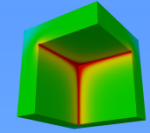


AnTherm

Programmpaket zur
Analyse des Thermischen
Verhaltens von Baukonstruktionen
mit Wärmebrücken

<http://antherm.eu/>

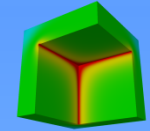


IMPLEMENTIERUNG DES KONZEPTS DER HARMONISCHEN THERMISCHEN LEITWERTE IM WÄRMBRÜCKENPROGRAMM ANTHERM

Berechnung und Visualisierung von
thermischen Wärmebrücken und des Verlaufs
von Wärme- und Dampfströmen.

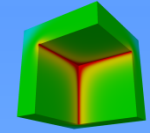
Beispiele und Möglichkeiten solcher
Berechnungen mit dem dreidimensionalen
Simulationsprogramm AnTherm

T.Kornicki, Wien



Tomasz Kornicki

- Physiker und Informatiker
- “Dienstleistungen in EDV & IT” in Wien, 23°
- Wissenschaftliche- und Unternehmensberatung seit mehr als 25 Jahren
- Softwarewerkzeuge der Bauphysik
- Zuverlässiger Partner für Hochleistungs-Simulation, Supercomputing und (nicht nur Wissenschaftliche) Visualisierung



Konzept thermischer Leitwerte

- Bestens geeignet mehrdimensional ablaufenden Wärmeleitungsvorgänge unter Berücksichtigung der Wärmespeicherung zu beschreiben
- Führt auf ein leicht überschaubares Konzept für mehrdimensional arbeitende Programme
- Die einfachen, linearen Beziehungen machen es im stationären Fall sogar der Handrechnung zugänglich

Konzept thermischer Leitwerte

- Im Buch „Wärmebrücken“ (1987) vorgestellt (thermischen Leitwerte, und Basislösungen g-Werte)
- Ausgangspunkt für praktische Verfahren zur Beurteilung von Wärmebrücken im Hinblick auf Oberflächenkondensation
- Verallgemeinerung (1993) auf die dynamischen Wärmeleitungsprozesse unter Berücksichtigung von Wärmespeicherung
- Auf die Lösungsaufgaben der Wärmeleitung unter Berücksichtigung von Wärmequellen erweitert (1993)



Periodische Entwicklung

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \hat{f}_n \cdot e^{-j \cdot \omega_n \cdot t}$$

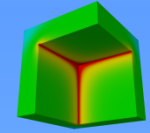
$$\omega_n = n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

- Sämtliche sich zeitlich ändernden Größen in *Fourier-Reihen* entwickelt
- Harmonische n
- Komplexwertige Amplitude f_n

Wärmeverlust

$$\hat{\Phi}_i^h = - \iint_{\mathcal{R}_i} (\lambda \cdot \text{grad } \hat{T}^h) \cdot d\vec{a}$$

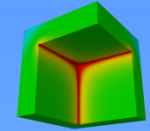
- komplexe Amplitude des Wärmeverlustes Φ_i
- raumbegrenzende Oberfläche \mathcal{R}_i
- λ die Wärmeleitfähigkeit
- das zum Raum hin orientierte Flächenelement da



Basislösungen

$$\hat{T}^h(x, y, z) = \sum_j \tilde{g}_j^h(x, y, z) \cdot \hat{\Theta}_j^h$$

- T komplexe Amplitude der Temperatur für die h -te Harmonische an einem beliebigen Punkt in oder an der Baukonstruktion
- Raumnummer j
- Basislösung g_j („Temperaturgewichtungsfaktor“)
- komplexe Amplitude der Lufttemperatur θ_j

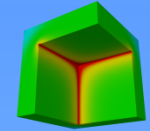


Harmonischer thermischer Leitwert

$$\hat{\Phi}_i^h = -\sum_j \hat{\Theta}_j^h \cdot \iint_{\mathcal{R}_i} (\lambda \cdot \text{grad } \tilde{g}_j^h) \cdot d\vec{a}$$

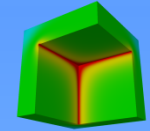
$$\tilde{\mathcal{L}}_{i,j}^h = \iint_{\mathcal{R}_i} (\lambda \cdot \text{grad } \tilde{g}_j^h) \cdot d\vec{a}$$

$$\hat{\Phi}_i^h = -\sum_j \tilde{\mathcal{L}}_{i,j}^h \cdot \hat{\Theta}_j^h$$



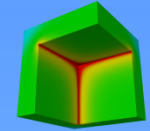
Standardisierung, EN ISO Normen

- Die Konzepte in die „Wärmebrücken-Norm“ EN ISO 10211 übernommen
- weitere Normen (EN ISO 10077, 13786, ... siehe Literaturliste) bedienten sich in den späten 90er Jahren direkt diesen Konzepten
- EN ISO 13786 verankert die Umsetzung der Berechnungsverfahren unter periodischen Randbedingungen.



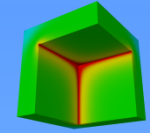
Anforderungen an das Simulationsprogramm

- Matrix thermischen Leitwerte ohne Kenntniss noch Notwendigkeit der Angabe jeglicher Randbedingungen berechnet
- Normkonforme Ergebnisausgabe der Handrechnungen zugänglich
- Für zwei- und dreidimensionale Aufgabenstellungen geeignet
- Aussagekräftige 2D und 3D Visualisierungen
- Numerische Stabilität des Verfahrens ist von vornherein für die häufigsten Aufgabenstellungen gewährleistet



Anforderungen an das Simulationsprogramm

- Rechenzeiten auf typischen Bürorechnern in Sekunden bis höchstens wenigen Minuten
- Integriertes Werkzeug mit kurzer Einarbeitungszeit ohne speziellen Vorkenntnisse
- Werkzeug integriert sich einfach in den Alltag eines Ingenieurbüros, eines Baupraktikers, Sachverständigen oder eines Architekten
- Einsatz im Unterricht unterstützt die Erkenntnis- und Lernprozesse



Anforderungen an das Simulationsprogramm

- Normkonformität des Verfahrens und einer jeden einzelnen Simulation ist mit einfachen Werkzeugen vom Anwender alleine verifizierbar
- Anwendung moderner Simulations- und Visualisierungstechniken
- Freude am Erforschen des thermischen Verhaltens von Bauwerken
- Den Anwender zur Erstellung von optimierten Bauteilvarianten animieren

Die harmonischen thermischen Leitwerte und die zugehörige Phasenverschiebung zwischen der Temperaturschwankung und Schwankung der Wärmeverluste

- **direkt** berechnet
- unabhängig von den Randbedingungen (werden nicht benötigt)
- dargestellt als komplexe Zahl sowie als Amplitude und Phase

Thermische Leitwerte [W / K]						
Raum\Raum	Room 0	Room 1	Room 2			
Room 0		2,116366	15,705237			
Room 1	2,116030		10,089744			
Room 2	15,706171	10,089767				

stationärer Leitwert
Wärmeverlustkoeffizient

Harmonische Leitwerte für die Periode von 31536000 s							
Raum\Raum		Room 0		Room 1		Room 2	
		Re	Im	Re	Im	Re	Im
Room 0		-372,1741	-343,2399	2,1133	-0,0619	7,2899	-2,9619
Room 1		2,1130	-0,0616	-12,2096	-0,4732	10,0850	-0,2123
Room 2		7,2866	-2,9647	10,0853	-0,2123	-28,3451	-6,3106

harmonischer Leitwert
Wärmeverlustkoeffizient

Raum\Raum		Room 0		Room 1		Room 2	
		Amplitude	Phase	Amplitude	Phase	Amplitude	Phase
		[W/K]	[Monate]	[W/K]	[Monate]	[W/K]	[Monate]
Room 0		506,2877	-4,5772	2,1143	-0,0559	7,8686	-0,7371
Room 1		2,1139	-0,0557	12,2187	-5,9260	10,0872	-0,0402
Room 2		7,8666	-0,7380	10,0876	-0,0402	29,0391	-5,5816

