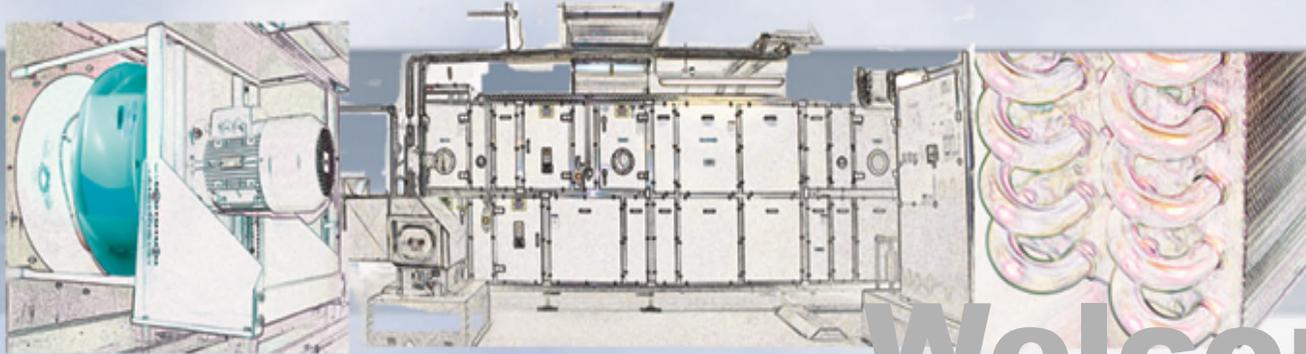


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Raumlufttechnik Mehrfachfunktionen

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dr. Christoph Kaup

c.kaup@umwelt-campus.de



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnung (WRG) ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur **Wiedernutzbarmachung** von **thermischer Energie** in einem Prozess mit mindestens zwei **Massenströmen** die **unterschiedliche Temperaturniveaus** besitzen.

Ziel der **Wärmerückgewinnung** ist die **Minimierung** des **Primärenergiebedarfs**.

WRG ist die **Wärmeübertragung** von **Fort- und Außenluftströmen** in Lüftungstechnischen Prozessen.

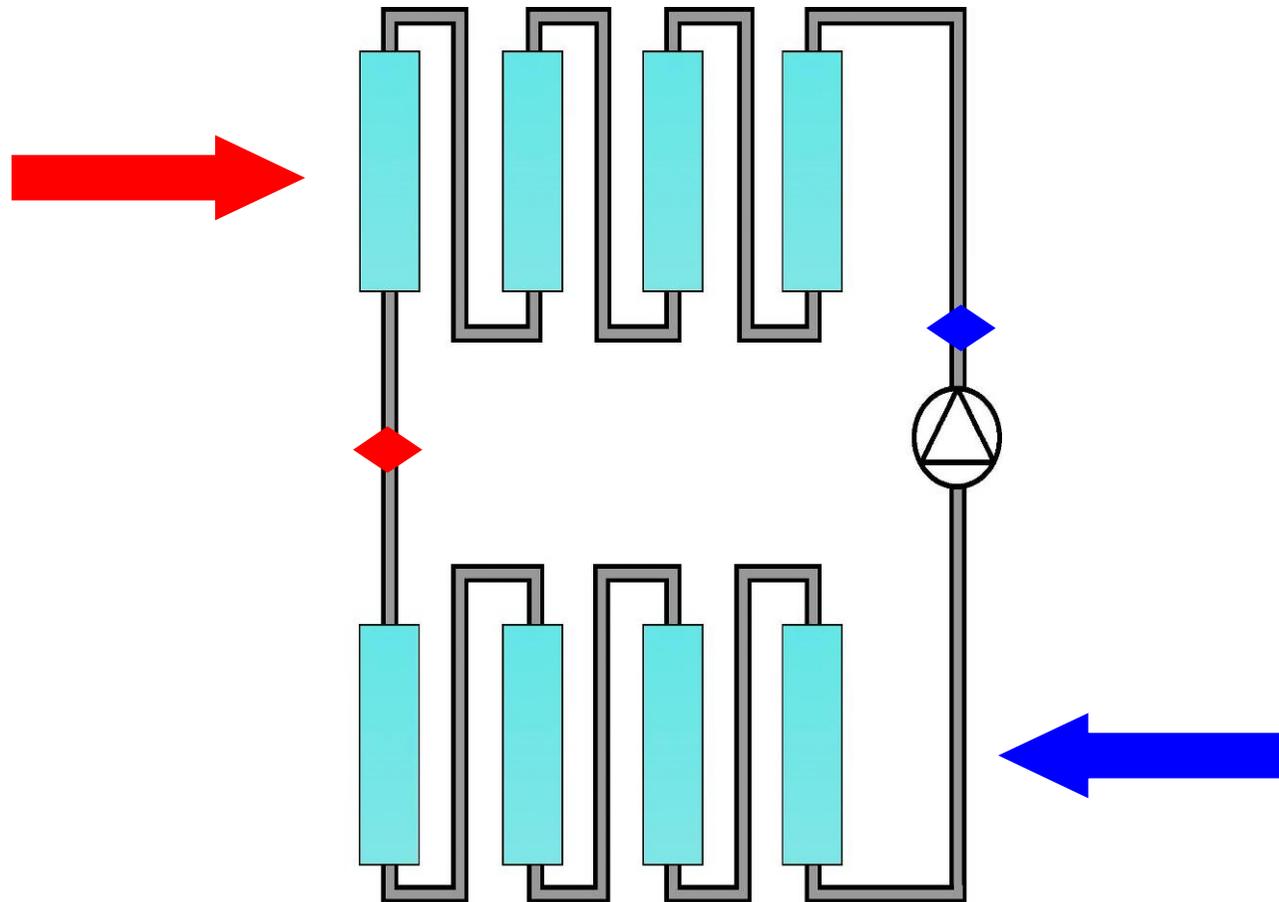
Dabei wird die zurück gewonnene Wärme entweder dem **Ursprungsprozess** oder einem **anderen Prozess** zugeführt.

Wärme kann dabei in den WRG Prozess **ein- oder ausgekoppelt** werden.



Mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnung auf Basis von Kreislaufverbundsysteme (KVS)

Einfache Kreislaufverbundsysteme (KV-Systeme) werden üblicherweise als Wärmerückgewinnungs-Systeme (WRG) mit niedrigen Rückwärmzahlen bis ca. 50 % eingesetzt. Jedoch bei der Beachtung der konstruktiven Kriterien, wie der Geometrie, der Strömungsführung und des Wärmestromkapazitätenverhältnisses können KV-Systeme mit höheren Rückwärmzahlen (z. B. 80%) als mehrfachfunktionale Systeme eingesetzt werden. Neben der primären Funktion der WRG lassen sich dann auch zusätzliche thermodynamische Funktionen, wie beispielsweise Nacherwärmung und Kühlung innerhalb des WRG-Systems, realisieren.

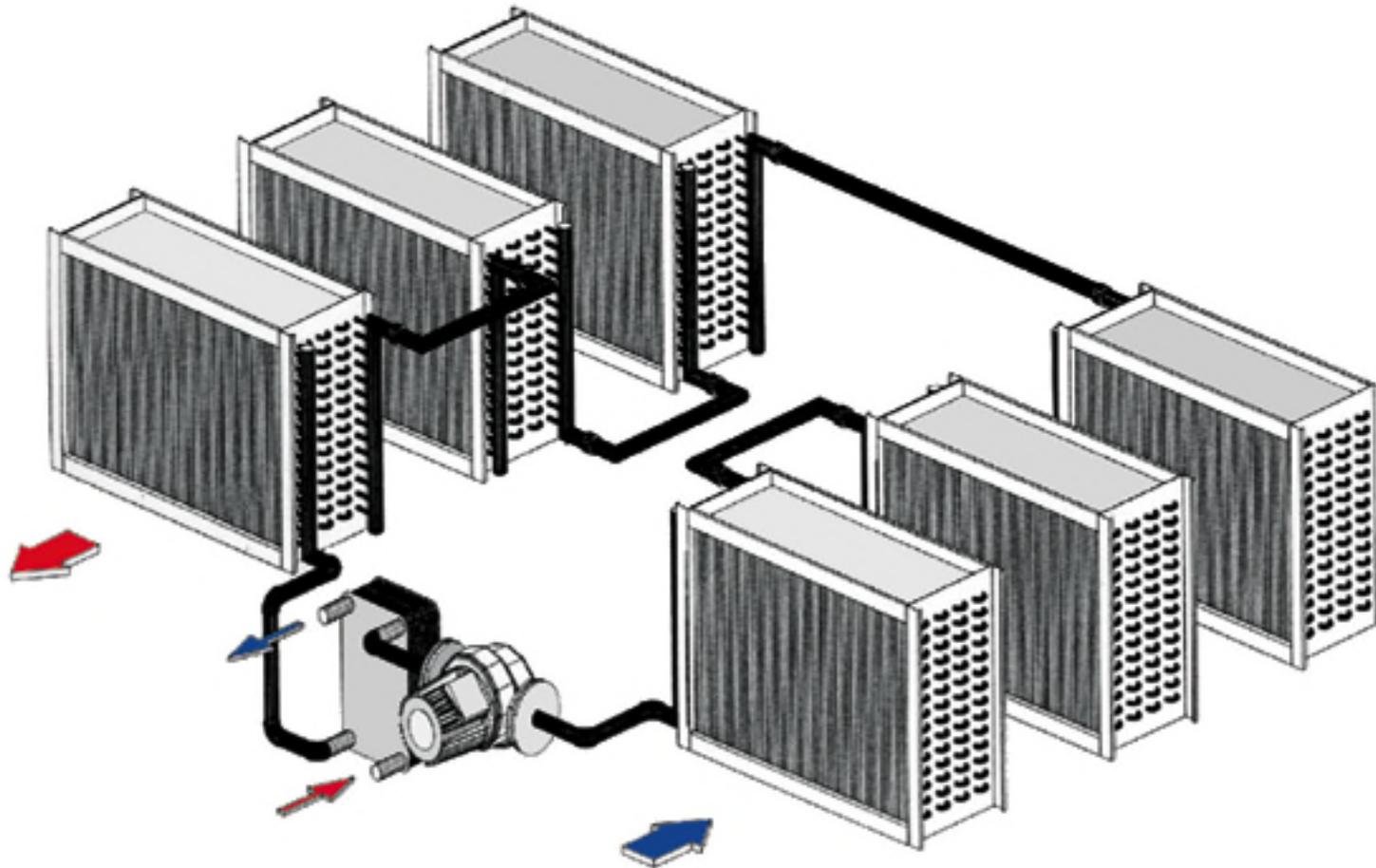


Kreislaufverbundsysteme



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

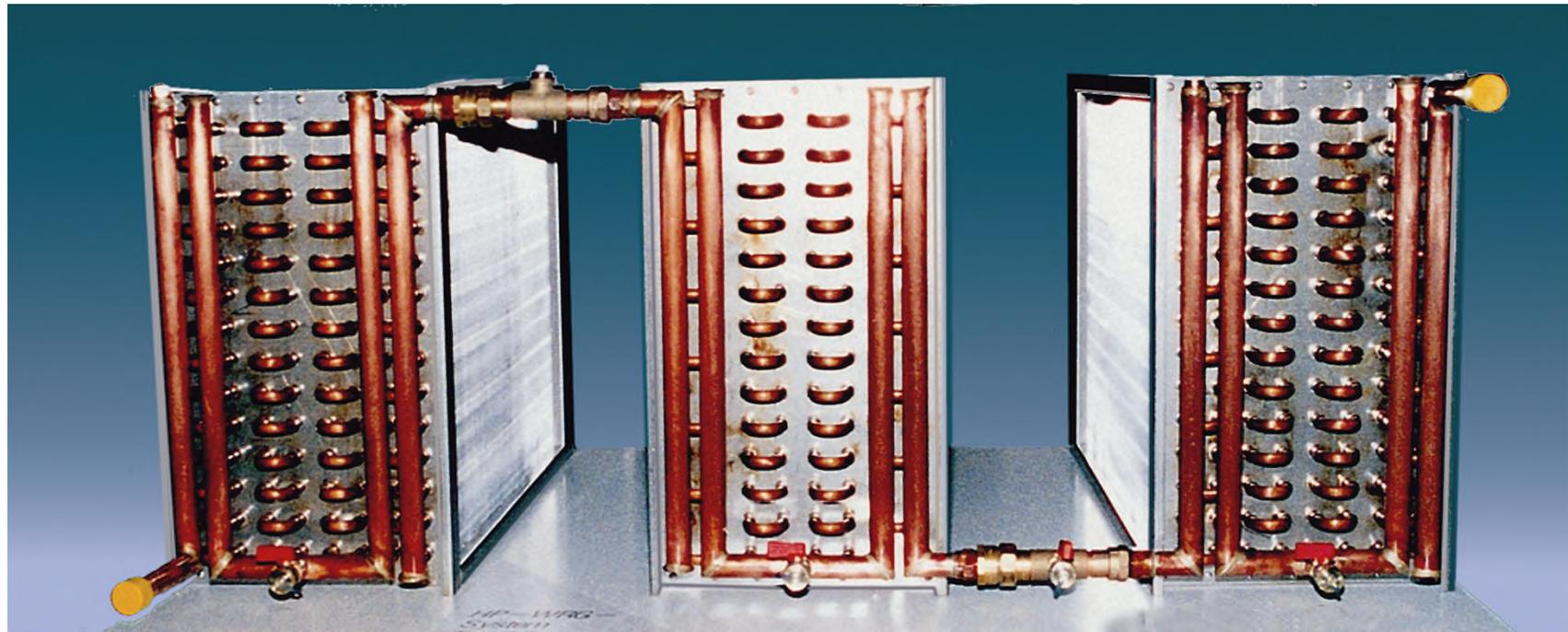


Berippte Wärmeübertrager



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

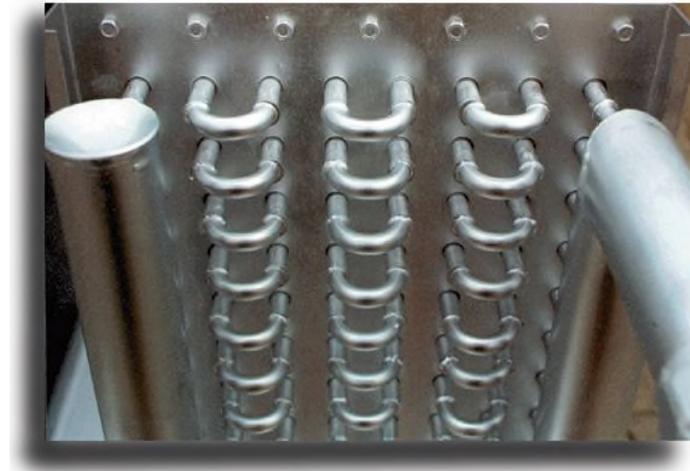


Berippte Wärmeübertrager



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

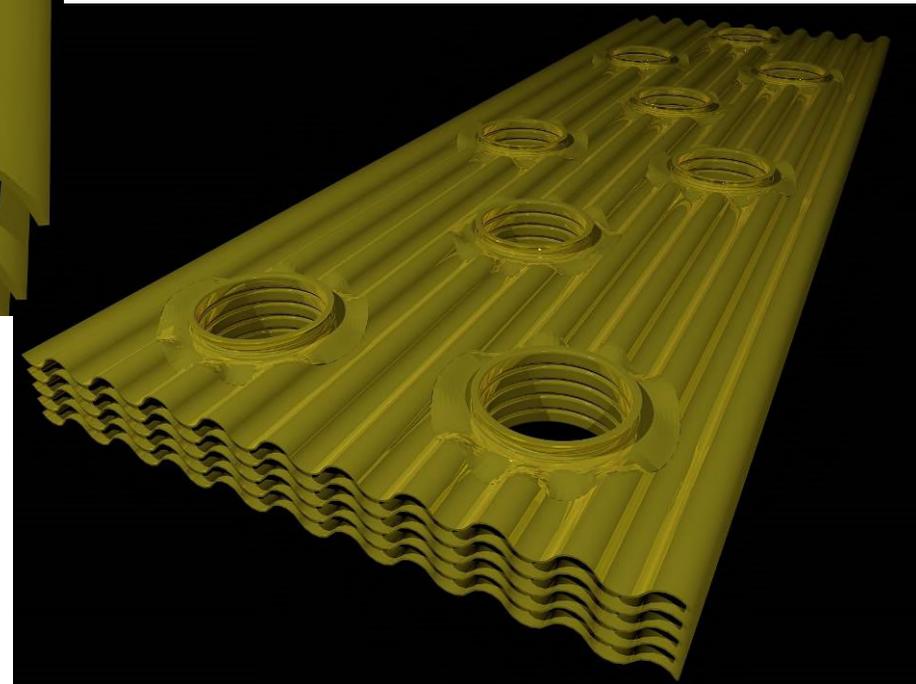
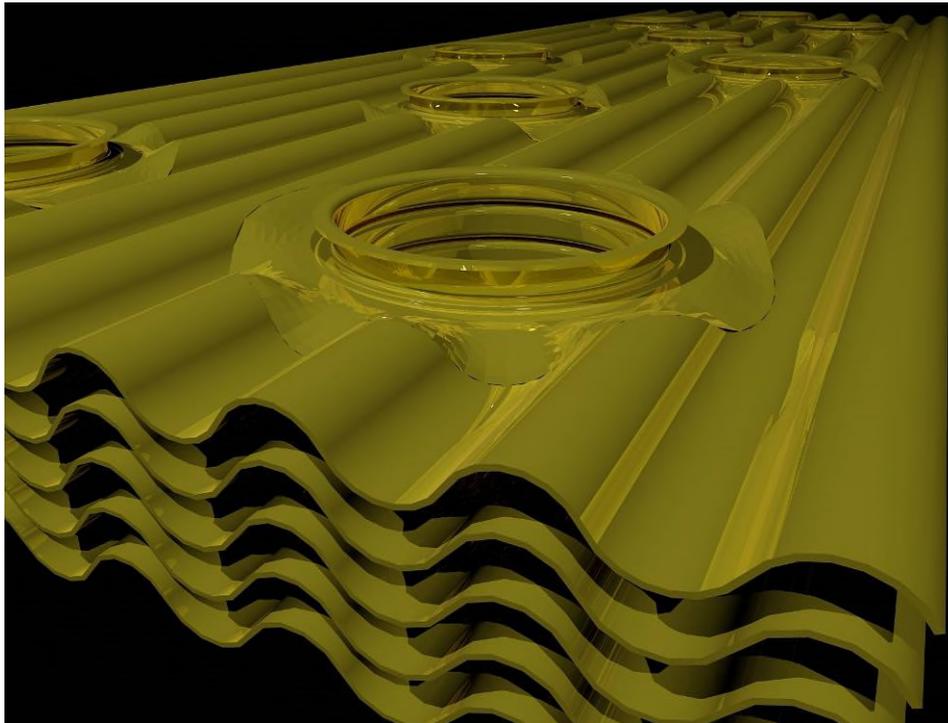


Entwicklung Wärmeübertrager

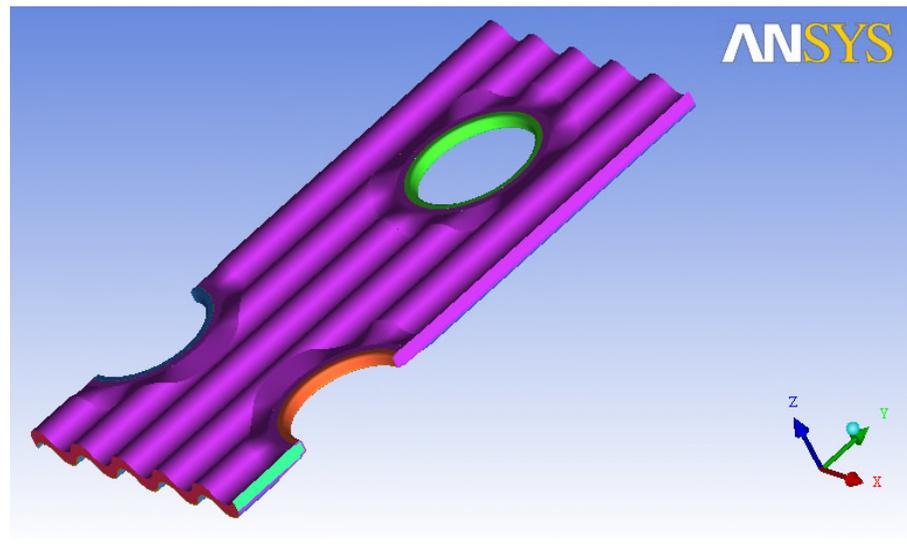
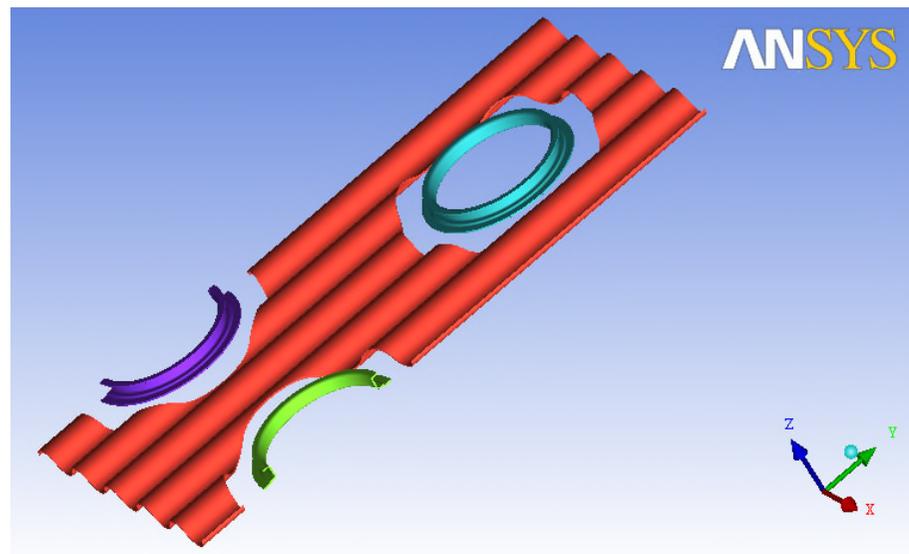
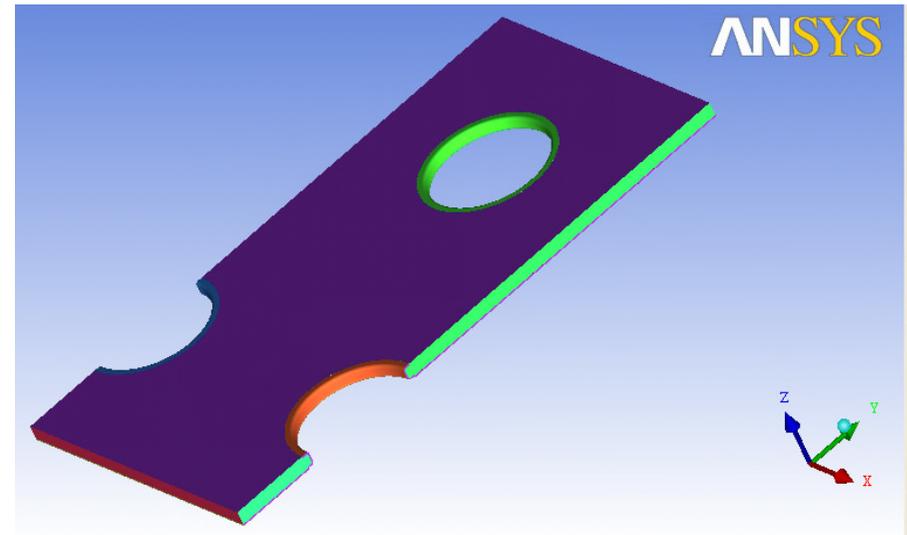
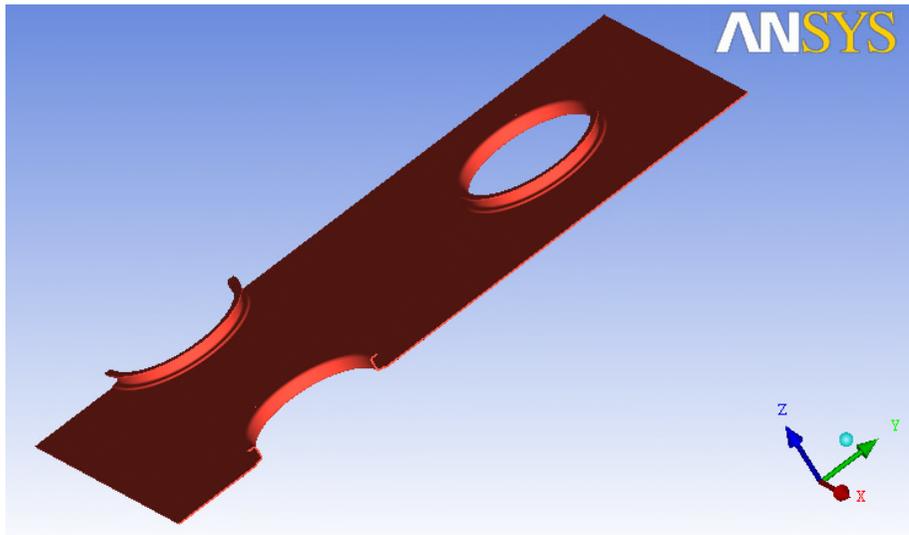


