



# Netzautarke Solar-Luft-Kollektoren

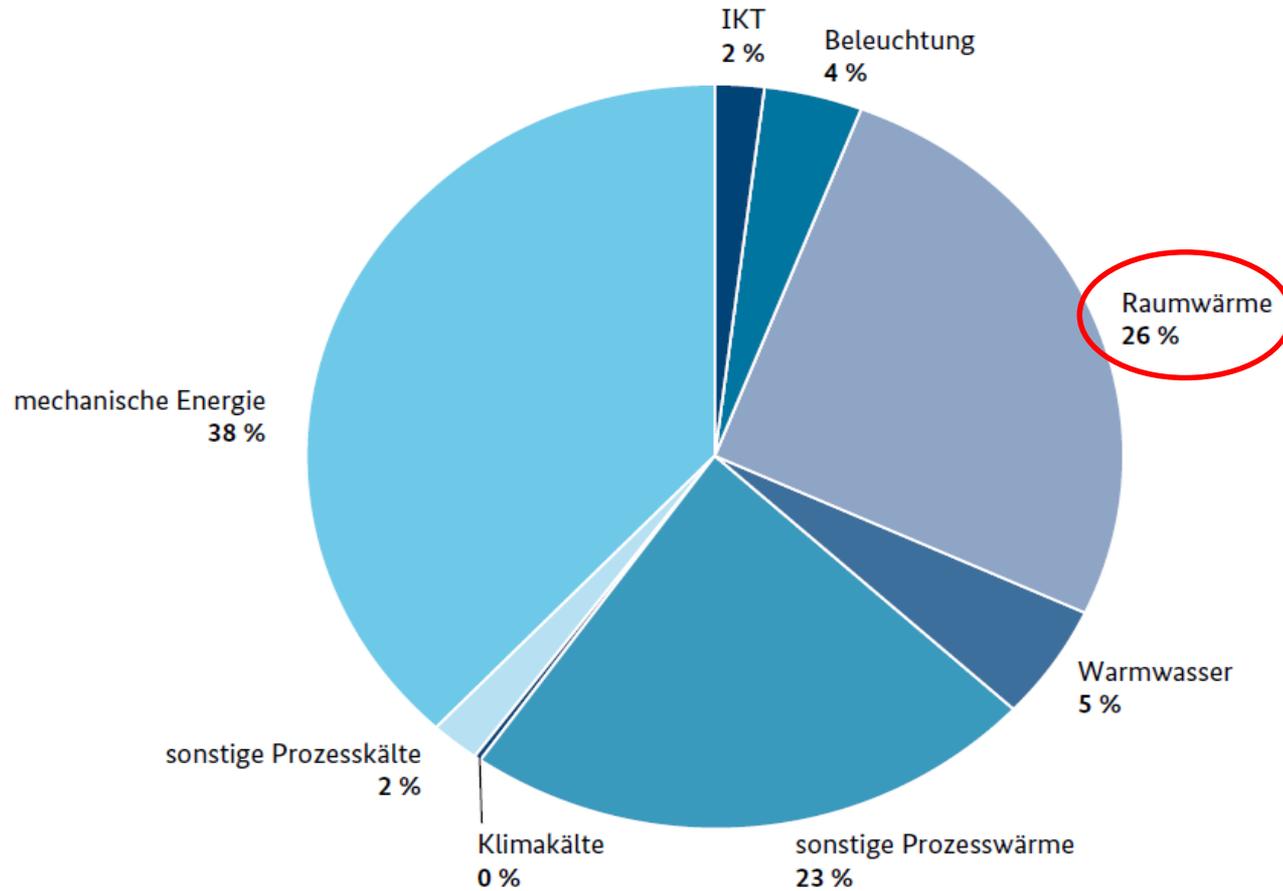
- Grenzen der Konstruktion, Auslegung und Simulation -

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt  
Lehrstuhl Konstruktionslehre und CAD





1. Grundlagen
2. Der Solar-Luft-Kollektor
3. Konstruktive Gestaltung und simulationsunterstützte Optimierung
4. Anwendungsbeispiel
5. Ausblick



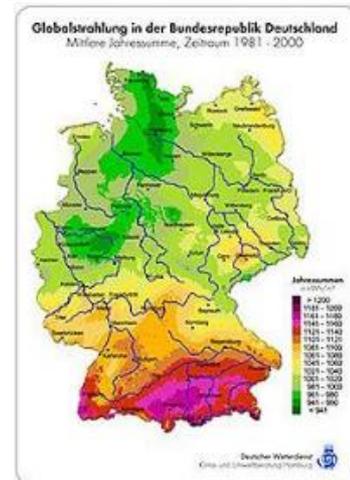


- leichtes Heizöl um 350%
- Erdgas um 200%
- Briketts um 150%
- keine Trendwende in Sicht
- eine regenerative Raumwärmeversorgung ist nicht nur aus ökologischen sondern auch aus ökonomischen Gesichtspunkten interessant



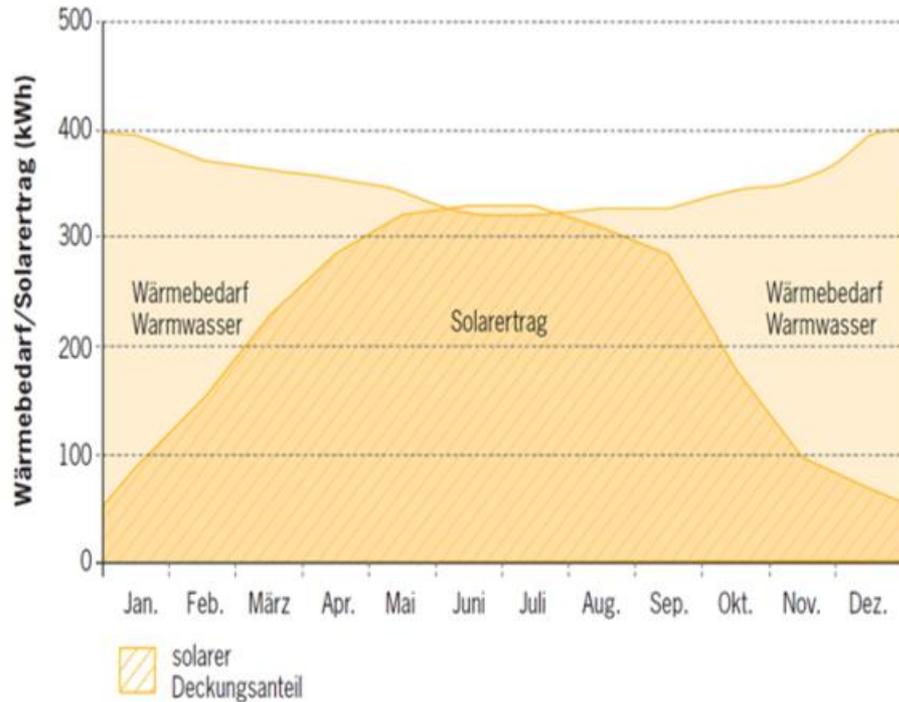


- regenerative Bereitstellung von Raumwärme  
=> Nutzung der Solarenergie
- theoretische Potenzial beachtlich
- mittlere Globalstrahlung in Deutschland pro Jahr zwischen 900 bis 1100 kWh pro Quadratmeter
- Energiemenge, die dem 100fachen des momentanen Gesamtprimärenergiebedarfs der Bundesrepublik Deutschland entspricht

