

Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

Effizienzkriterien bei Wärmetauschern

Materialeinfluss: Kunststoff oder Aluminium

Dipl.-Ing. Eberhard Paul
Paul Wärmerückgewinnung GmbH, August-Horch-Str. 7, 08141 Reinsdorf
Tel. 0375 303505-0, Fax 0375 303505-01, E-Mail: info@paul-lueftung.de

Zur Luft-Luft-Wärmeübertragung werden am Markt verschiedene Wärmetauscher (WT) angeboten. Sie unterscheiden sich hinsichtlich

- A) Energieeffizienz (übertragene Wärmemenge und Druckverlust)
(siehe Pkt. 5 und 6)
- B) Hygiene (Dichtheit, Oberflächenbeschaffenheit, Materialart)
(siehe Pkt. 7)
- C) Gewicht (wegen Demontage für die Reinigung von Bedeutung)
(siehe Pkt. 8) und
- D) Preis (in Abhängigkeit u. a. von dem Aufwand an Energie und Material bei Herstellung, Transport und Entsorgung = „graue Energie“)
(siehe Pkt. 9)

1. Einsatzbereiche

Hier soll bei den Luft-Luft-Wärmetauschern nur der Einsatzbereich für die kontrollierte Wohnungslüftung (Komfortlüftungsanlagen) betrachtet werden. Bei der Wohnungslüftung wird im Wärmetauscher Wärme aus der Abluft (z. B. 21 °C) an die Außenluft (z. B. 0 °C) übertragen → richtigerweise spricht man daher von „Wärmeübertragern“ und nicht (wie umgangssprachlich) von „Wärmetauschern“. Dabei erwärmt sich die Außenluft von 0 °C auf z. B. 18 °C (bei einem Wärmebereitstellungsgrad von 90 %). Das Einsatzspektrum liegt zwischen ca. 30 m³/h und ca. 6.000 m³/h (oberer Grenzwert variiert sehr stark).

2. Wirtschaftlichkeit

Wird ein Wärmetauscher in der Wohnraumlüftung eingesetzt, wird aus der warmen Abluft Wärme zurückgewonnen. Neben diesem „Nutzen“ steht ein „Aufwand“ gegenüber: der Stromverbrauch an den beiden Ventilatoren. Der so genannte Leistungsfaktor ε beschreibt beide Größen:

$$\varepsilon = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\text{zurückgewonnene Wärme } (\Delta\dot{Q})}{\text{aufgewendete elektrische Leistung } (P_{el})}$$

Die zurückgewonnene Wärmemenge sollte möglichst groß sein. Sie wird aus der Abluft-Abkühlung ermittelt (siehe Pkt. 3, 5 und 6 dazu):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (H_{Ab} - H_{Fo})$$

\dot{Q} [Wh/kg] – übertragene Wärme

H [Wh/kg] – Enthalpie (= Wärmeinhalt [W] pro Luftmengenstrom [kg/h])

\dot{m} [kg/h] – Luftmengenstrom

Index: Ab – Abluft

Fo – Fortluft

Bei „trockener Messung“ – d. h. ohne Kondensation in der Abluft ($\varphi_{Ab} < 25 \% \text{ r.F.}$, $t_{Au} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$) gilt:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_{Ab} - t_{Fo})$$

c_p [Wh/kgK] – spezifische Wärme der Luft
 t [°C] – Lufttemperatur

Der Grad der Abluft-Abkühlung ($t_{Ab} - t_{Fo}$) ist von vielerlei Eigenschaften des Wärmeübertragers abhängig – am wenigsten von der Materialart – es ist fast ohne Belang, ob er aus Kunststoff oder Aluminium besteht (siehe Pkt. 6a)). Viel wichtiger sind die Strömungsform (siehe Bild 2), die Wärmetauscherfläche (u. a. abhängig vom Profil der Platinen) und die Korpus-Größe des Wärmetauschers (siehe dazu Pkt. 5).

Der zweite wichtige Einflussparameter auf die Wirtschaftlichkeit ist die elektrische Leistungsaufnahme P_{el} . Diese resultiert aus dem Druckverlust Δp , welcher von der Geschwindigkeit und dem Turbulenzgrad der Strömung beeinflusst wird. Ziel ist es, diese beiden strömungsorientierten Größen möglichst gering zu halten, wodurch Druckverlust und folglich auch die elektrische Leistungsaufnahme minimiert werden.

Fast keinen Einfluss auf den Druckverlust hat das Material, da sowohl Kunststoff als auch Aluminium (keine Korrosion vorausgesetzt) eine relativ glatte Oberfläche besitzen (absolute Wandrauigkeit $K \approx 0,002 \text{ mm}$).

Neben diesen 2 technischen Parametern (\dot{Q} und P_{el}) hat noch der Preis einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Aus dem relativ hohen Stromverbrauch bei der Aluminium-Elektrolyse folgen ein hoher Materialpreis und ein hoher Aufwand an „grauer Energie“ (im Produkt versteckte Energie für Erzeugung und Entsorgung) (siehe Pkt. 9). Diese Größe ist neben dem Wärmerückgewinnungsgrad und dem Stromverbrauch ein wichtiger Bewertungsmaßstab für die Ökologie eines Produktes zur Energieeinsparung.

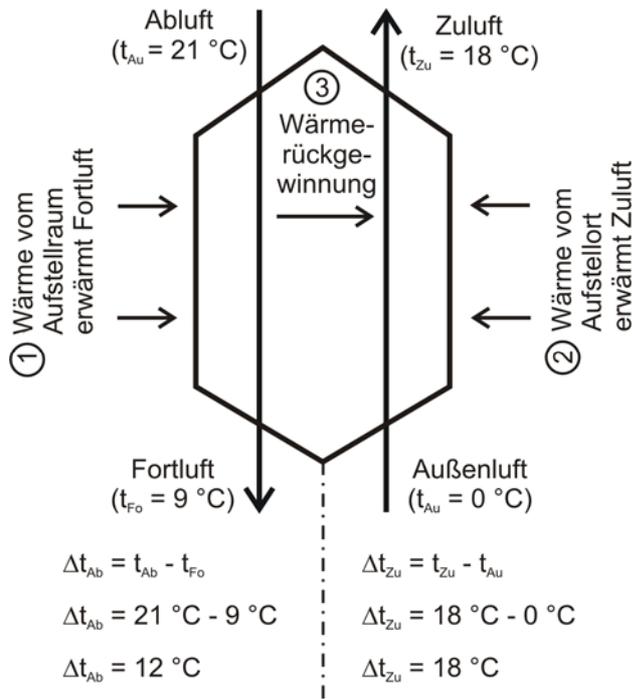
3. Wärmebereitstellungsgrad

Der „Wärmebereitstellungsgrad“ ist ein Wirkungsgrad zur Darstellung der Effizienz der Wärmerückgewinnung. Es gibt 2 Sichtweisen zur Ermittlung des Wärmebereitstellungsgrades:

- a) den Grad der Erwärmung der Außenluft (zuluftseitiger Wärmebereitstellungsgrad) und
- b) den Grad der Abkühlung der Abluft (abluftseitiger Wärmebereitstellungsgrad)

Die Erwärmung (bzw. Abkühlung) kann man darstellen in Form von

- Temperaturen (t) oder
- Enthalpie (H) = Wärme, die die sensible Wärme (z. B. spürbare Temperaturabkühlung) und die latente Wärme (z. B. verborgene Wärme, die durch Kondensation von Dampf zu Wasser frei wird) zusammenfasst.



Die Größe der Wärmeströme ① und ② ist abhängig von der mehr oder weniger guten Wärmedämmung des Wärmerückgewinnungsgerätes (bzw. des Wärmetauschers), d. h. auch von möglichen "Wärmebrücken"

Bild 1: Einflussfaktoren auf die Lufterwärmung im WRG-Gerät

- ① Die Fortluft wird leicht erwärmt → das Haus verliert eine gewisse Wärmemenge (vom Aufstellraum) über den Fortluftstrom → thermodynamisch richtige Betrachtung der Wärmerückgewinnung.
- ② Die Wärme vom Aufstellraum erwärmt in gewisser Weise die Außenluft – diese Wärme ② darf nicht der Wärmerückgewinnung ③ zugerechnet werden, d. h. in der Lufterwärmung

$$\Delta t_{Zu} = t_{Zu} - t_{Au}$$

steckt Wärme, die nicht ausschließlich den Wärmerückgewinnungseffekt (Wärmestrom ③) widerspiegelt.

Folglich ist auch der zuluftseitig ermittelte Wärmebereitstellungsgrad η ein um 3 bis 30 % nach oben verfälschter Wert:

$$\eta = \frac{t_{Zu} - t_{Au}}{t_{Ab} - t_{Au}} = \frac{H_{Zu} - H_{Au}}{H_{Ab}^* - H_{Au}}$$

H_{Ab}^* - Enthalpie der Abluft bei Außenluftfeuchte (lt. Definition des TZWL)

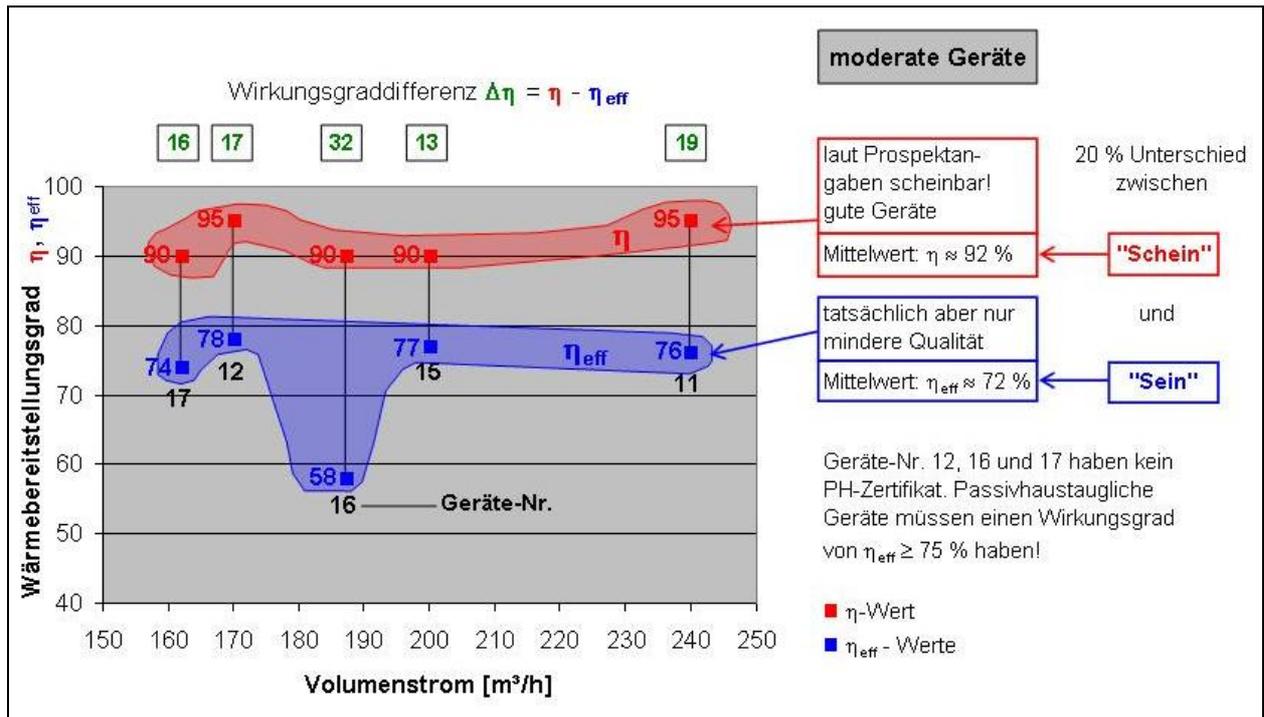


Bild 2: Bei weniger guten Wärmerückgewinnungsgeräten gemessene unterschiedliche Wärmebereitstellungsgrade:

η – bezogen auf zuluftseitig gemessene Lufterwärmung
 η_{eff} – bezogen auf abluftseitig gemessene Luftabkühlung