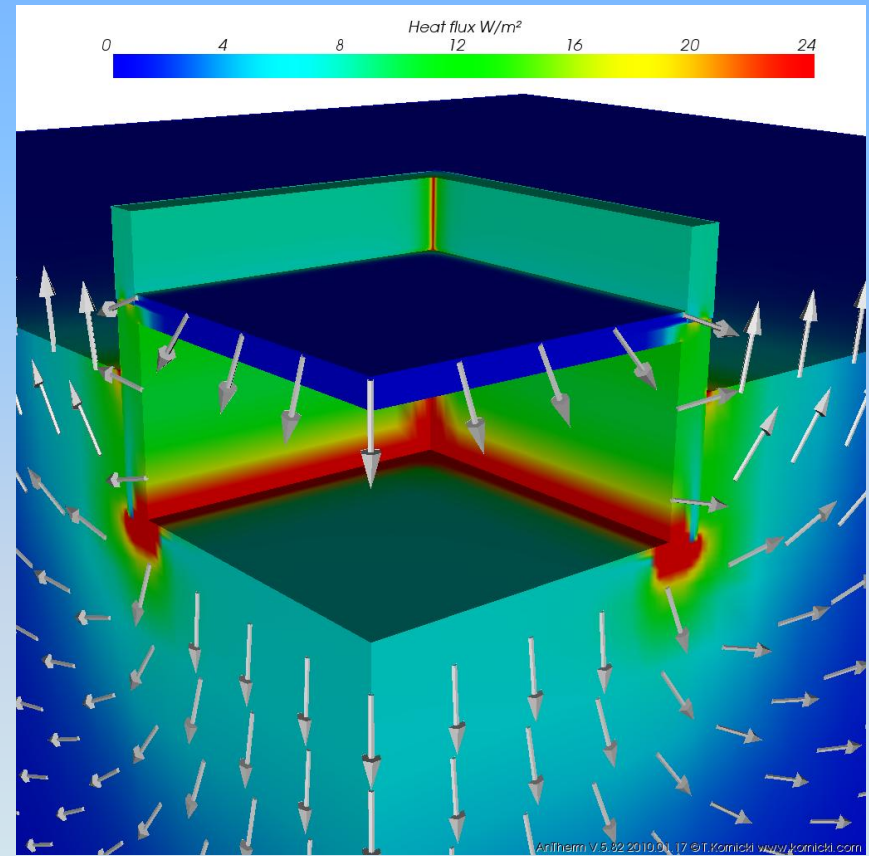
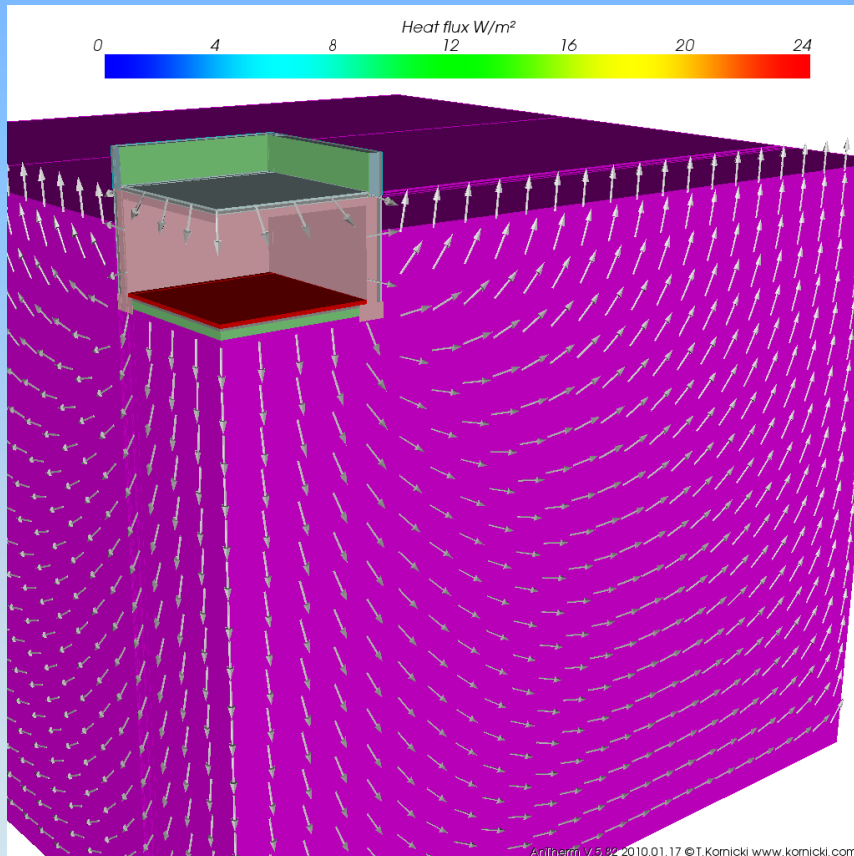
Amplitude

**Phasen-
Verschiebung**

Keller tief im Grund

Dynamische Aufgabe

Harmonische Simulation in 3D



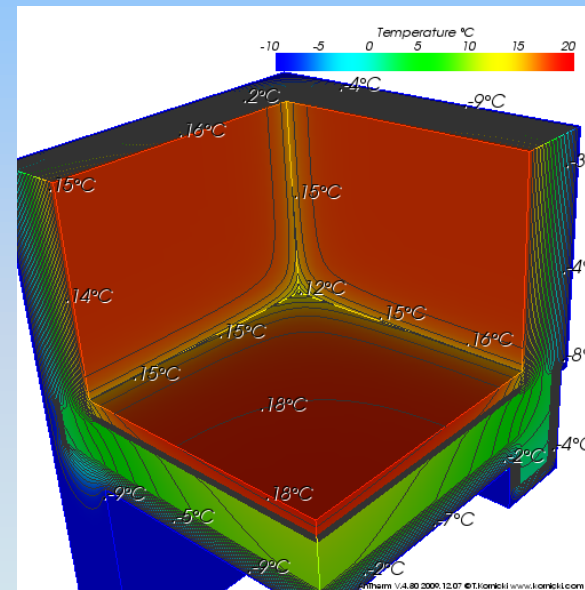
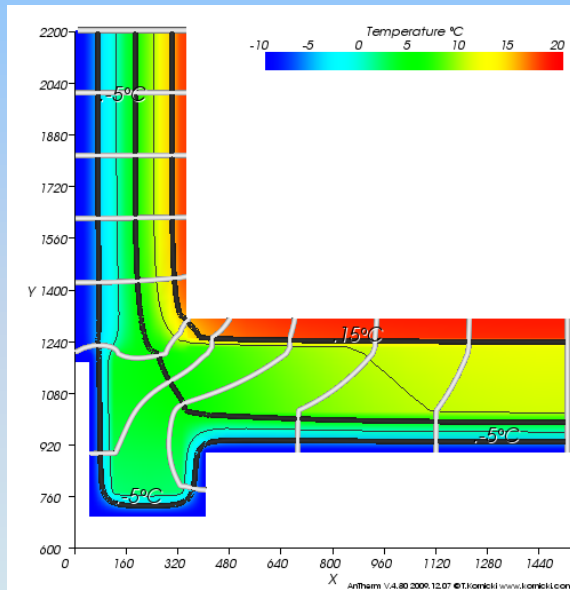
Decke über Durchfahrt

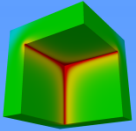
Lokalisierung von Wärmebrücken

Simulation in 2D und 3D

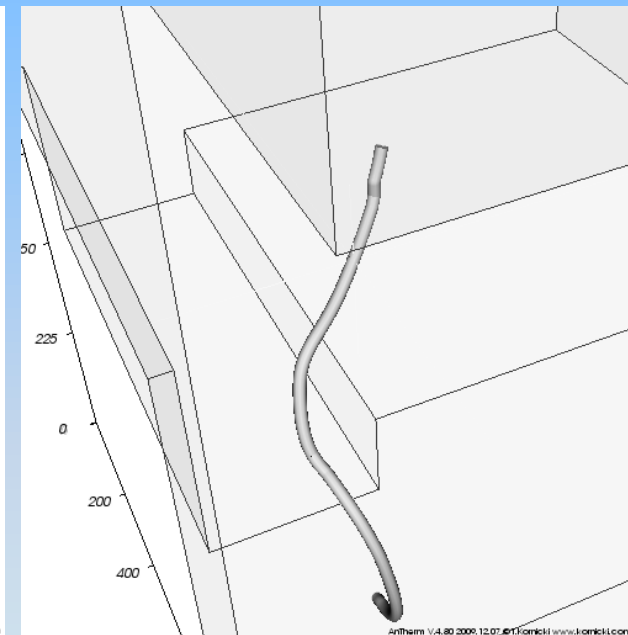
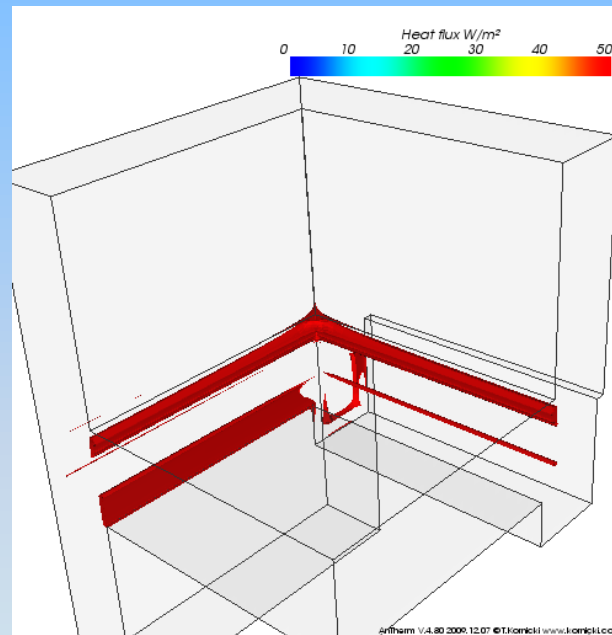
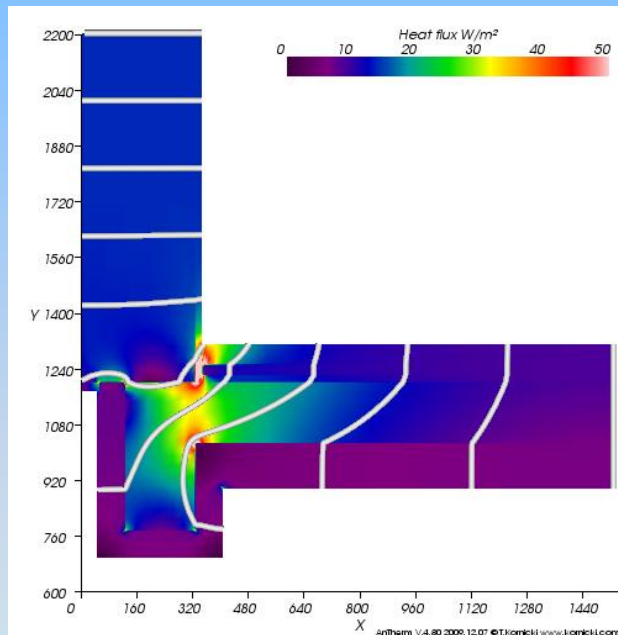
mit

