

WÄRMERÜCKGEWINNUNG

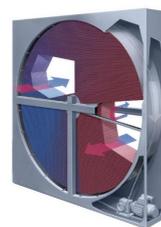
WAS GIBT ES FÜR SYSTEME?
WIE STETS MIT DER WIRTSCHAFTLICHKEIT?
KOSTEN/NUTZENVERGLEICH AUS DER PRAXIS

Wärmerückgewinnung Überblick

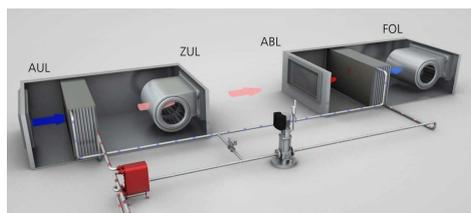
Kreuzstromplattentauscher



Rotoren



KVS-System



Richtgrösse Wärmerückgewinnung

Rückwärmzahl) (Temperatur-Änderungsgrad)

5.1.7 Referenzbetriebszustand

Zum Vergleich von Systemen untereinander und hinsichtlich der Forderungen der EN 13053 sind die in dieser Richtlinie definierten Leistungskennzahlen für folgende Referenzbedingungen, in Anlehnung an EN 308, anzugeben:

- Massenstromverhältnis $\dot{m}_1/\dot{m}_2 = 1$ (bei $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$)
- Außenlufttemperatur = 5 °C
- Fortlufttemperatur = 25 °C
- keine Taupunktunterschreitung auf der Fortluftseite und somit keine Kondensatbildung (sensible Wärmeübertragung)
- ohne Wärmeein- oder Auskopplung
- ohne Umluftanteil

Die Leistungskennzahlen gelten nur für diesen Referenzbetriebszustand und dürfen nicht für andere Betriebszustände übernommen werden. Sie

$$\phi_2 = \frac{(t_{ZUL} - t_{AUL})}{(t_{ABL} - t_{ZUL})}$$

Berechnungsbeispiel:

$$\phi_2 = \frac{(20^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})}{(25^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})} = \frac{(15^\circ\text{C})}{(20^\circ\text{C})} = 0.75 = 75\%$$

Rückwärmzahl wird RWZ abgekürzt für folgende Folien..

Speziell zu beachten bei der RWZ

• Keine Taupunktunterschreitungen auf der Fortluftseite

Eine WRG darf jedoch nie bei der tiefsten Außentemperatur dimensioniert werden, da die Frostschutz-Regulierung ein Einfrieren des ausgeschiedenen Kondensats verhindert und die WRG-Leistung somit reduziert.

Einfaches Rechenbeispiel – Direktvergleich/Leistungsangabe RWZ:

Luftmenge 5.500 m³/h, bei identischen Wärmetauschern:



Auslegung bei Aussenluft-Temperatur 5°C, mit trockener Fortluft:
RWZ 70.9%

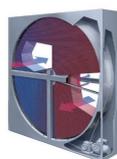
Auslegung bei Aussenluft-Temperatur -14°C, mit feuchter Fortluft:
RWZ 73.6%

Speziell zu beachten bei der RWZ

• Unterschiede der drei Systeme:



Öffnen der Bypass-Klappe. Wegen der dadurch reduzierten WRG-Leistung muss der Warmwasser-Nachwärmer auf die volle Leistung bei der tiefsten Außentemperatur dimensioniert werden.



Veränderung der Rotordrehzahl. Bei tiefen Außentemperaturen wird der Rotor zeitweise für eine Abtauphase abgestellt. Daher muss der Warmwasser-Nachwärmer auf die volle Leistung bei der tiefsten Außentemperatur dimensioniert werden.



Beimischung von warmem Wasser/Glykol-Gemisch, sodass die Eintrittstemperatur des Wasser/Glykol-Gemisches bei Eintritt in das WRG-Fortluft-Register eine minimale Temperatur von -1°C bis -2°C nicht unterschreitet. Der Warmwasser-Nachwärmer muss nicht auf die volle Leistung bei der tiefsten Außentemperatur dimensioniert werden, da die WRG-Leistung ab der Einfriergrenze konstant bleibt.

