

# Wärmeverluste von betriebstechnischen Anlagen unter Berücksichtigung der Wärmebrücken

Dipl.-Ing. Roland Schreiner  
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München



# Inhalt

---

- Gesamtwärmeverlust einer betriebstechnischen Anlage (btA)
  - Normen, Begriffe
- Wärmeverluste über anlagenbedingte Wärmebrücken
  - Wärmeverluststromkoeffizient
- Energieeinsparungspotentiale
  - Parameter
  - Praxisbeispiele
- Forschungsvorhaben im FIW
  - der Wärmebrückenkatalog für btA
- Fazit

# Normen und Richtlinien - Übersicht

---

VDI 2055 „Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Gebäudeausrüstung“

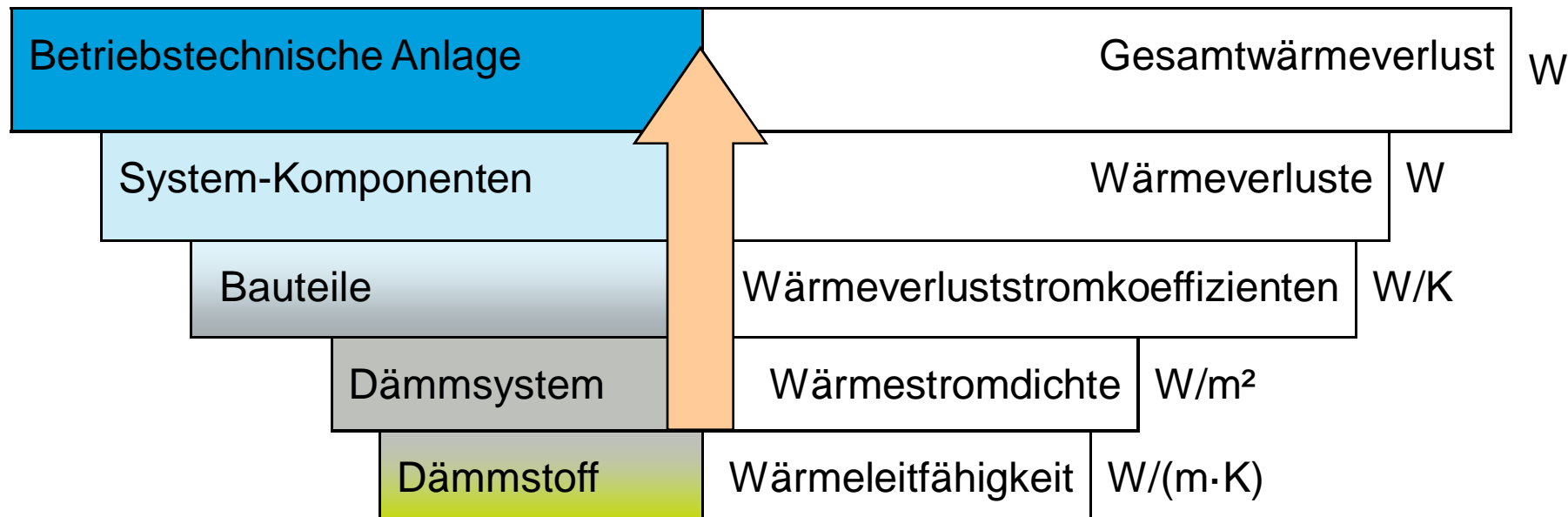
Blatt 1 Berechnungsgrundlagen

Blatt 2 Messen, Prüfen, Zertifizieren von Dämmstoffen

Blatt 3 Abnahme von Dämmsystemen, Lieferbedingungen

VDI 4610 Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen: Aspekte der Wärme- und Kälteverluste

EN ISO 23993 „Wärmedämmung an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und der technischen Gebäudeausrüstung – Bestimmung der Betriebswärmeleitfähigkeit“, Mai 2008



längenbezogen

für Rohrleitung

spezifisch

Bezug auf eine Fläche

**nur gleichwertige Größen können addiert werden**

# Wärmeverlust einer gedämmten Systemkomponente

$$\dot{Q}_i = \text{Dämmsystem} + \Sigma \text{ Wärmebrücken (Bauteile)}$$

- Wand
- Rohr
- Kanal
- erdverlegte Rohrleitung...

- Wärmeverlust über die Dämmung und dämmtechnisch bedingte regelmäßig vorkommende Wärmebrücken,  $\Delta\lambda$  in W/(m·K) (Stützkonstruktion, Mattenhalter)
- Wärmeverlust über die anlagenbedingte  $z^*$  (Armaturen, Auflager, Flansche, Versteifungselemente, geometrisch) und dämmtechnisch bedingte unregelmäßige Wärmebrücken  $z$  (Stirnscheiben)
  - Zuschlagswerte  $(z_i + z_i^*)$  gemäß VDI 2055, Blatt 1

# Berücksichtigung von Wärmebrücken

zusätzliche Wärmeverluste bei Wirkung auf

## Fläche

Wärmebrücken in der Dämmung (Versteifungselemente)  
= modifizierter k-Wert  $W/(m^2 \cdot K)$



