Optimierung der WRG

Ökonomie versus Ökologie
welche Kriterien beeinflussen die WRG wirklich?

Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. pol. **Christoph Kaup**

EU 1253/2014 - Effizienz WRG

HOWATHERM
A Swegon Group company

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Thermische Effizienz (WRG)

- Temperaturübertragungsgrad η_t

Stufe 1 (ab 2016)

$\eta_{t\ nrvu}$ von allen WRG-Systeme	min. 67%
$\eta_{t\ nrvu}$ von Kreislaufverbundsystemen	min. 63%

Stufe 2 (ab 2018)

$\eta_{t\ nrvu}$ von allen WRG-Systeme	min. 73%
$\eta_{t\ nrvu}$ von Kreislaufverbundsystemen	min. 68%

einheitliche europaweite Festlegung

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

EU 1253/2014 - Effizienz WRG

HOWATHERM
A Swegon Group company

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektrische spezifische Leistung

- $SFP_{internal}$ (RLT mit WRG)

Stufe 1 (ab 2016) in W/m³/s

$1.200 + E - 200 \cdot q_{nom} / 2 - F$	$q_{nom} < 2\ m^3/s$
$900 + E - F$	$q_{nom} \geq 2\ m^3/s$

Stufe 2 (ab 2018) in W/m³/s

$1.100 + E - 200 \cdot q_{nom} / 2 - F$	$q_{nom} < 2\ m^3/s$
$800 + E - F$	$q_{nom} \geq 2\ m^3/s$

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

EU 1253/2014 - Effizienz WRG

HOWATHERM
A Swegon Group company

Mindesteffizienzen von RLT-Geräten:

Elektrische spezifische Leistung

- $SFP_{internal}$ (RLT mit Kreislaufverbundsystem)

Stufe 1 (ab 2016) in W/m³/s

$1.700 + E - 200 \cdot q_{nom} / 2 - F$	$q_{nom} < 2\ m^3/s$
$1.400 + E - F$	$q_{nom} \geq 2\ m^3/s$

Stufe 2 (ab 2018) in W/m³/s

$1.600 + E - 200 \cdot q_{nom} / 2 - F$	$q_{nom} < 2\ m^3/s$
$1.300 + E - F$	$q_{nom} \geq 2\ m^3/s$

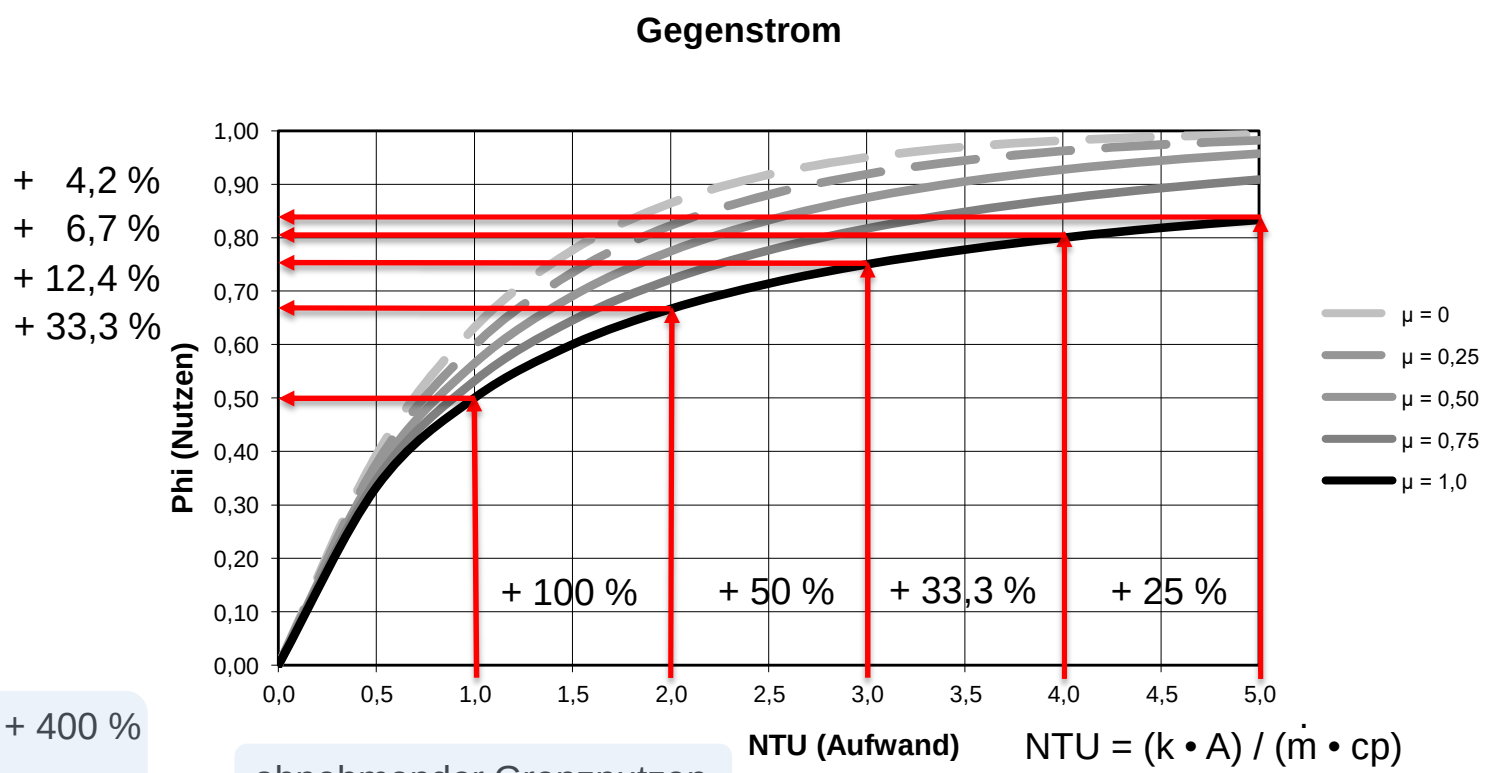
© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM
A Swegon Group company

Übertragungsgrad im Gegenstrom

$\Phi_i = (1 - e^{[(\mu_i - 1) \cdot NTU_i]}) / (1 - \mu_i \cdot e^{[(\mu_i - 1) \cdot NTU_i]})$ bei $\mu <> 1$

$\Phi = NTU / (NTU + 1)$ bei $\mu = 1$



$NTU = (k \cdot A) / (\dot{m} \cdot cp)$

NTU + 400 %

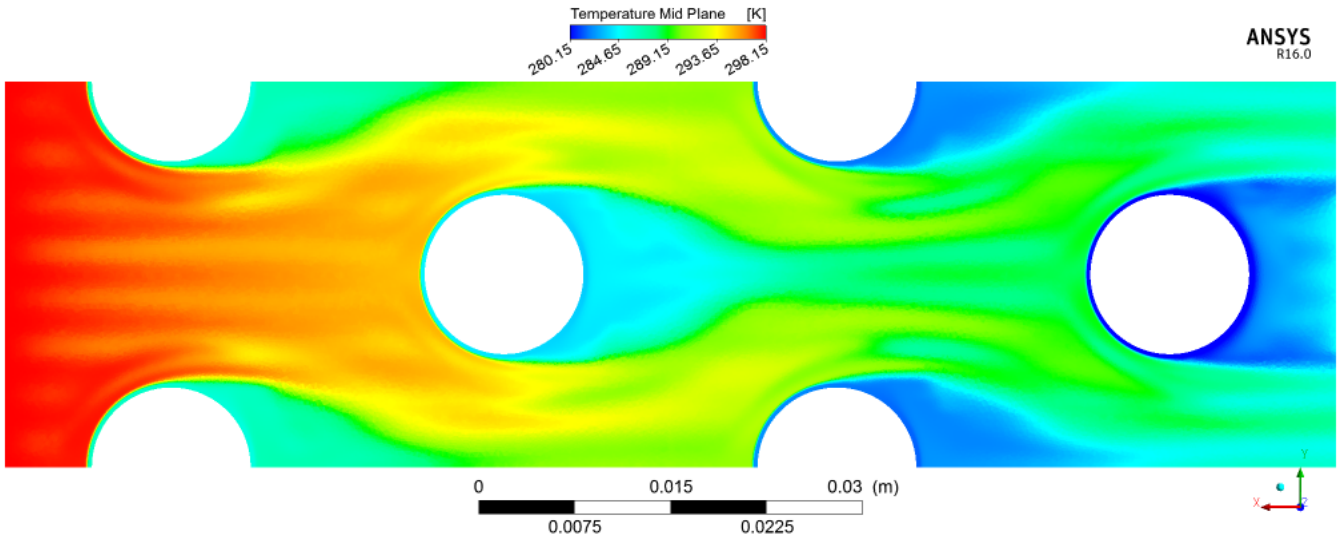
Phi + 67 %

abnehmender Grenznutzen

Aber linear steigender Aufwand (Invest und Druckabfall)

