



Die energieeffiziente Dämmung in der Anlagentechnik – Kriterien und Auslegungsverfahren

Dr.-Ing. Ernst-Günter Hencke, VDI-Gesellschaft Energie und
Umwelt, Düsseldorf

Beitrag zum Wärmeschutztag 2011

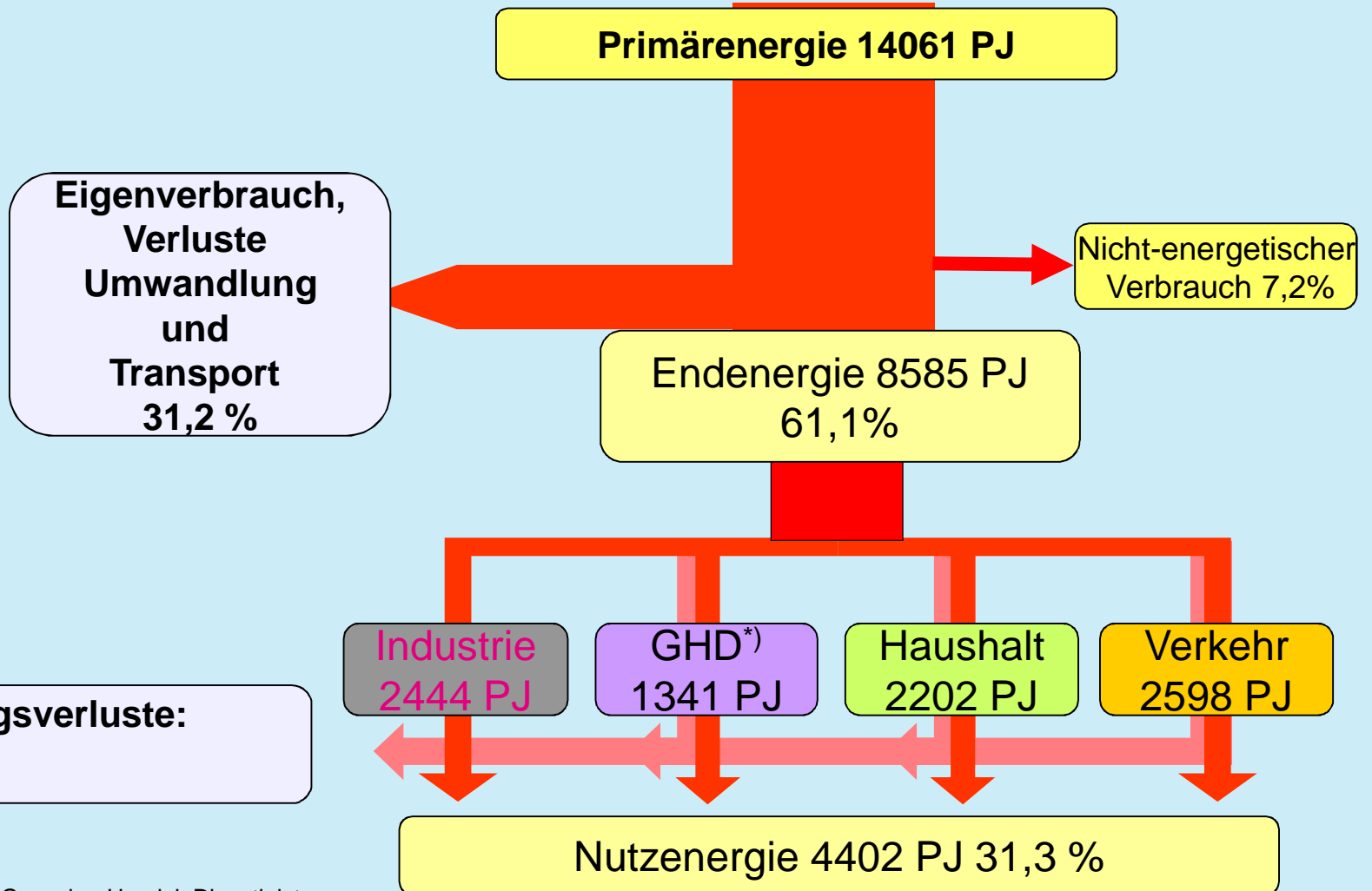
Die ingenieurtechnische Herausforderung unserer Zeit:

Senkung des Energieverbrauchs

Minderung von Treibhausgasemissionen

Energiesituation in Deutschland 2007

Wärmeerzeugung spielt die Hauptrolle



*) GHD – Gewerbe, Handel, Dienstleistung



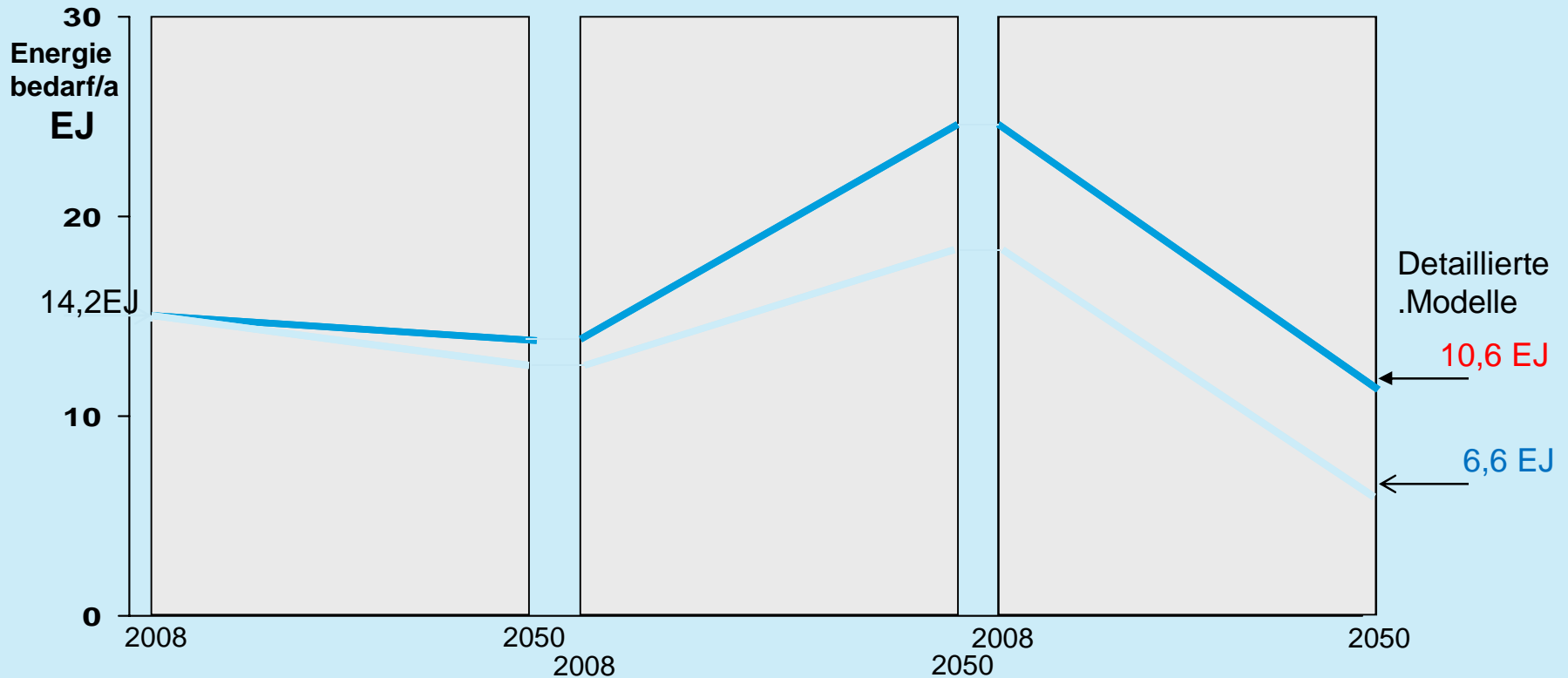
Vereinfachte Szenario-Rechnung Deutschland 2050 Vergleich Randbedingungen VDI – Prognos