## Linie

z.B. Kante = Zuschlag  $W/(m \cdot K)$



## Punkt

auskragende Wärmebrücken, Ecke  
= Wärmeverluststromkoeffizient  $W/K$



Bezug der Fläche wichtig

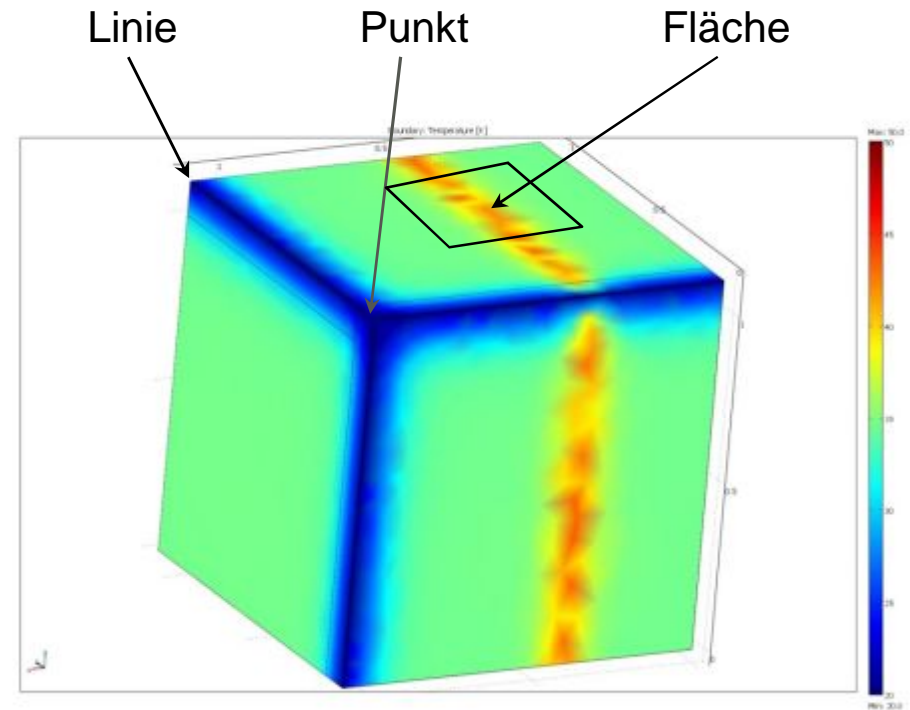
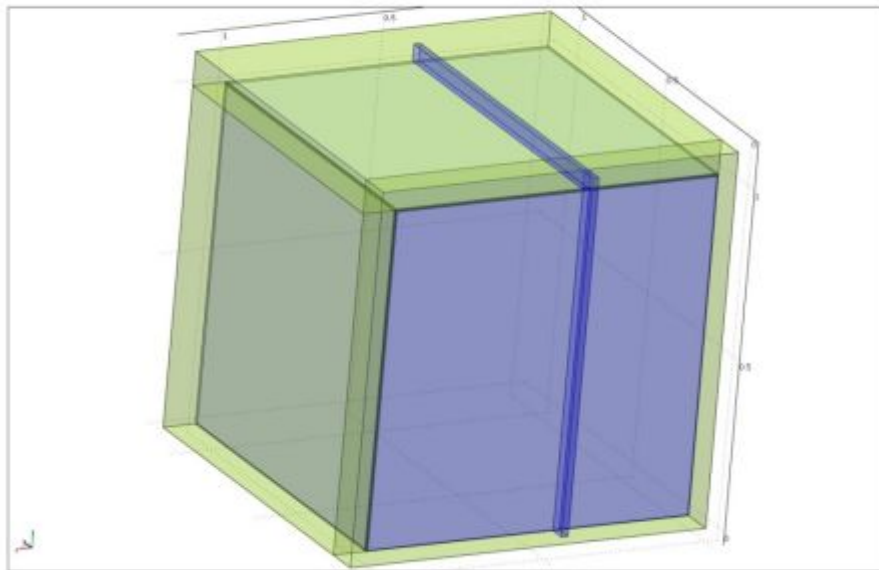
Oberfläche des Objekts oder Oberfläche der Dämmung

# Berücksichtigung von Wärmebrücken

Finite-Elemente / Wärmebrückeneinfluss

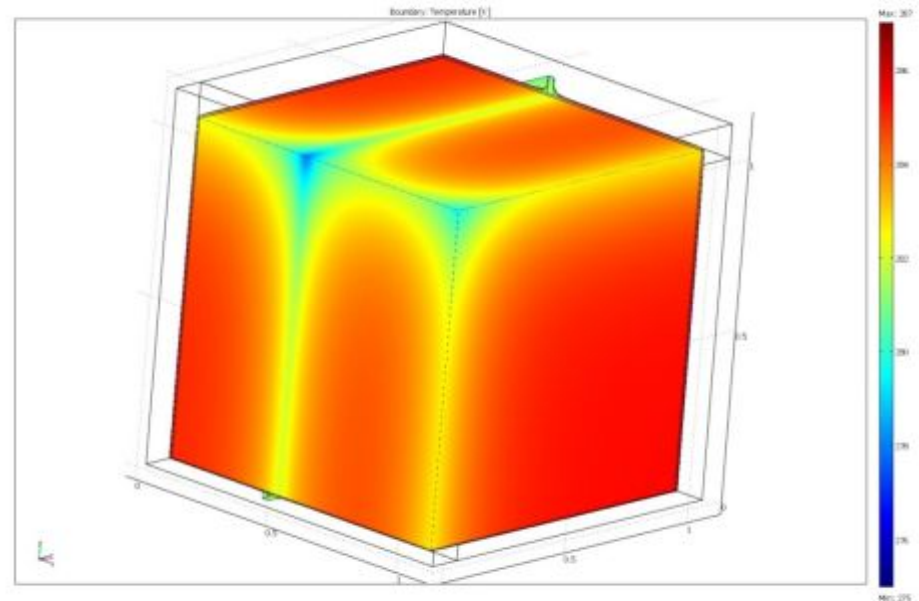
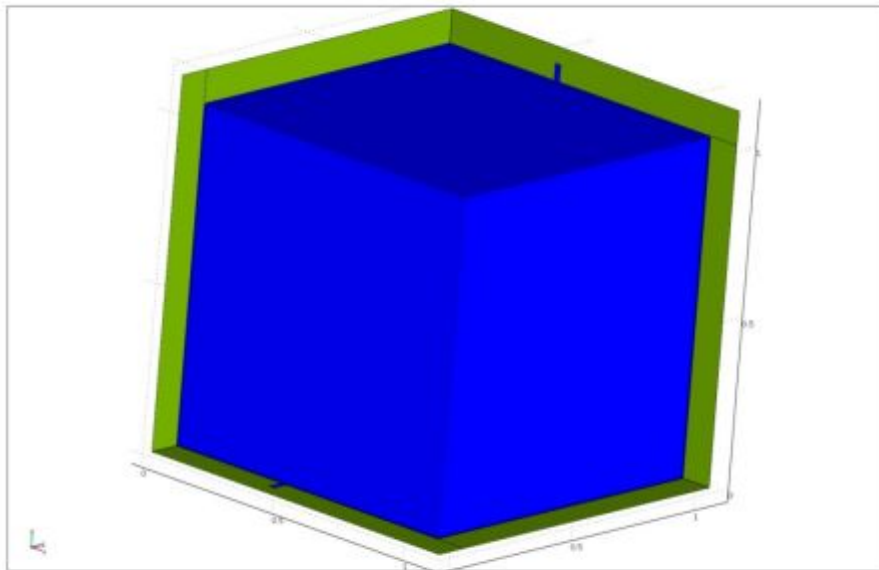
Kanal-Ecke, Kante mit Versteifungsrippe

Flächenbezug außen (Oberfläche der Dämmung, VDI 2055, Blatt 1)



# Berücksichtigung von Wärmebrücken

Finite-Elemente / Wärmebrückeneinfluss  
 Kanal-Ecke, Kante mit Versteifungsrippe  
 Flächenbezug innen (Oberfläche Objektwand)



# Berücksichtigung von Wärmebrücken

## Wärmeverlust über geometrische Wärmebrücken (Kante, Ecke)

Flächenbezug Objekt (kleine Fläche)

+

Flächenbezug Dämmung (große Fläche)

