

Energieschleuder Tankdach

Ungedämmte oder nur mit wenigen Millimetern starken 'Isolier'-Beschichtungen versehene Tankoberflächen sind Klimakiller erster Güte

Zur Lagerung von flüssigen Produkten, wie z.B. Alkohol, Heizöl oder Schweröl, werden weltweit Tanklager betrieben. Ein Großteil dieser Lagertanks ist ungedämmt. Für die Lagerung und Verarbeitung bestimmter Produkte (z.B. sehr zähflüssige Medien wie Bitumen) sind jedoch gedämmte Tanklager notwendig.

Die Lagerung der Produkte erfolgt über das Jahr bei konstanten Betriebstemperaturen. Abmessungen von 40 m Durchmesser und eine zylindrische Höhe von 16,5 m sind nicht ungewöhnlich. Die Wärmedämmung dieser Tanks erfolgt üblicherweise mit Dämmstoffen aus Mineralwolle und Ummantelungen aus Aluminium oder Stahl. Diese schützen den Dämmstoff vor mechanischen Beschädigungen und Witterungseinflüssen.

Mit Bezug auf die jährlichen Betriebsstunden, die großen Oberflächen und die Betriebszeiten von Jahrzehnten ist eine wirtschaftliche Auslegung der Dämmsysteme zwingend, die Wirtschaftlichkeit aber auch sehr schnell nachweisbar.

Neben den Investitions- und Betriebskosten steht insbesondere die Betriebssicherheit der Dämmung im Fokus. Es kommt immer wieder vor, dass Korrosion unterhalb der Dämmung (CUI) zu kostspieligen Schäden führt.

Als Alternative zur herkömmlichen Dämmung werden von einigen Anbietern auch Beschichtungen für den Wand- und Dachbereich angeboten. Gemäß deren Angaben von „Isolierbeschichtungen“ hat eine 2 – 4 mm starke hochdämmende Beschichtung die gleiche Dämmwirkung wie eine konventionelle Dämmung mit 120 mm Mineralwolle. Neben geringeren Investitionskosten und der Vermeidung von CUI wird auch mit niedrigeren Oberflächentemperaturen geworben. Es wird suggeriert, dass eine niedrigere Oberflächentemperatur gleichbedeutend mit einer guten Wärmedämmung ist.

Es ist das Ziel dieses Berichtes, die thermischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der verschiedenen Dämmsysteme zu vergleichen.

Zur Veranschaulichung der grauen Theorie dient eine Musterrechnung an einem Tank mit einer Betriebstemperatur von 145 °C, den oben genannten Abmessungen und einer jahresdurchschnittlichen Umgebungstemperatur von 10 °C.

Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen

Der Wärmetransport erfolgt durch Leitung, Konvektion und Strahlung. Diese drei Transportvorgänge treten in der Praxis gemeinsam auf. Dämmstoffe reduzieren den Wärmetransport. Verhindern können sie diesen nicht.

Typische Wärmeleitfähigkeit [W/mK] üblicher Dämmstoffe und Beschichtungen bei 20°C:

- Mineralwolle, Drahtnetzmatte, AGI Q 132, Grenzkurve 2 0,04
- Mineralwolle, Tankwandplatte, Annahme 120 mm, einlagig 0,04
- Vakuumpaneel mit einem Kern aus Pyrogener Kieselsäure 0,004
- Beschichtung A, Anbieter A 0,0698
- Beschichtung B, Anbieter B 0,002

Anmerkungen:

- Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit (WLF) von Dämmstoffen existieren international anerkannte und standardisierte Messmethoden, wie z.B. der DIN EN ISO 13787.
- Für CE-markierte Dämmstoffe, welche im Bereich der betriebstechnischen Anlagen eingesetzt werden, sind Angaben zur WLF bis zur oberen Anwendungsgrenztemperatur anzugeben. Nur durch diese temperaturabhängigen Werte kann die Betriebswärmeleitfähigkeit ermittelt werden.
- Die Herstellerangaben zur Wärmeleitfähigkeit (WLF) der Isolierbeschichtungen beziehen sich nur auf eine Temperatur, z.B. 20 °C. Bedingt durch das Fehlen normiert gemessener Wärmeleitfähigkeiten und dadurch fehlender Polynomkoeffizienten besteht keine Möglichkeit, die Betriebswärmeleitfähigkeit zu ermitteln!
- Für die oben genannte Tankwandplatte ergibt sich, bei einer Systemtemperatur von 145 °C, eine Betriebswärmeleitfähigkeit von 0,053 W/mK. Hier sieht man, dass die höhere Mitteltemperatur eine Zunahme der Wärmeleitfähigkeit von über 30% bewirkt. Dadurch ist die Annahme einer Wärmeleitfähigkeit bei 20°C bei der Berechnung von Tankwandverlusten sachlich falsch.
- Die für Thermische Beschichtungen häufig rechnerisch ermittelten WLF von z.B. 0,002 W/mK liegen unterhalb der WLF von Vakuumpaneelen und sind völlig unrealistisch.

Vereinfachte Berechnung des Wärmestroms an einer ebenen Wand

Nachfolgend wird kurz dargestellt, wie die Wärmestromdichte „zu Fuß“ grob ermittelt werden kann. Genauere Berechnungen sind mit im Markt kostenlos verfügbaren Berechnungsprogrammen auf Basis der VDI 2055 oder EN 12241 möglich.

Wärmedurchlasswiderstand und Wärmestromdichte:

$$R_i = \frac{s_i}{\lambda_i}$$

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}$$

$$q = \frac{\vartheta_i - \vartheta_a}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}} \approx \frac{\vartheta_i - \vartheta_a}{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

R = Wärmedurchlasswiderstand

q = Wärmestromdichte

α_i = Wärmeübergangskoeffizient innen, 1000 W/m²K (kann i.d.R. aufgrund des geringen Einflusses auf R vernachlässigt werden)

α_a = Wärmeübergangskoeffizient außen, bei mit Wolle gedämmten Wänden ca. 4-7 W/m²K, bei Thermischen Beschichtungen ca. 11 W/m²K

s = Schichtdicke der Dämmung m

λ = Wärmeleitfähigkeit W/mK

ϑ_1 = Betriebstemperatur, 145 °C

$$\vartheta_2 = \text{Umgebungstemperatur, } 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mit Hilfe dieser vereinfachten Formeln kann man die Wärmestromdichten leicht überschlägig ermitteln.

Für die mit 120 mm Mineralwolle gedämmte Wand kommt man so auf einen Wärmeverlust von ca. 56 W/m²:

$$R_{\text{Wolle}} = \frac{0,12\text{m}}{0,053 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 2,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$q = \frac{\vartheta_i - \vartheta_a}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}} \approx \frac{145 - 10}{2,26 + \frac{1}{6,89}} = 56 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Für die Thermische Beschichtung (Anbieter A, 4 mm) resultiert eine Wärmestromdichte von ca.

$$R_{\text{Therm.Beschichtung}} = \frac{0,004\text{m}}{0,0698 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 0,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$q = \frac{\vartheta_i - \vartheta_a}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}} \approx \frac{145 - 10}{0,06 + \frac{1}{11,274}} = 908 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

EDV-gestützte Berechnung gemäß Berechnungsgrundlagen der VDI 2055-1

Die genauen Werte sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Abweichungen zu den Handrechnungen sind dadurch begründet, dass die Tabellenwerte mit iterativ arbeitenden Kalkulationsprogrammen erstellt worden sind.

1607	Dämmung		Energetischer Vergleich der Dämmsysteme									
	Wand	Dach	Temperaturen			Wärmeströme			Energieverbrauch MWh/a	Jährliche Energiekosten bei einem Wärmepreis von		Mehrverbrauch im Vergleich zur Pos. 1
			Dachgasraum	Wand	Dach	Wand	Dach	Summe		10 €/MWh	30 €/MWh	
1	M120	M120	139,7	17,0	16,6	109,0	70,6	179,6	1573	15735	47204	1,0
2	M120	OD	68,0	17,0	67,9	99,5	1003,6	1103,1	9663	96632	289895	6,1
4	M120	B4A	89,4	17,0	56,8	102,4	763,8	866,2	7588	75879	227637	4,8
5	OD	OD	64,0	144,8	63,9	2307,2	915,0	3222,2	28226	282265	846794	17,9
7	B4A	B4A	84,6	85,5	54,3	1335,0	711,5	2046,5	17927	179273	537820	11,4