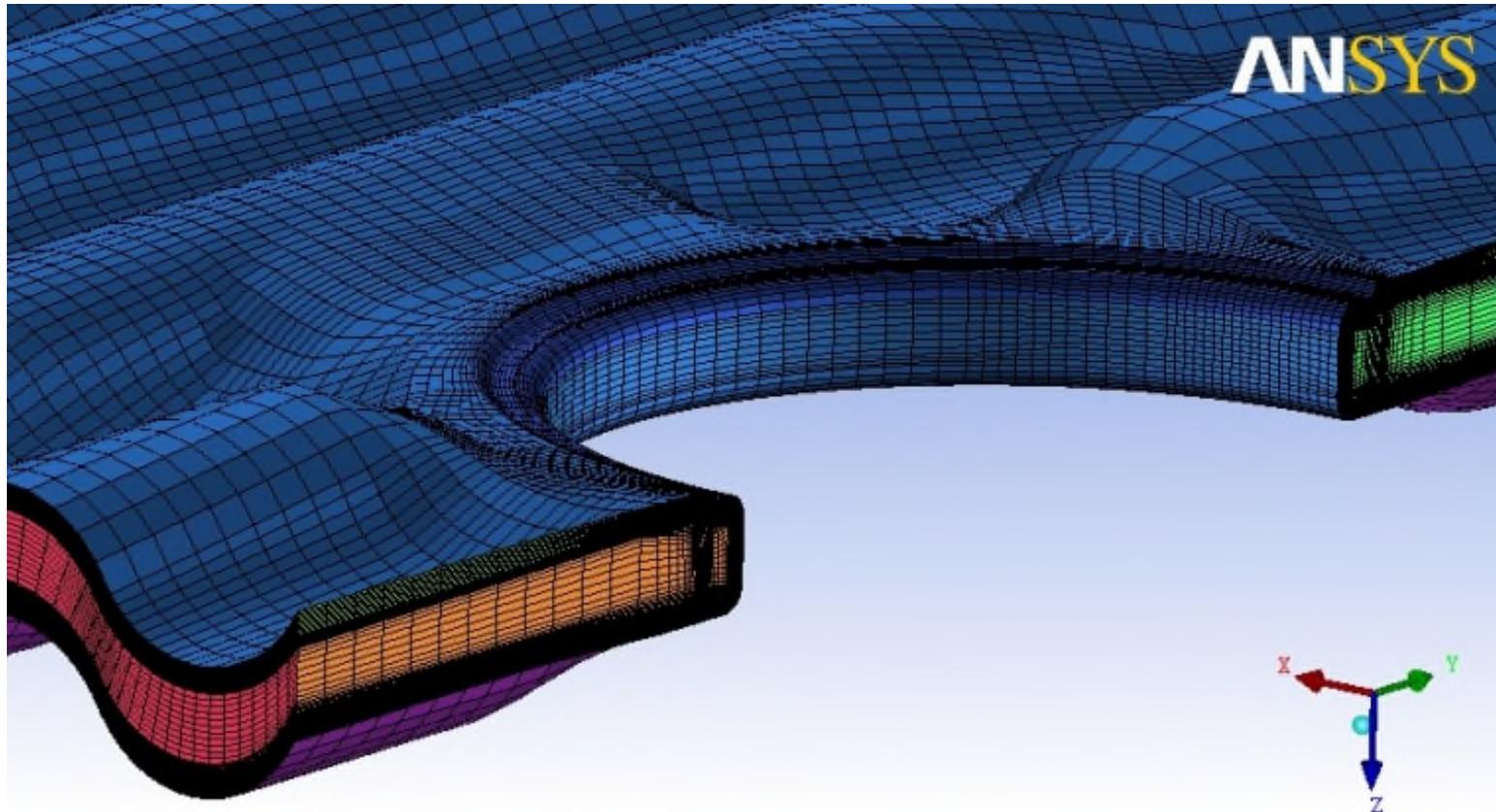
Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R



Entwicklung Wärmeübertrager





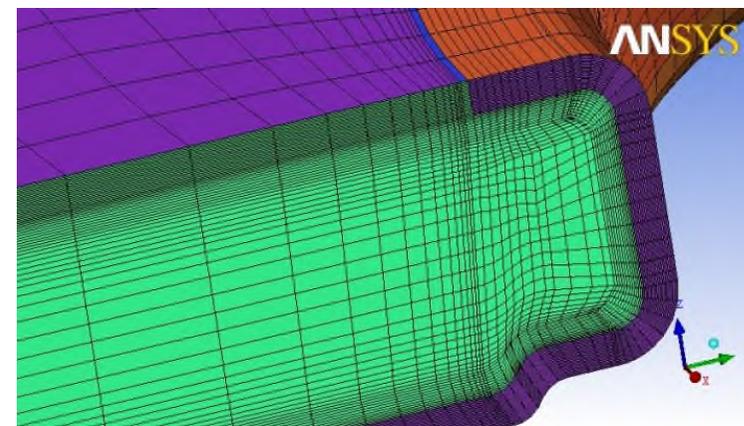
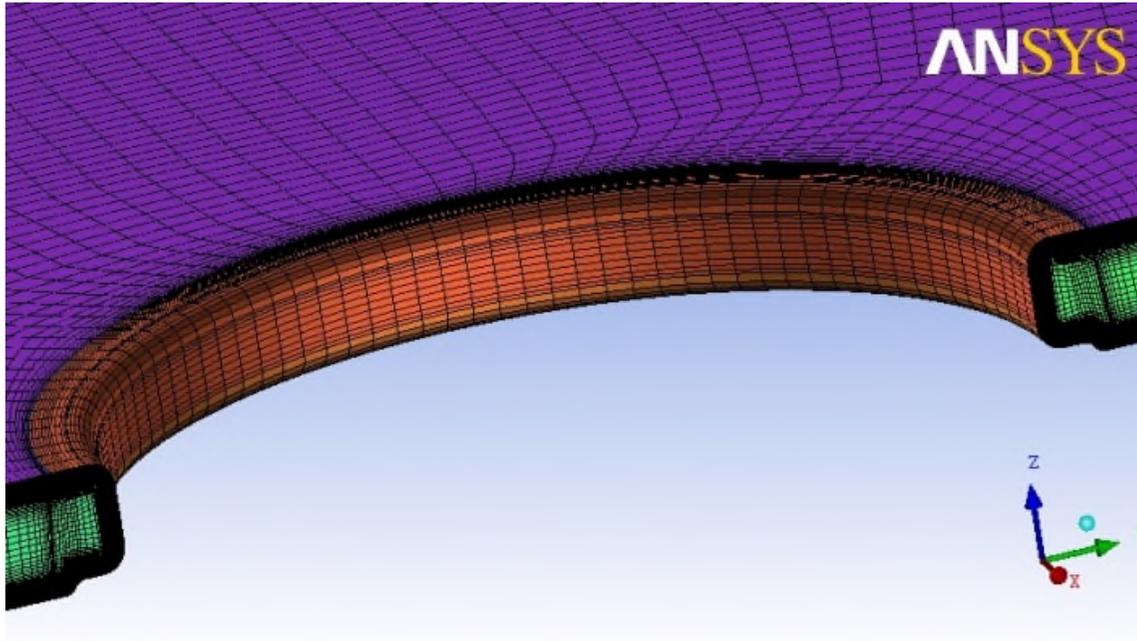
Hexaedergitters der strukturierter Lamelle

Entwicklung Wärmeübertrager



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

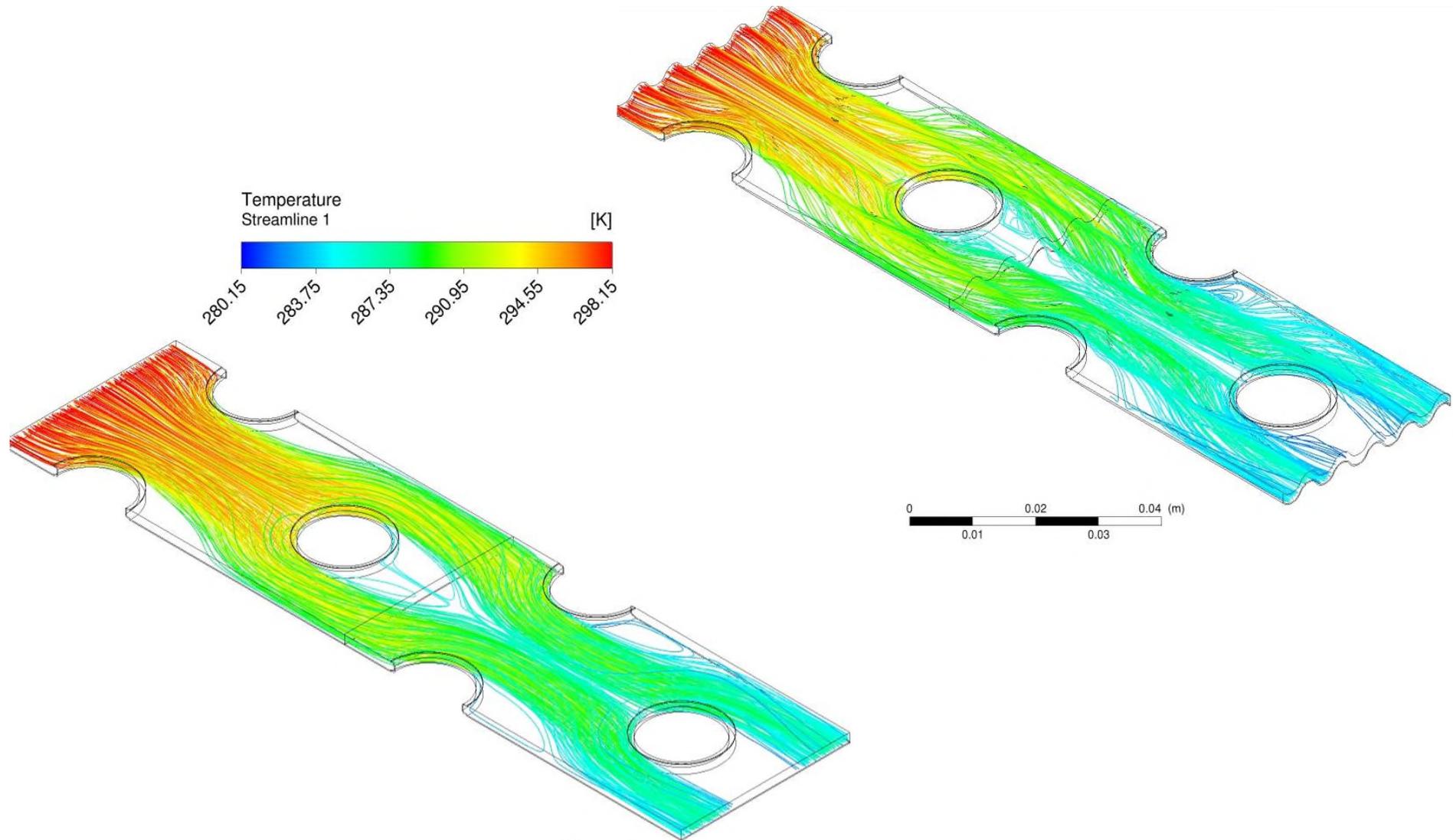


Entwicklung Wärmeübertrager



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R



Entwicklungsergebnisse Messung

Messung *HTL Luzern* 1998

Messung *TÜV Süd* 2012

konv. Lamelle*
LA 2,5 mm

strukturierte Lamelle*
LA 2,7 mm

w	Φ	ΔP	NTU	Φ	ΔP	NTU	NTU Faktor	ΔP
m/s		Pa	„konv.“		Pa	„Struktur“	Faktor	
1,5	0,77	166	3,348	0,79	124	3,673	1,10	0,75
2,5	0,72	364	2,571	0,76	277	3,167	1,23	0,76
3,5	0,70	619	2,333	0,73	480	2,759	1,18	0,77

* Systeme geometrisch baugleich (Rohrreihen, Rohrabstände, Lamellendicke, etc. identisch) Messungen nach EN 308

Entwicklungsergebnisse Messung

Messung *HTL Luzern* 1998

konv. Lamelle*
LA 2,5 mm

w	Φ	ΔP	NTU
m/s		Pa	„konv.“

1,5	0,77	166	3,348
2,5	0,72	364	2,571
3,5	0,70	619	2,333

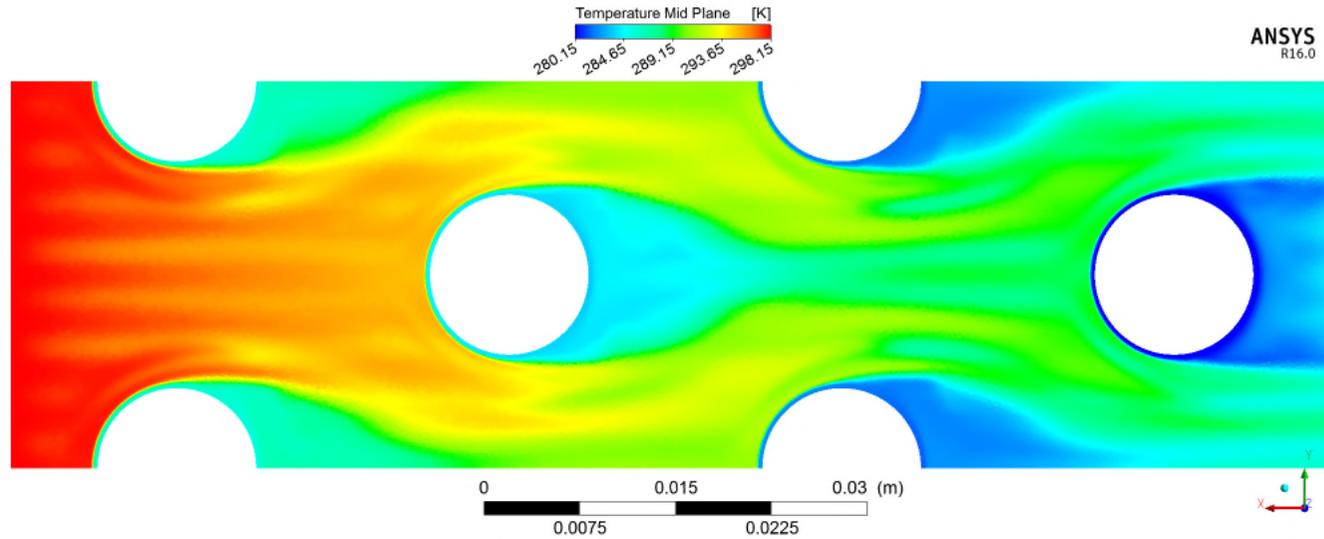
Messung *TÜV Süd* 2012

strukturierte Lamelle*
umgerechnet auf LA 2,5 mm

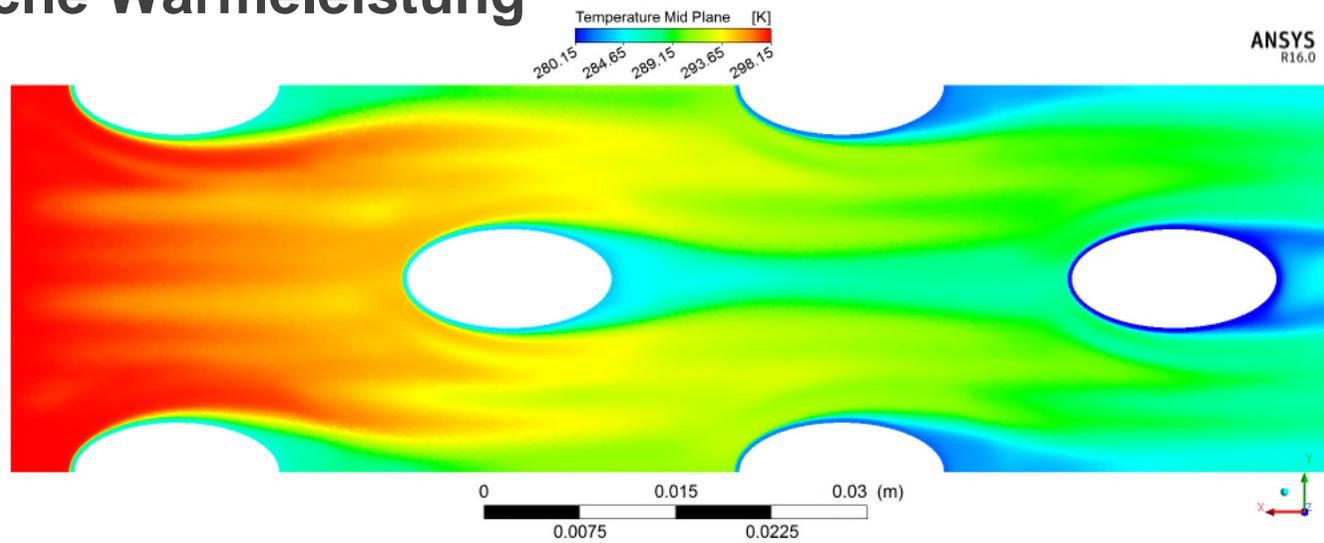
Φ	ΔP	NTU	NTU Faktor	Faktor ΔP
	Pa	„Struktur“	Faktor	

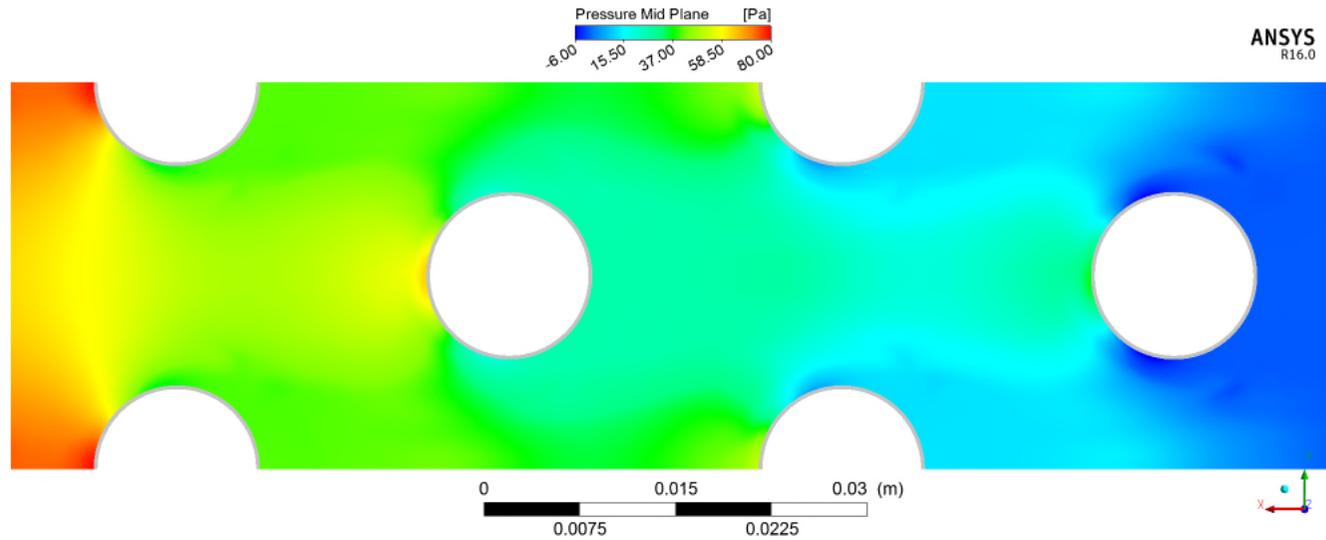
0,80	140	3,967	1,18	0,84
0,77	313	3,420	1,33	0,86
0,75	543	2,980	1,28	0,88

* Systeme geometrisch baugleich (Rohrreihen, Rohrabstände, Lamellendicke, etc. identisch) Messungen nach EN 308