-

Zur Berechnung des Gesamtwärmeverlustes verwendet man bei betriebstechnischen Anlagen als Flächenbezug die **mittlere Fläche** (Einfluss der geometrischen Wärmebrücken hebt sich auf)

# Gesamtwärmeverlust

Summe der Wärmeverlust aller System-Komponente mit Wärmeverlust

- + über die Oberfläche der Dämmung
- + über dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken
- + über unregelmäßig vorkommende dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken
- + über anlagenbedingte Wärmebrücken

**spezifischer Gesamtwärmeverlust in W/m<sup>2</sup>**  
(VDI 2055, Blatt 1)

$$\frac{\dot{Q}_{\text{ges}}}{A_{\text{ges}}}$$

$\dot{Q}_{\text{ges}}$  Gesamtwärmeverlust in W

$A_{\text{ges}}$  Oberfläche der gesamten Dämmung in m<sup>2</sup>

# Spezifischer Gesamtwärmeverlust $\neq$ Wärmestromdichte



## Gleiche Einheit ungleicher Wert und unterschiedliche Bedeutung!

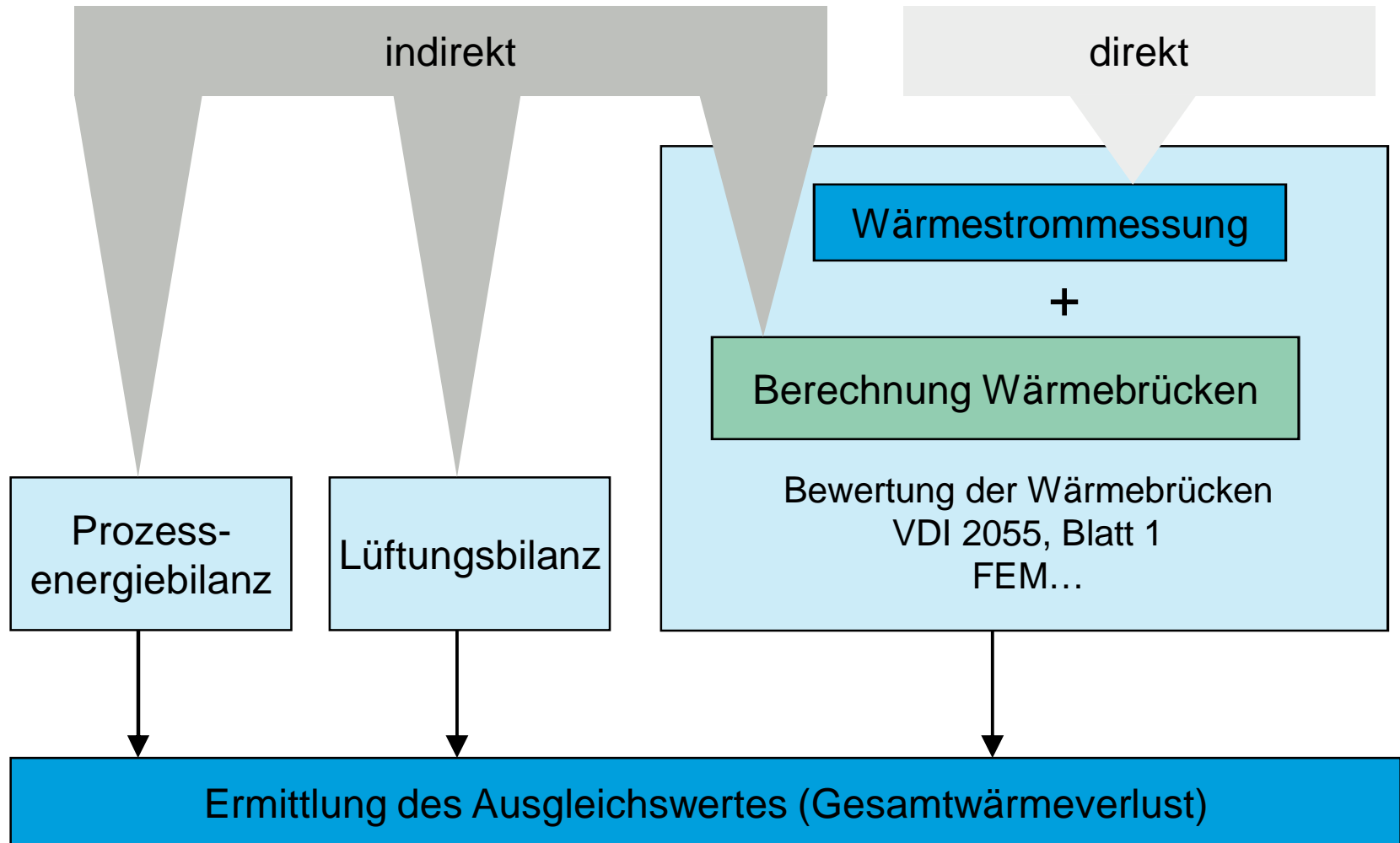
Eine Dämmung für einen höchstzulässigen spezifischen Gesamtwärmeverlust in  $W/m^2$ , der die Verluste auch über alle Wärmebrücken beinhaltet wird vom Auftraggeber bestellt.

Eine Dämmung, die die Wärmestromdichte in  $W/m^2$  abgibt, wird vom Dämmunternehmen geliefert.

# Gesamtwärmeverlust

Gesamtwärmeverlust =	Wärmeverlust über	
	Dämmsystem +	Wärmebrücken
Auslegung von Neuanlagen	Berechnung	Berechnung
Energieeffizienten Maßnahmen von bestehenden Anlagen (Retrofit)	Berechnung	Berechnung
Abnahmemessungen	Messung	Berechnung

# Gesamtwärmeverlust bei Abnahmemessungen



# Energieeinsparungspotentiale

## Kühlung



In der Kältetechnik liegt ein großes Potenzial zur Senkung der Energiekosten.