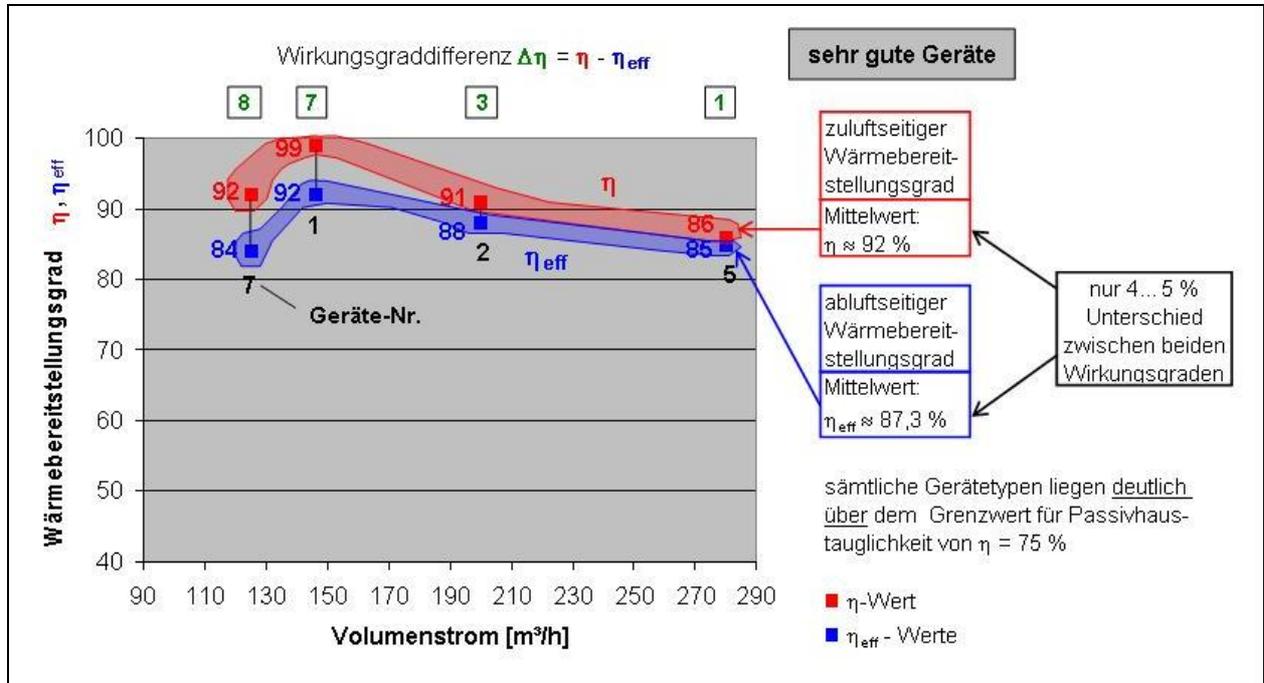


Bild 3: Bei guten Wärmerückgewinnungsgeräten gemessene Wärmebereitstellungsgrade (η , η_{eff}) mit nur geringfügigen Unterschieden

Ebenso kann sich die Zuluft durch interne und externe Leakageströme erhöhen. Allerdings dürfen nur Geräte vermessen werden, deren Gesamtleckage 3 % bezogen auf den Nenn-Luftmassenstrom nicht übersteigt.

Der abluftseitig ermittelte effektive Wärmebereitstellungsgrad gibt den thermodynamisch exakten Wert zur Beurteilung der Wärmerückgewinnungseffizienz an:

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{t_{\text{Ab}} - t_{\text{Fo}} + \frac{P_{\text{el}}}{\dot{m} \cdot c_p}}{t_{\text{Ab}} - t_{\text{Au}}}$$

- P_{el} [W] – Motorabwärme der beiden Ventilatoren
 \dot{m} [kg/h] – Luftmassenstrom
 c_p [Wh/kg·K] – spezifische Wärme der Luft

Zu bemerken ist, dass zur Vermeidung von Messwertverfälschungen (die Kondensationswärme lässt sich nicht aus den Abluft-Fortluft-Temperaturwerten ablesen) die Messungen für η_{eff} mit trockener Abluft vorgenommen werden (keine Kondensation). Der wirkliche effektive Wirkungsgrad mit feuchter Abluft liegt daher um ca. 0,3 bis 2 % höher. Dieser Wert (0,3 %) wurde aus den Messungen im Rahmen des CEPHEUS-Programmes in Passivhäusern in Hannover-Kronsberg ermittelt. Hier fließt auch die Energie der Ventilatoren (P_{el}) als Wärmebeitrag in das Haus mit ein. Diese Energie P_{el} wird in Form von Motorenabwärme und als Reibungswärme (in den Rohren) als nutzbringende Wärme dem Haus zugeführt. Die gemäß Passivhaus-Institut ermittelten effektiven Wärmebereitstellungsgrade der untersuchten Geräte können aus den PH-Zertifikaten oder aus www.passiv.de entnommen werden.

Gemessen wird der Wärmebereitstellungsgrad bei folgenden Parametern:

	Temperatur	relative Luftfeuchte
Außenluft	4 °C	~ 31 % (uninteressant)
Abluft	21 °C	26 % (keine Kondensation)

Es ist zu erkennen, dass diese Werte sehr eng bei den tatsächlich auftretenden Werten in der Praxis liegen: mittlere Außentemperatur während der Heizperiode: $t_{\text{Au}} \sim 4,5$ °C.

Es ist absurd, wenn hin und wieder behauptet wird, dass sich die im Labor ermittelten effektiven Wärmebereitstellungsgrade nicht in der Praxis (bei gleicher Abluftfeuchte und bei ausgeglichenen Volumenströmen: Abluft = Zuluft) einstellen.

4. Wärmetauschertypen

Wärmetauschertypen (bzw. Wärmeübertrager) werden untergliedert in

- regenerative Wärmetauscher (z. B. Rotor) und
- rekuperative Wärmetauscher

Bei rekuperativen Wärmetauschern unterscheidet man drei Strömungsformen.

