Praxis 96
  - VI. 3. Behaglichkeit und Raumklima 97
    - VI. 3. a. Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen 99

VI. 3. b. Wärmeabgabe des Menschen	99
VI. 4. TWD und Raumklima	100
VI. 5. Wieviel TWD für welche Fassade?	101
VI. 6. TWD kann elektrische Energie sparen	103
VI. 7. Das Nutzungspotential der TWD	104
VI. 7. 1. Einflüsse der Gebäudekonzeption	104
VI. 7. 2. Temperaturamplitudendämpfung	105
VI. 7. 3. Klimatische Einflüsse	105
VI. 8. Fenster als Direktgewinnelemente der Fassade	107
VI. 9. Klimatische Einflüsse	109
VI. 10. Klimatisierung bei TWD-Nutzung	109
VI. 10. 1. Nur-Luft-Systeme	109
VI. 10. 2. Luft-Wasser-Kühlsysteme	110
VI. 10. 3. Verschattungspriorität vor Klimatisierung	111
<b>VII. Die Integration von TWD in Gebäudefassaden</b>	<b>112</b>
VII. 1. Die Gebäudehülle als "intelligente" Fassade	112
VII. 2. TWD-spezifische Auswirkungen auf Gebäudekomponenten	113
VII. 2. 1. Aktive Dämmung	113
VII. 2. 2. Wärmespeicherung	113
VII. 2. 3. Geometrischer Faktor	114
VII. 2. 4. Äußeres Erscheinungsbild (Glas und trotzdem Wand)	114
VII. 3. Fassadentypologie und TWD	115
VII. 4. Pfosten- und Riegelkonstruktion	116
VII. 4. 1. Fassadenkonstruktion der Liquid-Verschattung	117
VII. 5. Structural Glazing (SG)	117
VII. 5. 1. Lineare Halterung	117
VII. 5. 2. Structural Glazing als Isolierverglasung	118
VII. 5. 3. Structural Glazing als Einfachverglasung	119
VII. 5. 4. Die Klebung und ihre Anforderungen	119
VII. 5. 5. Anwendung von TWD bei Structural Glazing Fassaden	122
VII. 5. 6. Verschattung von mit TWD belegten Structural-Glazing-Fassaden	123
VII. 6. Anordnung von Verschattungselementen in zweischaligen Fassaden	124
VII. 6. 1. Konstruktive Anordnung	124
VII. 6. 2. Warm- und Kaltverschattungssystem	125
VII. 6. 3. Konstruktive Integration von Liquidverschattungen in Fassaden	125
VII. 7. Anordnung von Luftschichten in der TWD-Wand	127
VII. 8. Der Energiebedarf in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Fassade	128
VII. 9. Optimale Gebäudeform und Ausrichtung für Maximaleintrag	131
<b>VIII. Bemerkungen zur Wirtschaftlichkeit von TWD-Systemen</b>	<b>132</b>
VIII. 1. Wirtschaftlichkeitsaspekte und Kostenarten in Zusammenhang mit TWD	132
VIII. 2. Weitere kostenerhöhende Einflußfaktoren	133
VIII. 3. Möglichkeiten zur Kostenreduzierung	135
<b>Ergebnisse</b>	<b>137</b>
<b>Anhang 1: Testreferenzjahr</b>	<b>139</b>
<b>Anhang 2: Bewertung verschiedenr Verschattungssysteme</b>	<b>140</b>
<b>Anhang 3: Kühllastspitzen aus Testraum mit unverschatteter TWD</b>	<b>141</b>
<b>Anhang 4: Detail Liquidverschattung</b>	<b>142</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>143</b>
<b>Index</b>	<b>144</b>