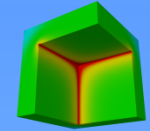
AnTherm





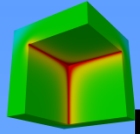
- 2D Berechnung liefert :
 $T^* = 15,22^{\circ}\text{C}$, $fR_{si} = 0.84$
- aber
- 3D Berechnung liefert :
 $T^* = 11.08^{\circ}\text{C}$, $fR_{si} = 0,70 !$





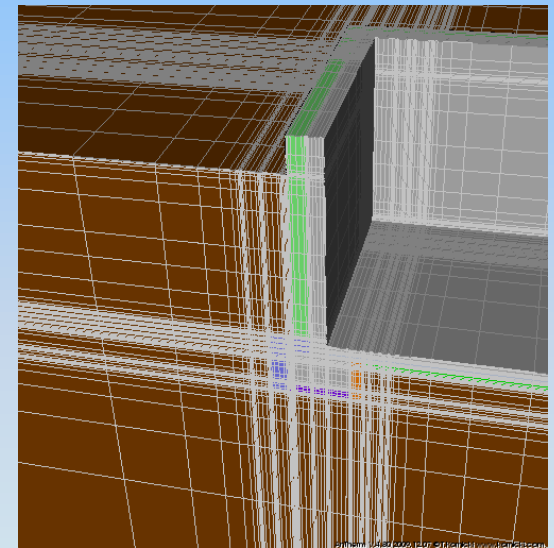
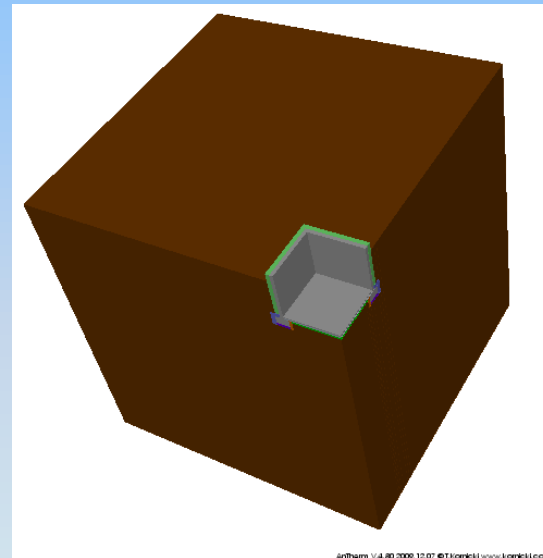
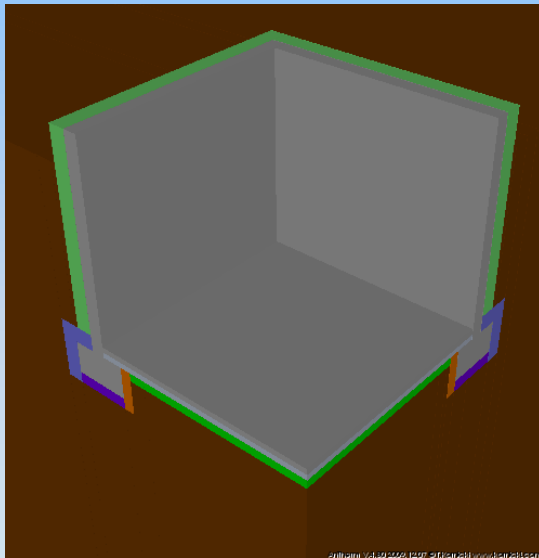
Visualisierung

- Das **“sichtbar machen”** der Wärmeströmungsverhältnisse im inneren des Bauteils dank der **Anwendung fortschrittlichster Visualisierungstechnologien**, welche in einer noch nie da gewesener **Qualität in die Bauphysik** den Einzug endlich schaffen.
- Die **Wärmebrücke** kann auf eine nahezu spielerische weise **erforscht und untersucht** werden.
- **„Die Bilder sagen mehr als Worte...“**
- Ergebnisse sind auch für „nicht Bauphysiker“ **aussagekräftig** und für Sie auch **leicht verständlich** darstellbar



Fundament in Bodenberührung

Simulation in 3D
mit
AnTherm



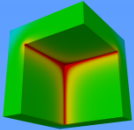
Zellenzahl = Gleichungsgröße

- Nur die Tatsächlich an der Wärmeleitung beteiligten Baustoffzellen (nicht der gesamte Raumquader)
- Die Zahl der Auswerteknoten ein mehrfaches davon:
 - 2D: Zellen \times 4 = Knotenzahl
 - Zellenmitte, Zellenecken, Seitenmitten
 - 3D: Zellen \times 8 = Knotenzahl
 - Zellenmitte, Zellenecken, Seitenmitten, Kantenmitten

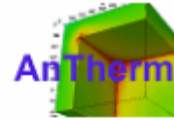
2.000.000 Gleichungen = Zellen in 3D

➔ über 16.000.000 Knoten !





T.Kornicki, Dienstleistungen in EDV und IT
 A-1230 Wien, Othellogasse 1/RH 8/2
 Tel./Fax. +43-1-6157099
 email: tkornicki@chello.at



AnTherm (WALTER/UDO)
 Version 4.80 2009.12.07
 (c)T.Kornicki,all rights reserved

File: D:\Entw\01 Forum Passivhaus Poznan\Pyszczyk\STOPA FUNDAMENTOWA-01_tko.antherm

Number of evaluated cells: 538272 (Nodes > 4306176)

Boundary conditions and resulting Surface Temperatures / Condensing Humidity

	Air temperature [°C]	min.temperature [°C]	max.temperature [°C]	Condensing.H. [%]	f_{Rsi}^*
INDOOR	16,00	11,35	15,56	73,90 %	0,87
OUTDOOR	-20,00	-20,00	-19,51	100,00 %	

Randbedingungen

Extremwerte und
Oberflächenkondensation

Weighting factors for coldest surface point of each room

	INDOOR	OUTDOOR
g(INDOOR)	0,870846	0,000098
g(OUTDOOR)	0,129154	0,999902

Gewichtungsfaktoren
(g-Werte)

Coordinates (x,y,z) for coldest surface point of each room

	x	y	z	Temp.[°C]	f_{Rsi}^*
INDOOR	-125,0000	-125,0000	800,0000	11,35	0,87
OUTDOOR	20000,0000	20000,0000	3700,0000	-20,00	

Die kritischen Punkte

Thermal Coupling Coefficients [W / K]