**Beispiel:**  
**Modernisierung des Kühlkreislaufs am**  
**Beispiel eines Sojamilchherstellers**

### Allgemeine Ansätze zur Effizienzsteigerung sind:

- ▶ Verbesserung der Wärmedämmung
- ▶ Minimierung der Wärmeeinstrahlung
- ▶ Anpassung der Belegungs- und Betriebszeiten
- ▶ Grundsätzliche Prozessgestaltung
- ▶ Optimierung von Leistungen, Druck- und Temperaturstufen
- ▶ Effizient ausgerichtete Steuer- und Regelungstechnik
- ▶ Detailauslegung und Auswahl der einzelnen Komponenten
- ▶ Einsatz von thermisch betriebenen Kältemaschinen, beispielsweise mit Solarwärme, Fernwärme, industrieller Abwärme und Abwärme von Blockheizkraftwerken (BHKW)



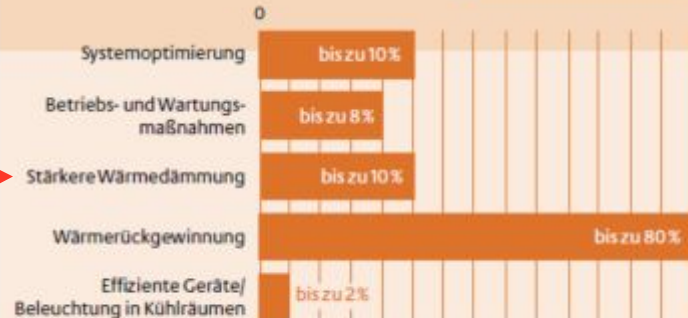
## Energieeffizienz – Made in Germany

Energieeffizienz im Bereich Industrie,  
 Gebäudeanwendungen und Verkehr



Bundesministerium  
 für Wirtschaft  
 und Technologie

### Einsparpotenziale: Verminderung des Kältebedarfs



# Energieeinsparpotential - Einflussgrößen

spezifischer Wärmeverlust einer betriebstechnischen Anlage

$$\frac{\dot{Q}}{A} = (\vartheta_M - \vartheta_L) \cdot \left( \frac{1}{\frac{s}{(f_{ges} \cdot \lambda_N + \Delta\lambda)} + \frac{1}{(\alpha_k + 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot T_m^3)}} + \frac{\Sigma(k_{WB} \cdot A_{WB})}{A} \right)$$

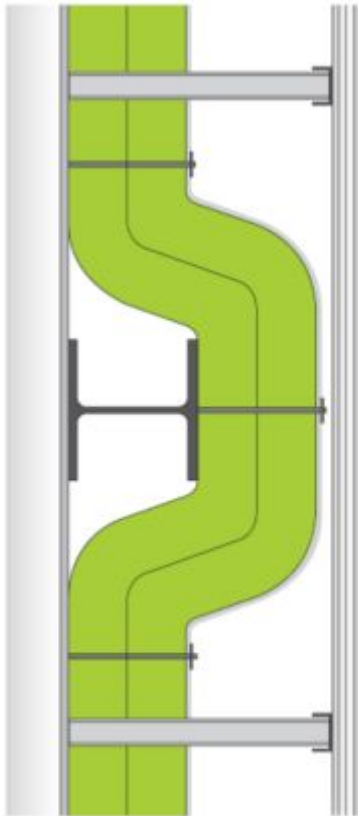
$$f_{ges} = f_{\Delta\vartheta} \cdot f_{oF} \cdot f_{VD} \cdot f_K \cdot f_F \cdot f_A \cdot f_s$$



VDI 2055, Blatt 1, Anhang A8,  
Emissionsgrade technischer Oberflächen

VDI 2055, Blatt 1, Anhang A14, Anhaltswerte  
Finite-Elemente-Berechnung  
Messung

# Energieeinsparpotential – Beispiel Ausgangssituation



## Beispiel: Modernisierung der Dämmung eines Rauchgaskanal

Mediumtemperatur: 550 °C

Umgebungstemperatur: 50 °C

äußerer Wärmeübergangskoeffizient = 10 W/(m<sup>2</sup>·K)

Dämmschichtdicke: 0,3 m

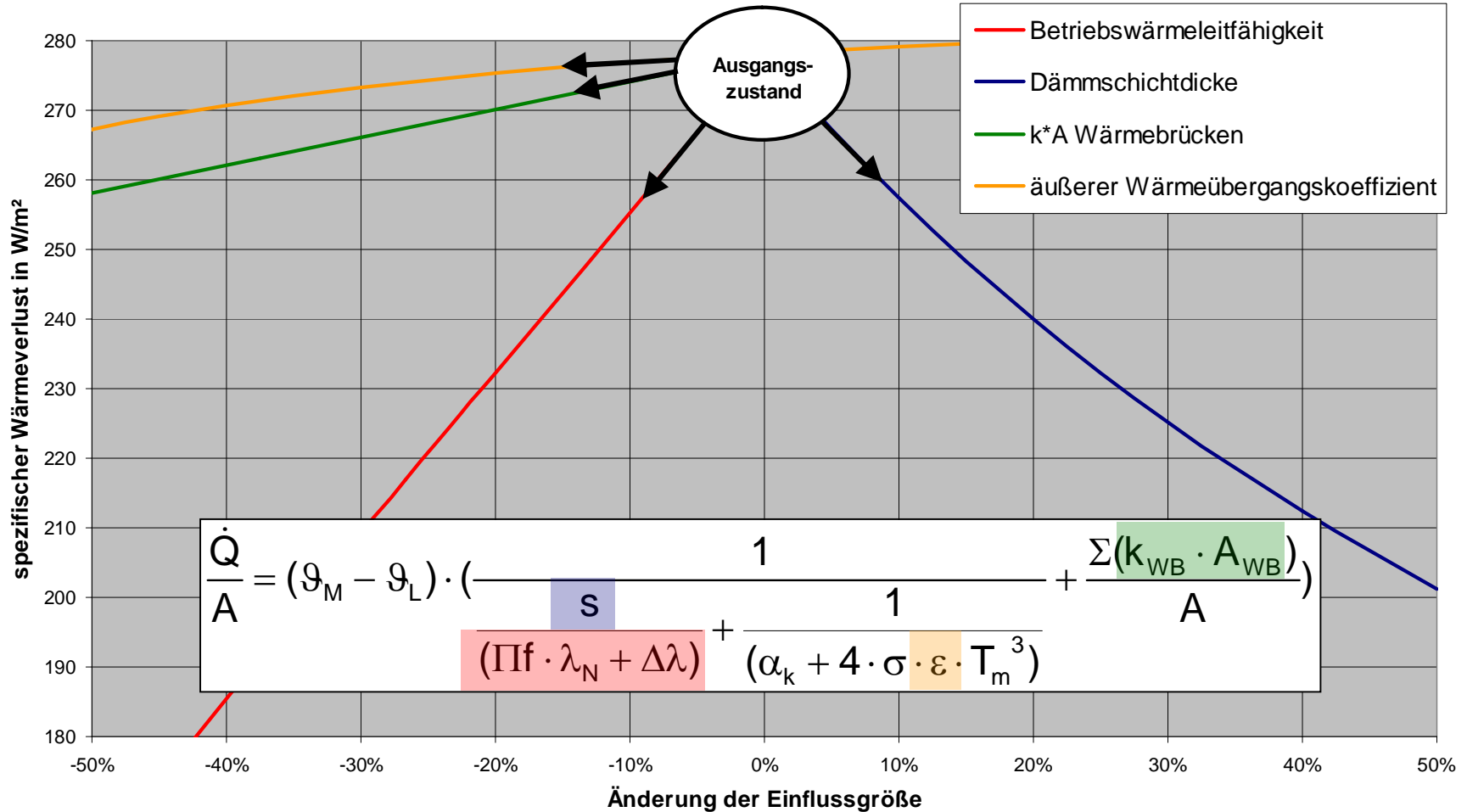
Betriebswärmeleitfähigkeit = 0,150 W/(m·K) (bei ca. 300 °C)

