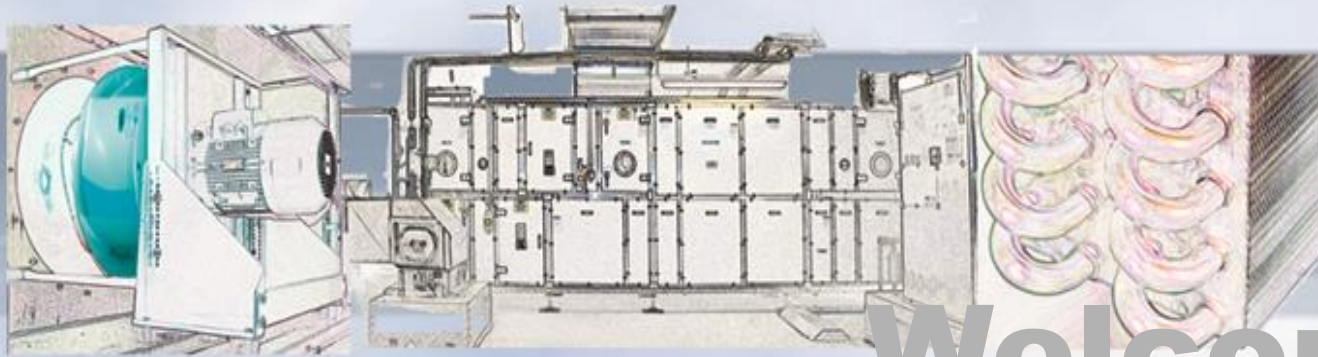


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Raumlufttechnik Regenerator

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup

c.kaup@umwelt-campus.de

Dipl.-Ing. Christian Backes

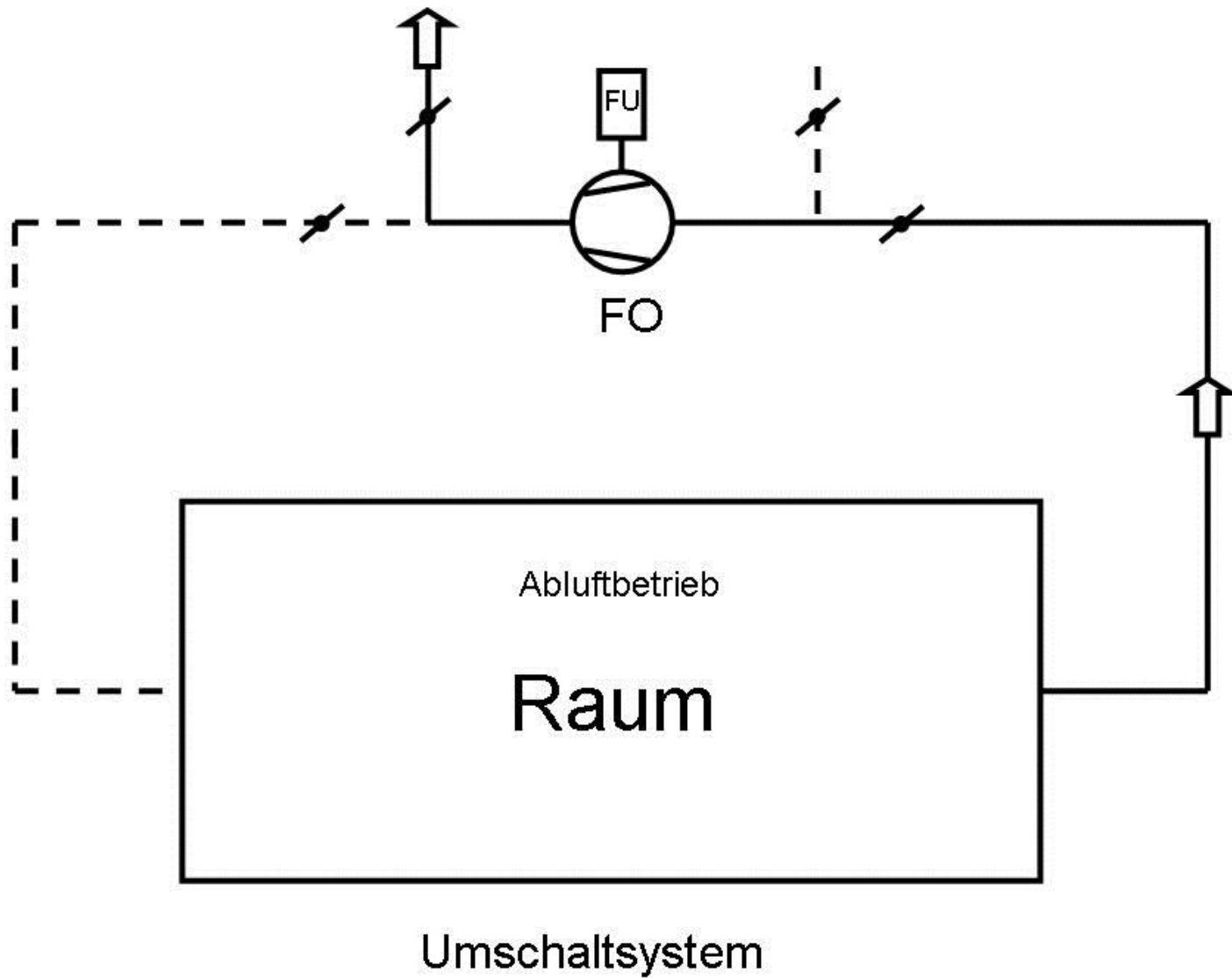
backes@howatherm.de

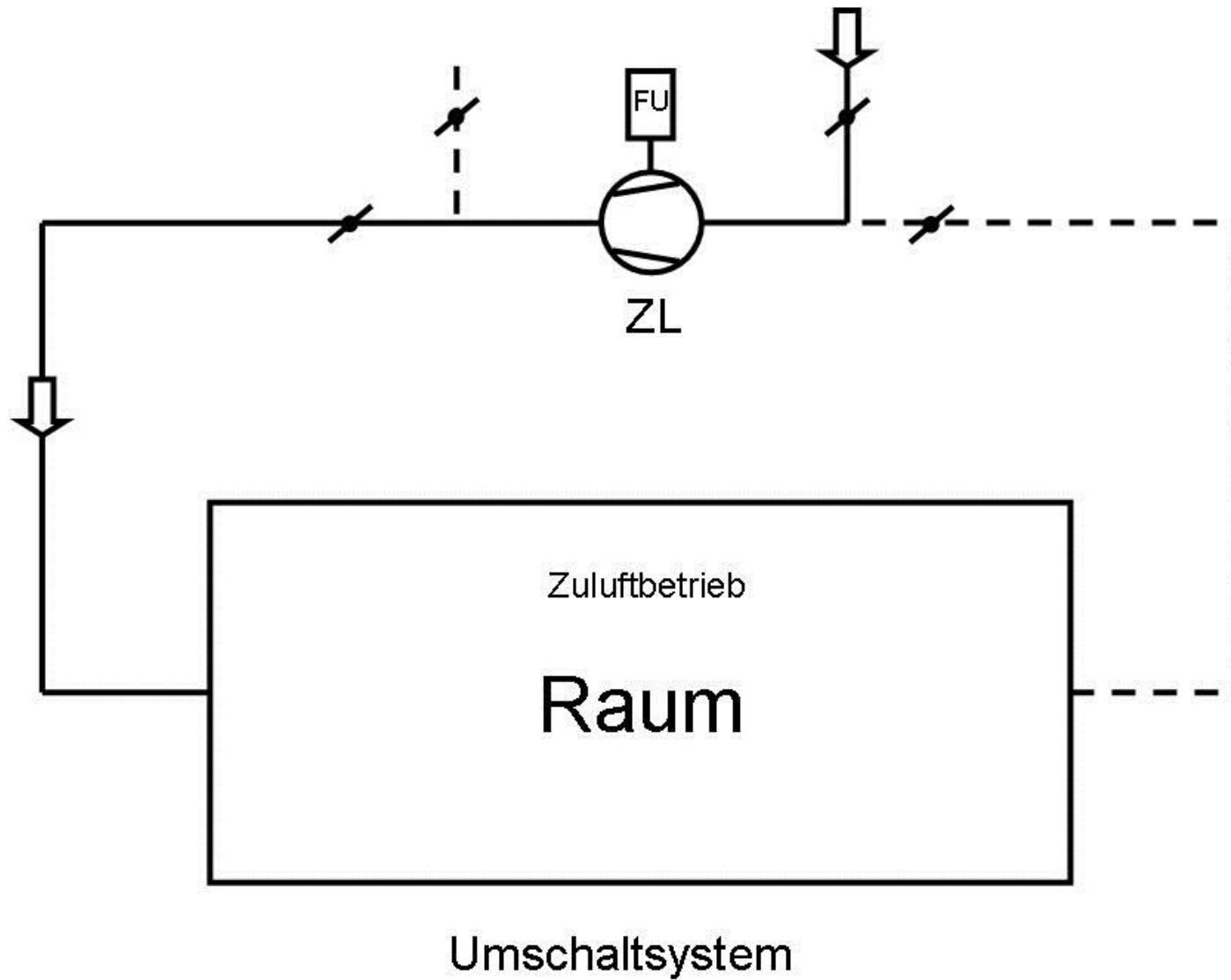