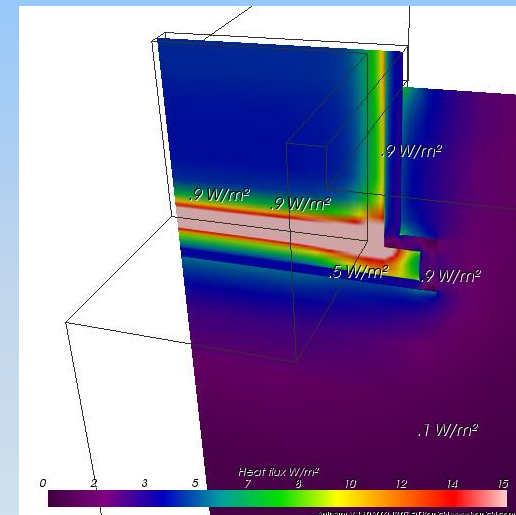
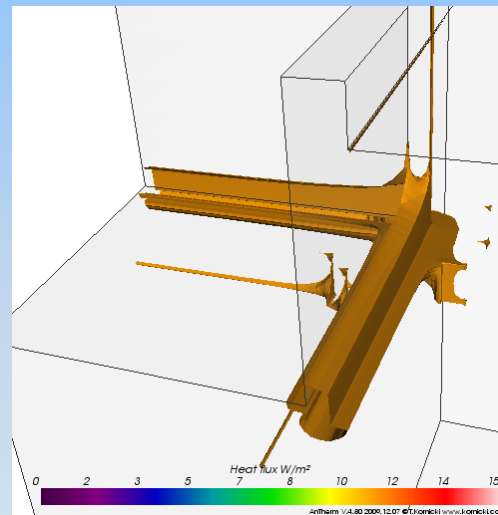
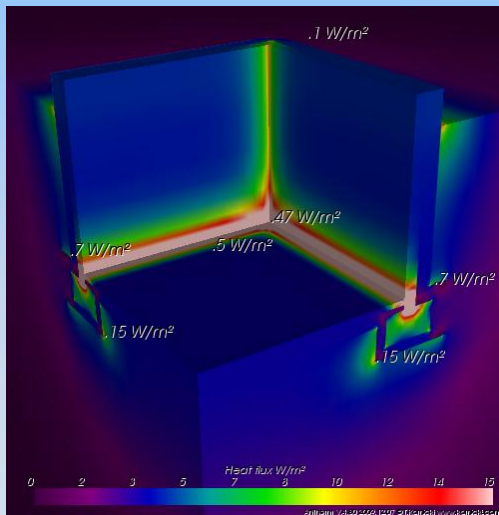
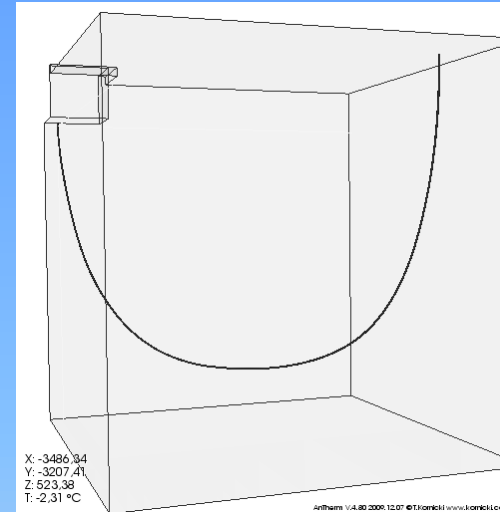
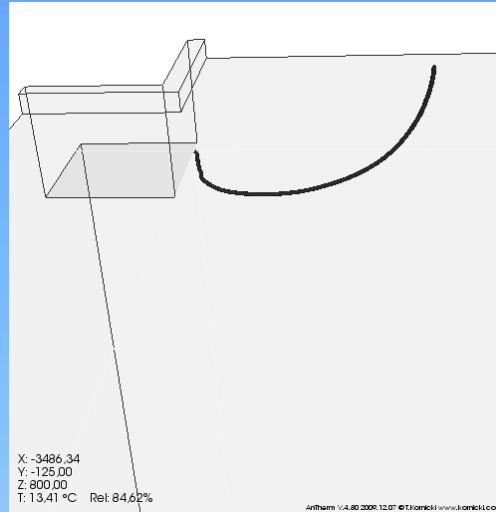
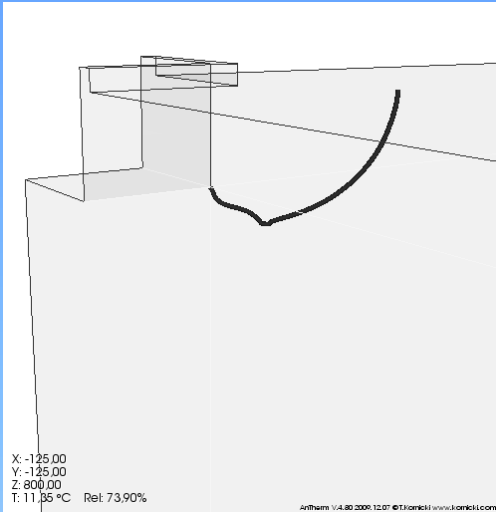
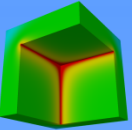
Room\Room	INDOOR	OUTDOOR
INDOOR		6,741698
OUTDOOR	6,741750	

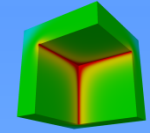
Thermischen Leitwerte
(Wärmeverlustkoeffizienten)

Precision information

	Close-up error [W / K]	Coeff. sum [W / K]	Relative close-up error
INDOOR	5,29186e-005	6,741750	7,84938e-006
OUTDOOR	-5,29186e-005	6,741698	-7,84944e-006

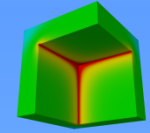
Genauigkeitsangaben
(Fehlereinschätzung)





Ausblick

- Weitere Effizienzsteigerung des harmonisch-periodischen Rechenmodells
- Ausweitung der Interaktiven Visualisierungstechniken
- Erweiterung der Rechen-, Auswerte- und Visualisierungsmethoden auf die Massivparallelsysteme
- Stets mit der Rücksicht auf die in den Ingenieurbüros zurzeit vorhandene, typische technische Ausstattung



Schnell am Ziel

- Die **Erfahrungen aus bereits 20 Jahren** der Entwicklung von bauphysikalischen Software
- Alleine das bauphysikalische Verständnis ist ausreichend um das Programm zu bedienen
- Weitgehende **Automatisierung** der verwendeten numerischen Modelle, **keine „Wissenschaft“**
- Ergebnisse **sofort Auswertbar**
- Höchste **Ergebnisqualität** kann direkt in die Berichte übernommen werden

Überragend Einfach

- AnTherm ist eine **sehr innovative** Anwendung für die **Bauphysik**
- Es **integriert in den Alltag** eines Zivilingenieurs die völlig neuen Visualisierungsmöglichkeiten, deren Ursprünge im Supercomputing sowie in der wissenschaftlicher Visualisierung von großen Datenmengen der physikalischen Daten liegen
- Was bislang den Bauphysikern aufgrund der hohen Komplexität und unzumutbaren Lernaufwandes verwehrt war, löst AnTherm auf **überzeugende und einfache Art**
- Die Benutzeroberfläche des Programms ist mit Absicht so einfach wie möglich aufgebaut – der typische Kunde ist ein „Gelegenheits-Nutzer“ und muss die Anwendung **sofort, ohne Lernaufwand, beherrschen**

Mehr Nutzen

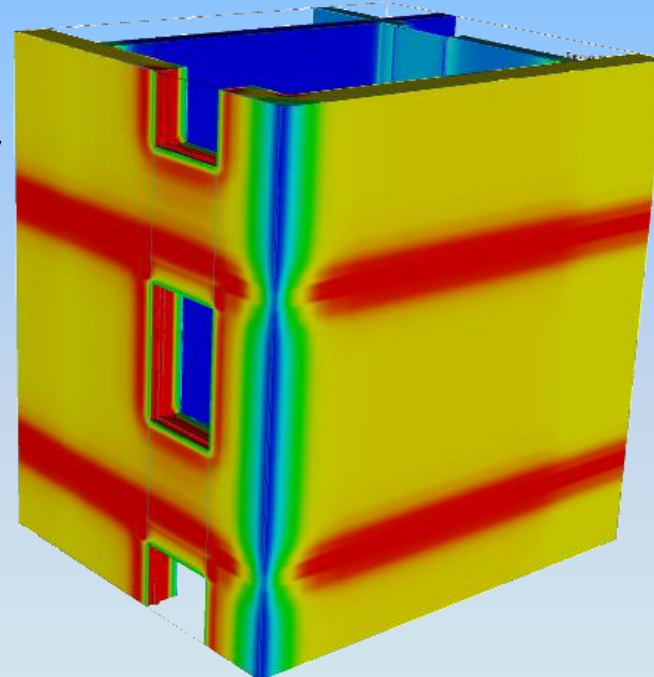
Die mit dem Programm einfach zu erstelenden Ergebnisse, und vor allem die Visualisierungen (Bilder welche für die Vorgänge der komplexester bauphysikalischer Natur auf einfachste weise erstellt werden und selbsterklärend auch für Nicht-Bauphysiker sind) erhöhen Maßgeblich den Wert der durchgeführten bauphysikalischen Analysen und damit den kommerziellen Erfolg der Lizenznehmer dieses Werkzeuges

Einfach Mehr Nutzen!

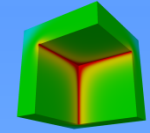
Anzahl der bilanzierten Zellen: 69129

Raum/Raum	Thermische Leitwerte [W / K]	
	Room 0	Room 1
Room 0		1,917153
Room 1	1,917154	

Wärmeq./Raum	Verteilungsschlüssel [l]	
	Room 0	Room 1
PS 0	0,111552	0,888448

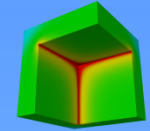


Wert	Summe [W / K]	Leitwertbezogener Schliessfehler
	1,917150	4,54671e-007
	1,917150	-4,54671e-007



... noch mehr Nutzen

- Einfach zu lernen und zu bedienen
- Spart Zeit
- Genaue und präzise Berechnung
- Normkonform (EN ISO 10211, 10077, 13786, ...)
- **In einem Werkzeug:**
 - 2D und 3D
 - Wärmetransport
 - Ψ (psi) – Wert Berechnung
 - Schimmel- und Kondensations-Nachweis
 - Dampfdiffusion
 - Instationär-Harmonisch
- Mobilität mit Dongle-Lizenz
- Kostenlose Demoverision

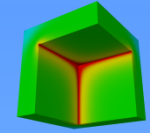


AnTherm

- AnTherm = die Hymne (anthem)

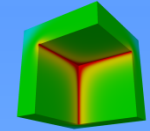
Andenken an **Dr. Walter Heindl** (†1993),
Entwickler des Konzeptes der **Basislösungen**
und der **Thermischen Leitwerte**

- Die Grundzüge der verwendeten theoretischen Konzepte wurden in die „**Wärmebrücken-Norm**“ **EN ISO 10211** übernommen, womit eine strenge **Norm-Konformität** für das Programm **AnTherm** problemlos erreichbar ist!