Anlagenbedingte Wärmebrücken: 14% Anteil

spezifischer Wärmeverlust: 278 W/m<sup>2</sup>

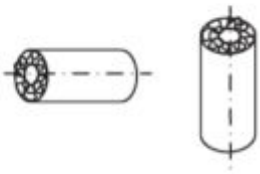

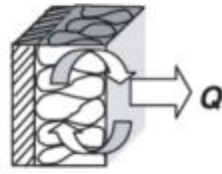
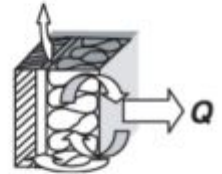
Dämm-Maßnahme:  
Verwendung einer Konvektionssperre

# Energieeinsparpotential – Beispiel: Modernisierung der Dämmung

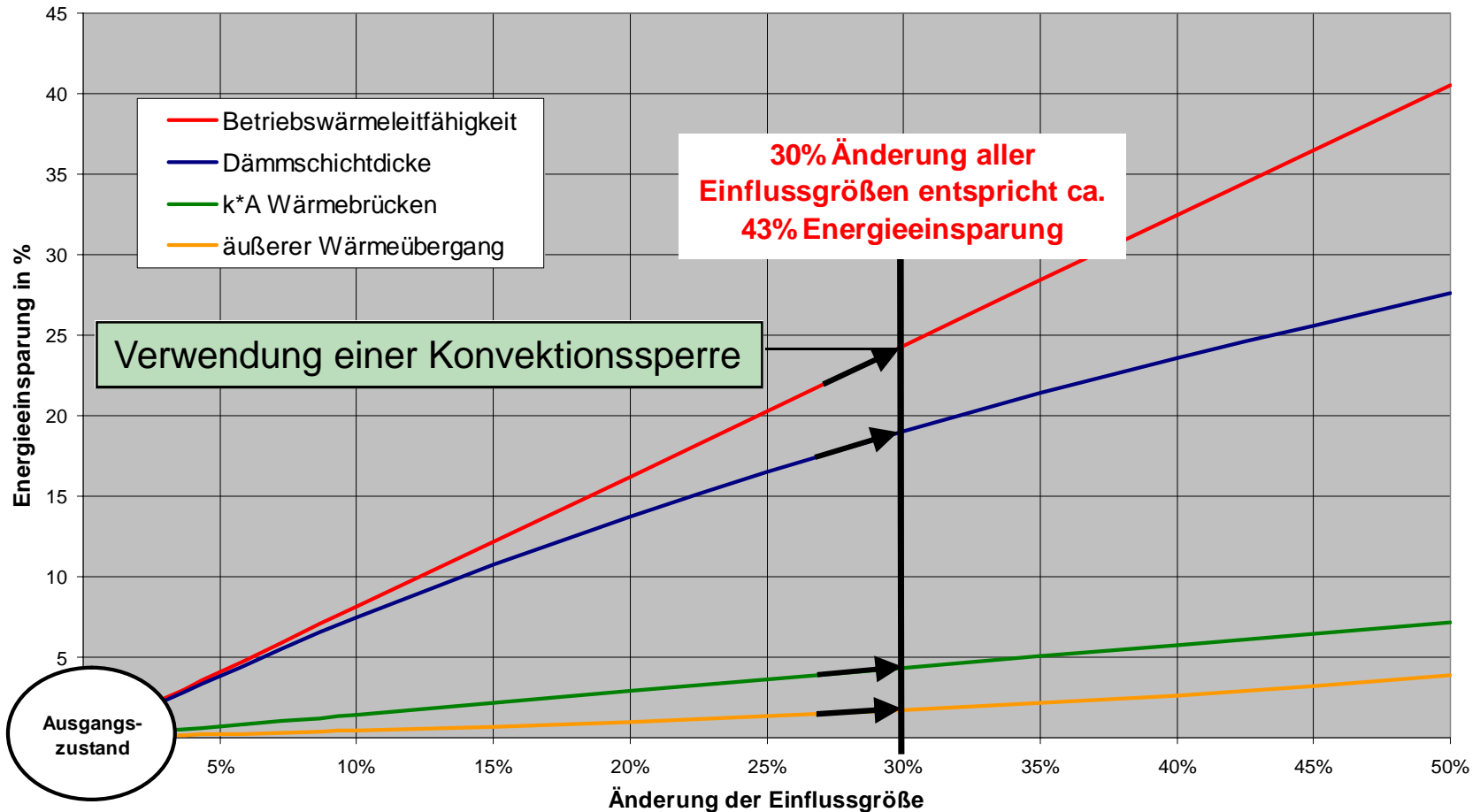


# Energieeinsparpotential – Betriebswärmeleitfähigkeit durch $f_{ges}$

## A2 Anhaltswerte für das Produkt aller wirksamen Faktoren $f_{ges}$ gemäß Gleichung (8) und Anhang A3

Anwendung	Rohr horizontal/vertikal	Wand horizontal/vertikal, Hohraum füllend ohne Luftspalt oder mit vertikaler Konvektionssperre <sup>10)</sup>	Wand vertikal, einseitiger Luftraum, ohne Konvektionssperre <sup>10)</sup>	Wand vertikal, ohne Konvektionssperre <sup>10)</sup> mit unvermeidbarem Luftraum an der Warmseite								
Dämmstoff • Lieferform												
Mineralwolle  • Drahtnetzmatte und • Platte (nur ebene Anwendung)	Wärmedämmung											
	Verhältnis $s/DN = 1$		längenbezogener Strömungswiderstand 30 kPa · s/m <sup>2</sup>									
	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur				
		50 °C	300 °C	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C			
	einlagig	1,10	1,05	einlagig <sup>1)</sup>	1,10	1,20	einlagig <sup>1)</sup>	1,20	1,25	einlagig <sup>1)</sup>	1,60	1,40
	zweilagig	–	1,05	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,15	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,25	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,60
	mehrlagig	–	1,00	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,10	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,30	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,60
	Verhältnis $s/DN = 0,5$		längenbezogener Strömungswiderstand 50 kPa · s/m <sup>2</sup>									
	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur				
		50 °C	300 °C	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C			
einlagig	1,10	1,10	einlagig <sup>1)</sup>	1,15	1,20	einlagig <sup>1)</sup>	1,40	1,30				
zweilagig	–	1,10	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,20	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,40				
mehrlagig	–	1,05	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,20	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,35				
Verhältnis $s/DN = 0,25$		längenbezogener Strömungswiderstand 70 kPa · s/m <sup>2</sup>										
Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur	Lagen	Mitteltemperatur					
	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C	50 °C	300 °C				
einlagig	1,15	1,20	einlagig <sup>1)</sup>	1,15	1,20	einlagig <sup>1)</sup>	1,30	1,20				
zweilagig	–	1,20	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,20	zweilagig <sup>2)</sup>	–	1,30				
mehrlagig	–	1,15	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,15	mehrlagig <sup>3)</sup>	–	1,25				