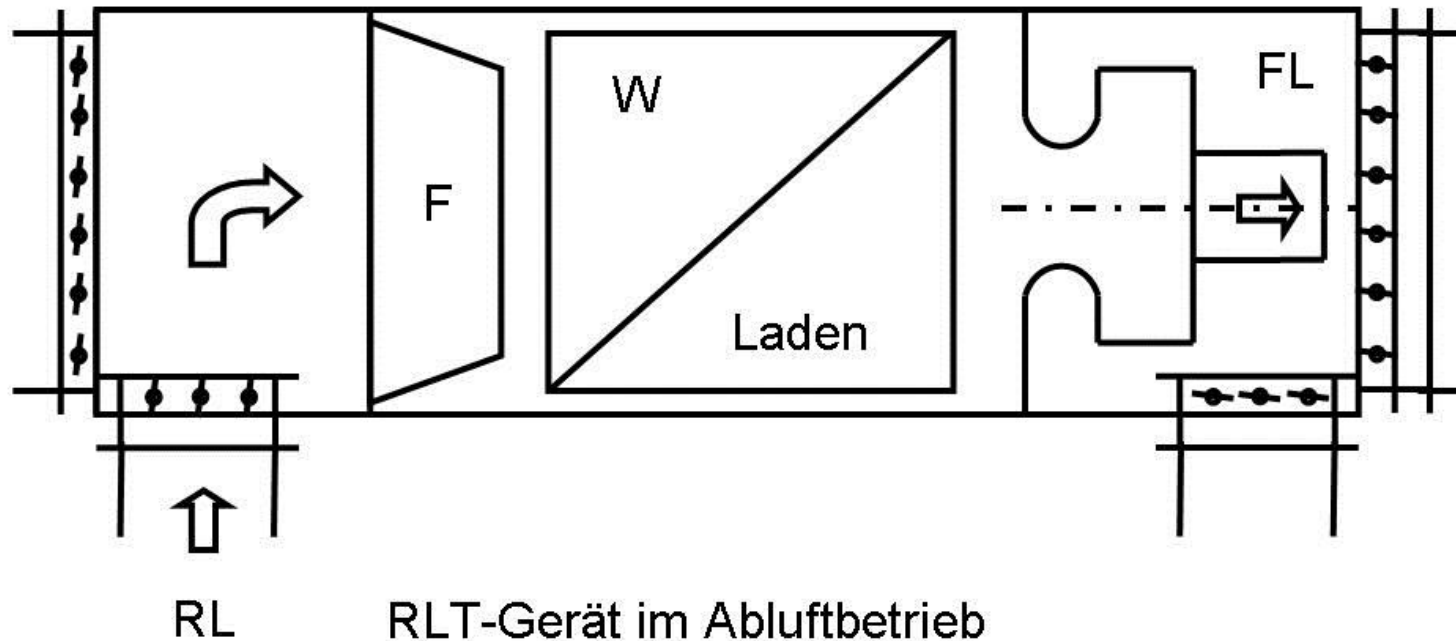
HOCHSCHULE TRIER

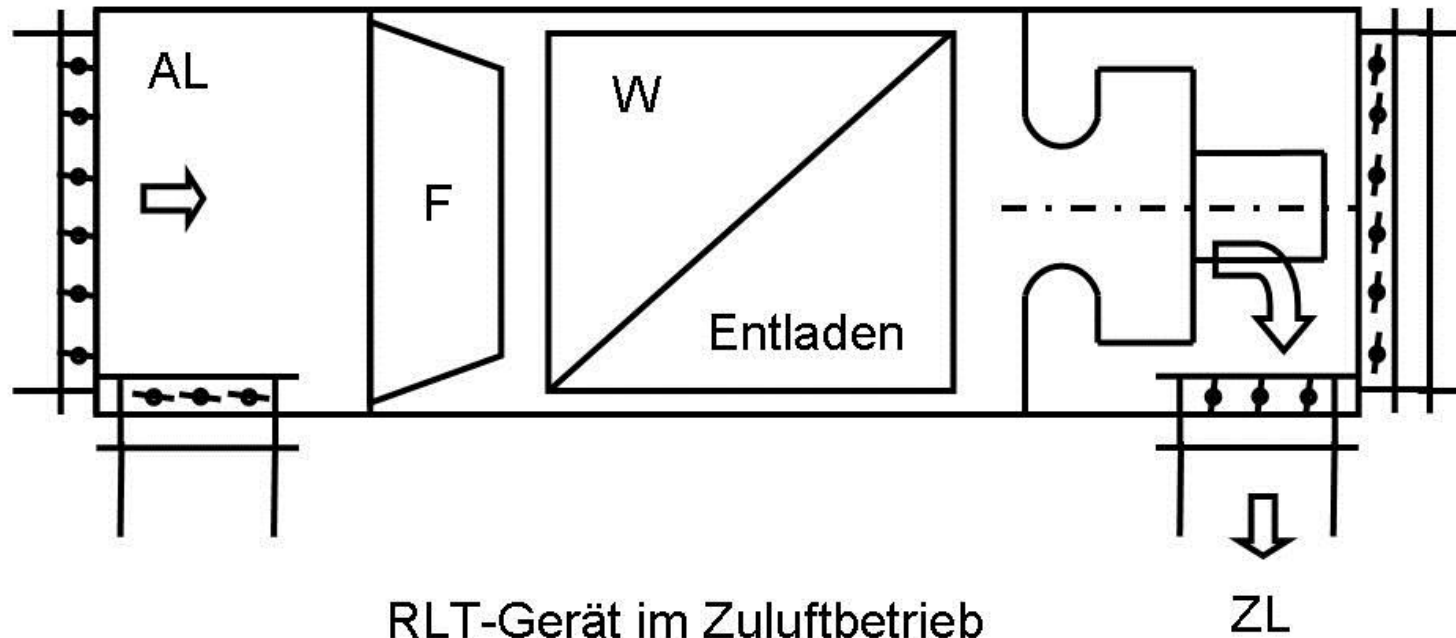
Umwelt-Campus Birkenfeld

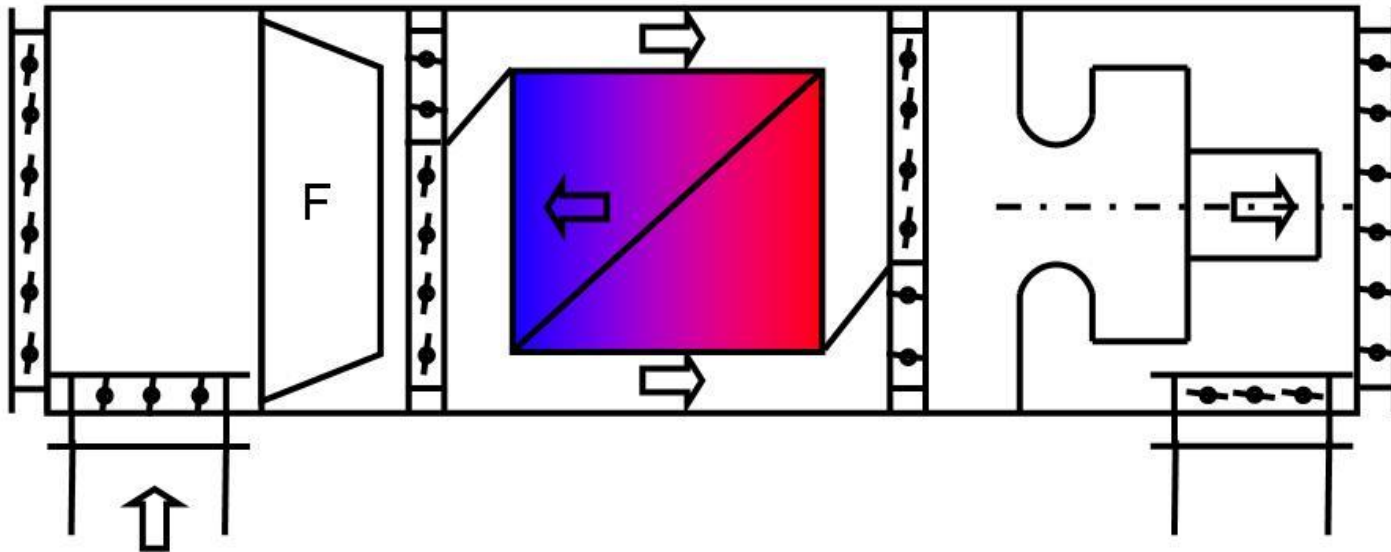
Umwelt macht Karriere.