Wachstum Bevölkerung + **Steigerung BIP¹⁾** + **Steigerung Energieprod.**

82,1 Miot $\left\{ \begin{array}{l} 77,3 \text{ Mio VDI} \\ 73,8 \text{ Mio Prognos} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{VDI } 1,4 \text{ \%/a} \\ \text{Prognos } 0,8 \text{ \%/a} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{VDI } 2,0 \text{ \%/a} \\ \text{Prognos } 2,4 \text{ \%/a} \end{array} \right.$



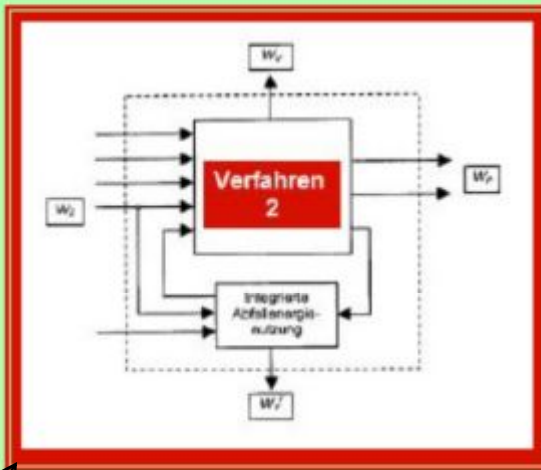
¹⁾ Annahme $\Delta \text{Energy} \sim 0,5 \Delta \text{GDP}$

Was muss in der Anlagentechnik zur rationellen Wärmenutzung getan werden ?

1. **Abwärmennutzung** prüfen
 - Möglichkeiten zunächst im Verfahren selbst suchen
 - Auch externe Nutzungsmöglichkeiten einbeziehen
 - Zeitgleicher Anfall von Abwärme und Nutzwärme (ansonsten Speicher einsetzen)
2. **Verluste** aufdecken und quantifizieren
3. **Dämmsysteme** prüfen und optimieren (Neu- und Bestandsanlagen)
4. **Überwachte Dämmstoffe** und –systeme einsetzen

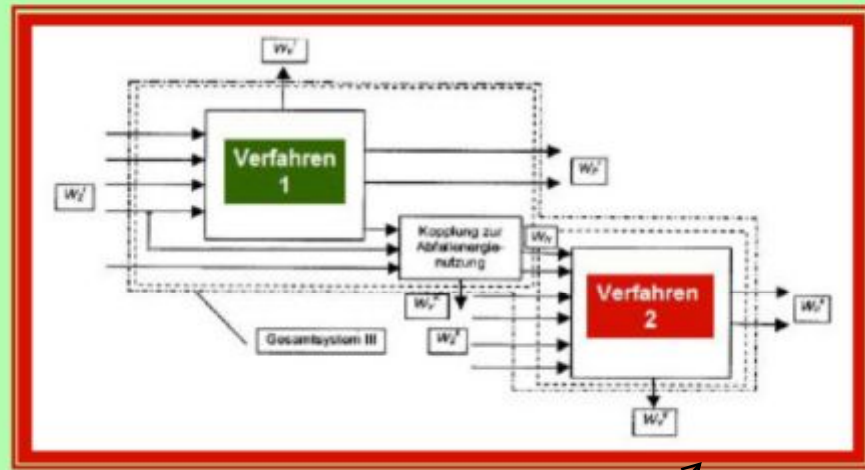
Abwärmennutzung im Unternehmen

Zwei Varianten in Unternehmen:



Verfahrensintegrierte Verwertung

W_z = primäre Wärmezuführung
 W_v = Verfahrnsbedingte nicht beeinflussbare Wärmeverluste
 W_p = produktiv akkumulierte Wärme

