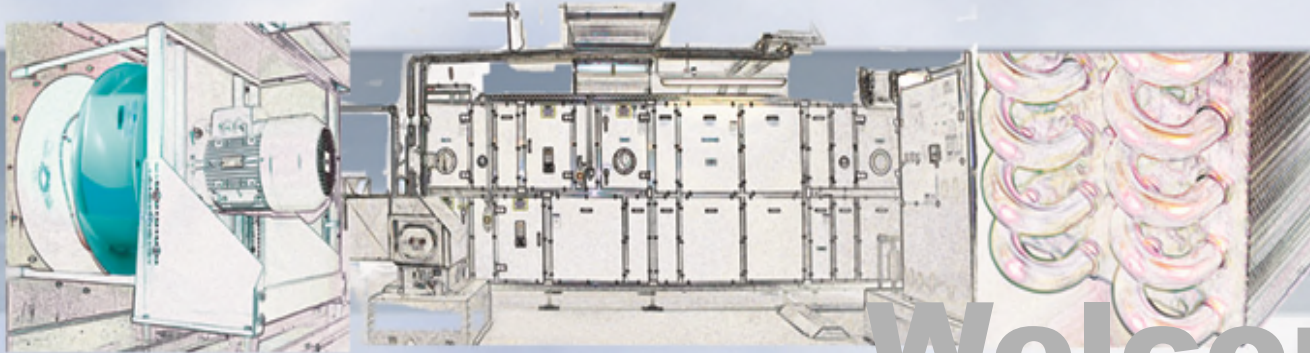


Willkommen



Bienvenue

Welcome

Lüftung und Raumrückwirkung - Effekt der WRG mit Berücksichtigung der Raumlasten

Vergleich der Raumluftechnik mit WRG mit der
Fensterlüftung

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

Systemkriterien

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Luftaustausch	vom Dichteunterschied und Winddruck abhängig	unterstützt durch kontrollierten Abluftstrom	Zu- und Abluft werden maschinell und kontrolliert eingebracht	Kein Luftaustausch, da Umluftbetrieb (keine Frischluft, nur Reinigung)
Temperaturabhängigkeit	hoch, da Dichteunterschied von der Temperatur abhängt	mittel, da Abluftventilator unterstützt	gering bis nicht vorhanden da Menge kontrolliert und temperiert	Keine
Regelung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen Stoß oder Dauerlüftung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen Ventilator an/aus o. drehzahl geregelt	Ventilatoren an/aus oder drehzahl geregelt (z. B. nach CO ₂)	Meist manuell nach Belegung Luftmenge teilweise nach CO ₂ geregelt
Eingriff durch Nutzer	wenn Fenster zu öffnen hoch	wenn Fenster zu öffnen hoch	gering, da meist Bedienung automatisch	Je nach Belegung nötig
Fehlverhalten durch Nutzer	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben - Luftaustausch zu Räumen möglich (Querkontamination)	kaum möglich, da Bedienung durch Nutzer meist gesperrt oder Bedienung durch Nutzer in klaren Grenzen definiert sind	Möglich durch falsche Einstellung (Stufen)
Nutzerakzeptanz	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird	mittel, da Nutzer meist keine oder wenige Eingriffsmöglichkeit haben	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich
Nachströmung	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	kontrolliert durch Zuluftventilator	Systembedingt keine

Systemkriterien

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Lufterwärmung	Keine bzw. durch statische Heizflächen im Raum	Keine bzw. durch statische Heizflächen im Raum	Vorerwärmung durch WRG und bei Bedarf durch stat. Heizflächen im Raum oder Erwärmer in der RLT	Keine, bzw. nur durch Abwärme
Luftkühlung	Keine bzw. durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Keine bzw. durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Kühlung durch WRG möglich und bei Bedarf durch stat. Kühlflächen im Raum oder Kühler in der RLT Kühlung durch indirekte Verdunstungskühlung über die WRG ohne Kältemaschine möglich	systembedingt keine Kühlung
Wärmerückgewinnung	Keine	Keine	bis 80 % RWZ möglich	nicht erforderlich, da Umluft
Ökonomie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht Weitere Kosten sind nicht vorhanden, da Fenster sowieso vorhanden sind	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht Schlechter als reine Fensterlüftung, da Abluftanlage investiert werden muss	bezogen auf WRG sehr positiv, insbesondere da die Wärme- und Kälteversorgung verringert werden kann Schlechter wenn die komplette RLT durch die WRG "finanziert" werden soll ergeben sich meist negative Kapitalwerte (Kosten entstehen)	positiv, da Wärme nicht beeinflusst wird
Ökologie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht keine CO ₂ -Reduktion	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht keine CO ₂ -Reduktion	Sehr gut, da die CO ₂ -Bilanz trotz RLT-Anlage positiv ist CO ₂ -Einsparung rund 1 to. pro Klassenraum (ca. 1.000 m ³ /h)	Mittel, da keine Wärme oder Feuchte beeinflusst wird (nur graue CO ₂ -Emission)
zusätzliche Kosten	Keine	ca. 2.000 €	ca. 13.000 €	ca. 4.000 €

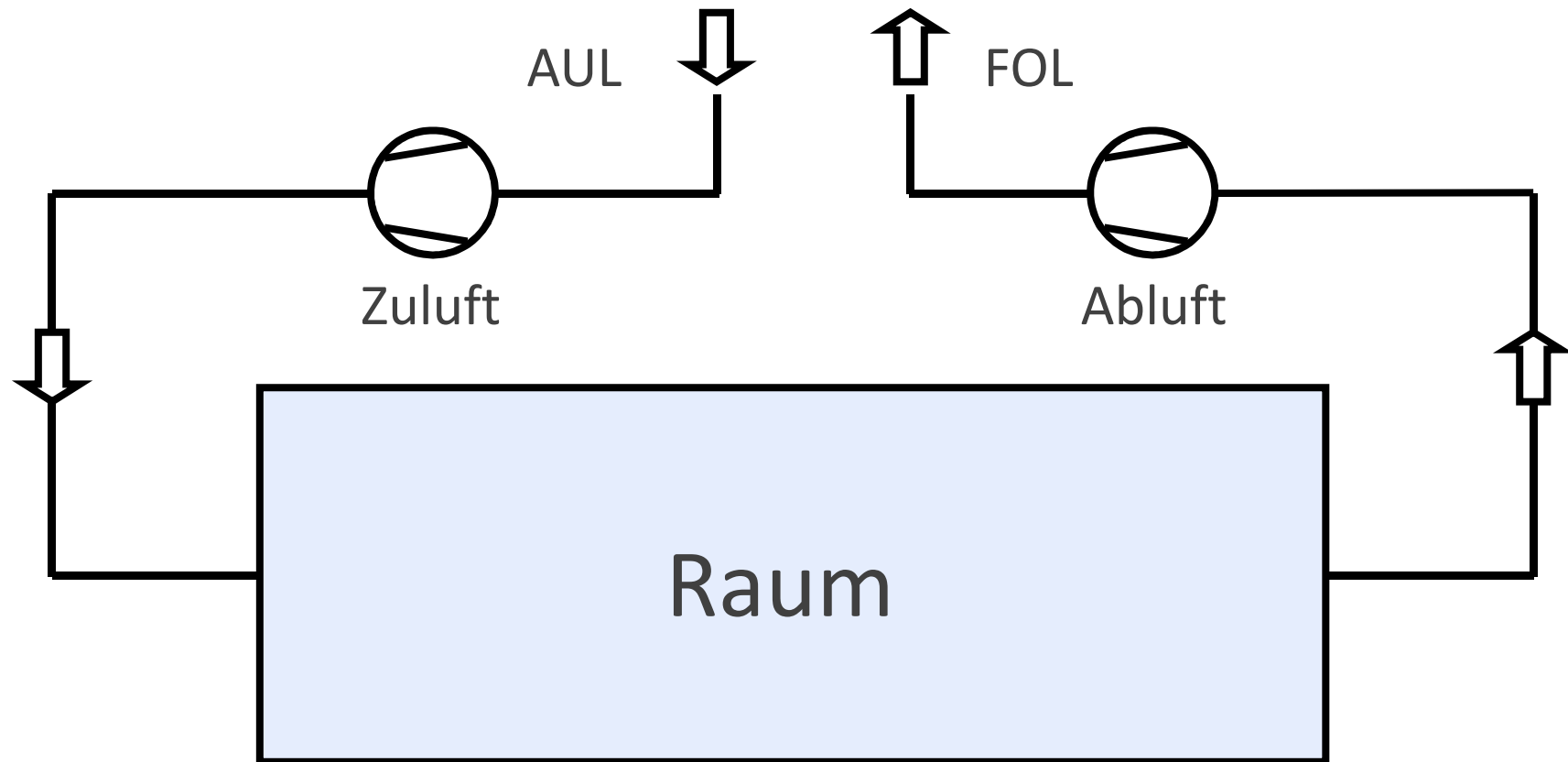
Systemkriterien

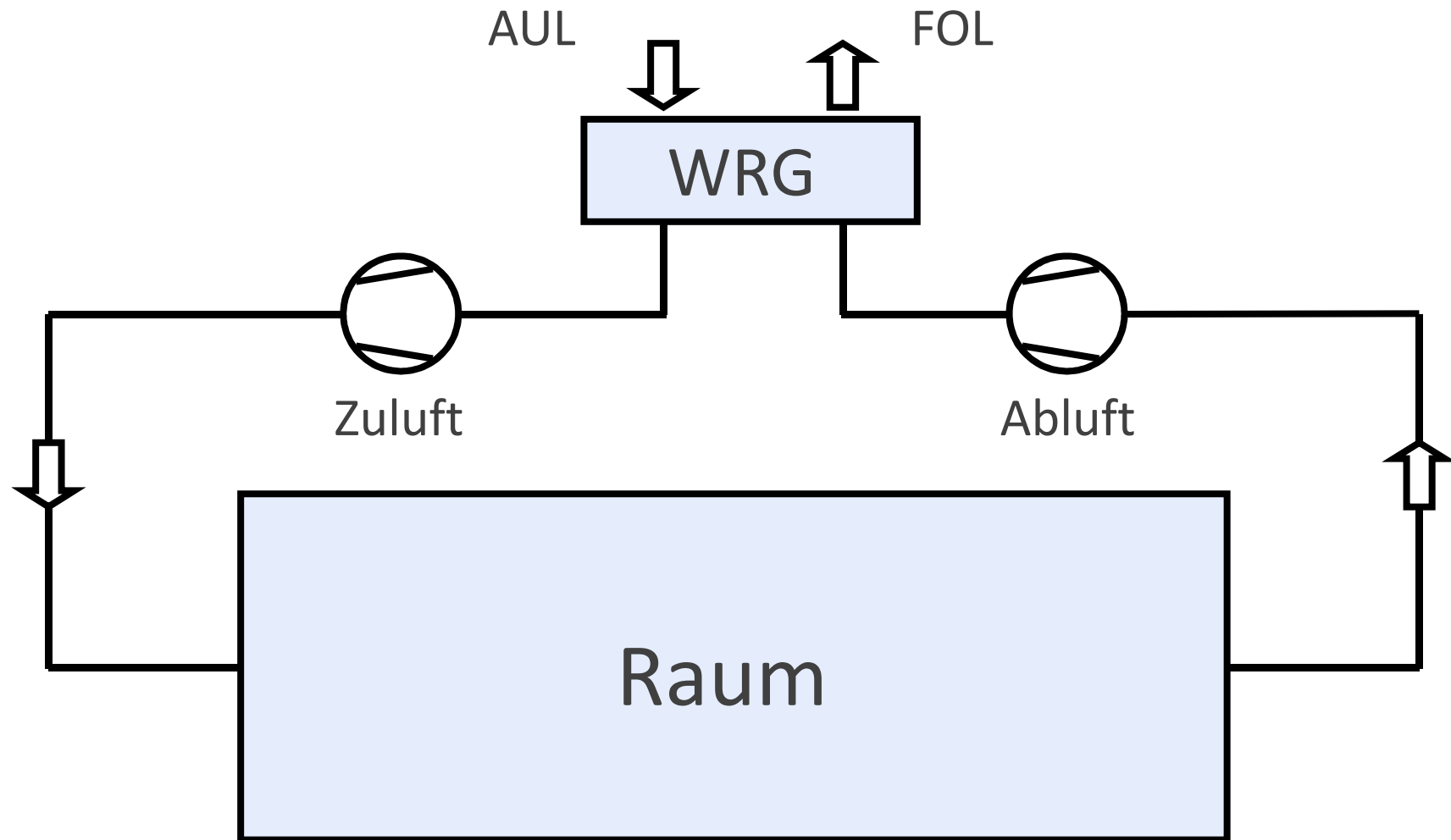
	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Komfort	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft möglich	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft möglich	gegeben, da Temperierung gegeben	kein Einfluss auf Komfort Zugerscheinungen möglich, da Einpunktquelle
Filterung	Keine	Keine (bei Verwendung von Abluft ist normativ keine Zuluftfilterung erforderlich)	Nach VDI und Normen ISO ePM1 60 % erforderlich	Sehr gut, meist HEPA min. H13
Lüftungseffektivität	eingeschränkt, da Luftaustausch unkontrolliert	hoch, da meist Quelllüftung (bei Untertemperatur) vorherrscht je nach Außenlufttemp. kann Mischlüftung entstehen	sehr hoch, da Quelllüftung immer gewährleistet werden kann bei Bedarf ist auch Mischlüftung kontrolliert möglich	niedrig da Mischlüftung (Einpunktquelle im Raum, keine Untertemperatur möglich)
CO₂-Reduktion im Raum	Bei geöffnetem Fenster je nach Temperatur gut	Gut, je nach Luftmenge	Gut, je nach Luftmenge	Schlecht, CO ₂ -Reduktion systembedingt nicht möglich
Schalldämpfung	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!)	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!) Bei geschlossenem Fenster Querkontamination möglich	durch raumorientierte Schalldämpfer gut	nur bei raumorientierten Schalldämpfern gut Schalldämpfer werden oft nicht berücksichtigt, dann schlecht
Brandschutz	sehr gut, da keine zus. Brandlasten	schlecht, da zus. Brandlasten durch Kunststoffe entstehen	sehr gut bei zentralen Anlage mittel bei dezentralen Anlagen durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung Metalle)	mittel durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung von Metallen) schlecht bei Verwendung von Kunststoffen