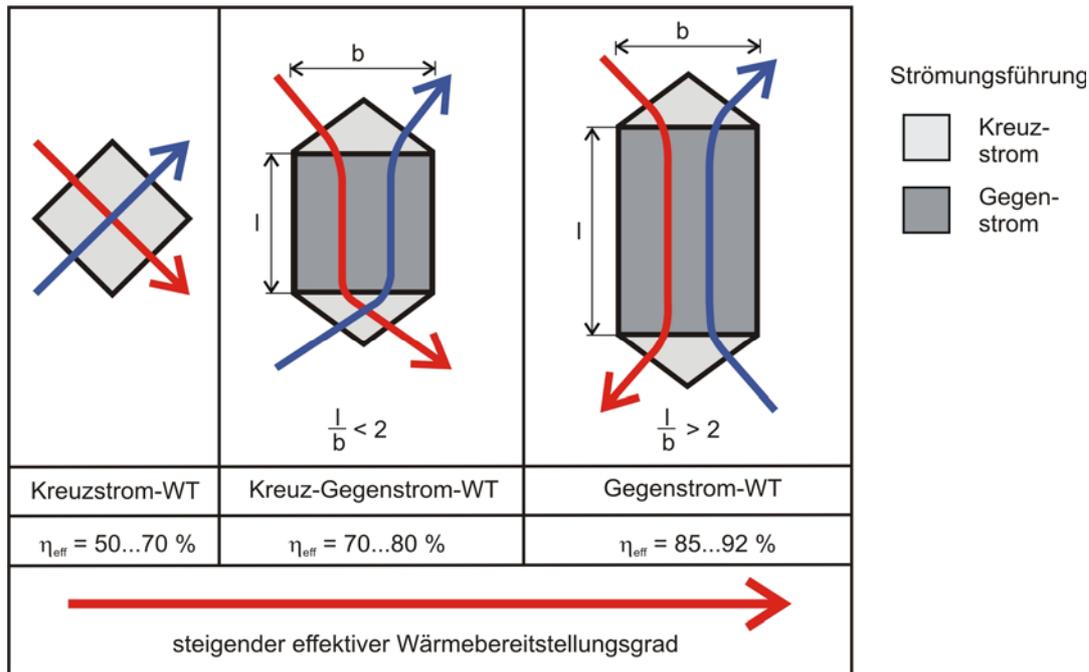


Bild 4: Strömungsformen in Wärmetauschern

In allen Fällen werden die beiden Luftströme aneinander vorbeigeführt – getrennt durch dünne Platinen unterschiedlicher Struktur. Dabei vermischen sich die Luftströme nicht.

Auf Grund sehr trockener Außenluft bei winterlichen Temperaturen ist (zur Vermeidung einer zu trockenen Raumluft) eine Feuchteübertragung sinnvoll – aber bei einem Aluminium-Wärmetauscher unmöglich. Es gibt inzwischen verschiedene Wärmetauscher mit unterschiedlichen Materialien – seit ca. 2005 werden serienmäßig feuchteübertragende Wärmetauscher angeboten. Die Übertragung von Bakterien und Gerüchen erfolgt dabei in rekuperativen Wärmetauschern nicht!

5. Wärmetauscher-Vergleich bezüglich Wärmebereitstellungsgrad und Druckverlust

In der Praxis findet man keine marktgängigen Wärmetauscher, die von verschiedenen Herstellern gefertigt

- in den äußeren Abmaßen (Breite, Länge, Tiefe)
- in der Profilform der Wärmetauscher-Platten (Platinen) und
- beim Material

vollkommen identisch sind. Daher ist auch ein Vergleich, bei dem nur einer der o. g. Parameter variiert wird und alle anderen Eigenschaften konstant bleiben, nicht möglich. Wäre dies so, könnte man die Auswirkungen dieses einen variierten Parameters (z. B. auf den Wärmetauscheffekt oder den Druckverlust) gut auswerten. Deshalb werden hier Wärmetauscher miteinander verglichen, die für den gleichen Einsatzzweck (hier $\dot{V} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$) lt. Hersteller vorgesehen sind:

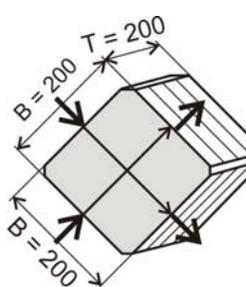
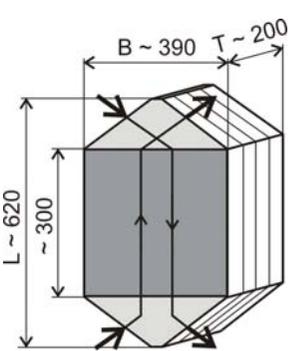
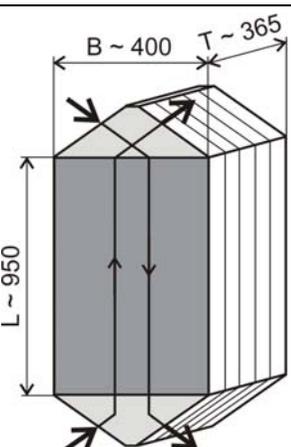
	①	②	③	Unterschiede von ① zu ③			
				$\Delta\eta_{\text{eff}}$	$\Delta\dot{Q}^{1)}$	Δp	$\Delta P_{\text{el}}^{2)}$
1. effektiver Wärmebereitstellungsgrad η_{eff} Bereich	50...70 %	70...80 %	85...92 %	+15...42 %	+270...450 W		
bei $\dot{V} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$	48 % ³⁾	79 % ³⁾	92 % ⁴⁾	+44 %	+470 W		
2. Druckverlust Δp Bereich	45...250 Pa	50...250 Pa	35...70 Pa			-10...-180 Pa	-3...-81 W
bei $\dot{V} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$	45 Pa	52 Pa	35 Pa			-10 Pa	-3 W

Tabelle 1: Vergleich von Wärmetauschern

Erläuterungen zu Tabelle 1:

¹⁾ $\Delta\dot{Q} [\text{W}]$ = Unterschied an übertragener Wärme \dot{Q} von ① (Plattenwärmetauscher) zu ③ (Gegenstrom-Kanalwärmetauscher) bei $150 \text{ m}^3/\text{h}$, $t_{\text{Au}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ und $t_{\text{Ab}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

²⁾ $\Delta P_{\text{el}} [\text{W}]$ = Unterschied bei der elektrischen Leistungsaufnahme an den beiden Ventilatoren durch unterschiedliche Druckverluste von ① zu ③

³⁾ zuluftseitig gemessen; der effektive Wärmebereitstellungsgrad (ablufseitig gemessen) liegt niedriger!