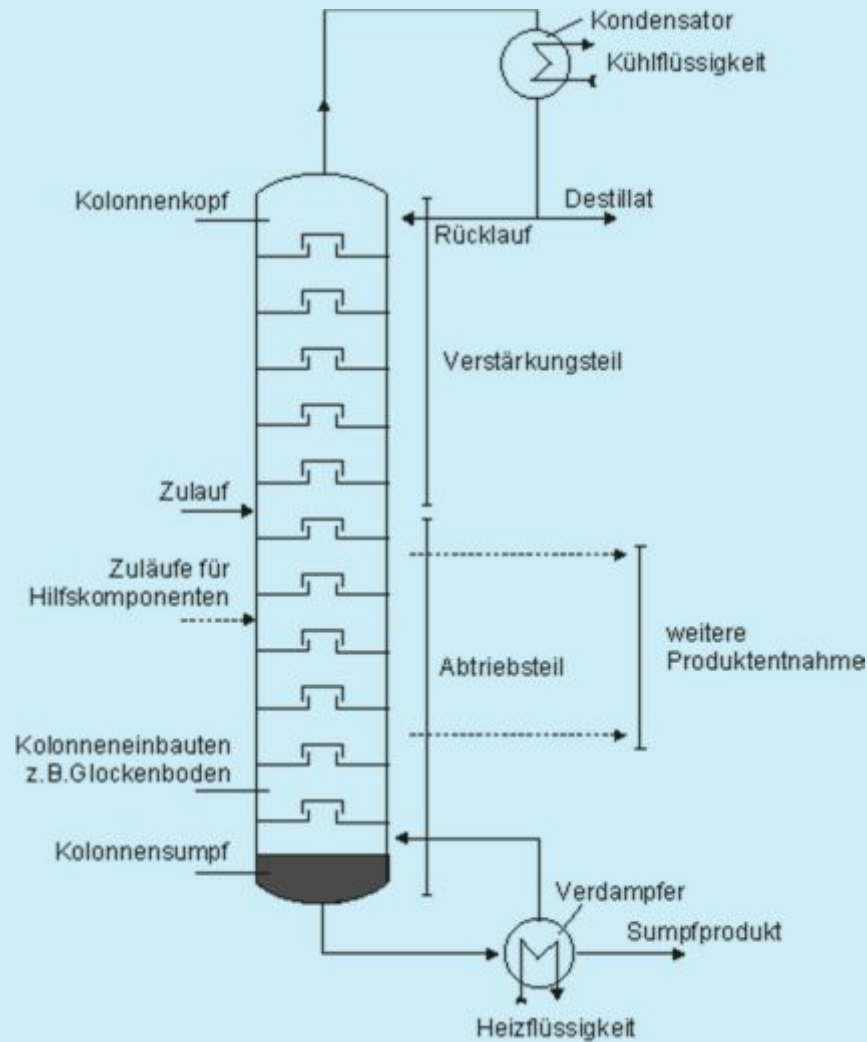


Verfahrensübergreifende Verwertung

1. Wahl

2. Wahl

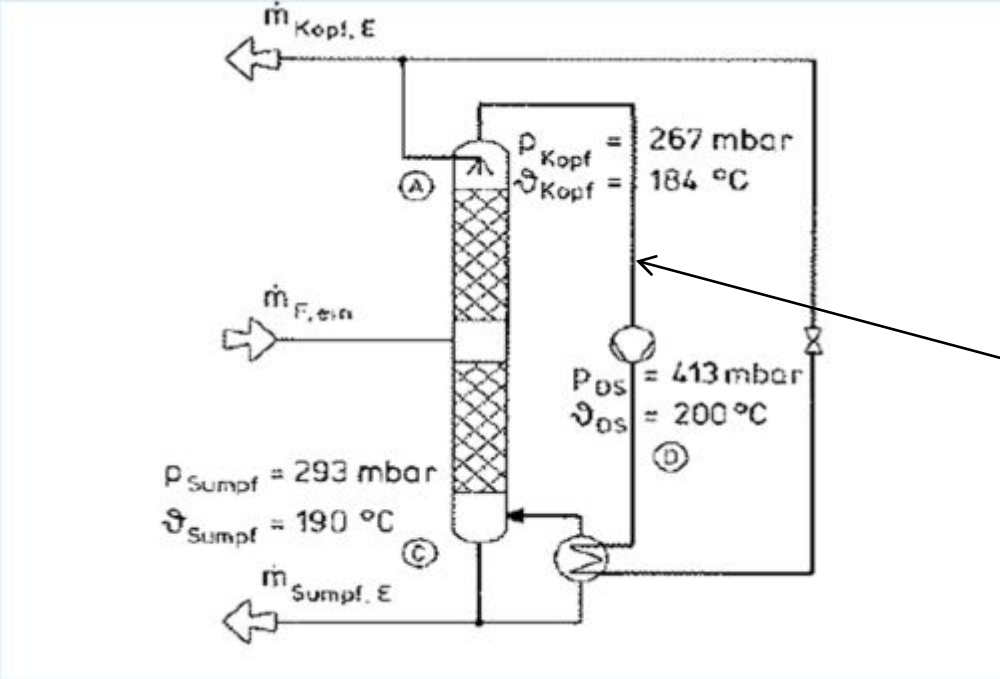
Beispiel: Rektifikationskolonne ohne Wärmerückgewinnung



„Wärmequelle“

„Wärmesenke“

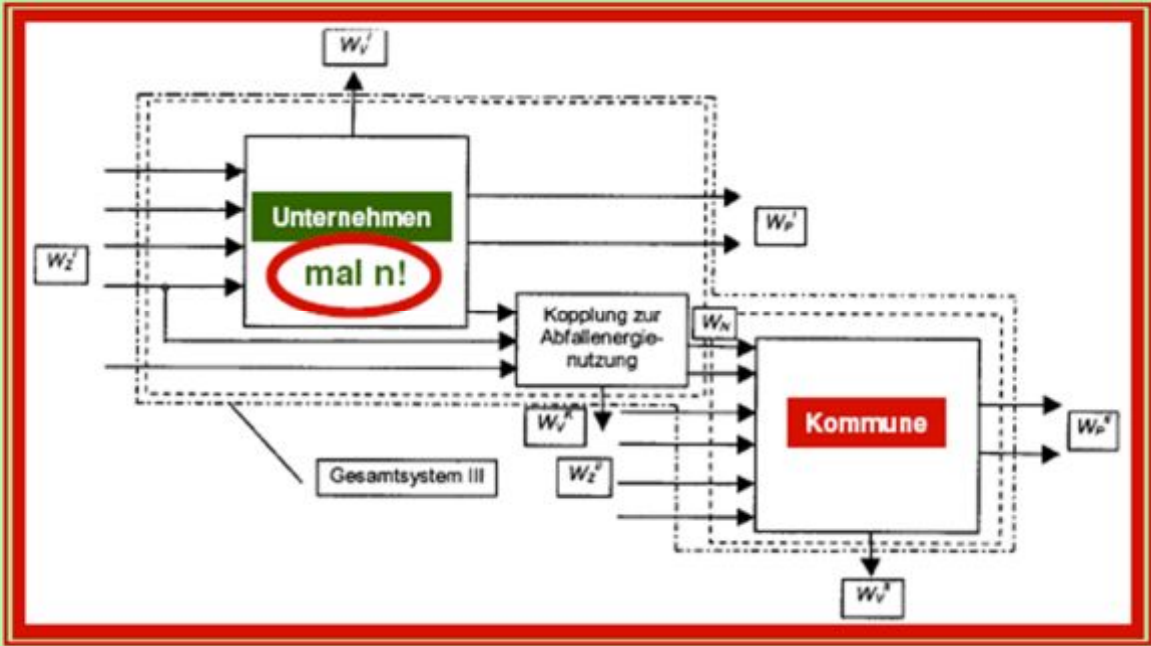
Beispiel: Brüdenkompression bei der Rektifikation (verfahrensintegrierte Verwertung)



hohe Anforderungen
an die Dämmung

Externe Kopplungen

Die territoriale Variante:

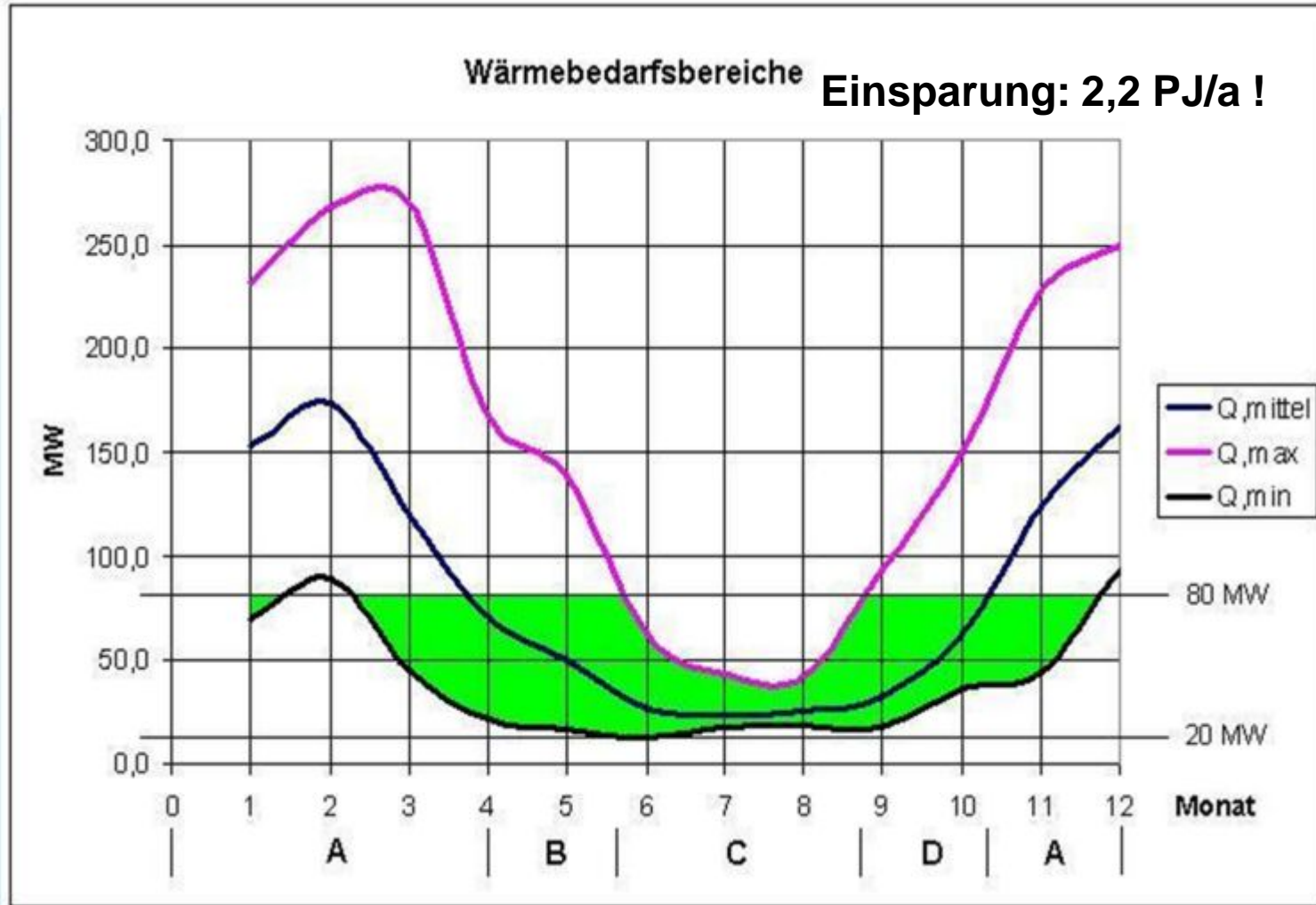


Beispiel, vorgestellt auf VDI-Expertenforum Abwärmequellen in einer Mineralölraffinerie

WT1	Pos. Nr.	Benennung	Leistung [MW]
CHD 3	27-006A-D	MD-Rückfluss LK	4,6
FCC	27-002E-F	OZR -LK	1,7
	27-003A-D	LCGO -LK	6,7
	27-007A-B	S-B-I-Umlauf -LK	5,3
Top 1	27-030-33	Top-ORZ -LK	10,1
Vak1	25-75/76	Umwälzwasser WT	5,6
Top 2	27-050-51	Kerosen-LK	3,6
Vak. 2	25-10A/B	VSD-Reflux	1,6
Summe WT1			<u>39,2</u>

WT2	Pos. Nr.	Benennung	Leistung [MW]
Top3	E-111C	VSO Pumparround	18,3
CHD6	E-1004	GÖ Kühler	3,0
Ref. 4	E 407 C	Effluent-Schlusskühler	4,6
	E-411	Schlusskühler	3,1
NHD5	E-2706	NHD5 Schlusskühler	2,5
DESO4	E-1806	T-1802 Kopfkondensator	2,0
CHD7	E-808	Schlusskühler	5,1
Summe WT 2			<u>38,6</u>

Territorialer Wärmebedarf und industrielle Abwärme aus verschiedenen Quellen





Auch hier spielt eine fachgerechte Dämmung eine wichtige Rolle !

FAZIT

Die Anforderungen an betriebstechnische Dämmungen steigen mit zunehmendem Grad der Abwärmenutzung.