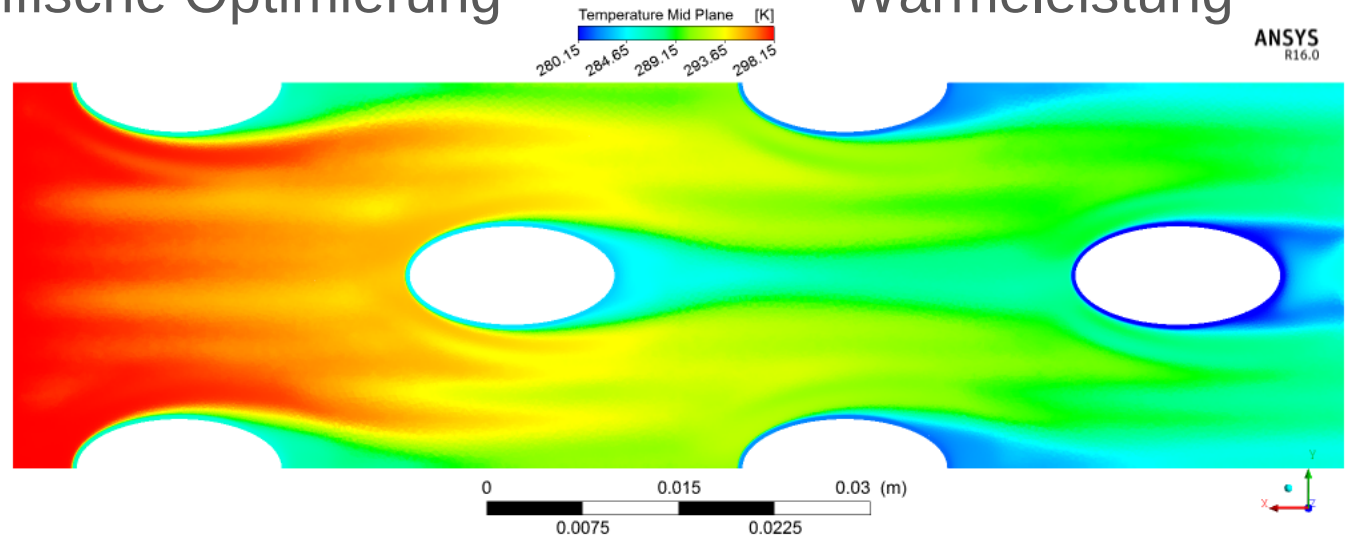
© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren



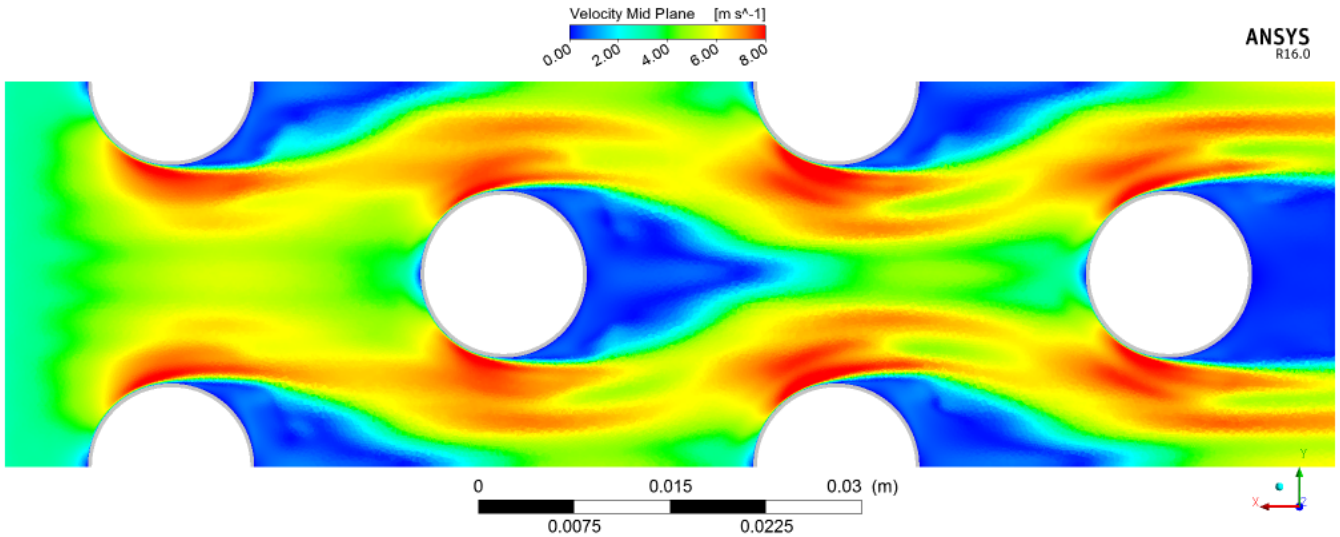
Spezifische Optimierung

Wärmeleistung



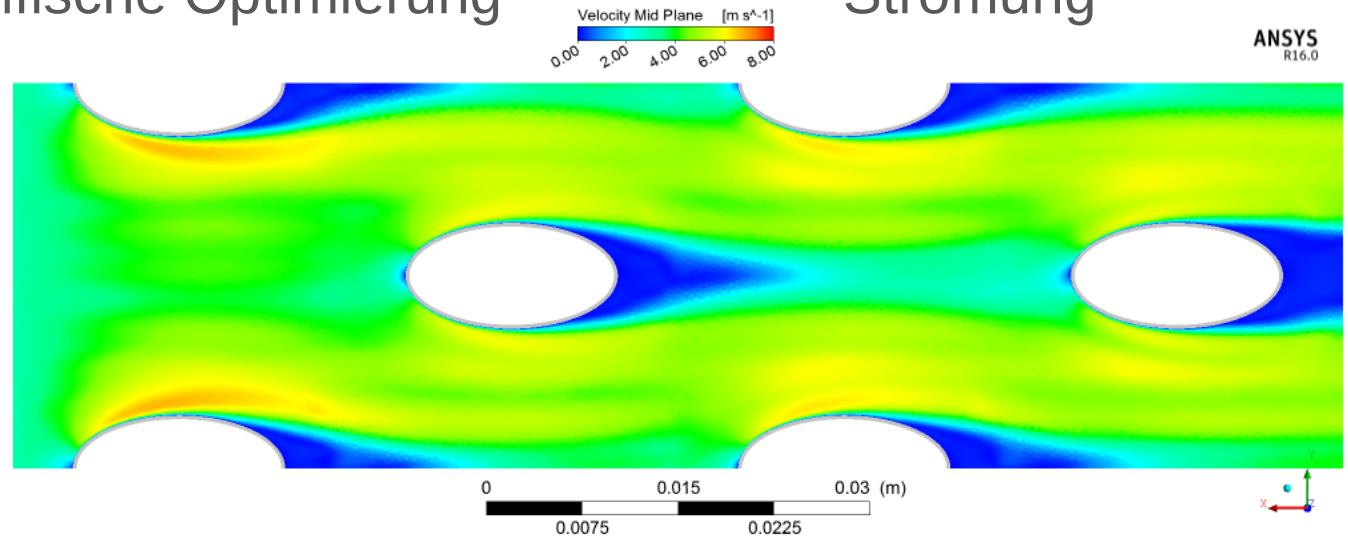
© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren



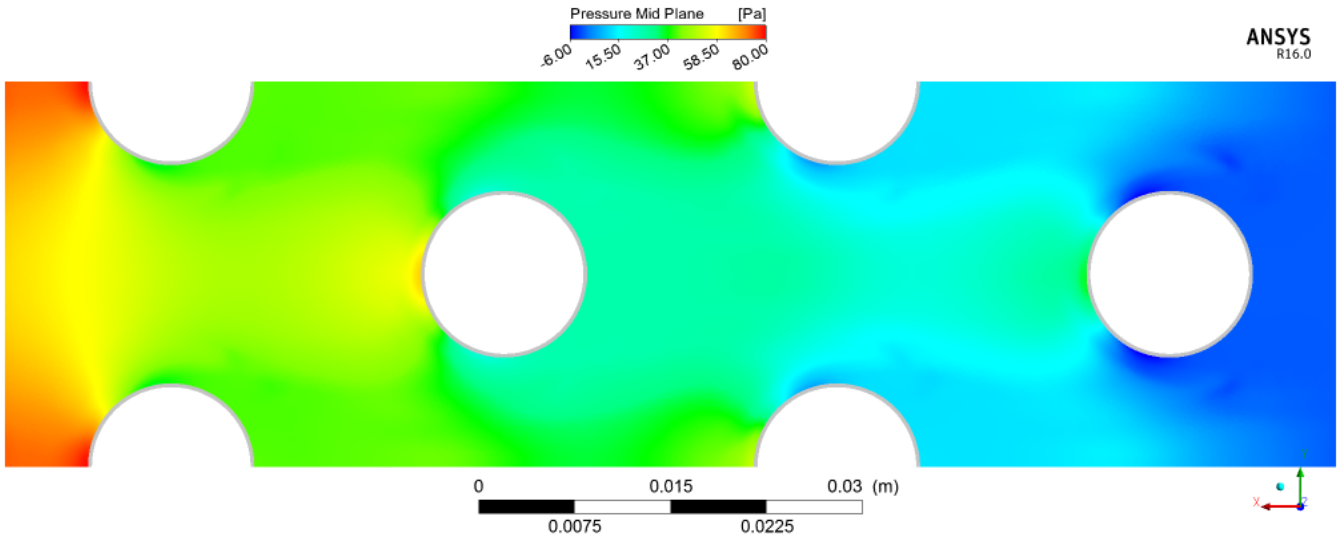
Spezifische Optimierung

Strömung

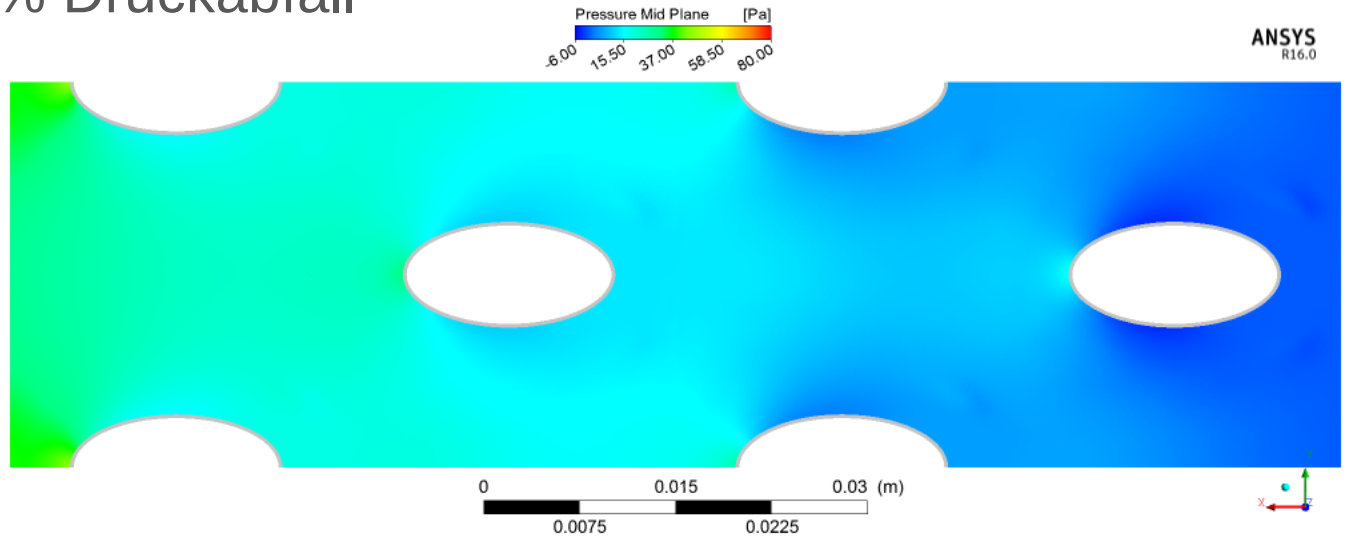


© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren

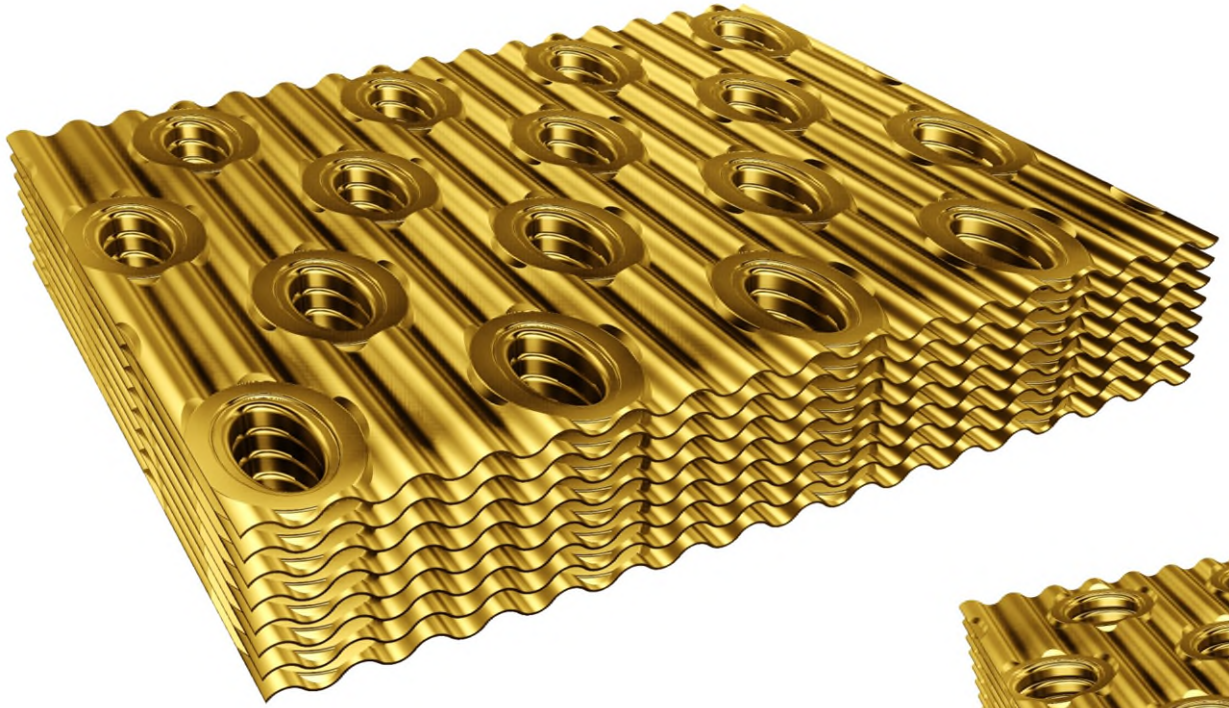


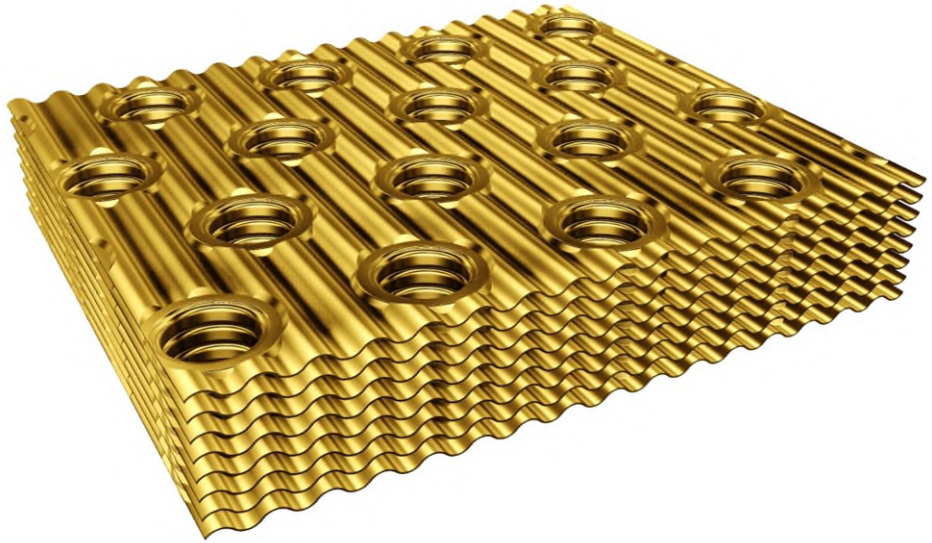
- 40 % Druckabfall



© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren

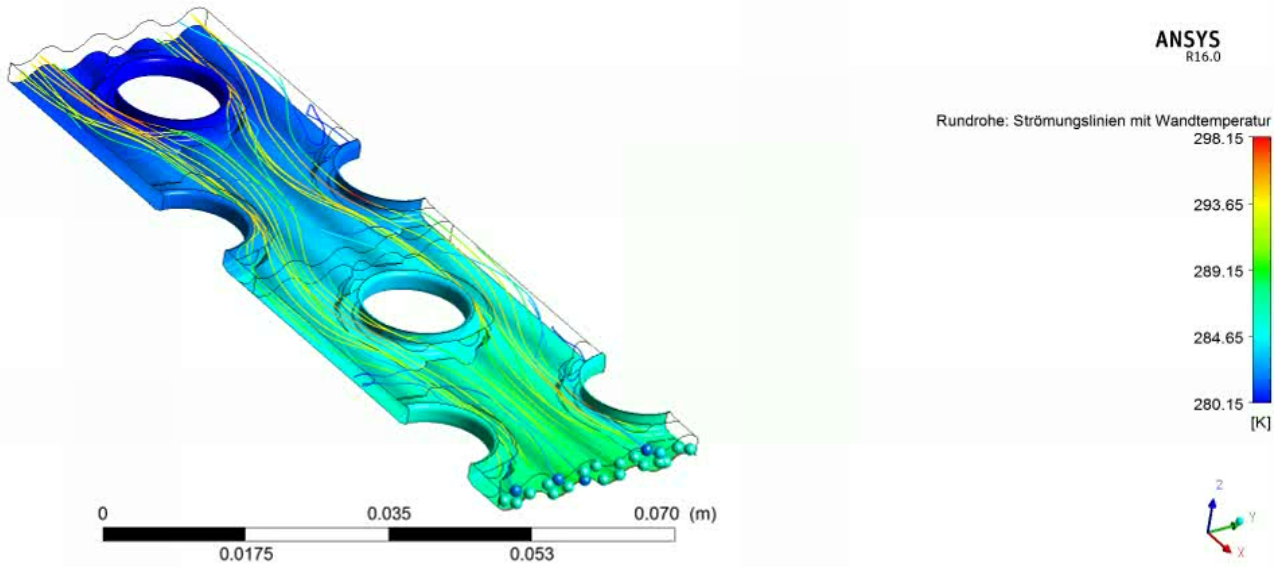


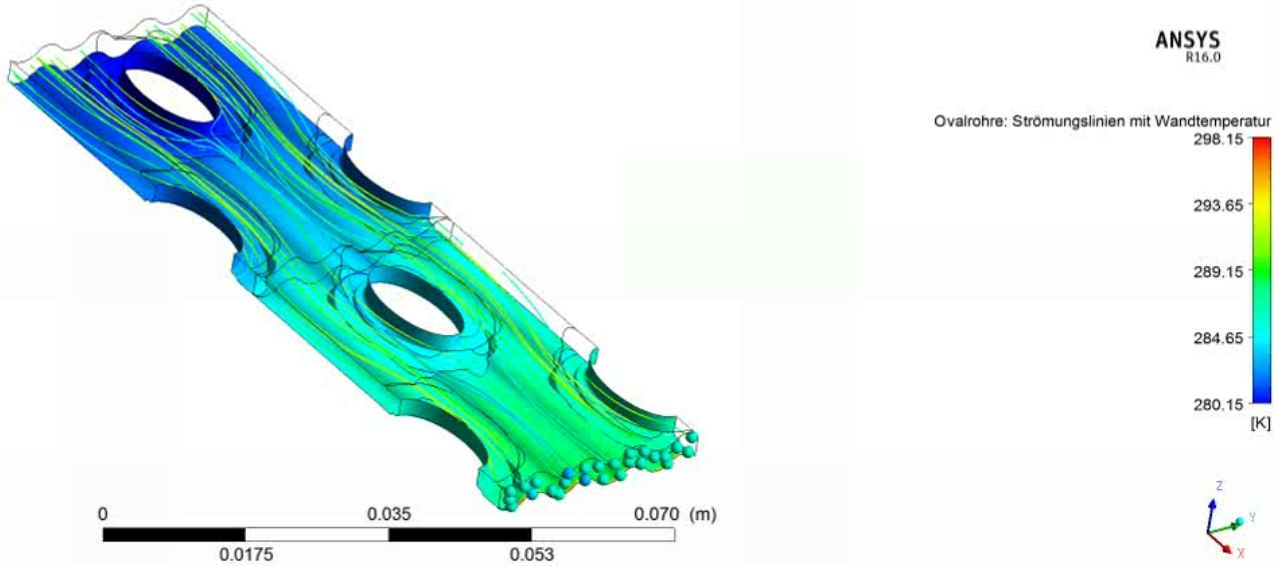


Druckverlust Ovalrohr gegenüber

Rundrohr	~ **- 40 %**
Strukturierung	~ **+ 20 % Fläche**

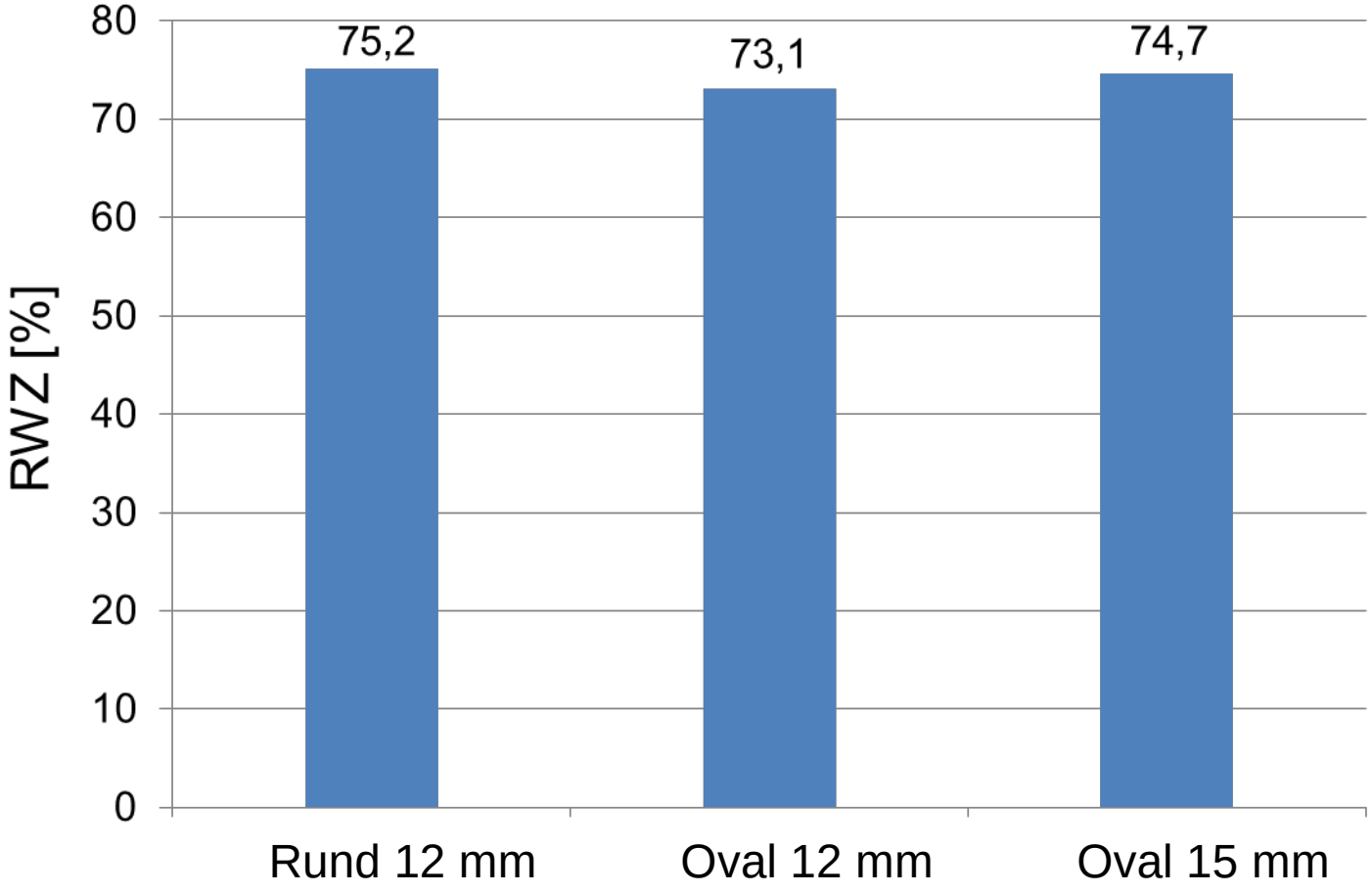
Hochleistungslamellen mit Ovalrohren





© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren

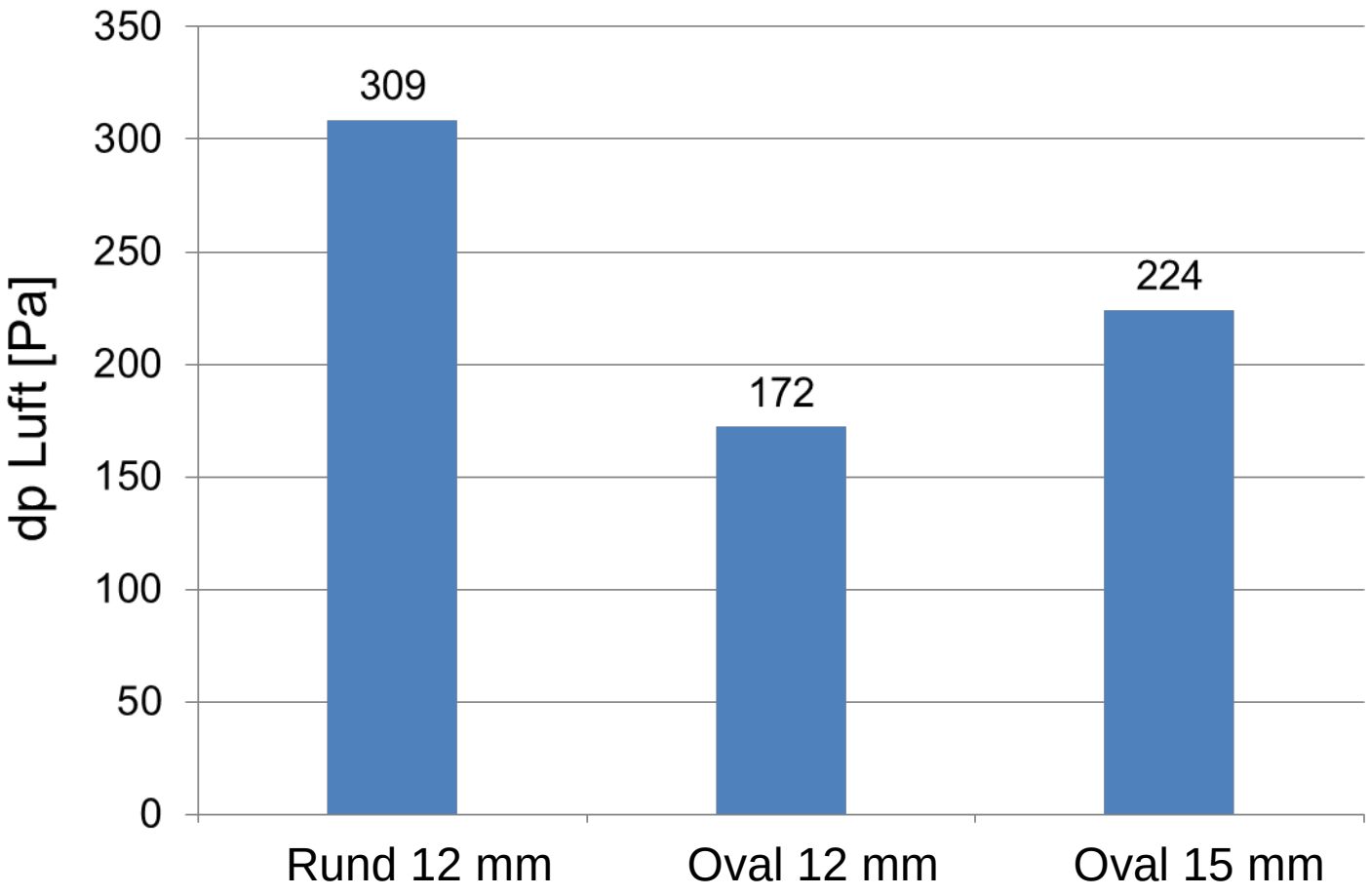