Speziell zu beachten bei der RWZ

• Folgen für die Planung:

Größerer Spitzenbedarf Nachwärmung -> Heizleistung (Maximum) um vielfaches grösser

Zahlenbeispiel „simpl“:

Spitzenleistung Bedarf Heizung:

= 800kW Spitzenleistung

RWZ 75% KVS (nach Norm ausgelegt – VDI 3803 Blatt 5)

= 200 kW Spitzenleistung

Auslegung mit Taupunktunterschreitung, Kreuzplattentauscher oder Rotor: Faktor 4

= 800 kW Spitzenleistung

ERP-Richtlinie 1253/2014/EG

| ErP-Stufe | | ErP-Stufe 2016 | ErP-Stufe 2018 | |
|--|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| WRG mit Regelungseinrichtung | | gefordert | gefordert | |
| Trockene Rückwärmzahl (EN 308) η_t [%] | Kreislaufverbundsystem | 63 | 68 | |
| | Andere WRG-Systeme | 67 | 73 | |
| Interner SFP-Wert (Referenzkonfiguration) $SFP_{int,max}$ [W/(m³/s)] | Kreislaufverbundsystem | $q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ | $1.700 + E - 300 \times q / 2 - F$ | $1.600 + E - 300 \times q / 2 - F$ |
| | | $q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ | $1.400 + E - F$ | $1.300 + E - F$ |
| | Andere WRG-Systeme | $q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ | $1.200 + E - 300 \times q / 2 - F$ | $1.100 + E - 300 \times q / 2 - F$ |
| | | $q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ | $900 + E - F$ | $800 + E - F$ |
| Effizienzbonus E Wärmerückgewinnung [W/(m³/s)] | Kreislaufverbundsystem | $(\eta_t - 63) \times 30$ | $(\eta_t - 68) \times 30$ | |
| | Andere WRG-Systeme | $(\eta_t - 67) \times 30$ | $(\eta_t - 73) \times 30$ | |
| Filterkorrekturwert F [W/(m³/s)] | Referenzkonfiguration | 0 | 0 | |
| | Filter M5 fehlt | 160 | 150 | |
| | Filter F7 fehlt | 200 | 190 | |
| | Filter M5 + F7 fehlen | 360 | 340 | |
| Ventilator-Drehzahlregelung | | gefordert | gefordert | |
| Filter-Differenzdrucküberwachung | | - | gefordert | |

Energieeffizienz-Pflichtenheft 2014

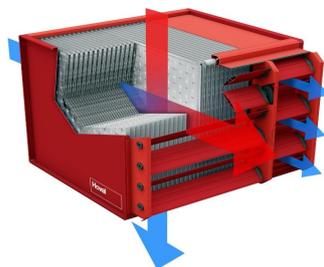
Tabelle 9.11 a: Anforderungen RLT-Anlage - Gehäuse

| Nr. | Bezeichnung | Vorgabe/Kategorie | Hinweis |
|-----|---|---|---|
| 1 | SFP, für Kombinierte Zu- und Abluftgeräte ¹⁾²⁾ SFP (Specific Fan Power) Spezifische Ventilatorleistung | SFP 3 + erweiterte P_{SFP} | Gemäß ÖNORM EN 13779:2008 Tab. 9 (SFP-Kategorien) und Tab. 10 (erweiterte P _{SFP} für zusätzliche Bauteile ³⁾), sowie Anhang D |
| 2 | SFP, für reine Zuluftgeräte ¹⁾ | 0,6 · SFP 3 + erweiterte P_{SFP} | |
| 3 | SFP, für reine Abluftgeräte ¹⁾ | 0,4 · SFP 3 + erweiterte P_{SFP} | |
| 4 | Druckverluste von Bauteilen in Luftbehandlungseinheiten etc. | Niedriger Druckabfall | Gemäß ÖNORM EN 13779:2008, Tab. A.8 |
| 5 | Effizienz der Wärmerückgewinnung | mind. 71 % | |
| 6 | Rückwärmzahl (thermischer Wirkungsgrad) | mind. 75 % | Gemäß EN 13053/A1 (Entwurf 12/2010) |
| 7 | Luftgeschwindigkeitsklasse im RLT-Geräte-Gehäuse | Klasse V2 (max. 2,0 m/s) | Gemäß ÖNORM EN 13053:2007, Tab. 4 |
| 8 | Mechanische Festigkeit von RLT-Geräten | Klasse D1 | Gemäß ÖNORM EN 1886:2009, Tab. 2 |
| 9 | Dichtheitsklasse des RLT-Gerätegehäuse | Klasse L2 | Gemäß ÖNORM EN 1886:2009, Tab. 4 |