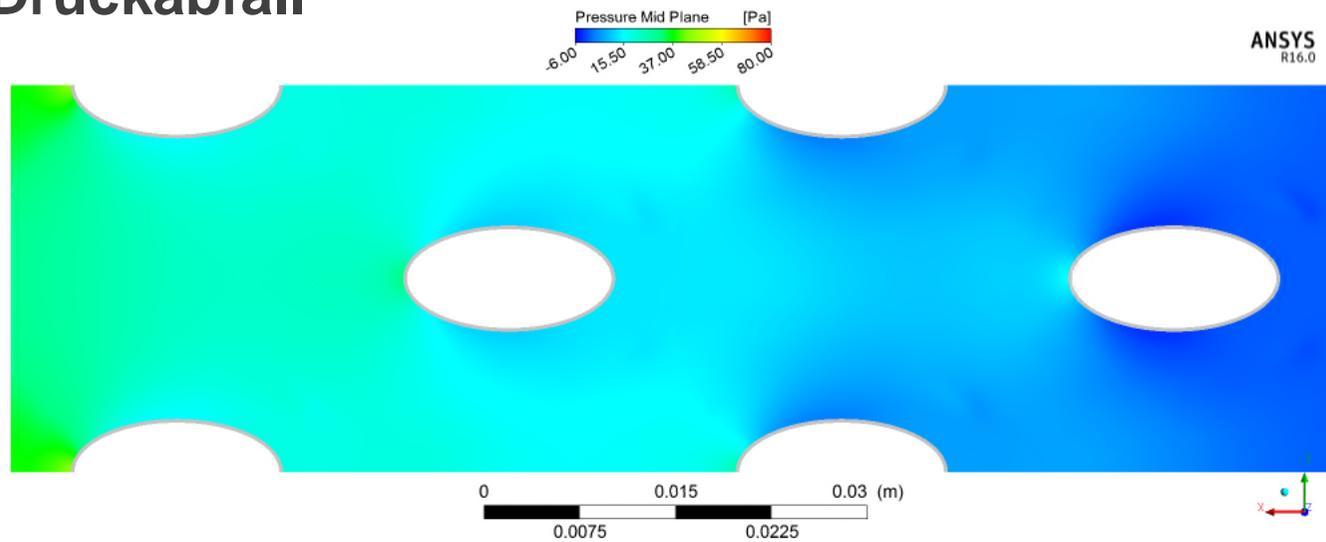


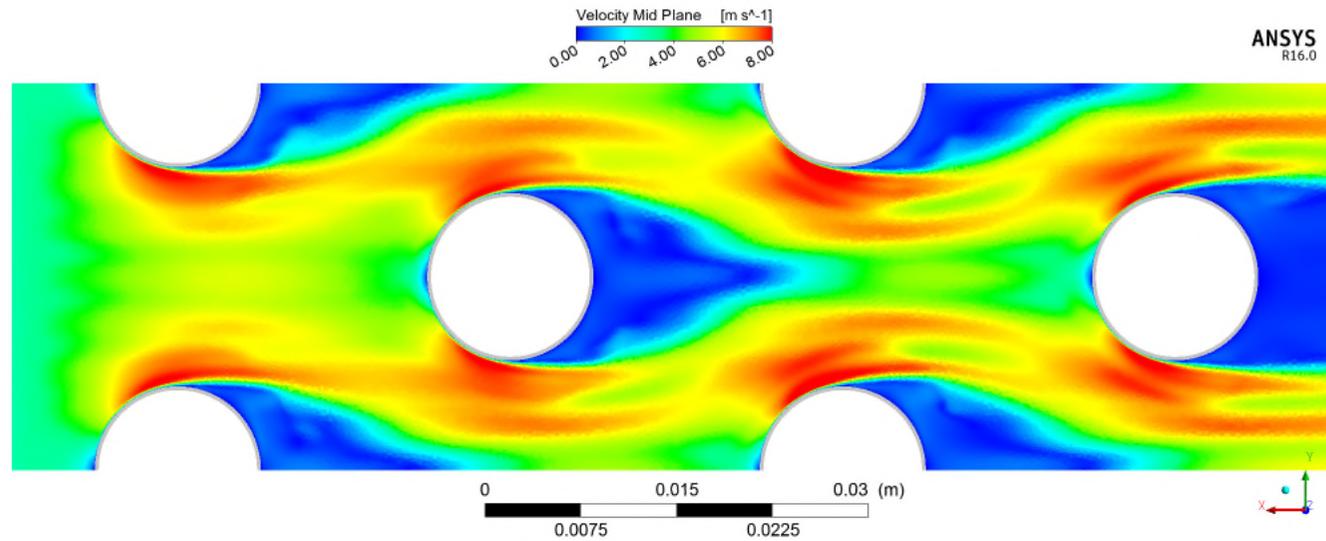
Identische Wärmeleistung



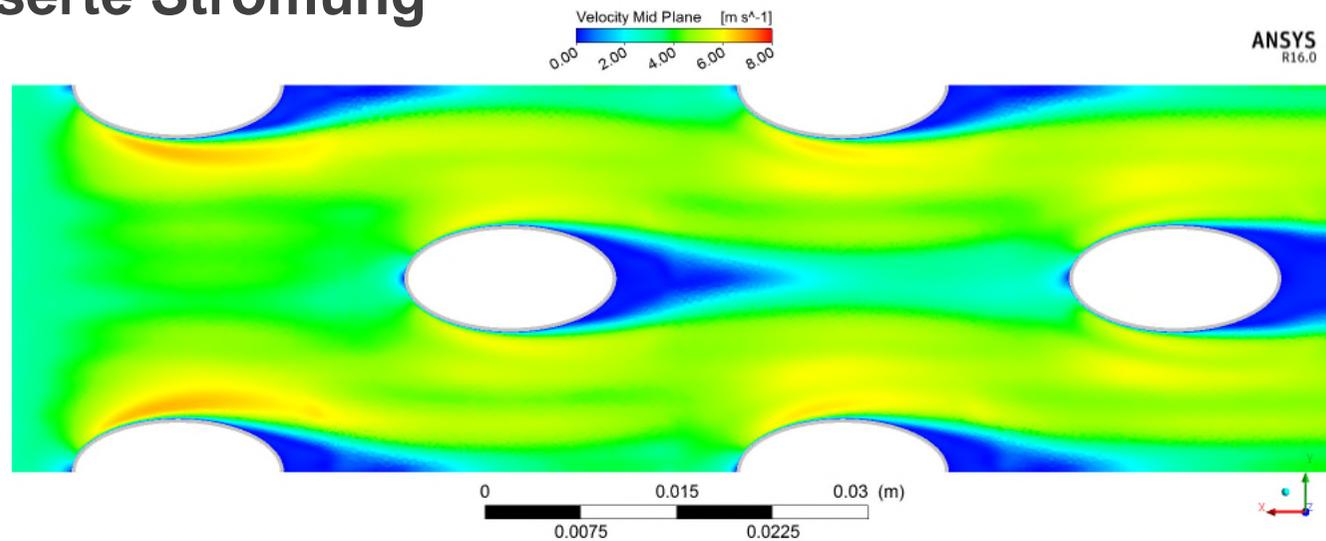


- 40 % Druckabfall

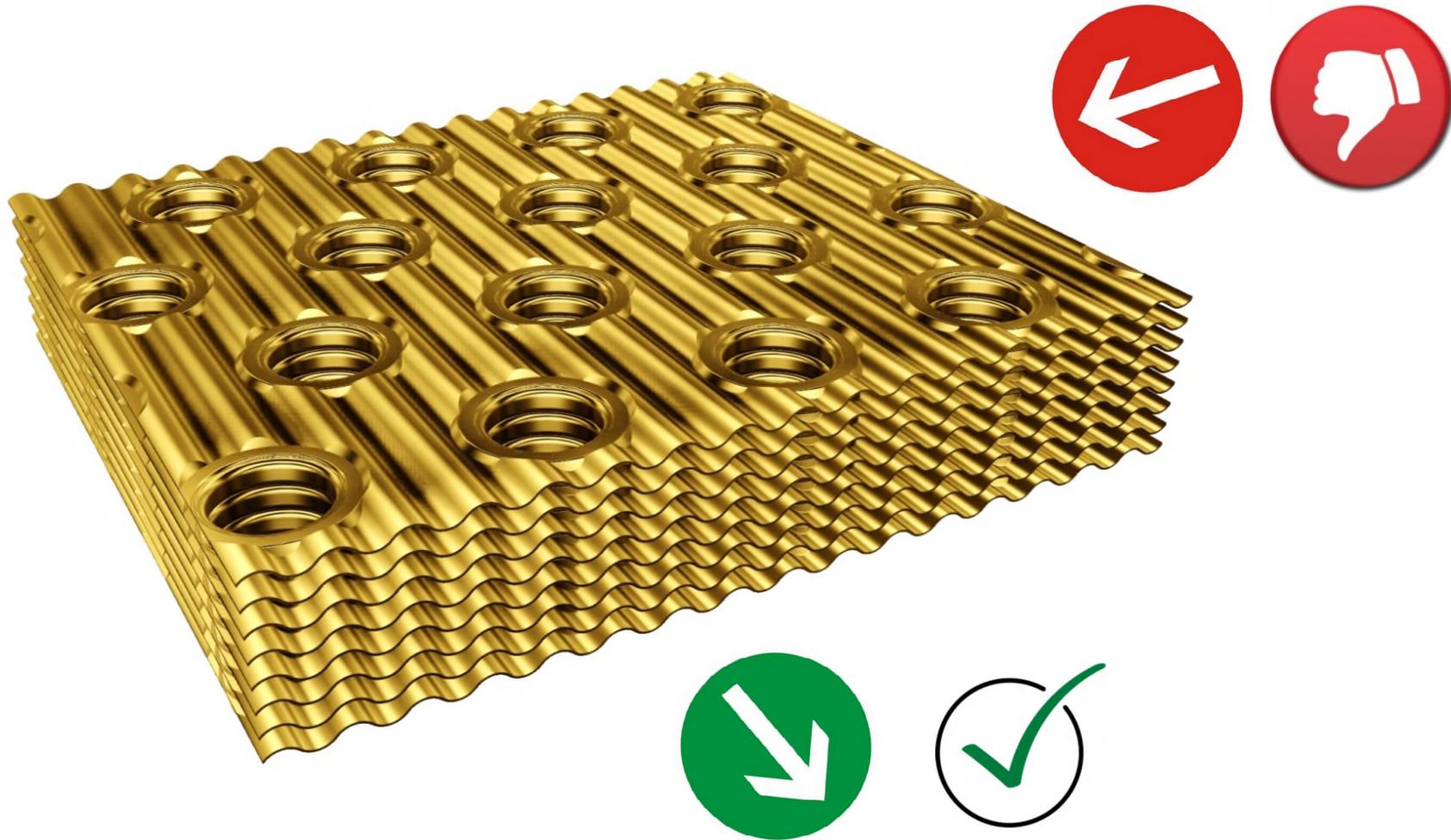




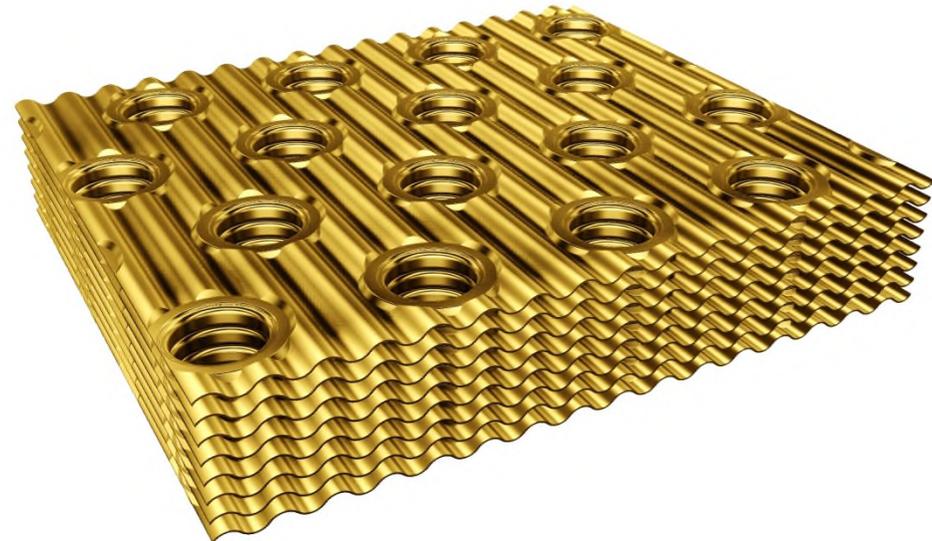
Verbesserte Strömung



Ovalrohrtechnologie



Ovalrohrtechnologie



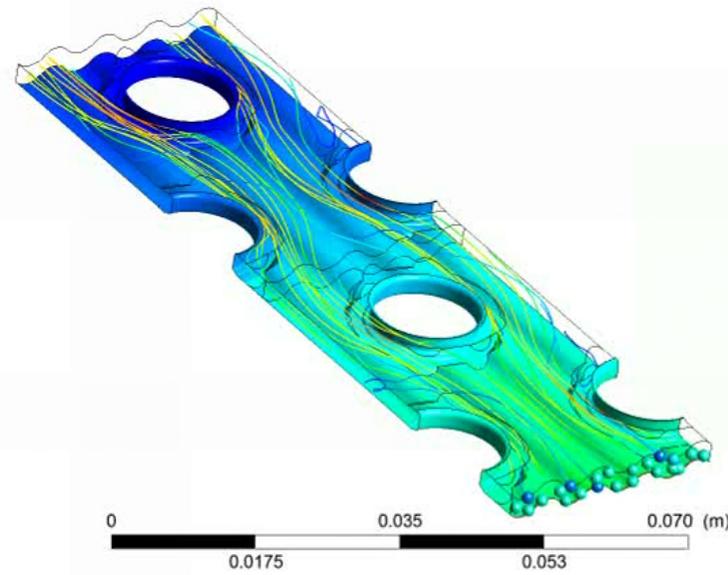
Druckverlustreduktion
Ovalrohr gegenüber
Rundrohr ~ **40 %**

Ovalrohrtechnologie



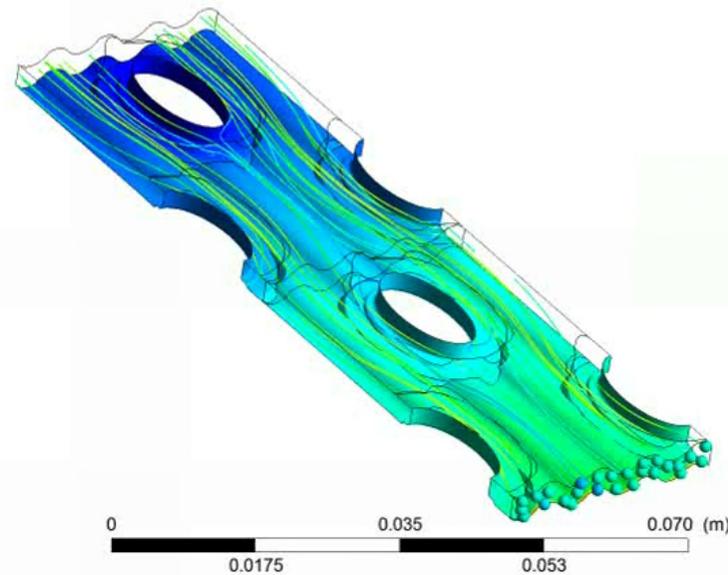
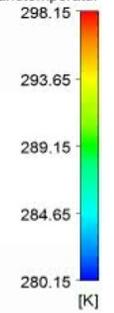
Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R



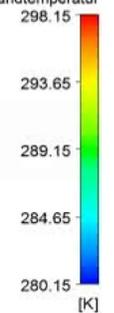
ANSYS
R16.0

Rundrohe: Strömungslinien mit Wandtemperatur

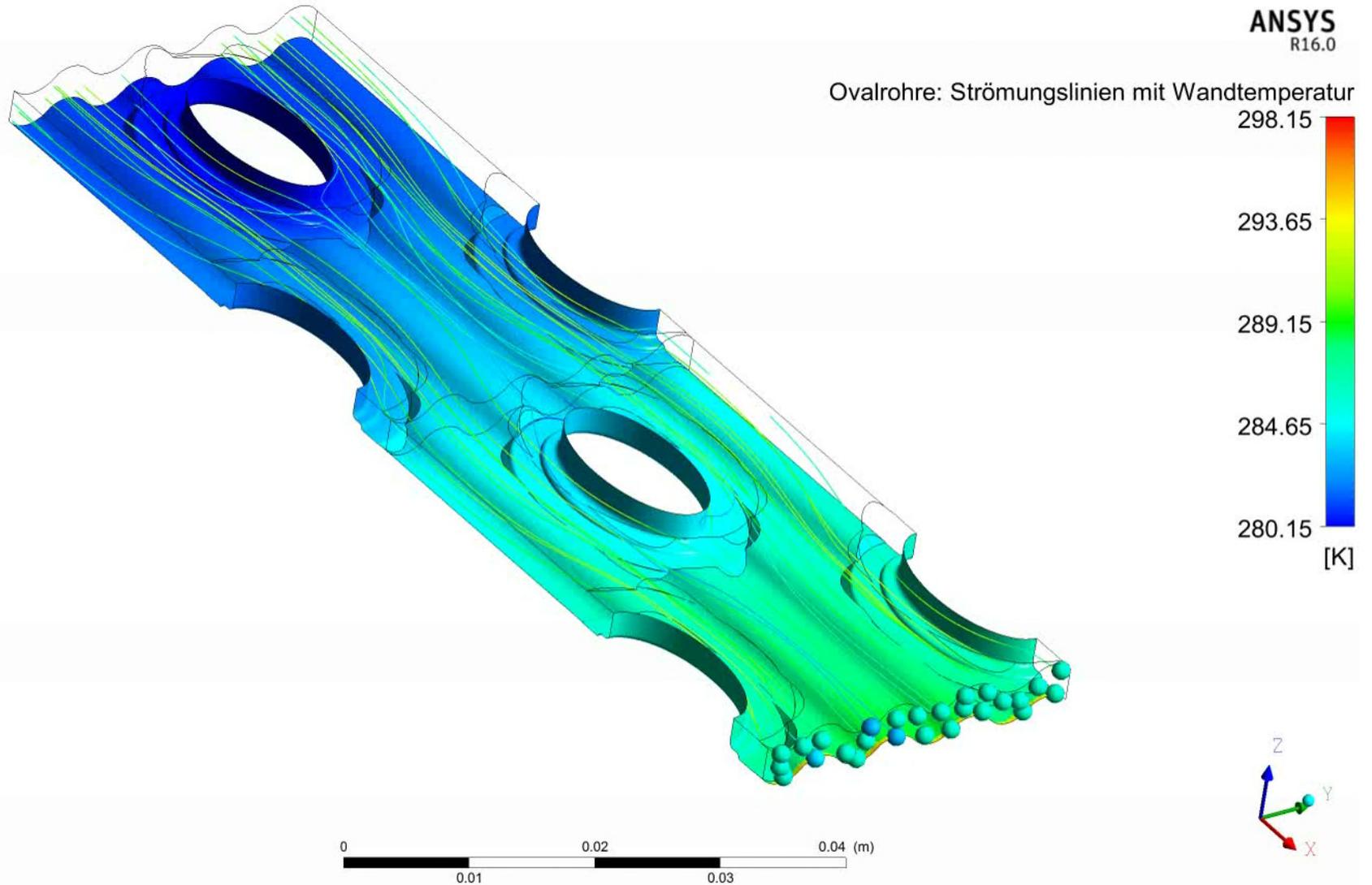


ANSYS
R16.0

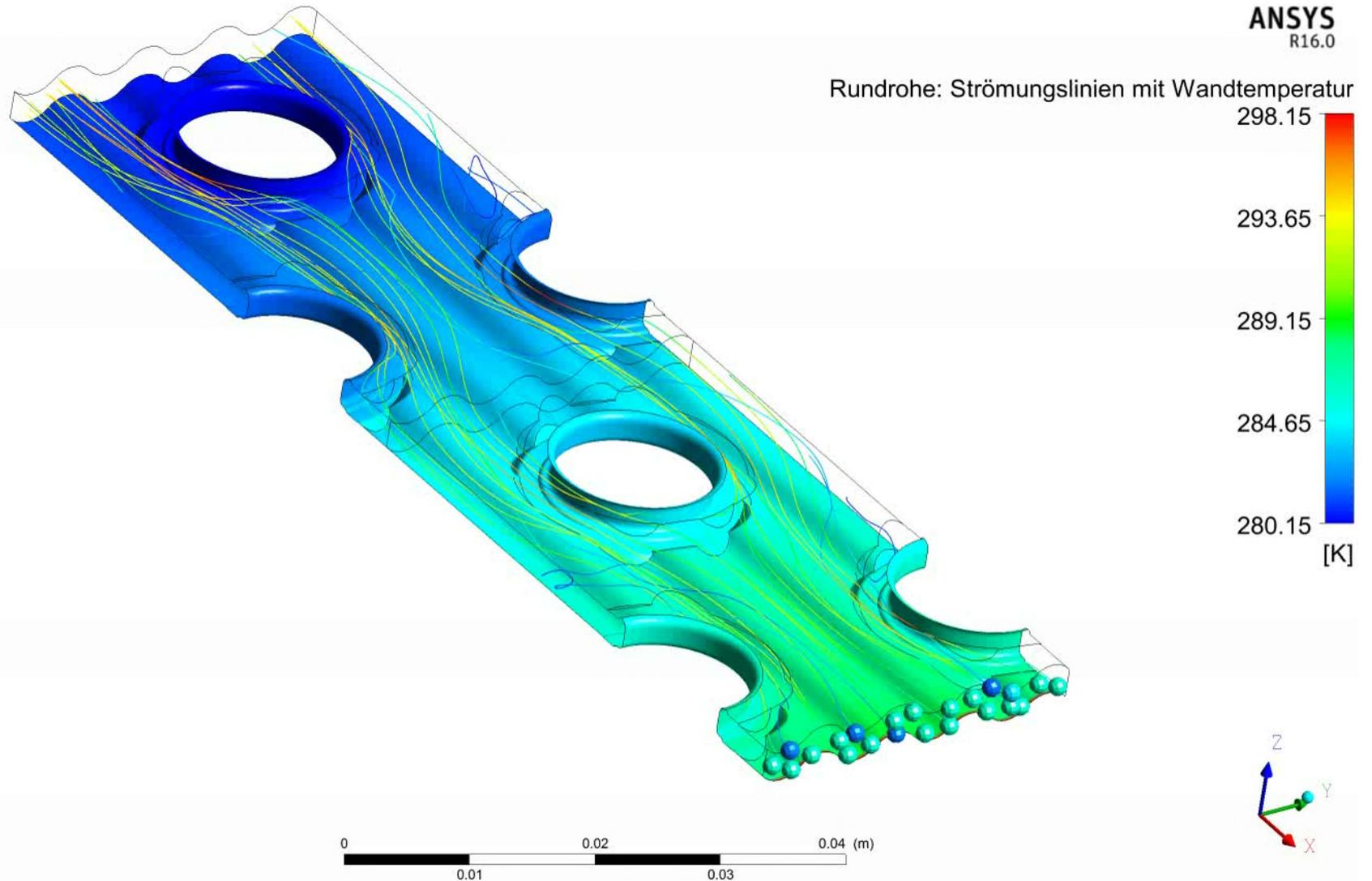
Ovalrohe: Strömungslinien mit Wandtemperatur



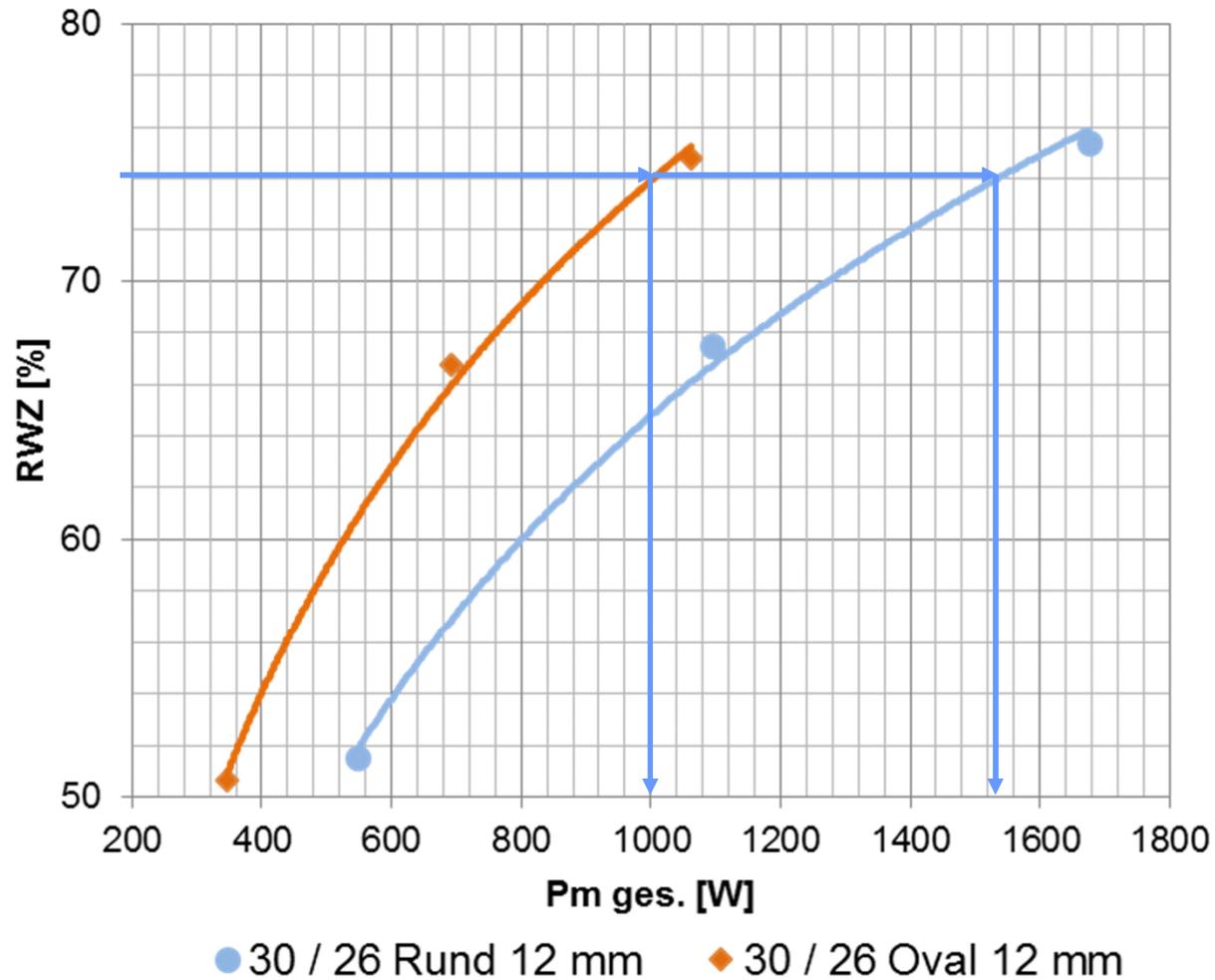
Ovalrohrtechnologie



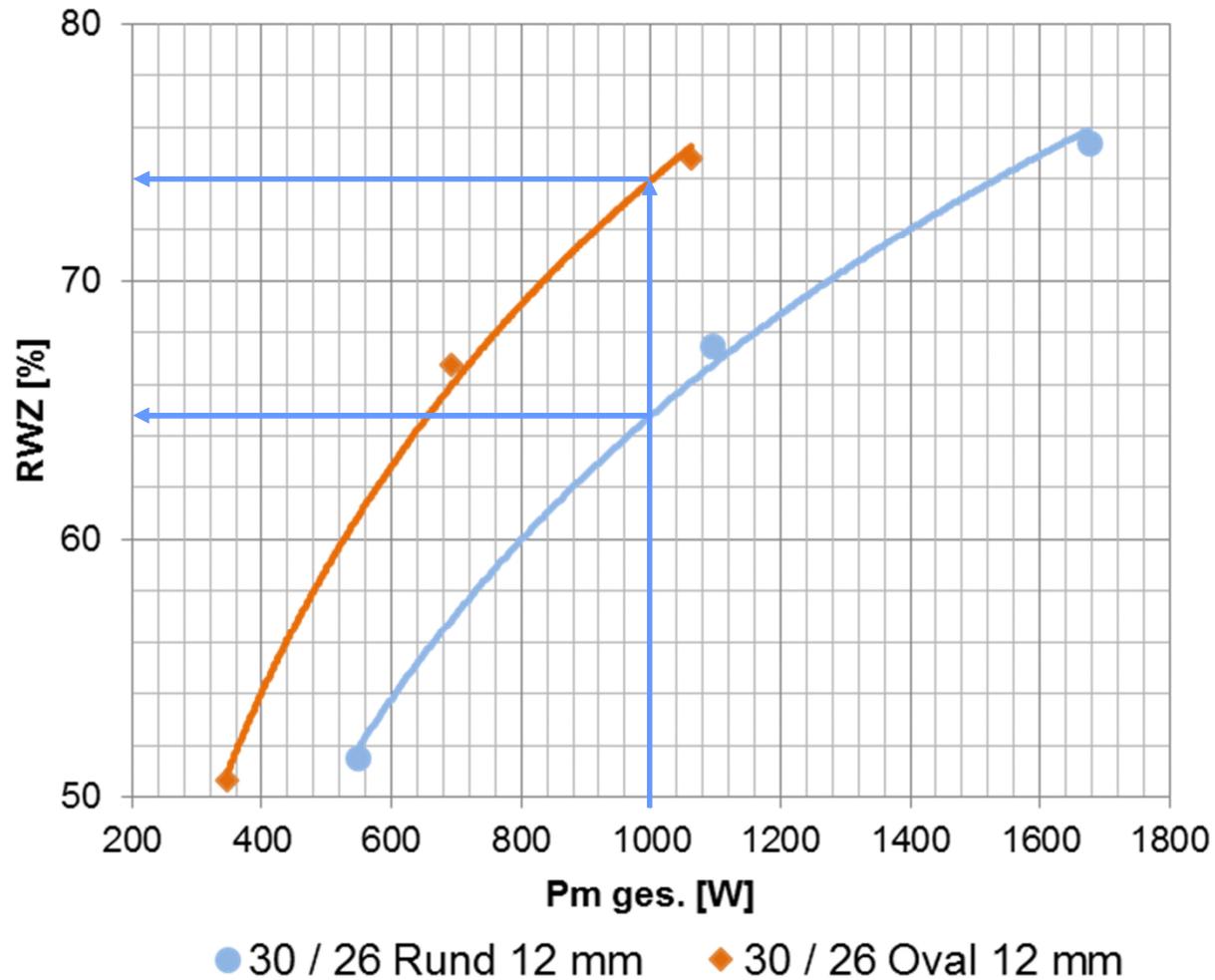
Ovalrohrtechnologie

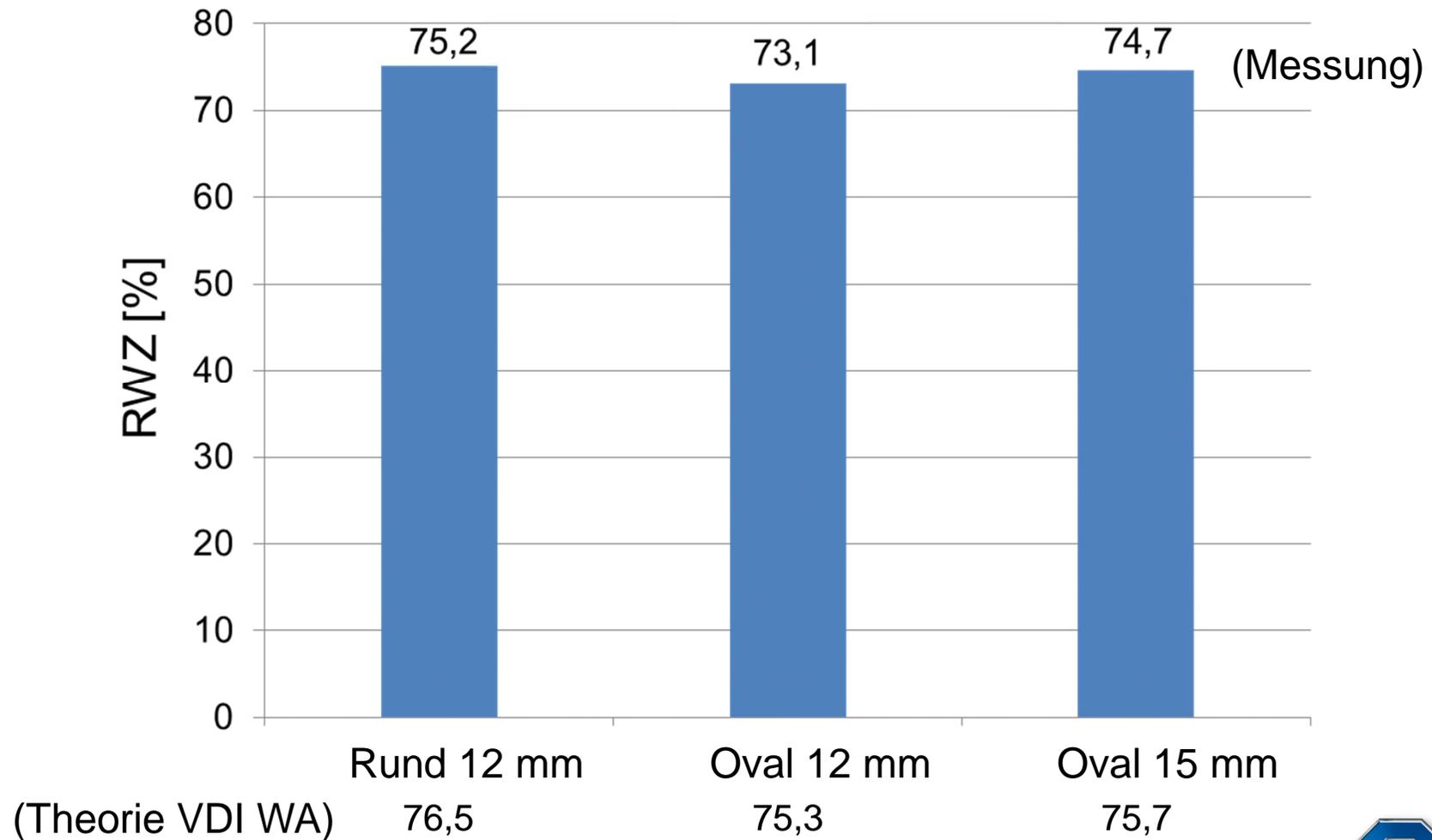


Nutzen über Aufwand (über NTU umgerechnet)



Nutzen über Aufwand (über NTU umgerechnet)