⁴⁾ effektiver Wärmebereitstellungsgrad η_{eff} ablufseitig gemessen

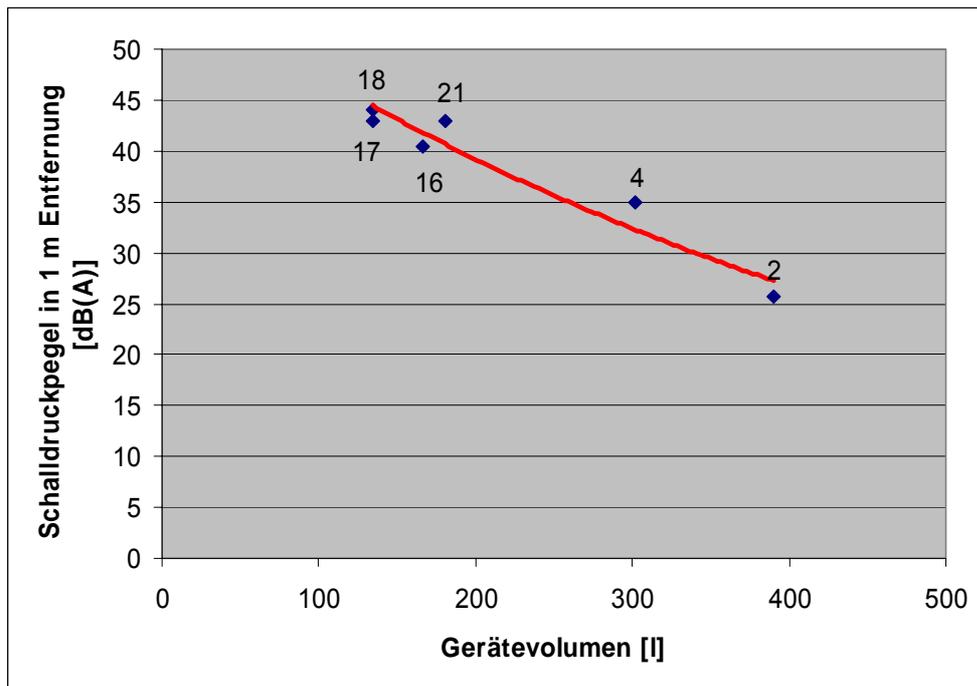


Bild 5: Abhängigkeit des Schalldruckpegels (1 m) vom Gerätevolumen

c) Die Gestaltung der Plattenstruktur

Durch die entsprechende Profilierung lässt sich die WT-Fläche deutlich erhöhen.

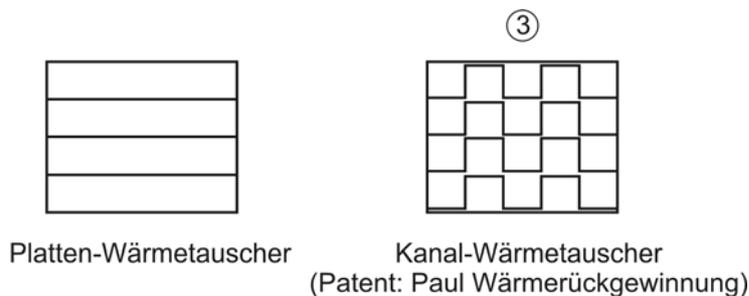


Bild 6: Plattenstruktur

Es fällt auf, dass die Materialart zur Steigerung der Wärmeübertragungseffizienz hier nicht aufgeführt ist. Die Materialarten (Aluminium oder Kunststoff) sind zwar durch unterschiedliche Wärmeleitwerte λ gekennzeichnet, aber durch die sehr schlechten Wärmeübergangswerte α auf beiden Luftseiten (30 bis 3.000-mal schlechter als der Wärmeleitwert im Festkörper: Kunststoff oder Aluminium) spielt der λ -Wert-Unterschied keine Rolle mehr. Beim Wärmetransport durch die Schichten: Luft-Plattenmaterial-Luft (Wärmedurchgang – siehe Bild 7) verhält es sich ähnlich wie bei der Transportgeschwindigkeit einer Auto-Kolonne auf der Autobahn: der Langsamste bestimmt das Tempo.

Für den Wärmeübergangsprozess bei Luft-Luft-Wärmetauschern (oder allgemein: an luftberührten Bauteilen, z. B. am gerippten Motorblock) spielt die zur Verfügung stehende Wärmetauschfläche eine enorme Rolle. Würde man einen großflächigen Wärmetauscher (s. o. c)) mit einer Korpusgröße wie ③ aus Aluminium bauen, wäre dieser wegen seines enormen Gewichtes (ca. 24 kg) nicht mehr so einfach von Hand zu transportieren (z. B. für Reinigungszwecke: Herausnehmen und Hineinschieben in das Gerät), denn Aluminium hat das 2,5-fache Gewicht von Kunststoff (z. B. PS). Außerdem ließe sich Aluminium beim Tiefziehen nicht um das Doppelte seiner Ursprungslänge strecken, was zum Fertigen einer Profilstruktur wie beim Kunststoff-Kanalwärmetauscher (siehe Bild 6) erforderlich wäre.

Neben den o. g. Wärmetauscher-Eigenschaften haben noch andere Komponenten im Wärmerückgewinnungsgerät Einfluss auf seine Effizienz:

	Komponente	Zielgröße
	Ventilatoren-Typ	→ höchste Energieeffizienz wird bei Gleichstrom-Motoren mit DC-Technik erreicht
	Geräte-Aufbau	→ voluminöse Geräte (daraus folgt: geringe Luftgeschwindigkeit, geringer Druckverlust, geringer Stromverbrauch) → bei Schaumgehäuse wenig scharfe Kanten, geschwungene Konturen
	Filter-Bauart	→ Z-Line-Struktur mit großer Filteroberfläche, d. h. geringerer Druckverlust → dichter Filtersitz, d. h. geringere Leckluftmenge am Filter vorbei – Lufthygiene auch im Leitungssystem verbessert
	Gerätesteuerung	→ Bei einer sensorischen (CO ₂ , Feuchte) und/oder zeitautomatisierten Ansteuerung der Ventilatoren wird gegenüber der manuellen Steuerung <ul style="list-style-type: none"> • der Stromverbrauch um schätzungsweise 7 % reduziert und • der Wärmebereitstellungsgrad um schätzungsweise 2 % erhöht (Einzelheiten dazu können beim Autor erfragt werden).