- Der SFP_p-Wert ist beim maximalen Nennluftvolumenstrom zu bestimmen.
- Zur Bestimmung des SFP_p-wertes ist die größere der beiden Luftvolumenströme (Zu- oder Abluft) heranzuziehen.
- Kühler sind als Hochleistungskühler zu bewerten, wenn bei Norm-Außenluftbedingungen (32°C, 40%rF) und Auslegungsbedingungen die Luftaustrittstemperatur max. 2 K über der Kühlwasser-Austrittstemperatur liegt (z.B. Eintritt 32°C und 40%rF, Austritt 15°C / Kühlwasser Eintritt 7°C, Austritt 13°C)
- Als Luftleitungssystem Zuluft ist das gesamte System von der Außenluftansaugung bis zum Zuluftdurchlass im Raum zu sehen. Als Luftleitungssystem Fortluft ist das gesamte System von der Abluftdurchlass im Raum bis zur Fortluftausbläsung (im Freien) zu sehen.
- In der VDI 3803 Blatt 5: 2013 werden die Begriffe Rückwärmzahl (anstelle Temperaturänderungsgrad) und Wirkungsgrad der WRG (anstelle Effizienz der WRG) verwendet.

Kreuzstromplattentaucher



Eigenschaften:

Luftmenge: 500 – 10.000 m³/h

Dichtheit: Geringe Umluftanteile

Kanalführung: Zuluft und Abluft muss zwingend aneinander geführt werden

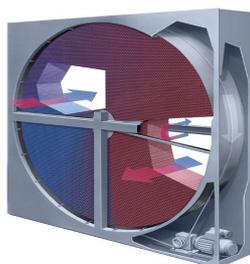
Luftkonditionierung: Nicht möglich

Luftseitige Widerstände: Sehr hoch

ÖNORM H 6020: Es darf keine Abluft geführt werden, die radioaktive Stoffe enthält oder aus Infektionsabteilungen, Prosekturen bzw. tierexperimentellen Abteilungen stammt

Filtervorwärmung: Nicht integrierbar. Filtervorwärmung muss separat erfolgen

Rotor



Eigenschaften:

Luftmenge: 5.000 – 50.000 m³/h

Dichtheit: Alle Rotoren weisen Leckagen auf

Kanalführung: Zuluft und Abluft muss zwingend aneinander geführt werden

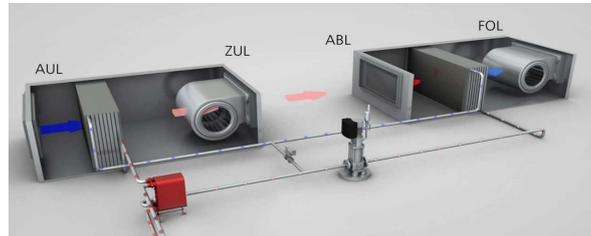
Luftkonditionierung: Nicht möglich

Luftseitige Widerstände: Gering

ÖNORM H 6020: Es darf keine Abluft geführt werden, die radioaktive Stoffe enthält oder aus Infektionsabteilungen, Prosekturen bzw. tierexperimentellen Abteilungen stammt. Zusätzlich muss die hygienische Eignung des Gerätes für den speziellen Einsatzzweck durch ein Gutachten nachgewiesen werden