Transmissionswärme
(Dämmen der Gebäudehülle)

Lüftungswärme (35 bis 38 %)
(Dichten der Gebäudehülle)



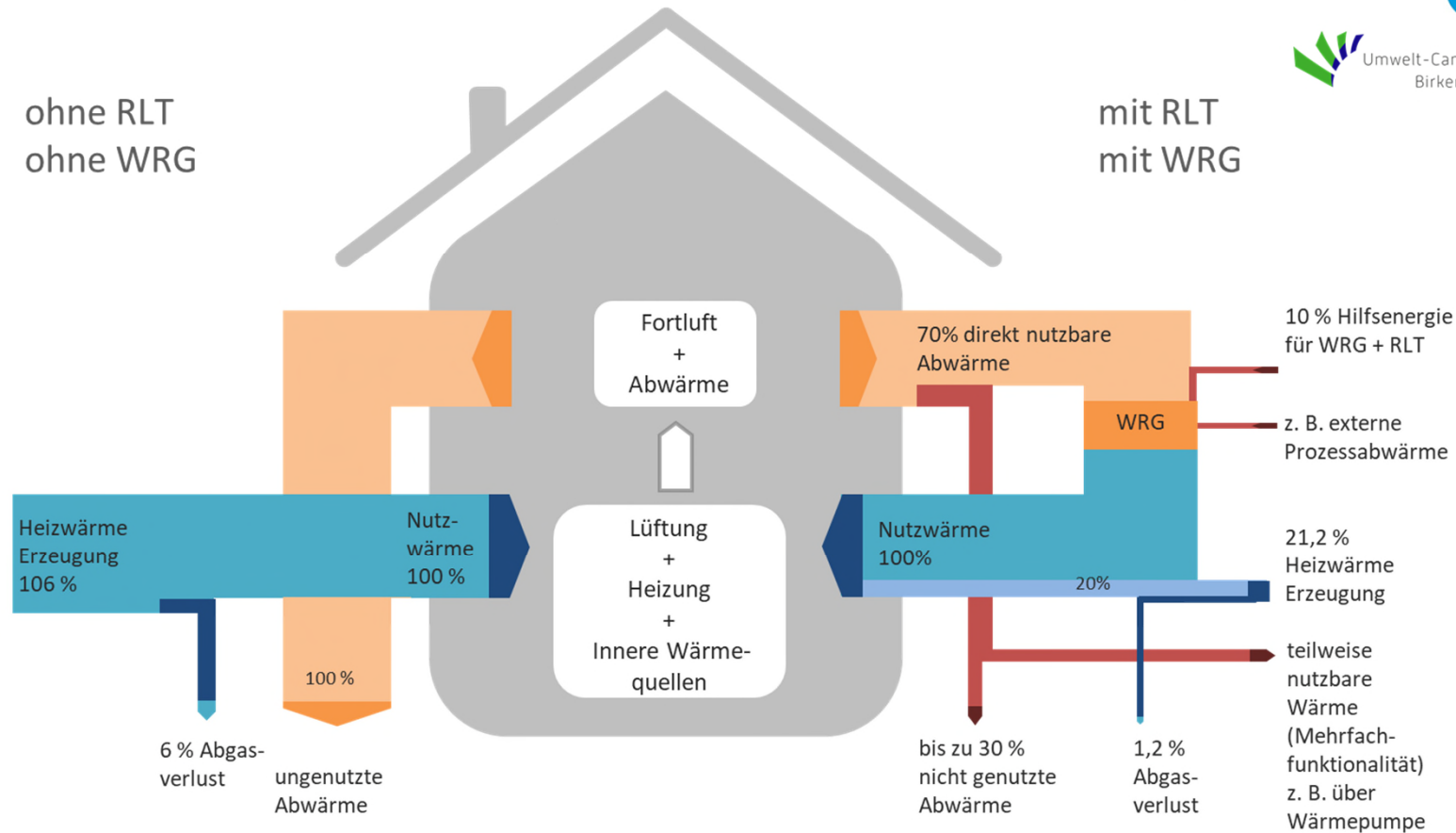






Raumlufttechnik mit WRG

ohne RLT
ohne WRG

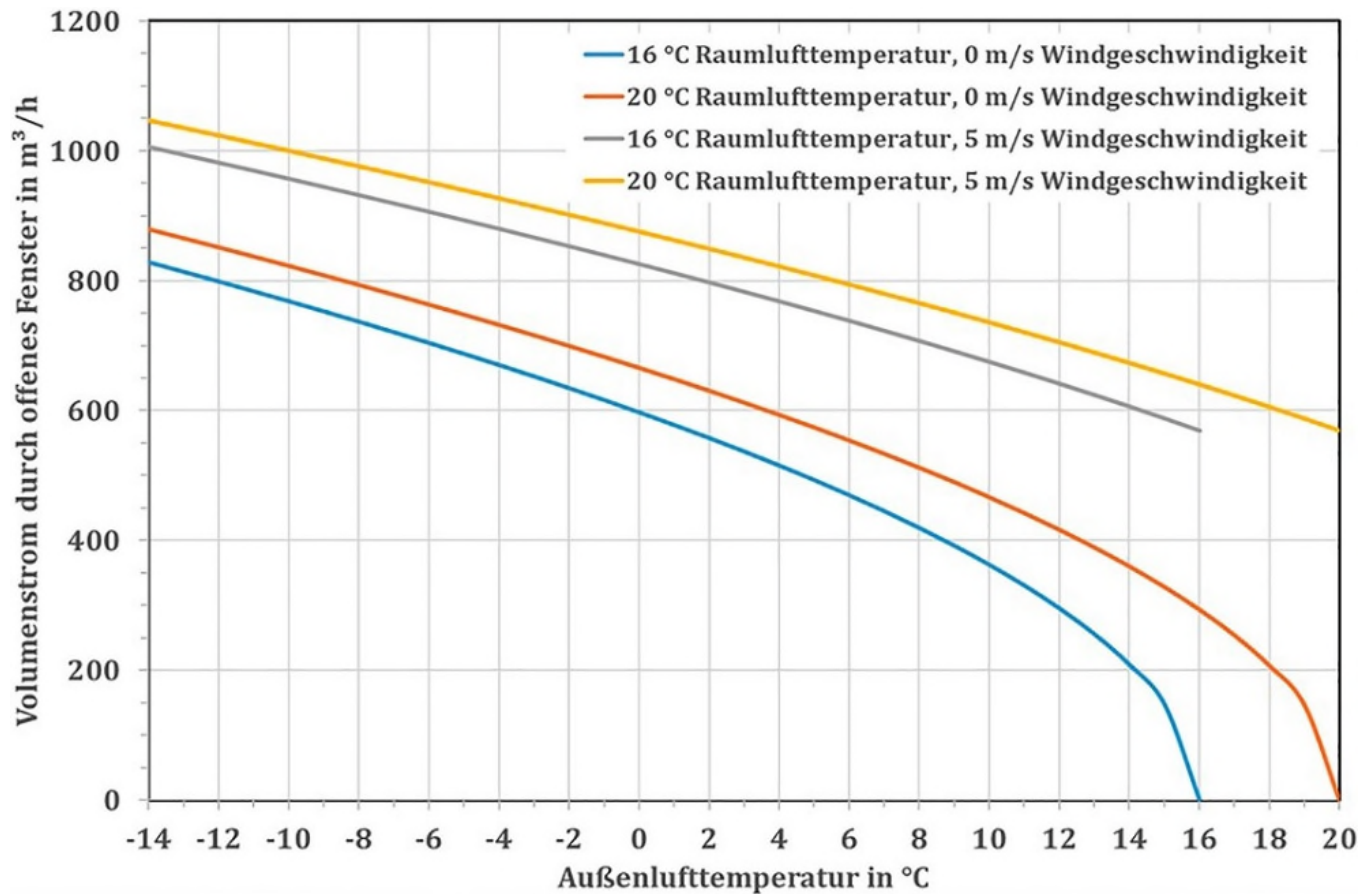


UCB-Gutachten 2012 für



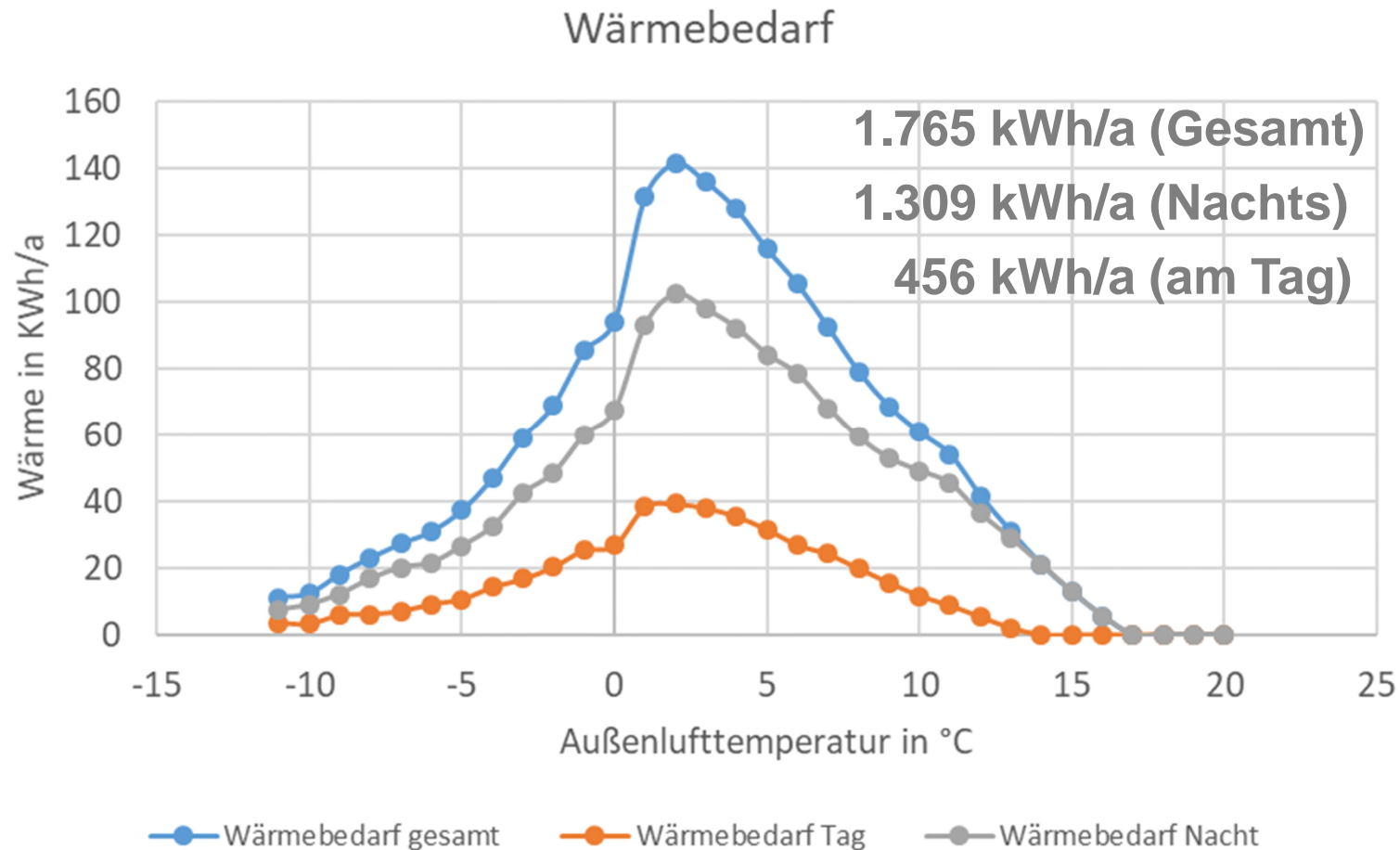
mit RLT
mit WRG

Beispiel einer Fensterlüftung (voll geöffnet) nach DIN SPEC 4108-8 für ein Fenster mit 1,12 m² (2,74 m Höhe Lüftungszone, 0,25 m Rauheitsparameter)