Schritte zur energieeffizienten Dämmung: Ein wichtiges Thema bei der VDI-Fach- und Richtlinienarbeit

A Optimierung des Wärmeverlusts über die Dämmung

1. Optimierung von Dämmschichtdicken (**VDI 2055 Blatt 1**)
2. Überwachung der Eigenschaften von Dämmstoffen (**VDI 2055 Blatt 2, VDI-AG Gütesicherung, [Keymark](#)**)

Zielfunktionen für die Bestimmung von Dämmschichtdicken von Platten und Rohrschalen

Wärmeverlust über die Dämmung in W/m²

$$K_{ges,P} = q \cdot f \cdot W \cdot \beta + b \cdot J_P \rightarrow \text{Min} \quad \text{in } \text{€}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

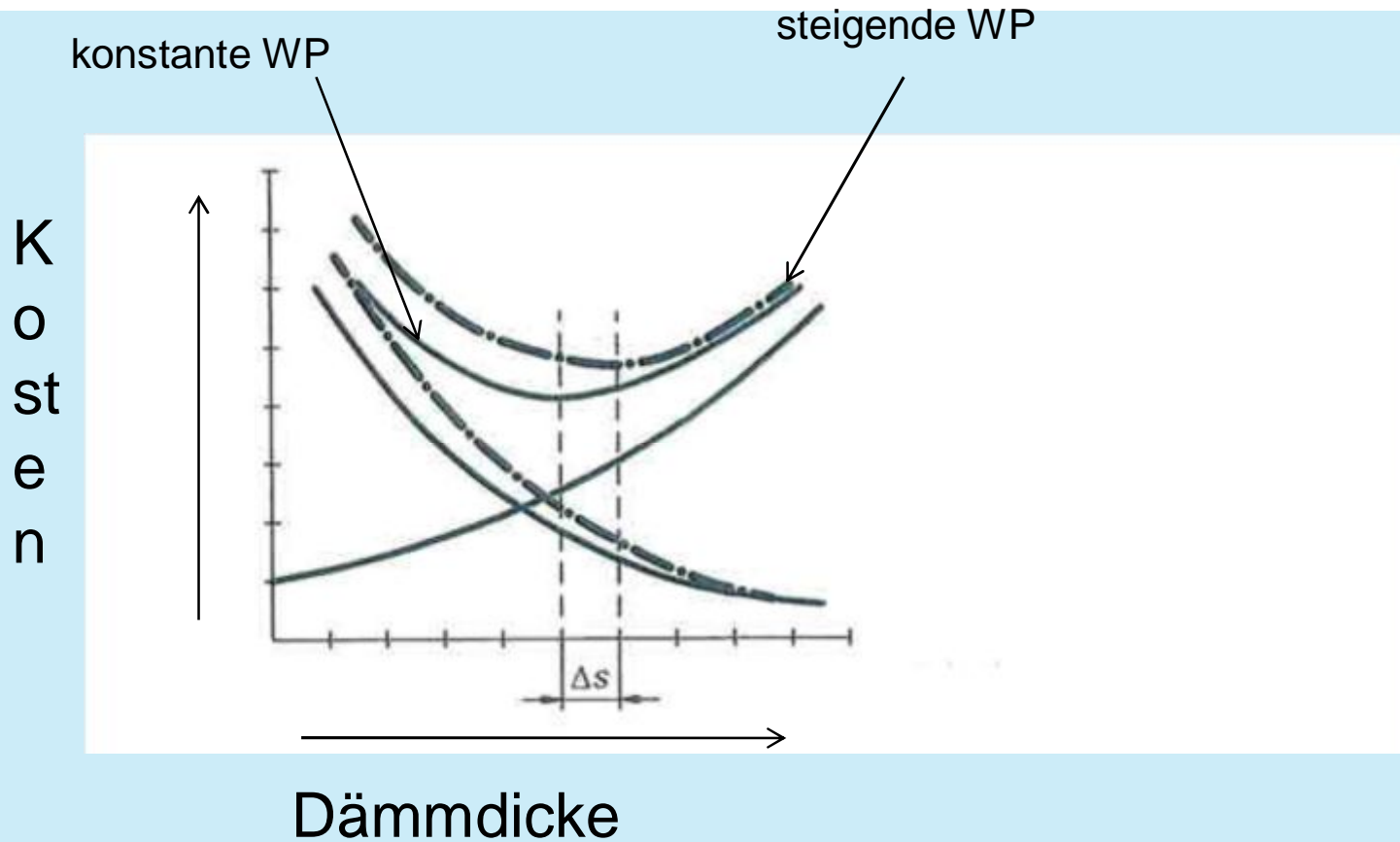
Wärmeverlust über die Dämmung in W/m

$$K_{1,ges} = q_{1,R} \cdot f \cdot W \cdot \beta + b \cdot J_{1,R} \rightarrow \text{Min} \quad \text{in } \text{€}/(\text{m} \cdot \text{a})$$

b... Kapitaldienstfaktor

J... Investitionskosten in €/m² und €/m

Kostenverläufe bei konstanten und steigenden Wärmepreisen (VDI 2055 Blatt 1)



VDI-Überwachungssystem



Genau. Richtig.

Dämmstoffe für betriebstechnische Anlagen



Dämmstoffe zur Dämmung betriebstechnischer Anlagen leisten heute einen bedeutenden Beitrag zur Einsparung von Energieressourcen.

Während für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Bau- und Dämmstoffen für Gebäude vom Gesetzgeber entsprechende Verordnungen geschaffen wurden, fehlen solche gesetzlichen Regelungen für die Dämmstoffe zur Dämmung betriebstechnischer Anlagen bisher.

Vor dem Hintergrund einer gleichbleibenden Produktqualität sowie gesicherter Produkt-Kennwerte hat sich die deutsche Dämmstoffindustrie daher vor Jahren auf freiwilliger Basis ein eigenes Gütesicherungssystem geschaffen.