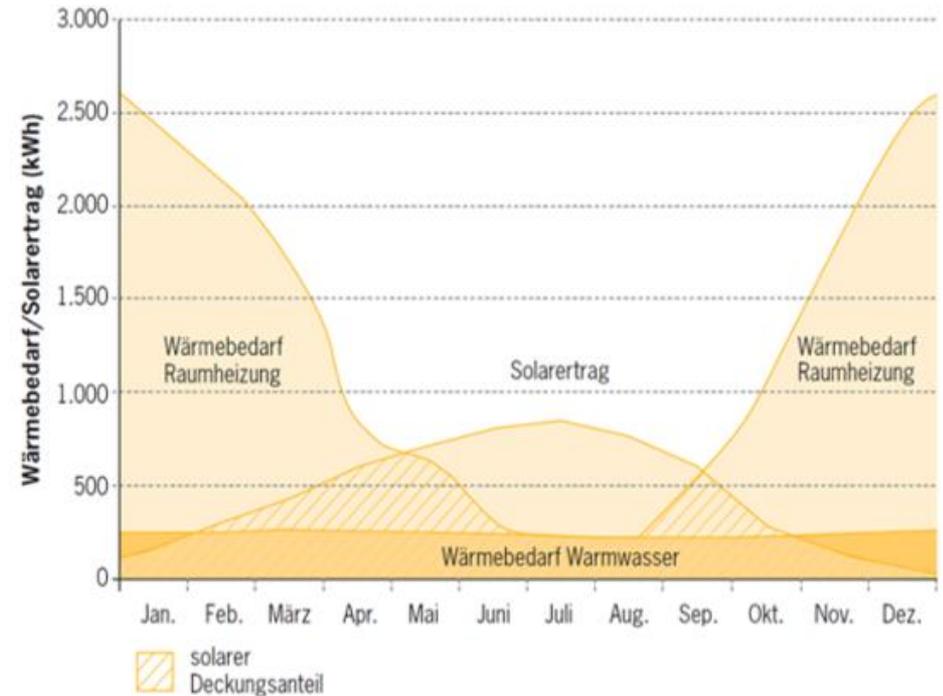




## Warmwasser



## Raumwärme



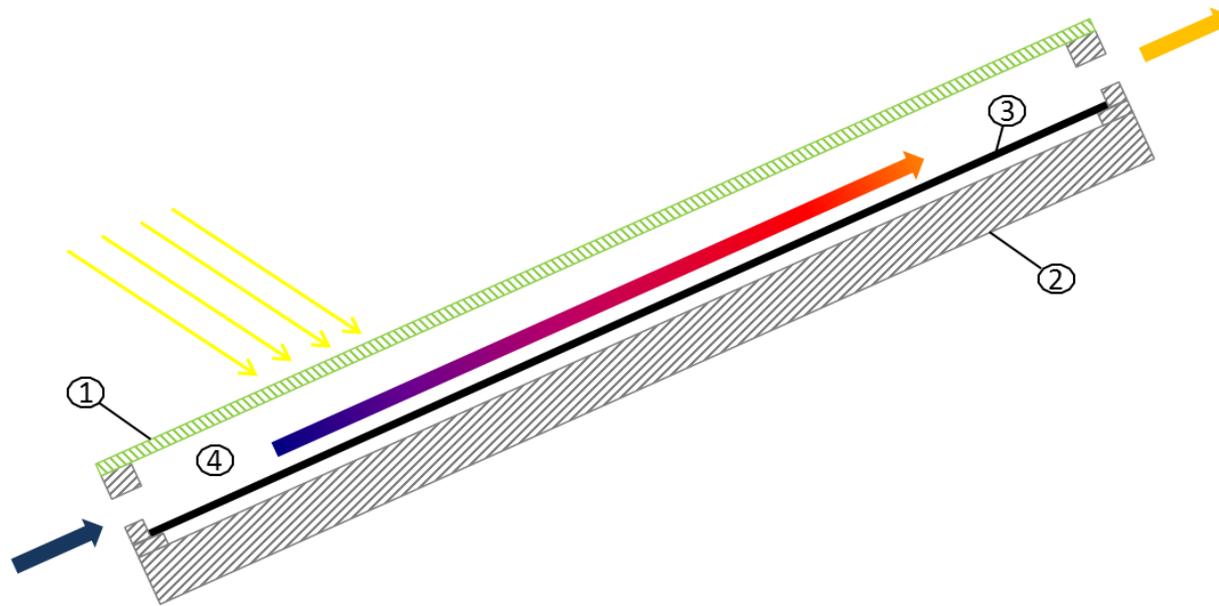


### Nachteile

- geringerer Wirkungsgrad im Vergleich zu Fluidanlagen
- größere Volumenströme nötig, um die gleiche Energiemenge bei gleicher Temperaturdifferenz bereitzustellen
- Speicherung der erzeugten Wärme schwieriger
- Verunreinigungsgefahr bei Luft als Arbeitsfluid größer

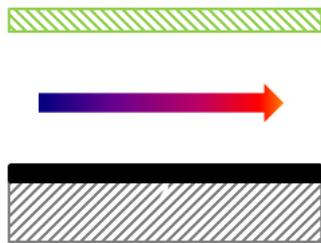
### Vorteile

- Luftkollektor kann nicht einfrieren
- keine Gefahr einer Änderung des Aggregatzustandes des Betriebsmediums
- nur geringere Korrosionsprobleme
- günstigere Materialien verwendbar
- Kein Wärmetauscher notwendig => geringere Verluste
- Kostengünstig

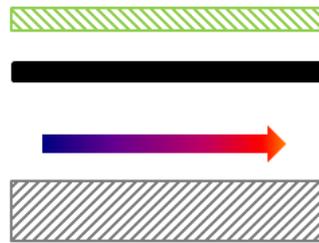


- (1) Transparente Abdeckung
- (2) Rahmen und Isolierung
- (3) Absorber
- (4) Strömungskanal

## Strömungsführungen:



Überströmter Absorber



Unterströmter Absorber



Umströmter Absorber

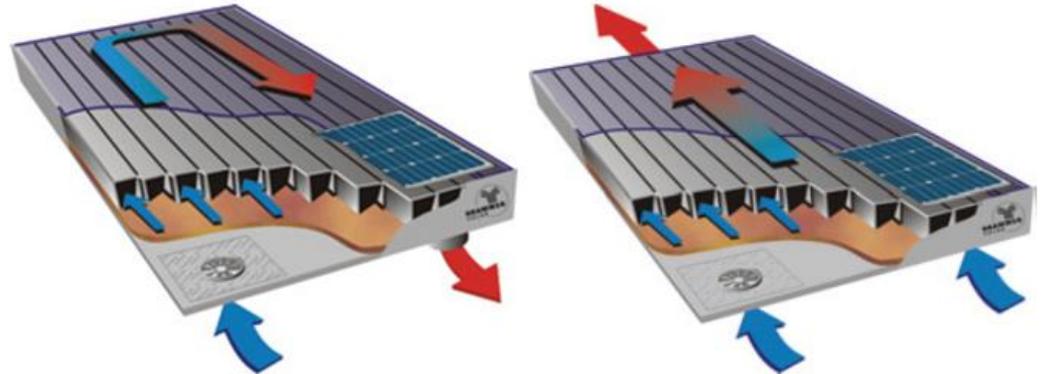
# Marktübersicht



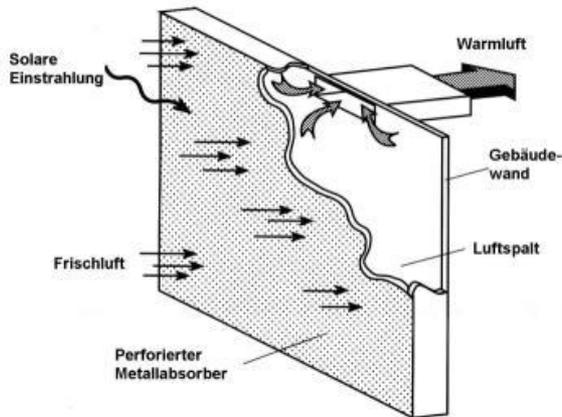
Solar Venti



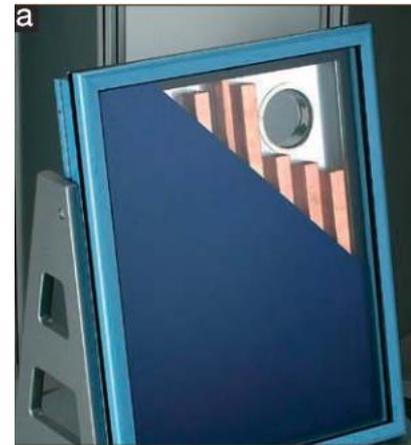
Grammer Solar TwinSolar Serie



Ganzmetall Solar-Luft-Kollektor



SolarWall



Schüko



SCANSUN 9



- Zielgrößen:
- Austrittstemperatur des Fluids
  - Nutzbare Wärme

- Einflussgrößen:
- Intensität der Globalstrahlung
  - Kollektorneigungswinkel
  - Massenstrom
  - Strömungsführung
  - Fläche für den Wärmetransfer
  - Wärmeübergangskoeffizient
  - Druckverlust
  - Abmessungen und Material
  - u.S.W.



### Einflussfaktoren auf den Wirkungsgrad des Kollektors

#### Nutzleistung

$$Q_n = AF' (G(\tau\alpha) - (U_T (T_f - T_0)))$$

#### Kollektorwirkungsgradfaktor

$$F' = \left(1 + \frac{U_T}{h_{c,a-f} + \left(\frac{1}{h_{c,b-f}} + \frac{1}{h_{r,a-b}}\right)^{-1}}\right)^{-1}$$

=> Keine Berücksichtigung der realen Konstruktion

=> Numerische Verfahren (CFD)