...es liegt an dir...

- Nur du kannst entscheiden ob die Wärmebrückenberechnung für dich angenehm wird.
- Ausschließlich bei dir liegt die Verantwortung wie viel Zeit du der Wärmebrückenberechnung widmen musst.
- Nur du kannst dich selbst überzeugen dass ein Werkzeug deine Arbeit vereinfachen und verbessern wird.
- Nur du entscheidest ob ein Anderer von dir das Geld für die Wärmebrückenberechnung bekommt.



Probieren geht vor Elaborieren

- Freie Demo-Version:

<http://www.antherm.eu/>

- Registrierung erforderlich (Kontaktdaten)

- Beispielvideos auf YouTube:

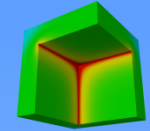
<http://www.youtube.com/user/tkornicki>

- Mit AnTherm hergestellten Bilder auf PicasaWeb:

<http://www.picasaweb.com/antherm>

- Bedienungsanleitung, Theorie, Lernmaterial, Tutorials:

<http://hilfe.antherm.eu/>



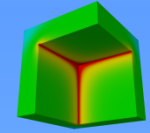
AnTherm

Programmpaket zur
**Analyse des Thermischen Verhaltens von
Baukonstruktionen mit Wärmebrücken**

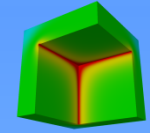
Kontakt-Bestellung: www.antherm.eu

E-Mail: antherm@antherm.at

Tel.: +43-1-6157099

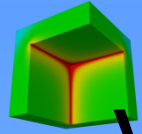


X



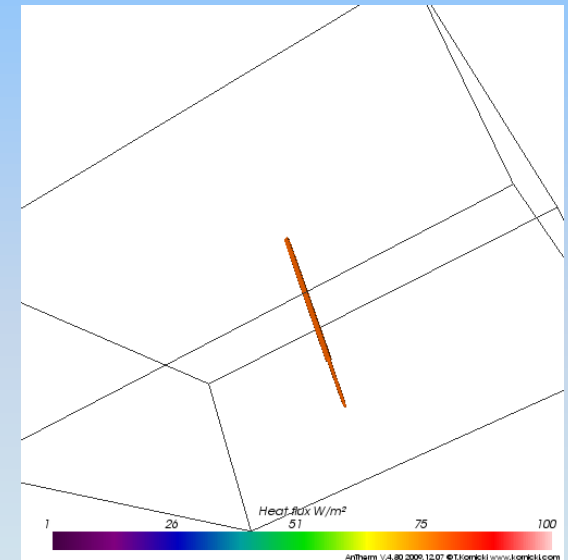
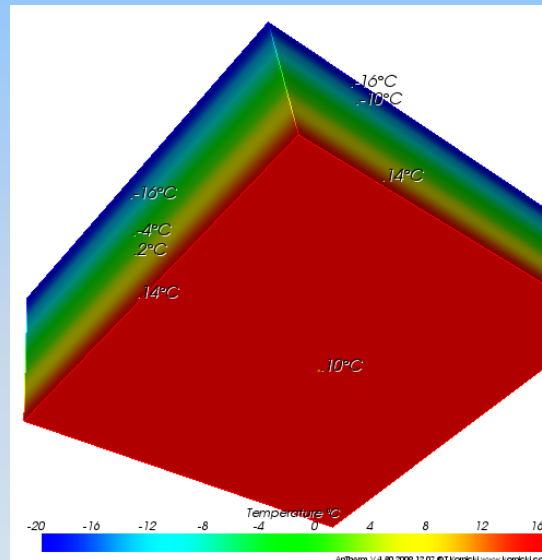
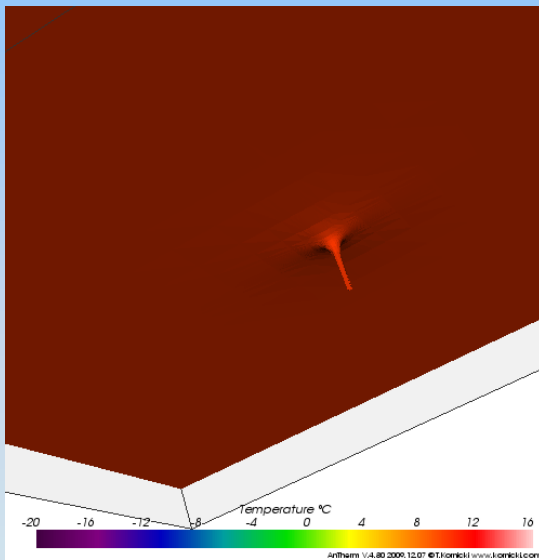
Kurzpräsentation

Wärmebrückensimulation und Visualisierung in 2D und 3D mit **AnTherm**



Verbinder der Deckendämmung

Simulation in 3D
mit
AnTherm



Decke mit einem Verbinder mittig
 Model 1000x1000mm

$$U = 0,0813 \text{ W/m}^2\text{K}$$

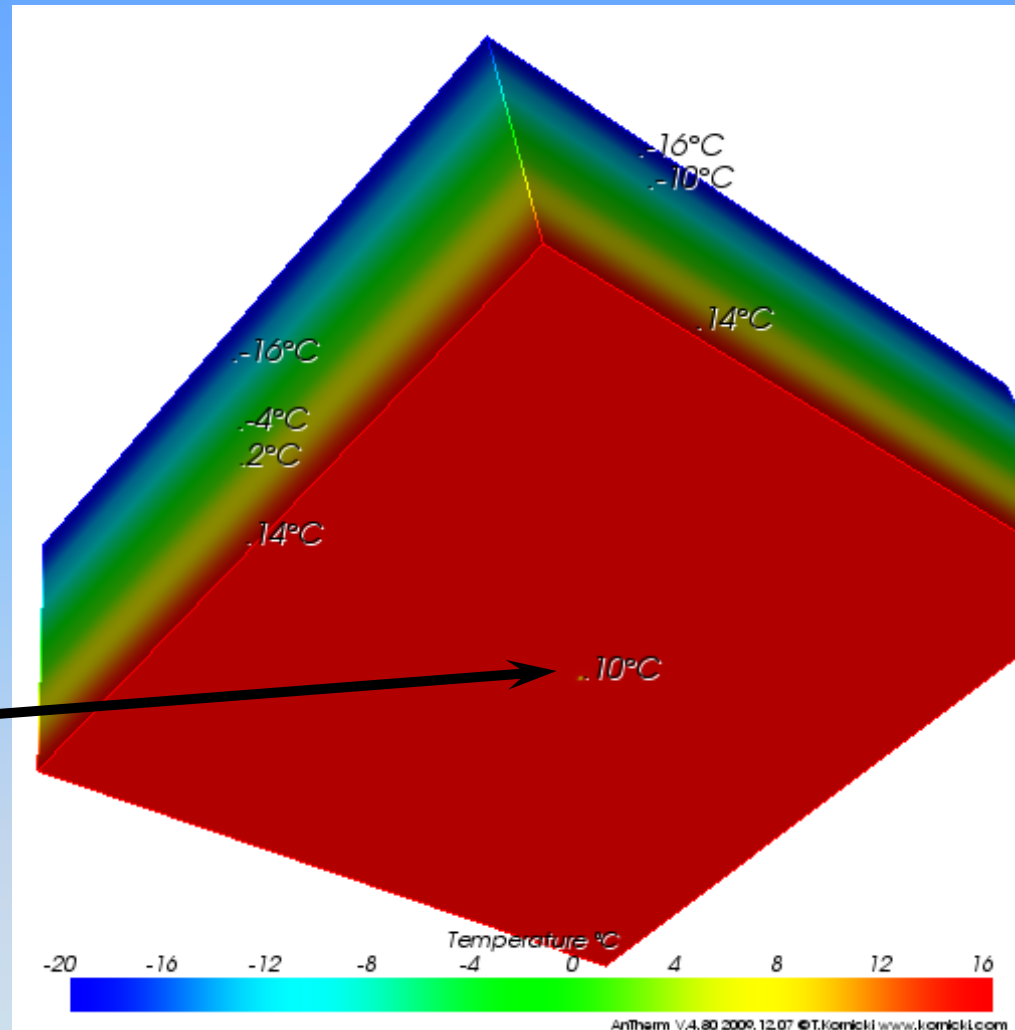
$$L^{3D}_{1000 \times 1000} = 0,0817 \text{ W/K}$$

$$U_{\text{mittel}} = \mathbf{0,0817 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$X = 0,0004 \text{ W/K}$$