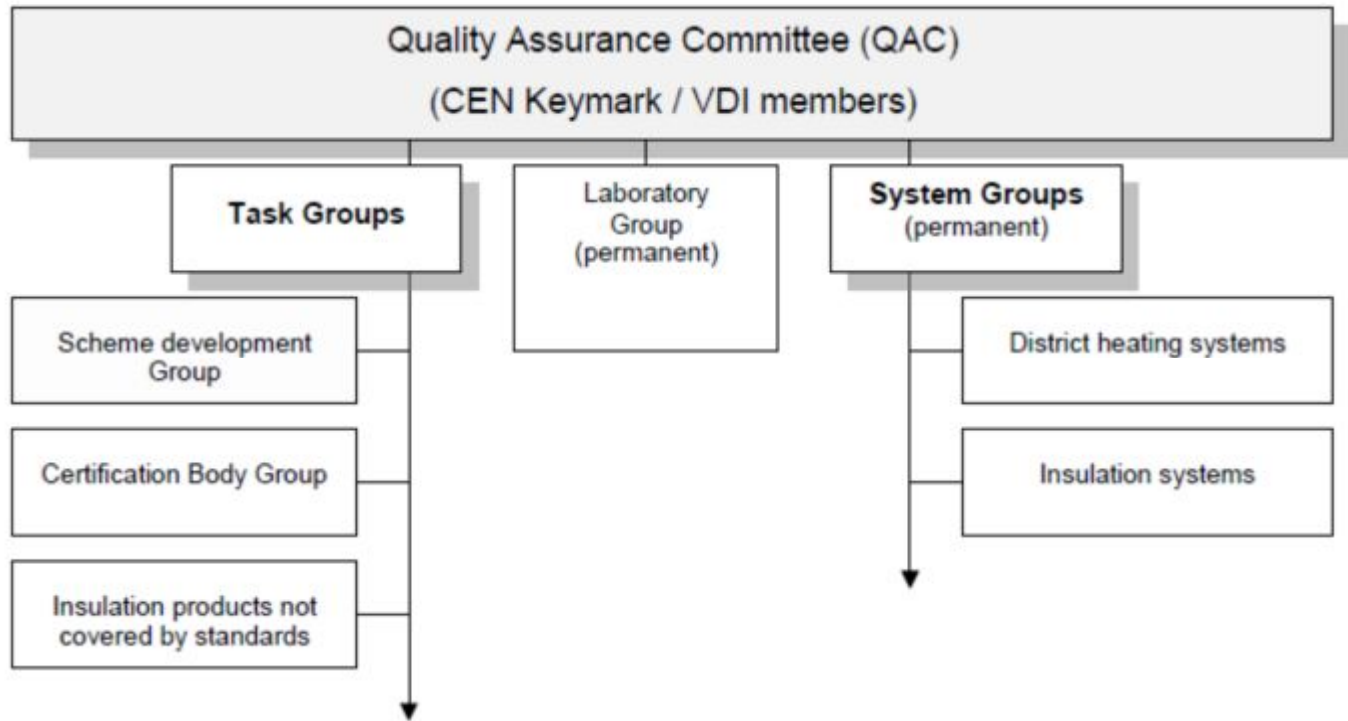


Schritte zur energieeffizienten Dämmung: Ein wichtiges Thema bei der VDI-Fach- und Richtlinienarbeit

B Optimierung des Gesamtwärmeverlusts

1. Überprüfung des Dämmzustandes einer Anlage (**VDI 2055 Blatt 3**)
2. Optimierung von Dämmsystemen und Wärmebrückenkatalog
(**VDI 4610 Blatt 1 und 2**)
 - mehrschichtiger Dämmaufbau mit Ummantelung
 - WärmebrückenberücksichtigungAnwendung auf Neuanlagen und Bestandsanlagen
3. Zertifizierung von Dämmsystemen

Europäisches Gremium in Trägerschaft von CEN und VDI Quality Assurance Committee



Optimierung einer Anlagendämmung

$$K = K_Q + K_{\text{Dämmung}} + K_{\text{WB}} \quad \text{in €/a}$$

K ... jährliche Gesamtkosten

K_Q ... Wärme(verlust)kosten (Brennstoff, Abschreibung, Personal usw.)

$K_{\text{Dämmung}}$ K_{WB}

Kosten der Dämmung und der Wärmebrückendämmung (Abschreibung, Instandhaltung ...)

Wärmeverlustkosten

Berechnungsgleichung

$$K_Q = W \cdot Q \cdot f = W \cdot \dot{Q} \cdot \beta \cdot f$$

W ... Wärmepreis in €/Wh

\dot{Q} ... Gesamtwärmeverlust in W

β ... Jahresnutzungsdauer in h/a

f ... Preisänderungsfaktor

Bestandteile von Wärmepreisen

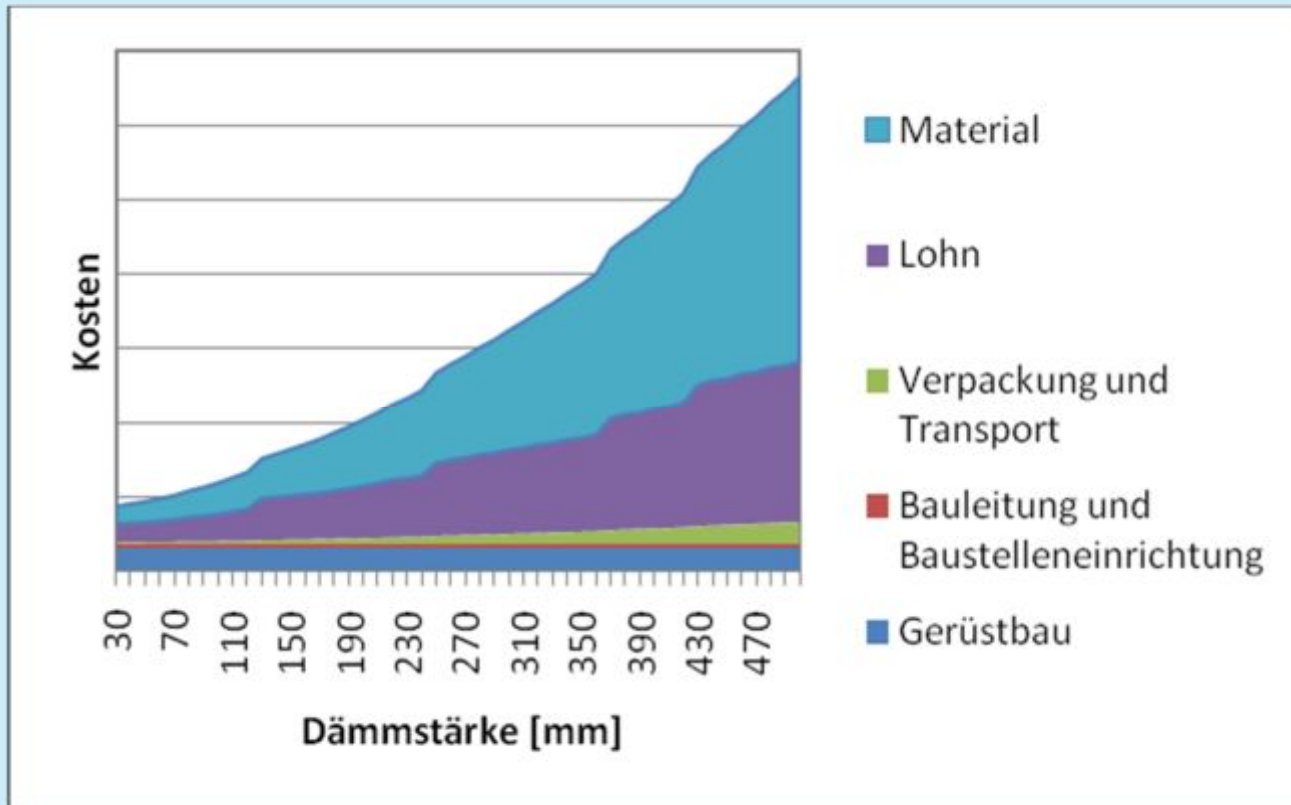
variable Kosten

Bezugskosten für Ausgangsstoffe
(z.B. Brennstoffe, Hilfsstoffe)
Instandhaltungskosten
Kosten für CO₂-Emissionen
Emissionsabgaben