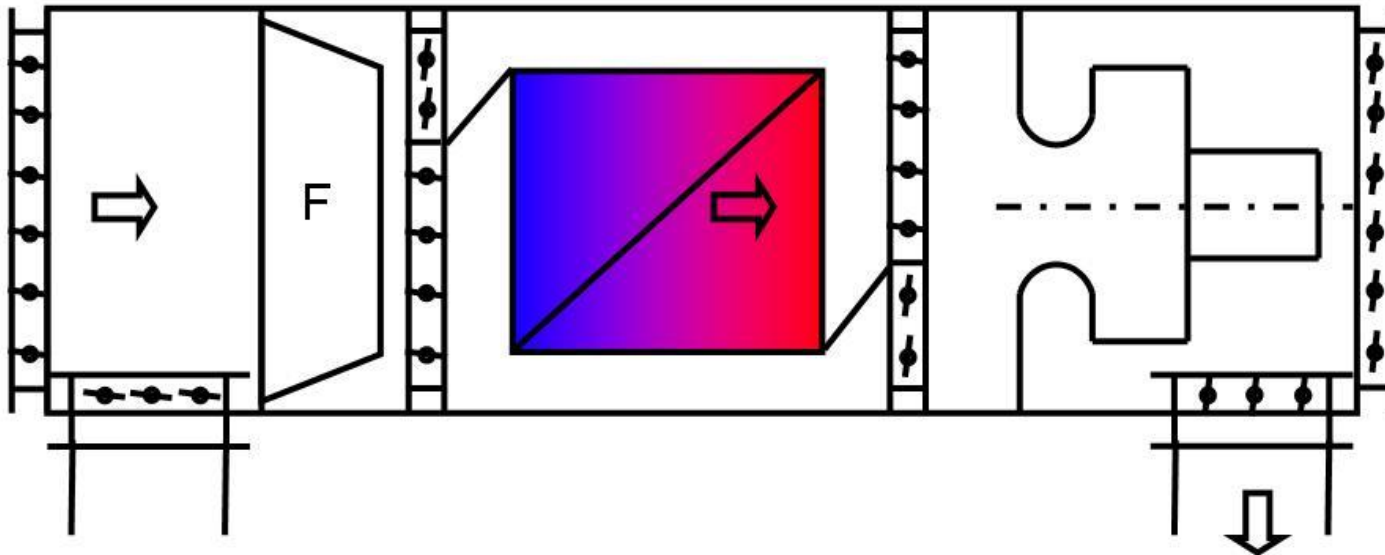




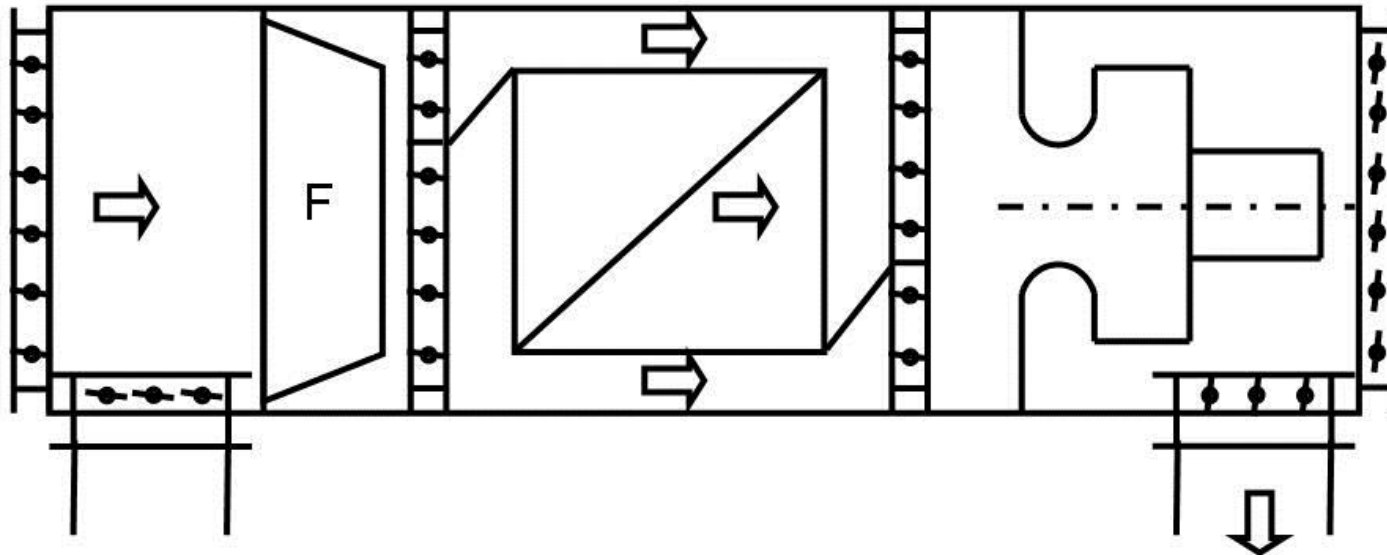




Abluftbetrieb und Ladezyklus des Regenerators



Zuluftbetrieb und Entladezyklus des Regenerators



Bypassbetrieb

Temperaturleitfähigkeit a „Wärmediffusivität“

Maß für den **Temperaturstrom** bei **Temperaturänderungen**

Maß für die **Geschwindigkeit des Ausgleichs**, unterschiedliche Temperaturen innerhalb des Materials.

Eine Temperaturänderung pflanzt sich in einem Stoff umso schneller fort, je größer die a dieses Stoffes ist.

$$a = \lambda / (\rho \cdot c_p)$$

a Temperaturleitfähigkeit [m^2/s]

Wärmeeindringkoeffizient b

Maß für die **Fähigkeit eines Speichermaterials Wärme aufzunehmen** oder wieder abzugeben.

Je größer der Wärmeeindringkoeffizient ist, desto mehr Wärme wird aufgenommen oder abgegeben und desto schneller kann Wärme an der Oberfläche aufgenommen und in das Material abgeleitet werden.

$$b = \sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot c_p)}$$

b Wärmeeindringkoeffizient [$\text{J}/(\text{m}^2 \text{K s}^{0.5})$]

Wärmespeichervermögen Q_s

Wärmemenge, die das Material bei einer Temperaturdifferenz von 1 K **speichern** oder abgeben kann.