A = Absorberfläche

G = solare Einstrahlung

$\tau$  = Transmissionskoeffizient

$\alpha$  = Absorptionskoeffizient

$T_f$  = Fluidtemperatur

$T_0$  = Umgebungstemperatur

$U_T$  = Wärmedurchgangskoeffizient

$h_c$  = Wärmeübergangskoeffizient

$h_r$  = Strahlungswärmeübergangskoeffizient

a-f = Übergang Absorber-Fluid

b-f = Übergang Fluid-Rückwand

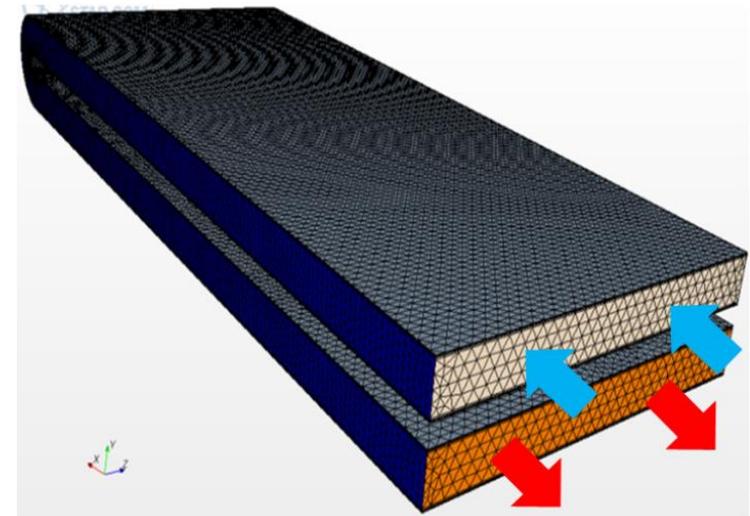
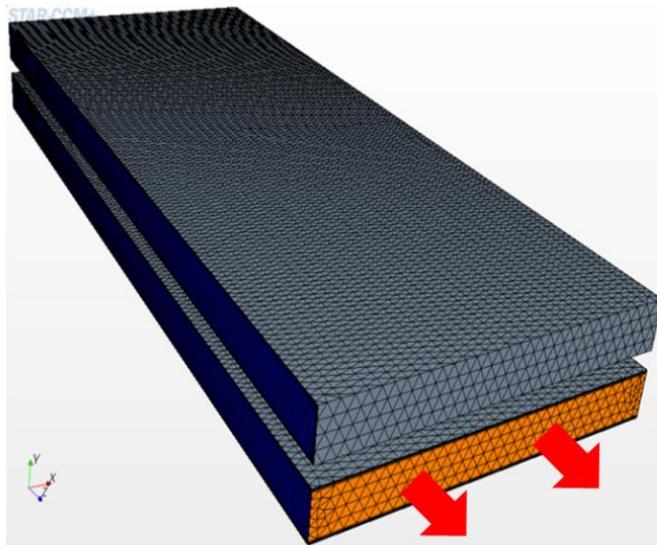
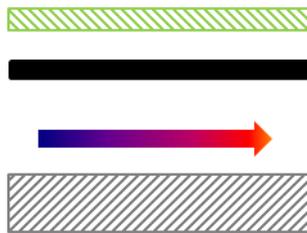


Ziel: Optimierung des Wärmeübergangs zwischen Absorber und vorbeiströmendem Fluid

- Fragen:
1. Ist ein Kollektor mit umströmten Absorber leistungsfähiger als einer mit umströmten?
  2. Wie verhalten sich die Zielgrößen bei der Variation des Strömungsquerschnitts eines Kanals?
  3. Wirken sich Rippen, die quer zur Strömungsrichtung orientiert sind, positiv auf die Zielgrößen aus?
  4. Steigert ein Absorber mit welliger Oberfläche die Leistungsfähigkeit eines Solar-Luft-Kollektors?
  5. Wie können neue Erkenntnisse in die Konstruktion umgesetzt werden?



Frage: Ist ein Kollektor mit umströmtem Absorber leistungstärker als einer mit unterströmtem?





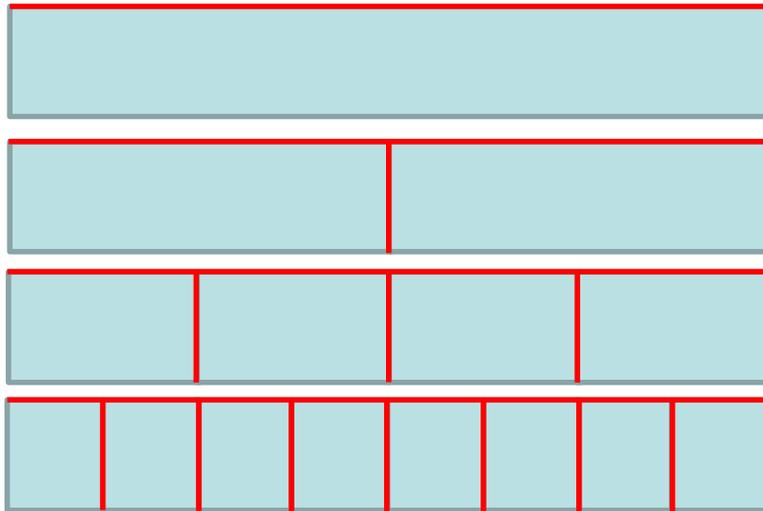
Frage: Ist ein Kollektor mit umströmtem Absorber leistungstärker als einer mit unterströmtem?

Massenstrom kg/s	unterströmter Absorber Austrittstemperatur °C		Abweichung %	umströmter Absorber Austrittstemperatur °C
	analytisch	numerisch		
0,100	10,226	10,272	-0,447	10,610
0,050	10,430	10,680	-2,334	11,216
0,010	11,715	13,562	-13,615	16,503
0,005	12,896	17,159	-24,846	22,472

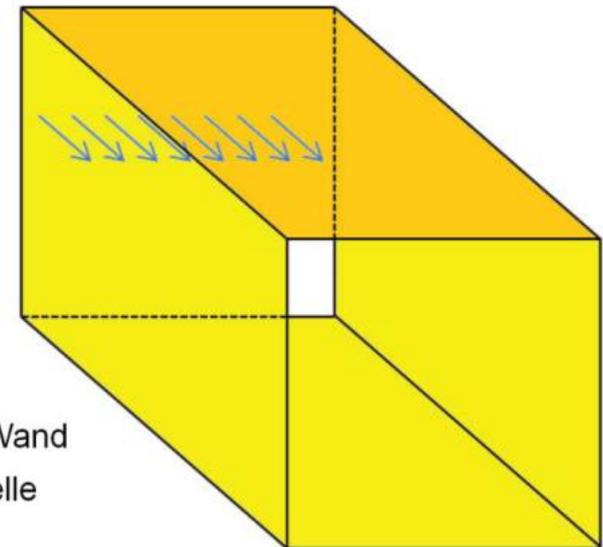
**Achtung:** Programmtechnisch keine Berücksichtigung der Umlenkung (Geometrie)



Frage: Wie verhalten sich die Zielgrößen bei der Variation des Strömungsquerschnitts eines Kanals?



Kanalbreite: 750 mm



■ Adiabate Wand  
■ Wärmequelle

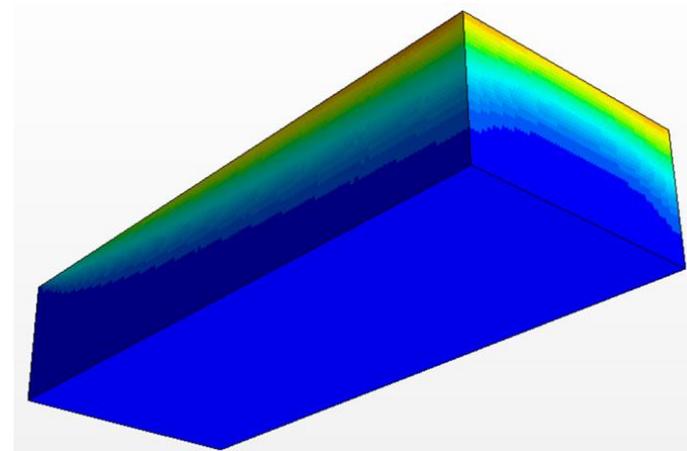
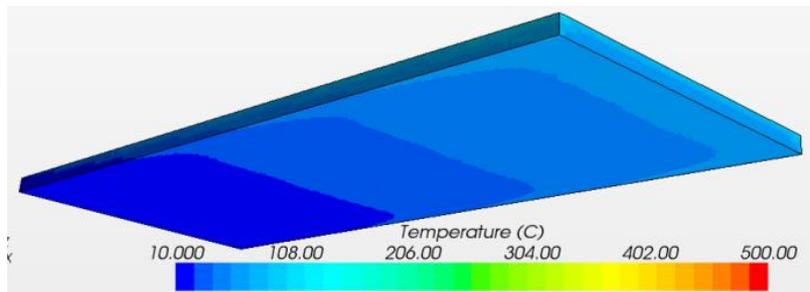
Höhen: 25 mm, 50 mm, 75 mm