Filtervorwärmung: Nicht integrierbar. Filtervorwärmung muss separat erfolgen

Kreislaufverbundsystem



Eigenschaften:

Luftmenge: 5.000 m³/h - unbegrenzt

Dichtheit: Keine Leckagen möglich

Kanalführung: Zuluft und Abluft ist frei wählbar. Kann überall verteilt werden

Luftkonditionierung: Bei Mehrfachfunktionalität möglich

Luftseitige Widerstände: Normal

ÖNORM H 6020: Für den Einsatz solcher Systeme bestehen keine Beschränkungen

Filtervorwärmung: Integrierbar ohne zusätzliche Anbindung ans Heizungsnetz

Direkt-Vergleich zweier System

Zu Beachten:

Wie ist die Funktionsabdeckung?

z.B. Das Kreislaufverbundsystem hat eine integrierte Warmwasser-Einspeisung

-> Beim Vergleich zum Kreuzstromplattentauscher müssen alle Komponenten zur Luftkonditionierung für die Erwärmung mit einberechnet werden in der Investition für einen direkten Preisvergleich.

Ziel: Systemvergleich mit gleichen Funktionen und Leistungskriterien

Nur bei Gesamtbetrachtung ist ein Vergleich aussagekräftig!

Kosten-Nutzen-Vergleich

Variante 2 - Luftmenge 30.000 m³/h

| Komponenten/Maßnahmen/Leistungen | HKVS | Kreuzstromplattentaucher |
|--|------------------|--------------------------|
| WRG – Wärmeaustauscher / Plattentaucher | 105.000 € | 60.400 € |
| WRG Regelung | 35.000 € | keine |
| Lufterhitzer/Luftkühler | Inklusive | 7.800 € |
| Filtervorwärmregister inkl. Bauseitiger Leistungen | Inklusive | 5.600 € |
| Regelung der Komponenten (MSR Zusatzkosten) | Inklusive | 8.100 € |
| Wärmemengenzähler / Ventile | 11.400 € | 4.000 € |
| Total WRG-Komponenten (Hardware) | 151.400 € | 85.900 € |
| Bauliche Maßnahmen | | |
| Höherer Raumbedarf (pro m ³ = 340 €) | - | 13.000 € |
| Platzersparnis beim Gerät (kürzeres Gerät) | Gleich | Gleich |
| Total Bauliche Maßnahmen | | 13.000 € |

Bauliche Massnahmen: Raumhöhe ist nicht gleich bei beiden Varianten. Kreuzstromplattentaucher benötigt höheren Raum.

Kosten-Nutzen-Vergleich

| Energieberechnung Wärme | HKVS | Kreuzstromplattentaucher |
|--|------------------|--------------------------|
| Gesamtenergiebedarf Wärme | 470.700 kWh /a | 470.700 kWh /a |
| Rückgewinn dank WRG | 423.630 kWh /a | 320.076 kWh /a |
| Wärmebedarf pro Jahr | 47.070 kWh | 150.624 kWh |
| Wärmekosten (0.07 Cent pro kWh) | 3.295 € /a | 10.544 € /a |
| Zusätzliche elektr. Bedarf (KVS Pumpe, zusätzliches Heizregister etc.) | 1.900 € /a | 475 € /a |
| Energiekosten pro Jahr | 5.195 € /a | 11.019 € /a |
| Energiekosten in 25 Jahren (bei gleichbleibenden Energiekosten) | 129.875 € | 275.475 € |
| Wartung Betriebsunterhalt | | |
| Anlagenunterhalt allgemein | 4.000 € /a | 1.500 € /a |
| Total Wartung Anlage in 25 Jahren | 100.000 € | 37.500 € |

Wartung Betriebsunterhalt: Das HKVS hat ein Monitoring integriert und zeigt sofort Fehler auf. Dies fordert einen erhöhte Überwachung seitens Personal. -> höhere Unterhaltskosten HKVS.