Tabelle 2: Einfluss von Komponenten auf die Effizienz von Wärmerückgewinnungsgeräten

6. Effizienzvergleich von Kunststoff- und Aluminium-Wärmetauschern

a) Materialvergleich

Da es nicht exakt zwei konstruktiv gleiche Wärmetauscher in der Praxis gibt (einer aus Kunststoff und ein zweiter aus Aluminium), kann man keinen messtechnischen Vergleich anstellen, welcher Wärmetauscher besser sei. Daher soll hier thermodynamisch die übertragende Wärmemenge \dot{Q} für beide Materialarten an sonst gleichen Wärmetauschern berechnet werden.

$$\dot{Q} = k \cdot F \cdot \Delta t_m$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

\dot{Q} [W] – übertragene Wärme

$k \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$ – Wärmedurchgangszahl

F [m²] – Wärmetauschfläche

Δt_m [K] – mittlere Temperaturdifferenz: $\Delta t_m = \frac{(t_{Fo} - t_{Au}) + (t_{Ab} - t_{Zu})}{2}$

ohne Kondensation und bei geringem Einfluss des Wärmestromes ② (siehe Bild 1)
gilt näherungsweise $\Delta t_m = t_{Ab} - t_{Zu}$

$\alpha_i \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$ – Wärmeübergangszahl innen (warme Seite) Kanal-WT

$\alpha_a \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$ – Wärmeübergangszahl außen (kalte Seite) Kanal-WT

$\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$ – Wärmeleitfähigkeit des Wärmetauscher-Materials

d [m] – Materialdicke der Platine

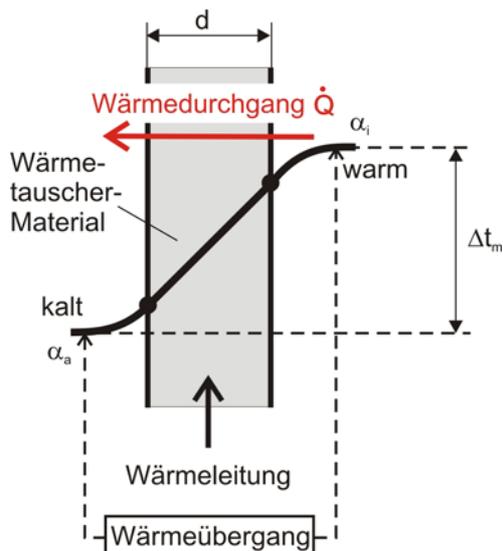


Bild 7: Wärmedurchgang

Auswirkung Aluminium (Al) oder Kunststoff (PS)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{0,0002}{0,17 \text{ (PS)}} + \frac{1}{30}}$$

\updownarrow
 $\lambda = 221 \dots 180 \text{ (Al)}$

aus VDI-Wärmeatlas, De 2: λ (PP) = 0,22 $\left[\frac{W}{mK} \right]$

λ (PVC) = 0,17 $\left[\frac{W}{mK} \right]$

λ (PS) = 0,17 $\left[\frac{W}{mK} \right]$

λ (Al) = 221 $\left[\frac{W}{mK} \right]$

$k = \frac{1}{0,033 + 0,001(PS) + 0,033} = \frac{1}{0,067} = 14,89$

$k = \frac{1}{0,033 + 0,0000011(Al) + 0,033} = \frac{1}{0,066} = 15,15$

→ nur geringfügiger Unterschied zwischen PS und Al

$\dot{Q} = k \cdot F \cdot (t_{Ab} - t_{Zu})$

PS: $\dot{Q} = 14,89 \cdot 12 \cdot (21 - 16,34) = \underline{\underline{833 W}}$

Al: $\dot{Q} = 15,15 \cdot 12 \cdot (21 - 16,4) = \underline{\underline{836 W}}$

→ Unterschied an übertragener Wärme: 3 W (vernachlässigbar: 0,36 %)

Damit wird deutlich, dass es quasi keinen Sinn macht Aluminium als Wärmetauscher-Material einzusetzen. Wesentlich interessanter ist, wenn die Wärmetauscherfläche vergrößert wird:

b) Flächenvergleich

Statt F = 12 m² (s. o.) soll zum Vergleich ein Kanal-Gegenstrom-Wärmetauscher (Patent PAUL) mit F = 60 m² eingesetzt werden:

PS: $\dot{Q} = 14,89 \cdot 60 \cdot (21 - 19,863) = \underline{\underline{1016 W}}$

WT-Fläche F	12 m ² (marktüblicher WT)		60 m ² PS-WT im Geräte-Typ „thermos 200 DC“
Material	Al	PS	PS
übertragene Wärme \dot{Q}	836 W	833 W	1016 W
Effizienzsteigerung	0,4 % Steigerung bei Al		22,0 % Steigerung durch größere Fläche