Breiten: 50 mm, 75 mm, 125 mm, 150 mm, 250 mm, 375 mm, 750 mm



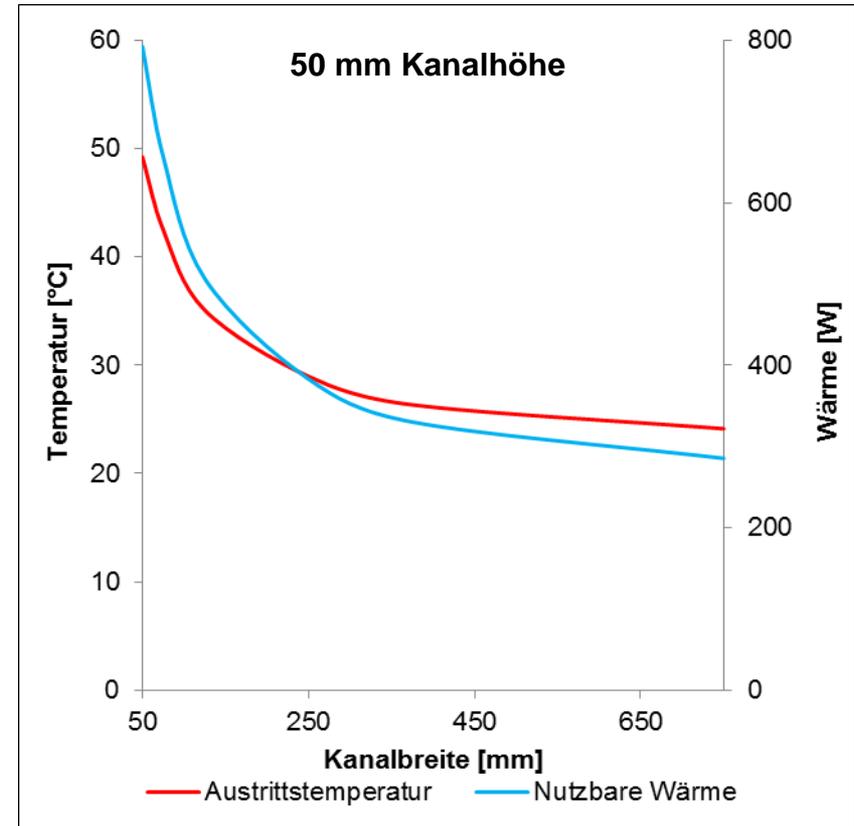
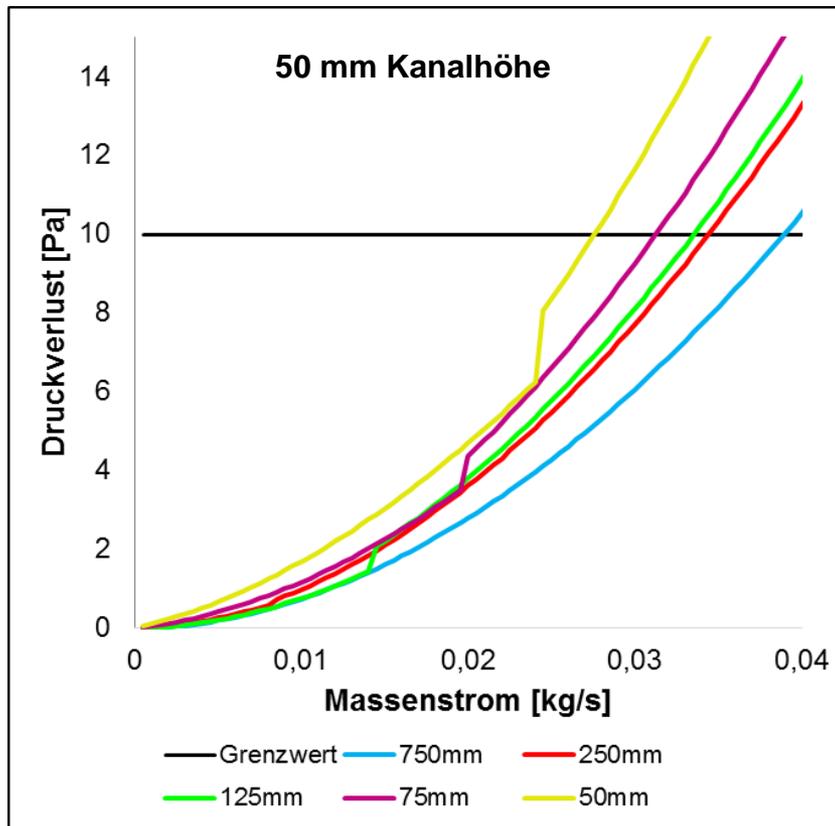
Frage: Wie verhalten sich die Zielgrößen bei der Variation des Strömungsquerschnitts eines Kanals?

- Je kleiner der Strömungsquerschnitt, desto größer ist die Auslasstemperatur und die nutzbare Wärme, aber auch der Druckverlust und die Maximaltemperatur steigen
- Je größer die Kanalhöhe, desto größer der Anteil an nicht erwärmter Luft am Austritt





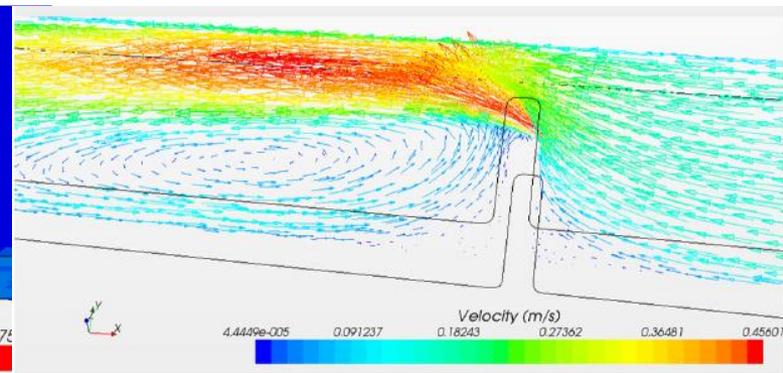
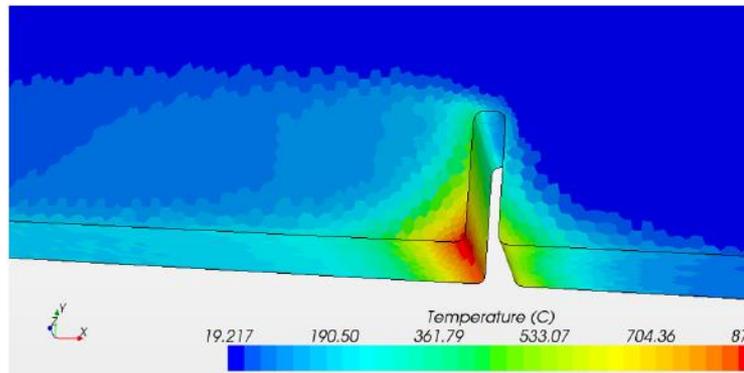
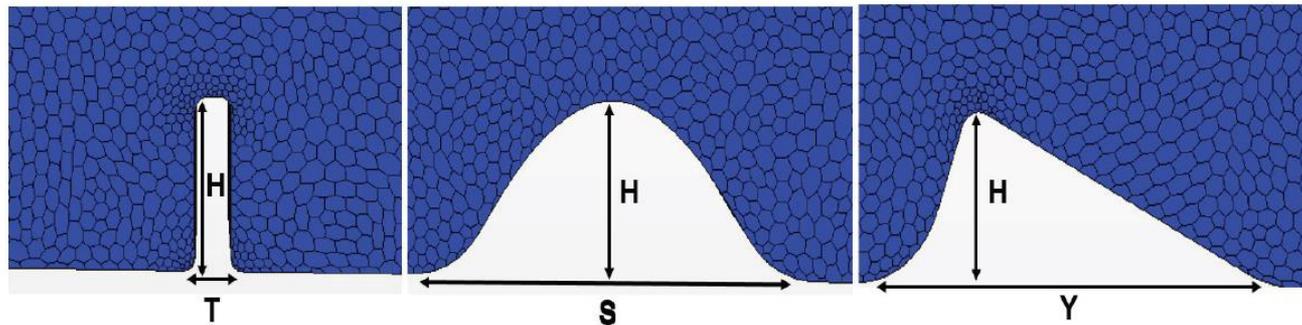
Frage: Wie verhalten sich die Zielgrößen bei der Variation des Strömungsquerschnitts eines Kanals?





Frage: Wirken sich Rippen, die quer zur Strömungsrichtung angeordnet sind, positiv auf die Zielgrößen aus?

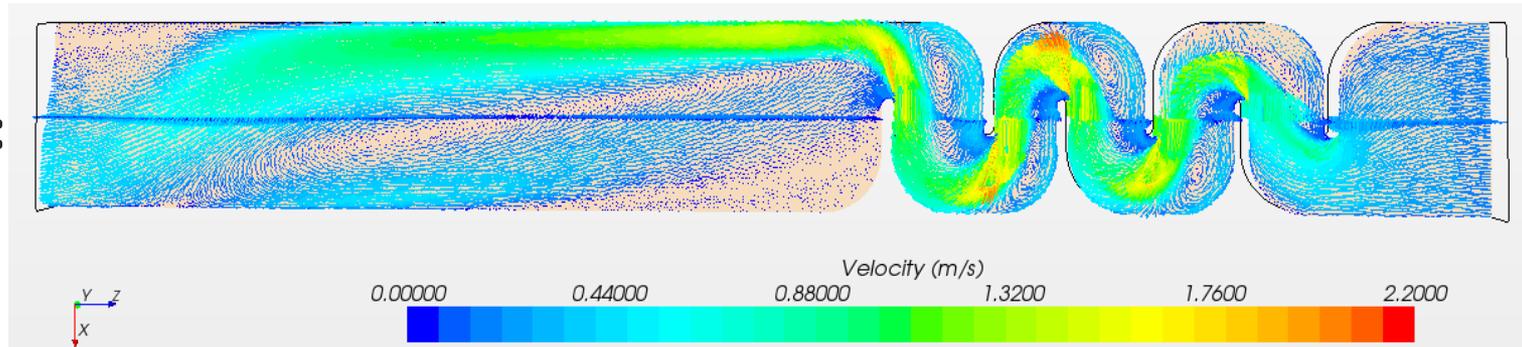
**U1 Art der Rippe:**





Frage: Wirken sich Rippen, die quer zur Strömungsrichtung angeordnet sind, positiv auf die Zielgrößen aus?