Parameter:

Berechnung der Wärmeströme und Temperaturen gemäß VDI 2055, Blatt 1
 Abmessungen: 40 m Durchmesser, Höhe des Tanks = 16,5 m
 Temperatur: Medium = 145 °C, Umgebung = 10 °C
 Wärmeübergangskoeffizienten nach VDI Wärmeatlas, freie Konvektion
 Bodenaufbau: Sand-/Kiesschicht, 2 m
 Emissionsgrad = 92%

Dämmsysteme:

OD Ohne Dämmung, Korrosionsschutz, Emissionsgrad = 92%
 M120 Mineralwolle, 120 mm, Grenzkurve 2 gemäß AGI Q.132, Umantelung mit Alu-Glattblech
 B4A Beschichtung, Typ A, t=4,0 mm, Wärmeleitfähigkeit = 0.0698 W/m/K

Tabelle 1: Wärmeströme und Energiekosten

Die Betriebstemperaturen und Übergangskoeffizienten sind unabhängig vom Dämmstoff. D.h. die Wärmestromdichte verändert sich nur über das Verhältnis von Schichtdicke zu Wärmeleitfähigkeit.

Bei einer Dämmdicke von 120 mm Mineralwolle resultiert eine Wärmestromdichte von 56 W/m².

Bei einer „Dämmdicke“ von 4 mm Beschichtung A (WLF gemäß Herstellerangaben) resultiert eine Wärmestromdichte von 908 W/m^2 . An dieser Stelle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass eine Berechnung der Wärmestromdichte in jedem Fall auf der unsicheren Seite falsch sein muss, da aufgrund fehlender Wärmeleitfähigkeiten bei höheren Temperaturen als 20°C die Betriebswärmeleitfähigkeit nach VDI 2055 nicht ermittelt werden kann. Damit wird mit einer zu niedrigen Wärmeleitfähigkeit gerechnet. Daher sind die Wärmeverluste zwangsläufig größer als 908 W/m^2 .

Aus dem Vergleich ergibt sich für die Wand, dass der Wärmeverlust der 4 mm Beschichtung A um den Faktor 16,2 höher ist als die mit 120 mm Mineralwolle gedämmte Variante.

Für das Dach des Beispieltanks mit einem Durchmesser von 40 m ergibt sich für die ebene Dachfläche von 1256 m^2 ein jährlicher Energieverlust von $6.690.508 \text{ kWh}$ ($= 1256 \text{ m}^2 \times 8760 \text{ h/a} \times 608 \text{ W/m}^2$). Die niedrigere Wärmestromdichte von 608 W/m^2 ist dadurch begründet, dass der Gasraum oberhalb des Fluids aufgrund der schlechten Dämmung des Daches im Vergleich zur Wand, die mit der Flüssigkeit im direkten Kontakt steht, eine niedrigere Temperatur aufweist.

Zum Vergleich: Ein Einfamilienhaus in Deutschland verbraucht durchschnittlich 25.000 kWh Wärmeenergie pro Jahr, siehe <https://www.effizienzhaus-online.de/energieverbrauch-haus/>.

Der Wärmeverlust über das mit Beschichtung A behandelte Dach entspricht damit dem Wärmeenergiebedarf von ca. 270 Einfamilienhäusern! Das hat schon was.

Messergebnisse aus der Praxis

Messungen an realen Objekten unterstreichen diese theoretischen Ergebnisse. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Objekte mit unterschiedlichen Thermischen Beschichtungen untersucht. Dabei sind bei ähnlichen Randbedingungen Wärmestromdichten von 620 W/m^2 bis 850 W/m^2 gemessen worden, siehe Bilder 1-3.