Messung
EN 308
+ 5°C
+25°C

Messung TÜV Süd an Baumustern

Industrie Service

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren



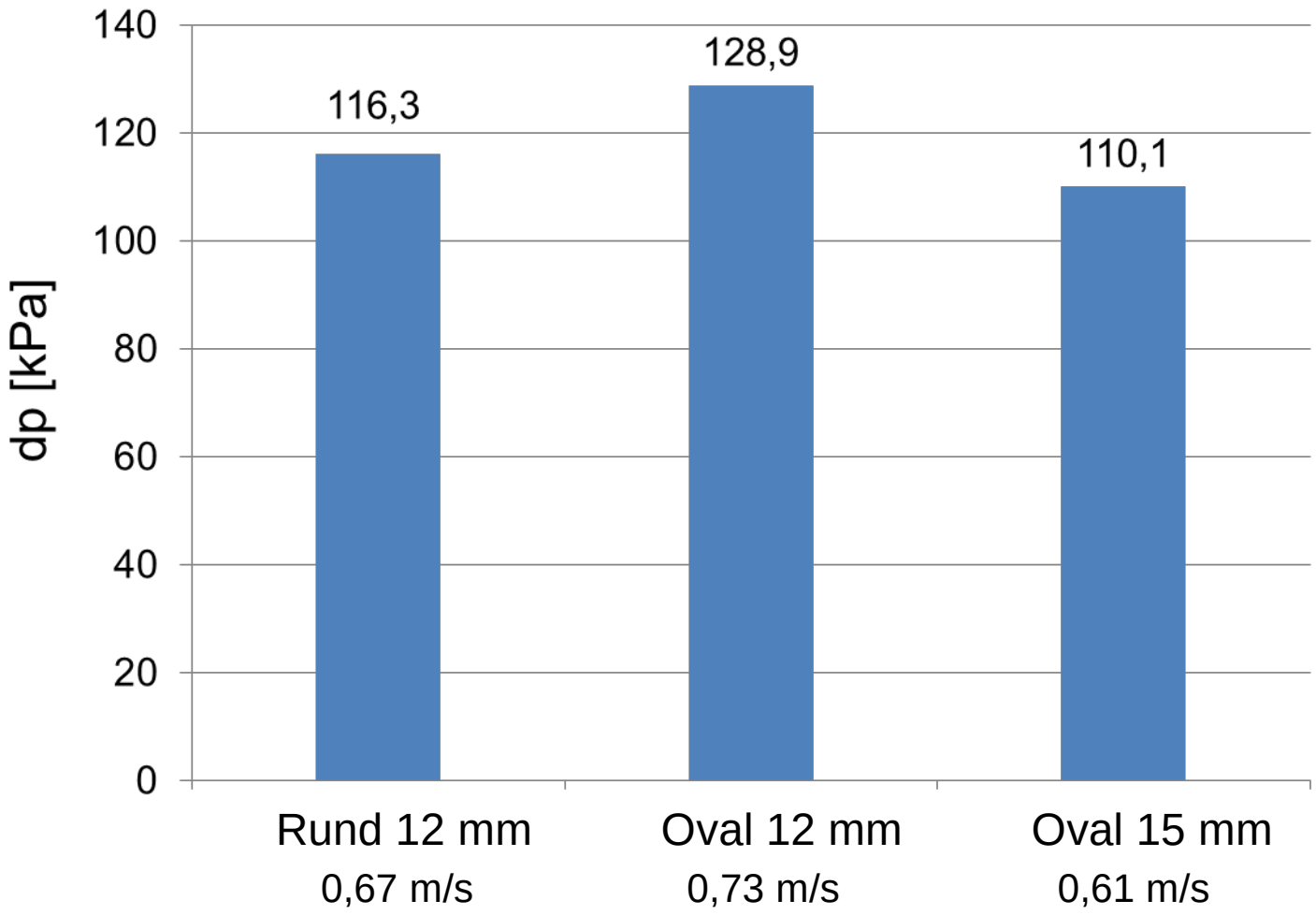
Messung
EN 308
2,5 m/s

Messung TÜV Süd an Baumustern

Industrie Service

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren

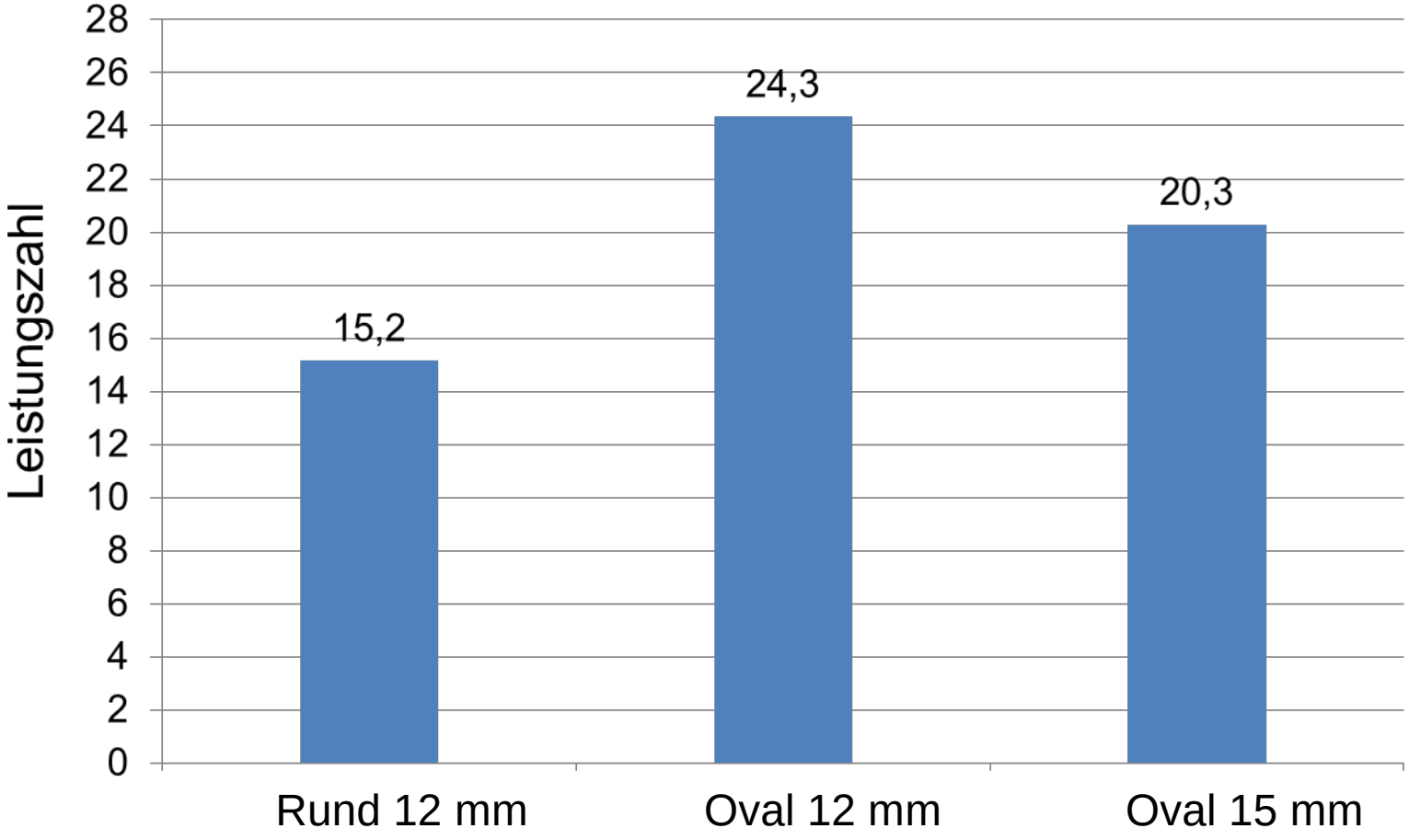


Messung TÜV Süd an Baumustern

Industrie Service

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Hochleistungslamellen mit Ovalrohren



Messung TÜV Süd an Baumustern

Industrie Service

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

1D Optimierung

HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / HRS faced aerea const.)