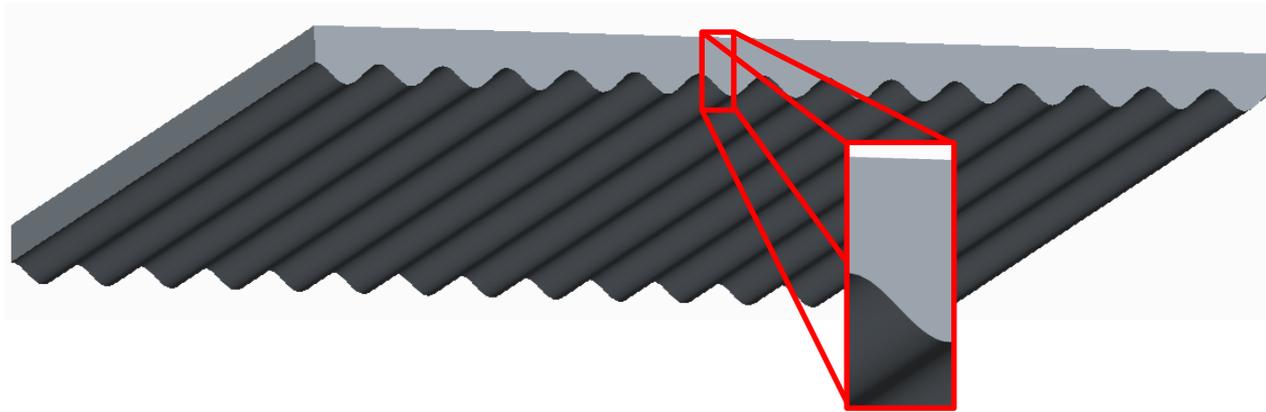
U2 Anzahl  
der Rippen:



- Negative Auswirkungen auf Auslasstemperatur und nutzbare Wärme
- Nur sinnvoll, wenn sehr wenig Platz zur Verfügung steht



Frage: Steigert ein Absorber mit welliger Oberfläche die Leistungsfähigkeit eines Solar-Luft-Kollektors?

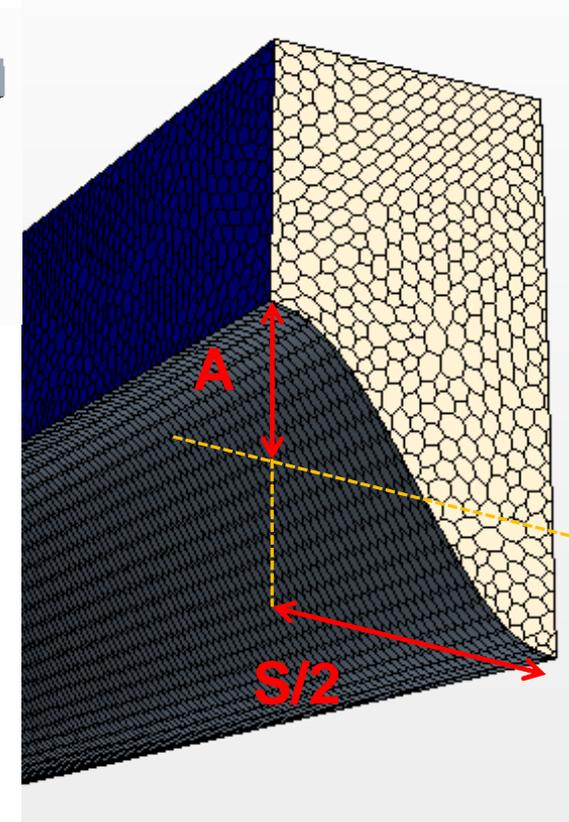


Amplitude A:

5mm, 10mm, 20mm

Schwingungsdauer S:

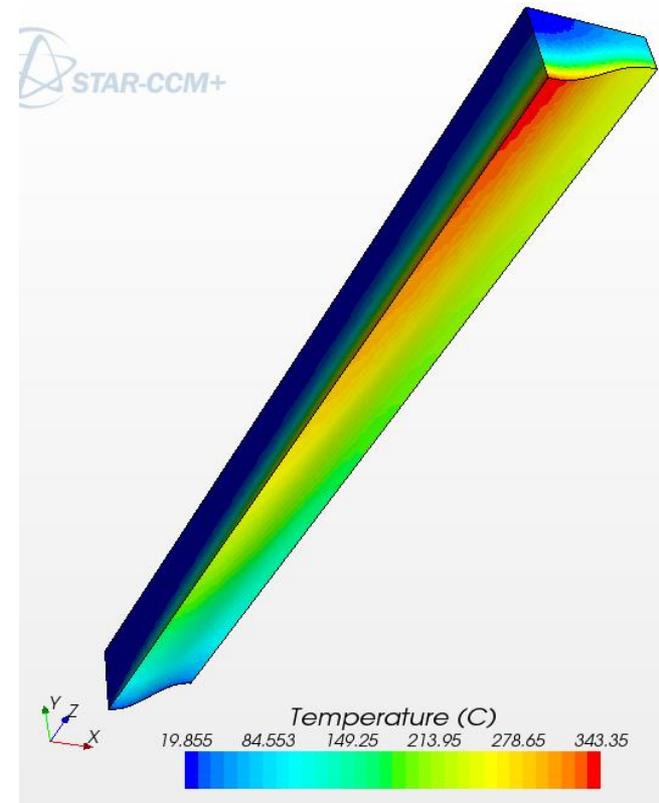
20mm, 40mm, 80mm, 100mm, 360mm





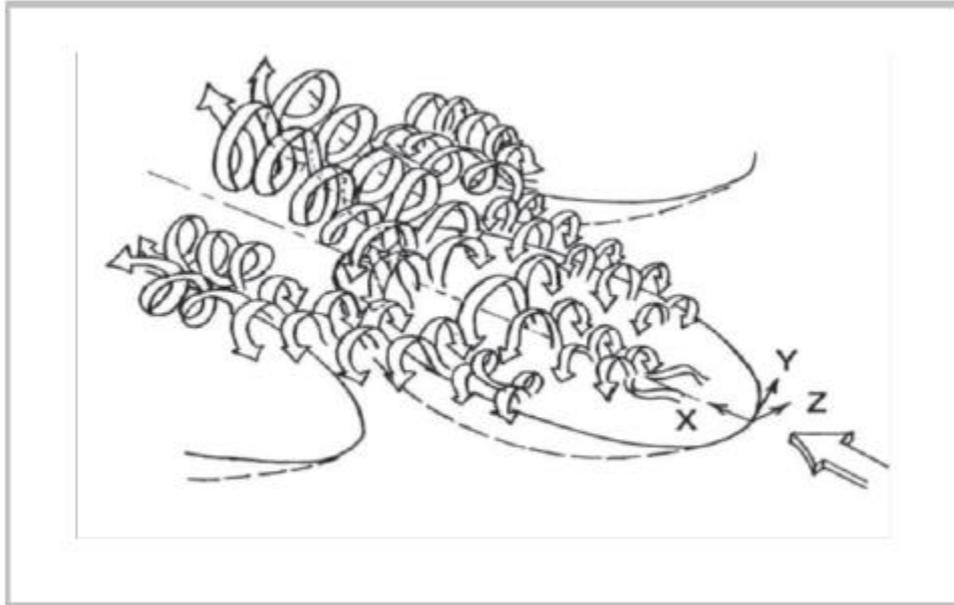
Frage: Steigert ein Absorber mit welliger Oberfläche die Leistungsfähigkeit eines Solar-Luft-Kollektors?