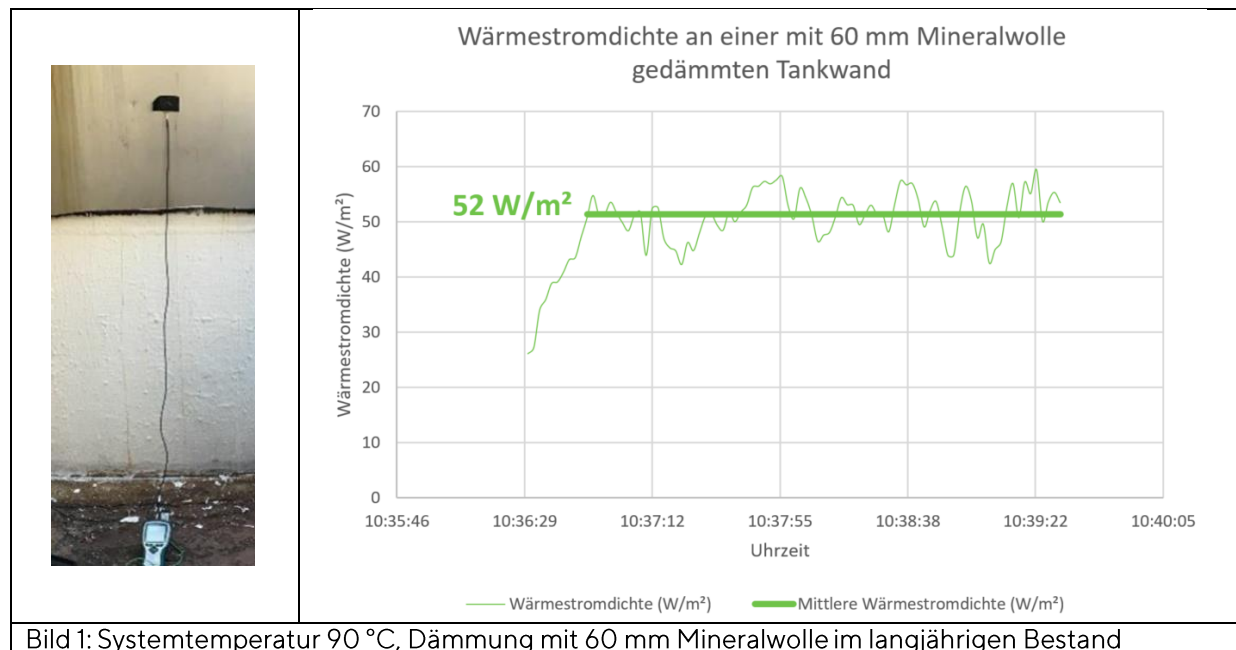


Bild 1: Systemtemperatur 90°C , Dämmung mit 60 mm Mineralwolle im langjährigen Bestand