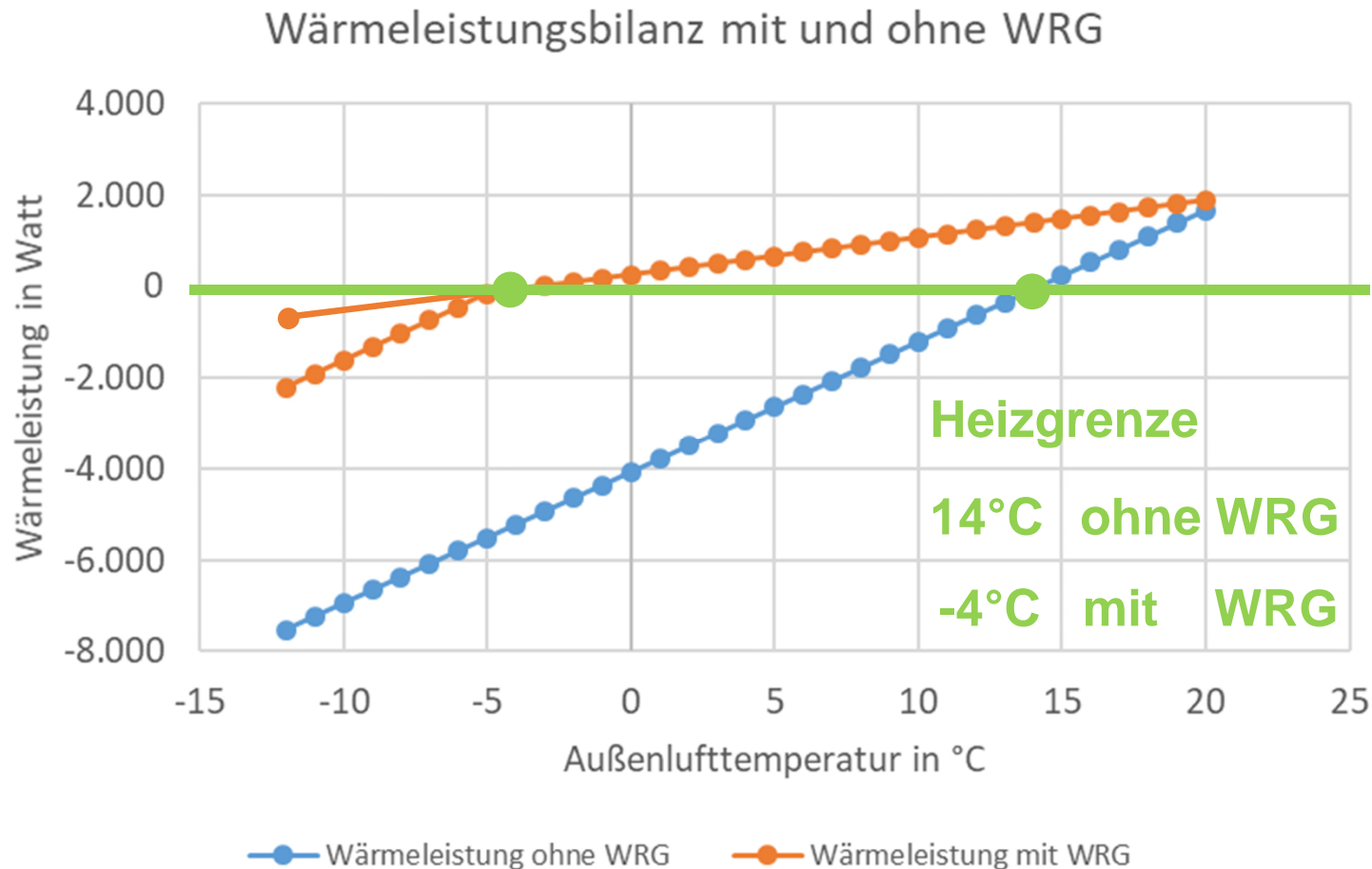
Simulation Lüftung mit und ohne WRG (ϕ 0,79)

- **Klassenraum** im Winterfall (Heizen **-12°C** bis max. **20°C**)
- Standort **Kassel (Zone 7** nach DIN 4710)
- Betriebszeit **1.400 h/a** (7 h/d bei 5 d/w)
- **Vorlaufzeit 2 h/d** (nach DIN 18599 T. 10) mit **400 h/a** mit **200 m³/h**
- **Heizperiode 1.238 h/a** (-12 bis 20°C)
- **Luftmenge** max. **780 m³/h** (30 m³/h/Person mit 26 Pers.)
- zul. Raumtemperatur am **Tag 21°C** (max. **24°C**)
- zul. Raumtemperatur **Nacht 17°C** (abgesenkter Betrieb 4K)
- **$u \cdot A = 25 \text{ W/K}$** (z. B. 0,5 W/m²/K bei 50 m² Fläche)
- **Transmissionsverluste** max. **825 W** (AL -12°C / RL 21°C)
- **Strahlungsgewinn** max. **250 W** (diffuse Strahlung - Winter)
- **Innere Last** max. **1.560 W** (26 Personen mit **60 W**)
- Vollnutzungsstunden **5 h/d** bei 7 h/d / **Licht 160 W** (LED)
- **Teillast** mit **13 Personen** mit **voller & adapt.** Luftmenge
- Berücksichtigung **Vereisungsschutz** (-12°C bis -5°C)



2.293 h/a am Tag (21°C) und 4.211 h/a in der Nacht (17°C)

Belegung mit und ohne WRG

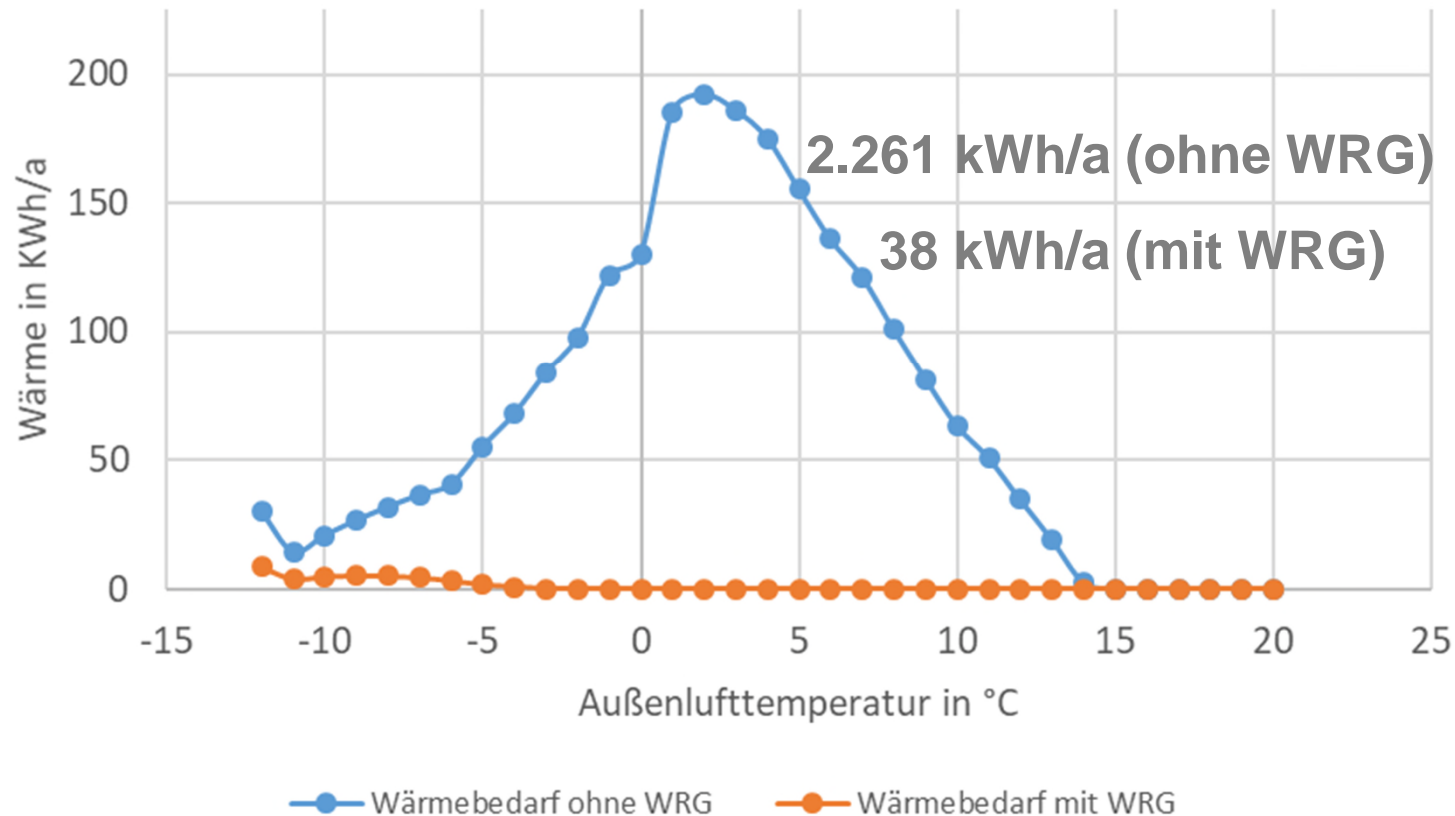


0,7 kW (ohne VS)

Wärmeleistungsbedarf 7,5 kW (ohne WRG) zu 2,2 kW (mit WRG)