Größe	Austritts- temperatur	Gesamt- wärme	Gesamt- druckverlust
Zeichen	$T_{\text{aus}}$	$Q_{\text{aus,ges}}$	$\Delta p_{V,\text{ges}}$
Einheit	°C	W	Pa
Flachabsorber	95,4	304,6	0,006
A5B10	157,0	553,3	0,615
A5B20	120,3	405,1	0,270
A5B40	106,5	349,4	0,128
A5B100	102,5	333,3	0,050
A5B160	100,9	326,8	0,031

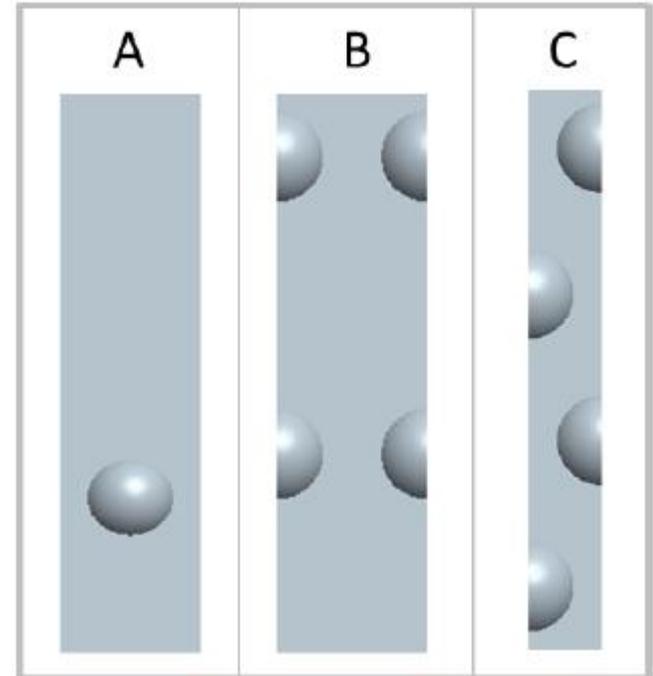




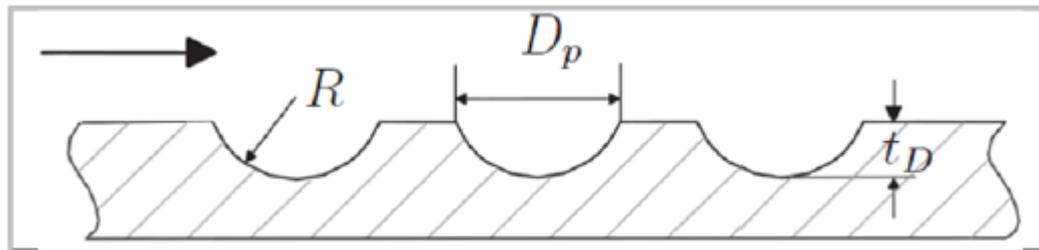
### Theoretischer Ansatz



### Anordnung

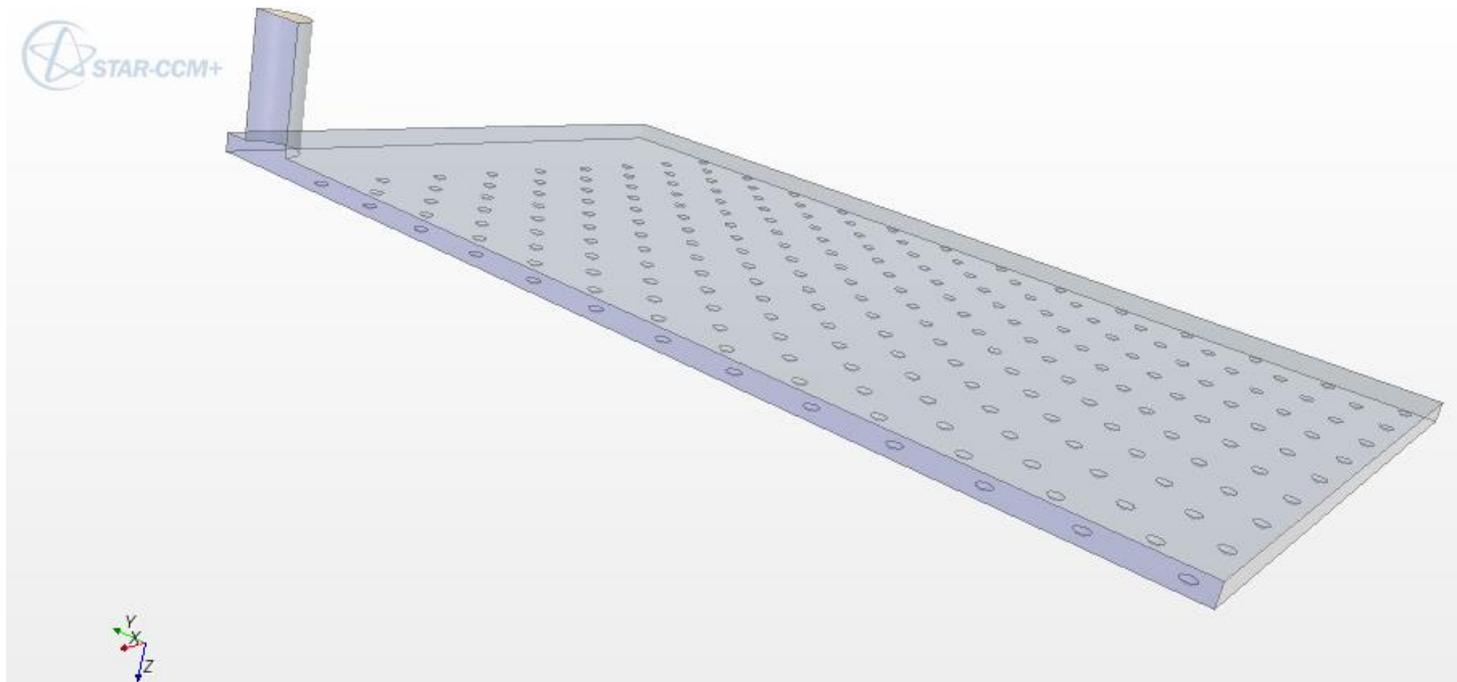


### Geometrie



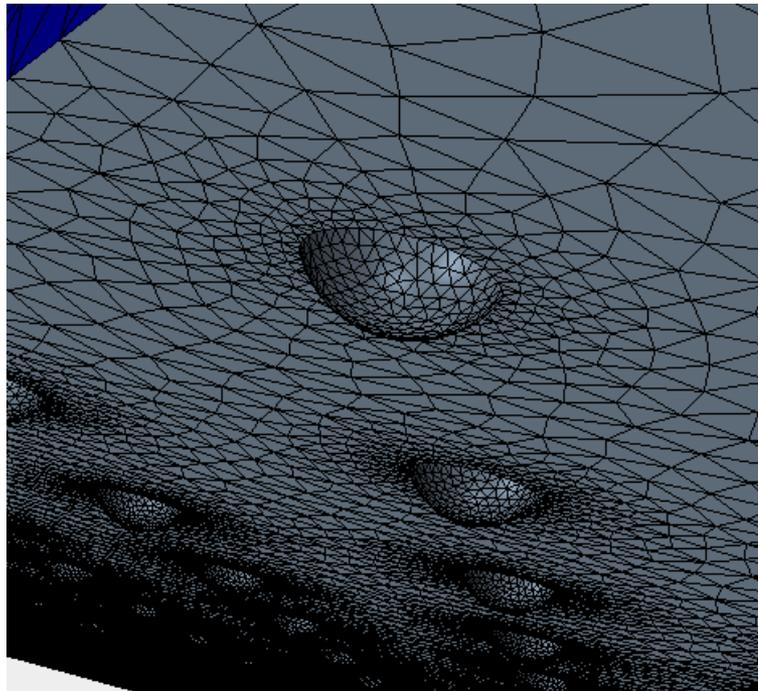


## Ausgangsgeometrie: Absorber mit Dellen

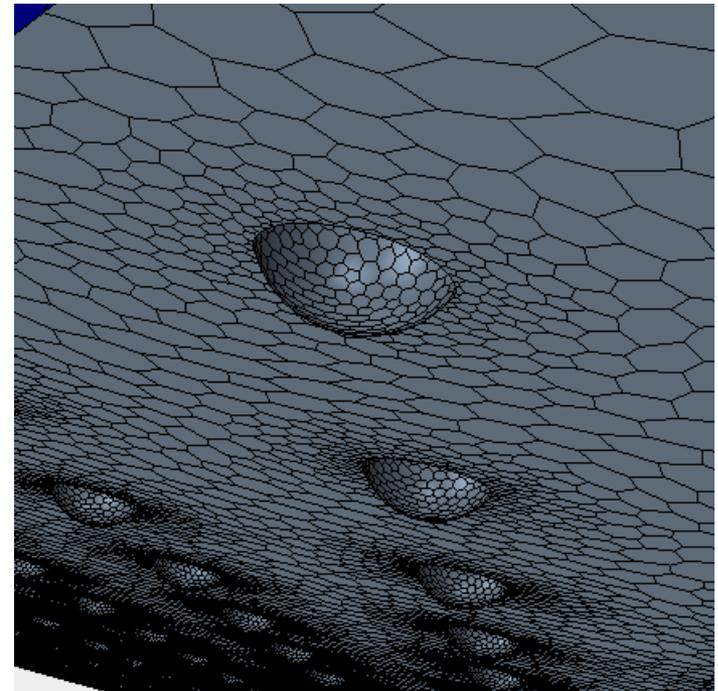




Flächennetz mit 0,5 mm Größe  
an den Dimples



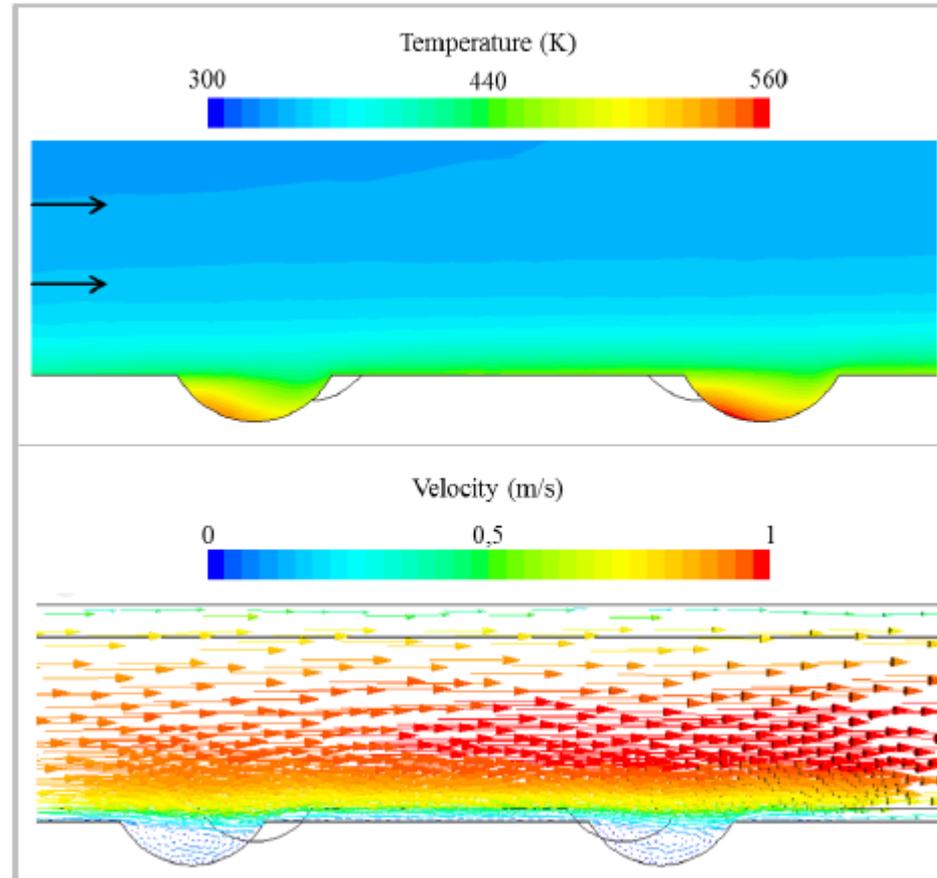
Volumennetz aus Polyedern