Tabelle 3: Effizienzsteigerung durch Materialwechsel und Flächenvergrößerung

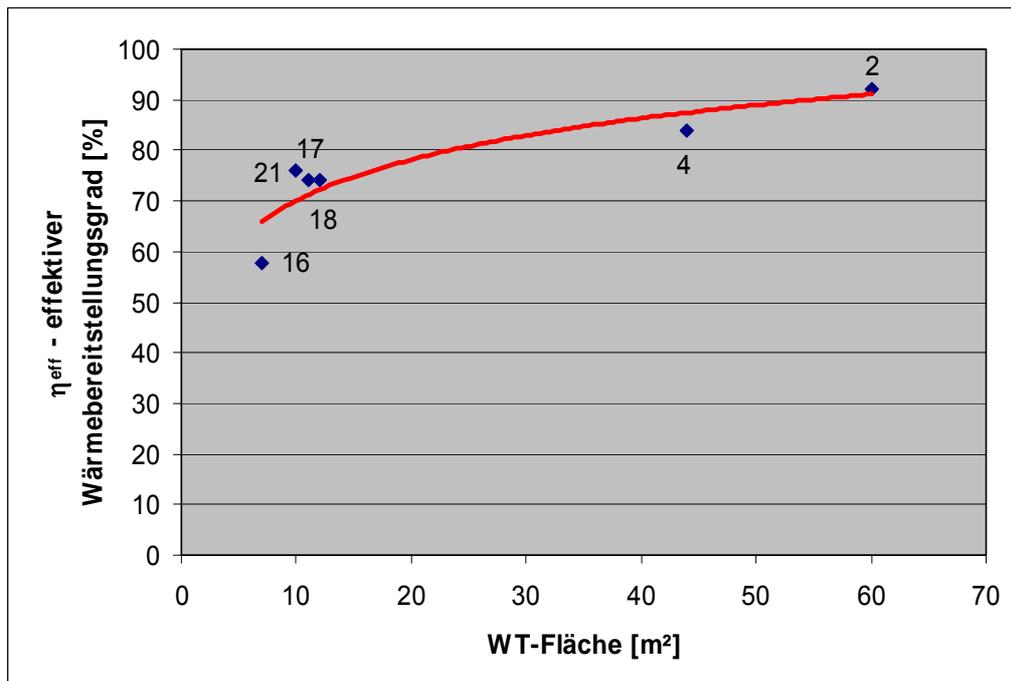


Bild 8: Abhängigkeit des Wärmebereitstellungsgrades von der WT-Fläche

7. Hygiene

a) **Filtergüte**

Der wichtigste Aspekt für einen hygienisch einwandfreien Wärmetauscher ist Sauberkeit. Um diese zu gewährleisten, sind dicht in der Umfassung sitzende Filter erforderlich. Diese halten Schmutz (Nährstoffbasis für Mikroorganismen) und Mikroorganismen zurück. Spezielle Filtermaterialien töten Mikroorganismen ab.

b) **Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Gesamtkeimzahlen**

Für Mikrobenwachstum ist eine Luftfeuchte von 60...80 % erforderlich. Entscheidend für die Hygiene in den Wohnräumen ist der Zuluftstrom – also die Luft, die zum Belüften der Räume zugeführt wird. Dieser Zuluftbereich ist im Wärmetauscher hermetisch von der Abluft getrennt. In den Wintermonaten (also in der seiner Bestimmung gemäßen Wirkperiode) ist die Zuluft sehr trocken, d. h. in den Zuluftleitungen nach dem Wärmetauscher herrscht mit ca. 15 % r.F. eine relative Trockenheit, die in keiner Weise Mikroorganismen leben lässt.

Wenn die Lüftungsanlage auch im Sommer in Betrieb ist, könnten hinsichtlich Luftfeuchte Mikroorganismen existieren, ABER: Mikroorganismen halten sich nicht in bewegter Luft. Deshalb ist es sinnvoll, die Lüftungsanlage übers ganze Jahr laufen zu lassen, teils bei Minimallüftung.

Durch die vorgeschalteten Filter ist aber in der Praxis keine Zunahme der Konzentration an Pilzen und Bakterien in der Zuluft feststellbar – eher eine deutliche Abnahme der Konzentration (aus: ETH Zürich: „Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern“, Frau Flückiger, IHA-UH-92-2):

	Pilze [CFU/m ³]				Bakterien [CFU/m ³]			
Außenluft ¹⁾ :	100	720	1200	400	~15	115	110	50
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Zuluft ²⁾ :	25	340	550	100	~7	20	30	20
Jahreszeit:	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Haus:	EFH Kurt ³⁾							

¹⁾ Messpunkt nahe an der Lufteinsaugstelle

²⁾ Messpunkt direkt vor der Eintrittsstelle in einen Raum

³⁾ Ähnliche Konzentrationsabnahmen wurden in den anderen untersuchten Häusern (alle mit Erdwärmetauscher!) festgestellt: Konzentrationsabnahme auf 1/6 bis 1/40 der Außenluftkonzentration! – Erdwärmetauscherrohre meist aus PE-Kunststoff, Wärmetauscher aus Kunststoff und Metall.

Tabelle 4: Gesamtkeimzahl für Pilze und Bakterien

c) Materialart – Ausgasungen

Ausgasungen aus Kunststoffen bei dem zu Folie gewalzten und anschließend (unter Hitze) tiefgezogenen Fertigprodukt gibt es quasi nicht.

Begründungen

PS (Polystyrol):

Styrol hat einen typischen süßlich-aromatischen Geruch und wird bereits in sehr geringen und gesundheitlich unbedenklichen Konzentrationen wahrgenommen.

Geruchsgrenze: 0,005...0,5 ppm Styrol
MAK-Wert: 20 ppm Styrol

Wenn also süßlicher Geruch an der WT-Platine aus PS noch nicht einmal bei stehender Luft zu spüren ist, ist die vorliegende Styrolkonzentration kleiner als 1/40 des MAK-Grenzwertes. Beim Überströmen von Luft (z. B. 100 m³/h) wird der tatsächliche Wert nochmals auf wenigstens 1/100 verdünnt – d. h. die vorliegende Styrolkonzentration liegt bei $< \frac{1}{4000}$ des MAK-Wertes, also vollkommen unbedenklich! Ähnlich geringe Styrolmengen findet man in vielen Nahrungsmitteln wie Erdbeeren, Bohnen, Nüssen, Bier, Wein, Kaffeebohnen und Zimt. PS-Folie hat eine lebensmittelrechtliche Zulassung.

PET (Polyethylenterephthalat):

Auch bei diesem Kunststoff liegt eine lebensmittelrechtliche Zulassung vor. PET wird z. B. für Getränkeflaschen verwendet.

PVC (Polyvinylchlorid):

Bei der Verpackung von Lebensmitteln (Brot- und Fleischwaren, Verkaufsschalen für Gemüse und Obst, Flaschen) wird PVC verwendet. Aus hygienischer Sicht bestehen keine Bedenken. PVC wird nur noch selten für die WT-Fertigung verwendet.