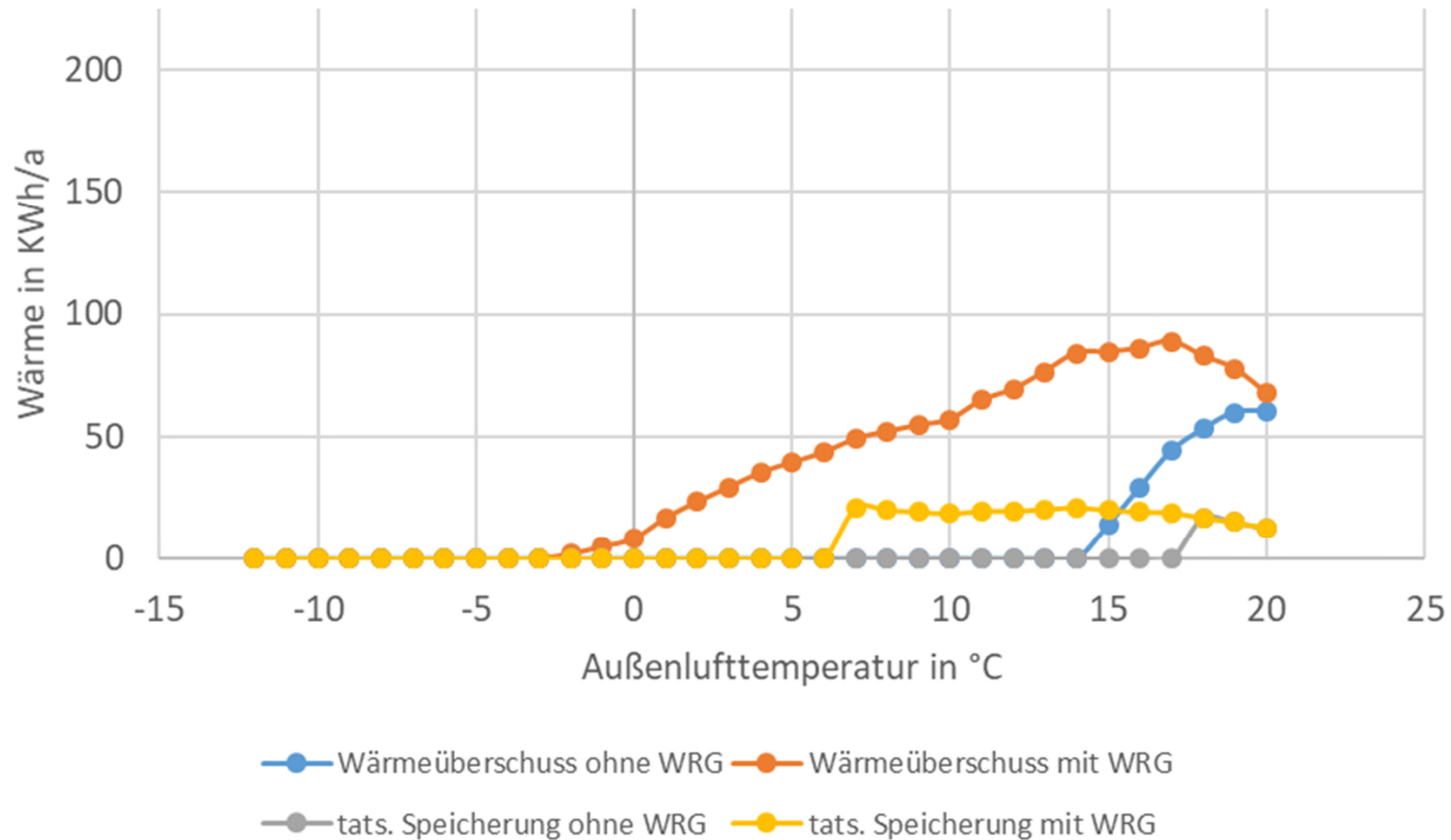
Belegung mit und ohne WRG

Wärmebedarf mit und ohne WRG



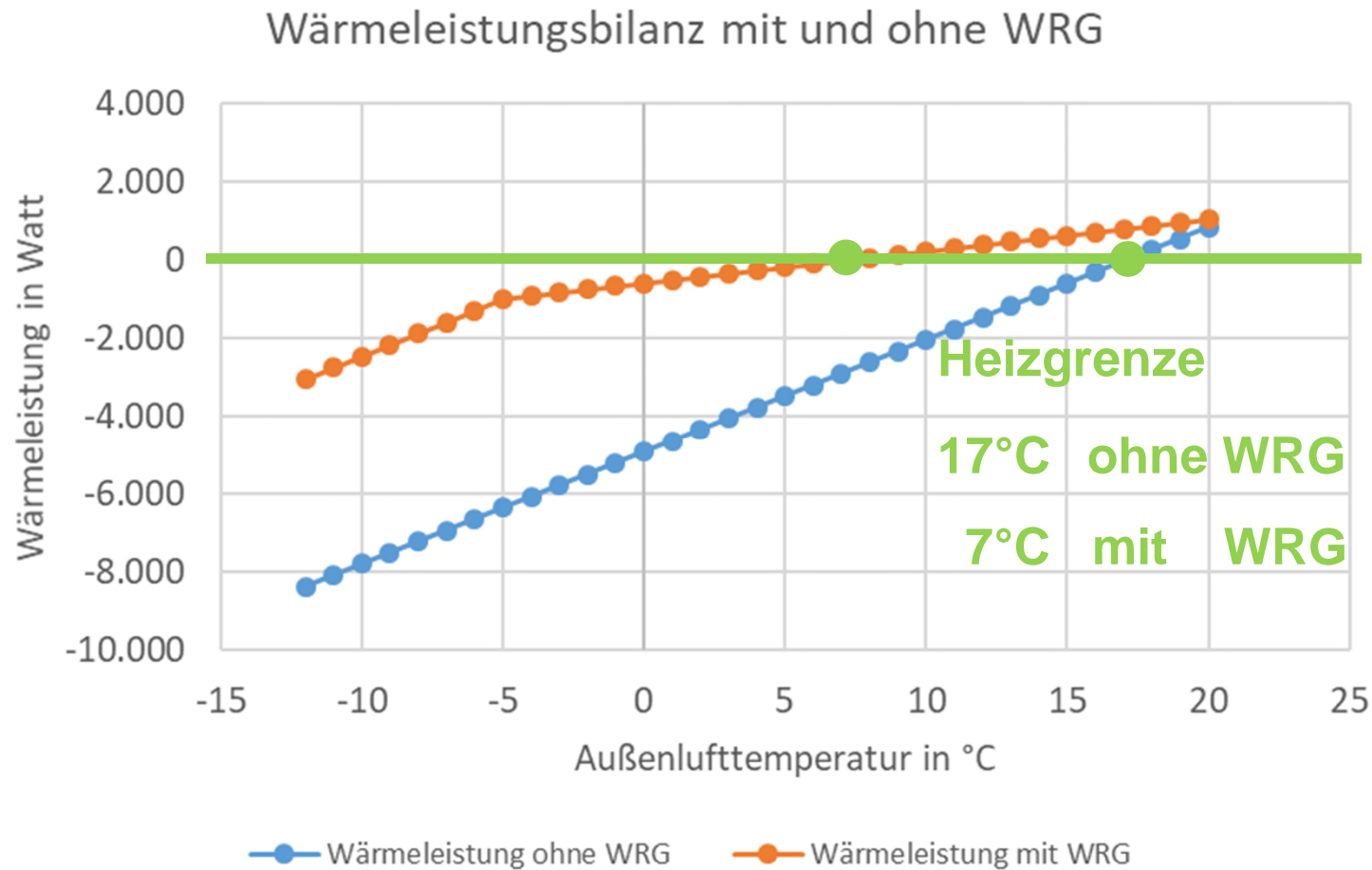
Heizgrenze 14°C mit 945 h/a ohne WRG zu -4°C mit 54 h/a und WRG

Wärmeüberschuss mit und ohne WRG



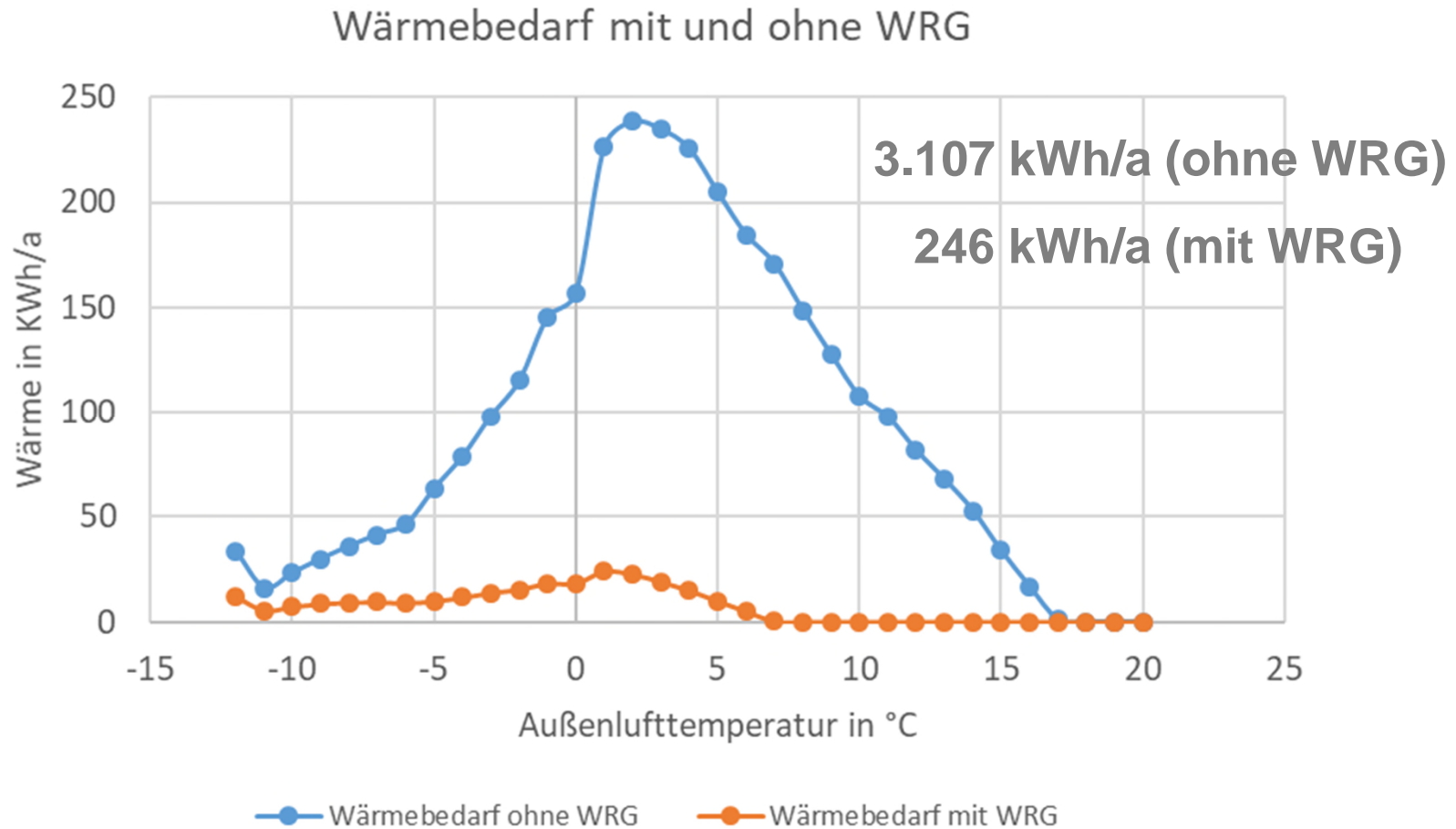
max. Speicherkapazität 940 kWh/a mit 220 kWh/a nutzbar (max. 24°C)

Halbe Belegung volle Luftmenge



Wärmeleistungsbedarf 8,4 kW (ohne WRG) zu 3,0 kW (mit WRG)