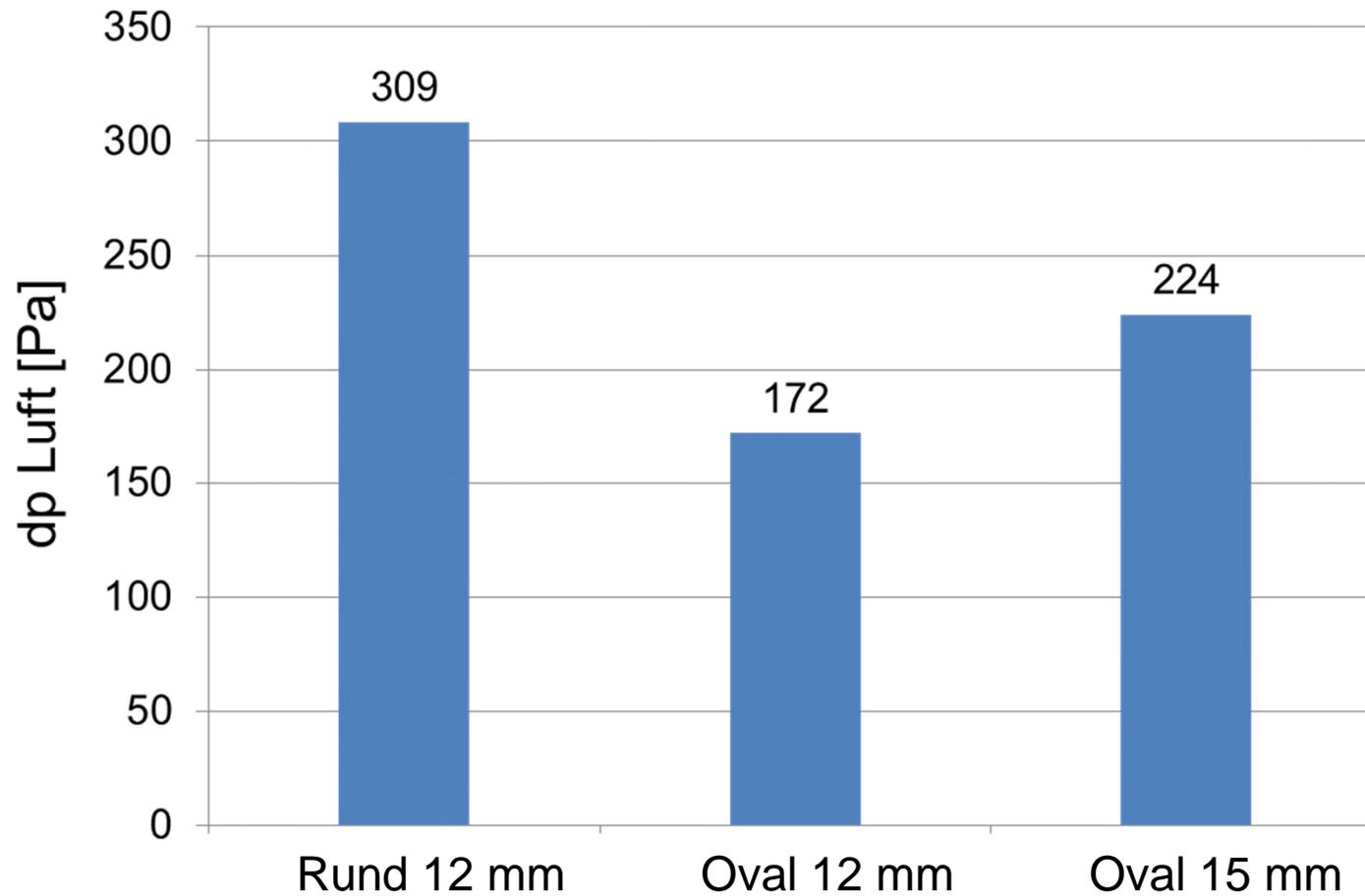




Messung TÜV Süd an Baumustern



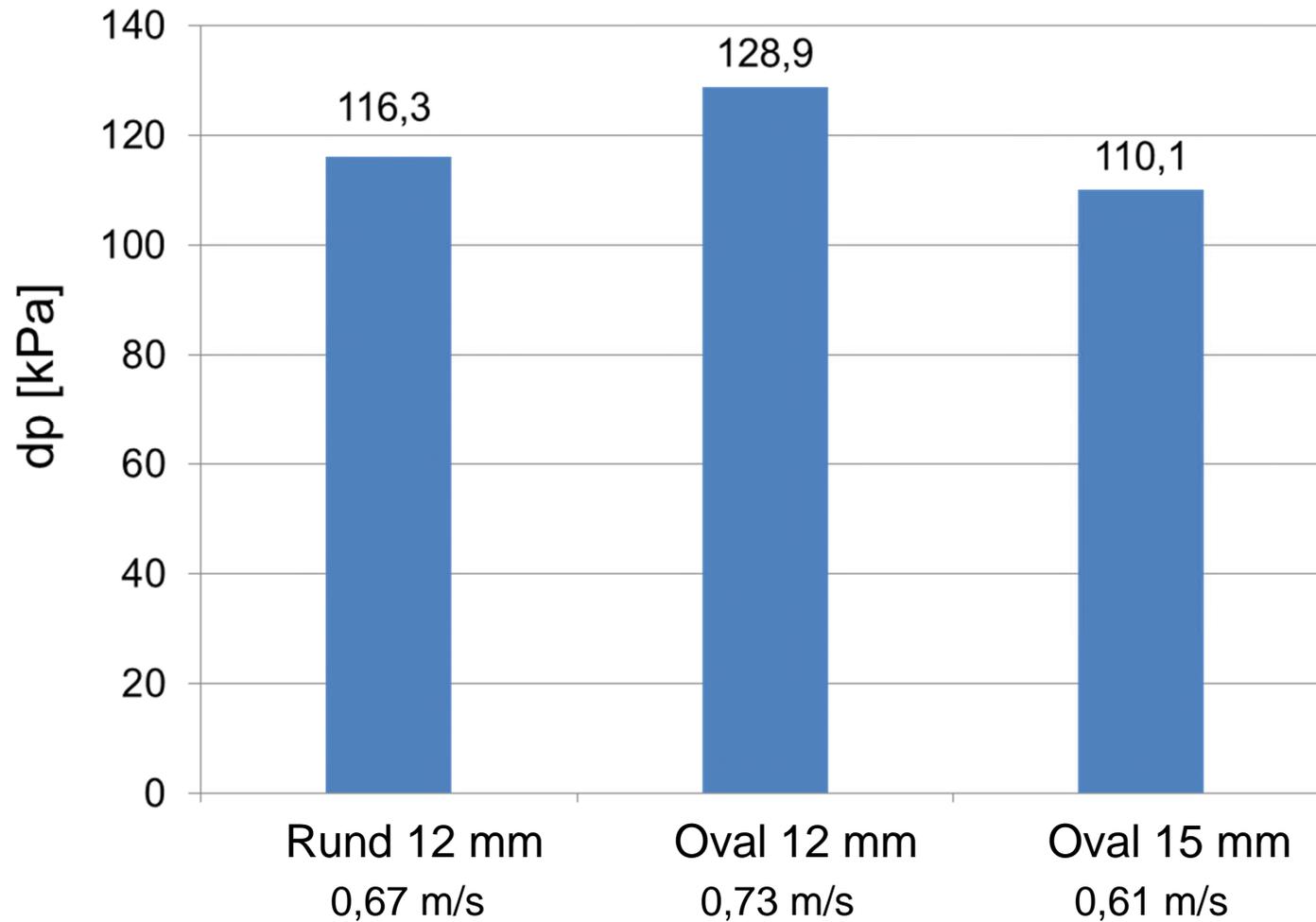
Industrie Service



Messung TÜV Süd an Baumustern



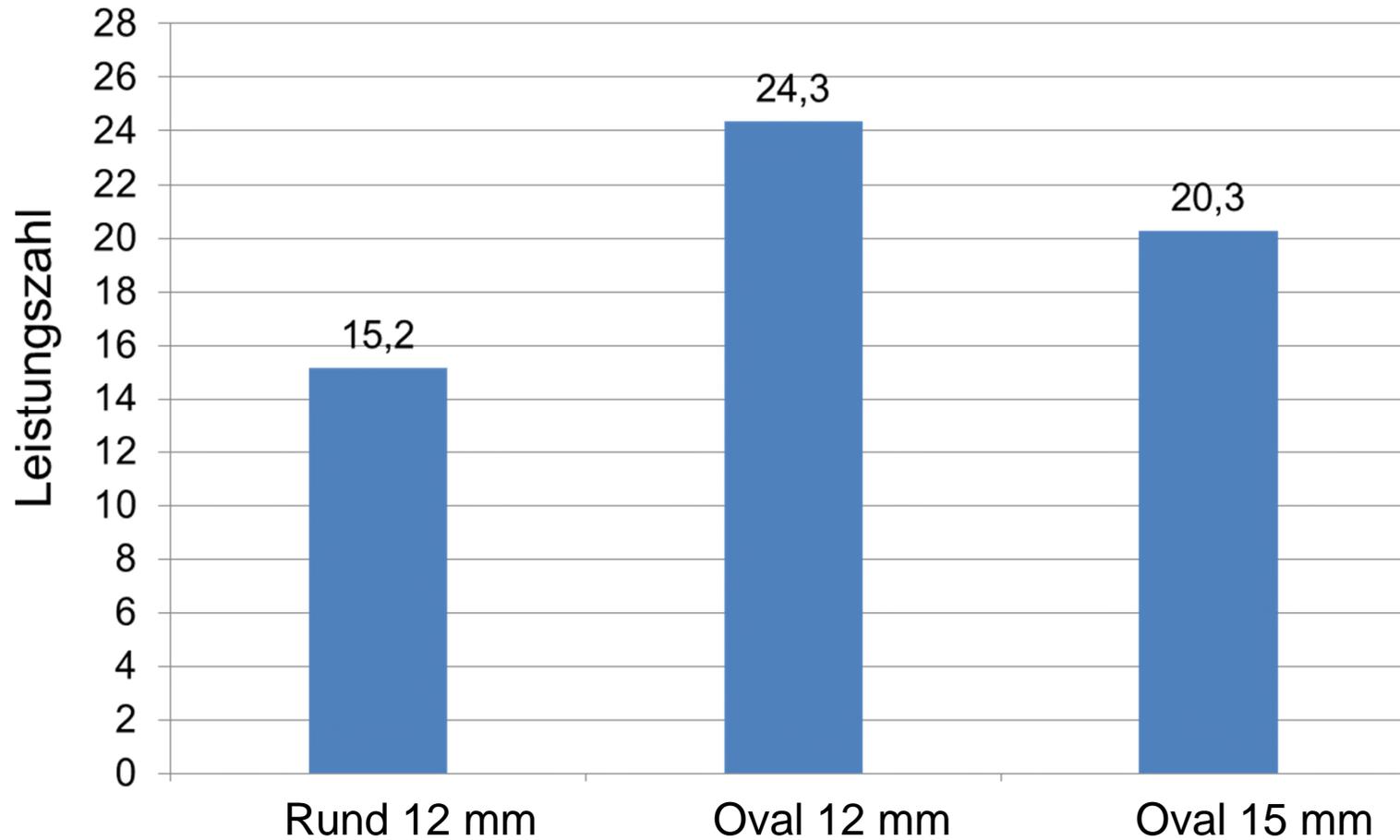
Industrie Service



Messung TÜV Süd an Baumustern



Industrie Service

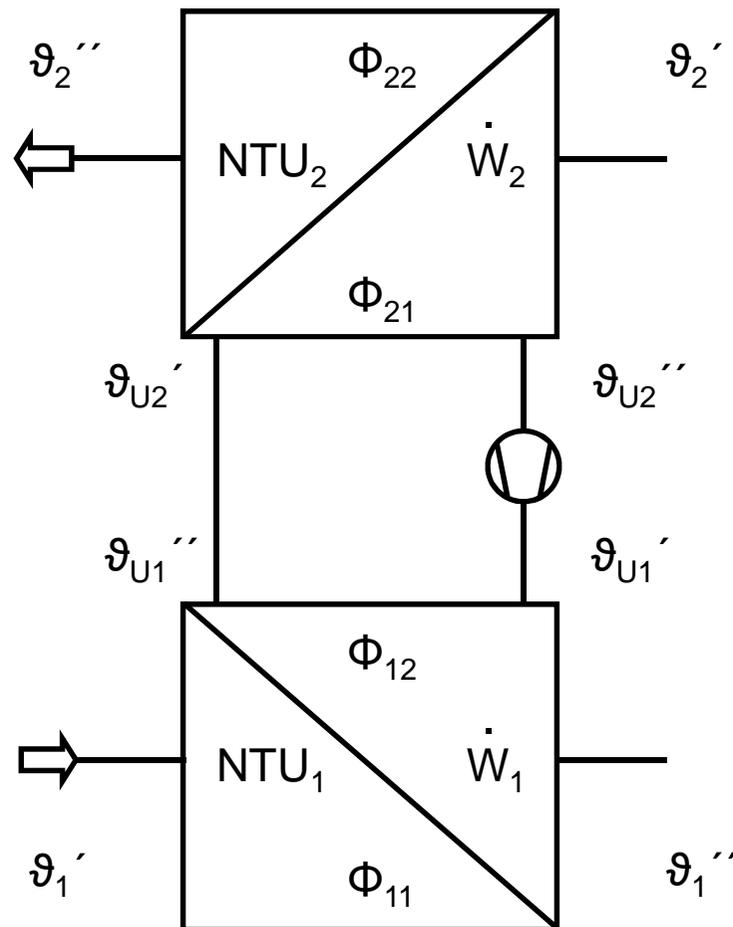


Messung TÜV Süd an Baumustern



Industrie Service

Gekoppelte Wärmeübertrager



Gekoppelte Wärmeübertrager

Apparat 1

$$NTU_{11} = (k \cdot A)_1 / \dot{W}_1$$

$$\mu_{11} = \dot{W}_1 / \dot{W}_u$$

$$\Phi_{11} = (\vartheta_1' - \vartheta_1'') / (\vartheta_1' - \vartheta_{u1}')$$

Gekoppelte Wärmeübertrager

Apparat 2

$$NTU_{22} = (k \cdot A)_2 / \dot{W}_2$$

$$\mu_{22} = \dot{W}_2 / \dot{W}_u$$

$$\Phi_{22} = (\vartheta_2' - \vartheta_2'') / (\vartheta_{u2}' - \vartheta_2')$$

Gekoppelte Wärmeübertrager

Für das Gesamtsystem gilt:

$$\Phi_{2\text{ges}} = (\vartheta_2'' - \vartheta_2') / (\vartheta_1' - \vartheta_2')$$

$$\mu_{2\text{ges}} = \dot{W}_2 / \dot{W}_1 = 1 / \mu_{1\text{ges}}$$

Gekoppelte Wärmeübertrager

Dimensionslose Temperaturänderung des Gesamtsystems

$$1 / \Phi_{2\text{ges}} = 1 / \Phi_{22} + 1 / \Phi_{11} \cdot \mu_{2\text{ges}} - \mu_{22}$$

Gekoppelte Wärmeübertrager

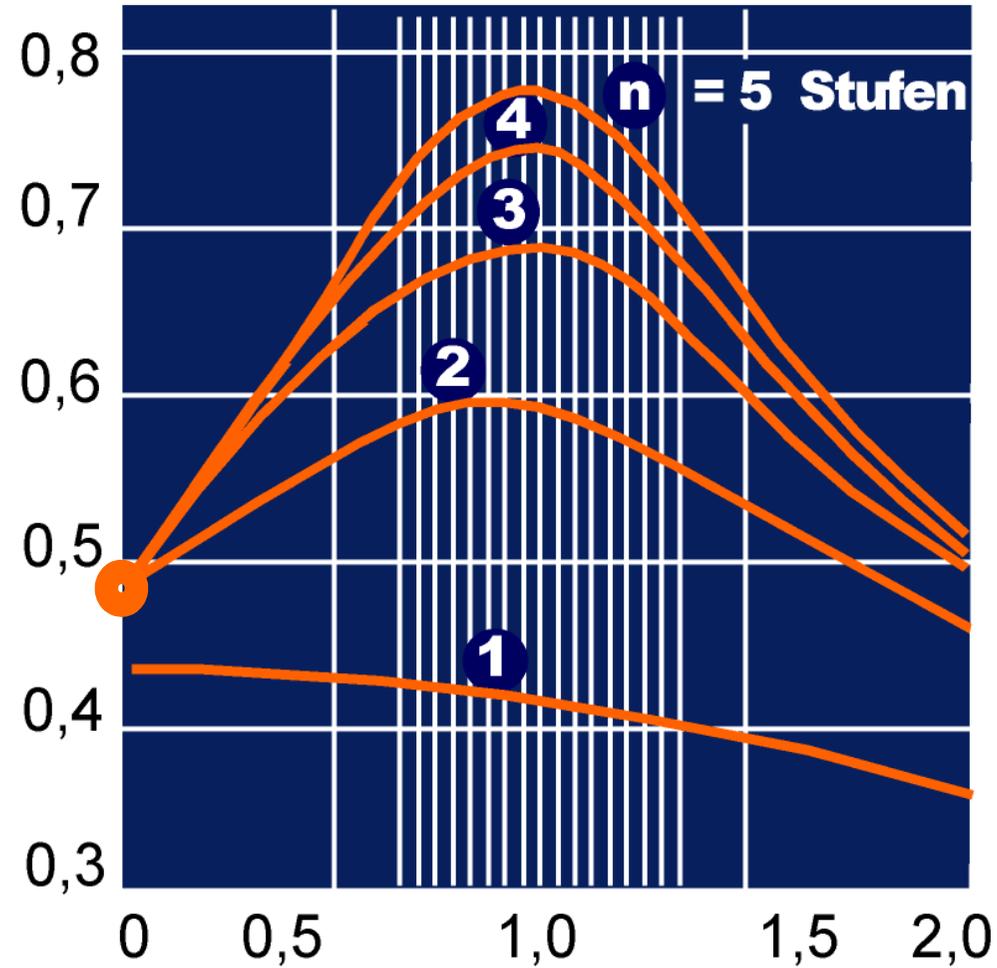
Optimaler umlaufender Wärmekapazitätsstrom

$$1 / \dot{W}_{\text{sopt}} = (k \cdot A)_1 / [(k \cdot A)_1 + (k \cdot A)_2] / \dot{W}_1 + (k \cdot A)_2 / [(k \cdot A)_1 + (k \cdot A)_2] / \dot{W}_2$$