Je größer Q_s desto **träger** reagiert die **Speichermasse** auf Temperatur- und Wärmestromveränderungen.

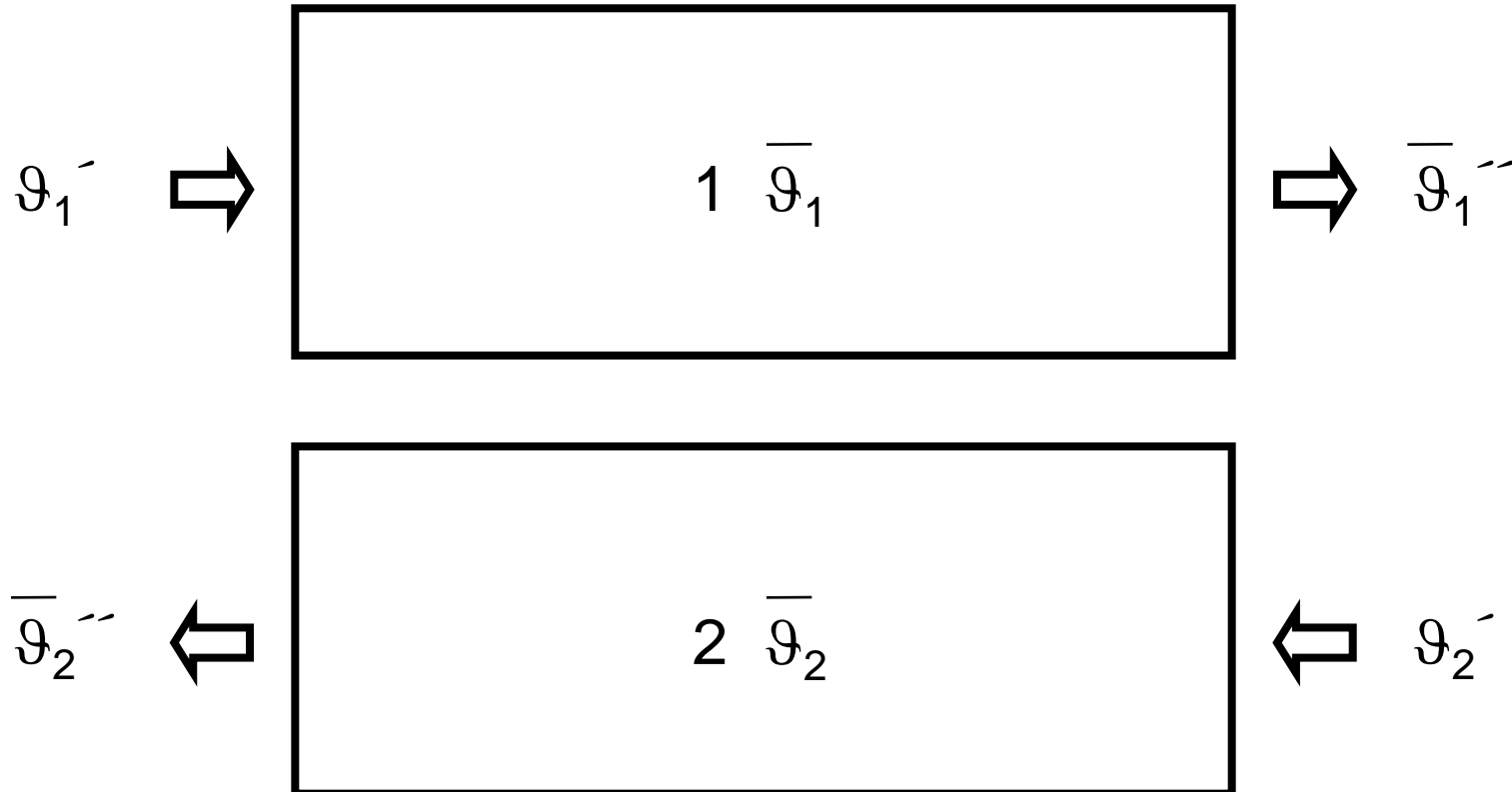
$$Q_s = \rho \cdot c_p \cdot V$$

Q_s Wärmespeichervermögen [J/K]

V Speichervolumen [m³]

Ausgewählte Materialien

	ρ kg/m ³	c_p J/kg/K	λ W/(m K)	Q_s KJ/m ³ /K	b J/(m ² K s ^{0.5})	a m ² /s x 10 ⁶
Kupfer	8.920	385	401,00	3.434	37.109	116,77
Aluminium	2.700	900	237,00	2.430	23.998	97,53
Stahl	7.800	420	48,00	3.276	12.540	14,65
Graphit	2.250	709	165,00	1.595	16.224	103,43
Wasser	1.000	4.190	0,58	4.190	1.559	0,14



Wärmekapazitäten

$$Q_2 = Q_1$$

$$\dot{W}_2 \cdot t_2 \cdot (\bar{\vartheta}_2 - \vartheta_2') = \dot{W}_1 \cdot t_1 \cdot (\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_1'')$$

$\bar{\vartheta}_i$ Durchschnittstemperatur der Gasströme ($i = 1 / 2$)

$\bar{\vartheta}_i''$ Durchschnittsaustrittstemperatur ($i = 1 / 2$)

Wärmekapazitäten

$$\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2 = \bar{\vartheta}_1'' - \vartheta_2' + (\dot{W}_2 \cdot t_2 - \dot{W}_1 \cdot t_1) / \dot{W}_1 / t_1 \cdot (\bar{\vartheta}_2 - \vartheta_2')$$

$\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2$ mittlere Temperaturunterschied der beiden Gasströme

Erzwungene Konvektion

Platte mit vorderer Stoßkante

$$\text{Nu}_{\text{turb}} = \xi / 8 \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr} / [1 + 12.7 \cdot \sqrt{(\xi / 8)} \cdot (\text{Pr}^{2/3} - 1)]$$

turbulenter Strömung $5 \cdot 10^5 < \text{Re} < 10^7$ und $0.6 < \text{Pr} < 2000$