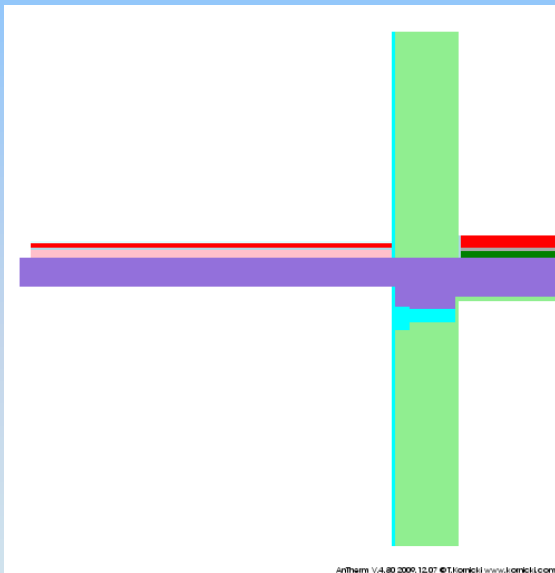
$$T^*_{16^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}} = \mathbf{9,69 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$f_{\text{Rsi}} = \mathbf{0,82}$$

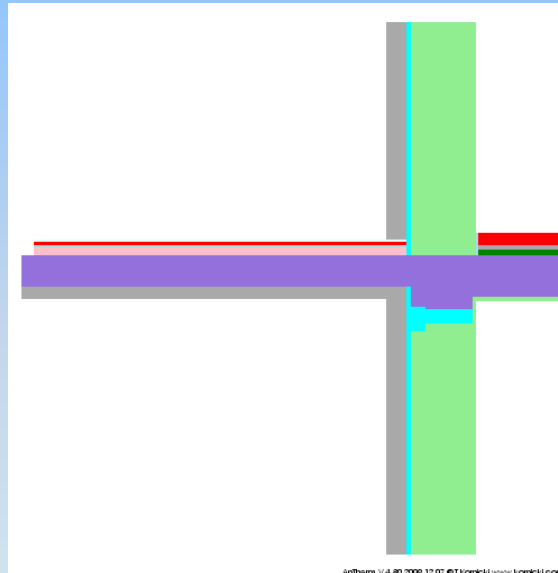


Balkonsanierung

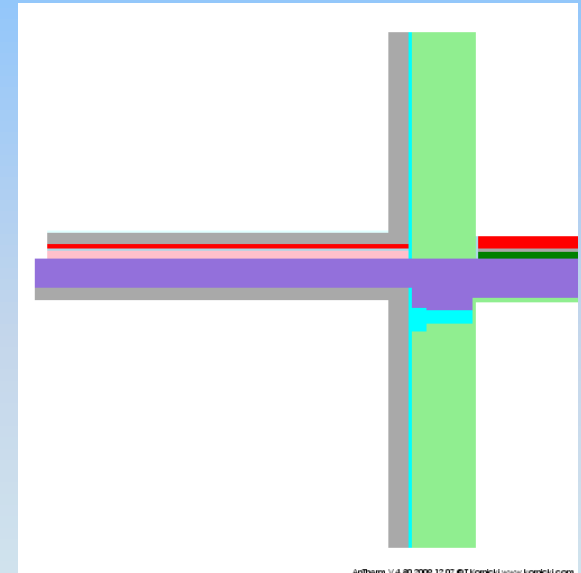
Simulation in 2D
mit
AnTherm



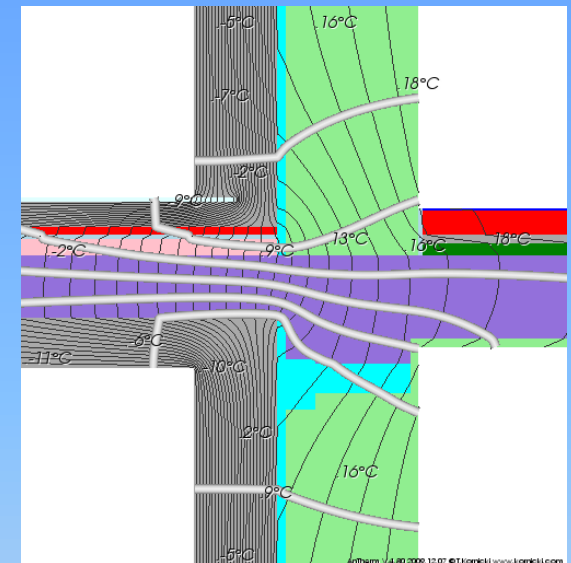
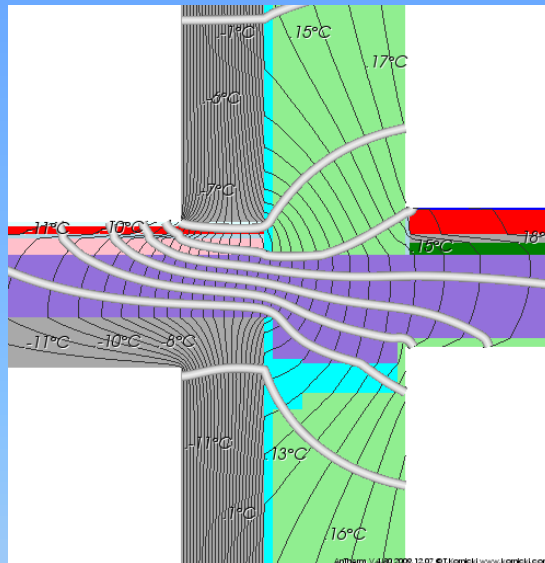
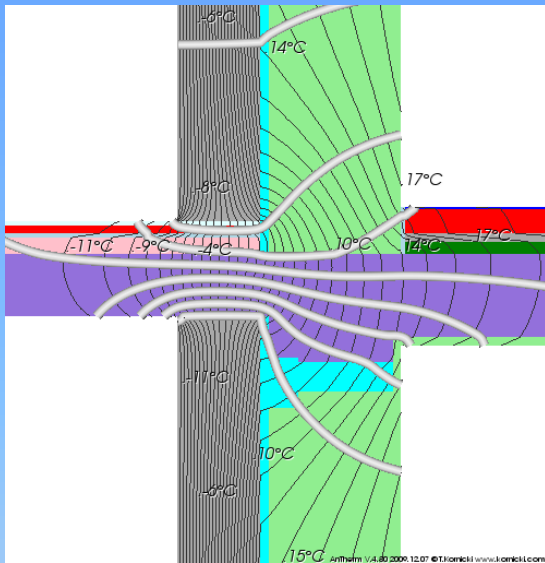
AnTherm V4.80 2009.12.07 ©T.Kornicki www.kornicki.com



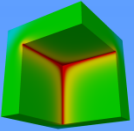
AnTherm V4.80 2009.12.07 ©T.Kornicki www.kornicki.com



AnTherm V4.80 2009.12.07 ©T.Kornicki www.kornicki.com

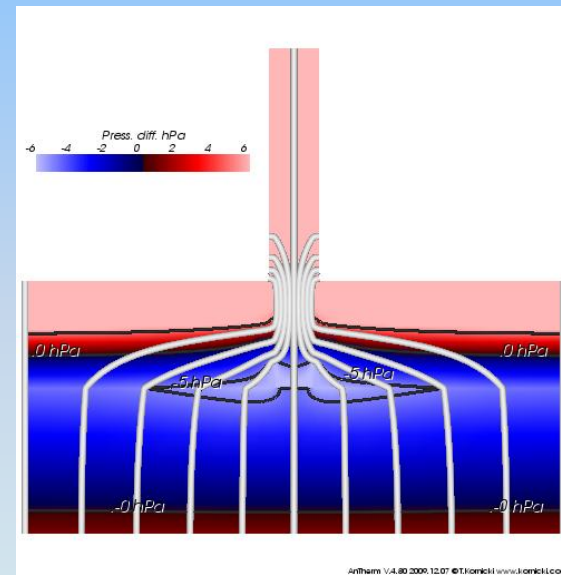
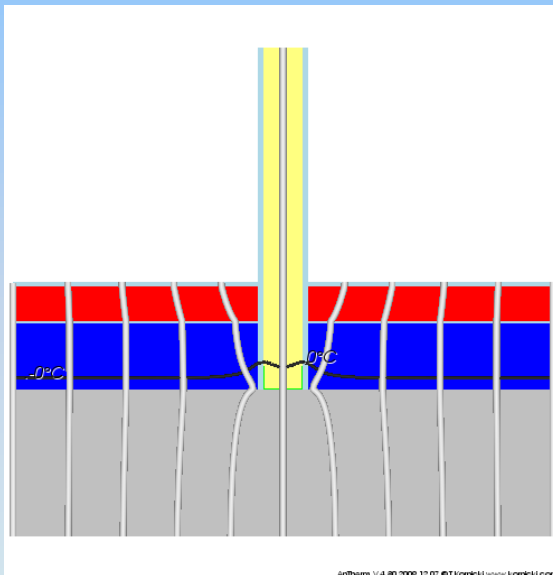