Großer Hardwarebedarf (Haupt-, Arbeitsspeicher), da sehr grazile Strukturen

# Der Solar-Luft-Kollektor

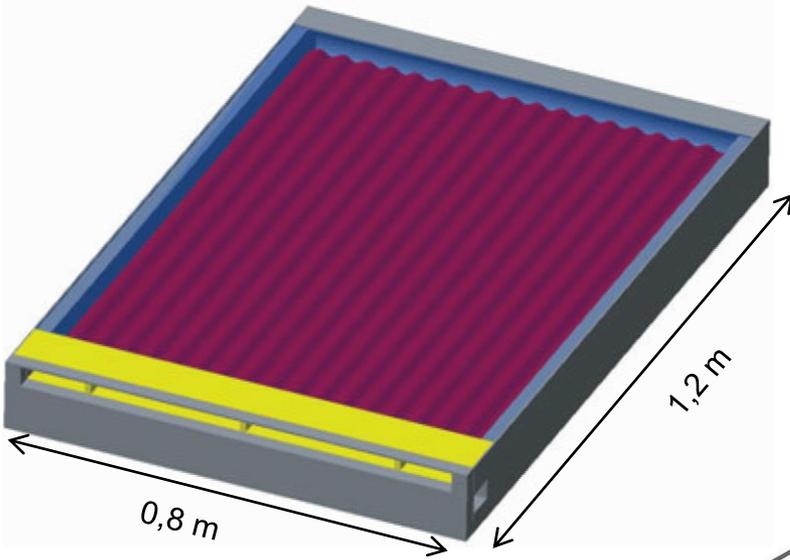
## Strömungssimulation Dimples



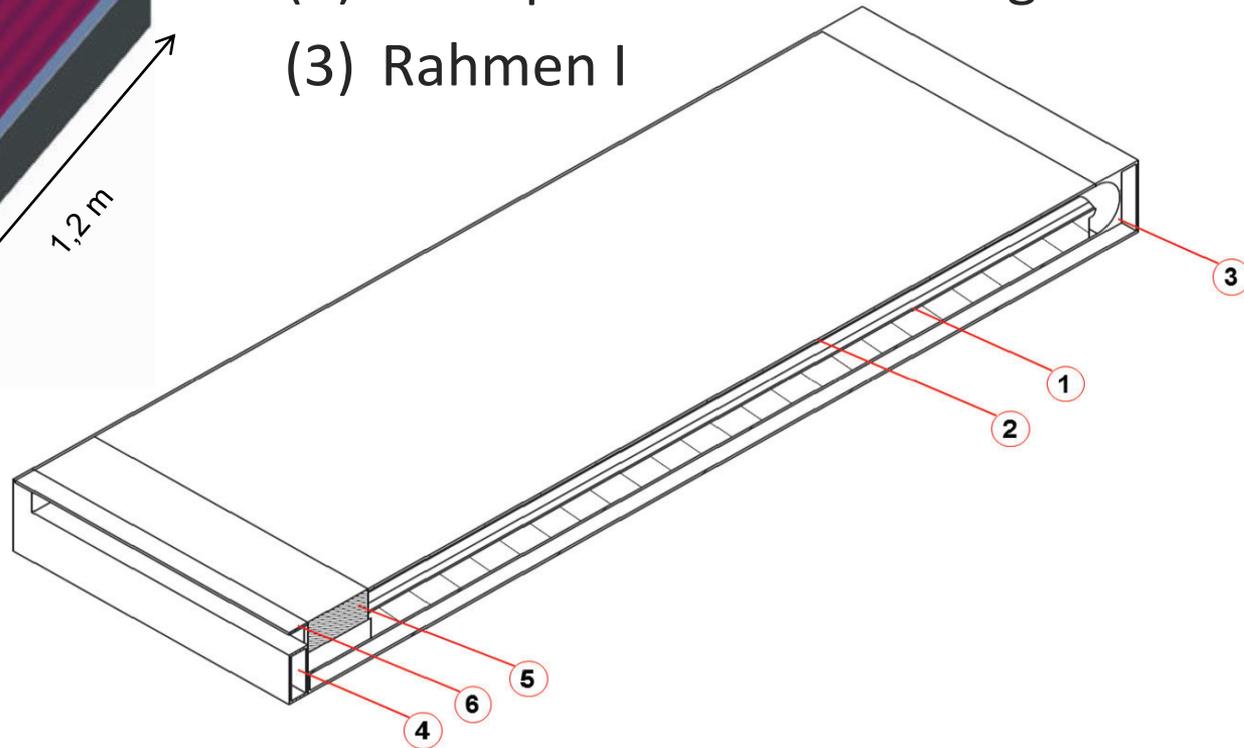
Partielle



Ein kleines Beispiel zum Schluss



- (1) Absorber
- (2) Transparente Abdeckung
- (3) Rahmen I



- (4) Rahmen II
- (5) Strömungsteiler
- (6) Abdeckplatte



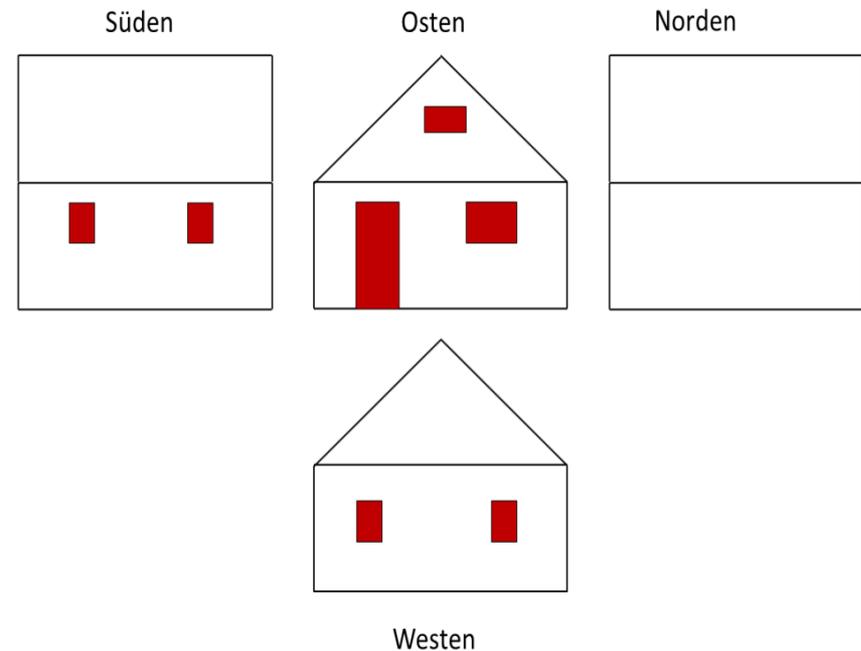
# Anwendung

## Hütte am Fichtelberg



Monat	durchschn. Lufttemperatur °C	Globalstrahlung Tagessumme Wh/m <sup>2</sup>
Januar	-3,7	883,4
Februar	-3,2	1703,6
März	-0,6	2745,2
April	3,9	4170,4
Mai	7,8	4886,8
Juni	11,0	5044,0
Juli	13,2	4794,0
August	13,3	4484,6
September	9,9	3113,4
Oktober	6,4	2064,2
November	2,2	1116,8
Dezember	-2,2	684,8