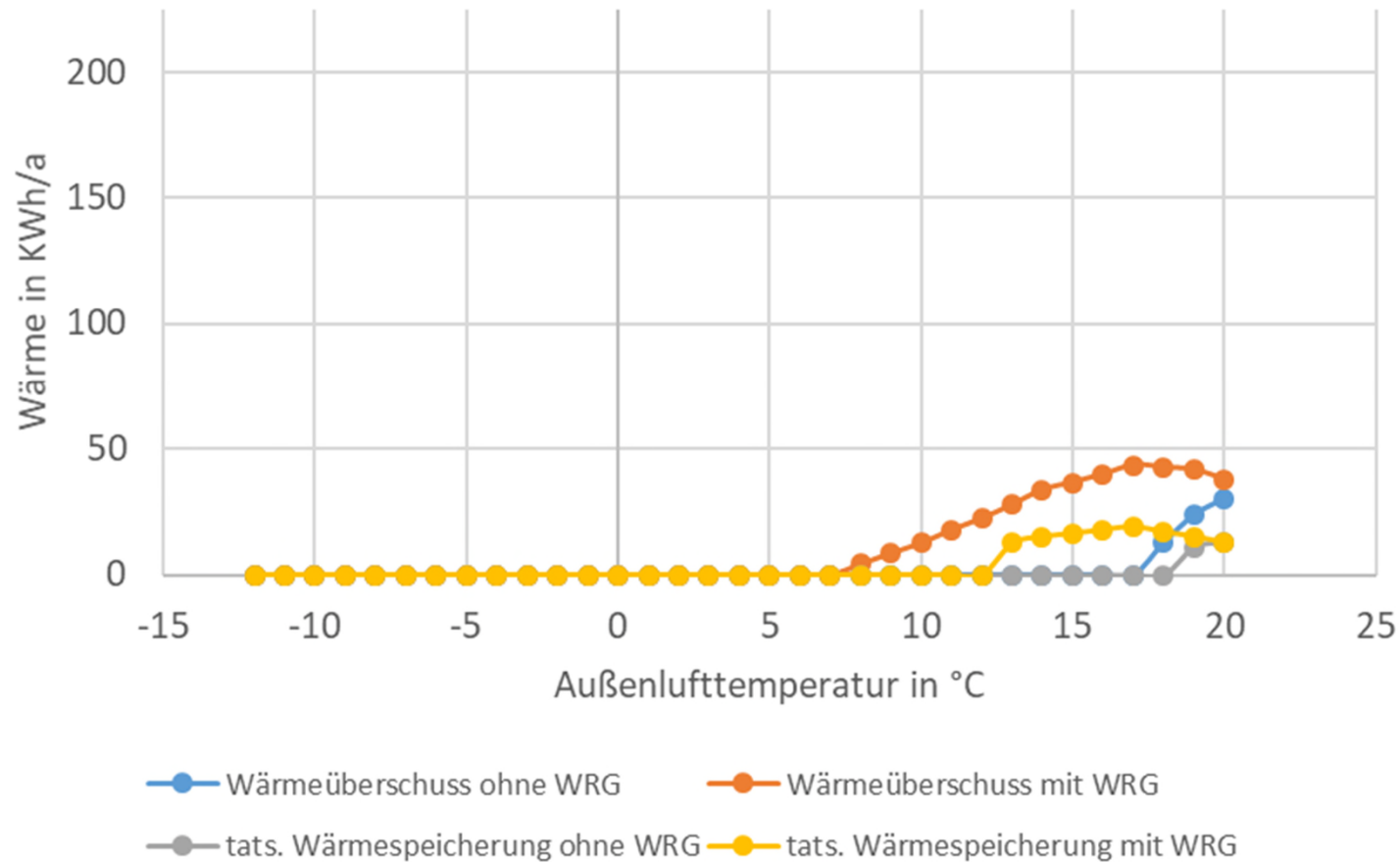
Halbe Belegung volle Luftmenge



Heizgrenze 17°C mit 1.111 h/a ohne WRG zu 7°C mit 550 h/a und WRG

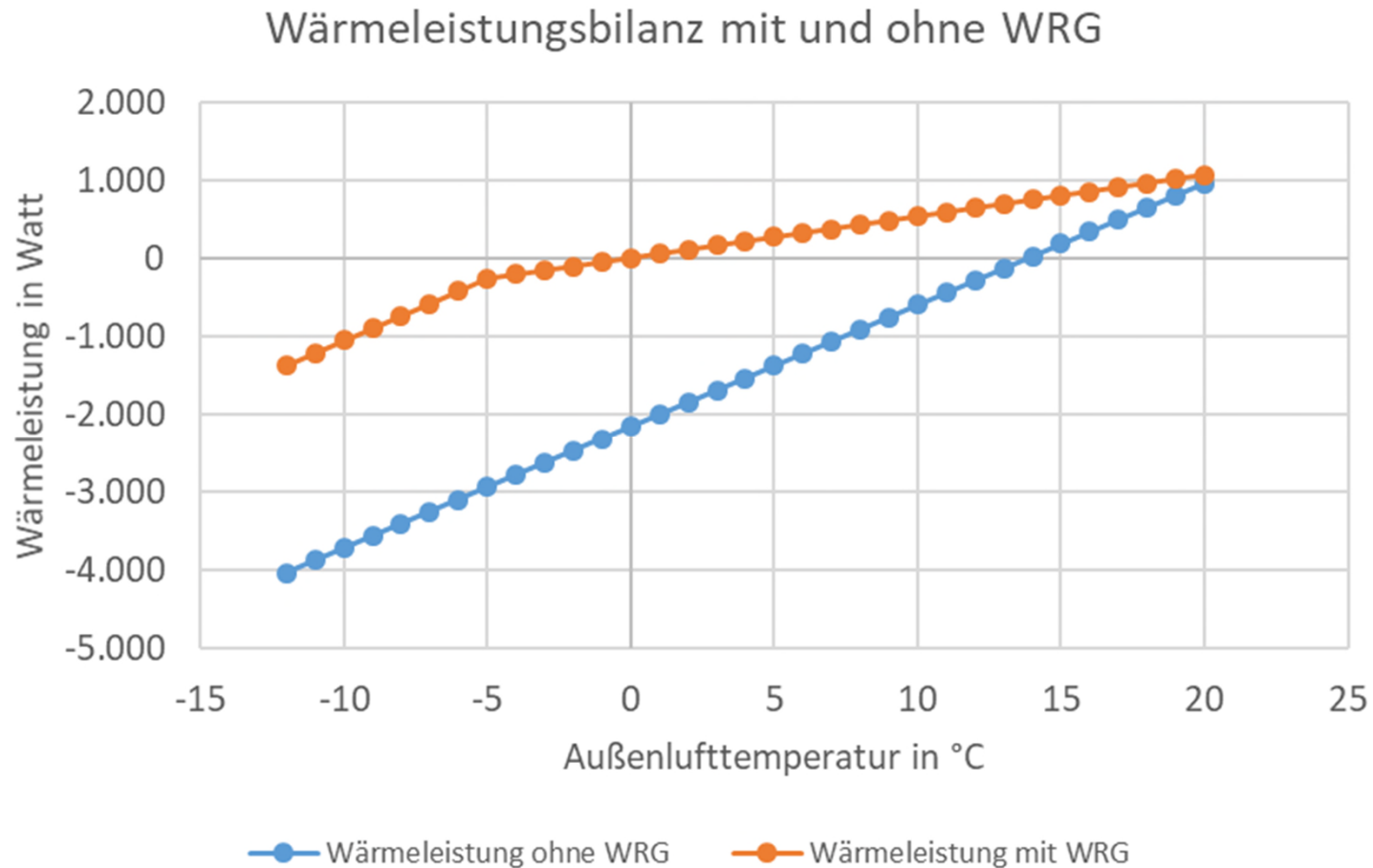
Halbe Belegung volle Luftmenge

Wärmeüberschuss mit und ohne WRG



max. Speicherkapazität 302 kWh/a mit 103 kWh/a nutzbar (max. 24°C)

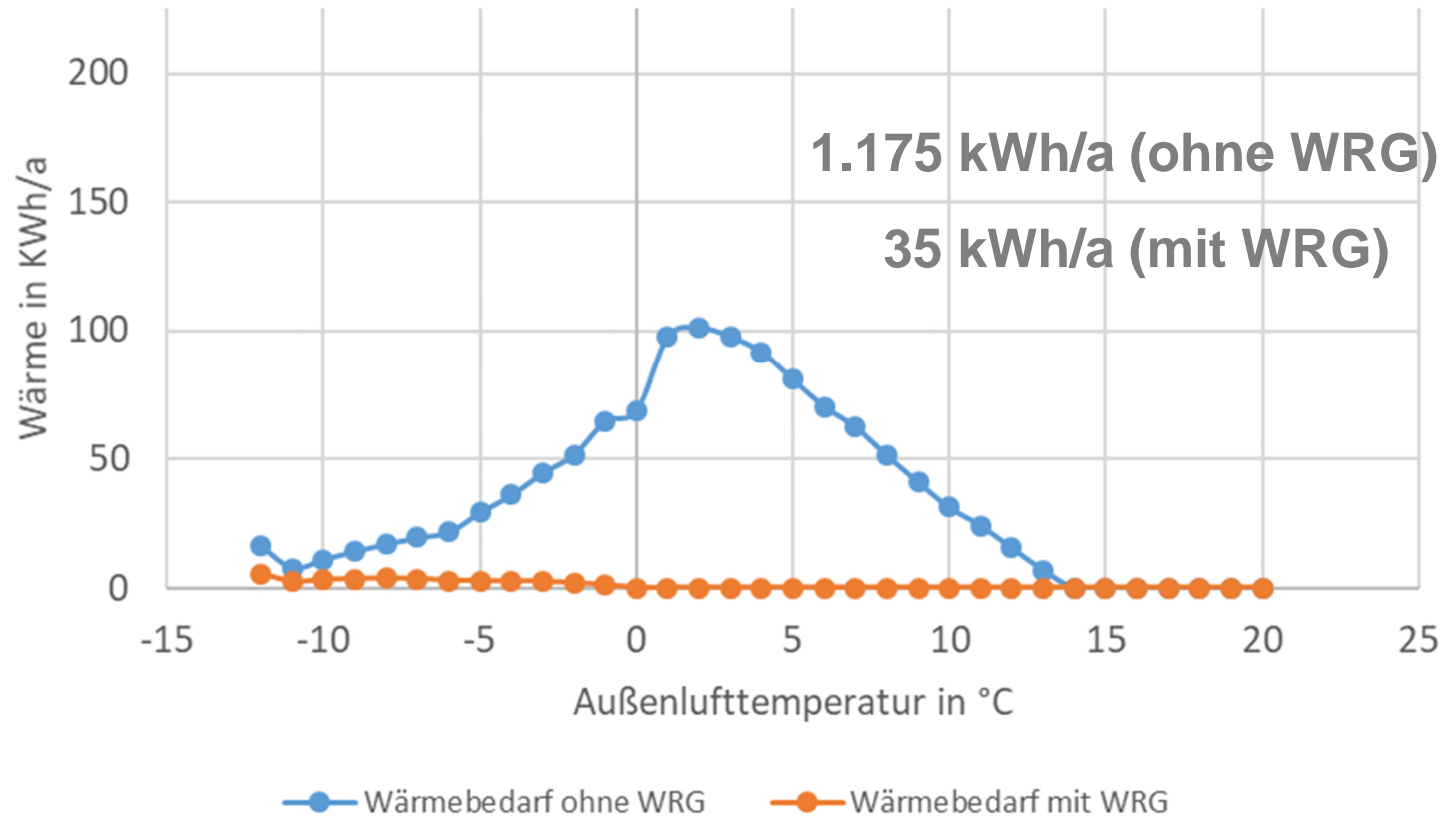
Halbe Belegung halbe Luftmenge



Wärmeleistungsbedarf 4,0 kW (ohne WRG) zu 1,4 kW (mit WRG)