		U [W/m ² K]	L2D [W/mK]	Vergl. zu V1	ψ [W/mK]	T* [°C]	fRsi
V1	Ohne Dämmung	1,2466	3,6822		0,4409	8,91	0,65
V2	Wanddämmung 10cm	0,3028	1,4400	39%	0,6526	13,53	0,80
V3	+ Balkon Dämmung unten 6cm	0,3028	1,3293	36%	0,5419	14,31	0,82
V4	+ Balkon eingepackt	0,3028	1,0998	30%	0,3124	15,87	0,87
V2'	Wanddämmung 20cm	0,1724	1,0611	29%	0,6130	14,71	0,83
V3'	+ Balkon Dämmung unten 12cm	0,1724	0,9697	26%	0,5215	15,33	0,85
V4'	+ Balkon eingepackt (12cm/6cm)	0,1724	0,7640	21%	0,3159	16,73	0,90



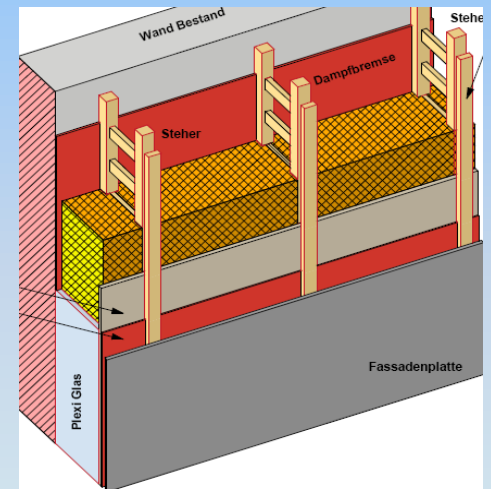
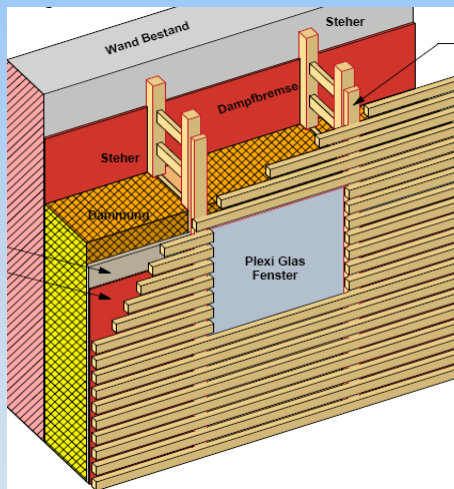
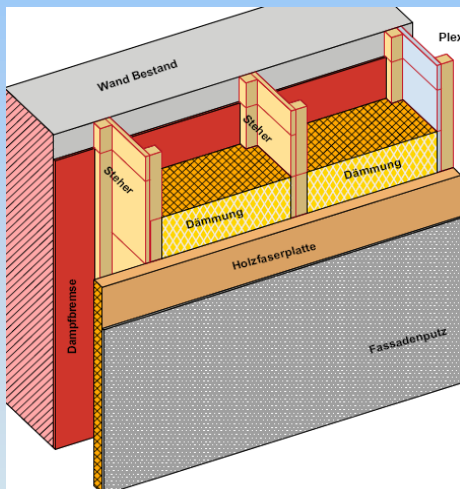
Ungedämmte Garagendecke Kondensation und Frieren

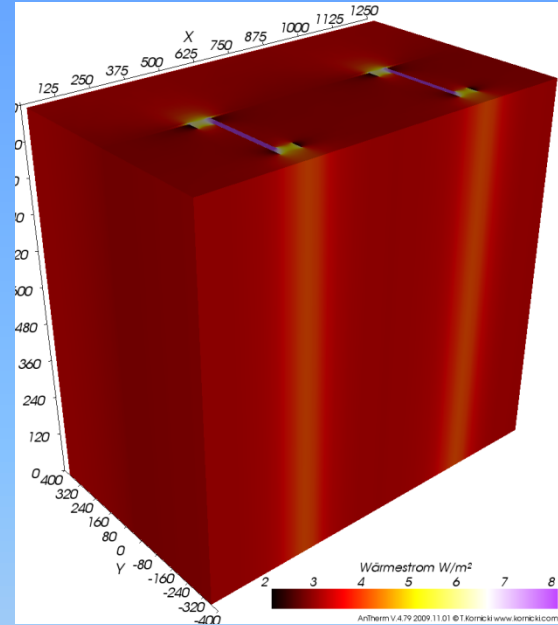
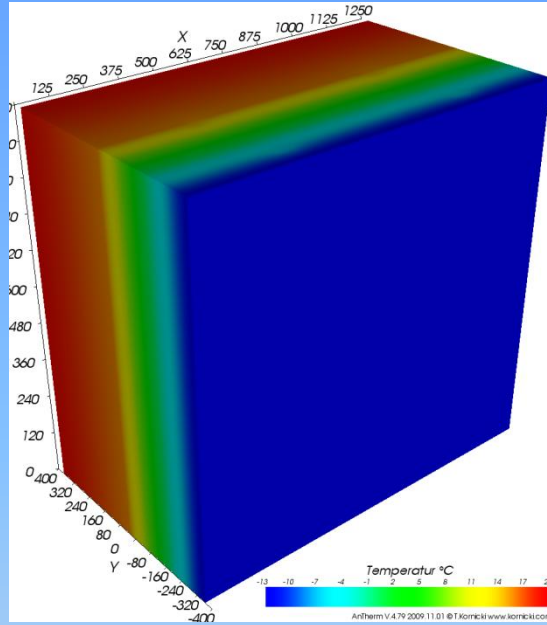
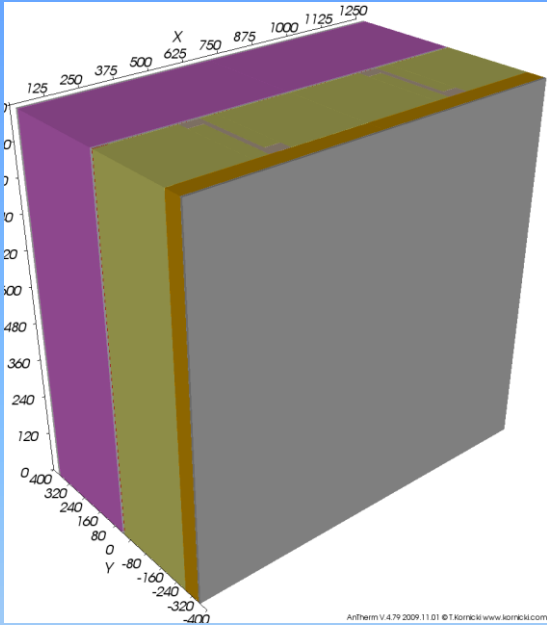
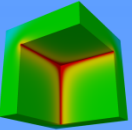
Simulation in 2D mit **AnTherm**



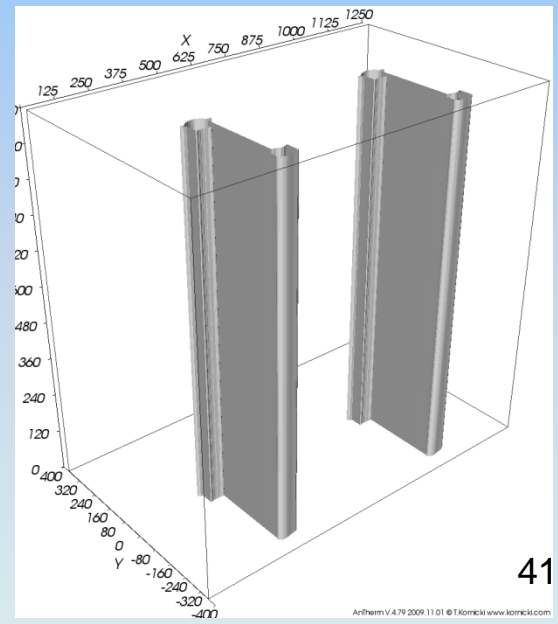
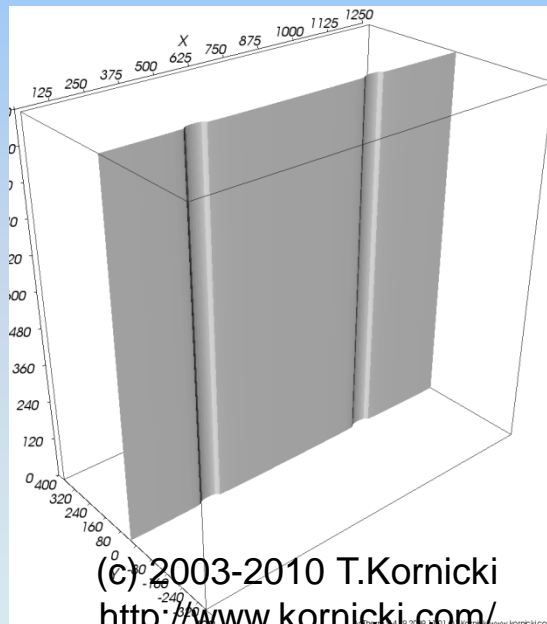
- Verzicht auf Dämmung der Decke über Garage ursprünglich als “unbeheizt” deklariert
- Konzeptänderung zur tlw. offenen Garage (**Fehler 1**)
- Trennwände aufgestellt bevor der Bodenkonstruktion (einschl. Dampfbremse) aufgebaut wurde (**Fehler 2**)
- Temperatur im Fußbereich der Trennwand (Aluminiumprofil) unterhalb von 0°C (bereits bei -5°C in der Garage)
- Volle Dampfmenge diffundiert durch die Unterbrechung in der Dampfbremse zum Trennwandfuß
- Partialdruck deutlich über dem Sättigungsdampfdruck – **Kernkondensation**, aufsteigende Feuchte in Trennwand und Frieren des Fußbereichs
- Korrekte Dämmung der Decke als einzig richtige Lösung