fixe Kosten

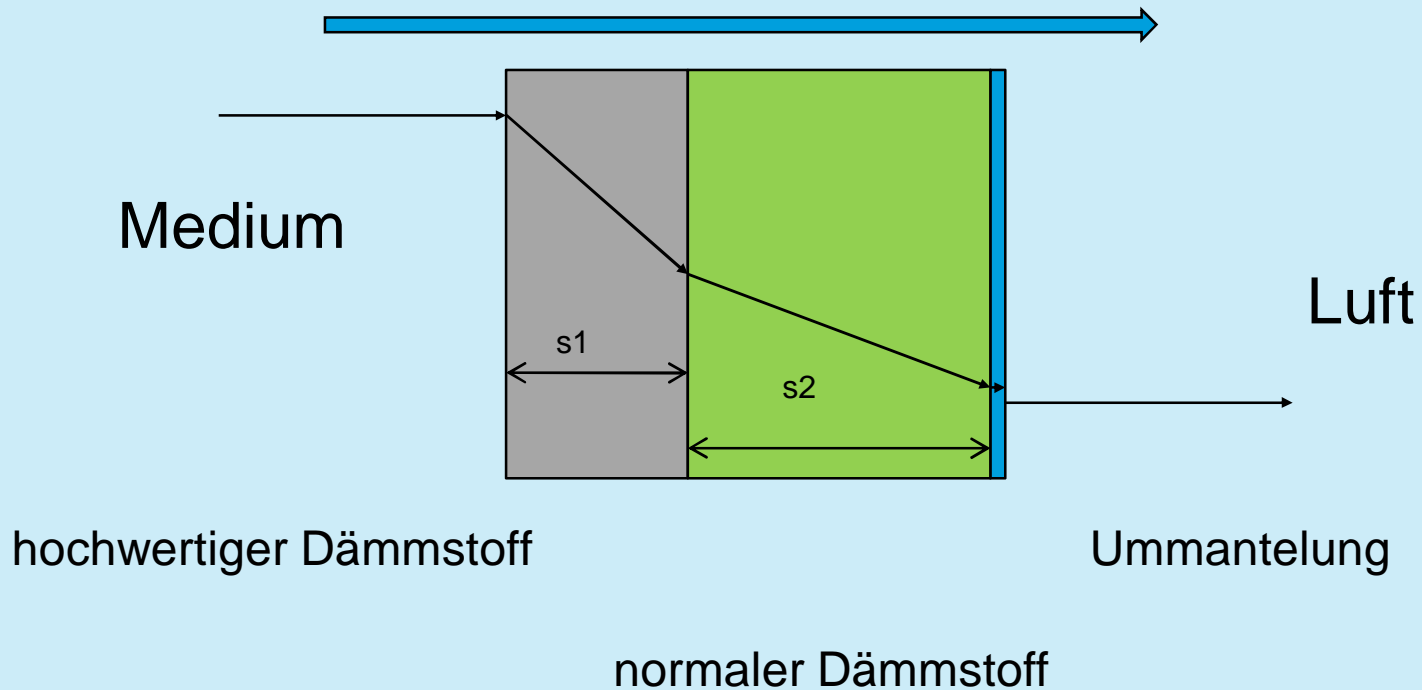
Investitionskosten für
Anlage und Verteilung
Versicherungen
Personalkosten
externe Dienstleistungen