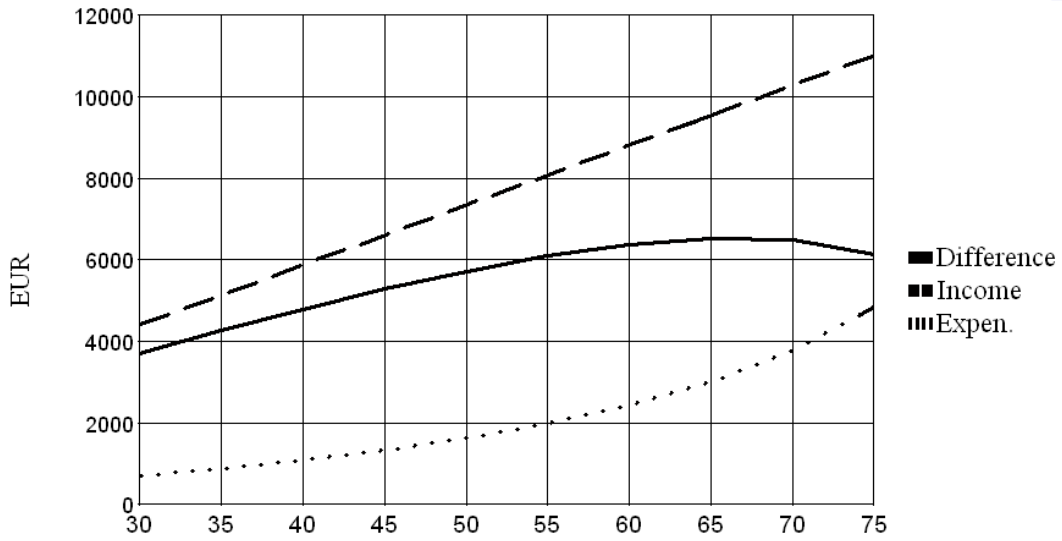
Efficiency	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
30,0 %	20,2 %	4412,6 €	698,1 €	3714,5 €
35,0 %	25,3 %	5148,0 €	877,1 €	4270,9 €
40,0 %	31,4 %	5883,5 €	1086,0 €	4797,5 €
45,0 %	38,5 %	6618,9 €	1332,8 €	5286,1 €
50,0 %	47,1 %	7354,3 €	1629,0 €	5725,4 €
55,0 %	57,5 %	8089,8 €	1990,9 €	6098,8 €
60,0 %	70,6 %	8825,2 €	2443,4 €	6381,8 €
65,0 %	87,4 %	9560,6 €	3025,2 €	6535,4 €
67,0 %	**95,5 %**	**9854,8 €**	**3307,3 €**	**6547,5 €**
70,0 %	109,8 %	10296,1 €	3800,9 €	6495,2 €
75,0 %	141,2 %	11031,5 €	4886,9 €	6144,6 €

Costs of heat recovery calculated per year

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 68,0 %

optimized efficiency of HRC **67 % (63 - 70 %)**

Calculation based on economic calculation (toleranc ± 1% costs)



1D Optimum

Φ %	benefit €/a	expenditure €/a	difference €/a
75,00	11.031,50	4.886,90	6.144,60
80,00	11.766,93	6.515,87	5.251,07
85,00	12.502,37	9.230,81	3.271,56
88,93	13.079,70	13.079,70	0,00
90,00	13.237,80	14.660,70	-1.422,90
95,00	13.973,23	30.950,37	-16.977,13
100,00	14.708,67	infinitely	- infinitely

2D Optimierung

HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / HRS debth const.)

Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
55,7 %	62,3 %	3,21 m/s	8191,0 €	6391,3 €	1799,8 €
59,2 %	71,9 %	2,78 m/s	8710,3 €	4913,7 €	3796,7 €
62,6 %	83,1 %	2,41 m/s	9213,8 €	4025,5 €	5188,3 €
66,0 %	96,2 %	2,08 m/s	9707,6 €	3565,8 €	6141,8 €
69,3 %	112,0 %	1,79 m/s	10198,2 €	3459,7 €	6738,4 €
72,7 %	131,9 %	1,52 m/s	10693,1 €	3705,0 €	6988,1 €
73,4 %	**136,6 %**	**1,46 m/s**	**10793,5 €**	**3801,9 €**	**6991,5 €**
76,2 %	158,3 %	1,26 m/s	11202,7 €	4394,0 €	6808,7 €
79,8 %	196,1 %	1,02 m/s	11742,4 €	5821,2 €	5921,2 €
83,9 %	258,2 %	0,77 m/s	12341,2 €	8944,2 €	3396,9 €

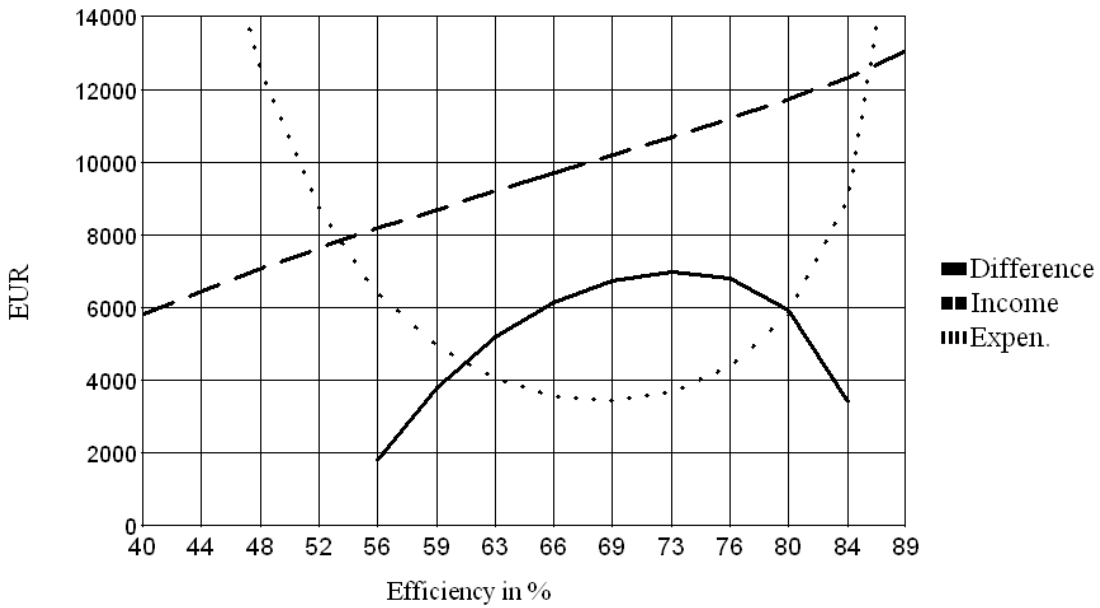
2D Optimum

Area in % of the selcted Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

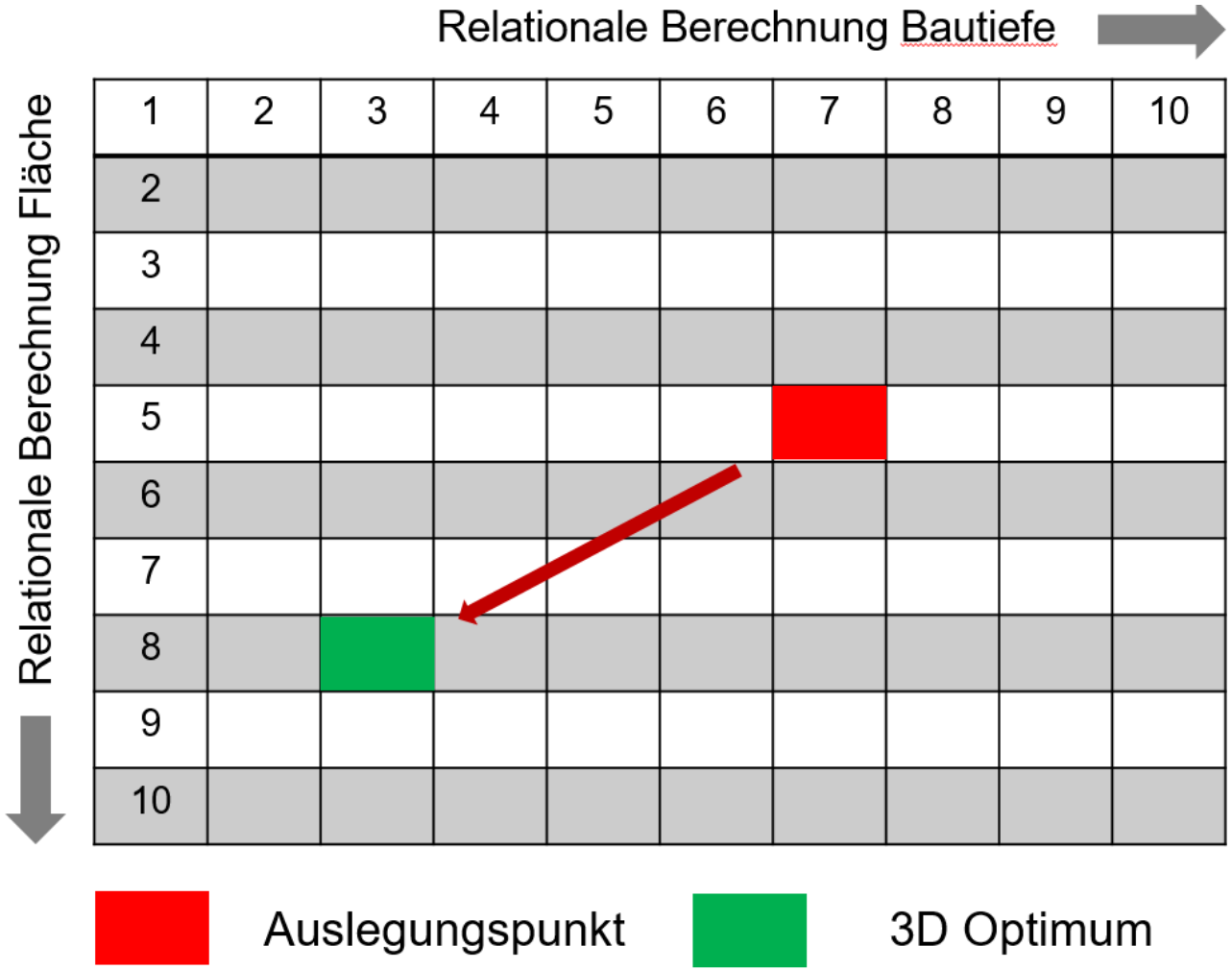
selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 68,0 %