Ergebnisse der Sanierungssimulation mit **AnTherm**



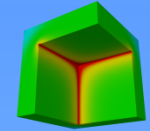


Wand 1 Saniert



22-24. Sept. 2010

(c) 2003-2010 T.Kornicki
<http://www.kornicki.com/>



Wand 1 im Bestand
350mm Mauerwerk

$$U_{\text{Bestand}} = 0,7236 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{mittel}} = \mathbf{0,7236 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$T^*_{20^\circ\text{C}/-13^\circ\text{C}} = \mathbf{14,21 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$f_{\text{Rsi}} = \mathbf{0,82}$$

Wand 1 Saniert (Ausschnitt 1m hoch
mit einem Steher mittig)
Modell 625x1000mm

$$U_{\text{Gedämmt}} = 0,0969 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$L^{2D}_{625 \times 1000} = 0,064280 \text{ W/K}$$

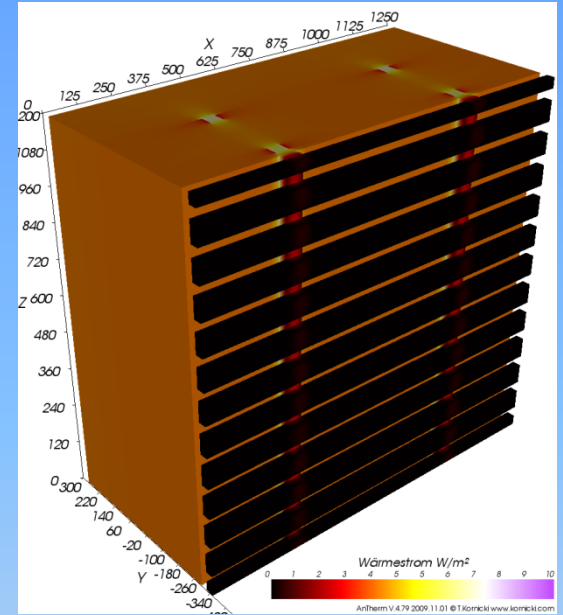
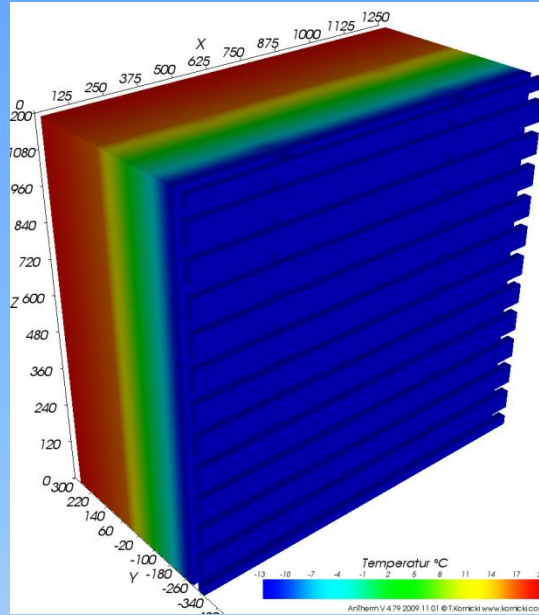
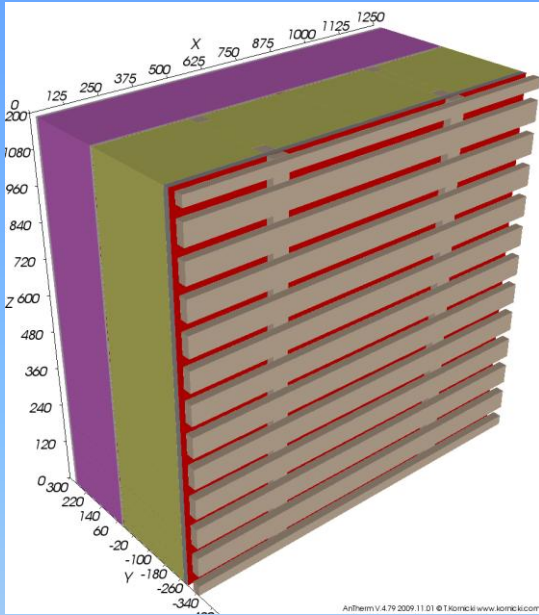
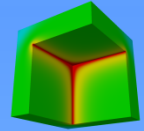
$$U_{\text{mittel}} = \mathbf{0,1028 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$\Psi = 0,0037 \text{ W/mK}$$

$$T^*_{20^\circ\text{C}/-13^\circ\text{C}} = \mathbf{19,15 \text{ }^\circ\text{C}}$$

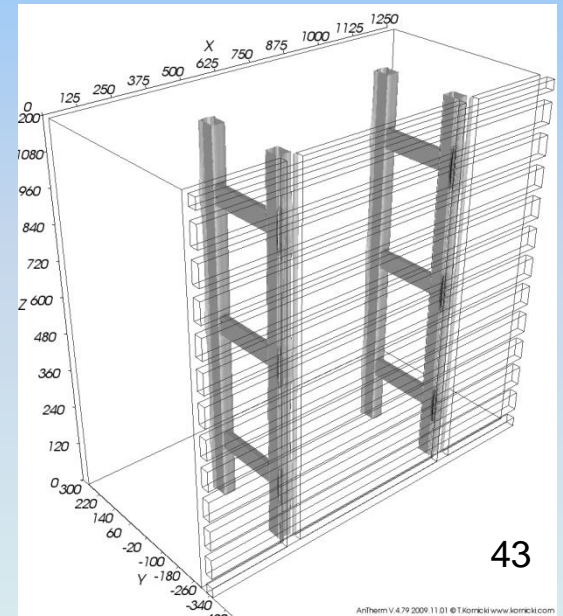
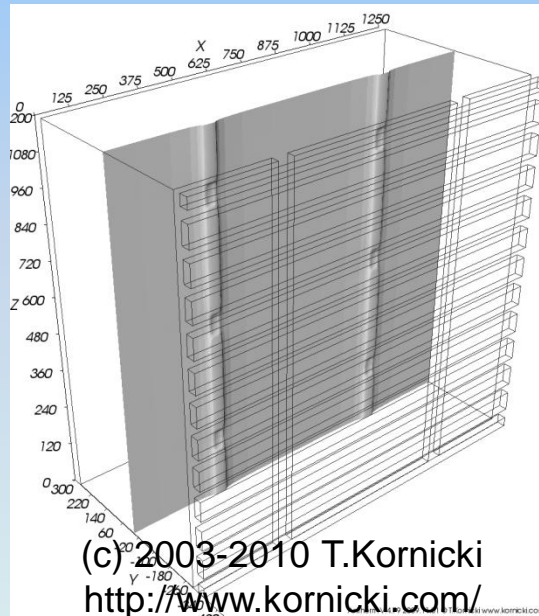
$$f_{\text{Rsi}} = \mathbf{0,97}$$

Diffusionstrocken ($p > p_{\text{sat}}$)

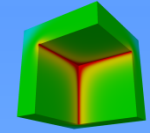


Wand 2 Saniert

22-24. Sept. 2010



(c) 2003-2010 T.Kornicki
<http://www.kornicki.com/>



Wände 2 u. 3 im Bestand
250mm Mauerwerk

$$U_{\text{Bestand}} = 0,9283 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{mittel}} = \mathbf{0,9283 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$T^*_{20^\circ\text{C}/-13^\circ\text{C}} = \mathbf{12,34 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$f_{\text{Rsi}} = \mathbf{0,77}$$

Wände 2/3 Saniert (Ausschnitt 0.4m
hoch mit einem Steher mittig)
Modell 625x400mm

$$U_{\text{Gedämmt}} = 0,1136 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$L^{3D}_{625 \times 400} = 0,029110 \text{ W/K}$$

$$U_{\text{mittel}} = \mathbf{0,1164 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$X = 0,00071 \text{ W/K}$$

$$T^*_{20^\circ\text{C}/-13^\circ\text{C}} = \mathbf{19,03 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$f_{\text{Rsi}} = \mathbf{0,97}$$

Diffusionstrocken ($p > p_{\text{sat}}$)