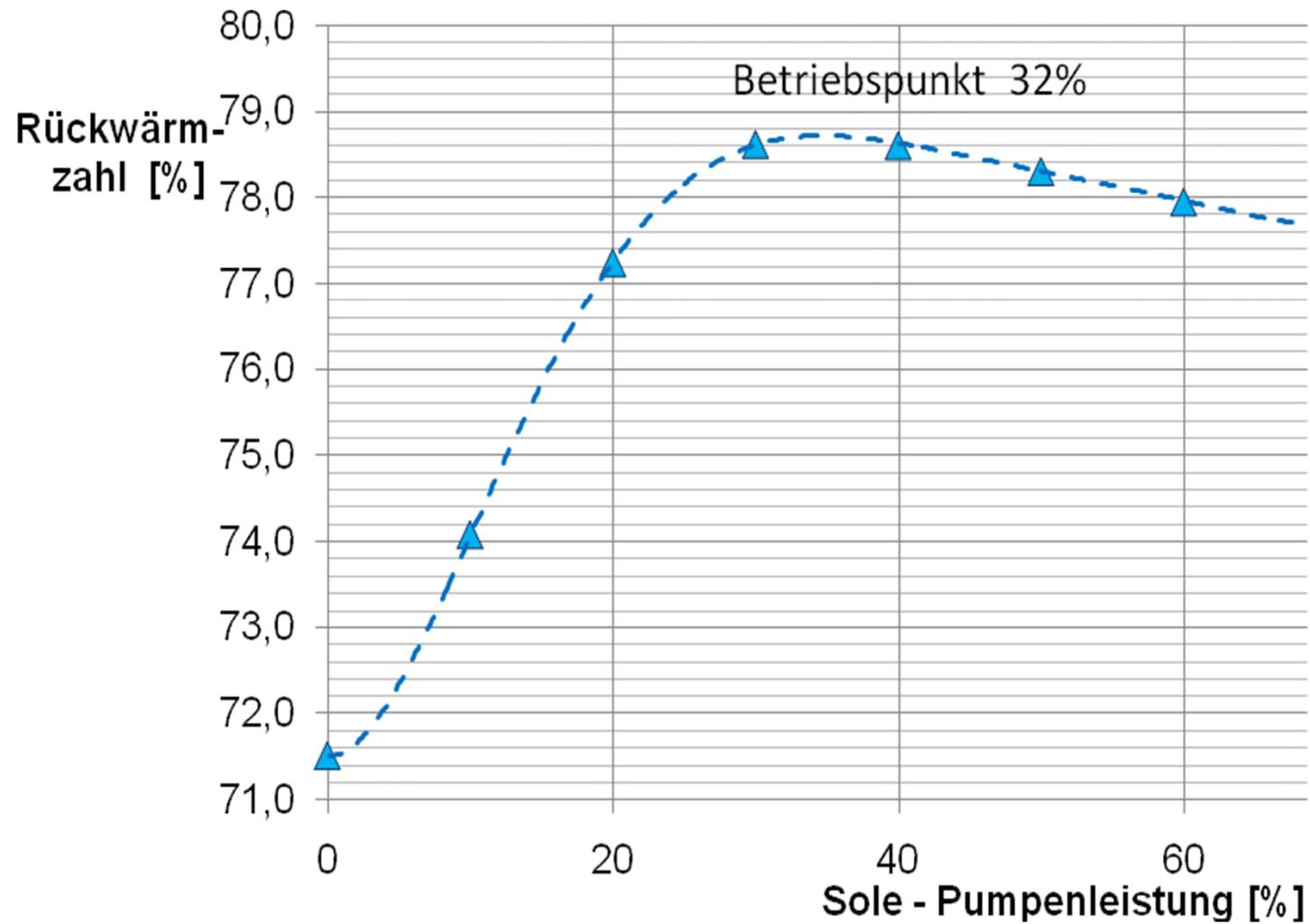
$$\mu_{22} = \dot{W}_2 / \dot{W}_u$$

$$\mu_{11} = \dot{W}_1 / \dot{W}_u$$

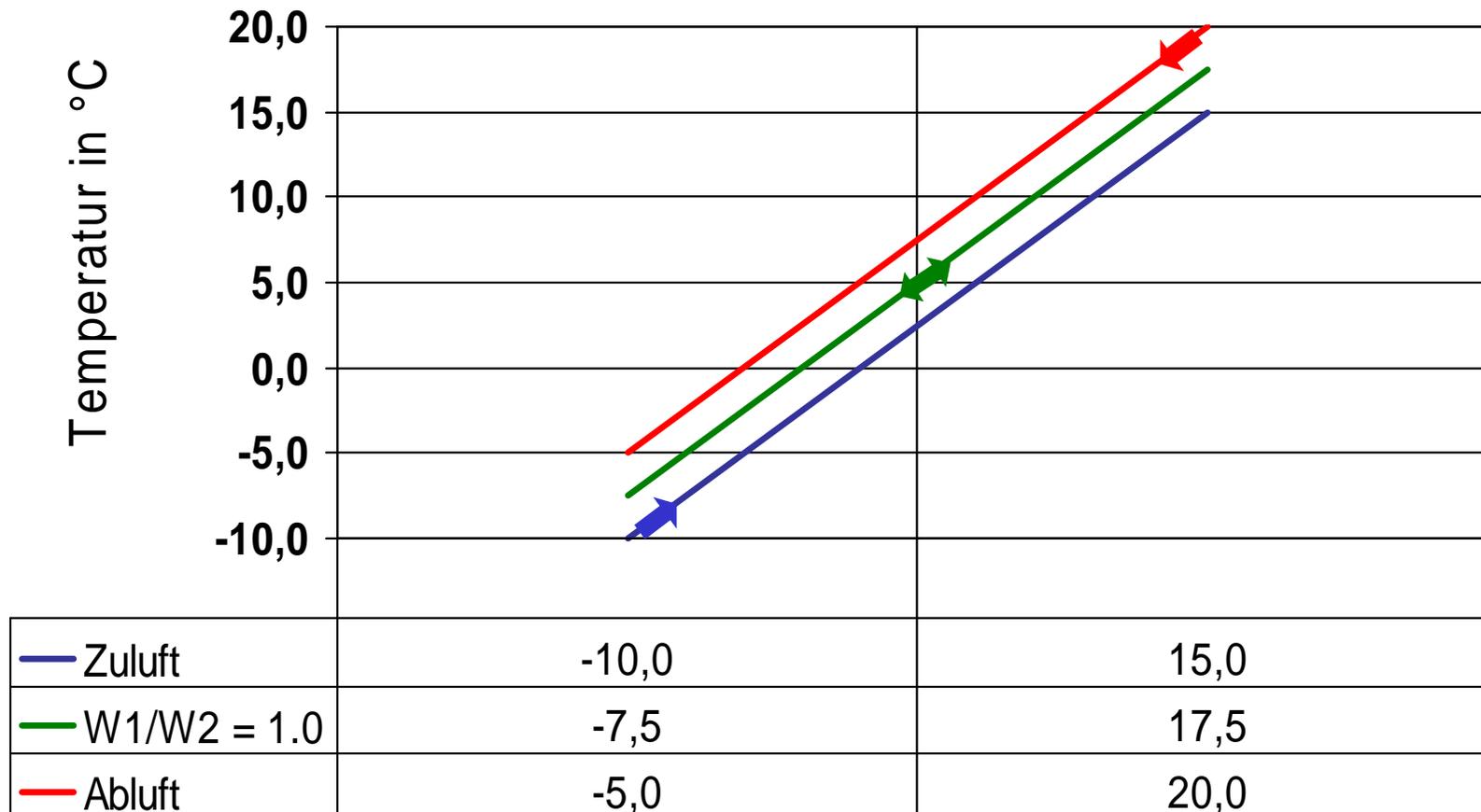
Wärmekapazitätenströme



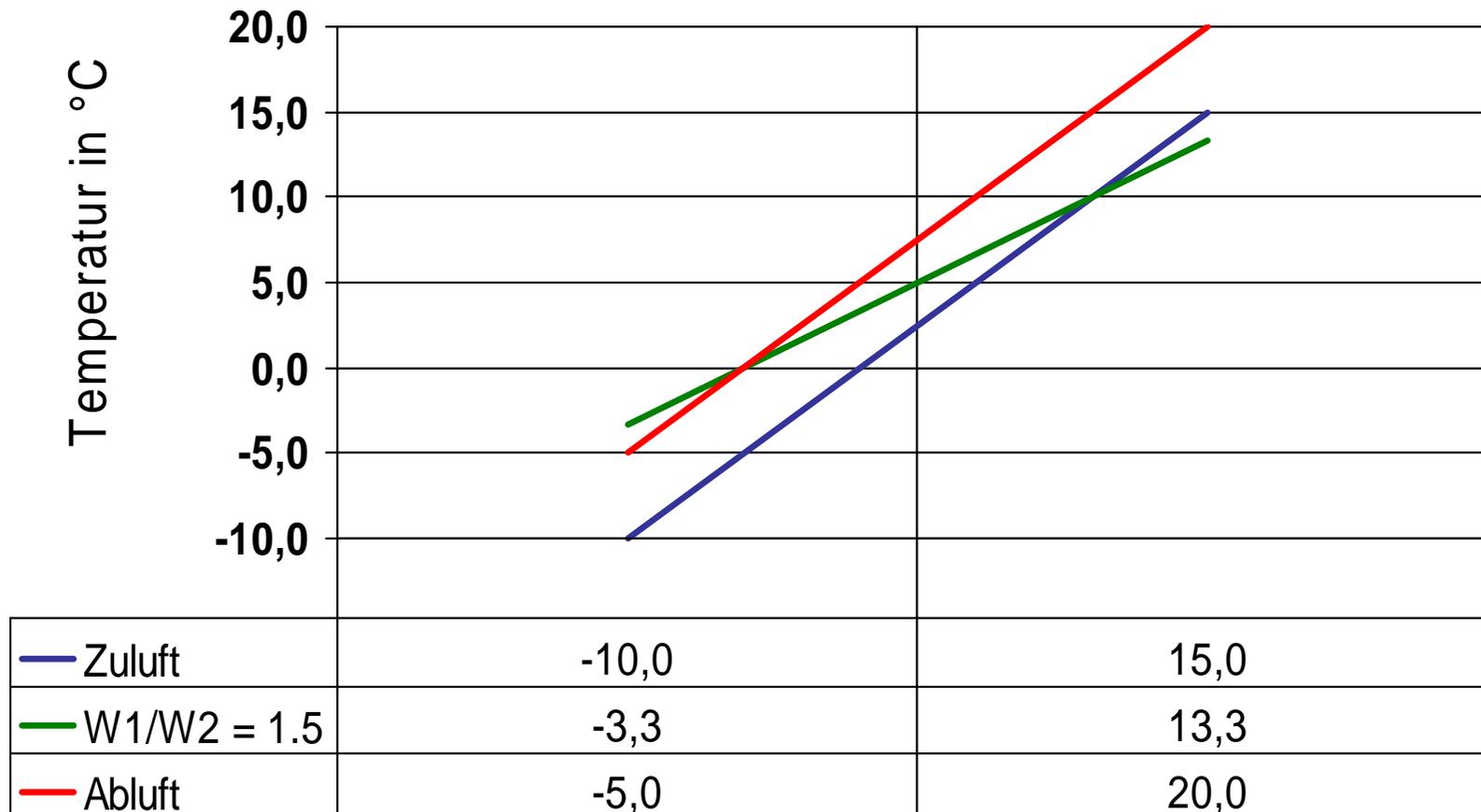
Wärmekapazitätenströme



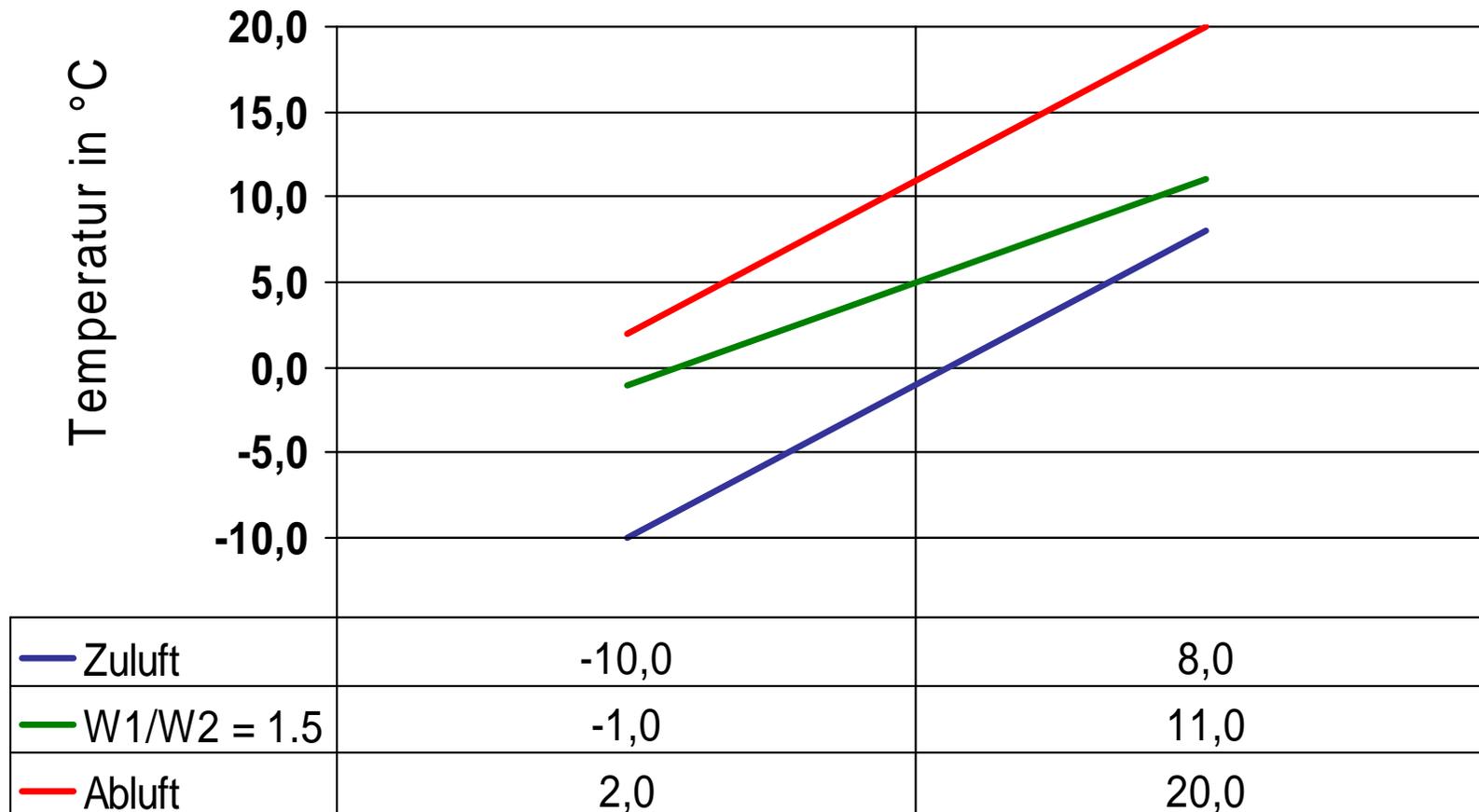
Temperaturdiagramm bei $\text{ETA} = 0.8$



Temperaturdiagramm bei $ETA = 0.8$



Temperaturdiagramm bei $\text{ETA} = 0.6$



Gekoppelte Wärmeübertrager

Wenn optimaler Umlaufstrom erfüllt:

$$1 / (k \cdot A)_{\text{eff}} = 1 / (k \cdot A)_1 + 1 / (k \cdot A)_2$$

Bei gleichen Luftmengen gilt:

$$\mu_{2\text{ges}} = \dot{W}_1 / \dot{W}_2 = 1$$

Gekoppelte Wärmeübertrager

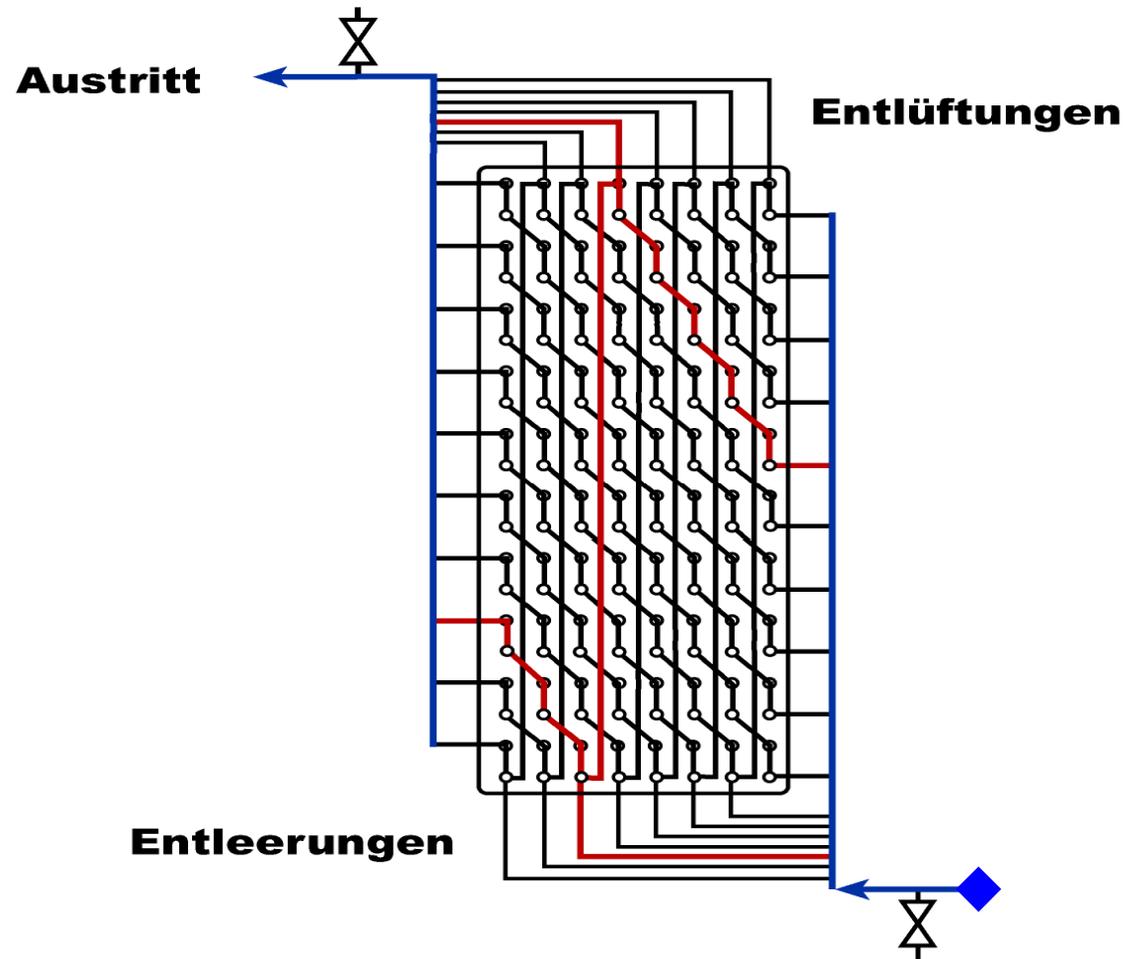
damit:

$$\mu_{11} = \mu_{22} = 1$$

Gesamtübertragungsgrad

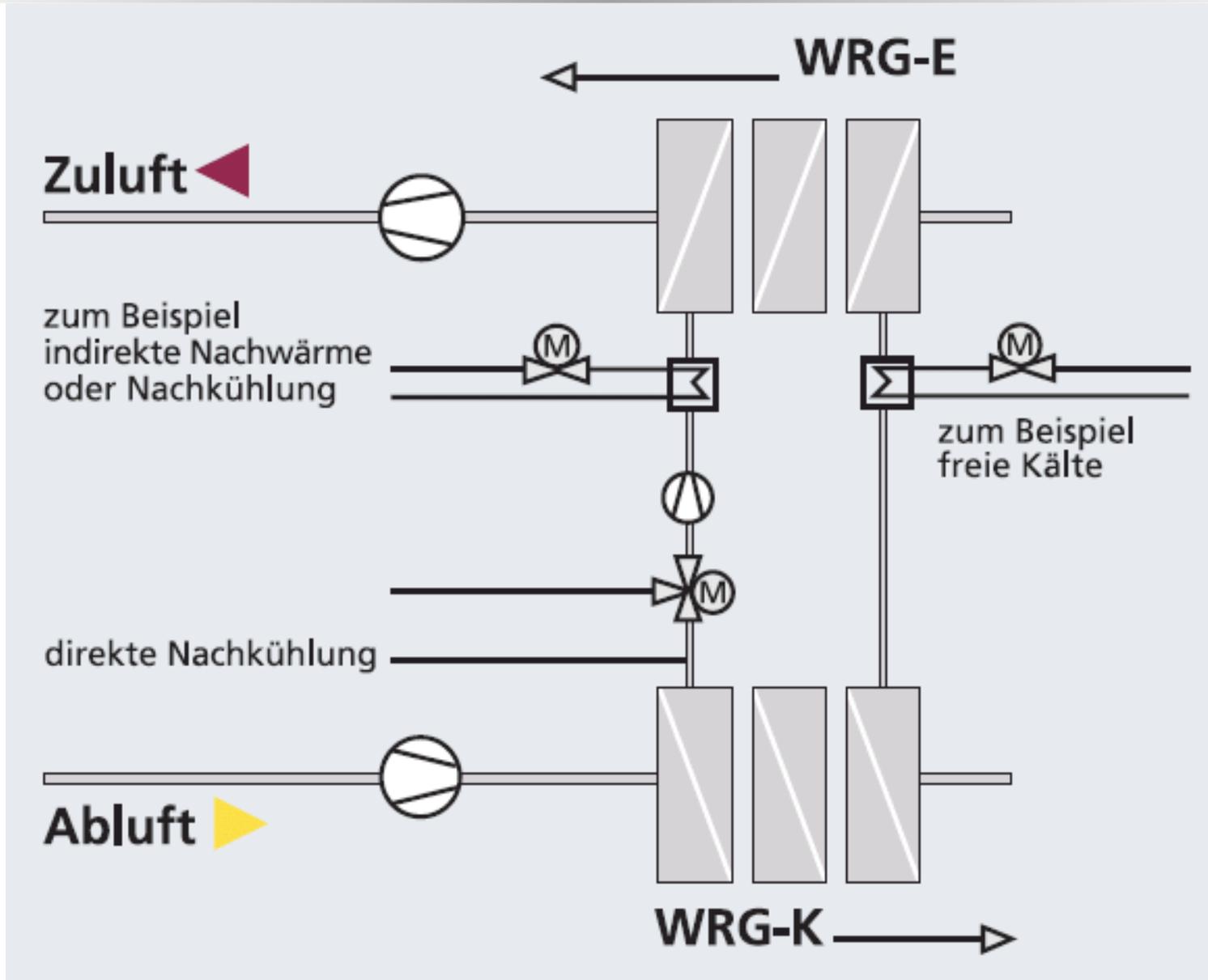
$$1 / \Phi_{2\text{ges}} = 1 / \Phi_{22} + 1 / \Phi_{11} - 1$$