8. Gewicht

Das spezifische Gewicht von Aluminium liegt ~2,5-mal höher als bei Kunststoffen.

	spezifisches Gewicht γ [kg/l]
Aluminium	2,7
PS	1,05
PE-HD	0,95

Tabelle 5: Spezifische Gewichte

Das Gewicht ist insbesondere beim Handling von Bedeutung, z. B. beim Herausziehen des Wärmetauschers aus dem Wohnungslüftungsgerät für Reinigungszwecke und beim Waschen bzw. Abspülen des Wärmetauschers mit Warmwasser und Geschirrspülmittel. Hier hat das geringe Gewicht des Kunststoff-Wärmetauschers seine Vorteile. Auch für die Fertigung und Reinigung großvolumiger Wärmetauscher (s. o. Pkt. 5 b) und 6 b)) ist das geringe Gewicht vorteilhaft.

9. Graue Energie, Preise

Für die ökologische Bewertung eines Produktes zur Energieeinsparung (Wärmerückgewinnung) ist natürlich auch der

Energieaufwand für Herstellung, Transport und Entsorgung	=	„graue Energie“
---	---	-----------------

von Bedeutung. Durch den hohen Strombedarf (Primärenergiefaktor von Strom $f_p = 3!$) bei der Elektrolyse zur Aluminium-Herstellung steigt der Betrag an grauer Energie deutlich höher an als bei der Kunststoff-Herstellung.

	graue Energie [kWh/kg]
Aluminium	~58
PS	~20

Aus dem Herstellungs-Energieaufwand und dem Rohprodukt-Preis resultiert der deutlich höhere Materialpreis für Aluminium!

10. Sonstige Eigenschaften

Die nachfolgenden Eigenschaften werden (aus aktuellem Anlass) ergänzend hinzugefügt. Sie sind aber nicht dazu angetan, noch weitere Vor- und Nachteile beim Materialvergleich (für Wohnungslüftungs-Wärmetauscher) festzustellen. Banal, so etwas zu vergleichen und unprofessionell.

- a) Abdichtmittel
Für den Materialvergleich „Aluminium – Kunststoff“ als Wärmetauscher-Material: ohne Bedeutung
- b) Leckage
Hier werden bei beiden Materialarten gute Dichtigkeiten in der Praxis erreicht – weit unter dem zulässigen Wert von 3 % Leckage.
- c) stehendes Wasser:
Ursachen: Falschkonstruktion oder fehlerhafter Einbau (Neigung) → für den Materialvergleich „Aluminium – Kunststoff“ nicht zutreffend

- d) Reaktion des Materials bei 70 °C
Bei Wärmetauschern für Wohnungslüftung mit den Temperatur-Einsatzgrenzen von (-15 °C...+30 °C) ist eine Verhaltensbeurteilung bei 70 °C nicht relevant.
- e) Stabilität
Jeder Wärmetauscher benötigt zwischen den Platinen eine gegenseitige Abstützung – unabhängig davon, ob Kunststoff oder Aluminium als Material (jeweils ca. 0,2 mm dick) verwendet wird.
- f) Wärmedämmung des Wärmetauscher-Korpus und evtl. Schwitzwasserbildung am Wärmetauscher-Gehäuse → für den Materialvergleich (Aluminium oder Kunststoff) ohne Bedeutung; Wärmetauscher-Mantel und Wärmetauscher-Dämmung können aus beliebigem Material in verschiedenen Stärken geliefert werden. Günstig sind Gehäuse-Schaumkonstruktionen ohne Wärmebrücken (siehe Foto in Tab. 2)
- g) elektrostatische Aufladung
Aus Untersuchungen (Prof. Tischendorf, Aachen) konnte festgestellt werden, dass sich das luftberührte Material (Wärmetauscher, Rohre, Luftventile) einer Lüftungsanlage nach nur kurzer Zeit mit Kleinionen sättigt und danach in der Luft fast keine Veränderungen der Kleinionenkonzentration festzustellen sind. Außerdem gleicht sich die Kleinionenkonzentration mit zunehmendem Abstand vom Luftauslassventil sehr rasch der Ionenkonzentration im Raum an (kurze „Lebensdauer“ der Kleinionen – ob positiver oder negativer Ladung). Kurzgefasst das Ergebnis der Untersuchung: es sind „keine wesentlichen luftelektrischen Veränderungen in der den Räumen zugeführten Luft zu beobachten“.
- h) Seewasserbeständigkeit
- i) „nieten müssen spritzwasserdicht sein“
- j) Lebensdauer
- k) VDI 6022
- h) bis k) → alle Anforderungen aus der Wohnungslüftung können mit beiden Materialien (Aluminium und Kunststoff) gut erfüllt werden.

Zusammenfassung

Die wesentlichen Effizienzkriterien von Wärmetauschern in Wärmerückgewinnungsgeräten sind der Wärmebereitstellungsgrad und der Stromverbrauch. Beide Kriterien stehen in engem Zusammenhang mit der Korpusgröße des Wärmetauschers und des Gerätes. Aus der Größe des Gerätes kann allgemein die Strömungsgeschwindigkeit (im Gerät) abgeleitet werden – aus hohen Geschwindigkeiten in kleinen Geräten (auch im Wärmetauscher → bei kleiner Strömungsquerschnittsfläche) resultieren: hoher Stromverbrauch und hohes Geräusch. Großflächige Wärmetauscher führen zu einer besseren Wärmeübertragungseffizienz. Auch die Wärmetauscher-Durchströmungsformen (Kreuzstrom, Kreuzgegenstrom, Gegenstrom) tragen dazu bei: mit steigendem Gegenstromanteil wird in der Regel ein besserer Wärmebereitstellungsgrad erreicht. Ein wesentlicher Beitrag dazu ist auch der Profilstruktur der Wärmetauscher-Platten zuzuschreiben: mit „Kanalwärmetauschern“ kann derzeit der höchste Wirkungsgrad erreicht werden. Die Materialart (Kunststoff oder Aluminium) des Wärmetauschers hat hingegen so gut wie keinen Einfluss auf den Wärmerückgewinnungsgrad und den Stromverbrauch. Der Aufwand an „grauer Energie“ liegt bei Aluminium ca. 3-mal so hoch wie bei Kunststoff. Ein weiterer Vorteil für den Einsatz von Kunststoff als Wärmetauscher-Material liegt in seinem geringen Gewicht.

Stand:18.05.09