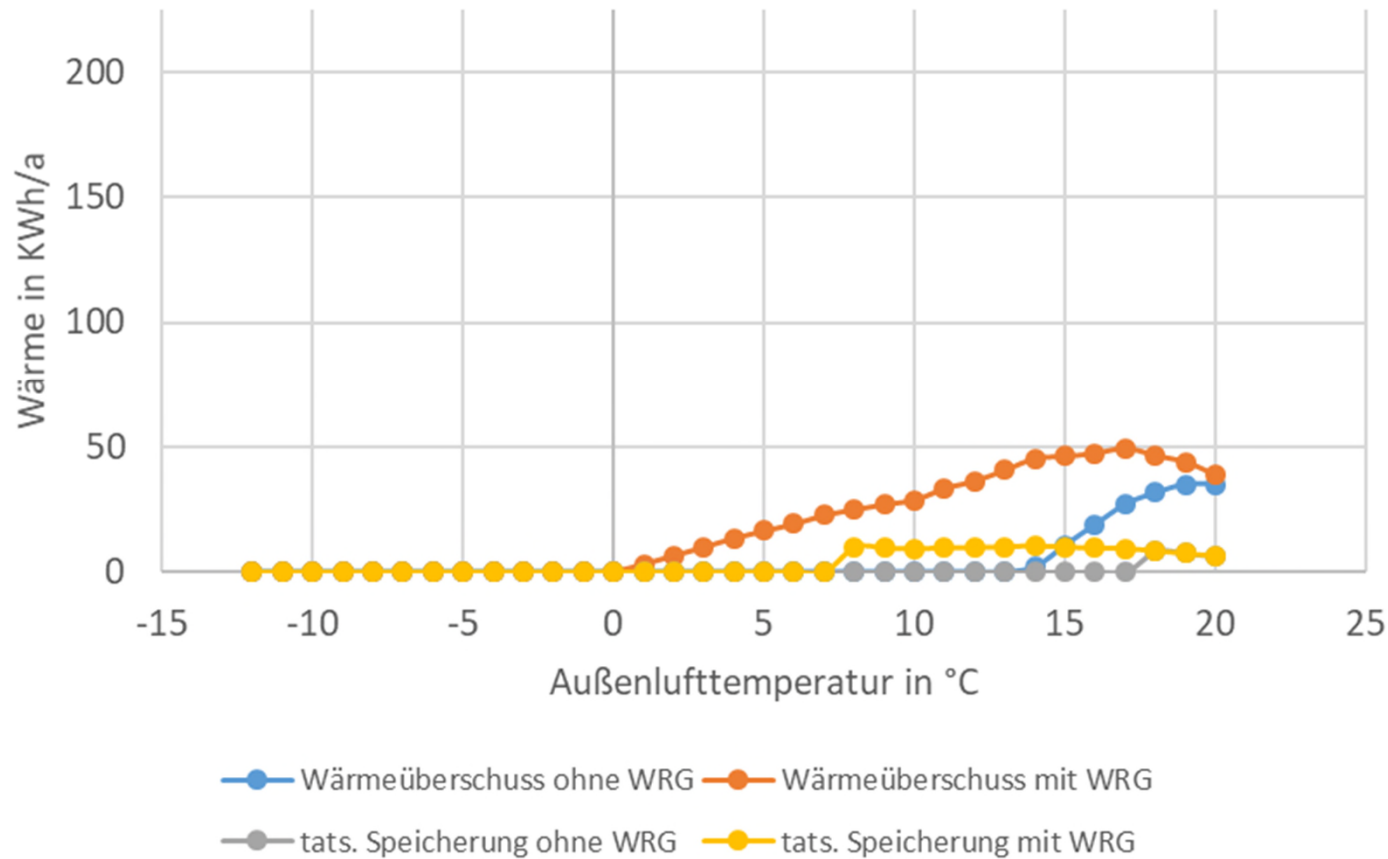
Halbe Belegung halbe Luftmenge

Wärmebedarf mit und ohne WRG

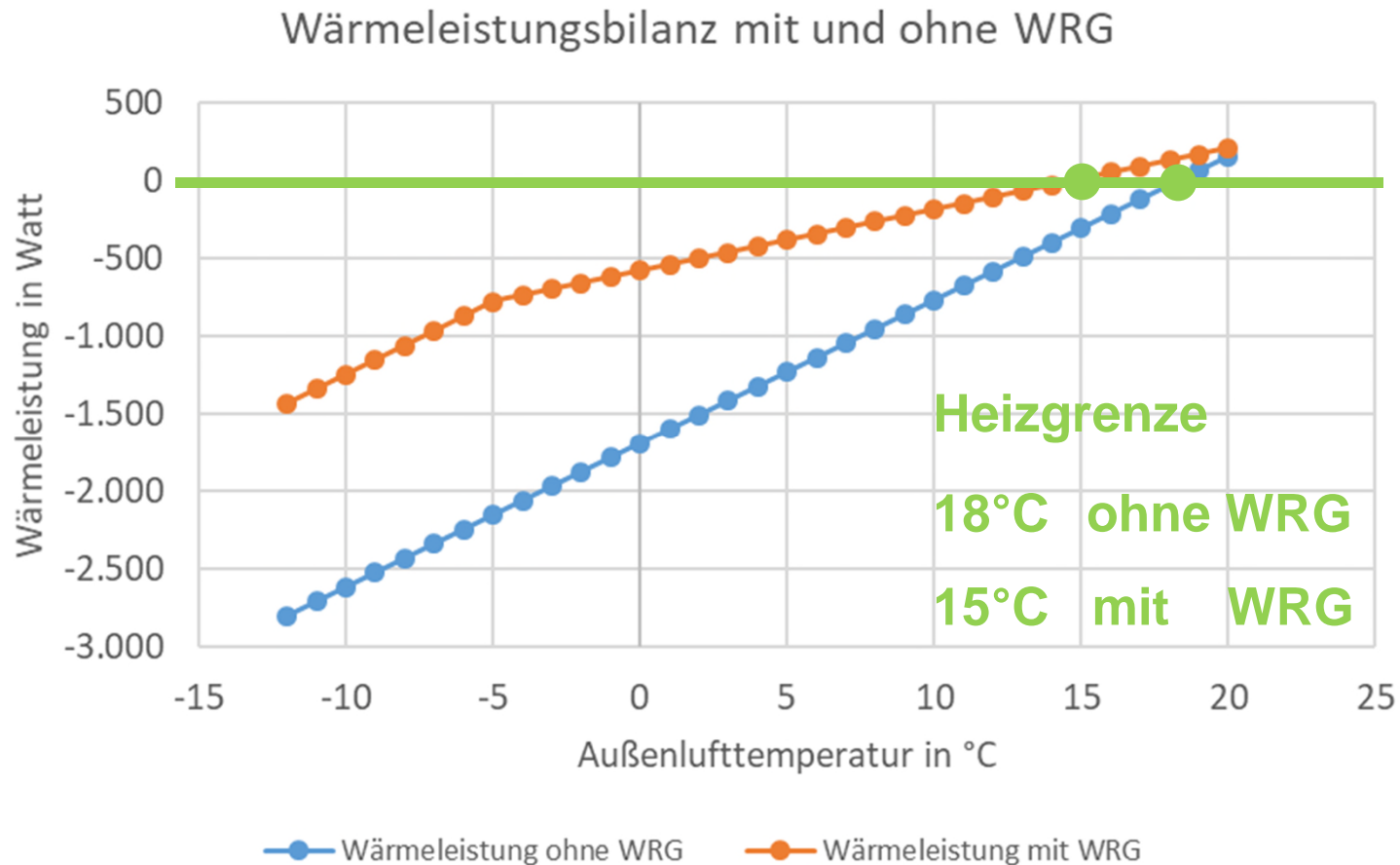


Heizgrenze 14°C mit 885 h/a ohne WRG zu -0°C mit 120 h/a und WRG

Wärmeüberschuss mit und ohne WRG

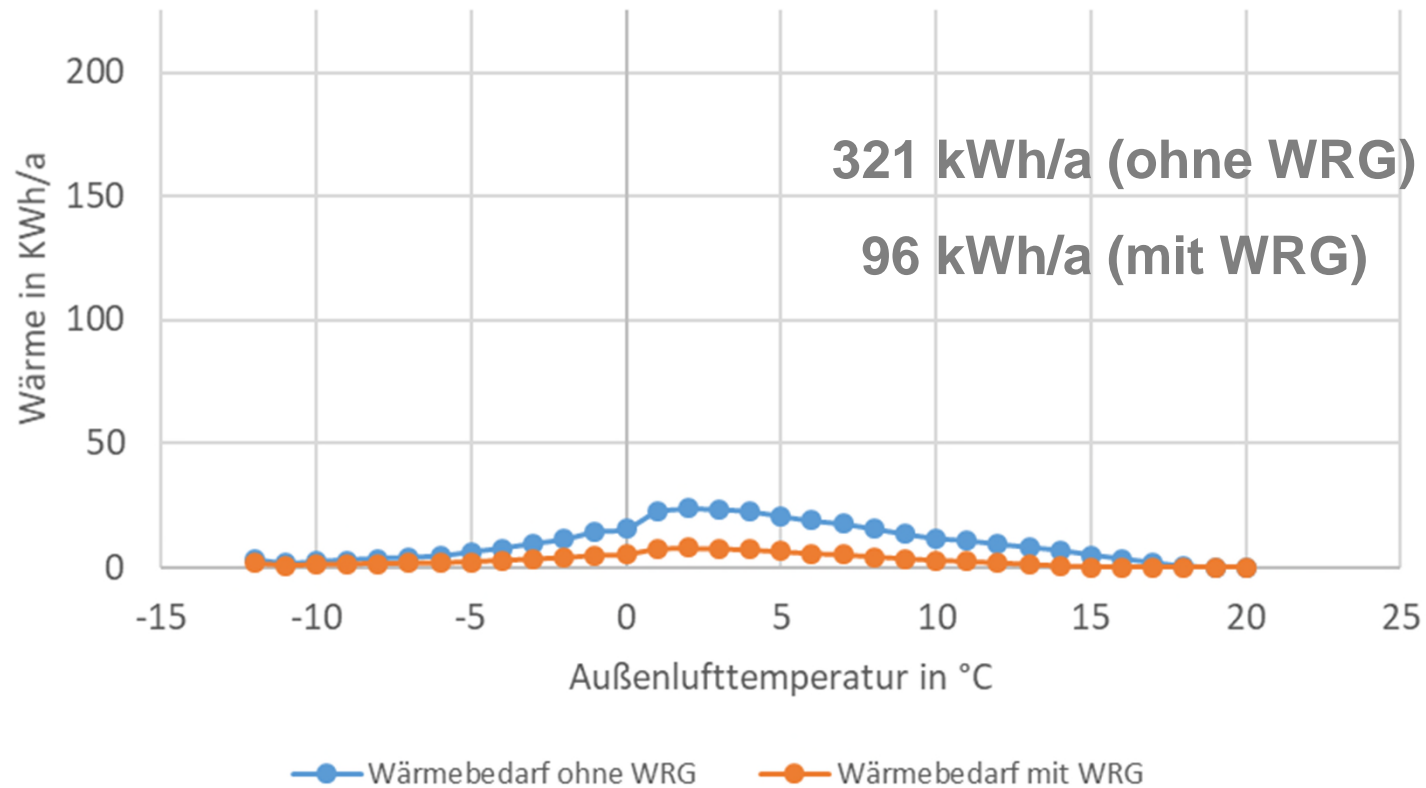


max. Speicherkapazität 442 kWh/a mit 99 kWh/a nutzbar (max. 24°C)



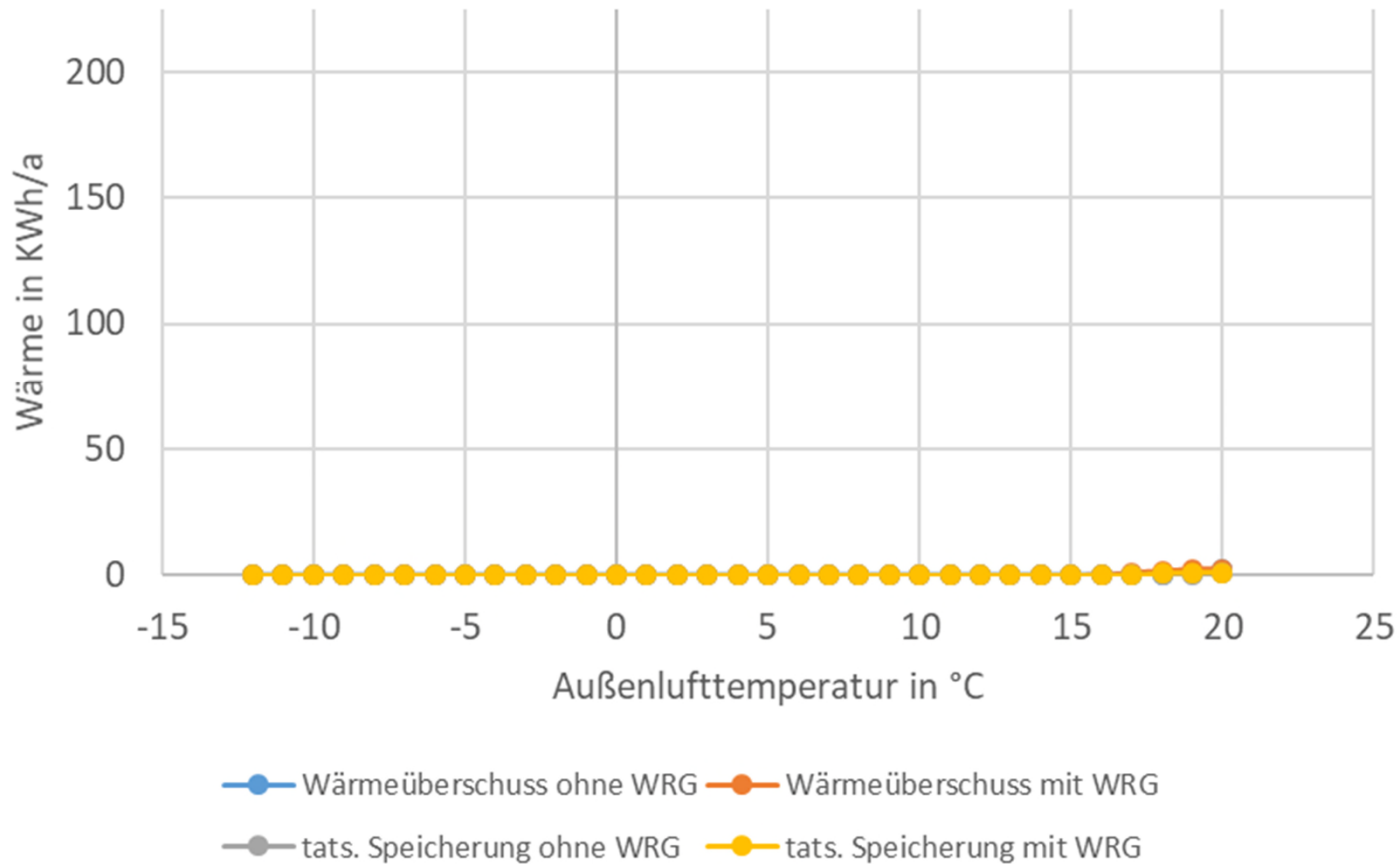
Wärmeleistungsbedarf 2,8 kW (ohne WRG) zu 1,4 kW (mit WRG)