Kosten-Nutzen-Vergleich

| Kälte | HKVS | Kreuzstromplattentaucher |
|---|-------------|--------------------------|
| Kältemaschine inklusive elektrischer Anbindung etc. Bei HKVS – adiabatischer FOL-Befeuchter inkl. Komponenten und kleinere Kältemaschine | 167.142 € | 216.912 € |
| Kosten Kälte pro Jahr | 10.145 € /a | 20.139 € /a |
| Kosten Kälte 25 Jahre | 253.625 € | 503.475 € |
| Wartungskosten Kältemaschine/Adiabate Befeuchter | 148.572 € | 177.160 € |
| Gesamtbetrachtung Kälte über 25 Jahre | 569.339 € | 897.547 € |

Kälte: Die HKVS-Variante integriert eine adiabatische Fortluft-Befeuchtung. Zusammen mit dem Kälterückgewinn des HKVS erreicht man eine Reduktion des Spitzenbedarfs Kältemaschine um ca. 30%.

Investitionskosten Kältemaschine, Anschlusskosten Kältemaschine etc. sind daher bei der Kreuzstromplattentaucher-Lösung um einiges höher.

Kosten-Nutzen-Vergleich

| Gesamtbetrachtung Vergleich | HKVS | Kreuzplattentaucher |
|---|-------------|---------------------|
| WRG Komponenten | 151.400 € € | 85.900 € |
| Bauliche Maßnahmen | 0 € | 13.000€ |
| Energieberechnung Wärme 25 Jahre | 129.875 € | 275.475 € |
| Wartung 25 Jahre | 100.000 € | 37.500 € |
| Kälte (Energie und Investitionskosten) 25 Jahre | 569.339 € | 897.547 € |
| Gesamtkosten bei geplanter Anlagenlebensdauer von 25 Jahren | 942.814 € | 1.309.422 € |

Total Kosten Vergleich: HKVS zu Kreuzstromplattentaucher

| Direkte Amortisationsberechnung / Vergleiche | HKVS | Kreuzplattentaucher |
|---|----------------|---------------------|
| Gesamtenergiebedarf Wärme | 470.700 kWh /a | 470.700 kWh /a |
| Rückgewinn dank WRG | 423.630 kWh /a | 320.076 kWh /a |
| Zusätzliche benötigte Wärmebedarf | 47.070 kWh | 150.624 kWh |
| Einsparung pro Jahr durch WRG (0.07 Cent pro kWh) nur Wärmeenergie - (Rückgewinn * Energiekosten) | 29.654 € /a | 22.405 € /a |
| Kälteenergieeinsparung (Bedarf abzüglich Rückgewinn) | 9.994 € /a | 0 € /a |
| Einsparung pro Jahr durch WRG (0.07 Cent pro kWh) Wärme und Kälteenergie | 39.648 € /a | 22.405 € /a |

Kosten-Nutzen-Vergleich

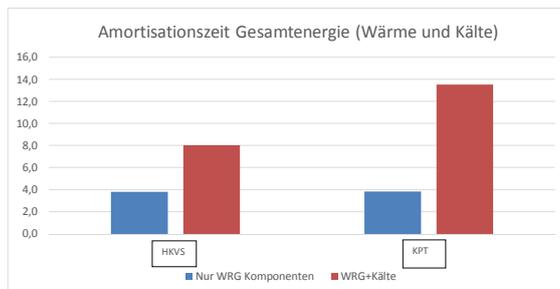
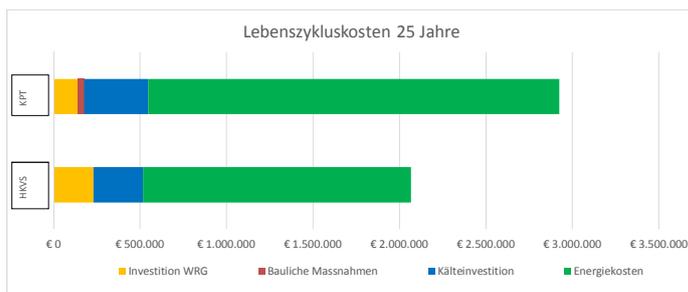
| WRG Investitionen (ohne Energie und Unterhalt) | HKVS | Kreuzplattentauscher |
|--|------------------|----------------------|
| WRG Kosten inklusive aller Komponenten | 151.400 € | 85.900 € |
| Bauliche Maßnahmen | 0 € | 13.000 € |
| Kälteinvestition / Kältezeugungskosten | 167.142 € | 216.912 € |
| Gesamtkosten WRG mit Kälte | 318.542 € | 315.812 € |