Schaltungen im Wärmeübertrager

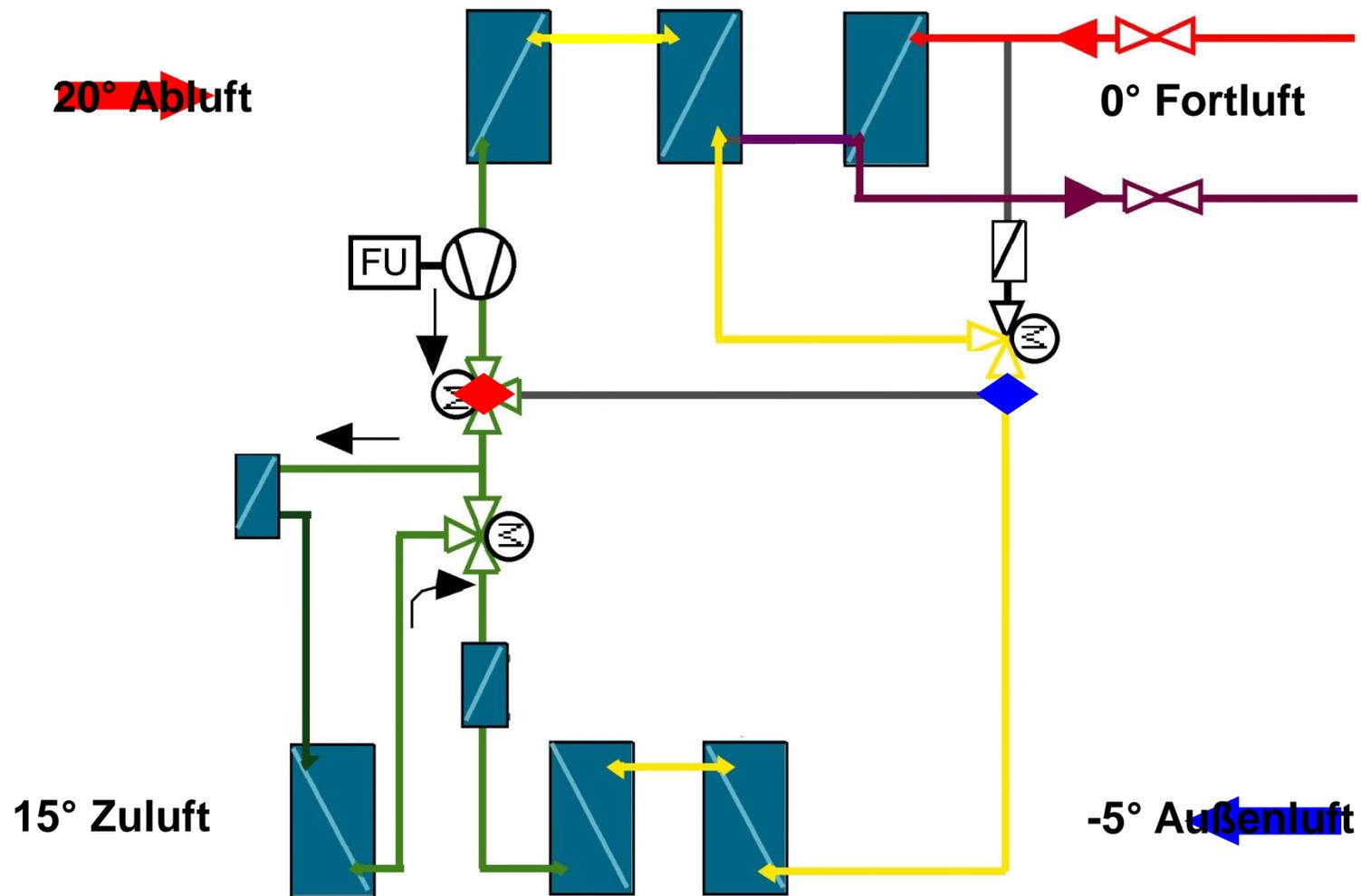


DE 198 08 753

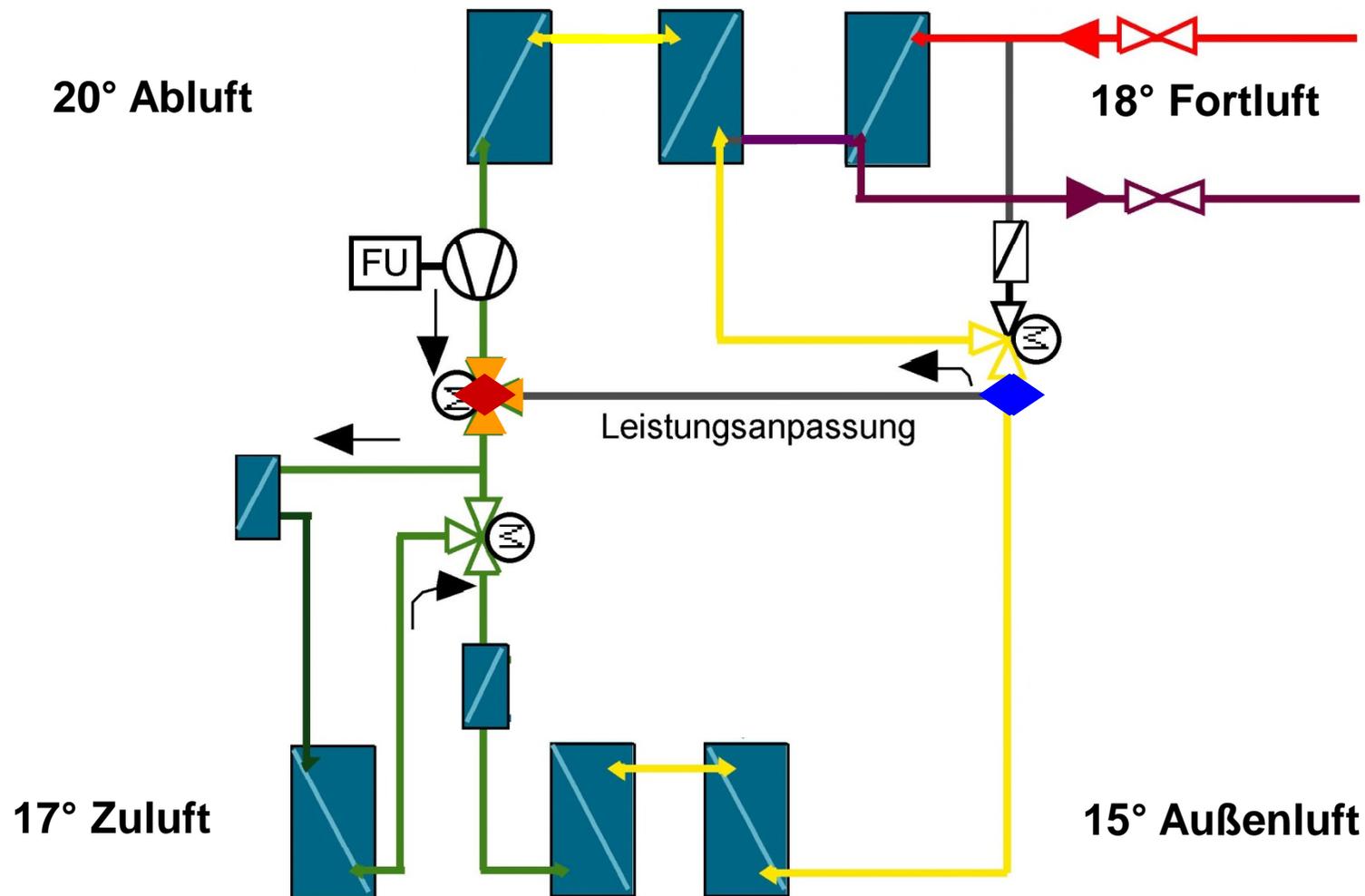
Mehrfachfunktionalitäten



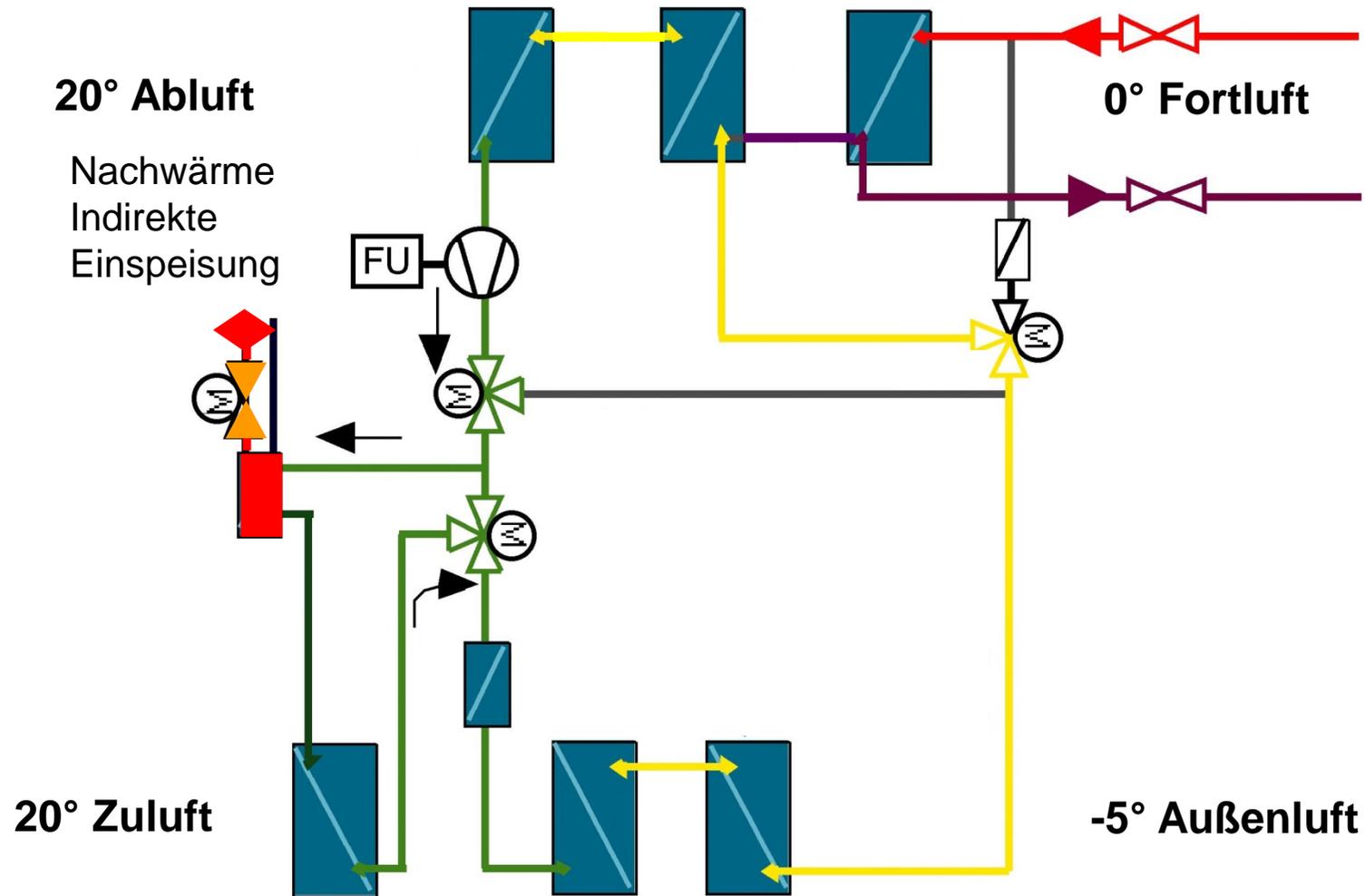
Winterbetrieb



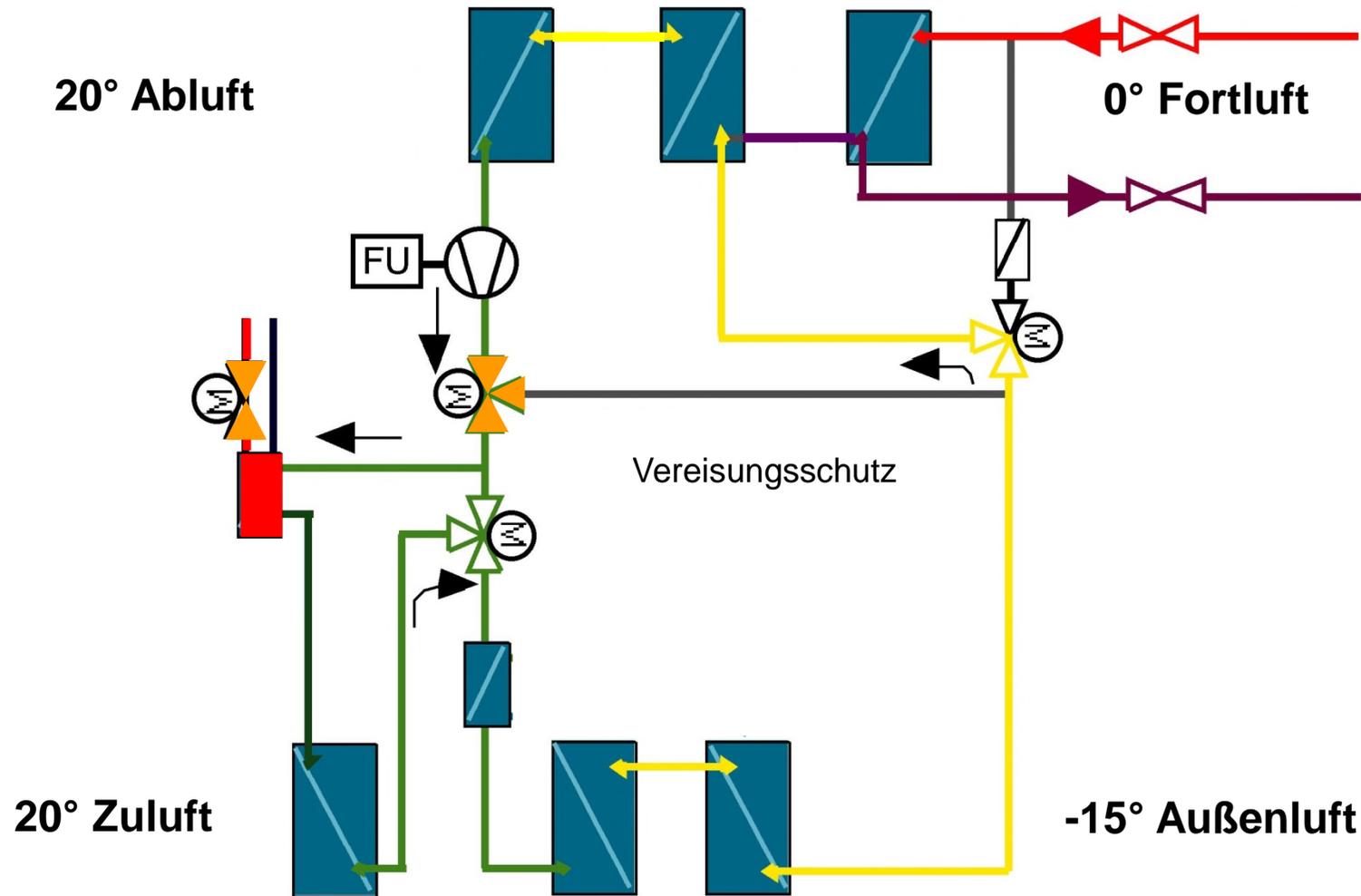
Übergangsbetrieb



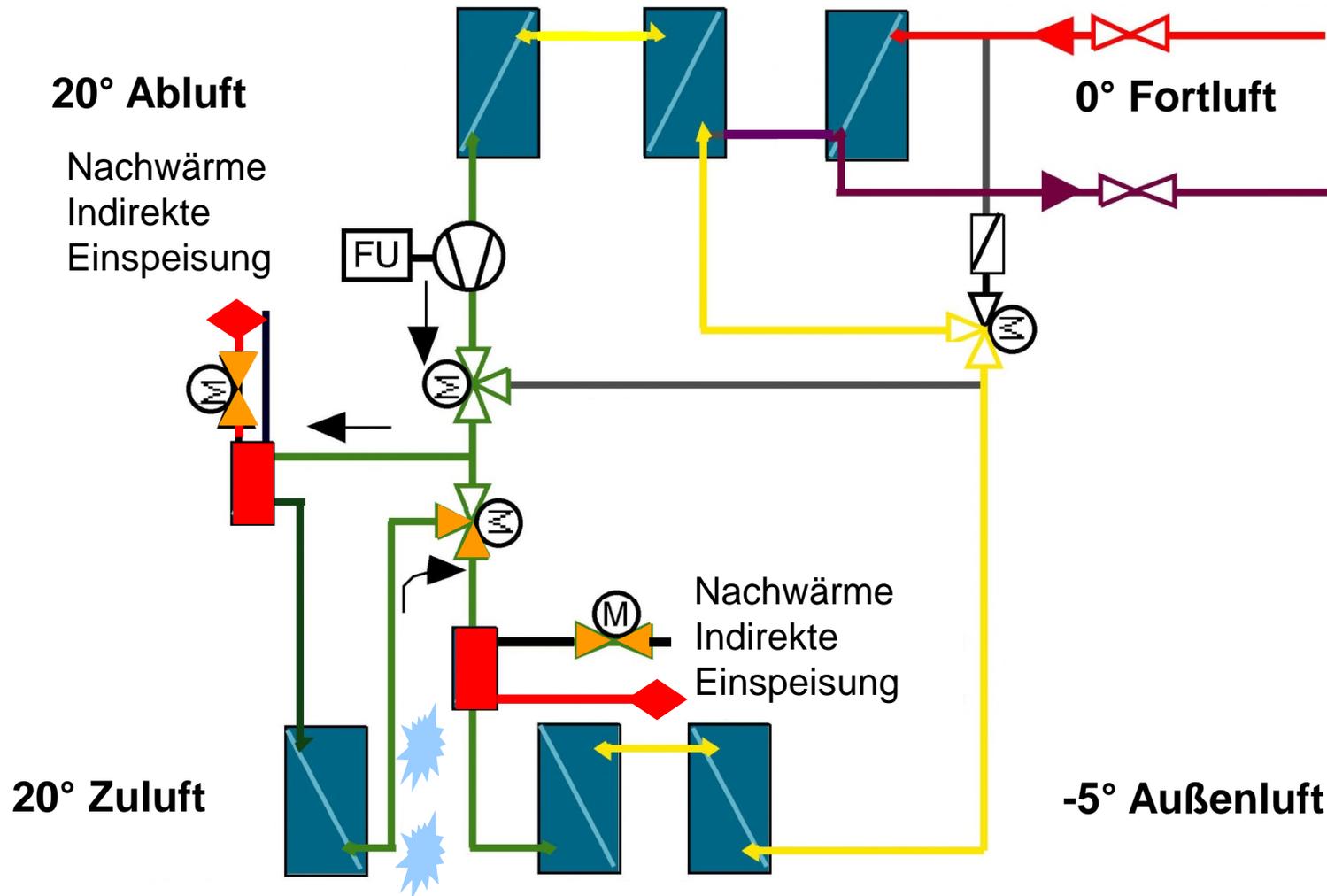
Nacherwärmung



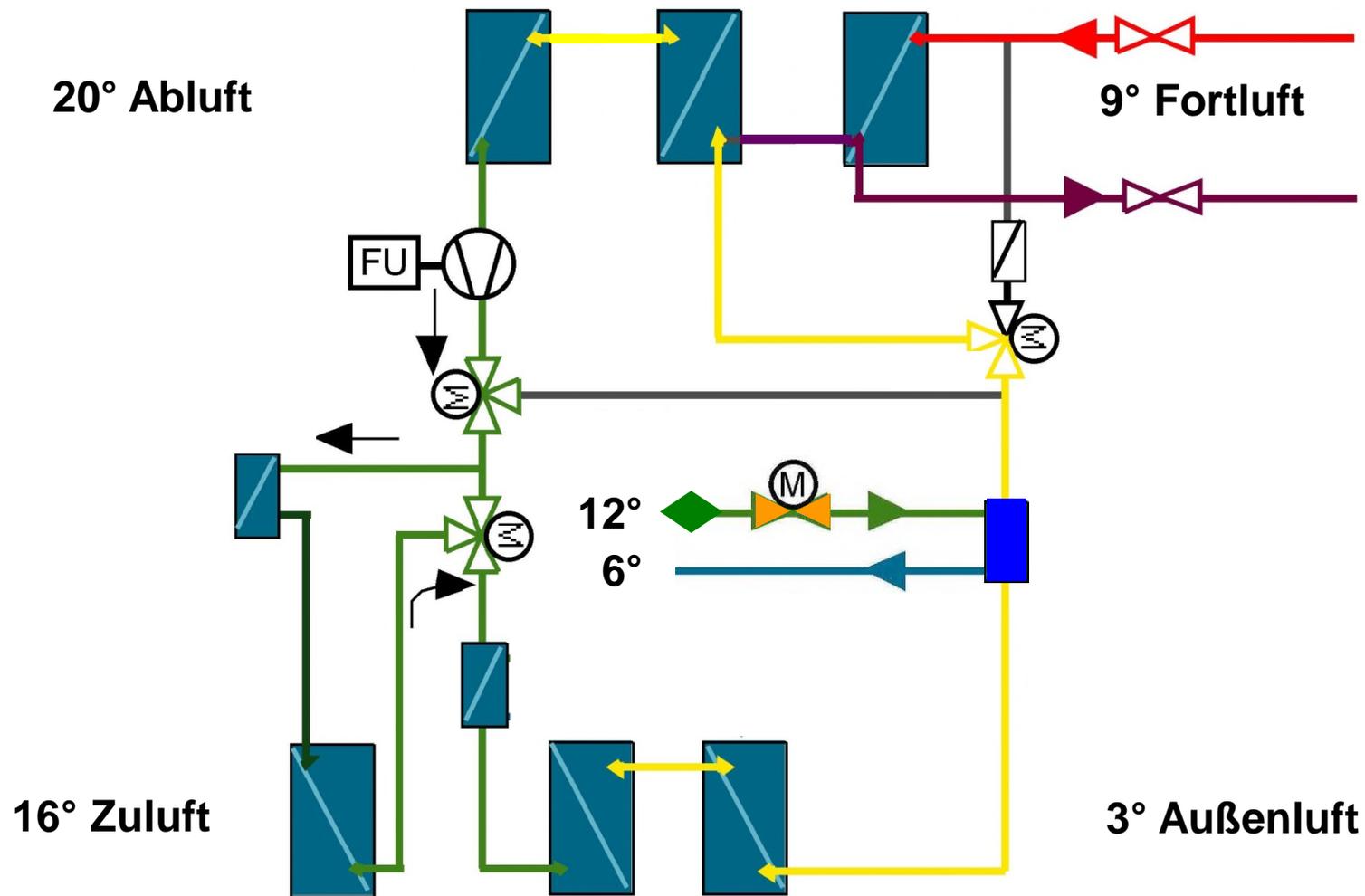
NE & Vereisungsschutz



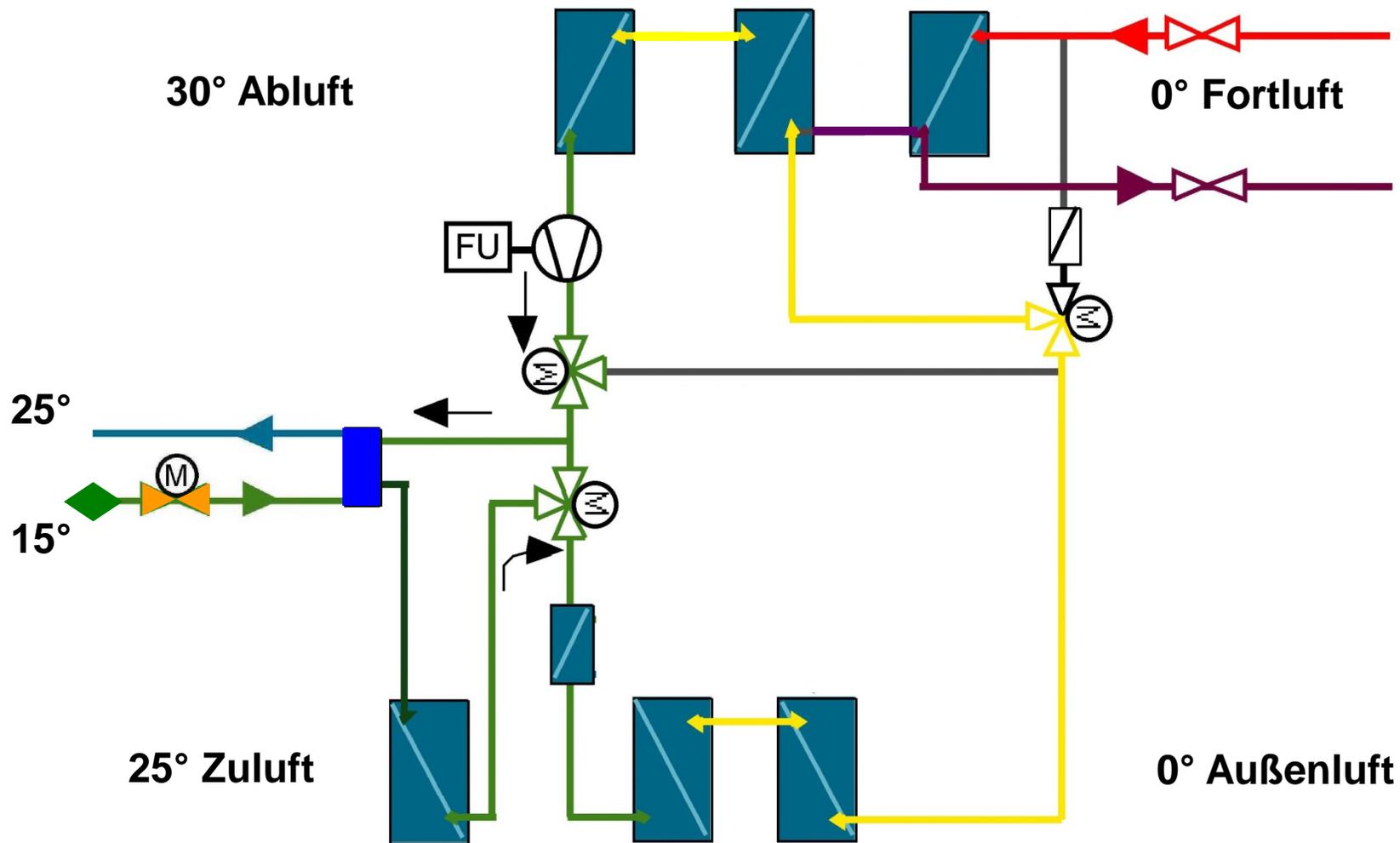
Hybride Befeuchtung



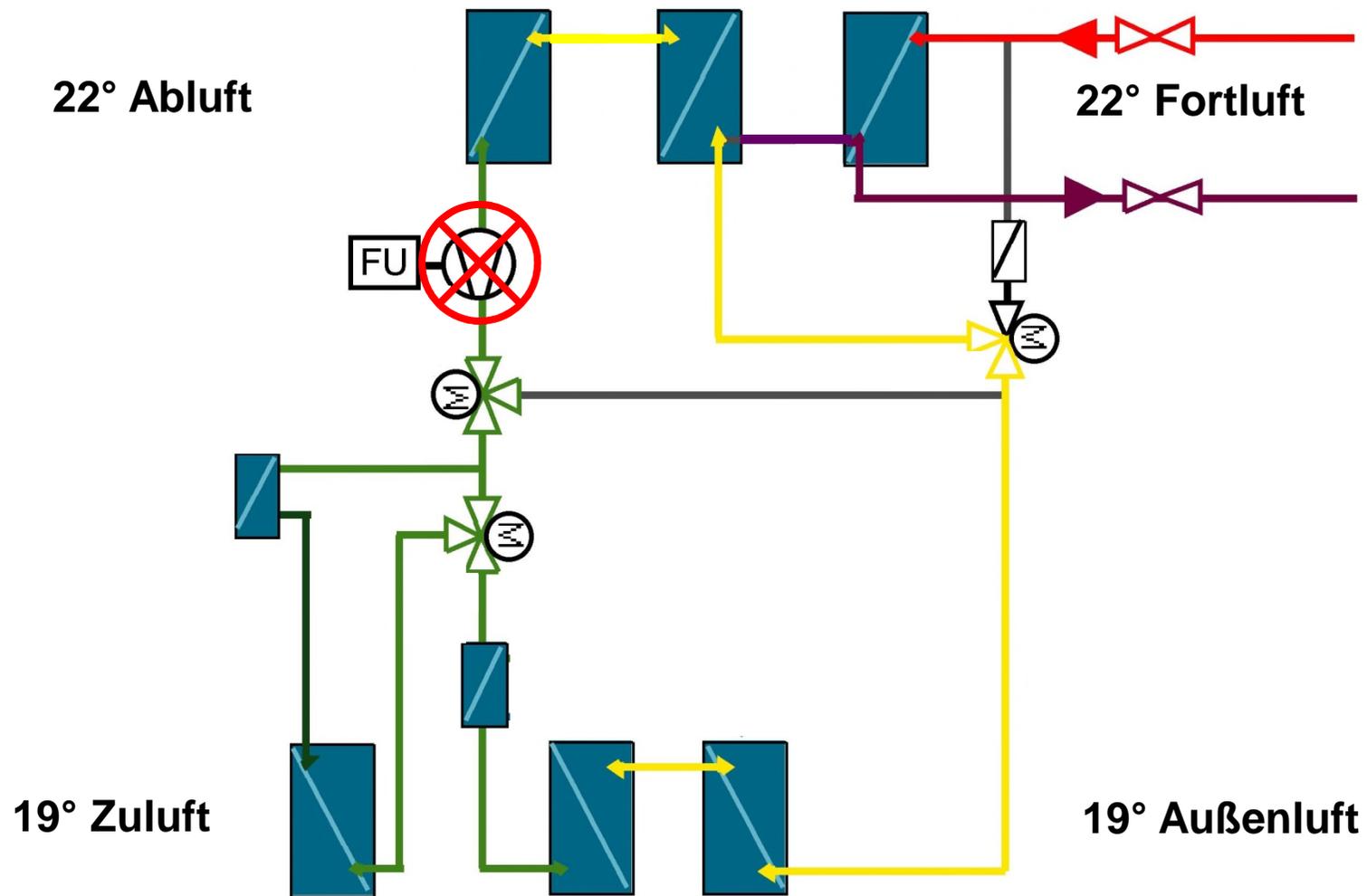
Freie Kälte



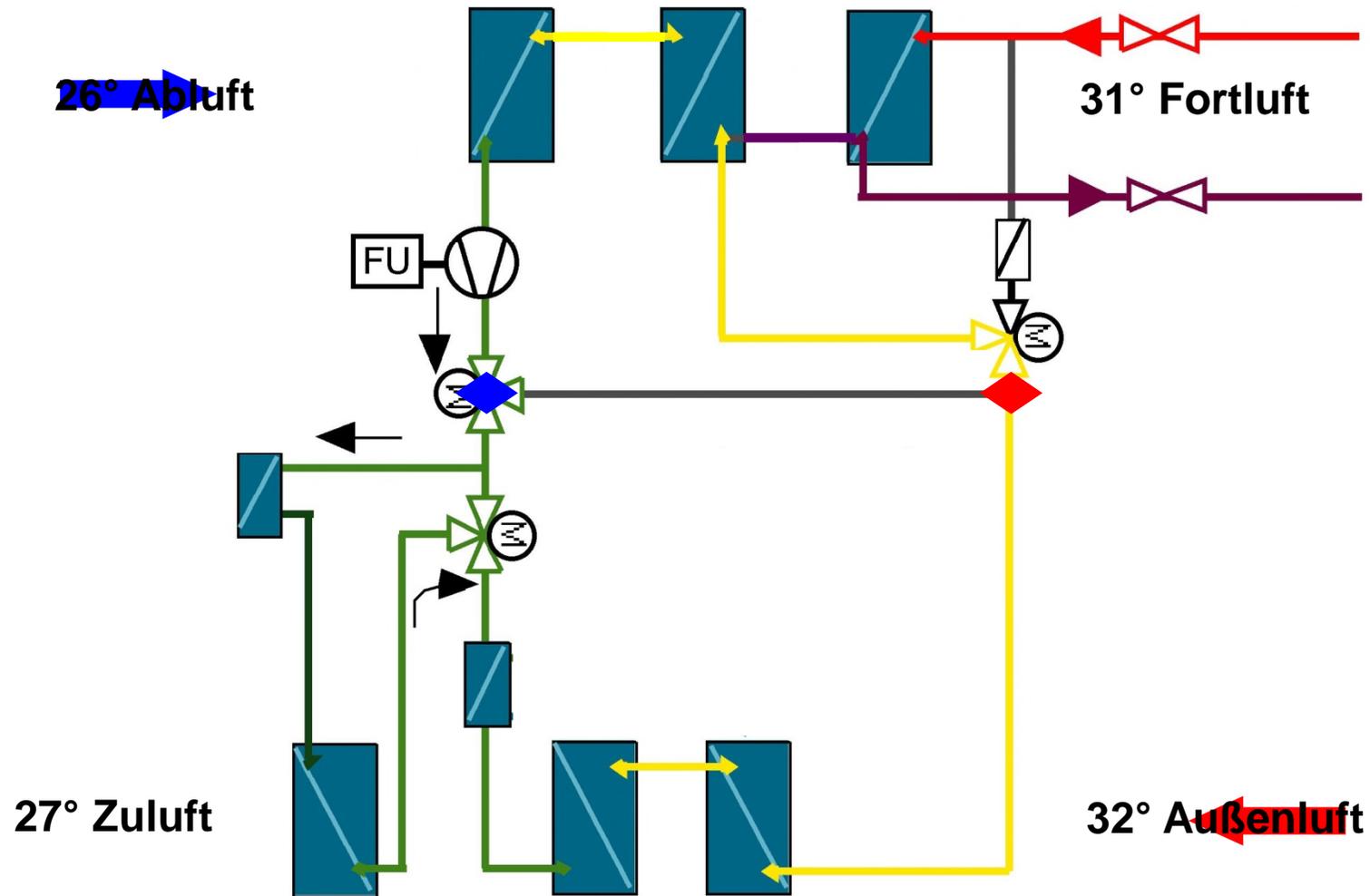
Brauchwasservorwärmung



Übergangsbetrieb