Wärmebedarf mit und ohne WRG



Heizgrenze 18°C mit 321 h/a ohne WRG zu 15°C mit 270 h/a und WRG

Wärmeüberschuss mit und ohne WRG



praktisch keine Speicherfähigkeit 1 kWh/a zu 3 kWh/a (WRG) nutzbar

Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung Wärme 2.261 - 38 kWh/a = 2.224 kWh/a*
- Einsparung Vorlaufzeit 321 - 96 kWh/a = 226 kWh/a*
- Aufwand Elektroenergie RLT (189 W) 267 kWh/a**
- Aufwand Elektroenergie WRG (72 W) 103 kWh/a**
- Jahresarbeitszahl RLT (ges.) 9,2
- Jahresarbeitszahl WRG 23,8

- CO₂ Einsparung Wärme 735 kg CO₂ eq./a***
- CO₂ Aufwand Elektro RLT (ges.) 116 kg CO₂ eq./a****
- CO₂ Aufwand Elektro WRG 45 kg CO₂ eq./a****

- CO₂-Bilanz RLT (ges.) 619 kg CO₂ eq./a
gesamt LC (15 a) 9.280 kg CO₂ eq.
- CO₂-Bilanz WRG 690 kg CO₂ eq./a
gesamt LC (15 a) 10.351 kg CO₂ eq.

* berechnet mit 945 h/a (Berechnung ohne Speichereffekte) – 354 h/a Vorlaufzeit

** berechnet mit 1.400 + 400 h/a *** berechnet mit Wärmemix 0,300 kg CO₂ eq./kWh –

**** Strommix 0,435 kg CO₂ eq./kWh

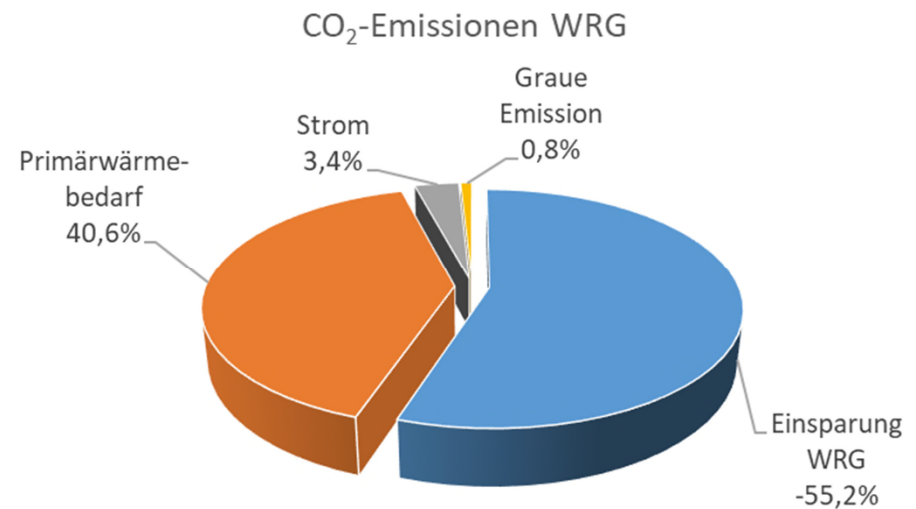
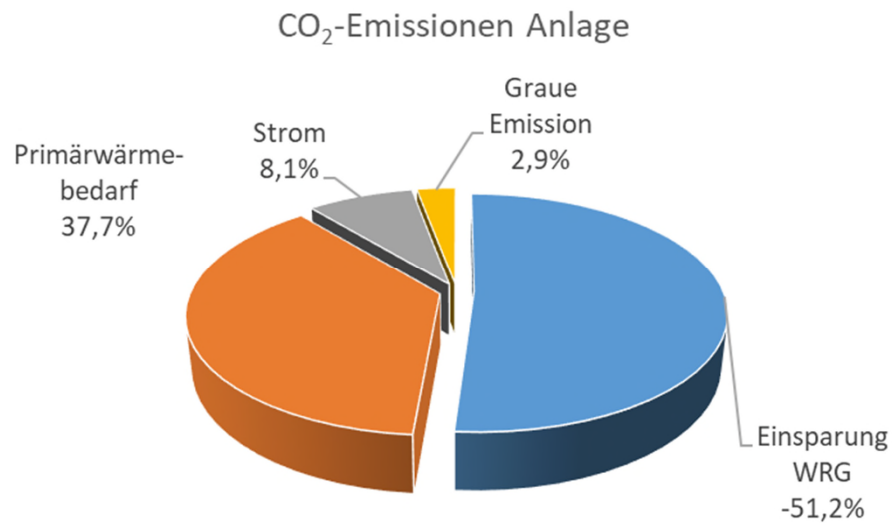
Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung LC
Bilanzgrenze RLT-Anlage 9.280 kg CO₂ eq.
- Belastung RLT-Anlage (360 kg) 630 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 8.650 kg CO₂ eq.

- Einsparung LC
Bilanzgrenze WRG-Einrichtung 10.351 kg CO₂ eq.
- Belastung WRG (96 kg) 168 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 10.183 kg CO₂ eq.

*Quelle: Ökobaudat Klimagerät: 45,9 kg eq.CO₂/kW bzw. **3,43 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 20,8 kg eq.CO₂/kW bzw. **1,55 kg eq.CO₂/kg (Recycling)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 25,2 kg eq.CO₂/kW bzw. **1,88 kg eq.CO₂/kg**, berechnet mit 13,4 kg/kW oder:
Lüfter zentral 1.000 m³/h mit WRG und m = 100 kg: 373.1 kg eq.CO₂ bzw. **3,73 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 211,4 kg eq.CO₂ bzw. **2,11 kg eq.CO₂/kg (Recycling)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 161,7 kg eq.CO₂ bzw. **1,62 kg eq.CO₂/kg (Mittelwert 1,75 kg eq.CO₂/kg)**

Simulation der Lüftung mit und ohne WRG (ϕ 0,79)



Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung Wärme $2.449 + 220 \text{ kWh/a} = 2.669 \text{ kWh/a}^*$
- Aufwand Elektroenergie RLT (189 W) 267 kWh/a**
- Aufwand Elektroenergie WRG (72 W) 103 kWh/a**
- Jahresarbeitszahl RLT (ges.) 10,0
- Jahresarbeitszahl WRG 26,0
- CO₂ Einsparung Wärme 801 kg CO₂ eq./a***
- CO₂ Aufwand Elektro RLT (ges.) 116 kg CO₂ eq./a****
- CO₂ Aufwand Elektro WRG 45 kg CO₂ eq./a****
- CO₂-Bilanz RLT (ges.) 685 kg CO₂ eq./a
gesamt LC (15 a) 10.269 kg CO₂ eq.
- CO₂-Bilanz WRG 756 kg CO₂ eq./a
gesamt LC (15 a) 11.341 kg CO₂ eq.

* berechnet mit 945 h/a (Berechnung mit Speichereffekt) – 354 h/a Vorlauf – ** berechnet mit 1.800 h

*** berechnet mit Wärmemix 0,300 kg CO₂ eq./kWh – **** Strommix 0,435 kg CO₂ eq./kWh

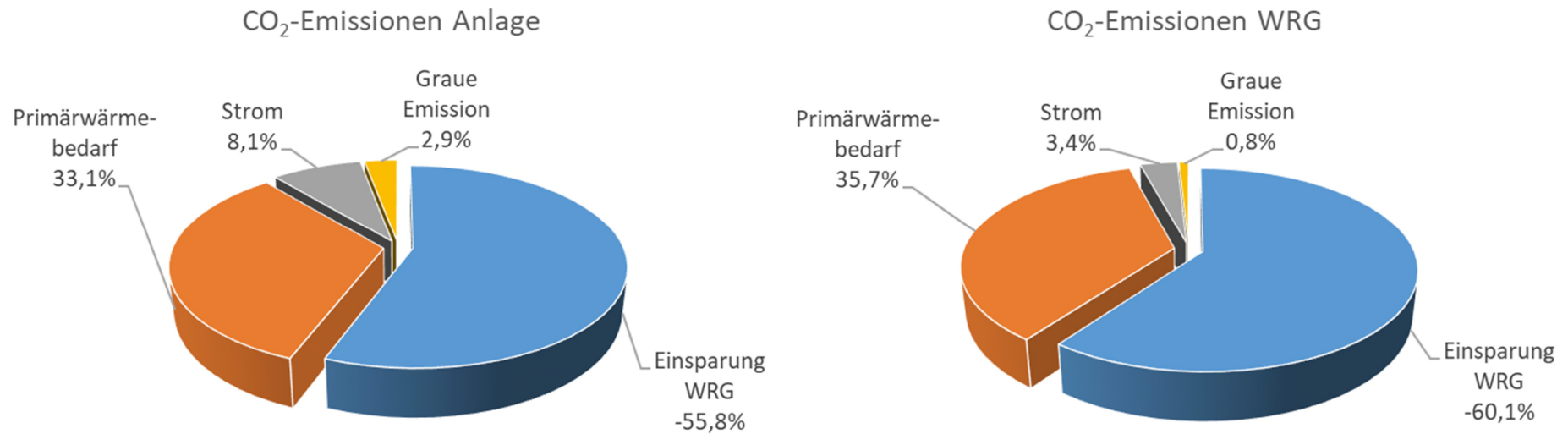
Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung LC
Bilanzgrenze RLT-Anlage 10.269 kg CO₂ eq.
- Belastung RLT-Anlage (360 kg) 630 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 9.639 kg CO₂ eq.

- Einsparung LC
Bilanzgrenze WRG-Einrichtung 11.341 kg CO₂ eq.
- Belastung WRG (96 kg) 168 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 11.173 kg CO₂ eq.

*Quelle: Ökobaudat Klimagerät: 45,9 kg eq.CO₂/kW bzw. **3,43 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 20,8 kg eq.CO₂/kW bzw. **1,55 kg eq.CO₂/kg (Recycling)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 25,2 kg eq.CO₂/kW bzw. **1,88 kg eq.CO₂/kg**, berechnet mit 13,4 kg/kW oder:
Lüfter zentral 1.000 m³/h mit WRG und m = 100 kg: 373.1 kg eq.CO₂ bzw. **3,73 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 211,4 kg eq.CO₂ bzw. **2,11 kg eq.CO₂/kg (Recycling)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 161,7 kg eq.CO₂ bzw. **1,62 kg eq.CO₂/kg (Mittelwert 1,75 kg eq.CO₂/kg)**

Simulation der Lüftung mit und ohne WRG (ϕ 0,79)



Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung Wärme 2.261 - 38 kWh/a = 2.224 kWh/a*
- Einsparung Vorlaufzeit 321 - 96 kWh/a = 226 kWh/a*
- Aufwand Elektroenergie RLT (189 W) 267 kWh/a**
- Aufwand Elektroenergie WRG (72 W) 103 kWh/a**
- Jahresarbeitszahl RLT (ges.) 9,2
- Jahresarbeitszahl WRG 23,8

- CO₂ Einsparung Wärme 735 kg CO₂ eq./a***
- CO₂ Aufwand Elektro RLT (ges.) 116 kg CO₂ eq./a****
- CO₂ Aufwand Elektro WRG 45 kg CO₂ eq./a****

- CO₂-Bilanz RLT (ges.) 619 kg CO₂ eq./a
gesamt LC (15 a) 9.280 kg CO₂ eq.
- CO₂-Bilanz WRG 690 kg CO₂ eq./a
gesamt LC (15 a) 10.351 kg CO₂ eq.