| | HKVS | Kreuzplattentauscher |
|---|-----------|----------------------|
| Amortisationsberechnung nur WRG Komponenten (WRG Investition / Einsparung pro Jahr durch WRG) | 3.8 Jahre | 3.8 Jahre |
| Amortisationsberechnung WRG und Kälte (WRG Investition / Einsparung pro Jahr durch WRG) | 8.0 Jahre | 14.1 Jahre |
| Energieeinsparung Wärme und Kälte nach 5 Jahren | 198.240€ | 112.025 € |

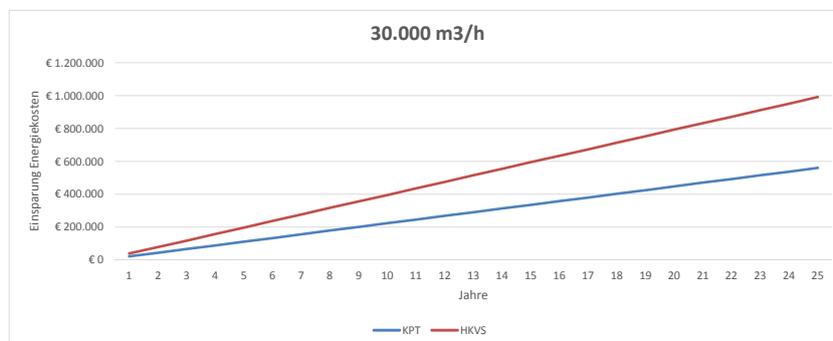


| Mehreinsparung HKVS | Wärme und Kälte |
|---------------------------------------|-----------------|
| Mehreinsparung Energie nach 5 Jahren | + 86.215 € |
| Mehreinsparung Energie nach 10 Jahren | + 172.430 € |
| Mehreinsparung Energie nach 25 Jahren | + 431.075 € |

Kosten-Nutzen-Vergleich



Kosten-Nutzen-Vergleich - Luftmenge 30.000 m³/h



| | |
|---|------------------|
| Gesamtinvestition Variante Kreuzstromplattentaucher | 315.812 € |
| Gesamtinvestition Variante HKVS | 318.542 € |
| Investitions-Einsparung | - 2.730 € |
| Mehreinsparung HKVS | 431.075 € |
| Finanzieller Vorteil HKVS | 428.345 € |

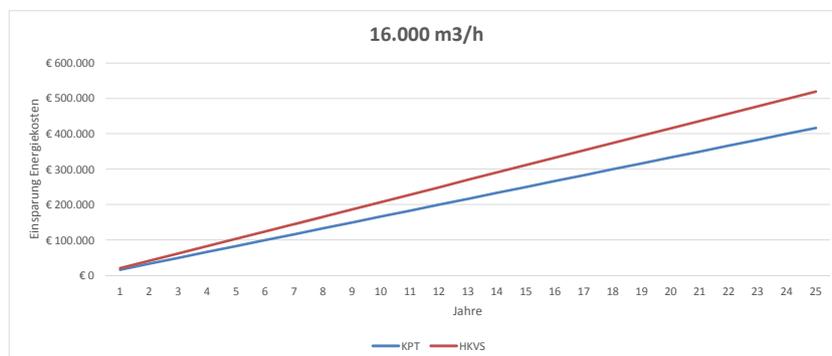


Kosten-Nutzen-Vergleich

Wie sieht das Verhältnis aus, bei kleinerer Luftmenge?

z.B. 16.000 m³/h?