ξ = Widerstandsbeiwert der Platte mit:

$$\xi = 0.296 \cdot \text{Re}^{-0.2}$$

$$\alpha_{1/2} = \text{Nu} \cdot \lambda / l$$

Erzwungene Konvektion

Platte

$$Nu_{\text{lam}} = 0.664 \cdot \sqrt{Re} \cdot Pr^{1/3}$$

laminare Grenzschicht $Re < 5 \cdot 10^5$ und $0.6 < Pr < 2000$

$$Nu = \sqrt{(Nu_{\text{lam}}^2 + Nu_{\text{turb}}^2)}$$

Wärmedurchgangskoeffizient

$$1 / k = (t_1 + t_2) \cdot [1 / \alpha_1 / t_1 + 1 / \alpha_2 / t_2 + (1 / t_1 + 1 / t_2) \cdot d / \lambda_s \cdot \Phi]$$

α_i Wärmeübergangskoeffizient der Periode ($i = 1 / 2$)

t_i Zeitintervalle pro Periode ($i = 1 / 2$)

Φ Hilfsfunktion (Speicherung)

Wärmedurchgangskoeffizient

$$\Phi = 1 / 6 - 0,00556 \cdot s^2 / 2 / a \cdot [1 / t_1 + 1 / t_2]$$

gilt für Platten mit: $s^2 / 2 / a \cdot [1 / t_1 + 1 / t_2] \leq 10$

$$a = \lambda / (\rho \cdot c_p)$$

Temperaturleitfähigkeit

s

Dicke der Regeneratorplatten

Wärmemenge

$$Q = k \cdot A (t_1 + t_2) \cdot \Delta \vartheta_m$$

$$\eta = (1 - e^{[(\mu - 1) \cdot NTU]}) / (1 - \mu \cdot e^{[(\mu - 1) \cdot NTU]})$$

η Wirkungsgrad

μ Wärmekapazitätenverhältnis mit:

$$\mu = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot t_2 / \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot t_1$$