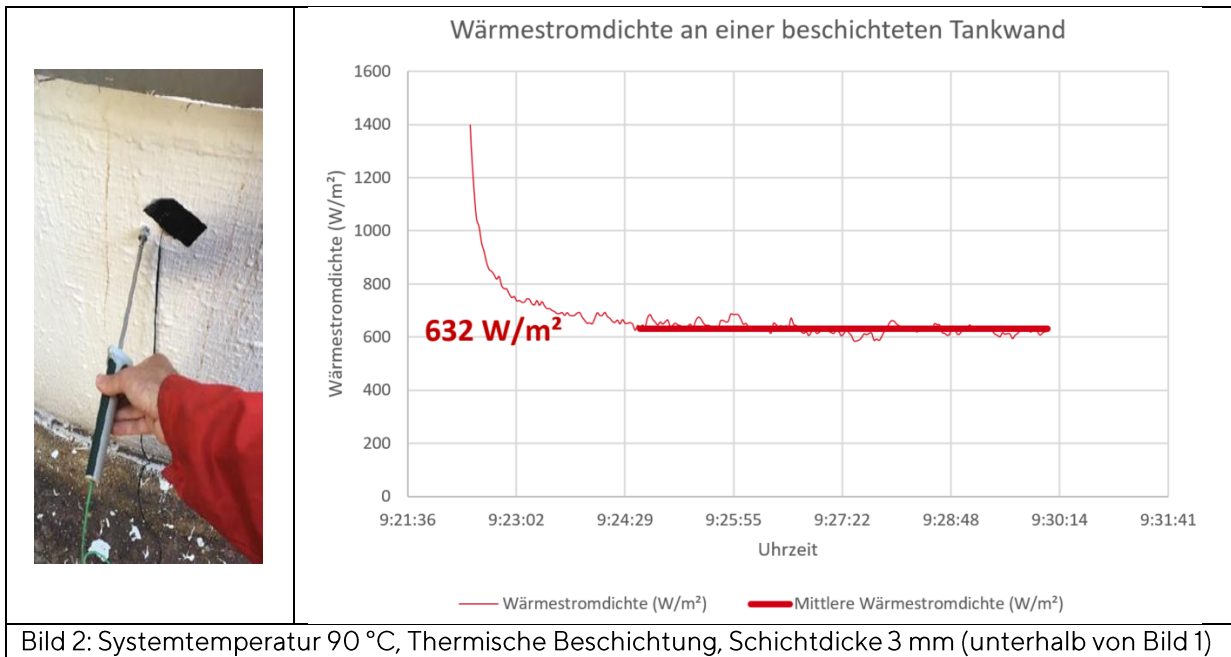


Bild 2: Systemtemperatur 90 °C, Thermische Beschichtung, Schichtdicke 3 mm (unterhalb von Bild 1)

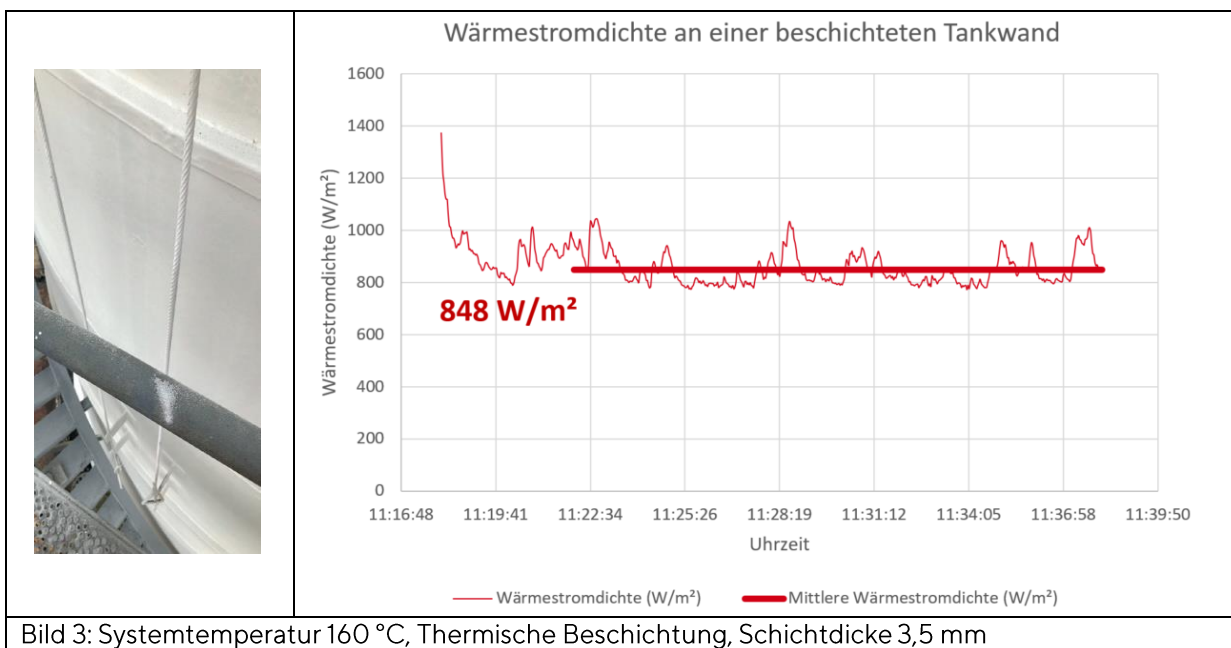


Bild 3: Systemtemperatur 160 °C, Thermische Beschichtung, Schichtdicke 3,5 mm

Die auf Basis der VDI 2055 berechnete Tabelle 1 vergleicht verschiedene Dämmsysteme unter Berücksichtigung der geometrischen Verhältnisse.

Gemäß Zeile 1 der Tabelle 1 ergibt sich für den Tank mit gedämmtem Dach und gedämmter Wand ein jährlicher Energieverbrauch von 1573 MWh über Wand und Dach.