Dämm-Maßnahme:  
Verwendung einer Konvektionssperre  
 $f_{ges}$  verbessert sich um ca. 30%



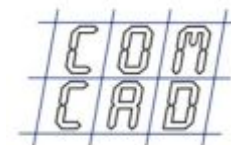
## „Energieeinsparpotentiale bei technischen Dämmungen im Industrie- und Gewerbebereich“

in Kooperation mit

LBB, ZDB, HDB, VDI GEU, FfE, Eif  
COM CAD Burghardt GmbH

gefördert durch das

Bayerische Staatsministerium für  
Wirtschaft, Infrastruktur,  
Verkehr und Technologie



und Industriepartnern



Bestandsaufnahme (Methoden, Tool, Objekte)

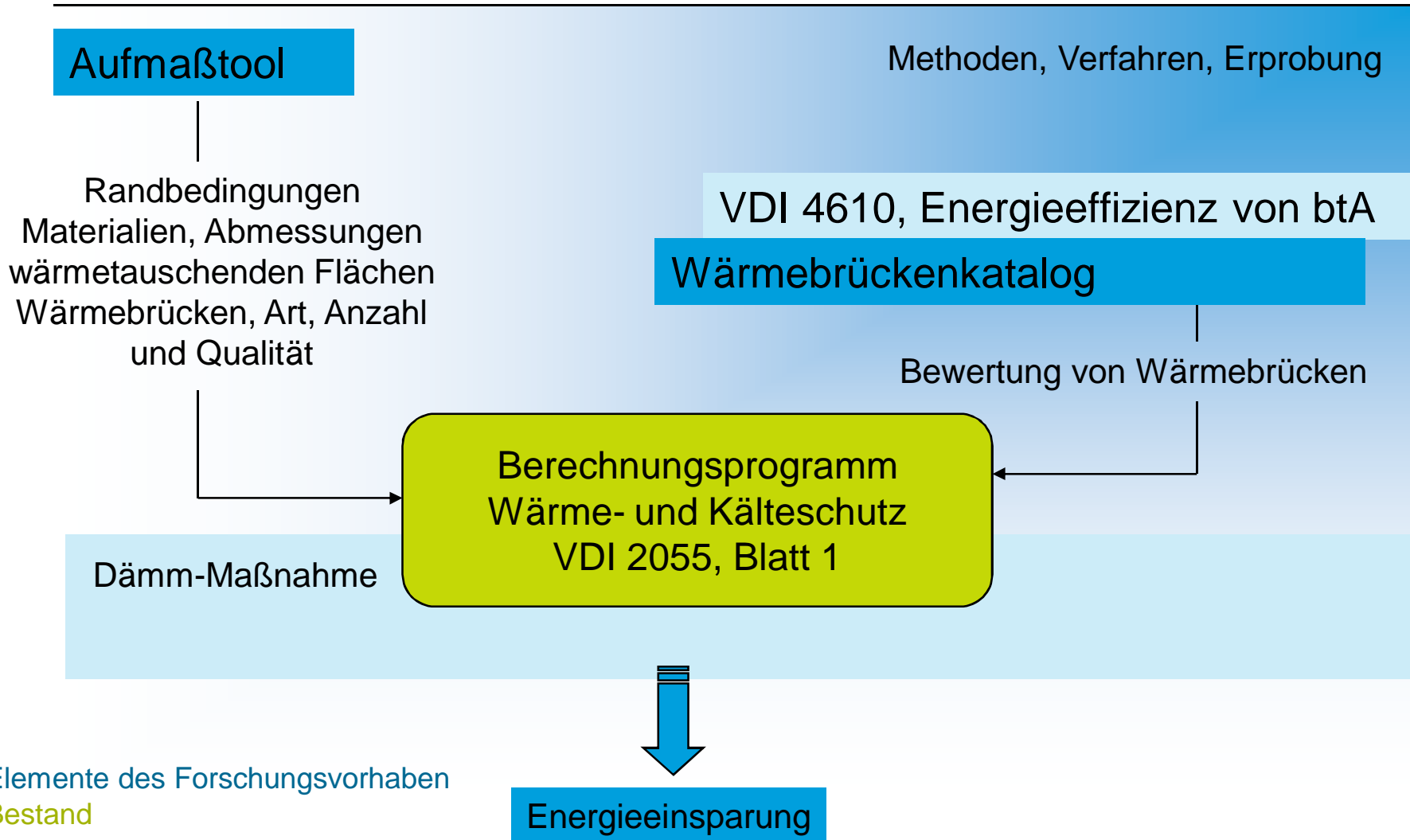
Bestandsanalyse (branchenspezifisch)

Berechnungsverfahren (Methode)  
Wärmebrückenkatalog

Einsparpotential  
Kenngrößen

Erprobung

# Forschungsvorhaben



# Aufmaßtool

PDA Windows Mobile

Informationen zum Projekt, Komponenten, Randbedingungen

Oberfläche der Dämmung

Material, Fläche

Gedämmte anlagenbedingte Wärmebrücken

Art, Anzahl, wärmeschutztech. Bewertung

ungedämmte anlagenbedingte Wärmebrücken

Art, Anzahl,

Desktop Modul

Ausdruck, PDF, Excel

Offene Schnittstelle zu

Berechnungsprogrammen



COM CAD Burghardt GmbH

# Aufmaßtool

Projektübersicht

Projekt

Komponenten



Rohrleitungen  
Bögen  
Aufhänger  
Auflager  
Flansche  
Kappen  
Abflachungen  
Pumpen