* berechnet mit 945 h/a (Berechnung ohne Speichereffekte) – 354 h/a Vorlaufzeit

** berechnet mit 1.400 + 400 h/a *** berechnet mit Wärmemix 0,300 kg CO₂ eq./kWh –

**** Strommix 0,435 kg CO₂ eq./kWh

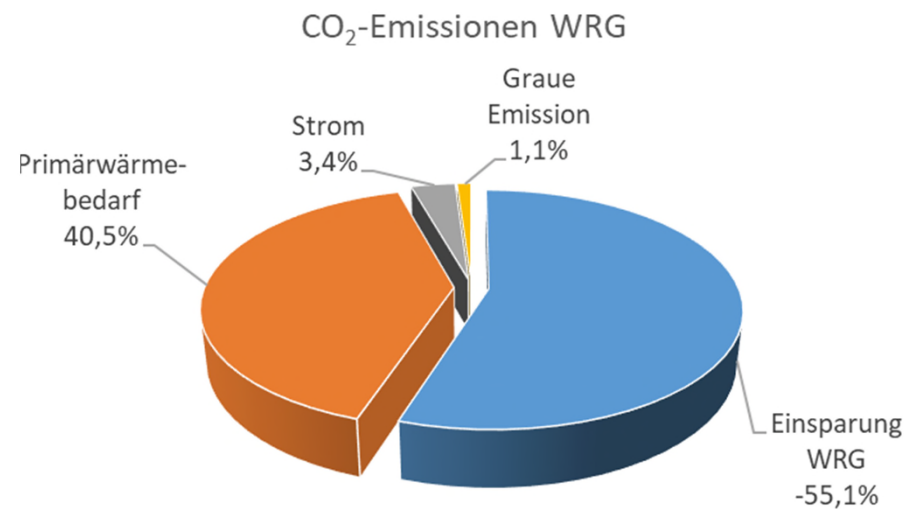
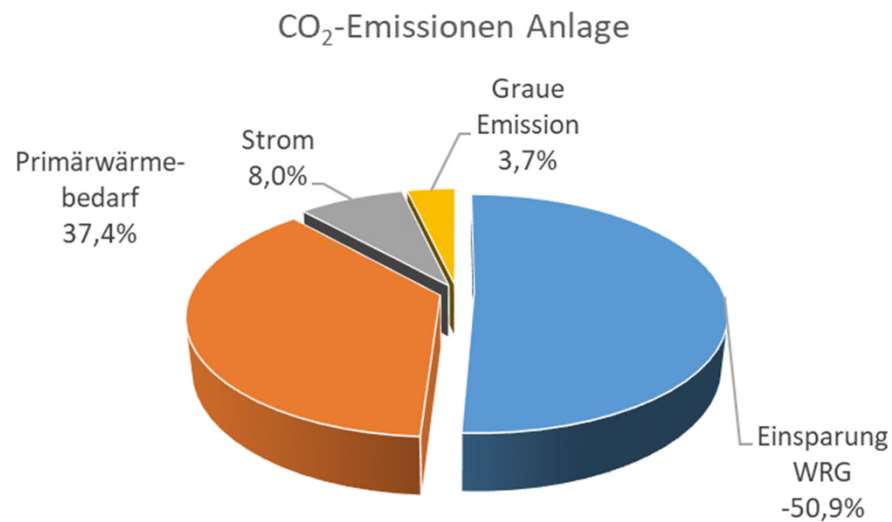
Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung LC
Bilanzgrenze RLT-Anlage 9.280 kg CO₂ eq.
- Belastung RLT-Anlage (360 kg) 792 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 8.488 kg CO₂ eq.

- Einsparung LC
Bilanzgrenze WRG-Einrichtung 10.351 kg CO₂ eq.
- Belastung WRG (96 kg) 211 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 10.140 kg CO₂ eq.

*Quelle: Ökobaudat Klimagerät: 47,1 kg eq.CO₂/kW bzw. **3,51 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 16,0 kg eq.CO₂/kW bzw. **1,19 kg eq.CO₂/kg (Recycling netto)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 31,2 kg eq.CO₂/kW bzw. **2,33 kg eq.CO₂/kg**, berechnet mit 13,4 kg/kW oder: Lüfter zentral 1.000 m³/h mit WRG und m = 100 kg: 376.4 kg eq.CO₂ bzw. **3,76 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 169,5 kg eq.CO₂ bzw. **1,69 kg eq.CO₂/kg (Recycling netto)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 207,9 kg eq.CO₂ bzw. **2,08 kg eq.CO₂/kg (Mittelwert 2,20 kg eq.CO₂/kg)**

Simulation der Lüftung mit und ohne WRG (ϕ 0,79)



Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung Wärme $2.449 + 220 \text{ kWh/a} = 2.669 \text{ kWh/a}^*$
- Aufwand Elektroenergie RLT (189 W) 267 kWh/a**
- Aufwand Elektroenergie WRG (72 W) 103 kWh/a**
- Jahresarbeitszahl RLT (ges.) 10,0
- Jahresarbeitszahl WRG 26,0
- CO₂ Einsparung Wärme 801 kg CO₂ eq./a***
- CO₂ Aufwand Elektro RLT (ges.) 116 kg CO₂ eq./a****
- CO₂ Aufwand Elektro WRG 45 kg CO₂ eq./a****
- CO₂-Bilanz RLT (ges.) 685 kg CO₂ eq./a
- CO₂-Bilanz WRG 756 kg CO₂ eq./a
- gesamt LC (15 a) 10.269 kg CO₂ eq.
- gesamt LC (15 a) 11.341 kg CO₂ eq.

* berechnet mit 945 h/a (Berechnung mit Speichereffekt) – 354 h/a Vorlauf – ** berechnet mit 1.800 h

*** berechnet mit Wärmemix 0,300 kg CO₂ eq./kWh – **** Strommix 0,435 kg CO₂ eq./kWh

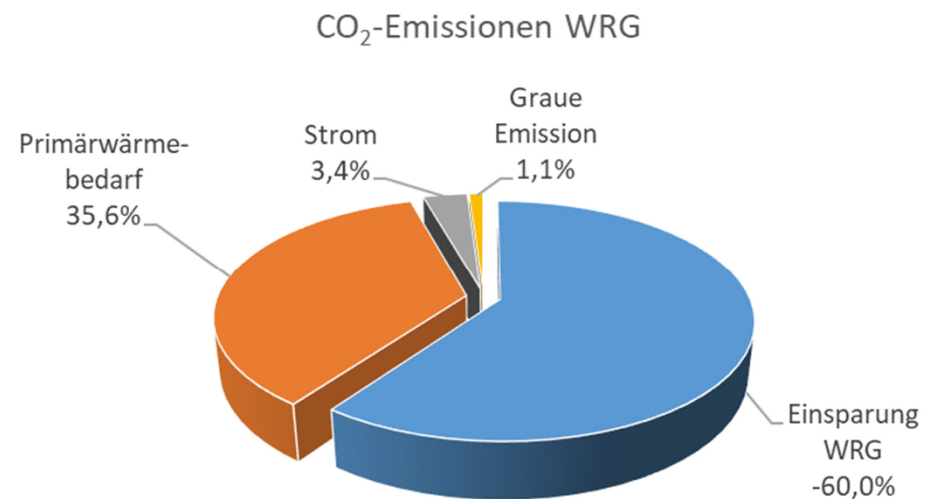
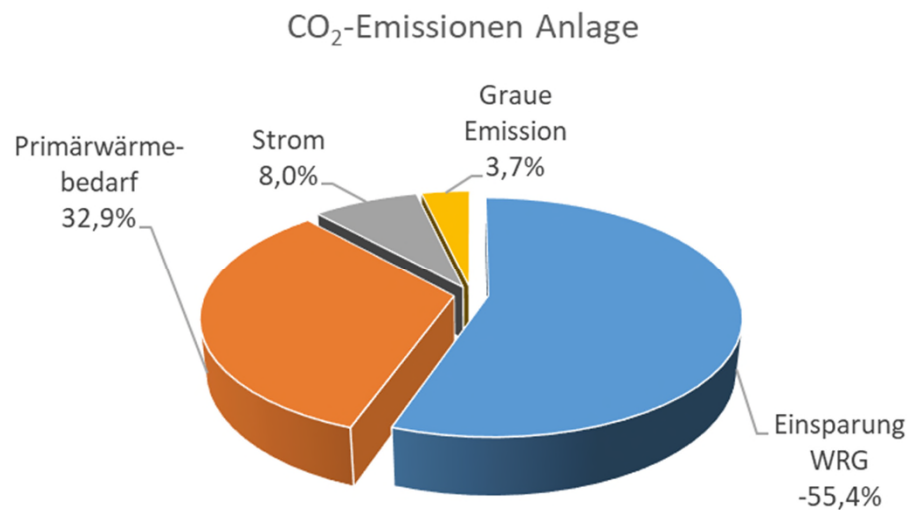
Simulation der Lüftung mit Vorlaufzeit (Grundlüftung)

- Einsparung LC
Bilanzgrenze RLT-Anlage 10.269 kg CO₂ eq.
- Belastung RLT-Anlage (360 kg) 792 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 9.477 kg CO₂ eq.

- Einsparung LC
Bilanzgrenze WRG-Einrichtung 11.341 kg CO₂ eq.
- Belastung WRG (96 kg) 211 kg CO₂ eq.*
- Netto-Einsparung 11.129 kg CO₂ eq.

*Quelle: Ökobaudat Klimagerät: 47,1 kg eq.CO₂/kW bzw. **3,51 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 16,0 kg eq.CO₂/kW bzw. **1,19 kg eq.CO₂/kg (Recycling netto)** – ergibt eine **Netto-belastung** von 31,2 kg eq.CO₂/kW bzw. **2,33 kg eq.CO₂/kg**, berechnet mit 13,4 kg/kW oder: Lüfter zentral 1.000 m³/h mit WRG und m = 100 kg: 376.4 kg eq.CO₂ bzw. **3,76 kg eq.CO₂/kg (Herstellung)** und 169,5 kg eq.CO₂ bzw. **1,69 kg eq.CO₂/kg (Recycling netto)** – ergibt eine **Nettobelastung** von 207,9 kg eq.CO₂ bzw. **2,08 kg eq.CO₂/kg (Mittelwert 2,20 kg eq.CO₂/kg)**

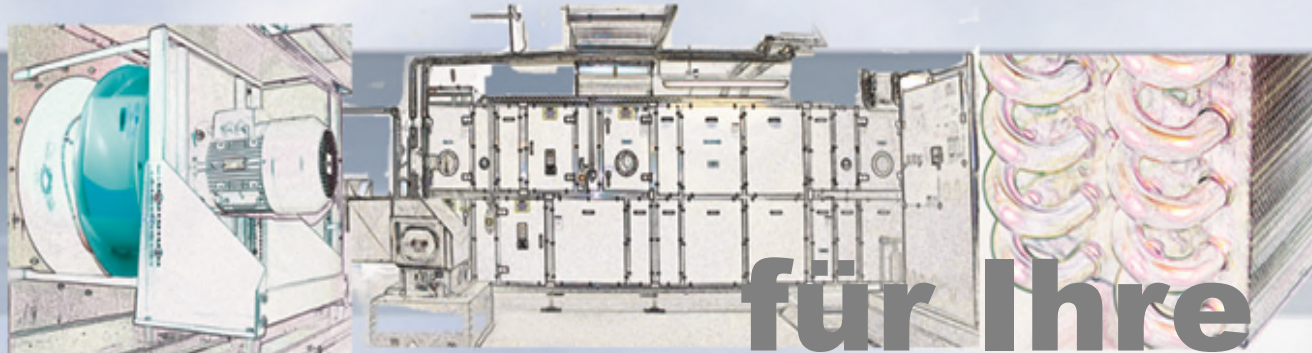
Simulation der Lüftung mit und ohne WRG (ϕ 0,79)



Ergebnisse der Betrachtungen

- Die Bilanzgrenze ist nicht zu vernachlässigen
- Zusätzlicher Nutzen der RLT ist zu bewerten
- WRG steht im Zusammenhang mit dem Raum (Rückwirkung)
- Innere Lasten beeinflussen den Nutzen der WRG
- Speichereffekte (des Raumes) können genutzt werden (Temperaturleitung)
- Ökologisch lohnt sich die WRG i. d. R. immer
- Graue Emissionen sind fast zu vernachlässigen

Herzlichen Dank



Aufmerksamkeit

Lüftung und Raumrückwirkung - Effekt der WRG mit Berücksichtigung der Raumlasten

Vergleich der Raumlüftungstechnik mit WRG mit der
Fensterlüftung

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