Mit dem Verzicht der herkömmlichen Mineralwoll-Dachdämmung und einer alternativen Beschichtung B von 4 mm (bei gedämmter Wand) steigt der Energieverbrauch auf 7588 MWh an (vgl. Zeile 3). D.h. durch den Verzicht auf die Dämmung des Daches steigt der Energieverbrauch um ca. 6015 MWh an. Dies entspricht dem Jahreswärmeenergieverbrauch von rund 180 Einfamilienhäusern.

Gemäß den Angaben der Beschichtungshersteller sollen die vergleichsweise niedrigen Oberflächentemperaturen ein Zeichen für die Wirksamkeit der Dämmung sein. Die vereinfachte Sicht auf die Oberflächentemperaturen unterschlägt leider die Physik.

Durch den Entfall der Dachdämmung sinkt die Temperatur im Gasraum oberhalb des Mediums von 140 °C auf 82 °C ab. In Folge steigt der Wärmeverlust in diesem Bereich von 71 kW auf 764 kW an - pro Stunde! Das Abkühlen des Gasraums bedeutet also eine Energieverschwendung über die Dachfläche von 6070 MWh pro Jahr!

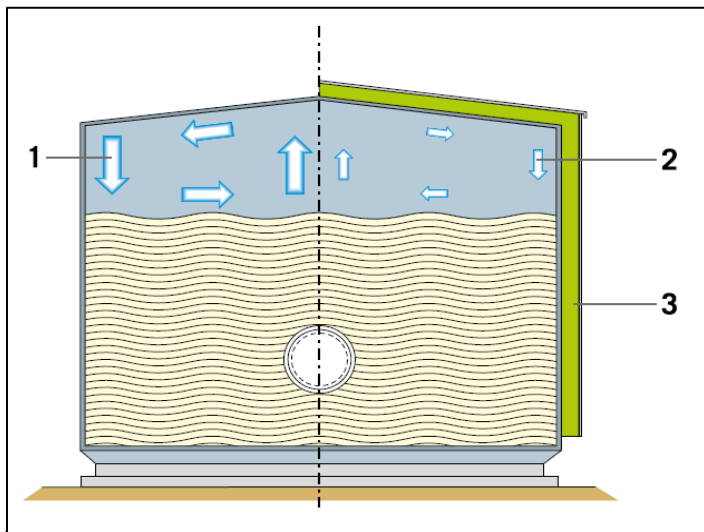


Bild 4: Abkühlung des Gasraums bei fehlender Dämmung

Dies ist dadurch zu begründen, dass sich die Luft über der heißen Flüssigkeit erwärmt, ihre Dichte abnimmt und aufsteigt. Am Dach angekommen finden Energieübertragungen durch das ungedämmte Dach statt und die Luft kühlt dabei ab. Als nächstes fällt die abgekühlte Luft aufgrund der abgenommenen Dichte wieder nach unten. Hier erwärmt sie sich erneut über der heißen Flüssigkeit und es entsteht ein permanenter „Energievernichtungskreislauf“. Durch das Übertragen der Wärme von der Flüssigkeit auf die Luft kühlt die Flüssigkeit aus.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass alle Berechnungen ohne Berücksichtigung von Wind erstellt worden sind. Wird die kühlende Wirkung von Wind berücksichtigt, so steigen die Wärmeverluste, insbesondere an ungedämmten Flächen und dünnlagig thermisch beschichteten Oberflächen, an.

Fazit

Die durch die thermische Beschichtung auf ca. 85°C reduzierten Oberflächentemperaturen sind also kein Indikator für eine gute Dämmwirkung, sondern für massive, unsichtbare Wärmeverluste.

Die Annahme, dass die Luftschicht oberhalb des Mediums eine dämmende Wirkung hat, ist falsch.

Für das obige Beispiel ergibt sich, dass sich durch die Dämmung des Tankdaches die Heizenergie für 270 Einfamilienhäuser einsparen lässt! In der Industrie gibt es viele gedämmte Lagertanks.

Die Dämmung von Tankdächern spart Energie, schont die Umwelt und ist hoch rentabel.