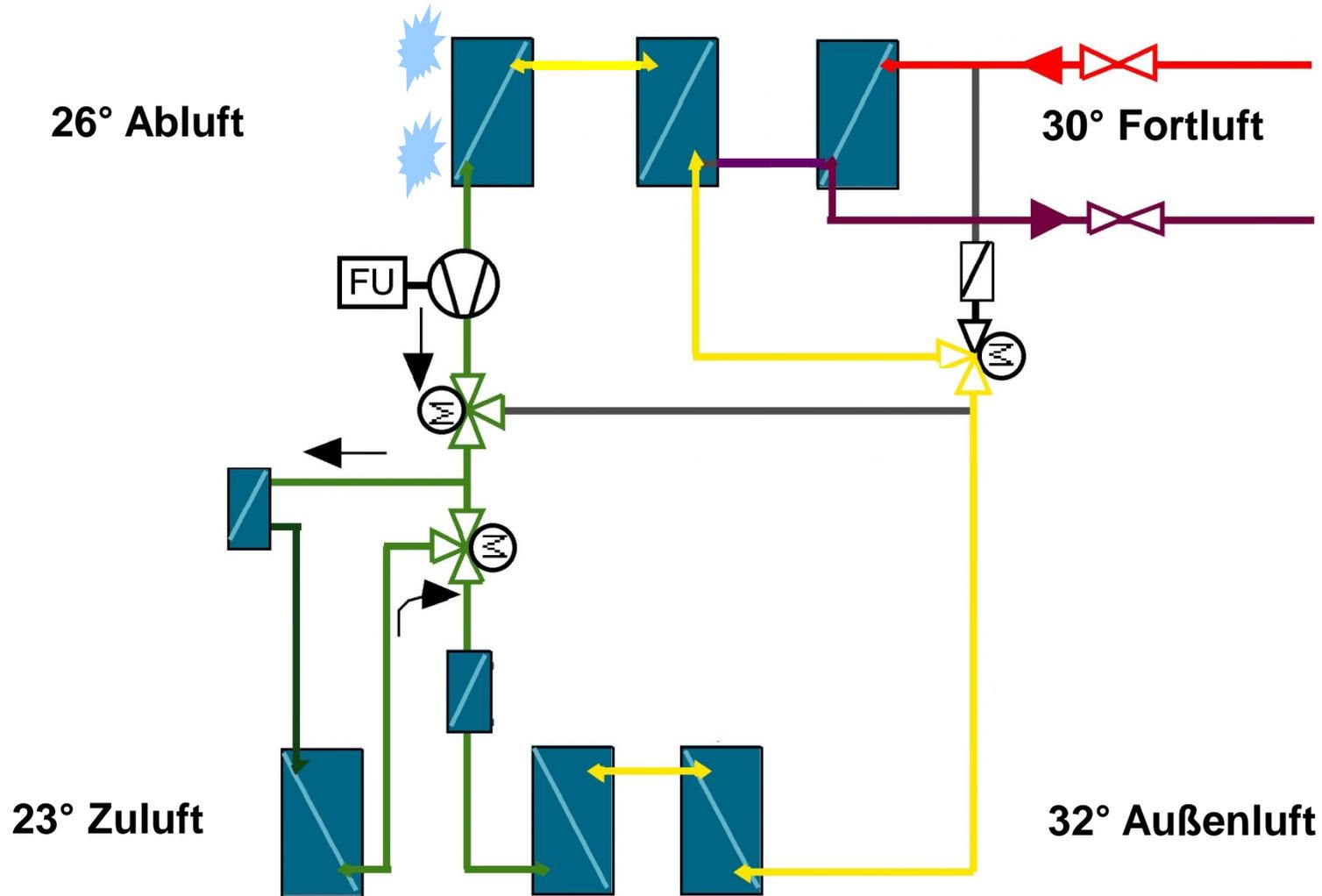
Sommerbetrieb



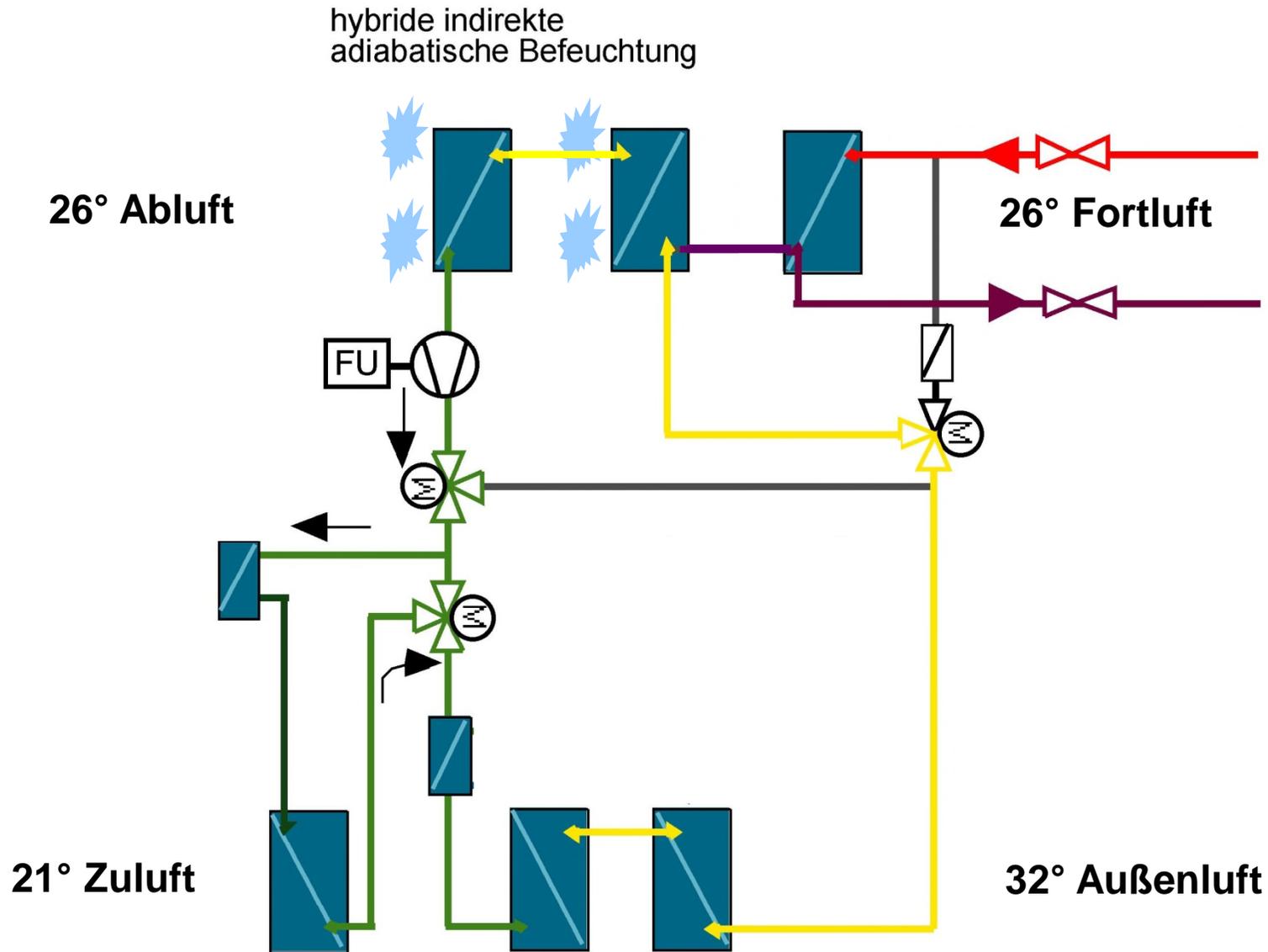
Indirekte hybride Befeuchtung



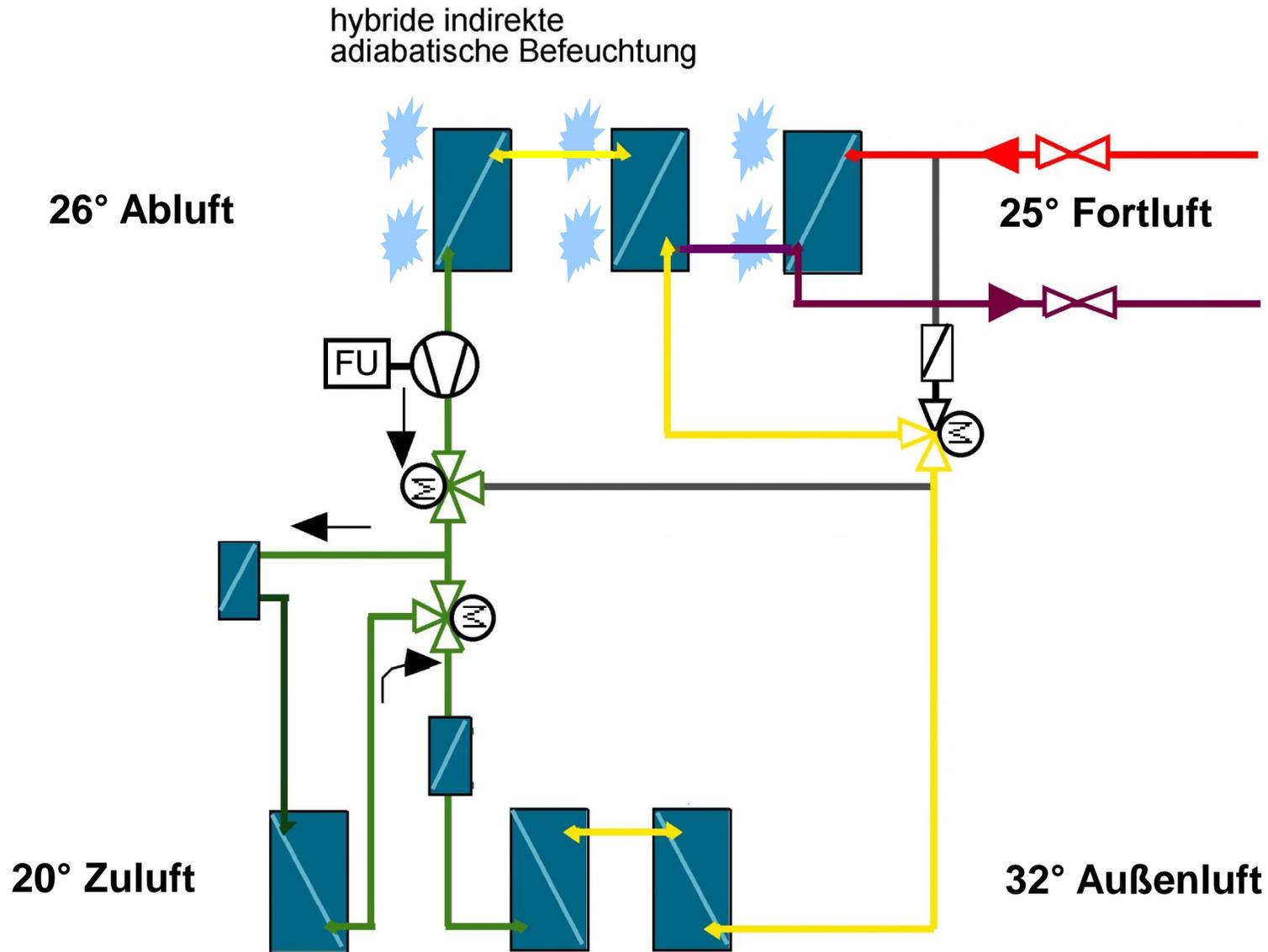
hybride indirekte
adiabatische Befeuchtung



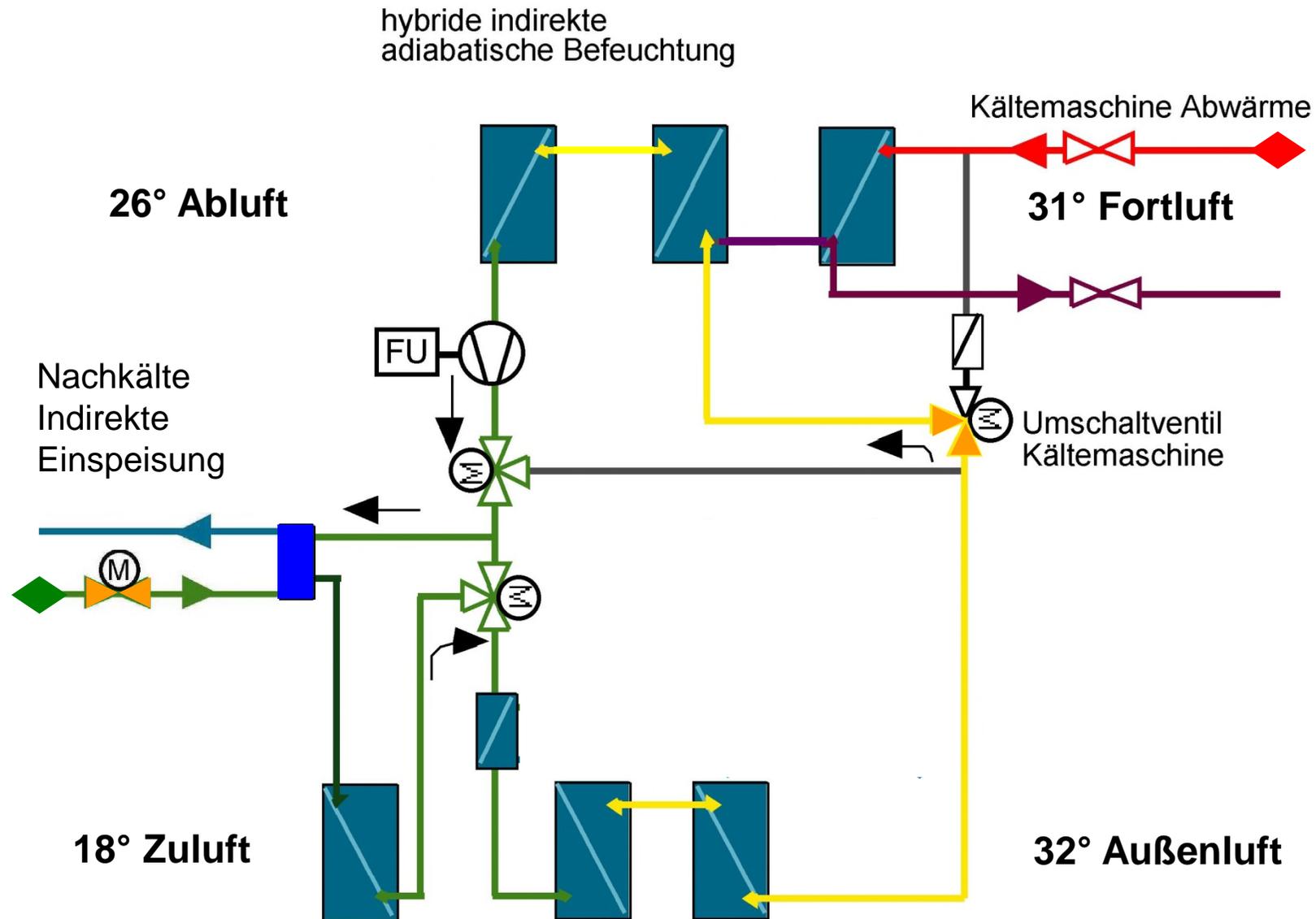
Mehrstufige Befeuchtung



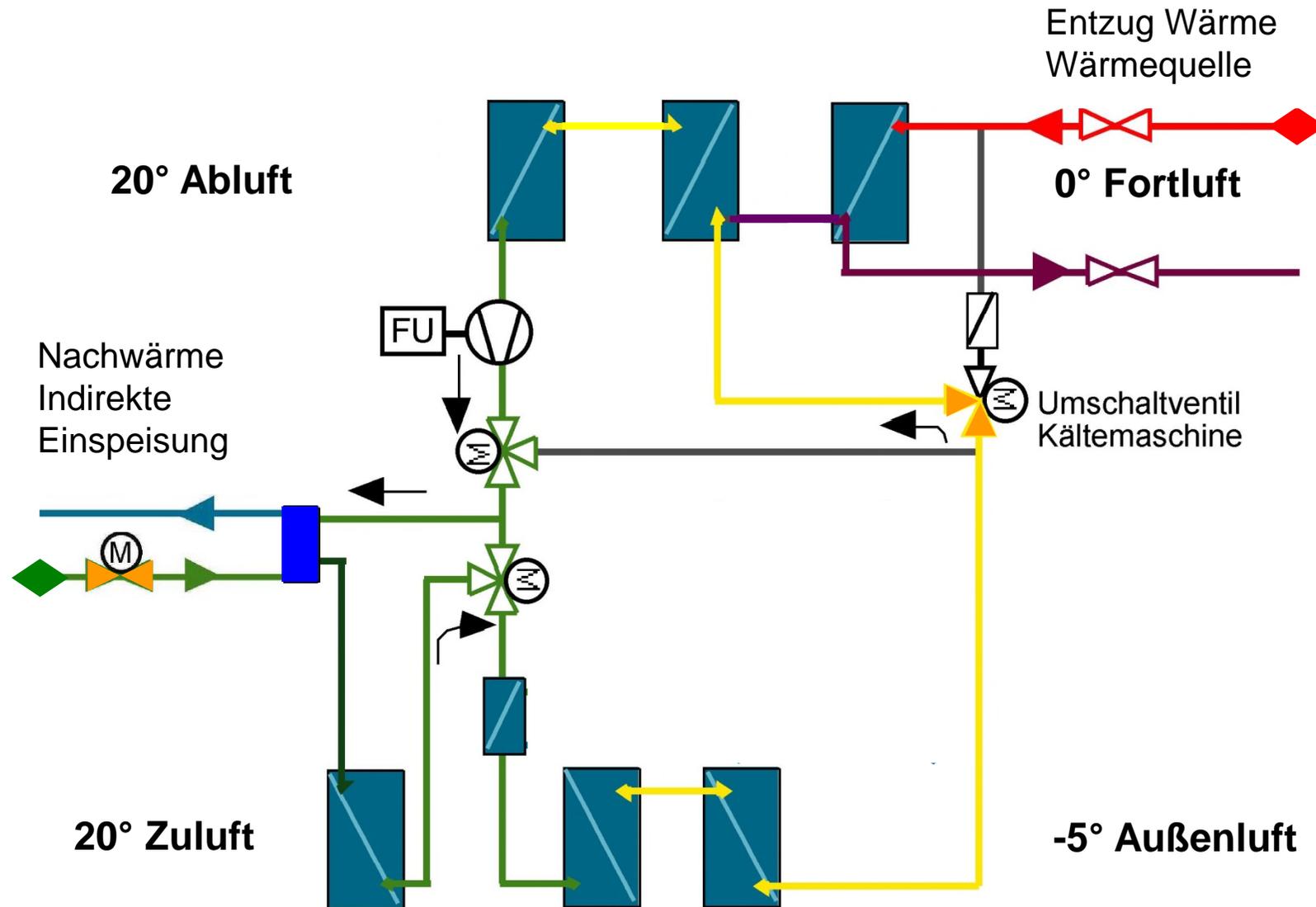
Mehrstufige Befeuchtung



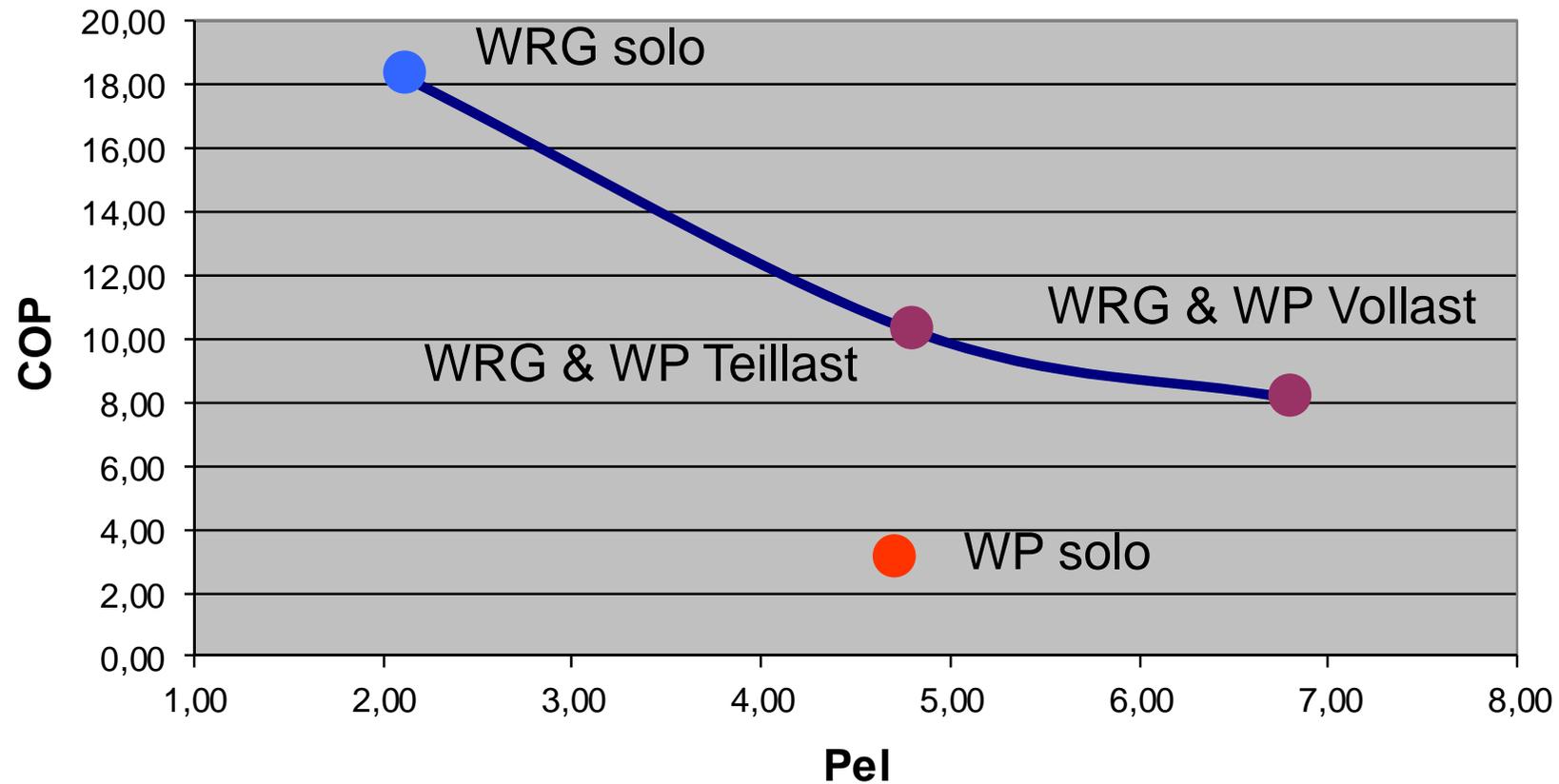
Kältemaschinenbetrieb



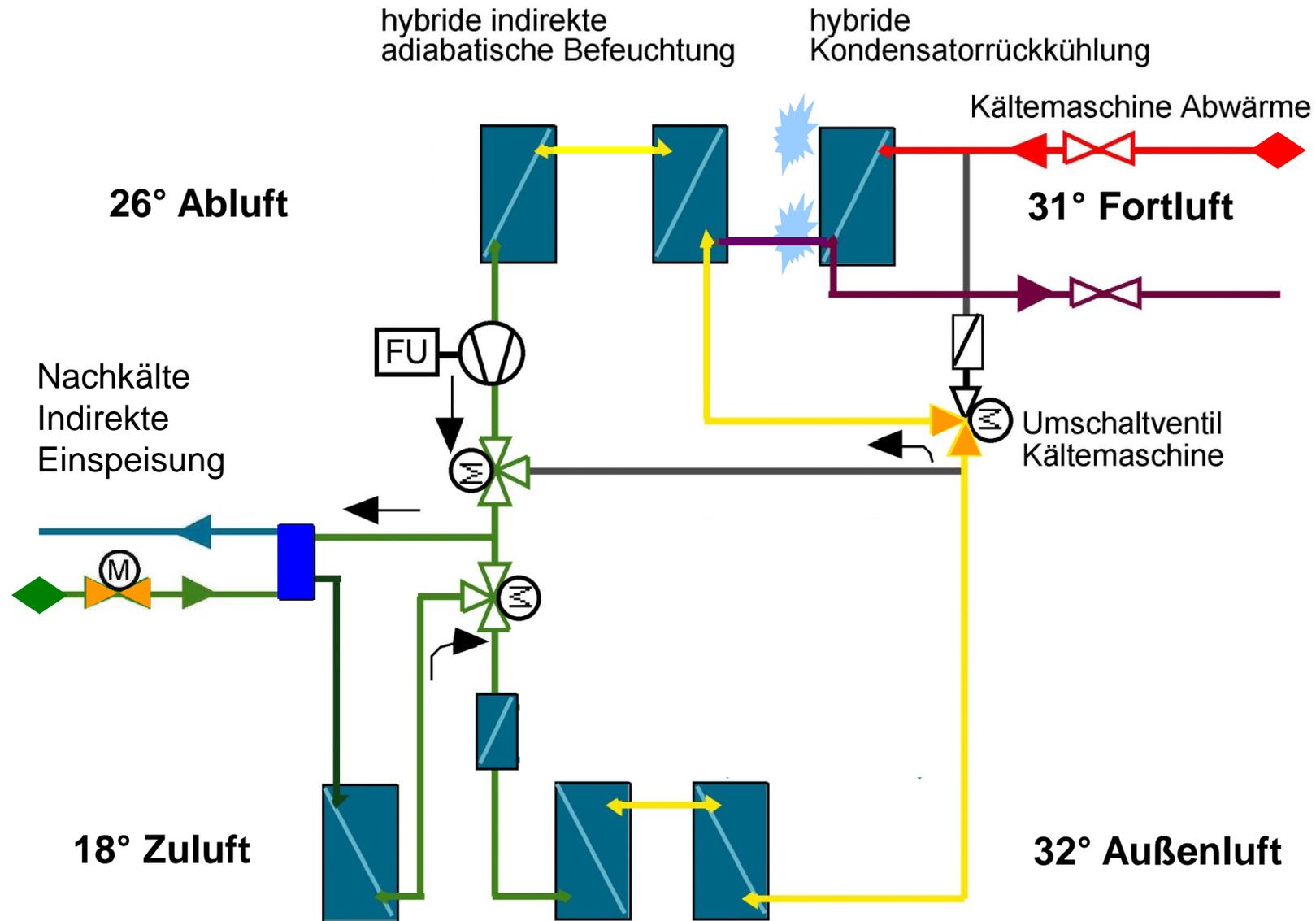
Wärmepumpenbetrieb



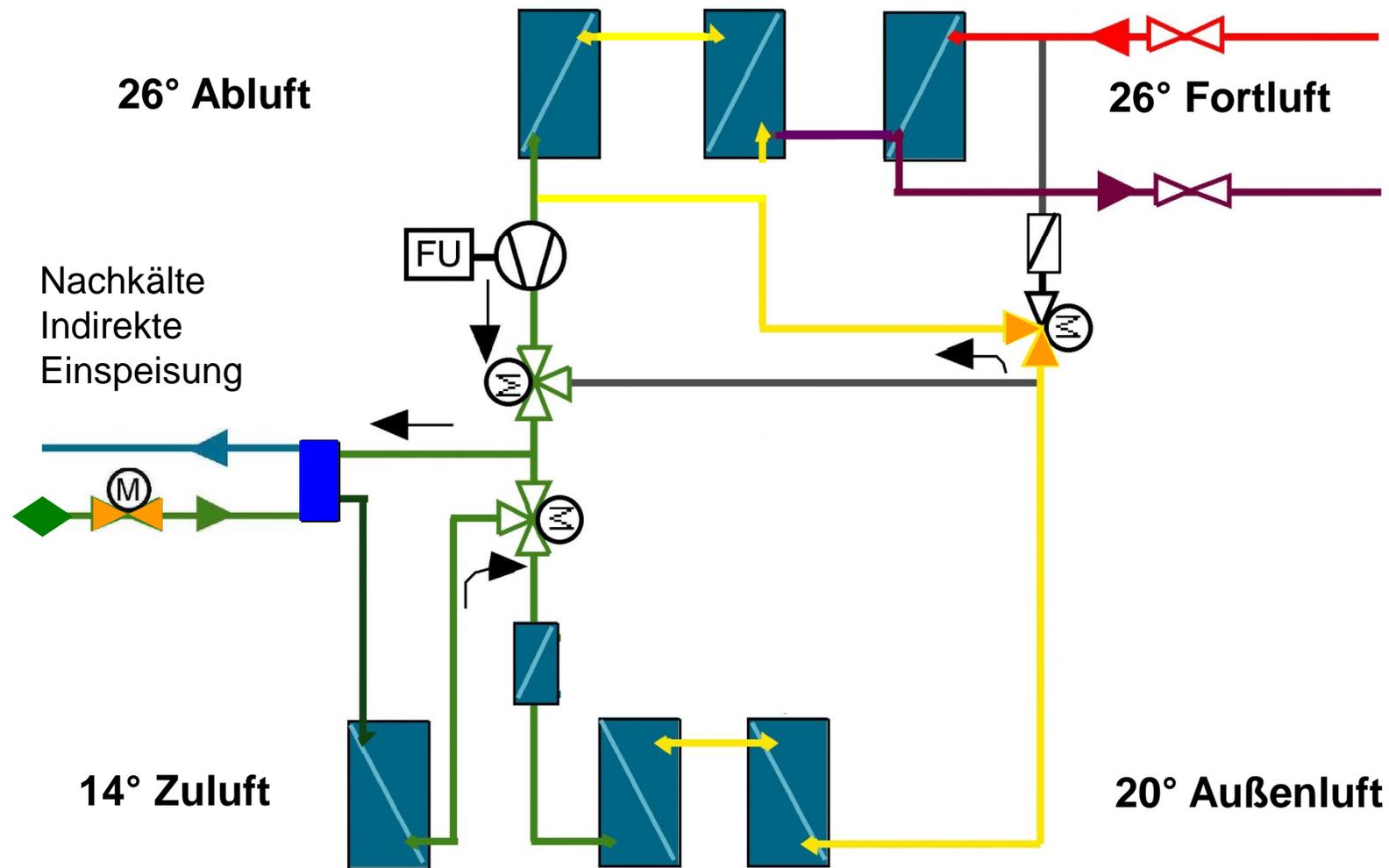
$$\text{COP} = f(\text{Pel})$$



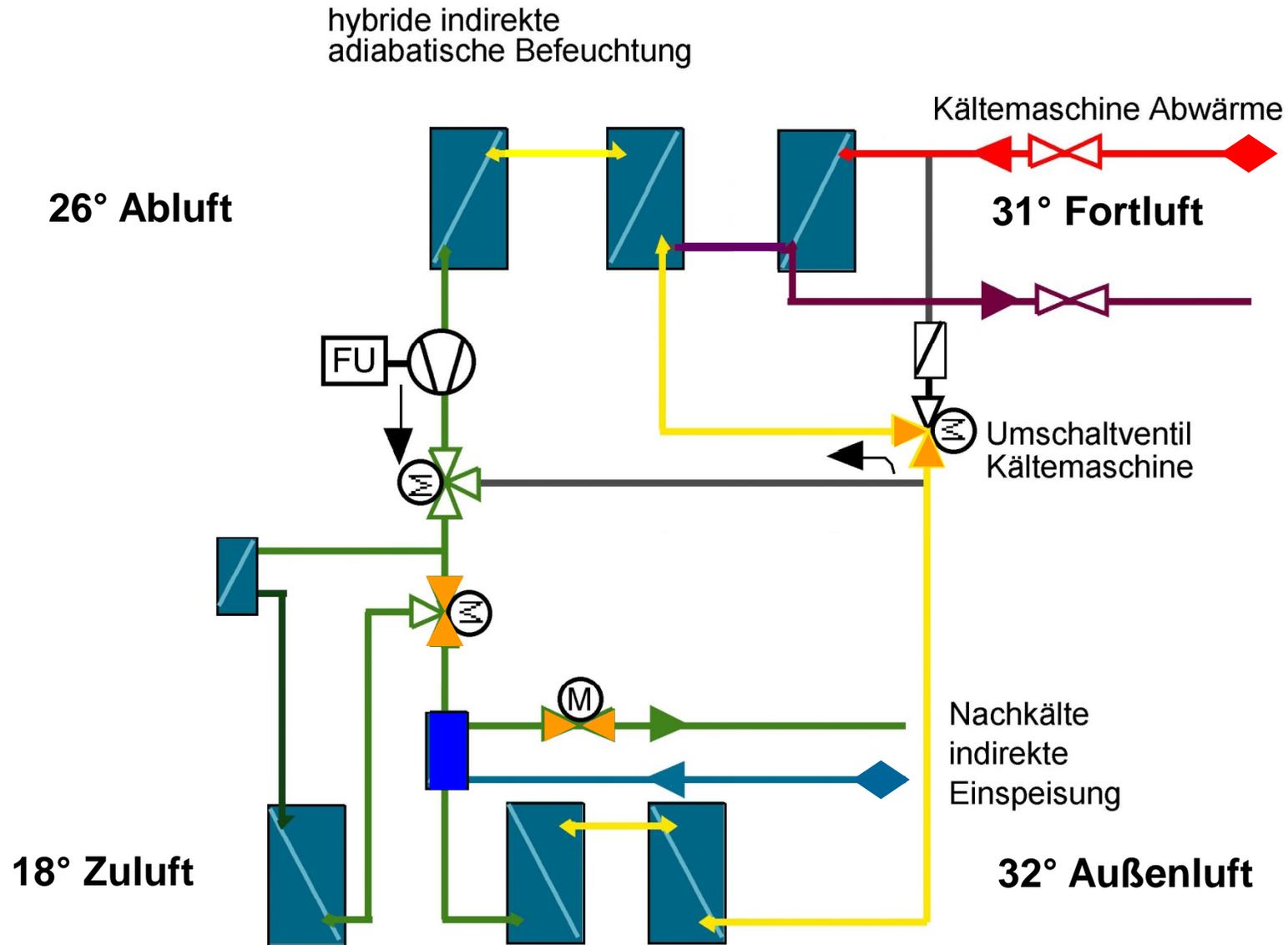
Kältemaschinenbetrieb (hybrid)