Kosten-Nutzen-Vergleich - Luftmenge 16.000 m³/h



| | |
|---|------------------|
| Gesamtinvestition Variante Kreuzstromplattentaucher | 186.550 € |
| Gesamtinvestition Variante HKVS | 138.740 € |
| Investitions-Einsparung | 47.810 € |
| Mehreinsparung HKVS | 102.650 € |
| Finanzieller Vorteil HKVS | 150.460 € |

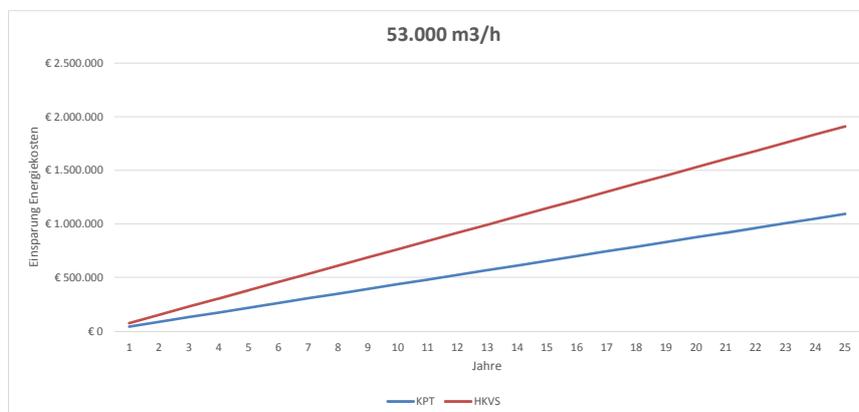


Kosten-Nutzen-Vergleich

Wie sieht das Verhältnis aus, bei grösserer Luftmenge?

z.B. 53.000 m³/h?

Kosten-Nutzen-Vergleich – Luftmenge 53.000 m³/h



| | |
|---|------------------|
| Gesamtinvestition Variante Kreuzstromplattentaucher | 546.950 € |
| Gesamtinvestition Variante HKVS | 516.500 € |
| Investitions-Einsparung | 30.450 € |
| Mehreinsparung HKVS | 816.575 € |
| Finanzieller Vorteil HKVS | 847.025 € |



Fazit

Schlussfolgernd kann hier klar ein Urteil gefällt werden auf Basis der Kosten/Nutzen-Vergleiche:

- Ab einer Luftmenge von 15.000 m³/h stellt ein Mehrfachfunktionelles Hochleistungskreislaufverbundsystem mit integrierter Wärme- und Kälteeinspeisung, sowie adiabatischer FOL-Befeuchtung, sowohl energetisch als auch wirtschaftlich, stets die attraktivste Investition dar.
- Die Gesamtbetrachtung und damit die Gesamtkosten der gesamten Haustechnik: Wärmerückgewinnung, Wärmeerzeugung und Kälteerzeugung sind mit der HKVS-Variante niedriger!
- Die Energiekosten über die Betriebsjahre hinweg sind ebenfalls niedriger, auf Grund des geringeren zusätzlichen Wärmebedarfs des HKVS.
- Einzelne Anlagen mit einer Luftmenge unter 10.000 m³/h sollten wenn möglich mit einer Kreuzstromplattentaucher-Lösung versehen werden, da diese mit Sicherheit in allen Fällen die wirtschaftlichste Variante darstellt.
- Gibt es mehrere Lüftungszonen sollte jedoch eine Verbund-WRG über das HKVS in Betracht gezogen werden.

Danke Ihnen für Ihr Interesse!

Amir Ibrahimagic

amir.ibrahimagic@konvekta.at

+41 76 563 24 10