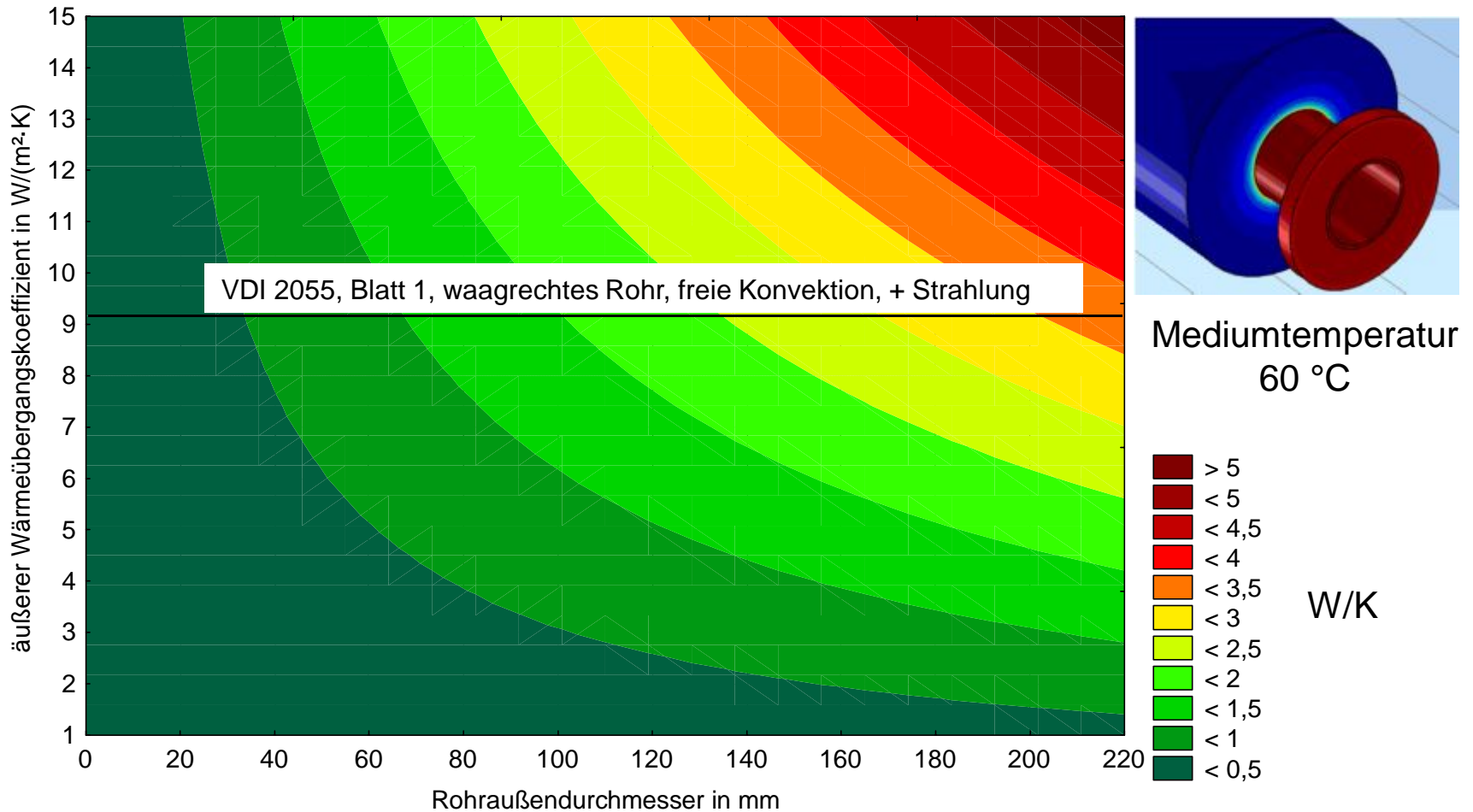
COM CAD Burghardt GmbH

# Bestimmung der Wärmeverluste von Bauteilen

- Pauschale Zuschläge gemäß VDI 2055, Blatt 1  
z.B. Rohraufleger im Freien 25%, im Gebäude 15 %  
sind zu ungenau
- Wärmeverluststromkoeffizienten von Bauteilen / Wärmebrücken
  - Finite-Elemente-Berechnung
  - Messung
    - direkt über z.B. Hotbox-Rohr
    - Enthalpieänderung and Systemgrenzen
  - Vereinfachte Geometrie (Wärmetauschende Oberfläche und Wärmeübergang)
  - Segmentierung komplexer Strukturen
  - Analytische Formeln (Rippengleichung, VDI 2055, Blatt 1)
- Verlässlichkeit der Werte steigt durch Mehrfachbestimmungen
- Zukünftig veröffentlicht im **Wärmebrückenkatalog für btA**

# Wärmeverluststromkoeffizient

ungedämmte Flansche (mehrfach bestimmt)