Abluftauskopplung



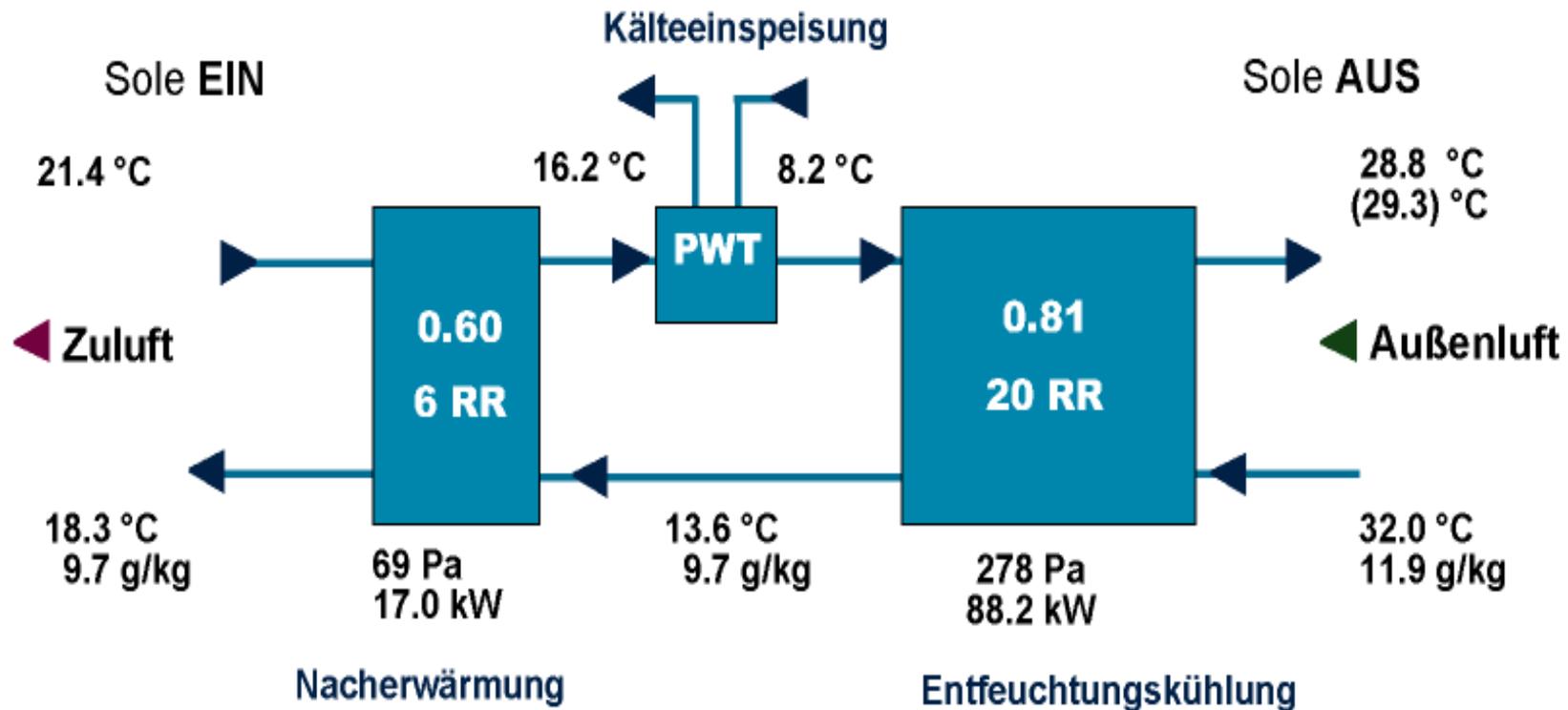
Kältemaschinenbetrieb



Entfeuchtungsschaltung

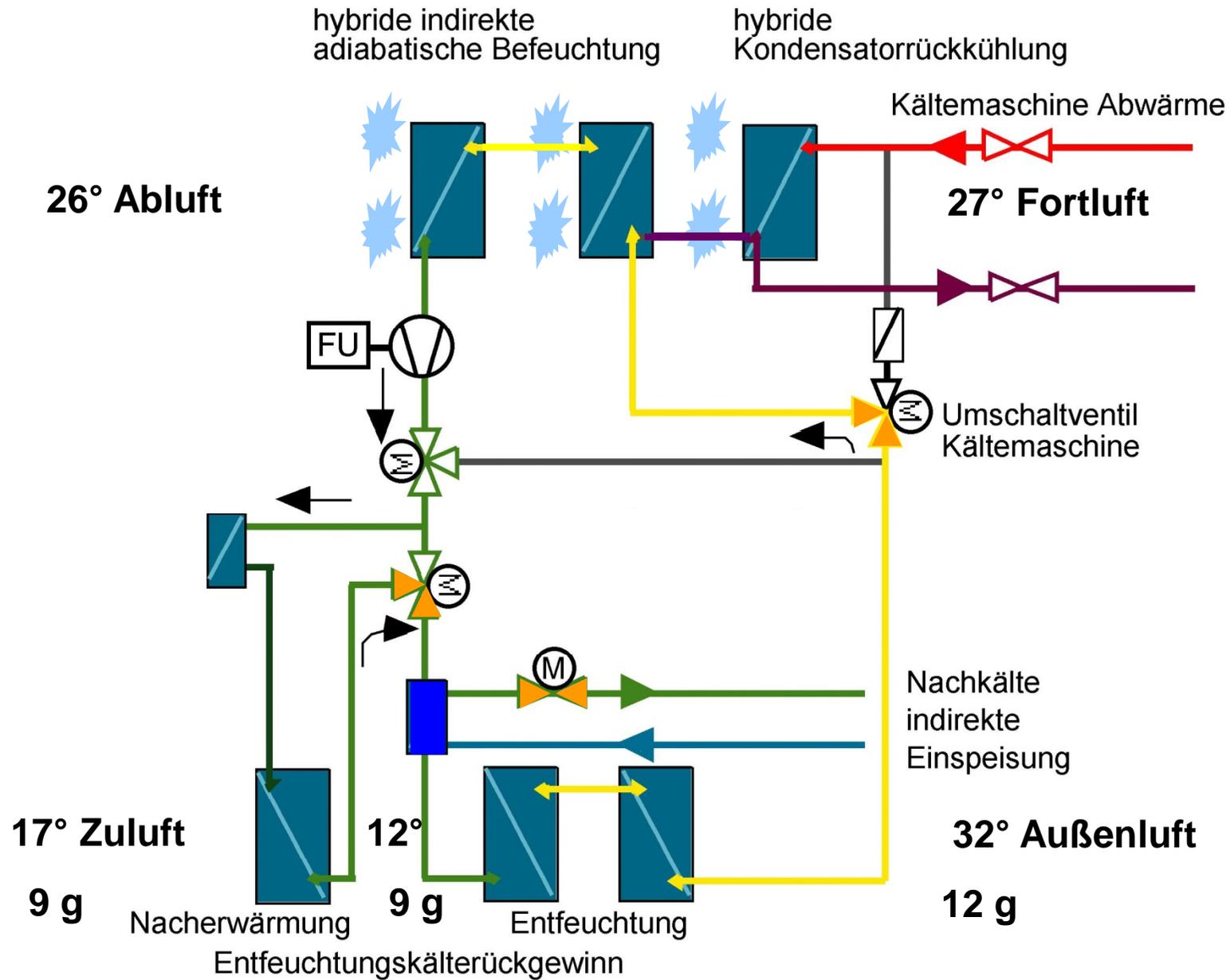


HP-WRG-System Zuluftseite

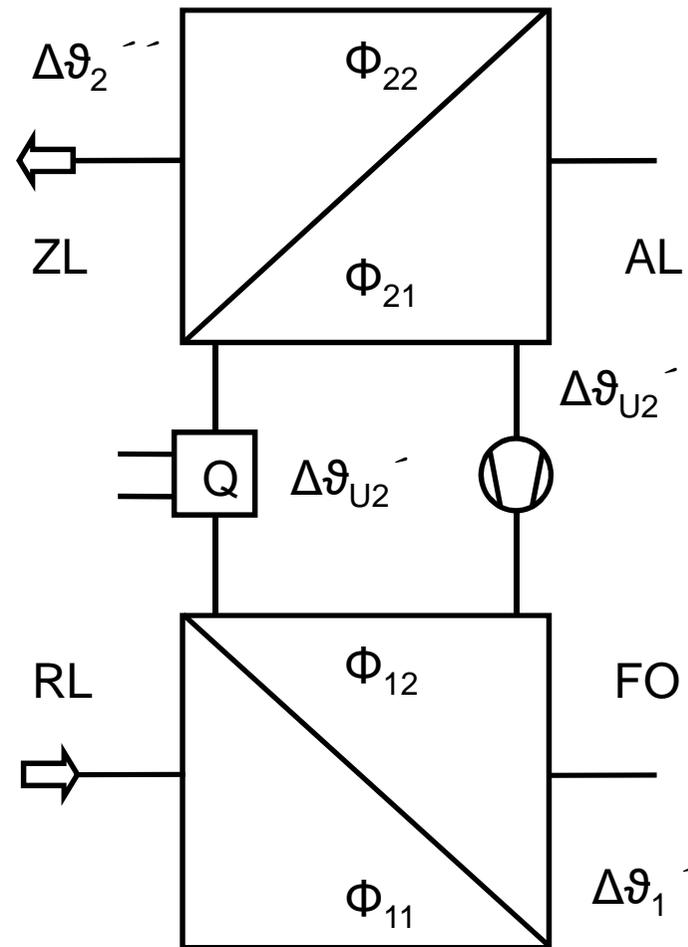


- Kühlleistung indirekte Verdunstung 35.7 kW
- Kälterückgewinnung Entfeuchtung 17.0 kW
- Resteinspeisung Kältemaschine 35.5 kW
- Volumenstrom 10.000 m³/h

Alle Funktionen



Einfluss Vorlauf



Änderung Vorlauf

Temperaturänderung im Umlaufstrom:

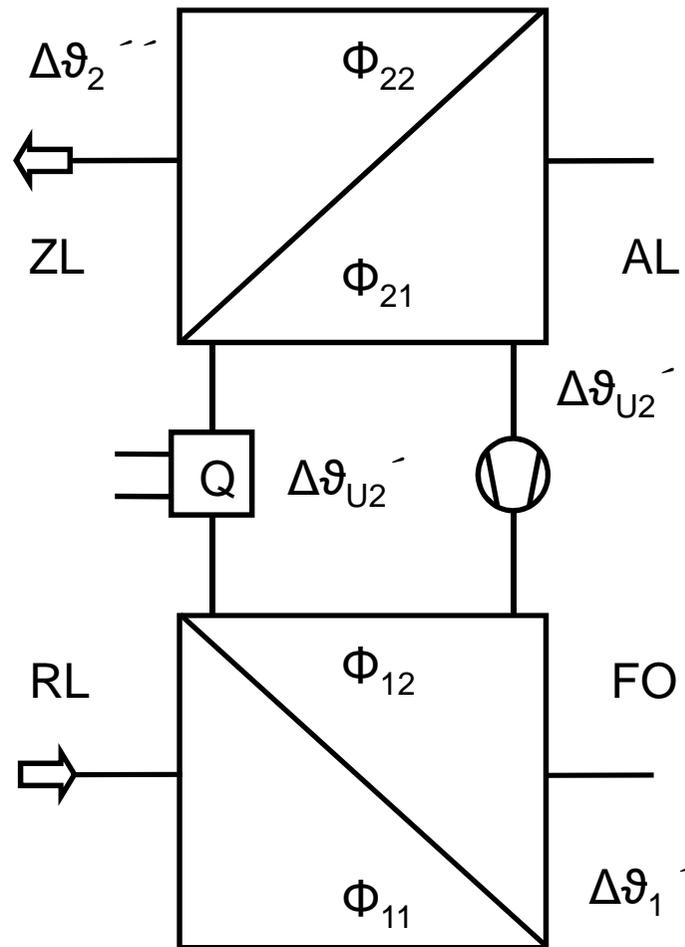
$$\Delta\vartheta_{U2}' = \Delta\vartheta_2'' / \Phi_{22}$$

$\Delta\vartheta_2''$ gewünschte Lufterwärmung [K]

$\Delta\vartheta_{U2}'$ benötigte Temp.änderung am Eintritt [K]

Φ_{22} luftseitiger Übertragungsgrad App. 2 [./.]

Einfluss Vorlauf



Änderung Vorlauf

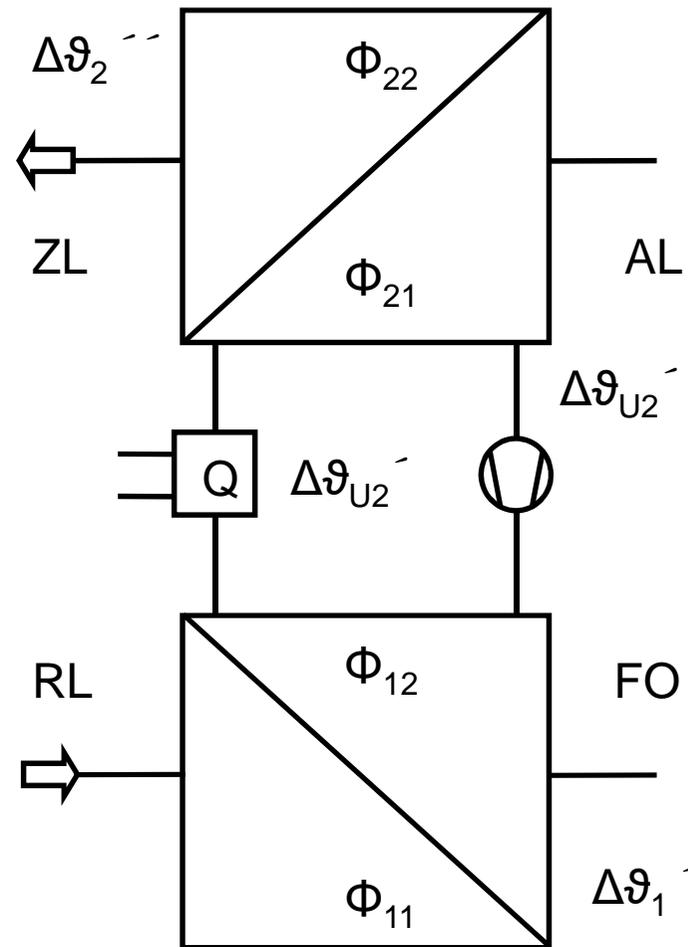
Temperaturänderung des Umlaufstroms:

$$\Delta\vartheta_{U2}'' = \Delta\vartheta_2'' \cdot (1 / \Phi_{21} - 1)$$

$\Delta\vartheta_{U2}''$ Temperaturänderung am Austritt [K]

Φ_{21} medienseitiger Übertragungsgrad App. 2 [./.]

Einfluss Vorlauf



Änderung Vorlauf

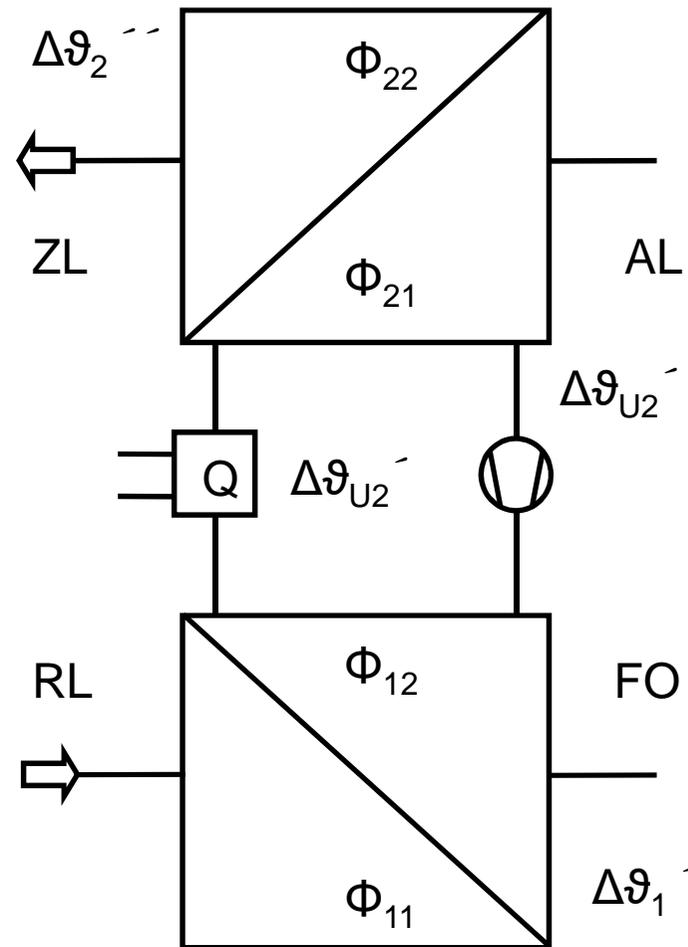
Einfluss auf die Fortlufttemperatur mit:

$$\Delta\vartheta_1' = \Delta\vartheta_{U2}'' \cdot \Phi_{11}$$

$\Delta\vartheta_1'$ Temperaturänderung der Fortluft [K]

Φ_{11} luftseitiger Übertragungsgrad App. 1 [./.]

Einfluss Vorlauf



Änderung Vorlauf

Zusammengesetzte Änderungsgleichung

$$\Delta\vartheta_1' = \Delta\vartheta_2'' \cdot (1 / \Phi_{21} - 1) \cdot \Phi_{11}$$

Temperaturübertragungsgrades $\Delta\Phi_{2\text{ges}}$
mit Beeinflussung

$$\Delta\Phi_{2\text{ges}} = \Delta\Phi_{2\text{ges } 0} - \Delta\Phi_{\text{Korr}}$$

Änderung Vorlauf

$$\Delta\Phi_{\text{Korr}} = \Delta\vartheta_1' / (\vartheta_1' - \vartheta_2') / \mu_{2\text{ges}}$$

$$\Delta\Phi_{2\text{ges}} = \Delta\Phi_{2\text{ges } 0} - \Delta\vartheta_1' / (\vartheta_1' - \vartheta_2') / \mu_{2\text{ges}}$$

Änderung Vorlauf

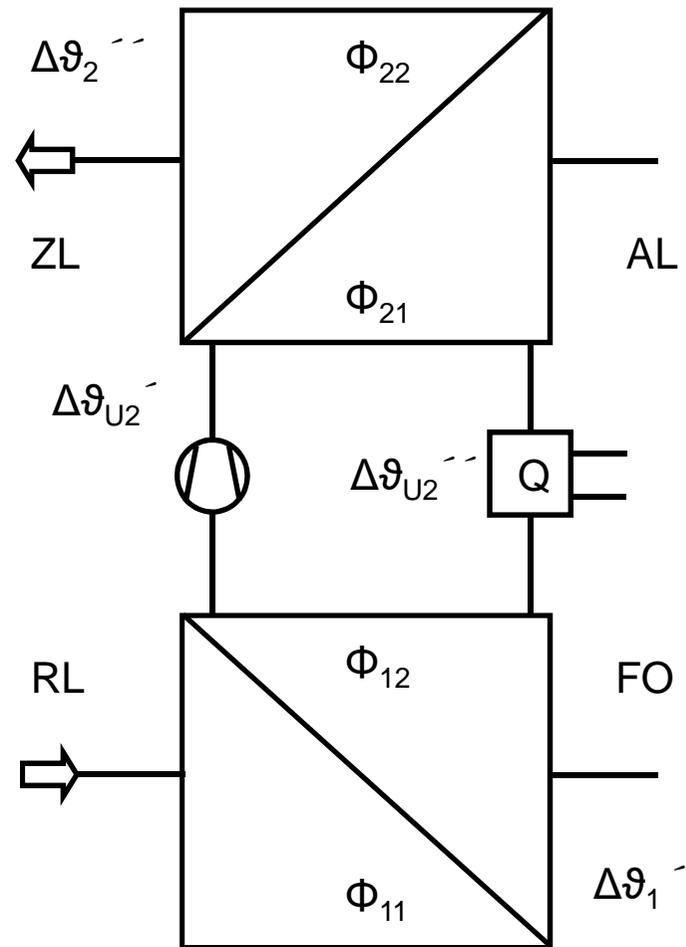
Einfluss nach Jüttemann

$$\Delta\vartheta_{U2}'' = \Delta\vartheta_{U2}' \cdot (1 - \Phi_{22}) / \Phi_{22} / (2 - \Phi_{22})$$

gilt mit $\mu_{2\text{ges}} = \dot{W}_1 / \dot{W}_2 = 1$ und

$$\mu_{11} = \mu_{22} = 1 \text{ und } \Phi_{22} = \Phi_{11} = \Phi_{21}$$

Einfluss Rücklauf



Änderung Rücklauf

Temperaturänderung im Umlaufstrom:

$$\Delta\vartheta_{U2}' = \Delta\vartheta_1' \cdot (1 / \Phi_{12} - 1)$$

$\Delta\vartheta_{U2}'$ benötigte Temp.änderung am Eintritt [K]

Φ_{12} medienseitiger Übertragungsgrad App. 1 [./.]

Änderung Rücklauf

Einfluss auf die Zulufttemperatur

$$\Delta\vartheta_2'' = \Delta\vartheta_{U2}' \cdot \Phi_{22}$$

$\Delta\vartheta_2''$ Temperaturänderung der Zuluft [K]

Φ_{22} luftseitiger Übertragungsgrad App. 2 [./.]

Änderung Rücklauf

Zusammengesetzte Änderungsgleichung

$$\Delta\vartheta_2' = \Delta\vartheta_1' \cdot (1 / \Phi_{12} - 1) \cdot \Phi_{22}$$

Temperaturübertragungsgrades $\Delta\Phi_{2\text{ges}}$
mit Beeinflussung

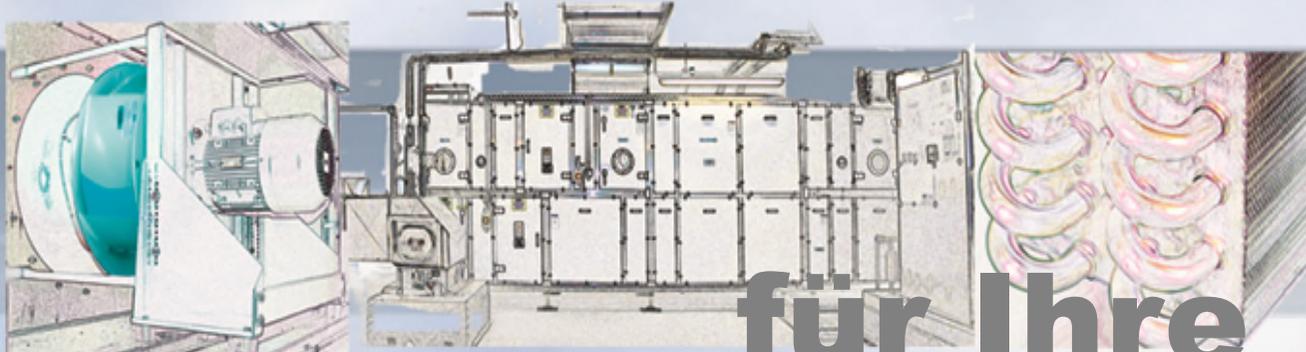
$$\Delta\Phi_{2\text{ges}} = \Delta\Phi_{2\text{ges } 0} - \Delta\Phi_{\text{Korr}}$$

Änderung Rücklauf

$$\Delta\Phi_{\text{Korr}} = \Delta\vartheta_2' / (\vartheta_1' - \vartheta_2')$$

$$\Delta\Phi_{2\text{ges}} = \Delta\Phi_{2\text{ges } 0} - \Delta\vartheta_2' / (\vartheta_1' - \vartheta_2')$$

Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Raumlufttechnik Mehrfachfunktionen

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dr. Christoph Kaup

c.kaup@umwelt-campus.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

Umwelt macht Karriere.