$$NTU = k \cdot A / \dot{W}_2 \quad \dot{W}_2 = \dot{m}_2 \cdot c_p$$

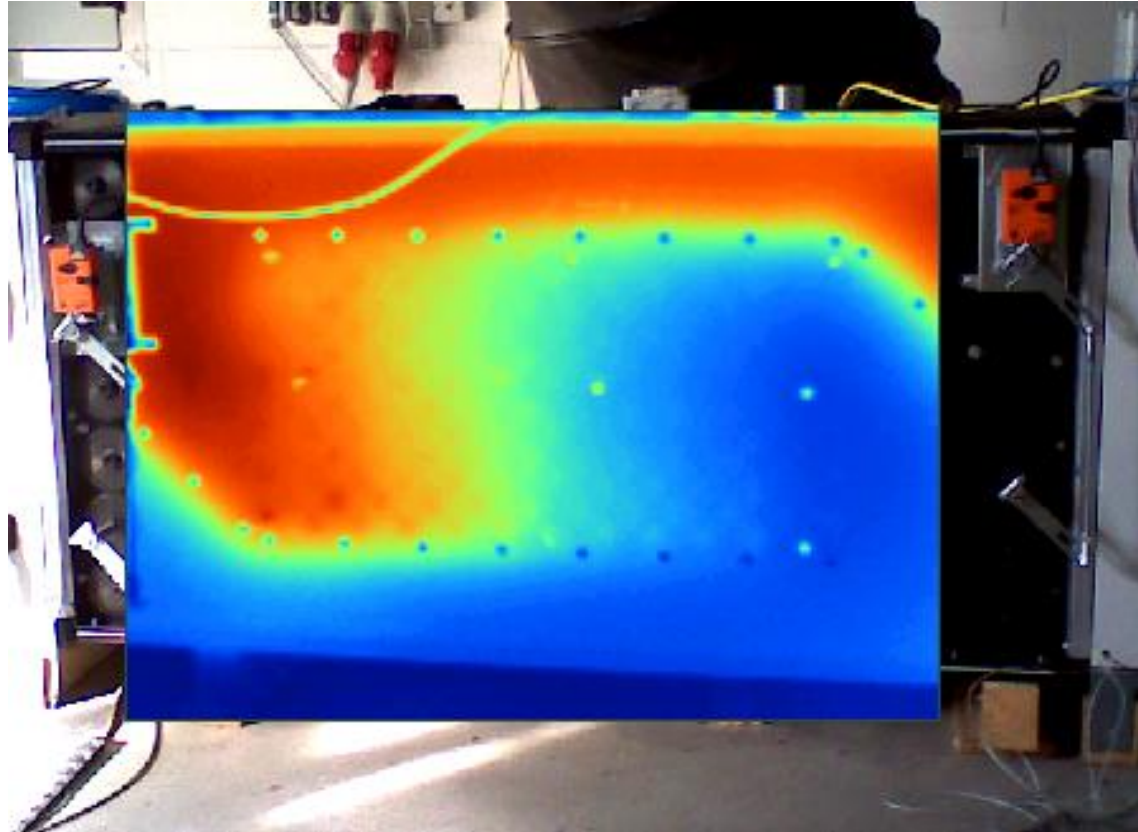
Mittlere log. Temperaturdifferenz

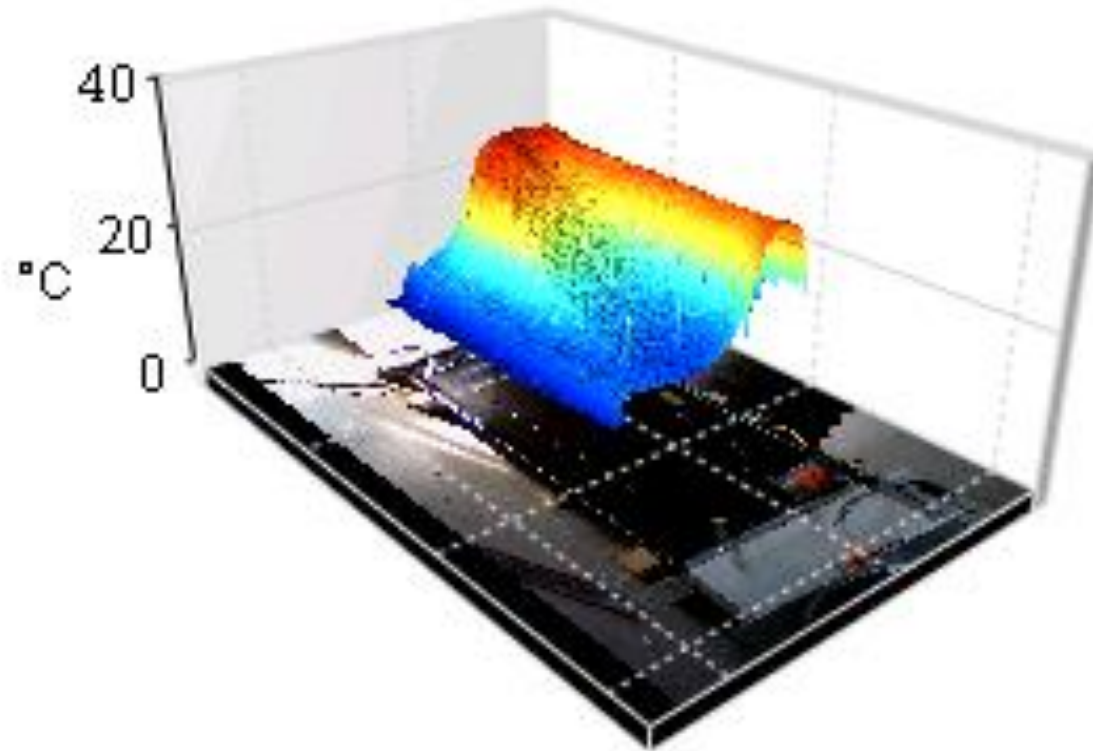
$$\Delta\vartheta_m = (\vartheta_1' - \bar{\vartheta}_2'') - (\bar{\vartheta}_1'' - \vartheta_2') / \ln ((\vartheta_1' - \bar{\vartheta}_2'') / (\bar{\vartheta}_1'' - \vartheta_2'))$$

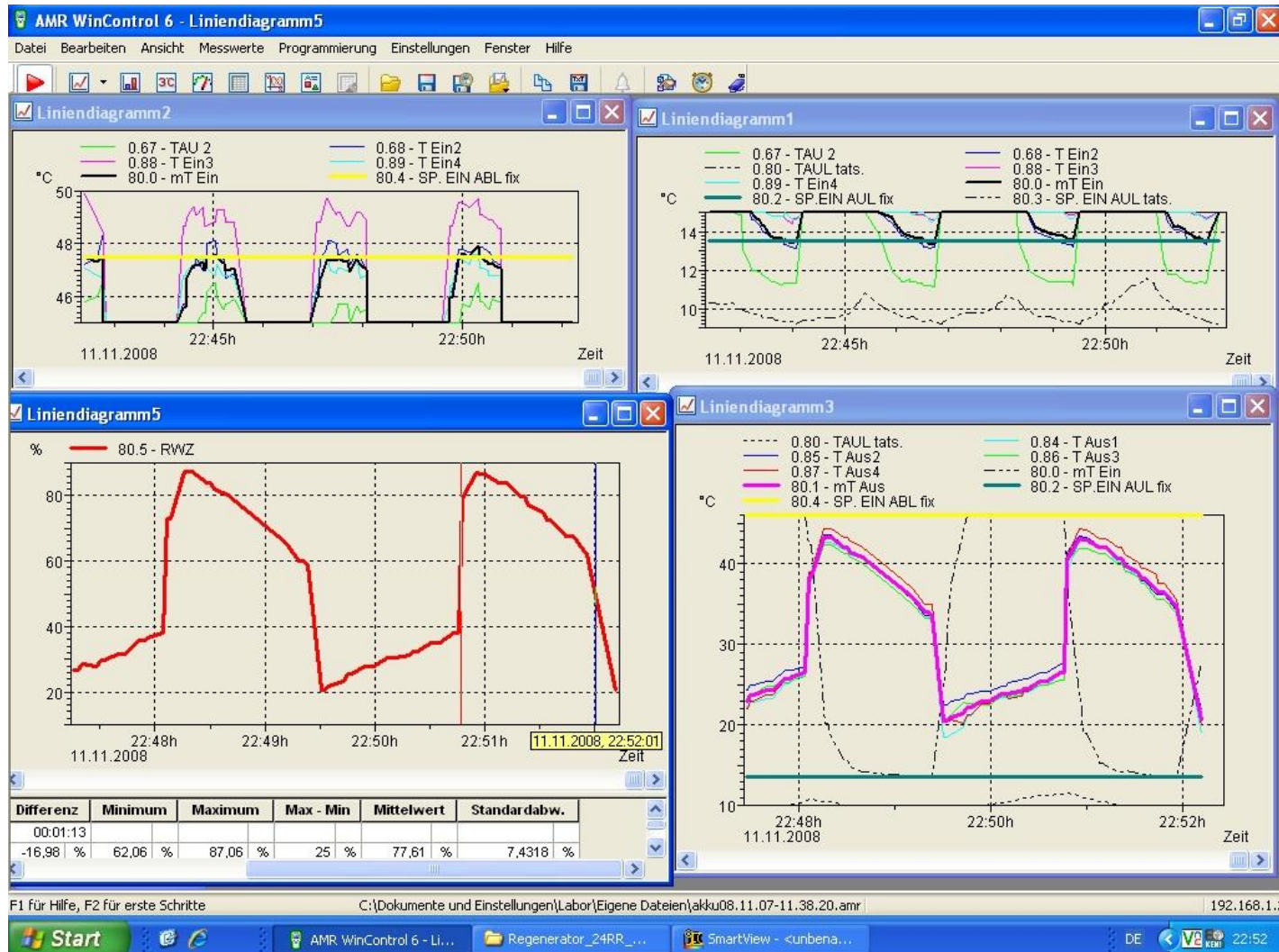
für: $(\vartheta_1' - \bar{\vartheta}_2'') > (\bar{\vartheta}_1'' - \vartheta_2')$