Kosten der Dämmung



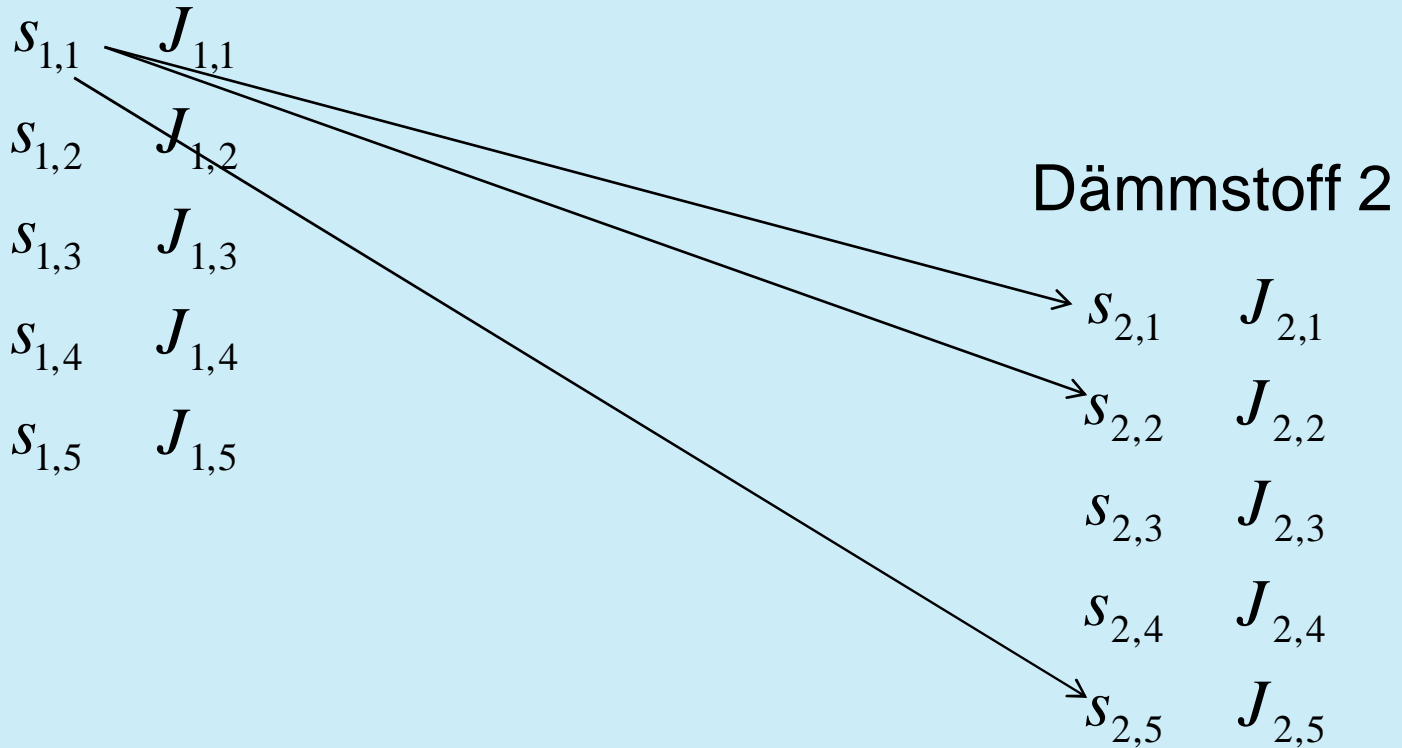
Optimierung mehrschichtiger Dämmungen

Wärmedurchgang durch eine Schicht zweier Dämmstoffe




Eingabegrößen

Dämmstoff 1



Ausgabegrößen

Matrix der Wärmestromdichten

q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}	q_{15}	\neg
q_{21}	q_{22}	q_{23}	q_{24}	q_{25}	
q_{31}	q_{32}	q_{33}	q_{34}	q_{35}	
q_{41}	q_{42}	q_{43}	q_{44}	q_{45}	
q_{51}	q_{53}	q_{53}	q_{54}	q_{55}	

Wärmestromdichte bei
s1=s13 und s2=s25

Gesamtkostenmatrix

k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}
k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}
k_{31}	k_{32}	k_{33}	k_{34}	k_{35}
k_{41}	k_{42}	k_{43}	k_{44}	k_{45}
k_{51}	k_{53}	k_{53}	k_{54}	k_{55}

daraus ist das
kleinste Element zu
finden

Modellrechnung: Zweischichtige Dämmung

tM/ °C	q/ W/m	K/€/m	s1/mm	s2/mm
100	16,3	28,7	20	70
150	23,9	35,6	20	90
200	28,9	42,5	40	90
250	34,5	49,0	40	120
300	41,8	55,2	60	90

Gesamtbetrachtung: Allgemeine Zielfunktion für eine Rohrleitung

$$K_{l,ges} = \left(q_{l,R} + \frac{\sum_{j=1}^n (k \cdot A)_j \cdot \Delta \vartheta}{l_{ges}} \right) \cdot f \cdot W \cdot \beta + b \cdot \left(J_{l,R} + \frac{1}{l_{ges}} \cdot \sum_{j=1}^n J_j((kA)_j) \right) \rightarrow \text{Min}$$

Kosten=

variable Kosten Wärmeverlust (Dämmung + Wärmebrücken)+Kapitalkosten Dämmung (Rohr + Wärmebrücken)

$$K_{l,ges} = K_{l,D} + \sum_{i=1}^N K_{l,WB,i}$$

Optimierung des Gesamtwärmeverlusts

spezifischer Wärmeverlust

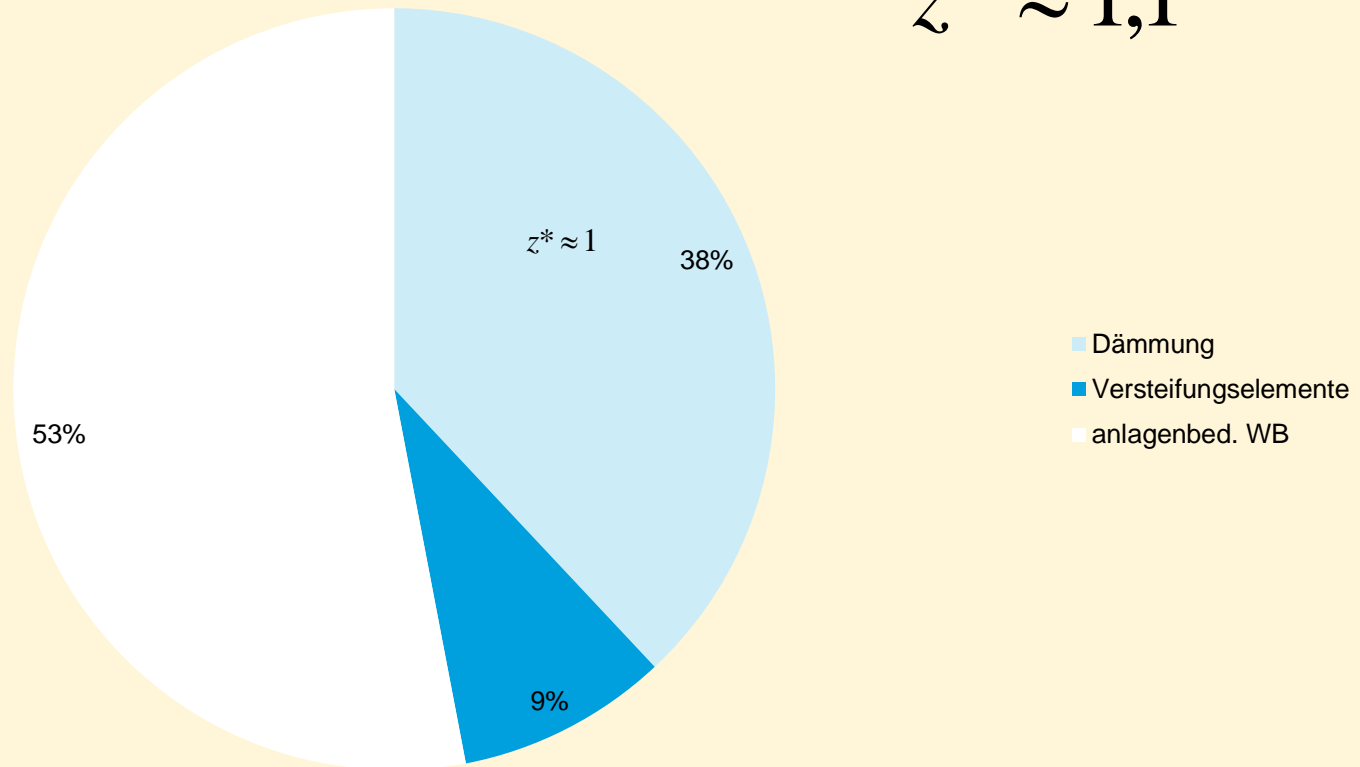
$$q' = q_{1,R} \cdot (1 + z^*)$$

Beitrag der anlagenbedingten Wärmebrücken



Teile des Gesamtwärmeverlusts an einem Abhitzekessel - Beispiel nach VDI 2055 Blatt 3

$$z^* \approx 1,1$$



... Wärmeverlustkosten — Dämmkosten — Gesamtkosten