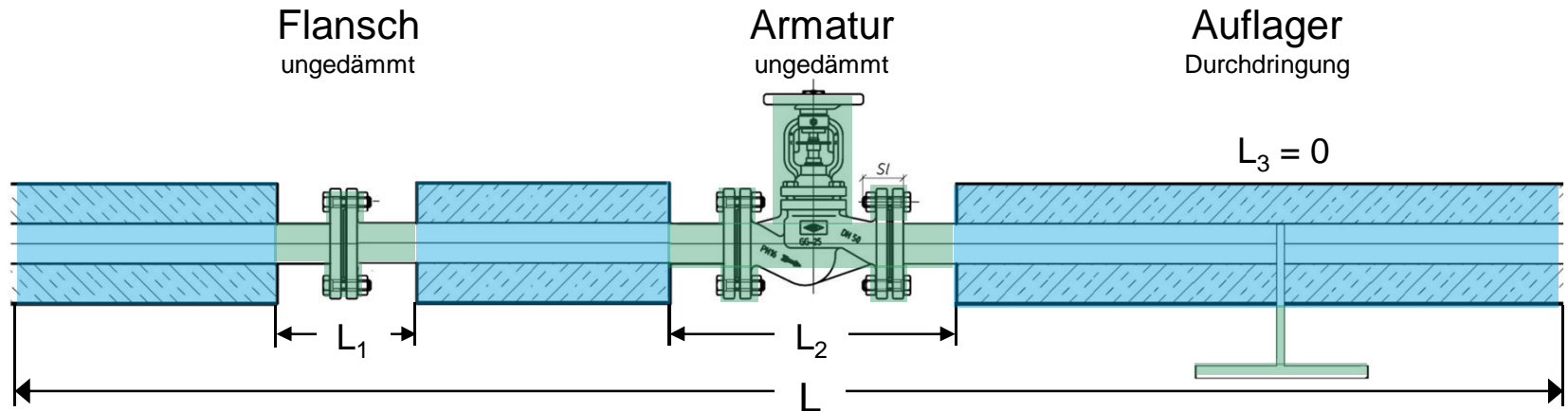


# Wärmebrückenkatalog für btA

## 1. Flansche ungedämmt

PN 10	A m <sup>2</sup>	Innen (w = 0 m/s)	Außen (w = 5 m/s)	Innen (w = 0 m/s)		Außen (w = 5 m/s)	
		$\alpha(\vartheta)_{\text{innen}} A$	$\alpha(\vartheta)_{\text{außen}} A$	$\alpha A$ für $\vartheta_{\text{Medium}} = 100 \text{ °C}$	$\alpha A$ für $\vartheta_{\text{Medium}} = 250 \text{ °C}$	$\alpha A$ für $\vartheta_{\text{Medium}} = 100 \text{ °C}$	$\alpha A$ für $\vartheta_{\text{Medium}} = 250 \text{ °C}$
		W/K	W/K	W/K	W/K	W/K	W/K
DN 10	0,029	...	...	...	...	...	...
DN 20	0,041	...	...	...	...	...	...
DN 25	0,049	...	...	...	...	...	...
DN 32	0,065	...	...	...	...	...	...
DN 40	0,079	...	...	...	...	...	...
DN 50	0,097	...	...	...	...	...	...
DN 65	0,118	...	...	...	...	...	...
DN 80	0,134	...	...	...	...	...	...
DN 100	0,163	$0,0083 \cdot \Delta\vartheta + 1,3887$	...	2	...	...	...
DN 125	0,197	...	...	...	...	...	...
DN 150	0,254	...	...	...	...	...	...
DN 200	0,324	...	...	...	...	...	...
DN 300	0,473	...	...	...	...	...	...
DN 400	0,721	...	...	...	...	...	...
DN 500	0,954	...	...	...	...	...	...
DN 600	1,151	...	...	...	...	...	...
DN 700	1,572	...	...	...	...	...	...
DN 800	1,844	...	...	...	...	...	...
DN 900	2,309	...	...	...	...	...	...
DN 1000	2,828	...	...	...	...	...	...

# Methode (Bestimmung der Wärmeverluste)

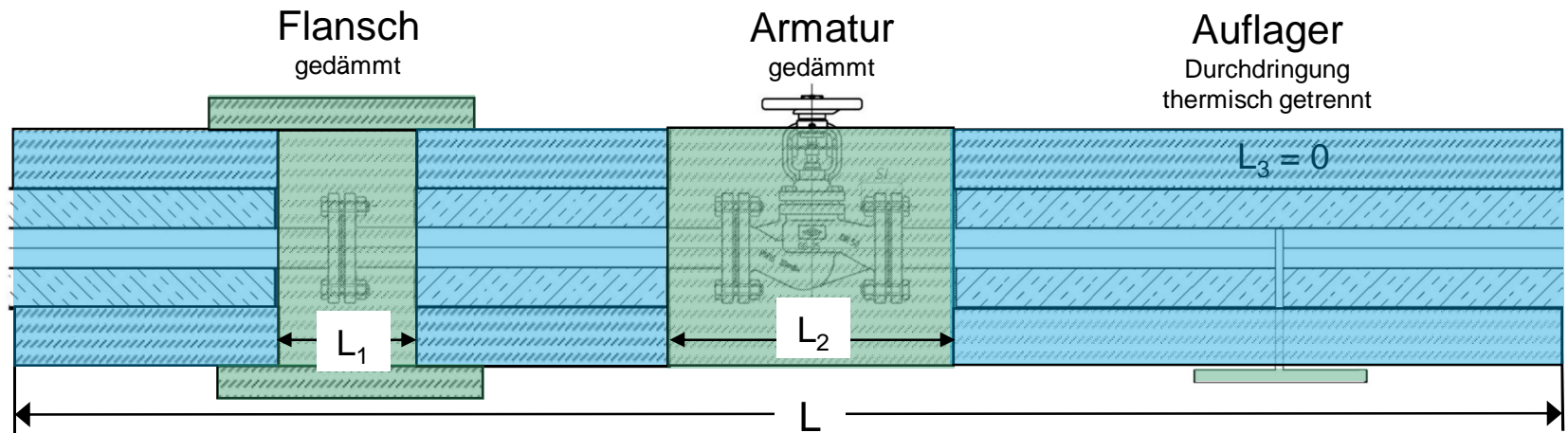


Aufnahme: Abmessungen Rohrleitung, Dämmung (Art und Dämmschichtdicke)  
Gesamtlänge  $L$ , Anzahl und Art der Wärmebrücken,  
wärmeschutztech. Bewertung

Wärmebrückenkatalog: Wärmeverluststromkoeffizienten in  $W/K$ ,  
(Längen der Wärmebrücken  $L_1$  und  $L_2$ )

$$\text{Wärmeverluste} = \text{Dämmung } (L - \sum L_{WB}) + \text{Wärmebrücken } \sum k \cdot A$$

# Energieeffiziente Dämmmaßnahmen



Maßnahmen: Dämmschichtdicke erhöhen  
Wärmebrücken dämmen, thermische Trennungen verwenden

Wärmebrückenkatalog: Wärmeverluststromkoeffizienten in  $W/K$ ,  
(Längen der Wärmebrücken  $L_1$  und  $L_2$ )

$$\text{Wärmeverluste} = \text{Dämmung } (L - \sum L_{WB}) + \text{Wärmebrücken } \sum k \cdot A$$

kleiner  
(R größer)
kleiner




# Energieeffiziente Dämmmaßnahmen (Beispiel: Retrofit)

Rohrleitung DN 100, Länge L, Mediumtemperatur: 100 °C, Umgebungstemperatur: 20 °C  
gedämmt 50% EnEV, äußerer Wärmeübergangskoeffizient = 10 W/(m<sup>2</sup>·K)

Wärmebrücken: ungedämmter Flansch, ungedämmte Armatur und Auflager

Maßnahmen:

1. Dämmschichtdicke erhöhen 50% auf 100%
2. Wärmebrücken dämmen, thermische Trennungen verwenden

Komponente	Wärmeverluste (Bestand) in W (Länge, Anzahl)		Energieeinsparung durch die Dämmmaßnahmen in W (%)	
	L=10m	L=100m	L=10m	L=100m
Rohrleitung	316 (L=9,5m)	3313 (L=99,5m)	113 (22%) 	1184 (70%)
Flansch	166 (n=1)	166 (n=1)	159 (30%) 	159 (10%)
Armatur	258 (n=1)	258 (n=1)	237 (46%) 	237 (15%)
Auflager	30 (n=3)	250 (n=25)	9 (2%)	78 (5%)
Gesamt	770	3987	518 (100% / 67%)	1658 (100% / 42%)

Betriebsstunden, Energieträger, Nutzungsgrad -> CO<sub>2</sub>-Einsparung

## Fazit – Der energieeffiziente Cocktail

Einsatz von gütegesichertem, optimalem Dämmstoff für die Anwendung  
Technische Spezifikationen berücksichtigen

Berechnung des Wärme- und Kälteschutzes gemäß VDI 2055, Blatt 1

Wärmebrückenkatalog

Gesamtwärmeverlust und Energieeinsparung korrekt erfassen

Optimales energieeffizientes Dämmsystem

maximieren der Dämmschichtdicke

minimieren Energieverluste über Wärmebrücken und

der Betriebswärmeleitfähigkeit sowie Konvektion



## Zum Wohl !