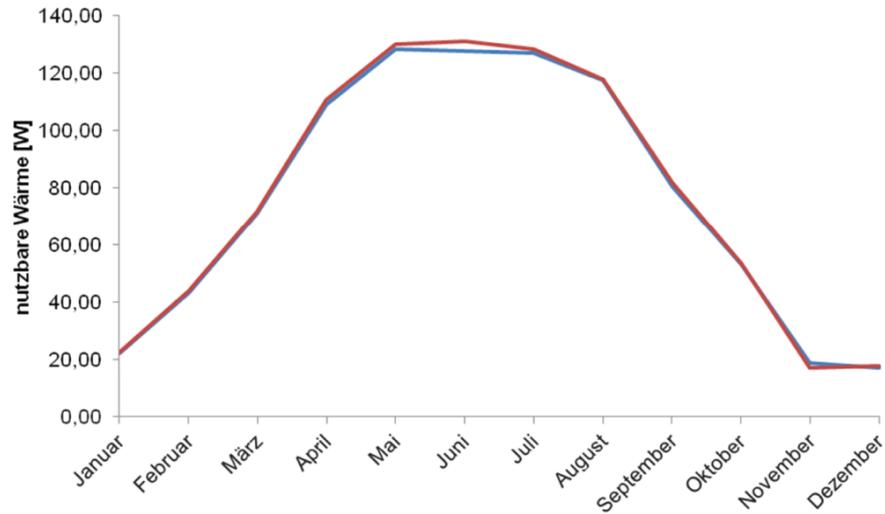
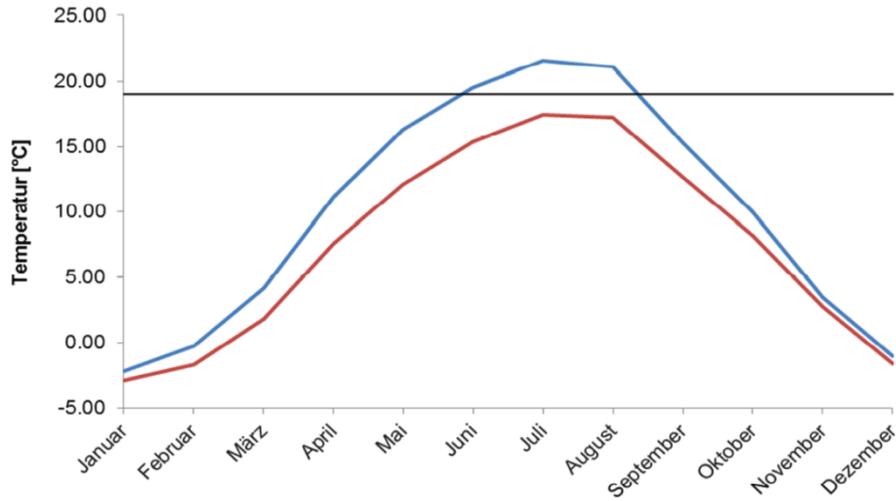
Hüttenmaße 6m x 6m x 2,5m



5 Kollektoren à 1,2 m x 0,8 m

# Anwendungsbeispiel

## Auslasstemperatur und nutzbare Wärme



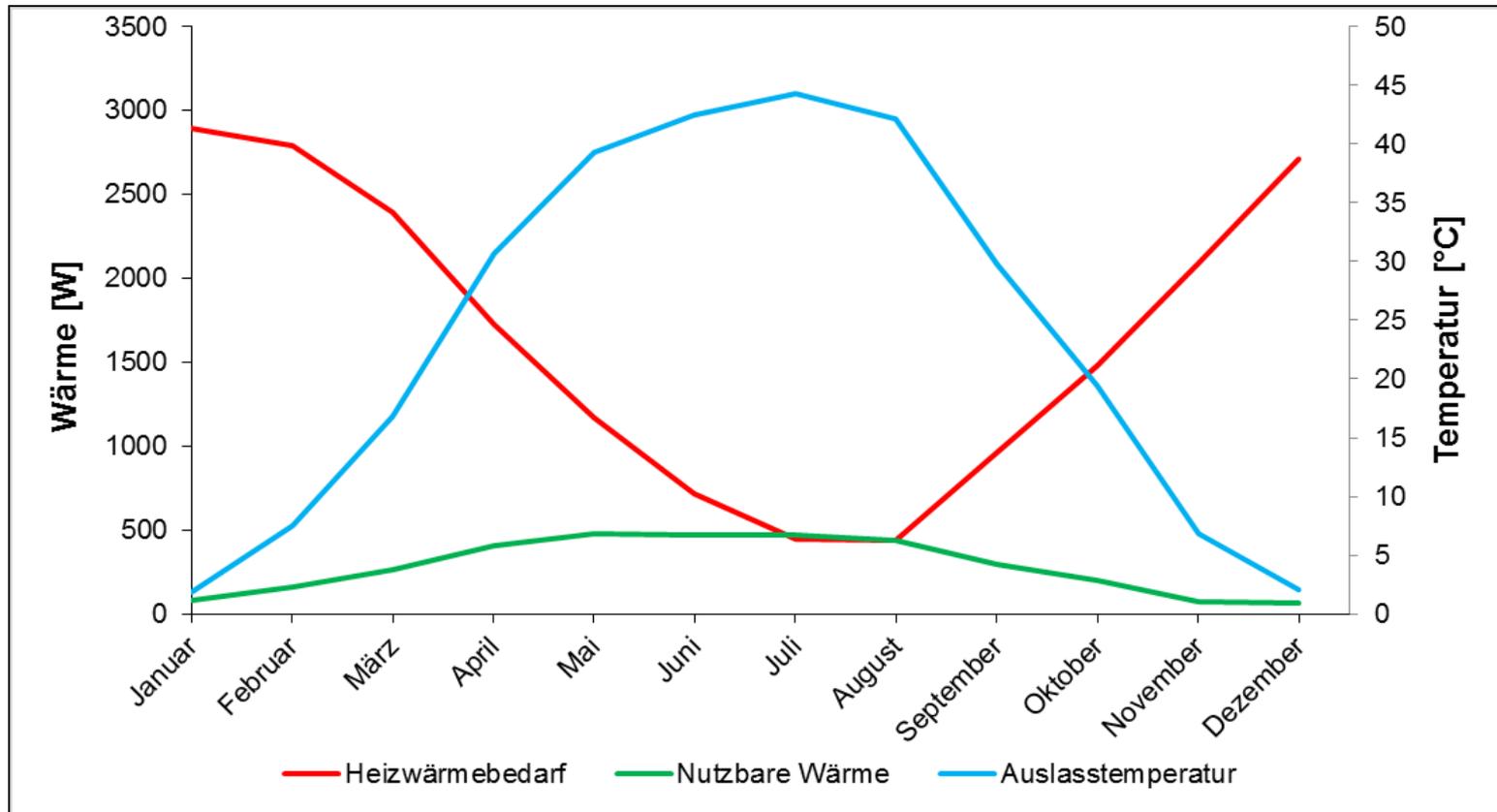
— m.=0,001244 kg/s — m.=0,002488 kg/s — Grenzwert

### Januar

	Einlass- temperatur $T_{\text{ein}}$ °C	Auslass- temperatur $T_{\text{aus}}$ °C	Nutzbare Wärme $Q_N$ W
Kollektor 1	-3,7	-2,2	22,4
Kollektor 2	-2,2	-0,9	19,4
Kollektor 3	-0,9	0,2	16,4
Kollektor 4	0,2	1,1	13,7
Kollektor 5	1,1	1,8	11,1
<b>Summe</b>			<b>83,0</b>

# Anwendungsbeispiel

## Vergleich mit dem Heizwärmebedarf



- Solares Luftheizsystem kann keine konventionelle Heizung ersetzen
- Potenzial vorhanden: Deckung von 17% des Jahresheizwärmebedarfs



- Solar Luft Kollektor Technologie besitzt gutes Potential
- Deutliche Steigerung der Leistungsfähigkeit dieses Kollektortyps möglich
  - Integrierte Simulation
  - Optimierte Formgebung
  - Neue Materialien
  - Neue Absorbertechnologien (Drahtgeflechte u.ä.)
  - Kopplung von Wärme- und Stromerzeugung
  - Kaskadierung
- Designorientierung zur Akzeptanzerhöhung
- Anwendungen an anderen Orten (Exportschlager)





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Reinhard Hackenschmidt