optimized efficiency of HRC **73,4 % (71,3 - 74,8 %)**

Calculation based on economic calculation (toleranc ± 1% costs)



3D Optimierung



3D Optimierung

HOWATHERM
A Swegon Group company

HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / multidimensional)

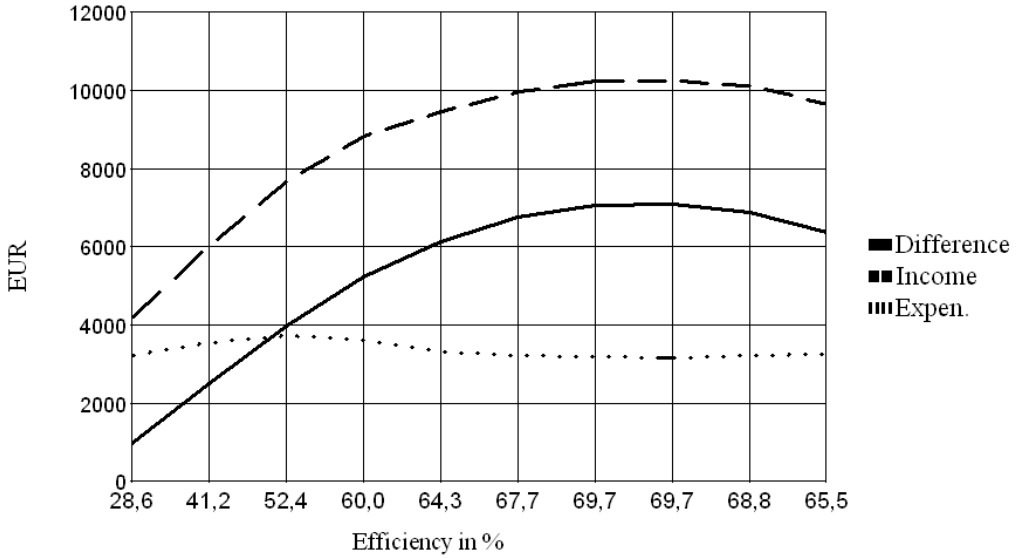
Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
28,6 %	53,7 %	3,73 m/s	28,2 %	4202,5 €	3232,0 €	970,4 €
41,2 %	62,3 %	3,21 m/s	45,1 %	6056,5 €	3559,9 €	2496,6 €
52,4 %	71,9 %	2,78 m/s	65,0 %	7704,5 €	3722,1 €	3982,4 €
60,0 %	83,1 %	2,41 m/s	81,4 %	8825,2 €	3601,0 €	5224,1 €
64,3 %	96,2 %	2,08 m/s	89,4 %	9455,6 €	3306,5 €	6149,0 €
67,7 %	112,0 %	1,79 m/s	95,2 %	9963,9 €	3213,4 €	6750,5 €
69,7 %	131,9 %	1,52 m/s	94,5 %	10251,5 €	3200,0 €	7051,5 €
69,7 %	**146,7 %**	**1,36 m/s**	**88,7 %**	**10251,5 €**	**3147,2 €**	**7104,2 €**
69,7 %	158,3 %	1,26 m/s	84,7 %	10251,5 €	3162,8 €	7088,7 €
68,8 %	196,1 %	1,02 m/s	71,3 %	10112,2 €	3235,1 €	6877,1 €
65,5 %	258,2 %	0,77 m/s	52,2 %	9636,7 €	3260,1 €	6376,6 €

Area in % of the selcted Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 68,0 %

max usefull efficiency of HRC **69,7 %**

Calculation based on economic calculation (toleranc aprox. 2% of max. benefit)



3D Optimum

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Quintessenz zur Optimierung

HOWATHERM
A Swegon Group company

Das **ökonomische** Optimum ist nicht gleich dem **ökologischen** Optimum.

Das **Optimum** ist stark von der **Laufzeit** und dem **Ort der Aufstellung** abhängig.

Das **Gesamtoptimum** kann gefunden werden, wenn die **CO_2-Einsparung** mit einem **Preis** in die **ökonomische Optimierung** einfließt.

Das **ökonomische Optimum** ist stark vom **Wärmepreis und** vom **Elektroenergiepreis** abhängig. Energiepreise haben sich deutlich erhöht.

Das **ökologische Optimum** ist von den **CO_2-Emmissionfaktoren** abhängig.

Wärmemix stabil bei rund 300 g/kWh* versus Strom von 620 g/kWh (2007) bis heute 370 g/kWh.

Die Betrachtung ist von der **Bilanzgrenze** abhängig.

Betrachtung **Wärmerückgewinnung einschließlich** der **notwendigen Bauteile** (z. B. Abluftfilter).

Einsparung durch **Wärmeerzeuger und Kältemaschine** frühzeitig berücksichtigen!

* Dieser ergibt sich aus 315 g/kWh für **Öl** (**25 %** Anteil), 202 g/kWh für **Gas** (**44,3 %** Anteil), 341 g/kWh für **Fernwärme** (**10,2 %** Anteil) und rund 30 g/kWh für **Pellets** (**18 %** Anteil) sowie 370 g/kWh für **Strom** (**1,6 %**) und 429 g/kWh für **Kohle** (**0,9 %**). **Mittelwert** von **220 g/kWh**. Unter Beachtung der **Verteilverluste von 35 %** folgt ein Wert von rund **300 g CO_2 /kWh**.

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Zusammenfassung

Physikalische Einflussfaktoren zur Optimierung der Auslegung

- Außenlufttemperatur (ϑ_{AUL}) ~ Ort der Aufstellung
- Ablufttemperatur (ϑ_{ABL}) ~ Anwendung
- Zulufttemperatur (ϑ_{ZUL}) ~ Anwendung
- Laufzeit (t) ~ Anwendung

Ökonomische oder ökologische Einflussfaktoren

- Investment und Energien (Wärme, Strom, „Kälte“) (€ oder kg CO_2)

Temperaturübertragungsgrad $\Phi_t = f(\vartheta_{AUL}, \vartheta_{ABL}, t)$

Spezifische Ventilatorleistung SFP_{WRG} $(\Delta p) = f(\Phi_t)$

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Zeit für Fragen

Herzlichen Dank

Ihr **Christoph Kaup**