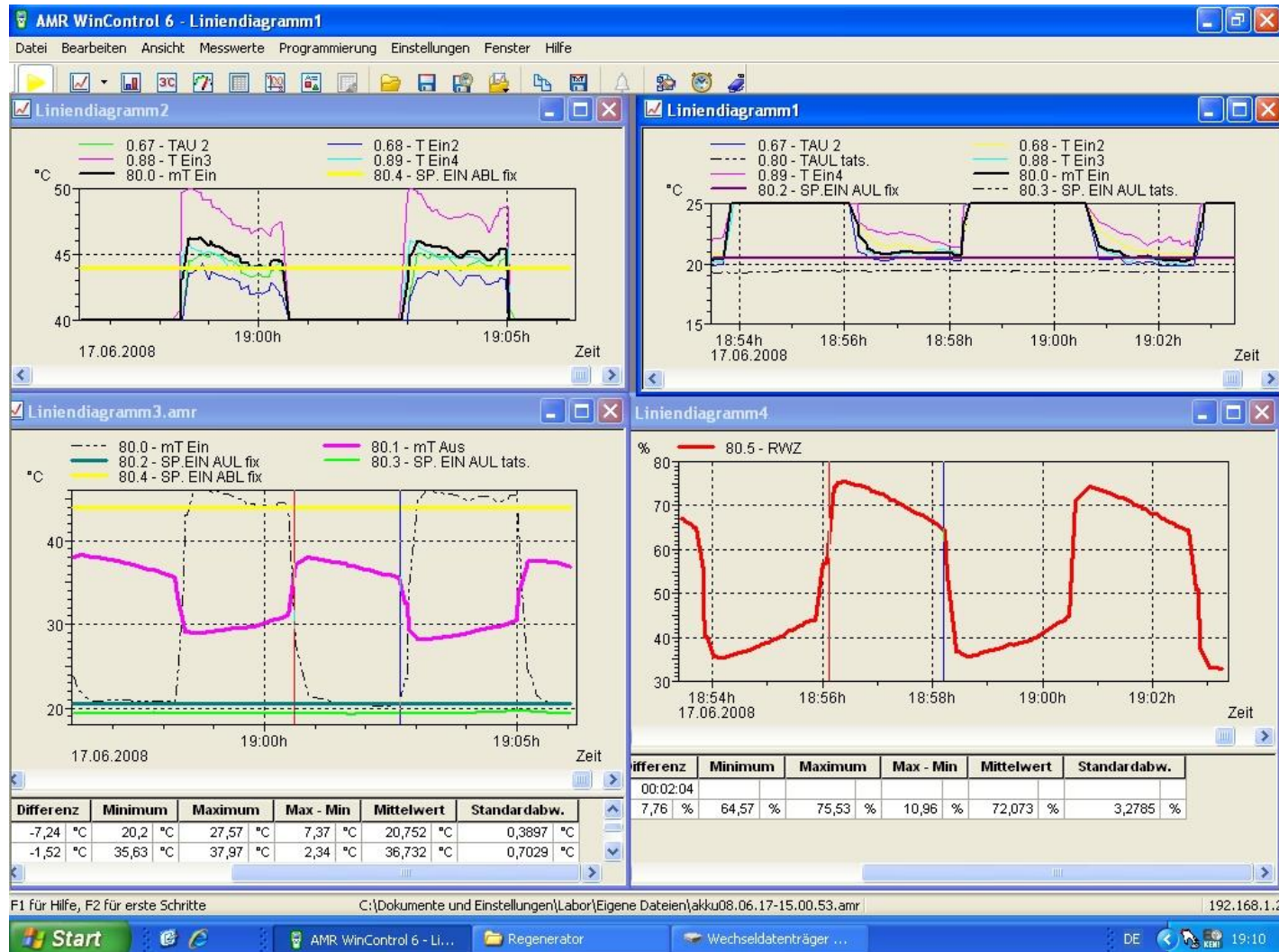


DE 10 2007 033 055.5-34

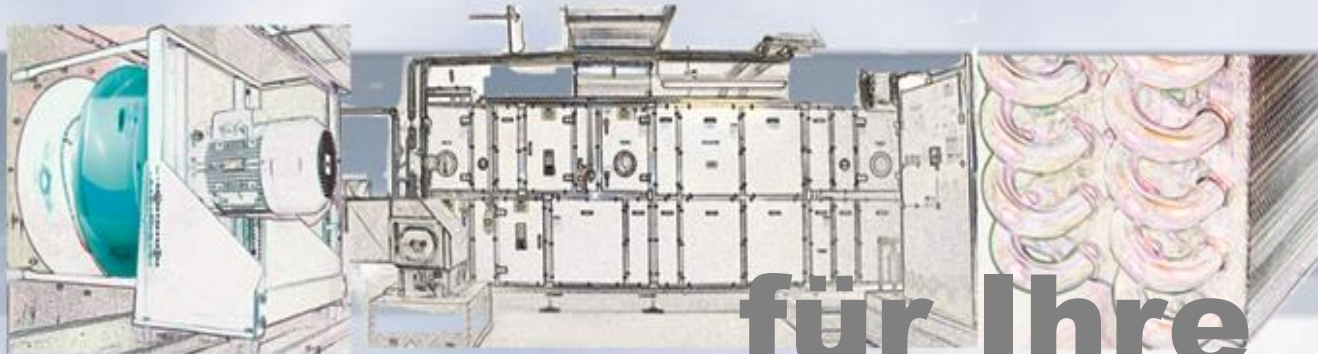








Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Raumlufttechnik Wärmeübertragung

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup

c.kaup@umwelt-campus.de

Dipl.-Ing. Christian Backes

backes@howatherm.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.